

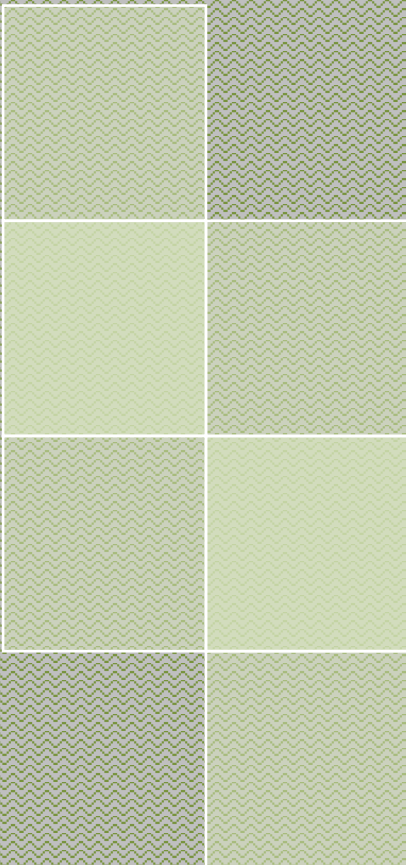
ISSN : 2086-4639

Jurnal
PENGELOLAAN
SUMBERDAYA ALAM
DAN LINGKUNGAN

Journal of Natural Resources and
Environmental Management

Volume 10 No. 1

Maret 2020





Strategi dan Kebijakan dalam Pengelolaan Wisata Konservasi Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*) di Bukit Lawang Kabupaten Langkat Sumatera Utara

*Strategy and policy in the management of Sumatran Orangutan (*Pongo abelii*) conservation tourism on the Lawang Hill in the Langkat district of North Sumatera*

Susilawati^a, Akhmad Fauzi^b, Cecep Kusmana^c, Nyoto Santoso^d

^a Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor, Indonesia

^b Guru Besar Institut Pertanian Bogor, Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, Indonesia

^c Guru Besar Institut Pertanian Bogor, Departemen Sivikultur, Fakultas Kehutanan IPB, Indonesia

^d Staf Pengajar Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan; Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan Institut Pertanian Bogor, Indonesia

Article Info:

Received: 18 - 05 - 2019

Accepted: 26 - 02 - 2020

Keywords:

AHP, Bukit Lawang, ISM, WKOB.

Corresponding Author:

Susilawati:

LEMHANNAS RI, Jl. Medan

Merdeka Selatan No. 10. Jakarta

10110

Email: sisiwitt@yahoo.com

Abstract: *This study aims to analyze the constraints and opportunities of the Bukit Lawang Orangutan Conservation Tourism (WKOB) management and also to formulate an alternative policy strategy in overcoming the obstacles of managing the WKOB. Method used in this research is involving several experts related to this research. The results showed the main constraints in the management of WKOB are the lack of integration of costs and entry fees, poor infrastructure to WKOB, lack of facilities, and too many entrances. Other constraints are the lack of stakeholder roles, particularly the local government of Langkat Regency, the lack of strict enforcement of regulations on environment and cleanliness, the lack of information and promotion of tourism, and the low mindset and public awareness of the importance of ecotourism and conservation. The threat of environmental damage to Gunung Leuser National Park, especially river rock mining (the existence of excavation C) in Bahorok river. An alternative strategy to overcome obstacles in managing WKOB is the need for integrated and professional sustainable tourism management.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Susilawati, Fauzi A, Kusmana C, Santoso N. 2020. Strategi dan kebijakan dalam pengelolaan wisata konservasi Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*) di Bukit Lawang Kabupaten Langkat Sumatera Utara. *JPSL* 10(1): 1-11. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.1-11>.

PENDAHULUAN

Pariwisata merupakan kegiatan fenomena ritual inversi. Ritual inversi adalah kecenderungan seseorang untuk mengunjungi tempat baru yang berbeda dari lingkungan atau tempat biasa mereka tinggal dalam waktu sementara, bertujuan untuk memperoleh pengalaman dan pengetahuan baru, atau sekedar melepaskan kepenatan. Oleh karena itu, wisatawan akan cenderung mencari tempat-tempat yang indah, unik, serta berbeda dari tempat biasanya mereka hidup untuk sementara (Hermawan, 2017). *World Tourism Organization* (WTO) mendefinisikan wisata adalah orang yang melakukan perjalanan untuk kesenangan dalam periode waktu tertentu. Ekowisata adalah kegiatan wisata yang berbasis ekologi. Perkembangan ekowisata disebabkan oleh semakin langkanya tatanan alam yang memiliki keaslian dan kekhasan, semakin meningkatnya isu lingkungan hidup, semakin meningkatnya kebijakan negara-negara untuk melindungi potensi alam dan budayanya,

semakin meningkatnya sarana dan prasarana perhubungan baik antar kota, wilayah ataupun antar negara dan semakin meningkatnya kesadaran masyarakat terhadap perlindungan dan pelestarian alam (Alikodra dan Hadi, 2002).

Orangutan telah menjadi salah satu obyek wisata yang menarik. Hal ini karena orangutan (*Pongo spp*) merupakan salah satu kera besar yang masih bertahan di wilayah Asia Tenggara. Kera besar lainnya hidup di Afrika yaitu gorilla (*Gorilla gorilla*), simpanse (*Pan Troglodytes*) dan bonobo (*Pan Paniscus*). Orangutan memiliki ketergantungan dengan kondisi hutan yang masih asri dan ekologi alam yang terjaga, serta merupakan primata *frugivorus* (hewan yang memakan buah-buahan). Orangutan memerlukan buah-buahan sebagai sumber makanan utamanya dan bahan makanan ini sesungguhnya sangat mudah diperoleh di hutan (Prayogo *et al.*, 2014).

Kabupaten Langkat merupakan salah satu tujuan daerah wisata Provinsi Sumatera Utara. Selama periode tahun 2014-2016 jumlah wisatawan yang datang ke Kabupaten Langkat mengalami penurunan yang cukup signifikan baik yang berasal dari wisatawan domestik maupun wisatawan mancanegara. Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat mencatat bahwa jumlah wisatawan domestik tahun 2014 mencapai 40 433 orang menurun menjadi 13 715 Tahun 2016, sedangkan wisatawan mancanegara dari 8 567 orang Tahun 2014 turun menjadi 4 855 orang tahun 2016. Jumlah wisatawan yang datang ke Kabupaten Langkat mengalami penurunan dari tahun 2014 sebesar 62% sampai tahun 2016 (BPSKL, 2017a). Wisata konservasi orangutan di Bukit Lawang merupakan konservasi nasional yang berada di kawasan hutan lindung Taman Nasional Gunung Leuseur Kabupaten Langkat, Sumatera Utara dan telah menjadi salah satu obyek alam yang sangat menarik. Konservasi ini memiliki karakteristik khusus yaitu dihuni oleh Orangutan Sumatera (*Pongo abelii*).

Penurunan kunjungan wisata konservasi Orangutan di Bukit Lawang (WKOB) diakibatkan oleh beberapa hal diantaranya: terjadinya pengaturan keuangan antarpusat dan daerah, sentralisasi menjadi desentralisasi dimana setiap daerah berusaha untuk mencari sumber pendapatan daerah dari wilayahnya (kearifan lokal) sehingga obyek wisata yang memiliki warisan yang tinggi tidak mendapat perhatian yang optimal dari Pemerintah Daerah setempat. Akibatnya lingkungan penyangga tereksplorasi sebagai contoh konversi lahan untuk perkebunan sehingga mengancam keberadaan habitat yang ada di dalamnya, penebangan kayu *illegal* yang berdampak banjir bandang, penambangan batu kali (galian C) di Sungai Bahorok dan kesadaran masyarakat dalam menjaga kebersihan dan kelestarian sungai yang rendah. WKOB ini adalah wisata minat khusus yang banyak diminati oleh wisatawan mancanegara yang berasal dari seluruh dunia, khususnya Eropa.

Menurut kajian dari Kementerian Pariwisata, menurunnya kunjungan wisman dari pasar Eropa antara lain Jerman, Perancis, Inggris, dan Belanda pada November 2014 sampai tahun 2015, antara lain karena dampak dari melemahnya mata uang Euro terhadap dolar AS, sehingga banyak yang mengalihkan liburannya ke negara terdekat. Selain itu, karena sebagian besar wisatawan yang berkunjung ke Kabupaten Langkat, khususnya Wisata Konservasi Orangutan Bukit Lawang datang melalui Malaysia dan Singapura. Sementara pada saat bersamaan di Malaysia juga terjadi penurunan kunjungan wisman, yang salah satu penyebabnya akibat pengaruh cuaca tingginya curah hujan yang menyebabkan banjir bandang dan tanah longsor di beberapa negara bagian Malaysia (Kompas, 2015).

Sismudjito dan Daulay (2018) telah melakukan penelitian pengembangan masyarakat berbasis sektor pariwisata untuk pertumbuhan ekonomi Bukit Lawang Kabupaten Langkat menggunakan metode penelitian partisipatif. Hasil dari proses dedikasi, masyarakat di Bukit Lawang memanfaatkan sumber daya alam sebagai kegiatan ekonomi. Sumber daya alam tersebut yakni sungai Bahorok di Bukit Lawang, Kabupaten Langkat, yang kini juga dikenal sebagai lokasi rekreasi bagi wisatawan. Berdasarkan penelitian tersebut diketahui terjadi peningkatan ekonomi masyarakat utamanya dari pengelolaan atraksi Sismudjito dan Daulay (2018). Namun demikian penelitian tersebut belum menunjukkan secara jelas nilai ekonomi yang didapatkan dari wisata konservasi orangutan di Bukit Lawang tersebut.

Dalam pengembangan strategi dan kebijakan ekowisata maka sangat perlu juga diketahui nilai ekonomi wisata konservasi orangutan di wilayah Bahorok tersebut melalui valuasi ekonomi. Terkait penilaian ekonomi

Krause *et al.* (2017) telah melakukan penilaian jasa ekonomi ekosistem berdasarkan persepsi komunitas pedesaan di Ethiopia yang menyimpulkan bahwa terdapat perubahan signifikan dalam penggunaan lahan dari waktu ke waktu karena sumber mata pencaharian utama dalam komunitas kemitraan. Penelitian Krieger (2001) telah menilai ekonomi ekosistem hutan dari ketersediaan air (*watersheet service*), stabilisasi tanah dan kontrol erosi, kualitas udara, pengaturan iklim dan carbon, keanekaragaman hayati, rekreasi dan parawisata/turisme, produk komersial hutan non kayu, dan nilai budaya. Pendekatan yang digunakan dalam mengukur nilai tersebut adalah metode biaya perjalanan (*travel cost method*) dengan pendekatan harga hedonic (*hedonic approach*). Pada penelitian ini valuasi ekonomi didekati melalui *Cost Benefit Analysis* yang merupakan sebuah pendekatan dengan proses yang sistematis dan analitis dengan membandingkan manfaat dan biaya dalam mengevaluasi keinginan suatu proyek atau program yang bersifat sosial. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui faktor-faktor yang menjadi kendala kunci dalam pengelolaan wisata konservasi orangutan di Bukit Lawang serta mengetahui strategi alternatif kebijakan yang tepat untuk mengatasi kendala pengelolaan kawasan wisata konservasi orangutan di Bukit Lawang.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Balai Besar Taman Nasional Gunung Leuser (BBTNGL), Seksi Pengelolaan Taman Nasional (SPTN) Wilayah V Bahorok Kabupaten Langkat Provinsi Sumatera Utara, tepatnya Wisata Konservasi Bukit Lawang. Lokasi wisata merupakan pusat konservasi khusus Orangutan Sumatera Langka dan sudah banyak dikunjungi wisatawan mancanegara sejak dibukanya wisata alam di Bukit Lawang, Langkat pada tahun 1985 hingga saat ini. Pada tahun tersebut baru dibuka secara resmi untuk umum sebagai obyek wisata minat khusus (wisata konservasi). Namun dalam beberapa tahun terakhir ini terjadi penurunan dari wisatawan mancanegara dan peminat dari wisata domestik, padahal terdapat objek wisata konservasi orangutan yang langka di dunia.

Metode Pengumpulan Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer. Data primer pada penelitian diperoleh dari hasil justifikasi pakar melalui wawancara secara mendalam dan diskusi-diskusi dengan *key person* atau pakar berdasarkan kuesioner *Interpretative Structural Modelling (ISM)* dan *Analytical Hierarchy Process (AHP)*. Kuesioner dirancang berdasarkan literatur, kunjungan lapangan dan diskusi-diskusi serta konfirmasi dengan para *key person/pakar*. Justifikasi pakar/*key person* yang dituangkan dalam masing kuesioner kemudian diolah dengan *software ISM* untuk hasil kuesioner ISM dan kedalam *Expert Choice 2000* untuk data justifikasi pakar AHP. *Key person/pakar* yang memberikan justifikasi dalam penelitian ini sebanyak 11 orang, yang mewakili BBTNGL, yaitu dari SPTN V sebanyak empat orang (kepala SPTN V, dua Pengolahan Data Perencanaan, Perlindungan & Pengawetan TN Wilayah, polisi hutan senior), satu kepala Bidang Perencanaan BBTNGL, kasie operasional dan pelayanan, satu orang pakar konservasi dan ekowisata, Tokoh masyarakat Bukit Lawang, Pelaku Pariwisata (pengusaha tour & travel serta mewakili asosiasi pariwisata Bukit Lawang), Konsultan Pariwisata dan Pakar analisis pariwisata dan lingkungan.

Metode Analisis Data

Metode pengolahan data dilakukan dengan menginputkan data justifikasi masing-masing kuesioner pendapat pakar ke dalam piranti lunak (*software*) System ISM untuk kuesioner ISM, kemudian lakukan proses *running* sampai keluar hasil akhir dalam bentuk gambar matriks *driver power-dependence* elemen dan gambar strukturnya. ISM digunakan untuk melakukan analisis kendala dalam pengelolaan wisata konservasi Orangutan Bukit Lawang dan kelembagaan WKOB agar efektif. Penyusunan elemen-elemen dan sub-elemen untuk kebutuhan analisis ISM dalam penelitian ini, disusun berdasarkan literatur, kondisi di lapangan dan konfirmasi

beberapa pakar/*key person* yang benar-benar memahami WKOB, terutama pengelola SPTN V, pelaku usaha pariwisata setempat dan tokoh masyarakat di Bukit Lawang. Berdasarkan hasil penelitian hanya empat elemen yang diperlukan untuk menjawab tujuan penelitian dari Sembilan elemen dalam Saxena (1990), yaitu elemen kendala utama, elemen *stakeholder* yang terlibat (kelembagaan), elemen kebutuhan program dan elemen perubahan yang harus dilakukan. Dalam penyusunan elemen dan sub-elemen, peneliti melakukan kajian literature, kunjungan awal dan observasi langsung ke lokasi penelitian dan melakukan konfirmasi kepada para pakar/*key person*.

Empat elemen utama yang dianalisis dengan menggunakan ISM adalah 1). Lembaga atau *stakeholder* yang terlibat dalam pengelolaan WKOB, 2) Kendala utama WKOB, 3) Kebutuhan program WKOB, dan 4) Perubahan yang harus dilakukan. Keempat elemen tersebut masing-masing dijabarkan ke dalam beberapa sub-elemen yang diperoleh dari kajian beberapa literature dan pengamatan langsung di lapangan serta konfirmasi pakar, kemudian dituangkan dalam bentuk kuesioner ISM. Berdasarkan kuesioner ISM diperoleh justifikasi masing-masing pakar berupa matriks V, A, X dan O.

Berdasarkan hasil penelitian baik kajian literatur, hasil kunjungan lapangan dan konfirmasi pakar sub-elemen/unsur masing-masing elemen adalah sebagai berikut. Lembaga atau *stakeholder* yang terlibat dalam pengelolaan WKOB terdiri dari unsur: 1). Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2) Kementerian Pariwisata, 3) Balai Besar Taman Nasional Gunung Leuser (BBTNGL), 4) Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Langkat, 5) Dinas Pendapatan Daerah Kabupaten Langkat, 6) Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Langkat, 7) Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Langkat (Bappeda), 8) Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Kabupaten Langkat, 9) Lembaga Swadaya Masyarakat, 10) Lembaga Pendidikan/Universitas, 11) Pelaku Bisnis Pariwisata, 12) Masyarakat, dan 13) Wisatawan.

Elemen Kendala utama WKOB terdiri dari (1) Ancaman kerusakan lingkungan TNGL (galian C dan sampah), (2) Belum terintegrasinya retribusi dan tarif masuk, (3) Buruknya infrastruktur menuju WKOB, (4) Kurangnya sarana dan prasarana serta fasilitas, (5) Konflik satwa liar, (6) Kurangnya penunjuk arah, (7) Banyaknya pintu masuk, (8) Alih fungsi lahan, (9) Kurangnya peran stakeholders terutama Pemerintah, (10) Kurang tegasnya penegakan peraturan terutama terkait dengan lingkungan dan kebersihan, (11) Kurangnya informasi dan promosi wisata, (12) Masih rendahnya pola pikir dan kesadaran masyarakat akan pentingnya ekowisata dan konservasi.

Elemen Kebutuhan program WKOB terdiri dari sub-elemen: (1) Pengembangan kebijakan kerjasama dengan Kementerian dan Pemerintah Daerah, (2) SDM pengelolaan yang berkualitas, (3) Sarana dan prasarana pengelolaan kawasan konservasi, (4) Pendidikan dan pelatihan bagi masyarakat, (5) Penangkaran satwa, (6) Integrasi program konservasi antar stakeholders, (7) Tenaga penyuluh dan pendamping untuk masyarakat, (8) Pemberian mata pencaharian alternatif bagi masyarakat, (9) Perbaikan sarana dan prasarana serta fasilitas dan (10) Peningkatan infrastruktur. Elemen Perubahan yang harus dilakukan harus dilakukan (1) Sinkronisasi dan kerjasama antar stakeholders dalam meningkatkan pengelolaan dan pelayanan wisata konservasi, (2) Menyediakan penangkaran satwa, (3) Menerapkan sanksi tegas terhadap perusakan lingkungan, (4) Penerapan kebijakan tiket masuk terintegrasi dan pelayanan satu pintu masuk, (5) Sosialisasi kepada masyarakat tentang perizinan dan pemanfaatan sumberdaya hutan, (6) Pengadaan sarana dan prasarana serta fasilitas di kawasan konservasi, (7) Diadakannya event rutin seluruh stakeholders dalam upaya menjaga lingkungan, (8) Peningkatan pengetahuan dan pembinaan terhadap masyarakat tentang manfaat hutan termasuk ekowisata, (9) Peningkatan keterampilan dan kreativitas masyarakat, (10) Penataan lingkungan hidup, ketertiban dan kebersihan serta kenyamanan dan (11) Penyediaan sarana dan prasarana untuk pemeliharaan lingkungan.

Sementara untuk alternatif solusi pengelolaan WKOB menggunakan AHP dengan bantuan piranti lunak *Expert Choice 2000*. Data yang diolah pada AHP menggunakan *Expert Choice 2000* berdasarkan justifikasi seluruh pakar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Kelembagaan dan Kendala dengan ISM

Struktur elemen analisis kendala dan peluang dalam pengelolaan Wisata Konservasi Orangutan Bukit Lawang (WKOB) dianalisis dengan metode ISM berdasarkan justifikasi ke-11 pakar/*key person* yang telah diwawancarai secara mendalam dengan instrumen kuesioner ISM. Hasil justifikasi masing-masing pakar pada empat elemen utama yang harus diperhatikan dalam menentukan kebijakan, yaitu 1) Lembaga yang terlibat dalam pengelolaan WKOB, 2) Kendala utama WKOB, 3) Kebutuhan program WKOB, dan 4) Perubahan yang harus dilakukan yang berupa matriks V, A, X dan O yang diinputkan ke dalam sistem ISM. Output dari sistem ISM berupa klasifikasi penilaian berdasarkan diagram Kartesius ISM, nilai *driver power* (DP) dan nilai *dependence* (D) dan membentuk struktur elemen. Secara garis besar klasifikasi elemen tersebut digolongkan dalam empat sektor yaitu (Eriyatno 2003 dan Marimin 2008):

1. Sektor I : *Weak driver-weak dependent variables (AUTONOMUS)*. Sub-elemen yang masuk dalam sektor ini umumnya tidak berkaitan dengan sistem, dan mungkin mempunyai hubungan sedikit, meskipun hubungan tersebut bisa saja kuat.
2. Sektor I : *Weak driver-weak dependent variables (AUTONOMUS)*. Sub-elemen yang masuk dalam sektor ini umumnya tidak berkaitan dengan sistem, dan mungkin mempunyai hubungan sedikit, meskipun hubungan tersebut bisa saja kuat.
3. Sektor II : *Weak driver-strongly dependent variables (DEPENDENT)*. Umumnya sub-elemen yang masuk dalam sektor ini adalah sub-elemen yang tidak bebas.
4. Sektor III : *Strong driver-strongly dependent variables (LINKAGE)*. Sub-elemen yang masuk dalam sektor ini harus dikaji secara hati-hati, sebab hubungan antar sub-elemen tidak stabil. Setiap tindakan pada sub-elemen akan memberikan dampak terhadap sub-elemen lainnya dan pengaruh umpan baiknya dapat memperbesar dampak.
5. Sektor IV : *Strong driver-weak dependent variables (INDEPENDENT)*. Sub-elemen yang masuk dalam sektor ini merupakan bagian sisa dari sistem dan disebut berubah bebas.

Hasil analisis dengan ISM untuk kendala dan peluang dalam pengelolaan wisata konservasi Orangutan di Bukit Lawang berupa elemen 1) Lembaga yang terlibat dalam pengelolaan WKOB, 2) Kendala utama WKOB, 3) Kebutuhan program WKOB, dan 4) Perubahan yang harus dilakukan secara lengkap dijelaskan berikut.

Lembaga atau Stakeholder yang Terlibat

Elemen lembaga yang terlibat dalam rangka mengetahui kendala dan peluang pengelolaan WKOB berdasarkan kajian literature, pengamatan langsung dan konfirmasi para pakar/*key person* terdiri dari 13 sub elemen, yaitu 1) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2) Kementerian Pariwisata, 3) Balai Besar Taman Nasional Gunung Leuser (BBTNGL), 4) Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Langkat, 5) Dinas Pendapatan Daerah Kabupaten Langkat, 6) Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Langkat, 7) Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Langkat (Bappeda), 8) Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Kabupaten Langkat, 9) Lembaga Swadaya Masyarakat, 10) Lembaga Pendidikan/Universitas, 11) Pelaku Bisnis Pariwisata, 12) Masyarakat, dan 13) Wisatawan. Hasil analisis dengan sistem ISM berupa matriks driver power-dependence untuk elemen Lembaga atau kelompok yang terlibat dalam pengelolaan WKOB dapat dilihat pada Gambar 1.

Hasil analisis matriks pada Gambar 1 menunjukkan bahwa sub elemen Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Pariwisata dan Balai Besar Taman Nasional Gunung Leuser berada pada sektor

IV (*independent*), sub elemen ini sebagai *driver power* (daya pendorong utama paling besar dengan tingkat ketergantungan terhadap sub elemen lembaga atau kelompok yang terlibat dalam pengelolaan WKOB lainnya paling rendah). Artinya, lembaga utama yang terlibat dalam pengelolaan WKOB adalah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Pariwisata dan Balai Besar Taman Nasional Gunung Leuser. Ketiga lembaga tersebut akan mempengaruhi lembaga yang lain (terkait sub elemen lainnya yang dikaji).

Sub elemen Dinas Kehutanan dan Perkebunan Kabupaten Langkat, Dinas Pendapatan Daerah Kabupaten Langkat, Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Langkat, Badan Perencanaan dan Pembangunan Daerah Kabupaten Langkat, Dinas Pariwisata dan Kebudayaan Kabupaten Langkat dan Lembaga Pendidikan/Universitas berada pada *sector III/linkage* yang merupakan kekuatan penggerak yang besar terhadap pengelolaan WKOB. Artinya, yang menjadi faktor penggerak atau yang dapat memberikan dampak lebih besar terhadap lembaga lainnya adalah sub elemen yang telah disebutkan. Sub elemen Lembaga Swadaya Masyarakat, Pelaku bisnis pariwisata, Masyarakat dan Wisatawan berada pada (*sector II/dependent*) keberadaan sub elemen ini bergantung pada sub elemen lainnya. Artinya, keempat sub elemen dipengaruhi oleh lembaga atau kelompok yang menjadi kunci utama (daya pendorong terkuat). Secara lengkap struktur hirarki elemen Lembaga yang terlibat dalam pengelolaan WKOB dapat dilihat pada Gambar 2.

Lembaga yang terlibat dalam pengembangan wisata konservasi di Bukit Langkat sangat dibutuhkan dalam upaya peningkatan pariwisata di Bukit Lawang, selain untuk menjaga keberlangsungan wisata konservasi orangutan juga agar dapat bekerjasama dalam meningkatkan promosi (Yusnikusumah dan Sulystiawati 2016).

Kendala Utama

Hasil analisis dengan sistem ISM berupa struktur hierarki untuk elemen Kendala utama dalam pengelolaan WKOB dapat dilihat pada Gambar 3. Hasil analisis menunjukkan bahwa sub elemen Belum terintegrasinya retribusi dan tarif masuk, Buruknya infrastruktur menuju WKOB, Kurangnya sarana dan prasarana serta fasilitas, dan Banyaknya pintu masuk berada pada sektor IV (*independent*), sub elemen ini sebagai *driver power* (daya pendorong utama paling besar dengan tingkat ketergantungan terhadap sub elemen Kendala utama dalam pengelolaan WKOB lainnya paling rendah). Artinya, kendala utama dalam pengelolaan WKOB adalah belum terintegrasinya retribusi dan tarif masuk, buruknya infrastruktur menuju WKOB, kurangnya sarana dan prasarana serta fasilitas, dan banyaknya pintu masuk. Keempat kendala tersebut akan mempengaruhi kendala yang lain. Buruknya pengelolaan terhadap sarana dan prasarana kawasan wisata di Bukit Lawang sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Idihan (2004).

Sub elemen kurangnya peran *stakeholders* terutama pemerintah, kurang tegasnya penegakan peraturan terutama terkait dengan lingkungan dan kebersihan, kurangnya informasi dan promosi wisata, dan masih rendahnya pola pikir dan kesadaran masyarakat akan pentingnya ekowisata dan konservasi berada pada *sector III/linkage* yang merupakan kekuatan penggerak yang besar terhadap pengelolaan WKOB. Artinya, yang menjadi faktor penggerak atau yang dapat memberikan dampak lebih besar terhadap kendala utama lainnya adalah sub elemen kurangnya peran *stakeholders* terutama Pemerintah Daerah, kurang tegasnya penegakan peraturan terutama terkait dengan lingkungan dan kebersihan, kurangnya informasi dan promosi wisata, dan masih rendahnya pola pikir dan kesadaran masyarakat akan pentingnya ekowisata dan konservasi. Sub elemen ancaman kerusakan lingkungan TNGL (galian C dan sampah), konflik satwa liar, kurangnya penunjuk arah dan alih fungsi lahan berada pada (*sector II/dependent*) keberadaan sub elemen ini bergantung pada sub elemen lainnya. Artinya, keempat sub elemen dipengaruhi oleh lembaga atau kelompok yang menjadi kunci utama (daya pendorong terkuat).

Kebutuhan Program

Pada elemen Kebutuhan program dalam upaya pengelolaan WKOB, hasil analisis dengan sistem ISM berupa struktur hierarki untuk elemen kebutuhan program dalam pengelolaan WKOB dapat dilihat pada Gambar 4. Hasil analisis ISM menunjukkan bahwa sub elemen Pengembangan kebijakan kerjasama dengan Kementerian dan pemerintah daerah, SDM pengelola yang berkualitas, dan Sarana dan prasarana pengelolaan kawasan konservasi *driver power* (daya pendorong utama) dan fakto kunci. Artinya, Kebutuhan program dalam pengelolaan WKOB adalah Pengembangan kebijakan kerjasama dengan Kementerian dan pemerintah daerah, SDM pengelola yang berkualitas, dan Sarana dan prasarana pengelolaan kawasan konservasi. Ketiga kebutuhan program tersebut akan mempengaruhi kebutuhan program yang lain (terkait sub elemen lainnya yang dikaji). Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Siburian (2006), pemerintah daerah telah menerbitkan SK Bupati Kepala Daerah Tingkat II 071-673/SK/tahun 1998 tanggal 23 September 1998 tentang Pembentukan Panitia Sosialisasi Komitmen Tokoh Masyarakat dan Adat terhadap Ekosistem Leuser, hal tersebut dilakukan dalam upaya kepedulian terhadap kelestarian TNGL terutama di Bukit Lawang.

Sub elemen Pendidikan dan pelatihan bagi masyarakat, Integrasi program konservasi antar stakeholder, Tenaga penyuluh dan pendamping untuk masyarakat, Perbaikan sarana dan prasarana serta fasilitas, Peningkatan infrastruktur berada pada *sector III/linkage* yang merupakan kekuatan penggerak yang besar terhadap pengelolaan WKOB. Sub elemen tersebut harus dikaji dengan hati-hati, sebab hubungan antar sub elemen tidak stabil. Setiap tindakan pada sub elemen bisa memberikan dampak pada sub elemen lain, dan umpan balik memperbesar dampak. Artinya, yang menjadi faktor penggerak atau yang dapat memberikan dampak lebih besar terhadap kebutuhan program lainnya adalah sub elemen pendidikan dan pelatihan bagi masyarakat, integrasi program konservasi antar stakeholder, tenaga penyuluh dan pendamping untuk masyarakat, perbaikan sarana dan prasarana serta fasilitas, peningkatan infrastruktur.

Sub elemen penangkaran satwa, dan pemberian mata pencaharian alternatif bagi masyarakat berada pada (*sector II/dependent*) keberadaan sub elemen ini bergantung pada sub elemen lainnya. Artinya, kedua sub elemen dipengaruhi oleh lembaga atau kelompok yang menjadi kunci utama (daya pendorong terkuat).

Perubahan yang Harus Dilakukan

Pada elemen perubahan yang memungkinkan dapat dilakukan dalam upaya pengelolaan WKOB hasil analisis ISM menunjukkan bahwa sub elemen sinkronisasi dan kerjasama antar *stakeholder* dalam meningkatkan pengelolaan dan pelayanan wisata konservasi, dan penerapan kebijakan tiket masuk terintegrasi dan pelayanan satu pintu masuk berada pada sektor IV (*independent*), sub elemen ini sebagai *driver power* (daya pendorong utama paling besar) dan faktor kunci dalam pengelolaan WKOB. Artinya, perubahan yang memungkinkan dapat dilakukan dalam pengelolaan WKOB agar efektif dan optimal adalah melakukan sinkronisasi dan kerjasama antar *stakeholder* dalam meningkatkan pengelolaan dan pelayanan wisata konservasi. Kedua perubahan yang memungkinkan tersebut akan mempengaruhi perubahan yang lain (terkait sub elemen lainnya yang dikaji).

Sub elemen menerapkan sanksi tegas terhadap perusakan lingkungan, sosialisasi kepada masyarakat tentang perizinan dan pemanfaatan sumberdaya hutan, diadakannya *event* rutin seluruh stakeholder dalam upaya menjaga lingkungan, peningkatan pengetahuan dan pembinaan terhadap masyarakat tentang manfaat hutan termasuk ekowisata, peningkatan keterampilan dan kreativitas masyarakat berada pada *sector III/linkage* yang merupakan kekuatan penggerak yang besar terhadap pengelolaan WKOB. Sub elemen tersebut harus dikaji dengan hati-hati, sebab hubungan antar sub elemen tidak stabil. Setiap tindakan pada sub elemen bisa memberikan dampak pada sub elemen lain, dan umpan balik memperbesar dampak. Artinya, yang menjadi faktor penggerak atau yang dapat memberikan dampak lebih besar terhadap kebutuhan program lainnya adalah sub elemen menerapkan sanksi tegas terhadap perusakan lingkungan, sosialisasi kepada masyarakat tentang perizinan dan pemanfaatan sumberdaya hutan, diadakannya event rutin seluruh stakeholder dalam upaya

menjaga lingkungan, peningkatan pengetahuan dan pembinaan terhadap masyarakat tentang manfaat hutan termasuk ekowisata, peningkatan keterampilan dan kreativitas masyarakat.

Analisis Alternatif Solusi Pengelolaan WKOB dan Kebijakan

Analisis alternatif solusi dalam rangka pengelolaan WKOB berdasarkan justifikasi para pakar sebanyak 11 orang. Justifikasi pakar diperoleh berdasarkan hasil pengisian kuesioner AHP melalui wawancara mendalam langsung. *Goal* dari analisis ini adalah pemilihan alternatif solusi pengelolaan WKOB, dengan kriteria Efisiensi biaya, kriteria kedua Ramah Lingkungan dan Efektifitas dalam pengelolaan. Penyusunan hirarki AHP melalui dekomposisi permasalahan berdasarkan literatur, pengamatan langsung peneliti saat beberapa kali berkunjung ke WKOB dan dikonfirmasi dengan beberapa orang pakar yang benar-benar faham dengan WKOB.

Justifikasi masing-masing pakar berupa angka perbandingan berpasangan (*pairwise comparison*) yang diperoleh dalam matriks kuesioner, kemudian diinputkan ke dalam piranti lunak Expert Choice 2000. Kuesioner setiap pakar setelah diinputkan, kemudian langsung dikompilasi sampai diperoleh sintesis hasilnya berupa bobot komposit untuk setiap alternatif strategi, faktor dan sub-faktornya. Hasil akhir justifikasi seluruh pakar AHP yang diolah diperoleh dengan melakukan kompilasi seluruh pakar yang diinputkan ke dalam piranti lunak Expert Choice, dengan cara melakukan kompilasi pendapat gabungan, dalam piranti lunak tersebut sudah tersedia menu *combine individual*.

Berdasarkan hasil akhir analisis AHP dengan piranti lunak *Expert choice* menurut justifikasi seluruh pakar, menunjukkan bahwa alternatif solusi pengelolaan WKOB (hasil sintesis goal) utama adalah pengelolaan wisata terintegrasi dan profesional serta berkelanjutan dengan bobot sebesar 0.419 (41.9%). Artinya alternatif utama yang dilakukan untuk mengelola WKOB adalah dengan cara pengelolaan wisata yang terintegrasi dan dijalankan secara profesional serta berkelanjutan. Alternatif selanjutnya adalah melakukan Pembinaan dan pemberdayaan masyarakat/wisatawan dengan bobot sebesar 0.263 (26.3%), alternatif yang ketiga adalah Penyediaan infrastruktur, sarpras dan fasilitas dengan bobot sebesar 0.062 (6.3%), sedangkan alternatif keempat dan kelima adalah Promosi wisata dan penyebaran informasi (0.097) dan Pengembangan atraksi dan produk (0.062). Secara keseluruhan, hasil olah data disajikan pada Gambar 6.

Dalam usaha pengembangan wisata alam minat khusus atau ekowisata, partisipasi pemerintah sangat diharapkan sekali terutama dalam menyusun rencana tata ruang dengan baik dan matang. Beberapa usaha Pemerintah dalam pengendalian kepariwisataan yakni pengembangan wisata alam di Bukit Lawang seperti yang disampaikan oleh Sinuhaji (2009), adalah: menyediakan kantor *tourist information*, pembinaan terhadap industri pariwisata di Bukit Lawang dan sekitarnya, mengurus atau mengeluarkan surat izin masuk kawasan Hutan Taman Nasional, membuat tanda-tanda larangan dilokasi kegiatan wisata lintas alam dan membuat rambu – rambu pariwisata menuju objek wisata Bukit Lawang

Alternatif solusi yang terpilih diperoleh dari sintesis pengolahan AHP pendapat seluruh pakar dalam pengelolaan WKOB, yaitu pengelolaan wisata terintegrasi dan profesional serta berkelanjutan (0,419) dipengaruhi dan harus didukung beberapa kriteria, terutama kriteria Efektivitas dengan bobot sebesar 0.540 (54%). Artinya dalam pengelolaan WKOB, khususnya untuk pengelolaan wisata konservasi yang terintegrasi, profesional dan berkelanjutan faktor “efektifitas” menjadi hal utama yang harus diperhatikan, baik itu efektifitas dari sisi ketersediaan infrastruktur, sarana dan prasarana fasilitas pendukung, kerjasama antar pemangku kepentingan, kebijakan, dan lain-lainnya. Faktor lain Ramah lingkungan dengan bobot sebesar 0.297 (29.7%), dan Efisiensi biaya dengan bobot sebesar 0.163 (16.3%) juga harus diperhatikan agar solusi strategis dalam pengelolaan WKOB menjadi optimal dan dapat diterapkan. Tentunya untuk keberhasilan implementasi strategi tersebut harus benar-benar di dukung oleh peran lembaga/*stake holder* yang terlibat sebagai faktor kunci, yaitu Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Pariwisata dan Balai Besar Taman Nasional Gunung Leuser (SPTN V Bukit Lawang) serta Pemda (Sumut maupun Kabupaten Langkat) melalui Dinas Pariwisata.

Implikasi Manajerial

Sejak diberlakukannya sistem pengelolaan pemerintahan dari sentralisasi menjadi desentralisasi dengan harapan daerah bisa membangun wilayahnya secara mandiri sesuai dengan kearifan lokal masing-masing daerah yang akhirnya memacu kerja keras untuk mencari sumber APBD bagi daerahnya, apa yang dapat diperbaharui serta diberdayakan untuk mendapatkan keuntungan profit yang kemudian tanpa disadari atau tidak disadari memberikan akibat terhadap kerusakan lingkungan. Karena seringkali sumber daya alam di daerah yang lebih mudah untuk dieksploitasi menjadi sumber pendapatan dan sering melupakan dampak kerusakan yang pada akhirnya mengakibatkan bencana alam bagi daerah tersebut yang tentunya kembali malah merugikan masyarakat setempat. Maksud dari eksplorasi/eksploitasi sumber daya alam untuk mendukung kehidupan yang lebih baik dan sejahtera namun karena melupakan bahwa sejatinya manusia hidup harus berdampingan dengan alam sehingga masyarakat menjadi korban dari eksploitasi tersebut. Biodiversity yang dimiliki oleh alam Indonesia sejatinya dapat menjadi sumber kekayaan bukan semata keuntungan profit dengan mendatangkan wisatawan tetapi juga kekayaan pengetahuan yang dapat memberikan kesadaran bagi masyarakat, dengan kekayaan biodiversity yang dimiliki Indonesia menjadi sebuah warisan yang tidak dimiliki negara lain, dari nilai *heritage* tentu ini sangat mahal dan tidak dapat dinilai dengan uang untuk keberlangsungan hidup ke depan.

Dalam hal ini Pemerintah Daerah juga terus memastikan dengan tegas batas zona hutan konservasi Orangutan dengan kebun masyarakat agar tidak terjadi konflik satwa yang berakibat terganggunya habitat Orangutan, dan diharapkan mampu mengelola dan menerapkan kebijakan yang seimbang antara ekonomi, lingkungan dan masyarakat. Tidak semua sumber daya alam dieksploitasi besar-besaran demi mendapatkan sumber keuangan yang besar apabila pada akhirnya juga mengakibatkan bencana bagi lingkungan yang merugikan semua pihak. Dengan terjadinya bencana banjir bandang di sungai Bahorok pada tahun 2006 sebagai bukti dapat dijadikan pelajaran berharga bagi semua utama Pemerintah untuk kedepankan menjaga lingkungan atau sumber daya alam yang *sustainable*.

Dalam rangka mewujudkan pengelolaan wisata konservasi Orangutan di Bukit Lawang, perlu diperhatikan beberapa kendala utama diantaranya adalah belum terintegrasinya retribusi dan tarif masuk, buruknya infrastruktur menuju WKOB, kurangnya sarana dan prasarana serta fasilitas, dan banyaknya pintu masuk. Alternatif strategi kebijakan dalam mengatasi kendala pengelolaan WKOB adalah dengan pengelolaan wisata terintegrasi dan profesional serta berkelanjutan dengan memperhatikan faktor efektivitas, baik efektivitas dari sisi ketersediaan infrastruktur, sarana dan prasarana fasilitas pendukung, kerjasama antar pemangku kepentingan, kebijakan dan lain-lainnya. Faktor lain yang harus diperhatikan adalah ramah lingkungan dan efisiensi biaya agar solusi strategis dalam pengelolaan WKOB menjadi optimal dan dapat diterapkan. Tentunya untuk keberhasilan implementasi strategi tersebut harus benar-benar didukung oleh peran lembaga yang terlibat sebagai faktor kunci yaitu Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Kementerian Pariwisata dan Balai Besar Taman Nasional Gunung Leuseur (SPTN V Bukit Lawang) serta Pemda (Sumut maupun Kabupaten Langkat) melalui Dinas Pariwisata.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa: 1) Kendala utama dalam pengelolaan WKOB adalah (a) belum terintegrasinya retribusi dan tarif masuk, (b) buruknya infrastruktur menuju WKOB, (c) kurangnya sarana dan prasarana serta fasilitas dan (d) banyaknya pintu masuk. Keempat kendala tersebut akan mempengaruhi kendala yang lain (terkait sub elemen lainnya yang dikaji). Kendala lainnya kurangnya peran stakeholders terutama Pemerintah Daerah Kabupaten Langkat, kurang tegasnya penegakan peraturan terutama terkait dengan lingkungan dan kebersihan, kurangnya informasi dan promosi wisata, dan masih rendahnya pola pikir dan kesadaran masyarakat akan pentingnya ekowisata dan konservasi. Ancaman kerusakan lingkungan TNGL terutama galian C dan sampah merupakan hal yang tidak bisa dianggap sepele. Apabila

tidak dilakukan tindakan tegas terutama Pemerintah Daerah Kabupaten Langkat maupun Pemerintah Provinsi Sumatera Utara maka hal ini dapat mengancam kerusakan lingkungan dan ekosistem. 2) Alternatif strategi kebijakan dalam mengatasi kendala pengelolaan WKOB adalah Pengelolaan wisata terintegrasi dan profesional dengan bobot sebesar 0.419 (41.9%), artinya alternatif utama yang dilakukan untuk mengelola WKOB adalah dengan cara pengelolaan wisata yang terintegrasi dan dijalankan secara profesional. Alternatif selanjutnya adalah melakukan pembinaan dan pemberdayaan masyarakat/wisatawan dengan bobot sebesar 0.263 (26.3%), alternatif yang ketiga adalah penyediaan infrastruktur, sarpras dan fasilitas dengan bobot sebesar 0.160 (16%), sedangkan alternatif keempat dan kelima adalah promosi wisata dan penyebaran informasi (0.097) dan pengembangan atraksi dan produk (0.062).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pakar/*key person* yang telah bersedia memberikan justifikasi dan berbagai masukan dalam penelitian ini dan kepada seluruh staf BBTNGL, khususnya pimpinan dan staf SPTN Bukit Lawang yang telah membantu memberika data dan menjadi sarana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPSKL] Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat. 2016a. *Kabupaten Langkat Dalam Angka 2017*. Langkat (ID): Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat
- [BPSKL] Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat. 2016b . *Satistik Kabupaten Langkat 2017*. Langkat (ID): Badan Pusat Statistik Kabupaten Langkat.
- Alikodra, Hadi S. 2012. *Konservasi Sumber Daya Alam dan Lingkungan*. Yogyakarta (ID). UGM Press.
- Eriyatno FS. 2007 . *Riset Kebijakan: Metode Penelitian untuk Pascasarjana*. Bogor (ID): IPB Press.
- Hermawan H. 2017. *Geowisata, Pengembangan Pariwisata Berbasis Konservasi. ICT [Internet].Idihan A. (2004). Upaya pengembangan kawasan wisata Bukit Lawang dalam Rangka Peningkatan pendapatan asli daerah kabupaten Langkat*. Respository USU (ID): Medan.
- Kompas. 2015. Diunduh pada 22 Februari 2019) Tersedia pada <https://travel.kompas.com/read/2015/01/09/170500127/Kunjungan.Turis.Asing.Sempat>.
- Krieger, DJ. 2001. *The Economic Value of Forest Ecosystem Service: A Review*. Washington (US). The Wilderness Society.
- Marimin. 2008. *Pengambilan Keputusan Kriteria Majemuk*. Jakarta (ID): PT Grasaindo.
- P Alexander, Jan Philipp Dietrich, Hermann Lotze-Campen, David Klein, Nico Bauer, Michael Krause, Tim Beringer, Dieter Gerten and Ottmar Edenhofer. 2011. The economic potential of bioenergy for climate change mitigation with special attention given to implications for the land system. *Environmental Research Letters*. 6(3).
- Prayogo H, Thohari AM, Sholihin DD, Prasetyo LB, Sugardjito. 2014. Karakter kunci pembeda antara Orangutan Kalimantan (*Pongo pygmaeus*) dengan Orangutan sumatera (*Pongo abelii*). *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fisik*. 16(1) 61-68.
- Saxena JP, P Vrat, Shusil. 1990. Hierarchy and classification of program plan element using interpretive structural modeling, *System Practice*. 5(6): 651-670.
- Siburian R. 2006. Pengelolaan Taman Nasional Gunung Leuseur bagian Bukit Lawang berbasis promowisata. *Jurnal masyarakat dan dan Budaya*. 8(1): 67-100.
- Sinuhaji. 2009. Pengendalian kawasan wisata alam dan hubungannya dengan ketataruangan. *Jurnal Geografis*. 1(1): 73-76.
- Sismudjito, Daulay H. 2018. Community development based on tourism sectors for economic growth area Districts Bahorok District Langkat. *IJTRD*. 5(1): 85-88.
- Warsono, Soetrioro, Januar J. 2014. Strategi Pemberdayaan masyarakat sekitar hutan konservasi Taman Wisata Alam Gunung Baung dalam upaya mengurangi perambahan Hutan. *JSEP*. 7(2):62-7.

Yusnikusumah R, Sulystiawati E. 2016. Evaluasi pengelolaan ekowisata di Kawasan Ekowisata Tangkahan Taman Nasional Gunung Leuser Sumatera Utara. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*. 27(3): 173-189.



Pemodelan Kesesuaian Habitat Katak Serasah (*Leptobrachium Hasseltii* Tschudi 1838) dengan Sistem Informasi Geografis di Pulau Jawa

Modelling the Habitat Suitability of Hasselt's Litter Frog (*Leptobrachium hasseltii* Tschudi 1838) using Geographic Information System in Java Island

Anika Putri, Mirza Dikari Kusri, Lilik Budi Prasetyo

Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia

Article Info:

Received: 24 - 07 - 2019

Accepted: 05 - 09 - 2019

Keywords:

Habitat suitability, hasselt's litter frog, maxent, GIS, modeling.

Corresponding Author:

Anika Putri

Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor;

Email: anikaputrip@gmail.com

Abstract: *Hasselt's litter frogs (*Leptobrachium hasseltii* Tschudi 1838) is a wide spread species in Java and Sumatra, however, the specific distribution map for this species is not available. The purpose of this study is to identify the distribution of hasselt's litter frogs in Java and to examine the suitability map of the species by using maximum entropy method. We used presence data and environment variables consist of elevation, slope, NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), distance from the river, temperature, precipitation, and land cover types to develop the distribution model of this species. Hasselt's litter frogs in Java depends on forested area with a wide range of elevation (lowland to mountain forests), moderate slope, temperature between 20-21°C and rainfall over 2500 mm/year. The highest number of frogs are found in secondary forest land cover, NDVI values between 0.8 to 0.9 and relatively close to the river. Habitat model constructed are robust with AUC (Area Under Curve) value of 0.951. Environmental variables that most affected habitat for hasselt's litter frog are land cover, temperature, and slope.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Putri A, Kusri MD, Prasetyo LB. 2019. Pemodelan kesesuaian habitat Katak Serasah (*Leptobrachium Hasseltii* Tschudi 1838) dengan sistem informasi geografis di Pulau Jawa. *JPSL* 10(1): 12-24. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.12-24>.

PENDAHULUAN

Pemetaan terkait amfibi di Pulau Jawa tergolong masih jarang dilakukan. Penelitian terbaru yang dilakukan Afrianto (2015) mendata sebanyak 38 jenis amfibi yang terbagi ke dalam 7 famili di Pulau Jawa. Data tersebut berdasarkan spesimen amfibi yang terdapat di Laboratorium Herpetologi MZB (Museum Zoologicum Bogoriense) dan dari berbagai literatur penelitian di bidang amfibi. Katak serasah (*Leptobrachium hasseltii* Tschudi 1838) merupakan salah satu jenis amfibi yang terdapat di Pulau Jawa. Berudu katak serasah tergolong sensitif terhadap kondisi kekurangan mineral lingkungan pada air, berudu akan gagal bermetamorfosis dan tetap menjadi berudu selama hidupnya (Iskandar, 1998). Hal ini dapat menjadikan berudu jenis ini sebagai bio-indikator dari kualitas air.

Katak serasah (*Leptobrachium hasseltii* Tschudi 1838) merupakan jenis dari famili Megophryidae dan genus *Leptobrachium*. Ciri khusus dari jenis katak ini yaitu iris berwarna hitam (Hamidi dan Matsui, 2010), ukuran kepala yang lebar, badan ramping, dan kaki tergolong pendek, sehingga pergerakannya tergolong lambat seperti merayap. Katak serasah memiliki penyebaran yang luas di Indonesia yakni Jawa, Sumatra, Madura dan Kangean (IUCN ver 3.1 2016; Iskandar, 1998) dan Borneo (Lathrop *et al.*, 1998). Namun

penyebarannya secara spesifik di Pulau Jawa belum banyak diketahui. Umumnya data mengenai penemuan katak serasah didapatkan dari hasil inventarisasi keanekaragaman amfibi. Penelitian terkait habitat katak serasah telah dilakukan oleh Sasikirono (2007) menggunakan 6 variabel lingkungan yaitu komposisi vegetasi, penutupan tajuk, suhu, kelembaban udara, ketebalan dan kelembaban serasah. Hasil yang didapatkan lebih bersifat mikrohabitat, sehingga untuk melakukan kajian habitat katak serasah secara luas diperlukan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan pemodelan spasial.

SIG merupakan sebuah alat bantu manajemen berupa informasi berbantuan komputer yang terkait dengan sistem pemetaan dan analisis terhadap segala sesuatu, serta peristiwa-peristiwa yang terjadi di muka bumi (Qoriani, 2012). Penelitian mengenai pemodelan distribusi spesies untuk katak di Jawa telah dilakukan oleh Lubis (2010), namun dengan menggunakan metode PCA (*Principal Component Analysis*). Metode lain yang dapat digunakan yaitu dengan metode maxent, yaitu suatu program yang digunakan untuk mengestimasi probabilitas distribusi perjumpaan suatu spesies yang ditentukan oleh variabel lingkungan yang ada (Philips *et al.*, 2006). Penggunaan maxent tergolong masih jarang di Indonesia. Kelebihan maxent yaitu hanya menggunakan data kehadiran dan variabel lingkungan.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi sebaran katak serasah di Pulau Jawa dan untuk menelaah kesesuaian habitat katak serasah dengan aplikasi *Maximum Entrophy Modelling* (Maxent). Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan model penyebaran secara spesifik dari katak serasah di Pulau Jawa, sehingga dapat menjadi pertimbangan perlindungan pada kawasan yang memiliki kesesuaian habitat tinggi bagi jenis ini, baik di dalam kawasan konservasi maupun di luar kawasan konservasi.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni-September 2016 di Laboratorium Analisis Lingkungan dan Pemodelan Spasial, Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, dan Laboratorium Herpetologi MZB, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat.

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan pada penelitian ini antara lain *software* Arc View 10.3, *software Modis Reprojection Tool* (MRT), microsoft excel, komputer, dan *software Maximum Entropy Modelling* (Maxent) *version* 3.3.3k yang tercantum pada Tabel 1. Objek penelitian yaitu data penemuan katak serasah dan berbagai variabel lingkungan Pulau Jawa.

Tabel 1 Alat yang digunakan dalam penelitian.

Alat	Fungsi
<i>Software</i> ArcView 10.3	Untuk mengolah data spasial
<i>Software Modis Reprojection Tool</i> (MRT)	Untuk mengolah data NDVI dari citra Modis
Microsoft excel	Untuk mengolah data kehadiran
Laptop	Untuk menjalankan <i>software</i>
<i>Software Maximum Modelling</i> (Maxent) <i>version</i> 3.3.3k	Untuk mengolah data kesesuaian habitat

Jenis data yang digunakan untuk data kehadiran termasuk ke dalam data sekunder, yakni data-data dari penemuan katak serasah berdasarkan penelitian sebelumnya. Data variabel lingkungan yang digunakan merupakan data pihak ketiga yang sudah melalui pengolahan awal. Data variabel lingkungan yang digunakan yaitu ketinggian, kelerengan, jarak dari sungai, suhu, curah hujan, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), dan tutupan lahan. Penggunaan jenis data bertipe sekunder maupun dari pihak ketiga berdasarkan

pertimbangan dari segi waktu maupun dana. Tabel 2 memaparkan mengenai jenis data, sumber data, metode pengumpulan data, dan tipe data yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2 Jenis data, sumber data, metode pengumpulan data, dan tipe data yang dikumpulkan.

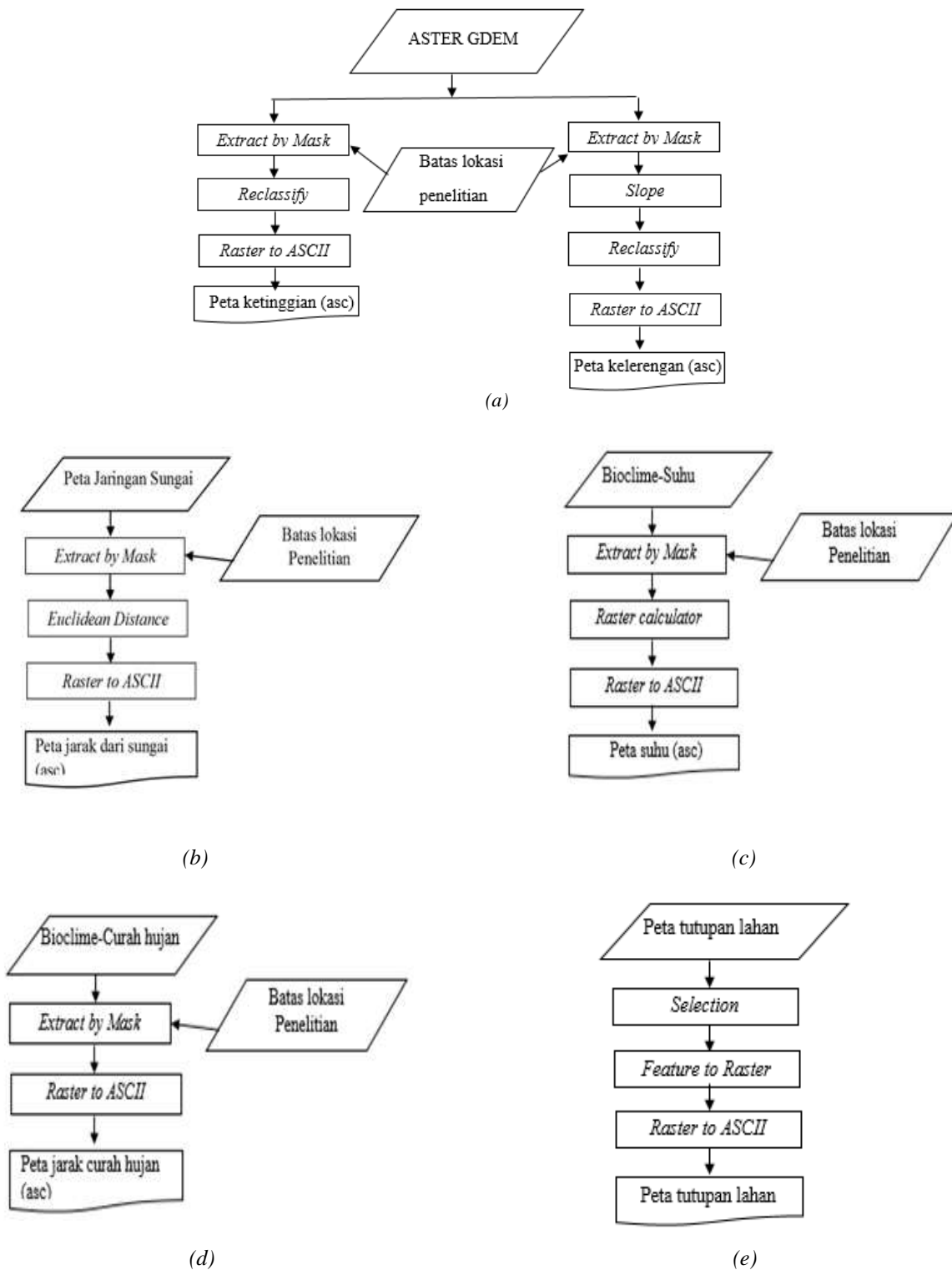
No	Jenis data	Sumber	Metode pengumpulan data	Tipe data
1	Data kehadiran satwa	Kusrini <i>et al.</i> (2006,2007), Afrianto (2015), Sasikirono (2007), Irvan (2014), Kurniati <i>et al.</i> (2001), Kurniati (2002), Kurniati (2005), Irvan (2014), Riyanto A (2010), Eprilurahman <i>et al.</i> (2010), dan spesimen MZB	Studi literature	-
2	Peta dasar	Bakosurtanal.go.id	Pengunduhan	-
3	Ketinggian (ASTER GDEM)	Earthexplorer.usgs.gov	Pengunduhan	<i>Continuous</i>
4	Kelerengan (ASTER GDEM)	Earthexplorer.usgs.gov	Pengunduhan, Studi literature	<i>Continuous</i>
5	Jaringan sungai	Bakosurtanal.go.id	Pengunduhan	<i>Continuous</i>
6	Suhu (30 <i>arc-seconds</i> = 1km, <i>tile</i> 39)	http://www.worldclim.org/bioclim	Pengunduhan	<i>Continuous</i>
7	Curah hujan (30 <i>arc-seconds</i> = 1km, <i>tile</i> 39)	http://www.worldclim.org/bioclim	Pengunduhan	<i>Continuous</i>
8	NDVI (MOD13Q1, 16 <i>days</i> , 250 m)	Lpdac.earthexplorer.usgs.gov	Pengunduhan	<i>Continuous</i>
9	Tutupan lahan	BAPLAN 2014	Pengunduhan	<i>Categorical</i>

Pengolahan Data

Data titik koordinat penemuan katak serasah dimasukkan ke dalam Ms. Excel kemudian disimpan ke dalam bentuk *comma delimited* (csv). Variabel lingkungan yang digunakan pada proses maxent harus dalam bentuk format *ascii* (asc) dan harus memiliki koordinat, ukuran sel, serta *extend* (batas terluar model) yang sama, sehingga dalam proses penyamaan tersebut dilakukan pada *modelbuilder* yang terdapat pada ArcView 10.3 yang sebelumnya tiap variabel lingkungan yang digunakan melalui proses pengolahan awal sebagai berikut.

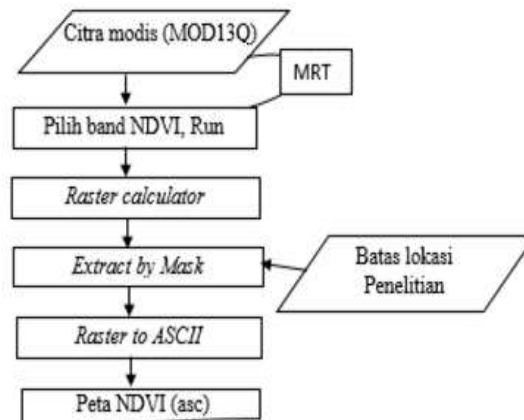
Pengolahan Data Variabel Lingkungan

Pengolahan data variabel lingkungan secara menyeluruh dilakukan di *software* Arcview 10.3, kecuali untuk NDVI yang pengolahan awalnya dilakukan di *software* MRT. Tahap pembuatan peta ketinggian, kelerengan, jarak dari sungai, suhu, curah hujan, dan tutupan lahan terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram alir pembuatan (a) peta ketinggian dan kelerengan (b) peta jarak dari sungai (c) peta suhu (d) peta curah hujan (e) peta tutupan lahan.

NDVI merupakan suatu nilai indeks vegetasi yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi kondisi vegetasi yang ada dan menghitung indeks kanopi tanaman hijau pada data *multispectral* pengideraan jauh. Data NDVI yang digunakan merupakan data citra modis 16 hari dengan resolusi spasial 250 tipe MOD13Q. Data NDVI didapatkan dengan cara mengeskrak produk MOD13Q dengan menggunakan software MRT, kemudian data tersebut diolah dengan menggunakan *software* ArcView 10.3. Tahap pembuatan peta NDVI disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir pembuatan peta NDVI.

Proses Pembuatan Model

Setiap variabel lingkungan yang sudah melalui proses pengolahan awal, kemudian disamakan koordinat, ukuran sel, dan batas terluarnya. Koordinat yang digunakan yaitu WGS 1984, ukuran selnya yaitu 0.0027, dan batas terluarnya adalah batas Pulau Jawa. Proses penyamaan ini dilakukan di *modelbuilder*.

Pengolahan Sebaran Katak Serasah

Proses pengolahan sebaran katak serasah yakni dengan menggunakan data penemuan katak serasah yang sudah ada lalu dihubungkan dengan tipe tutupan lahan, kelerengan, suhu, curah hujan, ketinggian, nilai NDVI, dan jarak dari sungai. Hal ini untuk melihat pengaruh dari variabel lingkungan terhadap penemuan katak serasah.

Pengolahan Maxent

Proses pengolahan pada software maxent dilakukan dengan memasukkan data titik koordinat berformat csv dan data lingkungan berformat asc. Pengaturan pada menu maxent harus dilakukan pada empat menu yakni utama, *basic*, *advanced*, dan *experimental*. Pengaturan pada menu utama variabel lingkungan dengan menceklis format *categorical* untuk tutupan lahan dan kelerengan dan format *continuous* untuk variabel lingkungan yang lain, serta menceklis *auto features* untuk *threshold*. Pengaturan pada menu *basic* semua pilihan diceklis kecuali *skip if output exist*. Pada *random test percentage* di isi sebesar 30%, *regularization* 1, *maximal number of background points* 10000, *replicates* 15 dengan *type run subsample*. Pengaturan pada menu *advanced* semua diceklis kecuali *append summary results to maxentResult.csv file*, mengubah *iterations* sebesar 5000, dan memilih *10 percentile training presence* untuk *threshold type*, lalu pengaturan lain bersifat *default*. Pengaturam pada menu *experimental* dengan menceklis *logscale raw/cumulative pictures*, *write background predictions*, *show exponent in response curves* dan *fade by clamping*, serta membiarkan pengaturan lain bersifat *default*.

Analisis Data

Analisis Tumpang Susun (Overlay)

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui tumpang tindih dari titik penemuan katak serasah dengan variabel lingkungan yang digunakan. Kemudian dilakukan pengkelasan tiap nilai variabel lingkungan yang bertumpang tindih dengan titik koordinat penemuan katak serasah.

Analisis Multikolinearitas

Analisis multikolinearitas dilakukan untuk mengetahui hubungan korelasi antar variabel lingkungan yang digunakan, apabila timbul multikolinearitas maka akan mempengaruhi hasil dari pemodelan yang dibuat dan bersifat negatif (Pearson *et al.*, 2007). Pengaruh negatif dari keberadaan multikolinearitas ini akan membuat pemodelan yang dihasilkan menjadi *overconfident* dikarenakan pengaruh dua atau lebih variabel yang saling berhubungan. Nilai ambang batas yang menunjukkan suatu kumpulan variabel memiliki multikolinearitas atau tidak yaitu apabila nilai dari pengolahan yang dihasilkan kurang dari atau sama dengan -0.75 maupun melebihi 0.75, maka salah satu variabel lingkungan tersebut harus dihilangkan. Metode analisis multikolinearitas yang dilakukan yakni dengan menggunakan *Band Collection statistic* yang terdapat pada ArcView 10.3.

Validasi Model

Validasi model yakni dengan melihat nilai *Area Under Curve (AUC) test* yang didapatkan berdasarkan pengolahan maxent yang dilakukan. AUC merupakan daerah dibawah *Receiver Operating Curve (ROC)* dan merupakan metode standar untuk mengidentifikasi akurasi prediksi model distribusi (Lobo *et al.*, 2008).

Aturan penggunaan nilai *AUC test* yang didapatkan yaitu bila nilai di bawah 0.5 maka model tidak bisa diterima, nilai antara 0.5 sampai 0.7 menunjukkan nilai akurasi yang rendah, nilai antara 0.7 sampai 0.9 menunjukkan bahwa model dapat digunakan dengan nilai akurasi yang tergolong sedang, dan bila melebihi 0.9 maka model memiliki nilai akurasi yang tergolong tinggi (Swets, 1988).

Rentang Kelas Kesesuaian Katak Serasah

Peta kesesuaian habitat katak serasah terbagi menjadi tiga kelas yaitu kelas kesesuaian rendah, kelas kesesuaian sedang, dan kelas kesesuaian tinggi. Rumus yang digunakan dalam penentuan selang pembagian kelas berdasarkan Supranto (2000) yaitu nilai peluang tertinggi dikurangi nilai peluang terendah dan kemudian dibagi banyaknya kelas kesesuaian seperti dijabarkan persamaan berikut.

$$C = \frac{Xn - X1}{K}$$

Keterangan

C = Perkiraan besarnya selang

Xn = Nilai peluang kesesuaian habitat tertinggi

X1 = Nilai peluang kesesuaian habitat terendah

(untuk X1 menggunakan nilai 10 *percintile training presence logistic threshold*)

K = Banyaknya kelas kesesuaian habitat

Analisis Deskriptif

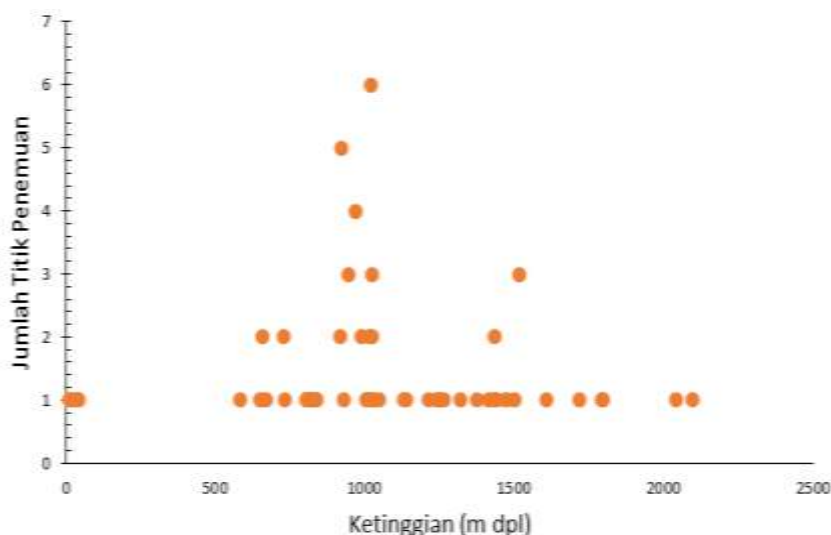
Analisis deskriptif digunakan untuk menganalisis hasil dari aplikasi maxent yang terdiri dari distribusi penyebaran spesies, data terkait faktor lingkungan yang paling berpengaruh, dan data terkait kemungkinan perjumpaan dengan spesies ini di lokasi penelitian. Analisis ini digunakan karena pada program ini, hasil langsung didapatkan oleh pengguna atau user sehingga hal penting yang harus dilakukan adalah interpretasi dari hasil yang disajikan dari software ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Sebaran Katak Serasah di Pulau Jawa

Hutan sekunder merupakan jenis tutupan lahan dengan titik jumlah penemuan terbesar yakni sebesar 57,14% dari 77 titik penemuan katak serasah yang digunakan, bila dibandingkan dengan 18 tipe tutupan lahan lain yang terdapat di Pulau Jawa. Kondisi yang mendukung banyaknya jumlah penemuan ini dapat dihubungkan dengan nilai NDVI di lokasi titik katak serasah yang berkisar antara 0.8-0.99. Nilai NDVI menggambarkan mengenai tutupan kanopi tajuk suatu wilayah, apabila mendekati angka 1 menandakan bahwa wilayah tersebut memiliki kanopi tajuk yang rapat dan hijau. Hal ini sesuai dengan pernyataan Iskandar (1998) yaitu bahwa katak serasah hidup di daerah berhutan di tengah-tengah serasah hutan.

Jumlah titik penemuan katak serasah cenderung merata pada ketinggian antara 1000 sampai 2000 mdpl yang merupakan hutan pegunungan, namun terjadi ketidakmerataan pada ketinggian di bawah 1000 mdpl yang merupakan hutan dataran rendah. Faktor-faktor yang dapat memengaruhi hal ini yaitu faktor pencarian yang lebih banyak dilakukan di daerah hutan pegunungan dan inventarisasi satwa yang bersifat umum untuk semua herpetofauna dan tidak difokuskan hanya pada katak serasah. Gambar 3 menunjukkan hubungan ketinggian dengan jumlah titik penemuan katak serasah.



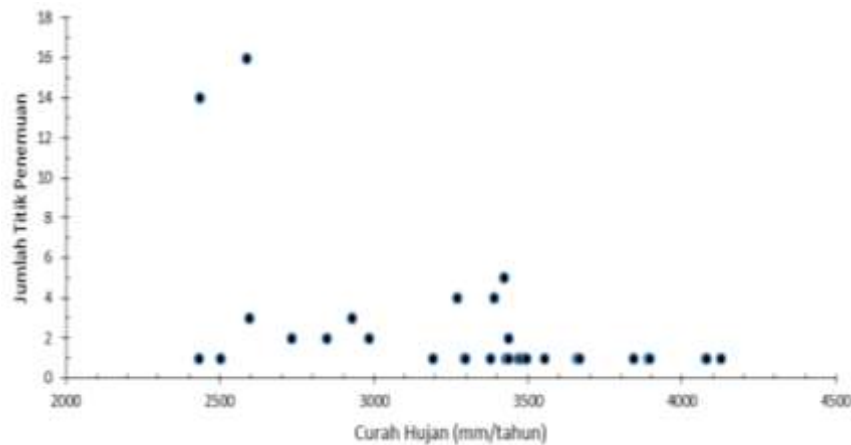
Gambar 3 Hubungan ketinggian dengan jumlah titik penemuan katak serasah.

Kelerengan akan memengaruhi variasi genetik pada amfibi yang diakibatkan lereng yang curam akan menghalangi pergerakan amfibi (Zawacki, 2009). Hal ini menjadi perhatian khusus dikarenakan selain banyak ditemukan di daerah landai (tipe kelas lereng 2) sebesar 27.27%, amfibi juga banyak ditemukan pada daerah curam (tipe kelas lereng 4) sebesar 24.68%.

Katak serasah ditemukan pada rentang suhu antara 14.5 sampai 27°C dengan jumlah titik penemuan yang tergolong bervariasi. Faktor yang dapat memengaruhi antara lain periode pencarian, lokasi, dan kondisi cuaca. Suhu akan memengaruhi aktivitas dan fitur suara katak (Prohl, 2007) yang akan memengaruhi pembiakan dari amfibi (Carey dan Alexander, 2003). Hal ini menjadikan suhu merupakan variabel lingkungan yang penting bagi katak.

Variabel lingkungan lain yang tergolong penting bagi amfibi adalah keberadaan air. Hal ini didukung oleh pernyataan Ryan *et al.* (2015) bahwa amfibi memiliki hubungan negatif dengan kekeringan dan Walls *et al.* (2013) yang menghubungkannya dengan kemampuan bertahan hidup, reproduksi, dan pergerakan anakan dewasa amfibi. Berdasarkan hal ini, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa amfibi tergolong menyebar

merata pada rentang curah hujan antara 2400 sampai 3000 mm/tahun dan kecenderungan peningkatan jumlah titik penemuan pada curah hujan 2500 mm/tahun yang disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4 Hubungan rentang hujan dengan jumlah titik penemuan katak serasah.

Katak serasah merupakan jenis yang berasosiasi dengan keberadaan sungai (Iskandar 1998). Hasil yang didapatkan yaitu titik penemuan katak serasah tergolong dekat dengan badan air. Hal ini didukung dengan hasil penelitian Sasikirono (2007) yang menunjukkan bahwa anakan serasah tergolong menyebar dekat dengan sungai, katak jantan tergolong menyebar merata, dan katak betina cenderung jauh dari sungai tapi masih dapat ditemukan pada jarak kurang dari 100 m dari pinggir sungai.

Besaran Nilai Pengaruh Antar Variabel Lingkungan

Data antar variabel lingkungan yang telah dianalisis dengan menggunakan *Band Collection Statistic* menunjukkan bahwa terdapat hubungan korelasi ganda antara layer 1 (ketinggian) dengan layer 5 (suhu). Besaran nilai multikolinearitas yang dihasilkan yaitu sebesar -0.97835. Nilai tersebut menunjukkan bahwa terdapat hubungan negatif antara ketinggian dengan suhu dan juga sebaliknya. Makna nilai negatif tersebut yaitu apabila nilai ketinggian semakin besar maka nilai suhu akan semakin mengecil. Keberadaan kedua variabel tersebut dalam suatu pemodelan akan membuat pemodelan yang dihasilkan menjadi *overconfident*, sehingga salah satu dari data variabel tersebut harus dihilangkan. Pengujian untuk membandingkan hasil yang lebih baik antar kedua variabel tersebut dengan menghilangkan salah satu variabel dalam pemodelan, hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa layer 5 memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan layer 1, sehingga hasil pemodelan yang digunakan yaitu yang menggunakan data variabel layer 5 (suhu). Besaran nilai pengaruh antar variabel lingkungan tersebut tersaji pada tabel 3.

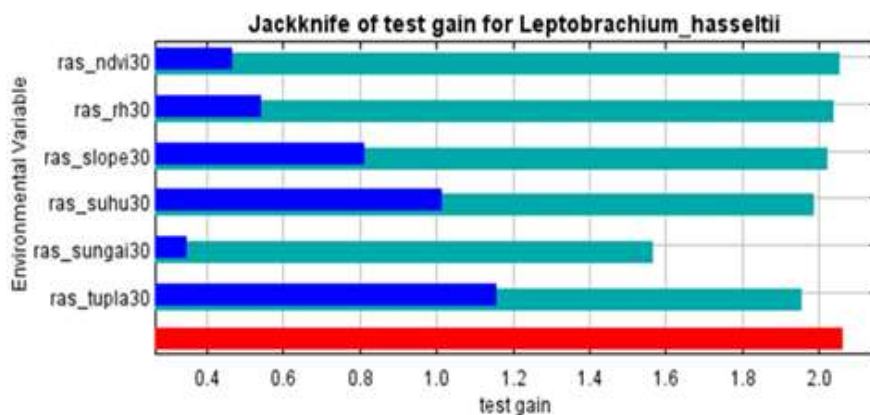
Tabel 3 Hasil analisis multikolinearitas

Layer	1*	2*	3*	4*	5*	6*	7*
1*	1.00000	0.18007	0.39937	0.59466	-0.97835	-0.00214	-0.25850
2*	0.18007	1.00000	0.25817	0.28829	-0.18938	0.00359	-0.07350
3*	0.39937	0.25817	1.00000	0.40442	-0.37054	-0.00802	-0.09640
4*	0.59466	0.28829	0.40442	1.00000	-0.58266	-0.00126	-0.25516
5*	-0.97835	-0.18938	-0.37054	-0.58266	1.00000	0.00096	0.27443
6*	-0.00214	0.00359	-0.00802	-0.00126	0.00096	1.00000	0.27443
7*	-0.25850	-0.07350	-0.09640	-0.25516	0.27443	-0.00475	1.00000

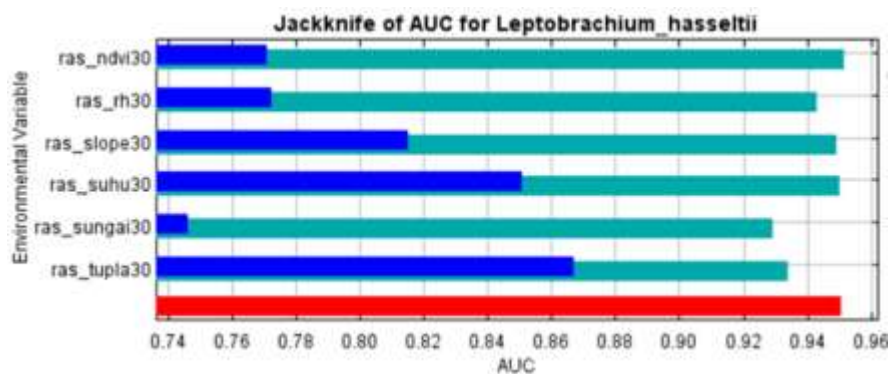
*Keterangan : layer 1=ketinggian; 2=NDVI; 3=curah hujan; 4=kelerengan; 5=suhu; 6=jarak dari sungai; 7=tutupan lahan

Kesesuaian Habitat Katak Serasah dengan Aplikasi Maxent

Pengaruh variabel lingkungan pada pemodelan kesesuaian habitat katak serasah ditunjukkan berdasarkan hasil dari operasi *jackknife*. Metode ini merupakan suatu cara untuk menduga kepentingan atau kontribusi tiap variabel lingkungan yang digunakan pada pemodelan (Negga 2007). Hasil dari operasi ini menunjukkan bahwa tutupan lahan, suhu, dan kelerengan memberikan pengaruh terbesar pada pemodelan yang terdapat pada Gambar 5 dan Gambar 6. Penilaian yang dilihat pada operasi *jackknife* yaitu besaran nilai *AUC test* dan nilai *test gain* yang didapatkan akibat dari perlakuan variabel lingkungan yang telah ditentukan. Elith *et al.* (2011) menyatakan *test gain* adalah satuan statistik yang menduga seberapa baik prediksi distribusi sesuai dengan data kehadiran yang dibandingkan dengan distribusi seragam. Semakin besar nilai *AUC test* dan *test gain* yang didapatkan dari penggunaan variabel lingkungan tertentu, maka variabel lingkungan tersebut tergolong memengaruhi pemodelan yang dibuat. Kriteria lain untuk menentukan seberapa besar pengaruh suatu variabel lingkungan yaitu dengan melihat besaran nilai *test gain* maupun AUC yang turun ataupun berkurang ketika tidak digunakan dalam pemodelan. Lalu kriteria lainnya untuk variabel lingkungan yaitu apabila memberikan kontribusi tertinggi pada nilai *test gain* dan AUC ketika hanya menggunakan variabel tersebut, lalu besaran nilai tersebut dibandingkan dengan nilai *AUC test* dan *test gain* ketika menggunakan semua variabel. Apabila besaran *test gain* maupun AUC tidak berbeda jauh maka variabel tersebut merupakan variabel yang memberikan kontribusi tertinggi pada pemodelan tersebut.



Gambar 5 Pengaruh variabel lingkungan terhadap nilai test gain yang didapatkan.



Gambar 6 Pengaruh variabel lingkungan terhadap nilai AUC test yang didapatkan.

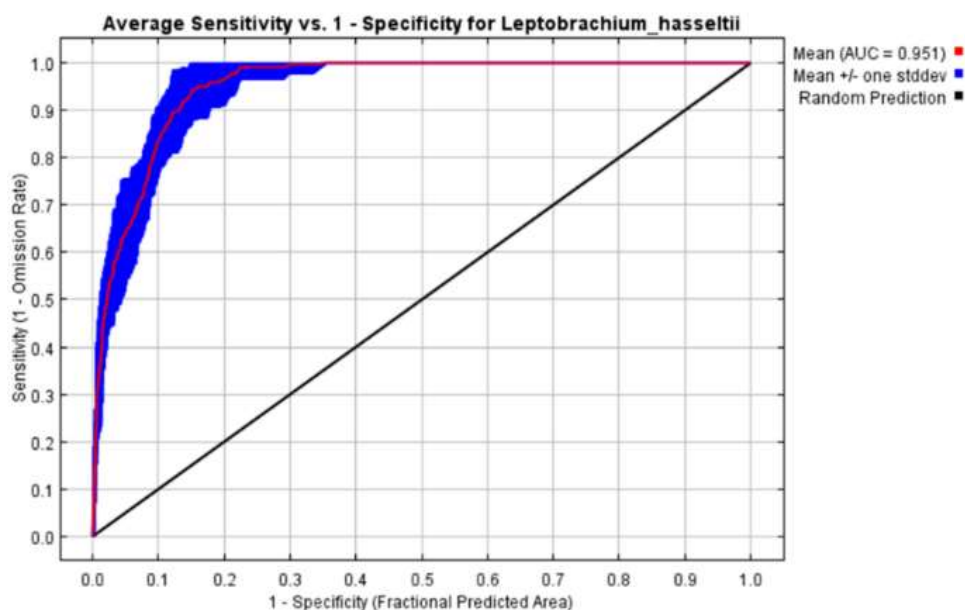
(Keterangan : ras_ndvi30=NDVI, ras_rh30=curah hujan, ras-slope30=kelerengan, ras_suhu30=suhu, ras_sungai30=jarak dari sungai, ras_tupla30=tutupan lahan)

(Keterangan : warna biru muda hanya menggunakan salah satu variabel lingkungan; warna biru tua tidak menggunakan salah satu variabel lingkungan; warna merah menggunakan seluruh variabel lingkungan)

Tutupan lahan memberikan pengaruh terbesar bagi pemodelan terlihat dari nilai AUC dan *test gain* yang didapatkan. Becker *et al.* (2007) menyatakan bahwa perubahan tutupan lahan merupakan salah satu faktor terpenting pada penurunan jumlah amfibi secara global. Hal ini menunjukkan bahwa amfibi merupakan satwa yang sangat peka terhadap perubahan tutupan lahan. Selain itu, tutupan lahan menjadi faktor pemilihan habitat bagi suatu satwa untuk memenuhi keperluan hidupnya yakni pakan, *cover*, *shelter*, dan air.

Variabel lingkungan lainnya yaitu suhu dan kelerengan. Variabel suhu berkaitan erat dengan pembiakan, sedangkan variabel kelerengan akan memengaruhi peluang perjumpaan antar katak serasah di alam. Perbedaan suhu yang terdapat di pegunungan dan dataran rendah akan membuat perbedaan batas toleransi kenaikan suhu pada tiap individu katak serasah yang akan memengaruhi kemampuan bertahan hidupnya. Selain itu, secara morfologis katak serasah tergolong memiliki kaki yang pendek sehingga pergerakannya lambat dan kelerengan yang tergolong ekstrim akan menjadi pembatas pergerakan katak serasah.

Nilai AUC *test* adalah nilai yang didapatkan pada pengujian 30% sampel yang diambil secara acak. Nilai pemodelan yang didapatkan tergolong tinggi yakni 0.951 yang didapatkan dengan menjumlahkan tiap kotak persegi yang terletak di bawah garis merah. Nilai yang didapatkan tersebut menunjukkan bahwa pemodelan yang dibuat dapat digunakan dan memiliki akurasi yang tinggi. Pemilihan metode AUC dalam proses validasi karena metode ini merupakan metode standar untuk menguji validitas suatu pemodelan, selain itu AUC juga memberikan keuntungan bagi pengguna yakni menghindari subjektivitas pada proses pemilihan batas (Lobo *et al.*, 2008). Gambar 7 merupakan ilustrasi dari nilai AUC *test* yang didapatkan pada pemodelan.



Gambar 7 Ilustrasi nilai AUC *test* yang didapatkan pada pemodelan.

Kelas kesesuaian habitat katak serasah terbagi menjadi 4 kelas yaitu tidak sesuai, kesesuaian rendah, kesesuaian sedang, dan kesesuaian tinggi. Rentang nilai yang didapatkan antara 0 sampai 0.9664, lalu dengan pemilihan penggunaan *10 percentile training presence logistic threshold* maka daerah yang dianggap sesuai harus memiliki nilai lebih dari 0.2036. Penggunaan *10 percentile training presence threshold* lebih memberikan hasil yang signifikan secara ekologi bila dibandingkan dengan penggunaan *threshold* lain yang tergolong lebih kaku (Redon dan Luque, 2010). Tabel 4 disajikan rentang tiap kelas kesesuaian habitat katak serasah.

Tabel 4 Kelas kesesuaian habitat katak serasah di Pulau Jawa.

No	Kelas kesesuaian	Selang kelas kesesuaian	Persentase (%)
1	Tidak sesuai	0.0000 – 0.2036	92.37
2	Kesesuaian rendah	0.2036 – 0.4579	5.44
3	Kesesuaian sedang	0.4579 – 0.7121	1.74
4	Kesesuaian tinggi	0.7121 – 0.9664	0.45

Nilai yang lebih besar dari nilai 10 *percentile training presence logistic threshold* kemudian dibuat menjadi 3 kelas dengan menggunakan ketentuan persamaan dari Supranto (2000) yang telah mengalami modifikasi. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa luasan wilayah yang tergolong memiliki kesesuaian tinggi tergolong paling sedikit bila dibandingkan dengan kelas kesesuaian yang lain. Lalu habitat tersebut menyebar dari dataran rendah dan juga pegunungan yang tergolong memiliki tutupan hutan yang tergolong rapat. Hal ini diketahui dengan melakukan tumpang susun (*overlay*) dengan *basemap world imagery* di Arcview. Ilustrasi kesesuaian habitat katak serasah disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Peta kesesuaian habitat katak serasah dengan 4 kelas kesesuaian.

SIMPULAN

Katak serasah di Pulau Jawa tersebar dari hutan dataran rendah sampai hutan pegunungan dengan tutupan vegetasi hijau dan dekat dengan sungai. Sebaran tertinggi ditemukan di wilayah dengan ciri-ciri hutan sekunder, tingkat kelerengan landai, rentang suhu 20-21°C, dan curah hujan >2500 mm/tahun. Pemodelan yang dibuat dapat diterima dengan AUC = 0.951. Kontribusi variabel lingkungan tertinggi yakni tutupan lahan, suhu, dan kelerengan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Dr Ir Mirza Dikari Kusri, MSi dan Prof Dr Ir Lilik Budi Prasetyo MSc yang telah memberikan arahan dan saran dalam pengerjaan karya ilmiah ini, serta kepada Muhammad Irfansyah Lubis, Shut, MDev Prac, dan Dr Yudi Setiawan atas segala bantuan yang telah diberikan. Ucapan terimakasih juga penulis sampaikan kepada pihak Museum Zoologicum Bogoriense yang telah mengizinkan penulisan untuk menggunakan data spesimen katak serasah.

DAFTAR PUSTAKA

- Afrianto A. 2015. *Pemetaan penyebaran amfibi di Pulau Jawa menggunakan aplikasi sistem informasi geografis (SIG)*. Skripsi. Bogor: Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Becker CG, Fonseca CR, Haddad CFR., Batista RF, Prado PI. 2007. Habitat split and the global decline of amphibians. *Science*. 318: 1775-1776.
- Carey C, Alexander MA. 2003. Climate change and amphibian declines: is there a link. *Diversity and Distribution*. 9: 111-121.
- Elith J, Phillips SJ, Hastie T, Dudík M., Chee YE, Yates CJ. 2011. A statistical explanation of MaxEnt for ecologists. *Diversity and Distributions*. 17: 43-57.
- Eprilurahman R., Qurniawan TF, Kusuma KI, Chomsun HK. 2010. Studi awal keanekaragaman herpetofauna di Petungkriyono, Kabupaten Pekalongan, Provinsi Jawa Tengah. *Zoo Indonesia*. 19: 19-30.
- Hamidi A., Matsui M. 2010. A new species of blue-eyed *Leptobrachium* (Anura: Megophryidae) from Sumatra, Indonesia. *Zootaxa*. 2395: 34-44.
- Irvan. 2014. *Perbandingan keanekaragaman dan sebaran spasial amfibi di Pulau Peucang dan Cidaon Taman Nasional Ujung Kulon*. Skripsi. Bogor: Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Iskandar DT. 1998. *Amfibi Jawa dan Bali-Seri Panduan Lapangan*. Bogor: Puslitbang-LIPI.
- [IUCN] International Union for Conservation of Nature and Natural Resource. 2016. *Amphibians on the IUCN Red List* [terhubung berkala]. <http://www.iucnredlist.org/initiatives/amphibians> [2 Agustus 2016].
- Kurniati H, Crampton W, Goodwin A, Lockett, Sinkiss S. 2001. Herpetofauna diversity of Ujung Kulon National Park an inventory result in 1990. *Berkala Penelitian Hayati*. 6: 113-128.
- Kurniati H. 2002. Frogs and toads of Ujung Kulon, Gunung Halimun, and Gede Pangrango National Park. *Berita Biologi*. 6(1): 75-84.
- Kurniati H. 2005. Species richness and habitat preferences of herpetofauna in Gunung Halimun National Park West Java. *Berita Biologi*. 7(5): 263-271.
- Kusri MD, Fitri A. 2006. *Final report ecology and conservation of frogs of mount salak, West Java, Indonesia*. Bogor: Tidak dipublikasikan.
- Kusri, MD (Ed). 2007. *Frogs of Gede Pangrango: a follow up project for the Conservation of Frogs in West Java Indonesia*. Book 1: Main Report. Bogor: Technical report submitted to the BP Conservation Programme.
- Lathrop A, Murphy RW, Orlov NL, Ho CT. 1998. Two new species of *Leptobrachium* (Anura: Megophryidae) from the central highlands of vietnam with a redescription of *Leptobrachium chapaense*. *Russian Journal of Herpetology*. 1(5): 51-60.
- Lobo JM, Valverde AJ, Real R. 2008. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models. *Global Ecology and Biogeography*. 17: 145-151.
- Lubis MI. 2008. *Pemodelan Spasial Habitat Katak Pohon Jawa (Rhacophorus javanus Boettger 1893) dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis Dan Penginderaan Jarak Jauh di Taman Nasional Gunung Gede Pangrango Jawa Barat*. Skripsi. Bogor: Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Negga HE. 2007. *Predictive modelling of amphibian distribution using ecological survey data: a case study of Central Portugal*. Tesis. Enschede: International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation.

- Pearson RG, Raxworthy CJ, Nakamura M, Peterson AT. 2007. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar. *Journal of Biogeography*. 34: 102-117.
- Prohl H, Hagemann S, Karsch J, Hobelt G. 2007. Geographic variation in male sexual signals in strawberry poison frogs (*Dendrobates pumilio*). *Ethology*. 113: 825-837.
- Redon M., Luque S. 2010. Presence-only modelling for indicator species distribution: biodiversity monitoring in the French Alps. 6th Spatial Analysis and Geomatics International Conference (SAGEO 2010). November 2010, Toulouse, France. Universite de Toulouse 1, pp. 42-45.
- Riyanto A. 2010. Herpetofauna community structure and habitat associations in Gunung Ciremai National Park, West Java, Indonesia. *Biodiversitas*. 12: 38-44.
- Ryan, MJ, Scott, NJ, Cook JA, Willink B, Chaves G, Bolanos F, Rodriguez AG, Latella I.M, Koerner SK. 2015. Too wet for frogs: changes in a tropical leaf litter community coincided with la nina. *Ecosphere*. 6: 1-10.
- Sasikirono. 2007. *Studi karakteristik habitat sekitar sungai dan danau serta biologi katak serasah Leptobrachium hasseltii Tschudi, 1838 di Situ Gunung Sukabumi*. Skripsi. Bogor: Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.
- Supranto J. 2000. *Statistik: Teori dan Aplikasi Jilid 1 Ed ke-6*. Jakarta: Erlangga.
- Swets JA. 1988. *Measuring the Accuracy of Diagnostic Systems*. [terhubung berkala]. http://www.jstor.org/stable/1701052?seq=1&cid=pdf-reference#references_tab_contents [30 September 2016].
- Qoriani HF. 2012. Sistem informasi geografis untuk mengetahui tingkat pencemaran limbah pabrik di Kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Lingkungan*. 17(2): 1-8.
- Walls SC, Barichivich WJ., Brown ME. 2013. Drought, deluge, and declines: the impact of precipitation extremes on amphibians in changing climate. *Biology*. 2: 399-418.
- Zawacki CLR. 2009. Effects of slope and riparian habitat connectivity on gene flow in an endangered panamanian frog *Atelopus varius*. *Diversity and Distributions*. 15: 796-806.



Analisis Prediksi dan Hubungan antara Debit Air dan Curah Hujan pada Sungai Ciliwung di Kota Bogor

Prediction and Correlation Analysis between Water Discharge and Rainfall in Ciliwung River, Bogor City

Alfred Jansen Sutrisno^a, Kaswanto^b, Hadi Susilo Arifin^b

^a Program Studi Arsitektur Lanskap, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^b Departemen Arsitektur Lanskap, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

Article Info:

Received: 07 - 07 - 2017

Accepted: 11 - 10 - 2019

Keywords:

Rainfall, regression analysis, water discharge, water level

Corresponding Author:

Alfred Jansen Sutrisno
Program Studi Arsitektur
Lanskap, Sekolah Pascasarjana,
Institut Pertanian Bogor;
Tel. +62-812-47333930
Email:
alfredjsmanurung@gmail.com

Abstract: *Water demand should be balanced with water availability. The population of Bogor City was increased every year, so that water demand become increased. Currently, Government of Bogor City only utilizes the Cisadane river as a source for drinking water, even though Bogor City has 2 rivers there are Cisadane river and Ciliwung river. Therefore, Ciliwung river can be solution for this problem. Water discharge and rainfall influence water availability. Distribution log pearson type 3 used to predict the water discharge and rainfall and linier regression analyzed the relationship between water discharge as dependent variable with rainfall as X_1 and water level as X_2 as independent variable. The result of distribution log pearson type 3 every return period 2, 5, 10, 25, and 50 years is water discharge and rainfall were increased. Average increase of water discharge every return period is $1.6 \text{ m}^3/\text{s}$ and average increase of rainfall every return period is 89.25 mm. Partially, water discharge influenced by water level and rainfall 97.7%. Water level and rainfall cannot be ignored because $p = 0.000 < \alpha = 0.05$ with regression model $\hat{Y} = -3.01 + 0.002 X_1 + 0.202 X_2$.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Sutrisno AJ, Kaswanto, Arifin HS. 2019. Analisis Prediksi dan Hubungan antara Debit Air dan Curah Hujan pada Sungai Ciliwung di Kota Bogor. *JPSL* 10(1): 25-33. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.25-33>.

PENDAHULUAN

PDAM Tirta Pakuan merupakan perusahaan daerah yang bertanggung jawab dalam memenuhi kebutuhan air masyarakat Kota Bogor. Berdasarkan laporan produksi dan pencatatan pelanggan tahun 2011, PDAM Tirta Pakuan telah melayani 103.841 pelanggan atau sekitar 56.18% penduduk Kota Bogor (PDAM Tirta Pakuan, 2011). Sementara, target yang harus dicapai berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Bogor tahun 2011-2031 ialah 87.71% (Bappeda, 2011) dan Target MDG's kebutuhan adalah 67% penduduk Indonesia dengan proporsi 80% penduduk daerah perkotaan harus memiliki akses terhadap sumber air minum bersih (Bappenas, 2013).

Hal yang menjadi penyebab rendahnya cakupan pelayanan PDAM Tirta Pakuan pada tahun 2011 ialah penurunan debit mata air Tangkil dari 170 liter/detik menjadi 124 liter/detik, debit mata air Bantarkambang dari 170 liter/detik menjadi 150 liter/detik, dan debit mata air Kotabatu dari 61 liter/detik menjadi 48 liter/detik. Selain penurunan produksi penambahan jumlah penduduk dapat menjadi masalah dalam pemenuhan target pelayanan PDAM Tirta Pakuan (PDAM Tirta Pakuan, 2011). Pada tahun 2014, penduduk Kota Bogor berjumlah 1.030.720 orang, jika dibandingkan dengan tahun 2013 jumlah penduduk Kota Bogor pada tahun

2014 bertambah sebanyak 17.701 orang atau meningkat sebanyak 1.75% (BPS, 2015). Penurunan produksi dan Peningkatan jumlah penduduk Kota Bogor mengakibatkan PDAM Tirta Pakuan belum mampu memenuhi kebutuhan masyarakat Kota Bogor.

Penurunan produksi air tidak hanya terjadi di Kota Bogor. Namun juga, terjadi pada daerah lain seperti Kab. Kudus dan Kota Magelang. Kab. Kudus mengalami penurunan produksi air sebesar 11204 juta liter dan Kota Magelang sebesar 462 juta liter (Muliranti dan Hadi, 2013). Berdasarkan kondisi tersebut sangat penting untuk mendapatkan sumber air alternatif. Kota Bogor memiliki Sungai Ciliwung yang melintas tepat di tengah – tengah kota. Namun, Sungai Ciliwung belum dimanfaatkan dengan baik. Sungai Ciliwung dahulunya dimanfaatkan untuk kebutuhan irigasi, namun perubahan penggunaan lahan yang begitu cepat membuat lahan pertanian berkurang dan Sungai Ciliwung menjadi jarang dimanfaatkan untuk kebutuhan irigasi. Hal ini dapat menjadi peluang untuk mempertimbangkan Sungai Ciliwung menjadi sumber air alternatif bagi PDAM Tirta Pakuan.

Debit air dan curah hujan merupakan faktor penting yang mempengaruhi produksi air pada suatu sumber air. Sehingga, pentingnya melakukan prediksi debit air pada sumber air untuk jangka waktu panjang (Herrera *et al.*, 2010) dan prediksi curah hujan yang menjadi faktor penting dalam mempengaruhi debit air pada sumber air permukaan. Penelitian yang dilakukan pada Sub DAS Lowokwaru menghasilkan terjadinya peningkatan rata – rata curah hujan sebesar 80.45 mm/hari yang kemudian hasil penelitian ini dimanfaatkan untuk memenuhi ketersediaan air bagi masyarakat Kota Malang (Rachmawati, 2010). Komponen input dalam suatu DAS ialah curah hujan dan komponen outputnya ialah debit air, limpasan, erosi, dan sebagainya (Paimin *et al.*, 2006). Kondisi iklim seperti curah hujan sangat mempengaruhi fluktuasi debit air dibandingkan dengan pengaruh tutupan lahan pada suatu DAS (Murdiyarso dan Kurninto, 2007). Nilai R^2 pada Sungai Mamasas sebesar 0,65 membuktikan bahwa terdapat hubungan antara debit air dan curah hujan (Mughtar A. dan Abdullah N., 2007).

Tulisan ini bertujuan untuk mendapatkan frekuensi debit air Sungai Ciliwung dan curah hujan Kota Bogor untuk periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun dengan menggunakan distribusi log pearson tipe 3 dan mendapatkan hubungan antara debit air sebagai variabel tidak bebas terhadap curah hujan dan tinggi muka air sebagai variabel bebas. Diharapkan nantinya tulisan ini bisa menjadi dasar pertimbangan dalam menentukan pemanfaatan Sungai Ciliwung sebagai sumber air alternatif.

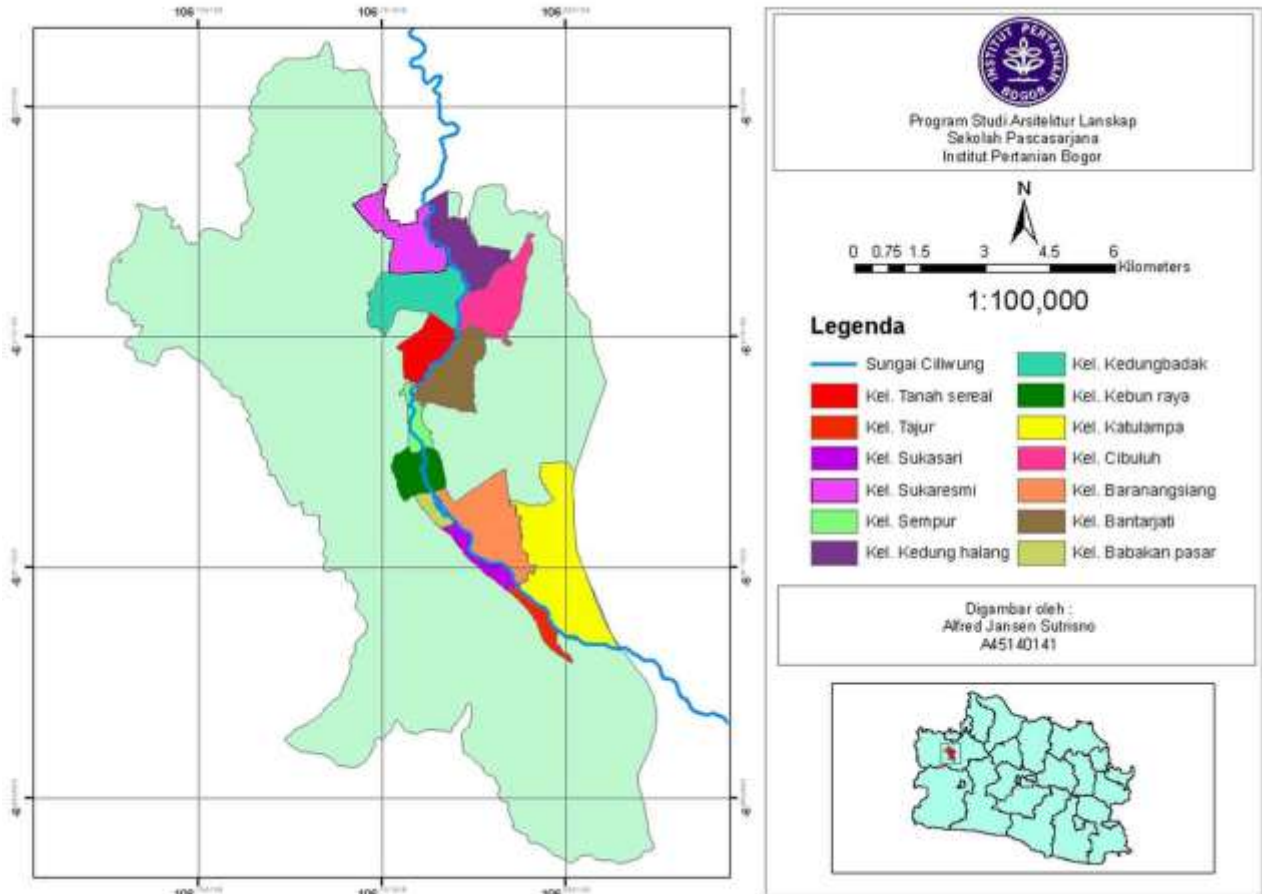
METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung meliputi 347 km² dengan panjang sungai 117 km (BPLHD DKI Jakarta, 2014; Sutrisno *et al.*, 2018). Penelitian ini dilakukan pada segmen Kota Bogor dengan panjang sungai 14.5 km dengan waktu pelaksanaan dari Juni 2017 sampai Desember 2017. Segmen tersebut melintasi 13 kelurahan. Kota Bogor terletak di antara 106°43'30"BT - 106°51'00"BT dan 30'30"LS – 6°41'00"LS dengan ketinggian minimal 190 MDPL dan maksimal 350 MDPL (Gambar 1).

Metode Pengumpulan Data

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini ialah data curah hujan, debit air, dan tinggi muka air pada tahun 1994 – 2013. Data curah hujan, debit air, dan tinggi muka air berasal dari laporan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung – Cisadane tahun 2013. Berdasarkan laporan tersebut bahwa terdapat empat pencatat hujan otomatis yaitu pos hujan Empang, pos hujan Katulampa, pos hujan Atang Sanjaya, dan stasiun klimatologi Dramaga. Pengukuran debit air dan tinggi muka air Sungai Ciliwung dilakukan di stasiun Katulampa. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah seperangkat komputer yang dilengkapi dengan Microsoft Excel, ArcGIS 10.4, SPSS 16 dan Microsoft Word untuk melakukan pengolahan data.



Gambar 1 Lokasi Penelitian di Kota Bogor.

Metode Analisis Data

Analisis Frekuensi

Data curah hujan dan debit air akan dianalisis menggunakan distribusi log pearson tipe 3. Analisis ini merupakan analisis frekuensi untuk mendapatkan curah hujan dan debit air pada periode ulang yang ditentukan yaitu 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun (Jun *et al.*, 2015).

$$\log Q_T = \log \bar{X} + G S_1$$

dimana:

Q_T = Curah hujan dan debit air dengan periode ulang T tahun

$\log \bar{X}$ = rata – rata

G = koefisien yang digunakan tergantung pada nilai kemencengan (C_s) dan periode ulang (T)

S_1 = standar deviasi

Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Penelitian ini menggunakan metode Kolmogorov-smirnov dan metode Chi-square untuk menguji kesesuaian (goodness of fit) dari distribusi frekuensi sampel data terhadap distribusi peluang yang diperkirakan (Wesli, 2008). Syarat pada metode kolmogorov-smirnov dan chi-square ialah jika $D < D_{cr}$ dan $\chi^2 < \chi_{cr}$, berarti frekuensi hasil observasi tidak menyimpang dari frekuensi harapan, sehingga hal ini menunjukkan kesesuaian yang baik dan distribusi frekuensi yang digunakan dapat diterima. Jika $D > D_{cr}$ dan $\chi^2 > \chi_{cr}$, berarti frekuensi

hasil observasi menyimpang dari frekuensi harapan, sehingga hal ini menunjukkan kesesuaian yang tidak baik dan distribusi frekuensi yang digunakan tidak dapat diterima.

Analisis Regresi Linier

Analisis regresi dilakukan untuk mengetahui hubungan linier antara debit air sebagai variabel bebas dengan curah hujan dan tinggi muka air sebagai variabel tidak bebas. Sehingga, pola hubungan kausal sebab akibat antara variabel bebas dan tidak bebas dapat diketahui (Harto, 2009). Penelitian ini menggunakan curah hujan (X_1) dan tinggi muka air (X_2) sebagai variabel tidak bebas dan debit air (\hat{Y}) sebagai variabel bebas.

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \epsilon$$

dimana :

- \hat{Y} = variabel tidak bebas yaitu debit air
- a = koefisien konstanta
- b_1 dan b_2 = koefisien regresi variabel tidak bebas
- X_1 = variabel independen pertama yaitu curah hujan
- X_2 = variabel independen kedua yaitu tinggi muka air
- ϵ = error

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi ini menggunakan data debit air dan curah hujan dari laporan BBWS Ciliwung – Cisadane 2013. Data debit air (Tabel 1) dan curah hujan (Tabel 2) yang digunakan ialah data 1994 – 2013. Kemudian, Data tersebut dianalisis dengan menggunakan distribusi log pearson tipe 3 untuk mendapatkan debit air dan curah hujan rencana pada periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun. Hasil analisis frekuensi menunjukkan adanya peningkatan debit air dan curah hujan rencana pada periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun. Debit air rencana dan curah hujan rencana (Q_T) pada setiap periode ulang (T) di dapat dari nilai Log. Q_T (Tabel 3). Peningkatan debit air rencana dimulai dari T = 2, dimana debit air rencana sebesar 8.2 m³/d dan terus mengalami peningkatan sampai pada saat T = 50, dimana debit air rencana menjadi 14.6 m³/d (Gambar 2).

Tabel 1 Data rata-rata debit air pertahun 1994 – 2013.

No.	Tahun	Rata-rata (m ³ /d)	No.	Tahun	Rata-rata (m ³ /d)
1	1994	8.1	11	2004	6.8
2	1995	9.7	12	2005	9.4
3	1996	6.3	13	2006	6.6
4	1997	4.8	14	2007	7.3
5	1998	7.2	15	2008	12.4
6	1999	6.5	16	2009	14.2
7	2000	5.9	17	2010	12.6
8	2001	8.6	18	2011	8.1
9	2002	8.2	19	2012	9.1
10	2003	6.6	20	2013	9.3

Sumber: laporan BBWS Ciliwung - Cisadane tahun 2013

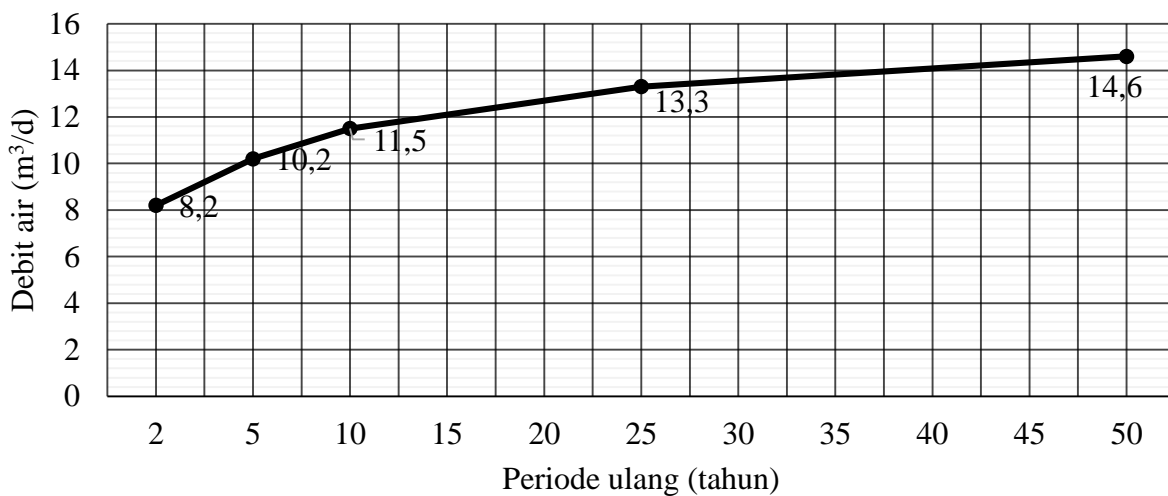
Tabel 2 Data jumlah curah hujan pertahun 1994 – 2013.

No.	Tahun	Jumlah (mm)	No.	Tahun	Jumlah (mm)
1	1994	2770	11	2004	2928
2	1995	3559	12	2005	3479
3	1996	3556	13	2006	2852
4	1997	2293	14	2007	3384
5	1997	4081	15	2008	3298
6	1999	3827	16	2009	3440
7	2000	3128	17	2010	3936
8	2001	3880	18	2011	3486
9	2002	2939	19	2012	3165
10	2003	2992	20	2013	3339

Sumber: laporan BBWS Ciliwung - Cisadane tahun 2013

Tabel 3 Hasil analisa frekuensi debit air dan curah hujan.

T	Debit air		Curah hujan	
	Log. Q_T	Q_T (m ³ /d)	Log. Q_T	Q_T (mm)
2	0.9118	8.2	3.515	3272
5	1.0082	10.2	3.520	3313
10	1.0615	11.5	3.536	3432
25	1.1228	13.3	3.554	3580
50	1.1632	14.6	3.560	3629

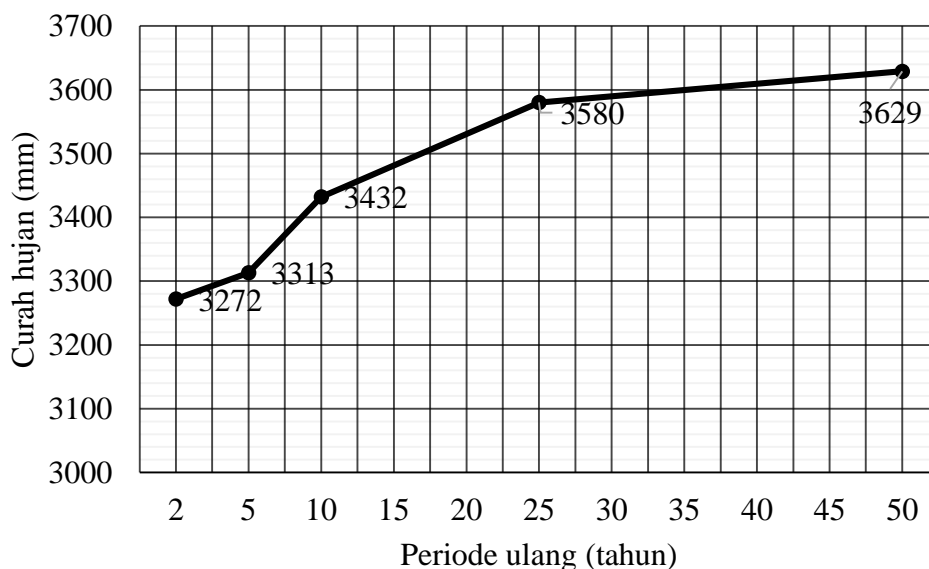


Gambar 2 Analisis frekuensi debit air rencana.

Hasil analisis ini menunjukkan bahwa rata-rata peningkatan debit air rencana dari periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun ialah sebesar 1.6 m³/d. Peningkatan debit air rencana pada setiap periode ulang dapat menjadi peluang untuk pemanfaatan sumber daya air pada Sungai Ciliwung menjadi sumber air baku bagi masyarakat Kota Bogor. Hal yang sama juga terjadi terhadap analisis frekuensi curah hujan rencana, dimana curah hujan rencana mengalami peningkatan pada setiap periode ulang. Peningkatan curah hujan rencana di mulai dari T = 2, dimana curah hujan rencana sebesar 3272 mm dan tidak mengalami penurunan sampai pada saat T = 50, curah hujan rencana menjadi 3629 mm (Gambar 3). Dimana, rata-rata peningkatan curah hujan rencana dari periode ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun ialah sebesar 89.25 mm.

Peningkatan curah hujan di Kota Bogor dapat disebabkan oleh topografi Kota Bogor yang bervariasi yaitu diantara < 120 mdpl sampai > 400 mdpl. Bahkan daerah lain seperti Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung yang memiliki ketinggian > 300 mdpl juga diprediksi mengalami peningkatan curah hujan berbeda dengan Kabupaten Pesawaran, Provinsi Lampung yang memiliki ketinggian < 150 mdpl justru mengalami penurunan

atau cenderung stabil (Manik *et al.*, 2014). Penelitian di Provinsi Bali menunjukkan bahwa terdapat koefisien regresi yang bernilai positif antara pengaruh kenaikan topografi terhadap peningkatan curah hujan (Marpaung, 2010). Topografi memiliki pengaruh 70% terhadap peningkatan curah hujan semakin tinggi topografi suatu wilayah, maka semakin tinggi juga curah hujan di daerah tersebut (Loo *et al.*, 2015). Sehingga, bisa dikatakan bahwa topografi memiliki efek terhadap peningkatan curah hujan (Suzuki *et al.*, 2004). Terdapat tiga proses bagaimana hubungan antara curah hujan dan topografi. Pertama ialah topografi yang mengakibatkan pembelokan awan dan membentuk masa lembap dalam arah vertikal, kedua ialah topografi dapat menentukan perubahan sistem tekanan rendah, dan ketiga ialah topografi dapat mengakibatkan terjadinya arus konveksi lokal (Juaeni *et al.*, 2006). Pada penelitian lainnya seperti di Kota Mataram dengan menggunakan metode distribusi log pearson tipe 3, curah hujan dan debit air mengalami peningkatan pada periode ulang 1, 2, 5, 10, 25, 50, 100 dan 200 (Budianto *et al.*, 2015).



Gambar 3 Analisis frekuensi curah hujan rencana.

Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Hasil uji kesesuaian (*goodness of fit*) analisa frekuensi curah hujan dengan menggunakan metode *Kolmogorov-smirnov* didapatkan $D_{hitung} = 0.0912 < D_{cr} = 0.29$, sementara untuk analisa frekuensi debit air $D_{hitung} = 0.1481 < D_{cr} = 0.29$. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kesesuaian pada kedua analisa frekuensi tersebut baik dan dapat diterima, dimana frekuensi hasil observasi tidak menyimpang dengan frekuensi harapan dengan tingkat kepercayaan 95%. Pada metode *chi-square* nilai $\chi^2_{hitung} = 1.8680 < \chi^2_{cr} = 9.3905$ untuk analisa frekuensi curah hujan dan untuk analisa frekuensi debit air bahwa $\chi^2_{hitung} = 4.1753 < \chi^2_{cr} = 9.3905$. Hal ini menunjukkan bahwa frekuensi nilai observasi tidak menyimpang dari frekuensi harapan. Sehingga, kesesuaian pada kedua analisa frekuensi ini baik dan dapat diterima dengan tingkat kepercayaan 95%.

Analisis regresi linier

Data rata-rata tinggi muka air (Tabel 4) digunakan sebagai (X2) dalam analisis regresi linier. Data yang digunakan ialah data pada tahun yang sama dengan debit air dan curah hujan.

Tabel 4 Data rata-rata tinggi muka air tahun 1994 – 2013.

No.	Tahun	Rata-rata (cm)	No.	Tahun	Rata-rata (cm)
1	1994	57.62	11	2004	50.71
2	1995	65.66	12	2005	63.47
3	1996	44.49	13	2006	46.11
4	1997	41.17	14	2007	53.67
5	1998	50.00	15	2008	76.05
6	1999	46.00	16	2009	83.74
7	2000	42.03	17	2010	76.60
8	2001	58.38	18	2011	55.08
9	2002	56.17	19	2012	62.00
10	2003	49.40	20	2013	63.00

Sumber: laporan BBWS Ciliwung – Cisadane tahun 2013

Nilai R^2 yang diterapkan = 0.977 (97.7%) menunjukkan bahwa perubahan debit air pada Sungai Ciliwung dipengaruhi oleh perubahan tinggi muka air dan curah hujan (Gambar 4). Sementara, sisanya (100% - 97.7% = 2.3%) dipengaruhi oleh faktor lain. Estimasi standar kesalahan menentukan ketepatan dari model regresi dalam memprediksi variabel dependen. Nilai estimasi standar kesalahan pada model ini sebesar 0.36299, sehingga dapat dikatakan model regresi ini tepat untuk memprediksi debit air (Tabel 5).

Tabel 5 Ringkasan model^b.

Model	R	R ²	R ² yang diterapkan	Estimasi standar kesalahan
1	0.990 ^a	0.980	0.977	0.36299

a. Prediktor: (Konstan), tinggi muka air, curah hujan

b. Variabel tidak bebas: debit air

Nilai F hitung = 410.509 dengan probabilitas 0.000, dimana $\rho = 0.000 < \alpha = 0.05$. Maka, curah hujan (X_1) dan tinggi muka air (X_2) terdapat pengaruh yang berarti terhadap debit air (\hat{Y}). Hal ini juga berarti nilai koefisien determinasi R^2 tidak sama dengan nol, atau signifikan (Tabel 6).

Tabel 6 ANOVA^b.

Model	Jumlah kuadrat	df	Rata-rata kuadrat	F	Sig.	
1	Regresi	108.177	2	54.088	410.509	0.000 ^a
	Sisa	2.240	17	.132		
	Total	110.416	19			

a. Prediktor : (Konstan), tinggi muka air, curah hujan

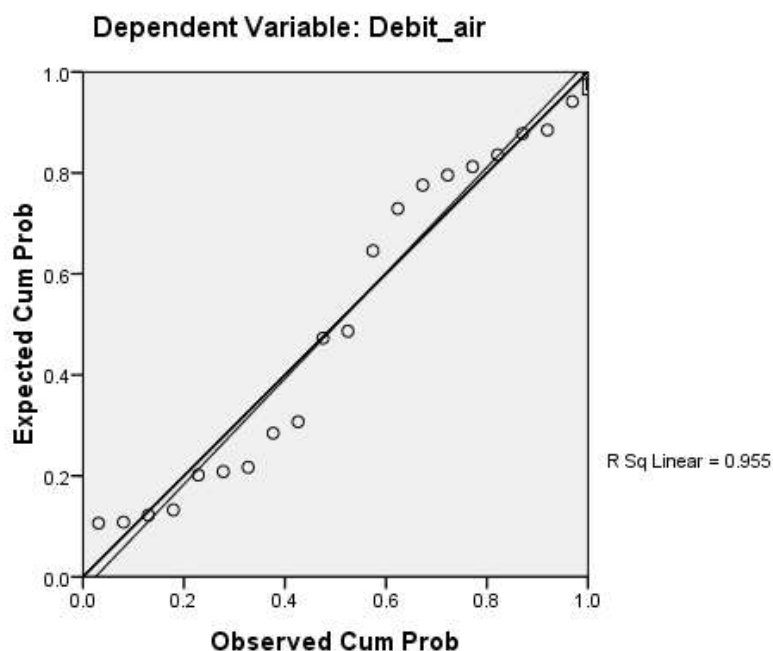
b. Variabel tidak bebas: debit air

Nilai koefisien B tidak standar merupakan persamaan model regresi, dimana model regresi yang dihasilkan ialah $\hat{Y} = -3.01 + 0.002 X_1 + 0.202 X_2$ (Tabel 7). Koefisien konstanta yang bernilai negatif menyatakan bahwa ketika mengasumsikan ketiadaan variabel curah hujan dan tinggi muka air. maka, debit air akan cenderung mengalami penurunan. Koefisien regresi curah hujan dan tinggi muka air bernilai positif hal ini menyatakan bahwa tidak dapat meniadakan variabel curah hujan. Jika, debit air mengalami perubahan sebesar satu satuan, maka curah hujan akan berubah sebesar 0.002 satuan pada arah yang sama dan tinggi muka air akan berubah sebesar 0.202 satuan pada arah yang sama.

Tabel 7 Koefisien^a.

Model	Koefisien tidak standar		Koefisien standar	t	Sig.
	B	Std. kesalahan	Beta		
1 (Konstan)	-3.010	.514		-5.857	.000
Curah hujan	.002	.002	-.009	-.256	.801
Tinggi muka air	.202	.007	.992	27.453	.000

a. Variabel tidak bebas: Debit air



Gambar 4 Kurva model regresi linier.

SIMPULAN

Curah hujan mengalami peningkatan pada setiap periode ulang 2, 5, 10, 25, 50 tahun dengan rata-rata peningkatan sebesar 89.25 mm. Begitu juga dengan debit air yang mengalami peningkatan, dimana rata-rata peningkatan sebesar 1.6 m³/s. Hal ini membuktikan bahwa Sungai Ciliwung dapat dijadikan salah satu sumber air baku. Hasil regresi linier menyatakan bahwa tinggi muka air dan curah hujan mempengaruhi besarnya debit air pada Sungai Ciliwung. Namun, terdapat faktor lain sebesar 2.3% yang mempengaruhi debit air Sungai Ciliwung.

DAFTAR PUSTAKA

[Bappeda] Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Bogor. 2011. *Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bogor Tahun 2011-2031*. Bogor (ID): Bappeda Kota Bogor.

[Bappenas] Badan Perencanaan Nasional. 2013. *Laporan Pencapaian Tujuan Pembangunan Milinium Di Indonesia 2011*. Jakarta. [terhubung berkala]. <http://bappenas.go.id> [19 mei 2017].

[BPLHD] Badan Pengelolaan Lingkungan Hidup DKI Jakarta. 2014. *Laporan Pelaksanaan Kualitas Sungai. Kementerian Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*. Jakarta.

[BPS] Badan Pusat Statistik Kota Bogor. 2015. *Kota Bogor dalam Angka*. Bogor.

[PDAM] Perusahaan Daerah Air Minum Tirta Pakuan Kota Bogor. 2011. *Review Rencana Induk SPAM PDAM Tirta Pakuan Kota Bogor*. Bogor (ID): PDAM Tirta Pakuan.

- Budianto MB, Yasa IW, Hanifah L. 2015. Analisis karakteristik curah hujan untuk pendugaan debit puncak dengan metode rasional di Mataram. *Spektrum Sipil*. 2(2): 137 – 144.
- Harto S. 2009. *Hidrologi*. Yogyakarta(ID): Nafiri Offset..
- Herrera M, Torgo L, Izquierdo J, Pe rez-Garcia R. 2010. Predictive models for forecasting hourly urban water demand. *J. Hydrol*. 387: 141-150.
- Juaeni *et al.* 2006, Periode Curah Hujan Dominan dan Hubungannya dengan Topografi. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca, UPT Hujan Buatan BPPT*. 7(2).
- Jun W, Zhongmin L, Yiming L, Dong W. 2015. Modified weighted function method with the incorporation of historical floods into systematic sample for parameter estimation of pearson type three distribution. *Hydrology J*. 527: 958-966.
- Loo YY, Billa L, Singh A. 2015. Effect of climate change on seasonal monsoon in asia and its impact on the variability of monsoon rainfall in southeast asia. *Geoscience Frontiers J*. 6: 817-823.
- Manik TK, Rosadis B, Nurhayati E. 2014. Mengkaji Dampak Perubahan Iklim Terhadap Distribusi Curah Hujan Lo/kal di Propinsi Lampung. *Forum Geografi*. 28(1): 73-86.
- Marpaung S. 2010. Pengaruh Topografi terhadap curah hujan musiman dan tahunan di Provinsi Bali berdasarkan data observasi resolusi tinggi. Prosiding Seminar Penerbangan dan Antariksa 2010. Serpong
- Muchtar, Asikin, Abdullah N. 2007. Analisis Faktor-faktor yang Mempengaruhi Debit Sungai Mamasa. *Jurnal Hutan dan Masyarakat*. 2(1).
- Mudiyarso D dan Kurnianto S. 2007. Peranan vegetasi dalam mengatur pasokan air. Makalah Workshop ”Peran Hutan dan Kehutanan dalam Meningkatkan Daya Dukung DAS”, di Surakarta, 22 November 2007. Balai Penelitian Kehutanan Solo.
- Muliranti S, Hadi, PM. 2013. Kajian ketersediaan air meteorologis untuk pemenuhan kebutuhan air domestik di Provinsi Jawa Tengah dan DIY. *J. Bumi Indonesia*. 2: 23-32.
- Paimin, Sukresno, dan Purwanto. 2006. *Sidik cepat degradasi sub DAS*. Bogor(ID): Pusat Penelitian dan Pengembangan Hutan dan Konservasi Alam.
- Rachmawati A. 2010. Aplikasi SIG (Sistem Informasi Geografis) untuk evaluasi sistem jaringan drainase di Sub DAS Lowokwaru Kota Malang. *J. Rekayasa Sipil*. 4: 111 – 123.
- Sutrisno AJ, Kaswanto RL, Arifi HS. 2018. Spatial and temporal distribution of nitrate concentration in Ciliwung River, Bogor City. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 179(2018).
- Suzuki *et al.* 2004. Study On Rainfall-Topography Relationships in Japan with Regard to the Spatial Scale of Mountain Slopes . *Sixth International Symposium On Hydrological Applications Of Weather Radar, Melbourne, Australia*.
- Wesli. 2008. *Drainase Perkotaan*. Yogyakarta (ID): Graha Ilmu.



Kajian Efektivitas Penggantian Alat Tangkap Cantrang Menjadi Gillnet Millenium di Banyutowo, Pati, Jawa Tengah

The Effectiveness of Fishing Gear's Replacement from Cantrang into Gillnet Millennium at Banyutowo, Pati Residence

Neneng Evy Yulieny^a, Achmad Fahrudin^b, Nimmi Zulbainarni^c

^a Inspektorat Jenderal Kementerian Kelautan dan Perikanan, Gedung Mina Bahari IV, Jakarta, 10110, Indonesia

^b Program Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor, Jawa Barat 16128, Indonesia

^c Sekolah Bisnis Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Gunung Gede Bogor, 16128, Indonesia

Article Info:

Received: 10 - 07 - 2019

Accepted: 17 - 09 - 2019

Keywords:

Banyutowo, Cantrang,
Gillnet millenium,
Replacement Fishing Gear

Corresponding Author:

Neneng Evy Yulieny
Inspektorat Jenderal
Kementerian Kelautan dan
Perikanan, Jakarta
Tel. 081293182145
Email: evy.neneng@gmail.com

Abstract: *This study's background was based on the prohibition of cantrang's operation. To reduce impact of this ban, the Government was replacing cantrangs with another fishing gears which are considered more environmentally friendly. In Banyutowo, Pati Residence, "cantrang" was replaced with Gillnet Millennium. This study aims to determine the pattern of fishing season of some of the dominant fish species caught around Banyutowo and to analyze the effectiveness of replacing fishing gear, from cantrangs into gillnet millenium at Banyutowo. Based on the analysis of fishing season patterns and types of fishing gear for seven months a year (January, February, March, April, May, October and December) it is known that cantrang can catch more types of fish compared to gillnet, whereas gillnet is more selective in catch fish compared to cantrang. The evaluation of the effectiveness of replacing cantrang into the gillnet millennium in Banyutowo at the process stage shows ineffective results, and at the output stage shows very ineffective results. The change of fishing gear needs to consider its suitability with the fishing fleet used in addition to assistance so that the fishermen who receive the program are proficient in using the fishing gear.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Yulieny NE, Fahrudin A, Zulbainarni N. 2019. Kajian Efektivitas Penggantian Alat Tangkap Cantrang Menjadi Gillnet Millenium di Banyutowo, Pati, Jawa Tengah. *JPSL* 10(1): 34-42. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.34-42>.

PENDAHULUAN

Potensi perikanan di perairan Indonesia harus tetap dijaga agar dapat dikelola untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat nelayan Indonesia (Ruchimat, 2013 dalam Hermanto *et al.*, 2019), namun beberapa wilayah di Indonesia telah mengalami penurunan sumber daya, antara lain Pantai Utara Jawa Tengah terindikasi telah mengalami *over fishing*, dimana salah satu penyebabnya adalah tekanan penangkapan yang didominasi oleh perikanan tangkap skala kecil yang banyak beroperasi di perairan pantai (Triarso, 2013). Simbolon dan Girsang (2009) dalam Hidayat *et al.* (2019) mengemukakan bahwa penurunan stok ikan dapat diantisipasi dengan menghindari tangkapan kategori tidak layak tangkap secara biologis, penggunaan alat tangkap selektif hanya terhadap ikan kategori layak tangkap secara biologis, serta perencanaan operasi penangkapan ikan pada musim tertentu ketika ikan kategori layak tangkap dominan di perairan, dan pengendalian jumlah upaya penangkapan sesuai dengan potensi lestari (*carrying capacity*).

Terkait dengan upaya untuk mengantisipasi penurunan stok ikan tersebut serta pencapaian visi pembangunan sektor kelautan dan perikanan di Indonesia, yaitu mewujudkan pengelolaan sumberdaya kelautan dan perikanan yang berkelanjutan antara lain dengan menghentikan tindakan perusakan eksploitasi

dan pengelolaan yang tidak ramah lingkungan, pemerintah telah menerbitkan Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 2 Tahun 2015 tentang Pelarangan Alat Penangkapan Ikan Pukat Hela dan Pukat Tarik (*Seine Nets*), termasuk di dalamnya alat tangkap cantrang. Terbitnya peraturan ini berdasarkan pada temuan di lapangan bahwa para nelayan memodifikasi alat tangkap tersebut sehingga menyebabkan alat tangkap tersebut tidak ramah lingkungan (Nababan *et al.*, 2018). Di sisi lain, pelarangan penggunaan cantrang ini menimbulkan gejolak sosial di masyarakat dan mempengaruhi perekonomian masyarakat (Zulbainarni *et al.*, 2016). Untuk mengatasi gejolak sosial yang terjadi, Kementerian Kelautan dan Perikanan berupaya melakukan peralihan alat tangkap cantrang menjadi alat tangkap ramah lingkungan, yaitu *gillnet* millennium. Salah satu lokasi penerapan kebijakan ini adalah di Kabupaten Pati, Provinsi Jawa Tengah, tepatnya di Pangkalan Pendaratan Ikan (PPI) Banyutowo. Dibutuhkan suatu penelitian yang bertujuan menganalisis pola musim penangkapan beberapa jenis ikan yang ditangkap menggunakan cantrang dan *gillnet*; serta menganalisis efektivitas penggantian cantrang menjadi alat tangkap *gillnet* millenium, khususnya di PPI Banyutowo Kab. Pati tersebut.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di PPI Banyutowo, Kec. Dukuhseti Kabupaten Pati, Propinsi Jawa Tengah, mulai dari bulan Desember 2017 hingga Januari 2018.

Metode Pengumpulan Data

Data primer diperoleh dari hasil wawancara dengan para responden yang ditentukan dengan teknik purposive sampling, yaitu nelayan yang menerima penggantian cantrang menjadi *gillnet* millennium. Jumlah responden adalah 16 orang atau 88.69% dari seluruh penerima penggantian cantrang dengan *gillnet* millennium (18 orang). Adapun data sekunder, yaitu data runtun waktu hasil tangkapan (bulanan) beberapa jenis ikan yang dominan tertangkap oleh nelayan cantrang dan *gillnet* selama tahun 2009-2017, diperoleh dari instansi terkait Dinas Perikanan dan Kelautan Kabupaten Pati dan Balai Besar Penangkapan Ikan (BPPI) Semarang.

Metode Analisis Data

Analisis Pola Musim Penangkapan Ikan

Data *time series* bulanan hasil tangkapan selama tahun 2009-2017 tersebut dianalisis menggunakan analisis deret waktu terhadap data hasil tangkapan (Dajan, 1986).

Kriteria Indeks Musim Penangkapan (IMP) (Simarmata *et al.*, 2014)

IMP < 50% : musim paceklik

50% <IMP<100% : bukan musim penangkapan (BMP)

IMP>100% : musim penangkapan

Untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan IMP berdasarkan jenis ikan dan bulan, selanjutnya dilakukan analisis sidik ragam/ *Analisis of variance (Anova)* terhadap hasil IMP. Analisis dilakukan dengan bantuan Microsoft excel.

Hipotesis yang akan diuji sebagai berikut:

H₀₁ : Tidak terdapat perbedaan nyata IMP beberapa jenis ikan di Banyutowo berdasarkan bulan

H₁₁ : Terdapat perbedaan nyata IMP beberapa jenis ikan di Banyutowo bulan berdasarkan bulan

H₀₂ : Tidak terdapat perbedaan nyata IMP bulanan beberapa jenis ikan di Banyutowo

H₁₂ : Terdapat perbedaan nyata IMP bulanan beberapa jenis ikan di Banyutowo

Efektivitas Penggantian Cantrang dengan Gillnet Millenium

Dalam penelitian ini akan dilakukan penilaian efektivitas dengan model evaluasi sistem analisis pada tahap proses dan keluaran (Wirawan, 2016). Dalam manajemen, sistem diformulasikan dalam bentuk linier produksi yang terdiri dari input, proses, keluaran, akibat dan pengaruh. Dari setiap segmen tersebut dapat dievaluasi untuk menentukan nilai dan manfaat keseluruhan sistem, dan dalam model evaluasi sistem analisis ini evaluasi pada setiap tahap dapat dilakukan terpisah (Wirawan, 2016).

Variabel penilaian efektivitas pada tahap proses meliputi apakah identifikasi dan validasi calon penerima sesuai ketentuan, apakah penerima mengetahui tujuan kegiatan, apakah telah mengikuti kegiatan sosialisasi, apakah penerima penggantian mengetahui mengenai alternatif alat tangkap pengganti, apakah penerima penggantian telah mengikuti pelatihan, dan apakah ada kegiatan pendampingan atau pemantauan setelah penggantian alat tangkap.

Variabel penilaian efektivitas pada keluaran/ouput penggantian cantrang menjadi *gillnet* millennium meliputi apakah penerima penggantian memilih *gillnet* millennium sebagai alat tangkap pengganti, pemanfaatan *gillnet* millennium sebagai alat tangkap pengganti, kemampuan merakit dan mengoperasikan *gillnet* millennium, kesesuaian perahu yang dimiliki untuk mengoperasikan *gillnet* millennium serta kesesuaian *gillnet* millennium untuk digunakan di perairan sekitar Banyutowo.

Analisis efektivitas kegiatan pada tahap proses dan keluaran dilakukan dengan nilai rasio antara realisasi dengan target kegiatan (%), dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efektivitas kegiatan per tahap} = \frac{R}{T} \times 100\%$$

Dimana:

R= Realisasi

T = Target

Acuan yang dipakai untuk mengukur efektivitas pada Tabel 2 menggunakan kriteria kuantitatif dengan pertimbangan (Arikunto dan Jabar 2008), tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2 Kriteria tingkat efektivitas .

Nilai	Tingkat Efektivitas
Di bawah 40%	Sangat tidak efektif
40% - 55.99%	Tidak efektif
56% - 65.99%	Cukup efektif
66-79.99%	Efektif
Di atas 80%	Sangat efektif

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Musim Penangkapan Ikan

Alat tangkap yang banyak dioperasikan di perairan sekitar Banyutowo adalah *gillnet* (198 unit) dan cantrang (21 unit) (Data Dinas Kelautan dan Perikanan Kab. Pati, 2017). Diketahui tujuh jenis ikan yang ditangkap oleh cantrang di Banyutowo, yaitu Kuniran (*Upeneus sp*), Pari (*Dasyatis sp*), Beloso (*Sauryda sp*), Manyung (*Arius sp*), Kuro (*Eleutheronema tetradactylum*), Tigawaja (*Nibea sp*) dan Cumi-cumi (*Loligo sp*), sedangkan *gillnet* hanya menangkap empat jenis ikan, yaitu manyung (*Arius sp*), kuro (*Eleutheronema tetradactylum*) dan Tigawaja (*Nibea sp*). Data *time series* sepanjang tahun 2009-2017 menunjukkan musim penangkapan tujuh jenis ikan di perairan Banyutowo berbeda-beda (Tabel 3). Rerata bulanan IMP ikan demersal dan cumi-cumi di perairan Banyutowo berkisar antara 75.20%-136.58% (Tabel 3), menunjukkan bahwa secara umum tidak ada bulan pakeklik di Banyutowo (Gambar 2). Hasil penelitian sebelumnya di perairan Laut Jawa menunjukkan hasil yang serupa, dimana ikan demersal dan Cumi-cumi dapat ditangkap sepanjang tahun dan tidak nampak adanya perbedaan sebaran ikan demersal antara musim barat dan musim peralihan (Imron 2008, Priatna dan Natsir 2008).

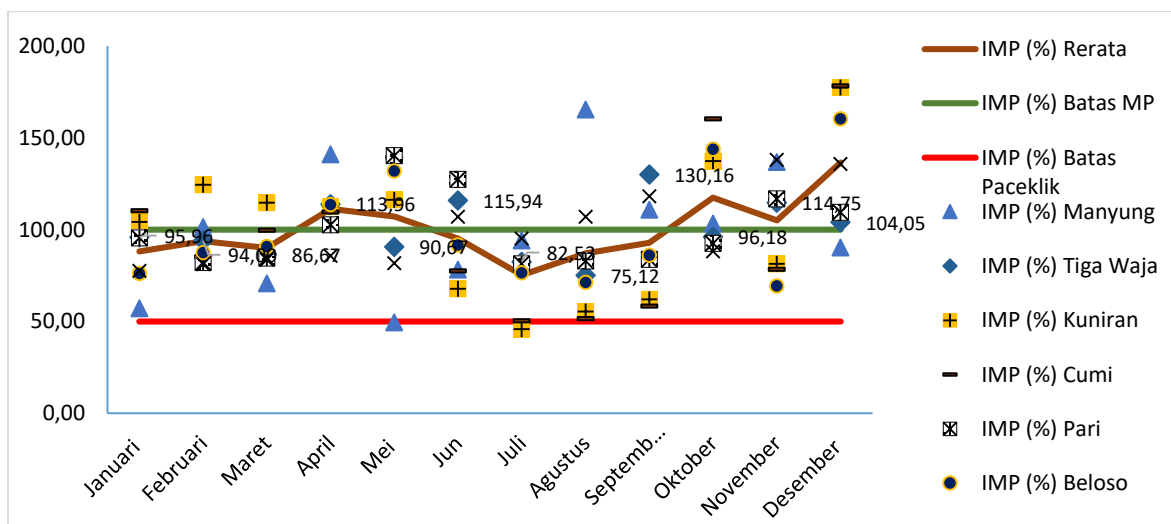
Bulan April (musim peralihan) merupakan musim penangkapan bagi sebagian besar jenis ikan yang dianalisis dalam penelitian ini, yaitu ikan Kuniran (*Upeneus sp*), Manyung (*Arius sp*), Pari (*Dasyatis sp*), Beloso (*Sauryda sp*), Tigawaja (*Nibea sp*) dan Cumi-cumi (*Loligo sp*). Musim peralihan ini merupakan masa yang paling disukai oleh nelayan untuk melakukan penangkapan ikan. Selain karena kecepatan angin di Laut Jawa pada bulan-bulan tersebut lebih rendah dibandingkan pada musim barat dan musim timur, juga karena ukuran ikan yang ditangkap lebih besar dibandingkan musim Barat (Priatna dan Natsir 2008).

Tabel 3 Indeks Musim Penangkapan Beberapa Jenis Ikan di PPI Banyutowo Tahun 2009-2017.

Bulan	IMP (%)							Tiga Waja	Rerata	Ket
	Kuniran	Cumi	Pari	Beloso	Manyung	Kuro				
Jan	104.22	110.42	95.62	76.14	57.29	77.56	95.96	88.17	BMP	
Feb	124.52	85.05	82.11	87.63	101.59	81.35	94.00	93.75	BMP	
Mar	114.76	99.80	84.51	90.82	70.89	83.72	86.67	90.17	BMP	
Apr	112.68	109.70	102.64	113.74	141.01	85.81	113.96	111.36	MP	
Mei	116.28	139.44	140.32	132.02	49.52	81.81	90.67	107.15	MP	
Jun	67.84	77.55	127.49	91.78	78.30	107.07	115.94	95.14	BMP	
Jul	45.96	50.44	81.37	76.63	94.20	95.31	82.53	75.20	BMP	
Ags	55.49	51.67	83.08	71.27	165.56	107.06	75.12	87.04	BMP	
Sep	62.04	58.52	83.94	86.15	110.91	118.21	130.16	92.85	BMP	
Okt	137.36	160.42	92.53	143.90	103.42	88.25	96.18	117.44	MP	
Nov	81.42	78.52	116.86	69.49	136.96	138.06	114.75	105.15	MP	
Des	177.43	178.45	109.53	160.43	90.35	135.81	104.05	136.58	MP	

BMP = Bukan Musim Penangkapan

MP = Musim Penangkapan



Gambar 1 Perbandingan IMP Beberapa jenis Ikan di Banyutowo.

Nilai rata-rata IMP tertinggi (136.58%) di Banyutowo terjadi pada bulan Desember, dan merupakan musim puncak bagi ikan Kuniran (*Upeneus sp*), Beloso (*Sauryda sp*) dan Cumi-cumi (*Loligo sp*) dan musim penangkapan bagi ikan Pari (*Dasyatis sp*), Kuro (*Eleutheronema tetradactylum*), Tigawaja (*Nibea sp*). Kondisi ini juga dijumpai pada perairan Laut Jawa lainnya, dimana di Tegal puncak tertinggi musim Ikan Kuniran (*Upeneus sp*, Pari (*Dasyatis sp*), Beloso (*Sauryda sp*) dan Cumi-cumi (*Loligo sp*) juga terjadi pada bulan Desember (Imron 2008). Pada musim barat ini, meskipun curah hujan dan kecepatan angin tinggi namun diduga kelimpahan ikan tersebut cukup tinggi. Tingginya kelimpahan ikan diduga terkait dengan dengan

tingginya kesuburan perairan pada musim ini, yang ditunjukkan oleh konsentrasi bentos, plankton dan larva pada musim Barat di perairan Jawa Tengah yang sangat tinggi (Priatna dan Natsir, 2008). Kesuburan perairan ini terkait dengan tingginya material dari sungai yang kaya nutrisi (Hendiarti *et al.*, 2004, Hendriarti, 2005 dalam Prasetyo *et al.*, 2017). Kecamatan Dukuh Seti dimana PPI Banyutowo berlokasi merupakan muara bagi beberapa sungai, yaitu Sungai Lenggi, Sungai Pengarep dan Sungai Ngarengan.

Kaitan kesuburan perairan dengan musim ikan demersal dan Cumi-cumi tidak secara langsung, namun berpengaruh terhadap rantai makanan. Saat kesuburan perairan meningkat, akan meningkatkan konsentrasi fitoplankton. Tingginya konsentrasi fitoplankton akan mengundang kehadiran pemakan fitoplankton, yaitu zooplankton dan ikan-ikan pelagis pemakan fitoplankton. Selanjutnya peningkatan jumlah zooplankton dan ikan-ikan pemakan fitoplankton ini akan mengundang kedatangan ikan-ikan pemangsa (karnivora), termasuk dalam hal ini ikan demersal dan cumi (Prasetyo *et al.*, 2014).

Bulan Agustus merupakan puncak musim penangkapan bagi ikan Manyung (*Arius* sp). Jika dikaitkan dengan pola angin muson, puncak musim ikan Manyung terjadi pada musim timur. Hal ini disebabkan oleh adanya proses divergensi di perairan utara Kecamatan Keling dan utara Kecamatan Donorojo, Kab. Jepara, yang merupakan wilayah penangkapan (*fishing ground*) nelayan Banyutowo. Proses tersebut menyebabkan nutrisi yang berada di lapisan bawah terangkat dan meningkat konsentrasinya sehingga menyebabkan peningkatan kesuburan fitoplankton, diindikasikan dengan tingginya konsentrasi klorofil-a di wilayah tersebut.

Nilai IMP terendah ikan Bulan November merupakan saat dimana nilai IMP ikan Beloso (*Sauryda* sp) paling rendah (69.49%). Hal ini diduga karena belum pulihnya sumber daya ikan setelah mengalami tekanan penangkapan yang tinggi pada bulan Oktober. Sementara itu, rendahnya nilai IMP Beloso di musim Timur dan musim Barat, diduga terkait dengan kondisi cuaca tidak menentu dan angin kencang, membuat nelayan mengurangi aktivitas penangkapan.

Hasil pengujian Anova untuk mengetahui perbedaan IMP beberapa jenis ikan berdasarkan bulan menunjukkan nilai F hitung (2.718247) lebih besar dibandingkan F tabel (1.937) sehingga H_{01} ditolak dan H_{11} diterima pada taraf kepercayaan 5%. Dengan kata lain terdapat perbedaan nyata IMP berdasarkan bulan.


Hasil pengujian anova untuk mengetahui perbedaan IMP berdasarkan jenis ikan menunjukkan nilai F hitung (0.0000000163) lebih kecil dibandingkan F tabel (2.23948), sehingga H_{02} diterima dan H_{12} ditolak pada taraf kepercayaan 5%, atau tidak terdapat perbedaan IMP berdasarkan jenis ikan. Meskipun demikian, patut dicermati bahwa hasil tangkapan ikan tidak hanya dipengaruhi oleh faktor tunggal, namun merupakan interaksi beberapa faktor yang saling terkait, diantaranya faktor alam (kesuburan perairan dan kondisi cuaca) serta faktor teknologi (jumlah trip kapal, jumlah kapal yang beroperasi serta alat tangkap yang digunakan) (Prasetyo *et al.* 2014).

Pola musim penangkapan ikan di Banyutowo berdasarkan jenis ikan dan alat tangkapnya dapat dilihat pada Tabel 4, yang memberikan gambaran mengenai musim penangkapan masing-masing jenis ikan dengan alat penangkapannya. Berdasarkan Tabel 4 tentang Pola Musim Penangkapan Ikan dan Jenis Alat Tangkap selama tujuh bulan dalam setahun (Januari, Februari, Maret, April, Mei, Oktober dan Desember) cantrang mampu menangkap lebih banyak jenis ikan yang sedang musim dibandingkan dengan *gillnet*. Selama empat bulan dalam setahun (Juni, Agustus, September dan Oktober) jumlah jenis ikan yang ditangkap oleh *gillnet* sama dengan cantrang. Pada bulan Juli baik cantrang maupun *gillnet* tidak cocok digunakan untuk menangkap ikan yang sedang musim di Banyutowo. Secara umum cantrang dapat menangkap lebih banyak jenis ikan dibandingkan dengan *gillnet*, sedangkan *gillnet* lebih selektif dalam menangkap jenis ikan dibandingkan cantrang. Wijayanto *et al.* (2019) menyatakan bahwa cantrang mempunyai *fishing power* yang lebih besar dibandingkan dengan *gillnet*. Cantrang juga mampu menangkap berbagai jenis dan ukuran ikan, termasuk ikan yang menjadi sasaran penangkapan *gillnet*.

Tabel 4 Pola Musim Penangkapan Ikan di PPI Banyutowo Tahun 2009-2017 berdasarkan Jenis Ikan dan Alat Tangkap.

Bulan	Jenis Ikan							Frekuensi MP Per Jenis Alat Tangkap	
	Kuniran	Cumi	Pari	Beloso	Manyung	Kuro	Tiga Waja	Cantrang (C)	Gillnet (G)
Jan	C	C						2	0
Feb	C				C/G			2	1
Mar	C							1	0
Apr	C	C	C/G	C	C/G		C/G	6	3
Mei	C	C	C/G	C				4	1
Jun			C/G			C/G	C/G	3	3
Jul								0	0
Ags					C/G	C/G		2	2
Sep					C/G	C/G	C/G	3	3
Okt	C	C		C	C/G			4	1
Nov			C/G		C/G	C/G	C/G	4	4
Des	C	C	C/G	C		C/G	C/G	6	2

Keterangan :

- C : Musim Penangkapan Ikan, menggunakan alat tangkap cantrang
- G : Musim Penangkapan Ikan, menggunakan alat tangkap *gillnet*
- C/G : Musim Penangkapan Ikan, menggunakan cantrang atau *gillnet*
-  : Bukan musim penangkapan ikan

Efektivitas Penggantian Alat Tangkap Cantrang dengan *Gillnet* Millenium

Penerima penggantian cantrang menjadi *gillnet* millennium di Banyutowo berjumlah 18 orang, seluruhnya berasal dari KUB Mina Lestari. Wawancara dan pengisian kuesioner dilakukan terhadap 16 responden (88.89%). Usia responden berkisar antara 30-65 tahun. Pendidikan terakhir SD sebanyak 13 orang (81,3%), SMP sebanyak 2 orang (12.5%), SMA sebanyak 1 orang (6.3%). Seluruh responden telah menikah. Saat pelaksanaan penelitian, 11 orang nelayan (68.8%) masih memiliki 1 unit cantrang, 4 orang nelayan masih memiliki 2 unit cantrang dan 1 orang responden masih memiliki 3 cantrang. 11 orang responden (68.9%) telah menggunakan cantrang selama lebih dari 10 tahun. 5 orang responden (31.1%) telah menggunakan cantrang selama 2-5 tahun.

Untuk indikator identifikasi dan verifikasi pada tahap proses, dinilai berdasarkan analisis terhadap dokumen hasil identifikasi dan verifikasi calon penerima penggantian alat tangkap cantrang dari Dinas Kelautan dan Perikanan Kabupaten Pati tahun 2016.

Evaluasi Proses

Hasil analisis menunjukkan nilai rata-rata sebesar 47.92%, artinya tidak terjadi efektivitas pada proses penggantian alat tangkap cantrang menjadi *gillnet*. Tingkat efektivitas ini sangat dipengaruhi oleh rendahnya pengetahuan nelayan terhadap tujuan penggantian alat tangkap serta kurangnya pendampingan dan pemantauan. Meskipun variabel kegiatan sosialisasi menunjukkan hasil cukup efektif. Sosialisasi tersebut belum sepenuhnya memberikan pemahaman tujuan kepada para nelayan penerima bantuan.

Tabel 5 Analisis Efektivitas Tahapan Proses Penggantian Cantrang dengan Gillnet Millenium.

No.	Indikator Evaluasi Proses	Target	Realisasi	Efektivitas (%)	Kategori
1	Identifikasi dan validasi calon penerima sesuai ketentuan	18	18	100.00%	Sangat Efektif
2	Pengetahuan terhadap tujuan	16	2	12.50%	Sangat tidak efektif
3	Sosialisasi	16	9	56.25%	Cukup efektif
4	Informasi alternatif alat tangkap pengganti	16	9	56.25%	Cukup efektif
5	Pelatihan	16	9	56.25%	Cukup efektif
6	Pendampingan atau pemantauan	16	1	6.25%	Sangat tidak efektif
Rata-rata				47.92%	Tidak Efektif

Indikator identifikasi dan validasi calon penerima dilakukan melalui analisis dokumen, selanjutnya dibandingkan dengan kriteria yang diatur dalam Petunjuk Teknis Bantuan Sarana Perikanan Tangkap Tahun 2016. Hasil identifikasi dan validasi dokumen tersebut menunjukkan bahwa identifikasi dan validasi calon penerima telah sesuai dengan petunjuk teknis (KKP, 2016).

Pemantauan terhadap pelaksanaan penggantian alat tangkap, merupakan salah satu variabel penting dalam keberhasilan kegiatan antara lain mengetahui kesesuaian pelaksanaan dibandingkan dengan rencana, dan dapat segera mengetahui penyebab ketidaksesuaian program sehingga dapat disusun langkah perbaikan (Arikunto dan Jabar, 2008). Penilaian responden terhadap pemantauan sangat tidak efektif, yaitu hanya 6,25%. Sebagian besar responden menyampaikan bahwa tidak ada petugas yang melakukan pemantauan setelah penggantian alat tangkap, sehingga permasalahan-permasalahan yang terjadi lambat diketahui, dan lambat ditindaklanjuti.

Evaluasi Keluaran

Analisis terhadap penggantian cantrang dengan *gillnet* millenium menunjukkan nilai rata-rata 33,75%, atau sangat tidak efektif. Variabel pemilihan *gillnet* millennium sebagai alat tangkap pengganti cantrang menunjukkan tingkat efektifitas 25% (sangat tidak efektif). Hasil ini berbeda dengan hasil indikator identifikasi dan verifikasi pada tahapan proses yang menunjukkan hasil sangat efektif. Berdasarkan dokumen, seluruh calon penerima memilih *gillnet* millennium sebagai pengganti cantrang, namun berdasarkan analisis persepsi sebagian besar calon penerima menjawab tidak memilih *gillnet* millennium. Setelah ditelusuri lebih lanjut, hal ini disebabkan pada saat mengusulkan secara tertulis alat tangkap yang dipilih, anggota kelompok mengikuti saran pengurus kelompok untuk memilih *gillnet* millennium sebagai alat tangkap pengganti cantrang. Kondisi ini menunjukkan kurang tepatnya metode identifikasi, dimana pemilihan jenis alat tangkap pengganti hanya pada berdasarkan pada keinginan dan minat nelayan, tanpa dilengkapi informasi memadai mengenai kondisi dan potensi kelimpahan sumber daya ikan di suatu perairan.

Variabel pemanfaatan alat tangkap pengganti menunjukkan nilai 37.5%, (sangat tidak efektif) karena tingkat pemanfaatan *gillnet* millennium cukup rendah. Hasil wawancara dengan nelayan penerima diketahui hasil tangkapan menggunakan *gillnet* millennium sangat sedikit, akibatnya sebagian besar nelayan penerima alat tangkap tersebut kembali menggunakan cantrang. Sebagian kecil nelayan penerima tetap bertahan menggunakan *gillnet* millennium dengan melakukan modifikasi terhadap alat tangkap tersebut, yaitu menyatukan beberapa *gillnet* millennium atau membagi dua *gillnet* millennium secara horizontal kemudian disatukan. Penggunaan alat tangkap ini tidak rutin dan hasil tangkapannya belum tercatat dengan baik. Meskipun demikian, perlu diapresiasi upaya para nelayan tersebut dengan keyakinan bahwa hasil tangkapan ikan akan meningkat seiring dengan semakin mahirnya mereka dalam menggunakan alat tangkap tersebut. Hal ini terkait erat dengan hasil analisis terhadap variabel kemampuan merakit dan mengoperasikan *gillnet*

millennium yang menunjukkan nilai 43.75% (tidak efektif). Diketahui dari hasil pelatihan bahwa sebagian besar nelayan belum mampu/ tidak mau merakit alat tangkap dan atau mengoperasikannya.

Penolakan untuk menggunakan oleh sebagian besar nelayan penerima maupun adanya upaya sebagian kecil nelayan penerima *gillnet* millennium disebabkan adanya ketidaksesuaian alat tangkap tersebut dengan armada penangkapan yang digunakan. Perahu untuk mengoperasikan cantrang berlunas lebar dan ukurannya pendek (Nababan *et al.*, 2018), sedangkan untuk mengoperasikan *gillnet* millennium diperlukan perahu yang lebih kecil dibandingkan perahu untuk mengoperasikan cantrang.

Tabel 6 Analisis Efektivitas Tahapan Keluaran Penggantian Cantrang dengan *Gillnet* Millennium.

No.	Indikator Evaluasi Proses	Target	Realisasi	Efektivitas (%)	Kategori
1	Pemilihan <i>gillnet</i> millennium sebagai alat tangkap pengganti	16	4	25.00%	Sangat tidak efektif
2	Pemanfaatan alat tangkap pengganti	16	6	37.50%	Sangat tidak efektif
3	Kemampuan merakit dan mengoperasikan <i>gillnet</i> millennium	16	7	43.75%	Tidak efektif
4	Kesesuaian kapal/ perahu untuk mengoperasikan <i>gillnet</i> millennium	16	0	0.00%	Sangat tidak efektif
5	Kesesuaian <i>gillnet</i> millennium untuk digunakan di perairan sekitar Banyutowo	16	10	62.50%	Cukup Efektif
Rata-rata				33.75%	Sangat Tidak efektif

SIMPULAN

Berdasarkan kondisi biofisik perairan dan data hasil tangkapan, diketahui bahwa Cantrang dapat menangkap lebih banyak jenis ikan dibandingkan dengan *gillnet*. Hal ini disebabkan *gillnet* lebih selektif dalam menangkap jenis ikan dibandingkan cantrang. Artinya kebijakan penggantian cantrang dengan *gillnet* millennium sudah sesuai dan mendukung pencapaian tujuan pembangunan kelautan dan perikanan secara berkelanjutan. Meskipun demikian, agar upaya penggantian alat tangkap ini dapat mencapai tujuannya secara optimal, dibutuhkan upaya penyempurnaan program sebagai berikut: a) Mempertimbangkan kesesuaian antara alat tangkap dengan armada penangkapan yang digunakan; b) Pendampingan yang lebih daripada sekedar memberi pelatihan kepada para nelayan penerima program, sehingga mereka dapat menguasai dengan baik penggunaan alat tangkap pengganti yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2015. *Peraturan Menteri Kelautan dan Perikanan No. 2 Tahun 2015 tentang Pelarangan Alat Penangkapan Ikan Pukat Hela dan Pukat Tarik (seine Nets)*. Jakarta (ID) [internet]. [diunduh pada 2016 Jan 20] tersedia http://infohukum.kkp.go.id/index.php/hukum/download/645/?type_id=1
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. Direktorat Jenderal Perikanan Tangkap. 2016. *Petunjuk Teknis Bantuan Sarana Perikanan Tangkap Tahun 2016*. Jakarta. (ID): Kementerian Kelautan dan Perikanan.
- Arikunto S, Jabar CSA. 2008. *Evaluasi Program Pendidikan. Pedoman Teoritis Praktis Bagi Mahasiswa dan Praktisi Pendidikan. Edisi Kedua*. Jakarta (ID): Bumi Aksara.
- Badrudin, Aisyah, Ernawati T. 2011. Kelimpahan stok sumber daya ikan demersal di Perairan Sub Area Laut Jawa. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. 11–21.

<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.15578/jppi.17.1.2011.11-21>.

- Budiani, NW. 2009. Efektivitas program penanggulangan pengangguran karang taruna “Eka Taruna Bhakti” Desa Sumerta Kelod Kecamatan Denpasar Timur Kota Denpasar. *Jurnal Ekonomi dan Sosial. I N P U T*. 2(1): 49-57.
- Dajan A. 1986. *Pengantar Metode Statistik Jilid I*. Jakarta (ID): LP3ES.
- Damora, A., Ernawati, T. 2011. Beberapa aspek biologi ikan beloso (*Saurida micropectoralis*) di perairan utara Jawa Tengah. *Bawal*. 3: 363–367. <https://doi.org/10.15578/bawal.3.6.2011.363-367>.
- Hendiarti N, Siegel H, Ohde T. 2004. Investigation of different coastal processes in Indonesian waters using SeaWiFS data. *Deep Sea Research Part II: Tropical Studies in Oceanography*. 51 (1–3): 85–97. <https://doi.org/10.1016/J.DSR2.2003.10.003>.
- Hermanto D, Kusumastanto T, Adrianto L, Supartono. 2019. Pengelolaan sumberdaya perikanan tangkap berbasis daya dukung lingkungan perairan Di WPPNRI 711. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*. 9(1): 105–113. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.1>.
- Hidayat EF, Pujiyati S, Suman A, Hestirianoto T. 2019. Estimating potential zones of pelagic fish in WPPNRI 711 (Study case of Natuna Sea). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*. 9(1): 92–96. <https://doi.org/10.29244/jpsl.9.1.92-96>.
- Imron M. 2008. *Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan Demersal Yang Berkelanjutan Di Perairan Tegal Jawa Tengah* (Institut Pertanian Bogor). Retrieved from <https://repository.ipb.ac.id/bitstream/handle/123456789/40993/2008mim.pdf?sequence=15&isAllowed=y>.
- Nababan BO, Solihin A, Christian Y. 2018. *Dampak Sosial Ekonomi Kebijakan Larangan Pukat Hela dan Pukat Tarik di Pantai Utara Jawa*. Bogor(ID): Indonesia.
- Prasetyo BA, Hartoko A, Hutabarat S. 2014. Sebaran spasial Cumi-cumi (*Loligo Spp.*) dengan variabel suhu permukaan laut dan klorofil-a data Satelit Modis Aqua di Selat Karimata Hingga Laut Jawa. *Jurnal Management of Aquatic Resources*. 3(1): 51–60.
- Prasetyo DA, Kunarso K, Satriadi A. 2017. Keterkaitan variabilitas angin terhadap perubahan kesuburan dan potensi daerah penangkapan ikan di Perairan Jepara. *Jurnal Oseanografi*. 6(1): 158–164.
- Priatna A, Natsir M. 2008. Pola sebaran ikan pada musim barat dan peralihan di Perairan Utara Jawa Tengah. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*. 14(1): 67–76.
- Simarmata R, Boer M, Fahrudin A. 2014. Analisis sumberdaya Ikan Tembang (*Sardinella fimbriata*) di Perairan Selat Sunda yang didaratkan di PPP Labuan, Banten. *Marine Fisheries*. 5(2): 149–154.
- Triarso I. 2013. Potensi dan peluang pengembangan usaha perikanan tangkap di Pantura Jawa Tengah. *Jurnal Saintek Perikanan*. 8(2): 6–17.
- Wijayanto D, Sardiyatmo, Setyanto I, Kurohman F. 2019. Bioeconomic analysis of the impact of ‘cantrang’ (Danish seine) toward gill net in Pati regency, Indonesia. *AACL Bioflux*. 12(1):25–33.
- Wirawan. 2016. *Evaluasi Teori, Model, Metodologi, Standar, Aplikasi dan Profesi (Edisi Revisi)*. Jakarta. (ID): Rajagrafindo Persada.
- Zubainarni N, Yani, A. Faradissa. 2016. *Kajian Valuasi Dampak Ekonomi dan Sosial Pelarangan Alat Tangkap Cantrang di Jawa Tengah*. Bogor (ID) : Agro Maritim.



Kesesuaian lahan untuk pengembangan tanaman kayu putih dan implikasinya terhadap teknik silvikultur

Land Suitability for Cajuput Development and its Inference on Silviculture Strategy

Ronggo Sadono^a, Djoko Soeprijadi^a, Pandu Y.A.P. Wirabuana^b

^aDepartemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Universitas Gadjah Mada, Jln. Agro No. 1 Bulaksumur, Yogyakarta 55281

^bDepartemen Penelitian dan Pengembangan, Trofsit, Jln. Kaliurang km 16, Yogyakarta 55281

Article Info:

Received: 06 - 09 - 2019

Accepted: 21 - 11 - 2019

Keywords:

Cajuput, land suitability, strategy, silviculture

Corresponding Author:

Pandu Y.A.P. Wirabuana
Departemen Penelitian dan Pengembangan, Trofsit;
Telp. +6281-226887738
E-mail:
pyapwirabuana92@gmail.com

Abstract: *Cajuput is a plant that plays a key role for forest industry development. Its leaves contain essential oil and become one of the non-timber forest products. The productivity of cajuput leaves is affected by certain factors, one of them are the level of land suitability. This study identified the land suitability for cajuput establishment and its inference on silviculture strategy. Study location was situated in Forest Resort Gubugrubuh, Gunungkidul District. Data collection was conducted in 3 site that was converted as the priority site of cajuput plantation namely site 75, site 78, and site 80. We used six variables of land attributes covering altitude, slope, rainfall, temperature, soil acidity, and soil organic carbon. Land suitability was determined by qualitative approach using storie and root square method. Results demonstrated the level of land. land suitability was classified into N1 (currently not suitable) referring to the storie method while it was categorized into S3 (marginally suitable) according to the root square method. This study also recorded the difference land attributes which became the limiting factors of cajuput growth in every site. The best silviculture strategies for supporting cajuput development in each site were terrace construction, fertilization, and spacing management.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Sadono R, Soeprijadi D, Wirabuana PYAP. 2019. Kesesuaian lahan untuk pengembangan tanaman kayu putih dan implikasinya terhadap teknik silvikultur. *JPSL* 10(1): 43-51. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.43-51>.

PENDAHULUAN

Kayu putih merupakan tanaman yang memiliki peranan penting untuk pembangunan industri kehutanan. Tanaman ini memberikan berbagai manfaat secara ekologi, ekonomi, dan sosial (Junaidi *et al.*, 2015). Kayu putih termasuk kategori *fast growing species* (FGS) yang dapat digunakan untuk mempercepat proses suksesi pada lahan kritis seperti kawasan karst (Page *et al.*, 2009) serta restorasi ekosistem gambut (Tata & Pradjadinata 2015). Spesies ini juga dapat dikembangkan sebagai tanaman remediasi pada tanah terkontaminasi (Mohd *et al.* 2013). Kayu putih sangat adaptif untuk dibudidayakan melalui sistem agroforestri sehingga meningkatkan peluang untuk mendukung program ketahanan pangan (Suryanto *et al.*, 2017). Daun kayu putih mengandung minyak atsiri yang bermanfaat untuk industri obat-obatan dan kosmetik. Hingga saat ini, minyak kayu putih menjadi produk hasil hutan non kayu (HHNK) yang bernilai ekonomi tinggi dengan potensi pasar yang cukup prospektif (Budiadi dan Ishii, 2010). Sebagai komoditi kehutanan, kayu putih telah banyak dikembangkan baik di hutan negara maupun hutan rakyat. Pengelolaan kayu putih secara intensif telah banyak diupayakan, salah satunya di Pulau Jawa (Budiadi *et al.*, 2006). Potensi kayu putih sebagai produk HHNK berkontribusi positif terhadap pendapatan perusahaan ketika suplai kayu dari hutan negara mulai

menurun. Produktivitas kayu putih bervariasi tergantung karakteristik lahan yang menjadi habitatnya (Budiadi *et al.*, 2005; Helfiansah *et al.*, 2013).

Lahan merupakan sumberdaya yang mempunyai posisi strategis dalam mendukung industri pertanian dan kehutanan (Memarbashi *et al.*, 2017). Sifat-sifat lahan meliputi iklim, topografi, dan tanah memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan tanaman (Malekian dan Jafarzadeh, 2011). Karakteristik lahan dapat berfungsi sebagai katalisator maupun inhibitor bagi pertumbuhan tanaman (Sharififar, 2012). Pemanfaatan lahan secara optimal dapat menghasilkan produktivitas tanaman yang tinggi. Kondisi tersebut sangat ditentukan oleh kelas kesesuaian lahan dalam mendukung prasyarat tumbuh tanaman (Girma *et al.*, 2015). Dalam konteks tersebut, kesesuaian lahan merupakan landasan informasi untuk menentukan strategi pengelolaan hutan tanaman yang meliputi (1) pemilihan alternatif jenis tanaman yang berinteraksi positif dengan atribut lahan (Nethononda *et al.*, 2014); (2) penyusunan strategi silvikultur untuk meningkatkan kualitas tanah melalui skenario manipulasi lingkungan terhadap faktor pembatas lahan (Zhang *et al.*, 2015); (3) penentuan teknik konservasi tanah dan air untuk mempertahankan kesuburan tanah serta mengurangi erosi (Dengiz *et al.*, 2010); serta (4) pengaturan pola tanam untuk mengendalikan kompetisi antar tanaman sehingga dapat menghasilkan pertumbuhan yang optimal (Bhagat, 2012).

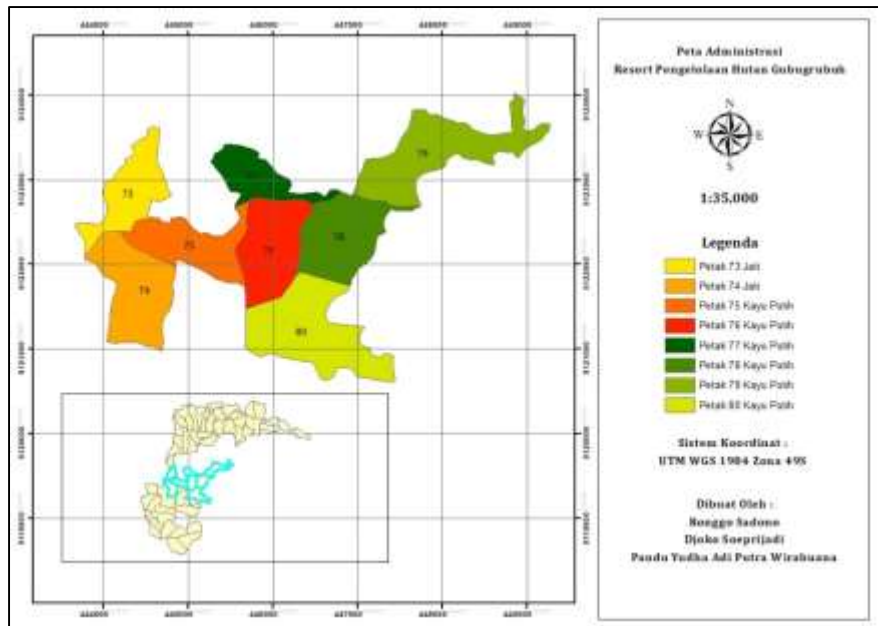
Meskipun memiliki daya adaptasi yang tinggi terhadap berbagai variasi kondisi lingkungan, Sudaryono (2010) dan Dibia (2015) mendokumentasikan bahwa kayu putih secara prinsip akan tumbuh dengan baik pada lahan yang terletak di dataran rendah dengan konfigurasi relatif datar. Tanaman ini dapat berkembang dengan baik pada kondisi tergenang maupun kering. Akan tetapi, rendemen minyak kayu putih akan lebih banyak dihasilkan oleh tanaman yang tumbuh di daerah kering dengan curah hujan tahunan < 1.500 mm /tahun. Kemasaman tanah yang netral dengan kandungan bahan organik yang rendah sangat sesuai untuk pertumbuhan tanaman kayu putih.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi tingkat kesesuaian lahan pada lokasi pengembangan hutan tanaman kayu putih yang terletak di Resort Pengelolaan Hutan (RPH) Gubugrubuh. Informasi ini selanjutnya akan digunakan untuk merumuskan teknik silvikultur yang dapat digunakan untuk mendukung upaya pengembangan kayu putih pada kawasan tersebut. Evaluasi kesesuaian lahan dilakukan dengan mekanisme perbandingan antara prasyarat tumbuh kayu putih dengan karakteristik lahan yang terdapat pada lokasi studi. Data prasyarat tumbuh kayu putih dikumpulkan dari studi literatur yang mengkaji tentang tanaman kayu putih. Dilain pihak, survey lapangan dilaksanakan untuk mengukur karakteristik lahan pada setiap petak prioritas yang digunakan sebagai zona produksi tanaman kayu putih.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di RPH Gubugrubuh, Kabupaten Gunungkidul. Kawasan ini secara geografis terletak antara 7.92 – 7.95 °LS dan 110.48 – 110.55 °BT. Luas RPH Gubugrubuh mencapai 645 ha yang mencakup 5 wilayah pedesaan yaitu Banaran, Getas, Ngleri, Ngunut, dan Bleberan. Bentang lahan di wilayah penelitian didominasi oleh perbukitan karst yang termasuk zona Ledok-Wonosari. Elevasi kawasan bervariasi antara 100 - 200 m dpl dengan tingkat keterlereng mencapai 8 – 25%. Kondisi iklim di kawasan ini termasuk kategori C menurut Schimdt dan Fergusson dengan curah hujan berkisar 1 700 – 2 000 mm /tahun. Suhu lingkungan mencapai 22.3 – 32.4 °C dengan kelembaban nisbi sekitar 80 – 85%. RPH Gubugrubuh memiliki 2 tipe tanah yaitu alfisol dan vertisol. Komoditi kehutanan yang dikembangkan di wilayah ini terdiri dari 2 jenis yaitu jati dan kayu putih (Haryanto, 2012).



Gambar 1 Lokasi penelitian pada kawasan hutan tanaman RPH Gubugrubuh (Sumber: Sadono *et al.*, 2019).

Metode Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dimulai dengan melakukan identifikasi petak yang menjadi area prioritas untuk penanaman kayu putih. Hasil pengamatan awal menunjukkan terdapat 3 petak yang menjadi prioritas lokasi pengembangan kayu putih yaitu petak 75, 78, dan 80. Selanjutnya dilakukan pengukuran karakteristik lahan yang meliputi elevasi, kelerengan, suhu, curah hujan, kemasaman tanah, dan kandungan bahan organik tanah. Elevasi diukur dengan altimeter, sedangkan kelerengan diestimasi dengan klinometer. Pengukuran dilakukan secara random dengan 3 replikasi pada setiap petak.

Data tentang curah hujan dan suhu diperoleh dari stasiun pengamatan cuaca terdekat dari lokasi penelitian. Sedangkan analisis sifat tanah dilaksanakan melalui pengambilan sampel tanah secara terusik. Dalam konteks ini, sampel tanah dikumpulkan secara acak dari lapisan permukaan pada kedalaman 0 – 15 cm (Lin *et al.*, 2014) dengan 3 replikasi pada setiap petak. Sampel tersebut selanjutnya dibawa ke laboratorium untuk diuji tingkat kemasaman dan kadar bahan organik. Penentuan nilai kemasaman tanah diukur dengan metode pH meter (Van Reeuwijk, 1993), sedangkan kadar bahan organik dianalisis dengan metode *Walkey & Black* (Black, 1965).

Tabel 1 Prasyarat lahan untuk pertumbuhan tanaman kayu putih.

Kriteria	Simbol	Satuan	Sub Kriteria	Nilai
Elevasi*	A	m dpl	30-100	100
			101-200	80
			201-300	60
			301-400	40
			>400	20
Kelerengan**	S	%	0-8	100
			9-15	80
			16-30	60
			30-50	40
			>50	20
Suhu*	T	°C	26-28	100
			29-31;23-25	80

Kriteria	Simbol	Satuan	Sub Kriteria	Nilai
			32-35;20-22	60
			36-38;17-19	40
			>38;<17	20
Curah hujan **	R	mm/tahun	1.201-1.500	100
			1.501-1.800;801-1.200	80
			1.801-2.000;601-800	60
			2.001-2.250;<600	40
			>2.250	20
Kemasaman tanah*	pH	-	6.01-6.50	100
			6.51-7.00;5.51-6.00	80
			7.01-7.50;5.01-5.50	60
			7.51-8.00;4.51-5.00	40
			>8.00;<4.51	20
C organik**	SOC	%	3,01-4,00	100
			4,01-8,00;2,01-3,00	80
			8,01-12,00;1,01-2,00	60
			12,01-15,00;0,51-1,00	40
			>15,00;<0,51	20

Sumber : *Dibia (2015); ** Sudaryono (2010)

Metode Analisis Data

Data yang diperoleh selanjutnya direkapitulasi untuk disajikan secara deskriptif dalam bentuk tabulasi. Evaluasi kesesuaian lahan dilakukan melalui pola *matching systems* yaitu membandingkan antara karakteristik lahan dengan prasyarat tumbuh tanaman kayu putih (Tabel 1). Selanjutnya dilakukan perhitungan nilai indeks lahan dengan metode *storie* dan *root square* melalui persamaan matematis (Sys *et al.*, 1991) :

a. Metode *Storie*

$$I = A \times \frac{B}{100} \times \frac{C}{100} \times \dots \quad (1)$$

b. Metode *Root Square*

$$I = R_{min} \sqrt{\frac{A}{100} \times \frac{B}{100} \times \dots} \quad (2)$$

dimana I merupakan indeks lahan. A, B, C, \dots merepresentasikan skor kesesuaian lahan dengan prasyarat tumbuh kayu putih. R_{min} adalah skor minimum kesesuaian atribut lahan terhadap prasyarat tumbuh kayu putih. Berdasarkan nilai indeks lahan yang diperoleh selanjutnya ditentukan klasifikasi kesesuaian lahan (Tabel 2). Penentuan alternatif strategi silvikultur dirumuskan berdasarkan sifat lahan yang menjadi faktor pembatas bagi pertumbuhan kayu putih, ditandai dengan skor kesesuaian terendah.

Tabel 2 Klasifikasi kelas kesesuaian lahan berdasarkan nilai indeks lahan.

Indeks lahan	Kelas kesesuaian	Simbol
75-100	Sangat sesuai	S ₁
50-75	Sesuai	S ₂
25-50	Sesuai marginal	S ₃
12.5-25	Tidak sesuai saat ini	N ₁
0-12.5	Tidak sesuai permanen	N ₂

Sumber : Albaji *et al.* (2009)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 3 memperlihatkan perbandingan karakteristik lahan pada setiap petak pengembangan kayu putih. Elevasi pada ketiga lokasi dikategorikan sebagai dataran rendah karena terletak pada rentang kurang dari 700 m dpl (Nakashizuka, 1991). Lokasi penanaman tertinggi berada pada petak 78 dengan kisaran 200 – 203 m dpl. Berpedoman pada klasifikasi kelerengan lahan (Pramanik, 2016), bentang lahan pada lokasi pengembangan kayu putih didominasi oleh daerah landai dengan tingkat kelerengan mencapai 8 – 15%. Akan tetapi, terdapat petak penanaman yang memiliki kondisi lahan agak curam yaitu petak 75 dengan kisaran kelerengan mencapai 16 – 25%.

Tabel 3 Karakteristik lahan pada petak prioritas pengembangan kayu putih di RPH Gubugrubuh.

Parameter lahan	Petak 75	Petak 78	Petak 80
Elevasi (m dpl)	163 - 171	200 - 203	172 - 185
Kelerengan (%)	16 - 25	8 - 15	8 - 15
Suhu (°C)	23.2 - 32.4	23.2 - 32.4	23.2 - 32.4
Curah hujan (mm/tahun)	1 850 – 2 000	1 850 – 2 000	1 500 – 1 750
Kemasaman tanah	6.10 - 6.50	5.50 - 6.00	5.50 - 6.00
C organik (%)	2.48 - 3.23	2.56 - 3.11	1.57 - 2.2

Tabel 3 menunjukkan bahwa variasi suhu dari setiap petak memiliki rentang yang sama yaitu 23.2 – 32.4 °C, namun terdapat perbedaan curah hujan pada petak penanaman. Secara umum curah hujan di ketiga lokasi termasuk kategori rendah dengan kisaran 1 500 – 2 000 mm/tahun (Sarfaraz, 2014). Curah hujan terendah ditemukan pada petak 80 yang mencapai 1 500 – 1 750 mm/tahun. Selain variabel curah hujan, komponen sifat tanah baik kemasaman tanah maupun kandungan bahan organik juga memperlihatkan perbedaan pada setiap petak. Kemasaman tanah terendah terdapat pada petak 75 yang mencapai 6.10 – 6.50. Sedangkan kandungan bahan organik terendah ditemukan pada petak 80 yang berkisar 1.57 – 2.20%. Berdasarkan klasifikasi tingkat kemasaman tanah dan kandungan bahan organik (Nandini dan Narendra, 2012), ketiga petak memiliki tingkat kemasaman tanah yang termasuk kategori agak masam dengan kadar bahan organik dari rendah sampai tinggi.

Hasil penilaian kesesuaian lahan dengan metode *storie* menunjukkan bahwa kelas kesesuaian lahan pada ketiga petak termasuk kategori N1 (tidak sesuai untuk saat ini). Ouput ini berbeda dengan metode *root square* yang memperlihatkan bahwa kesesuaian lahan dari ketiga lokasi termasuk kategori S3 (sesuai marginal). Atribut lahan yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan kayu putih berbeda untuk setiap petak. Kelerengan lahan dan curah hujan menjadi faktor pembatas pengembangan kayu putih pada petak 75, sedangkan kandungan bahan organik menjadi aspek penghambat pertumbuhan kayu putih pada petak 80. Sifat lahan yang menjadi pembatas pertumbuhan kayu putih di petak 78 adalah elevasi dan curah hujan (Tabel 4).

Tabel 4 Kelas kesesuaian lahan pada petak pengembangan kayu putih.

Petak	Indeks kesesuaian lahan			Kelas Kesesuaian	Faktor Pembatas
	<i>Storie</i>	Kelas Kesesuaian	<i>Root Square</i>		
75	23.04	N ₁	28.80	S ₃	SR
78	23.04	N ₁	38.40	S ₃	AR
80	24.58	N ₁	39.66	S ₃	SOC

Dibandingkan metode *storie*, output evaluasi kesesuaian lahan dengan metode *root square* menyajikan informasi yang lebih relevan dalam konteks pengembangan tanaman secara komersial. Argumen ini dirumuskan berdasarkan fakta bahwa tanaman kayu putih di RPH Gubugrubuh mampu menghasilkan produksi daun yang cukup menjanjikan meskipun terdapat variasi hasil panen dari setiap petak. Pernyataan ini juga didukung dengan hasil penelitian lain yang menyebutkan bahwa prosedur evaluasi kesesuaian lahan berbasis metode *root square* menghasilkan luaran informasi yang lebih realistis untuk digunakan sebagai acuan dalam budidaya sektor pertanian, perkebunan, dan kehutanan (Jafarzadeh *et al.*, 2008; Albaji *et al.*, 2009; Dengiz *et al.*, 2010)

Berpedoman pada hasil penilaian kesesuaian lahan, terdapat 4 sifat lahan yang berperan sebagai faktor pembatas untuk mendukung budidaya kayu putih di RPH Gubugrubuh yaitu elevasi, ketererangan lahan, curah hujan, dan kadar bahan organik. Elevasi merupakan atribut lahan yang berpengaruh terhadap perubahan suhu (Chua *et al.*, 2015). Variabel ini termasuk aspek topografi yang tidak dapat dimanipulasi melalui intervensi silvikultur (Dahlgren dan Ehrlen, 2009). Namun, studi ini tidak menemukan adanya perbedaan variasi suhu antar petak meskipun terdapat perbedaan rentang elevasi.

Ketererangan lahan dan curah hujan merupakan sifat lahan yang berhubungan dengan potensi erosi. Semakin tinggi level ketererangan dan intensitas curah hujan, maka potensi erosi semakin besar (Mu *et al.*, 2015). Erosi dapat menyebabkan penurunan kesuburan tanah karena menyebabkan proses pelindihan hara (Murthy *et al.* 2016). Dalam rangka mengurangi resiko erosi, pembuatan terasering dan pengaturan kerapatan pola tanam dapat menjadi alternatif teknik silvikultur. Strategi ini secara konsisten berpotensi untuk menghambat laju aliran permukaan yang menjadi faktor penyebab erosi.

Konsentrasi bahan organik tanah memiliki keterkaitan dengan ketersediaan nutrisi yang dapat diserap oleh tanaman kayu putih. Kadar bahan organik yang rendah dapat ditingkatkan melalui kegiatan pemupukan. Hasil penelitian telah banyak membuktikan bahwa pemupukan secara signifikan dapat meningkatkan kandungan bahan organik tanah. Akan tetapi, pemberian pupuk harus dilakukan secara terkontrol agar tidak meningkatkan kemasaman tanah (Makinde *et al.*, 2009; Liu *et al.*, 2014; Rakkar *et al.*, 2015). Studi lain juga membuktikan bahwa penambahan bahan organik tanah secara signifikan dapat meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah sehingga berpotensi mengurangi erosi (Silva *et al.*, 2011; Arevalo-Gardini *et al.*, 2015; Brar *et al.*, 2015).

SIMPULAN

Evaluasi kesesuaian lahan dengan metode *root square* memperlihatkan hasil yang lebih relevan daripada metode *storie*. Kelas kesesuaian lahan pada petak pengembangan kayu putih di RPH Gubugrubuh secara keseluruhan termasuk kategori S3 (sesuai marginal). Atribut lahan yang menjadi faktor pembatas pertumbuhan kayu putih bervariasi untuk setiap petak mencakup elevasi, ketererangan, curah hujan, dan kandungan bahan organik. Teknik silvikultur yang dapat diterapkan untuk meningkatkan daya dukung lahan terhadap tanaman kayu putih meliputi pembuatan teras, pengaturan pola tanam, dan pemupukan. Berdasarkan hasil penelitian ini kami menyarankan untuk melakukan proses identifikasi kesesuaian lahan bagi pengembangan tanaman kayu putih di lokasi lain yang dimaksudkan untuk kepentingan komersial sehingga produktivitas kayu putih dapat ditingkatkan dengan preskripsi silvikultur yang tepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami menyampaikan rasa terima kasih kepada para pihak yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian ini di antaranya adalah Dr. Priyono Suryanto yang telah memfasilitasi untuk menjalin kerjasama penelitian dengan KPH Yogyakarta serta pengelola RPH Gubugrubuh yang telah mengizinkan implementasi kegiatan penelitian di wilayahnya. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada reviewer yang telah memberikan saran dan masukan dalam memperbaiki naskah artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Albaji M, Naseri A, Papan P, Nasab S. 2009. Qualitative evaluation of land suitability for principal crops in the west shoush plain, southwest Iran. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2(15):135-145.
- Arevalo-Gardini E, Canto M, Alegre J, Loli O, Julca A, Baligar V. 2015. Changes in soil physical and chemical properties in long term improved natural and traditional agroforestry management systems of cacao genotypes in Peruvian Amazon. *PLOS ONE*. 10(7):1-29.
- Bhagat VS. 2012. Use of remote sensing techniques for robust digital change detection of land : A review. *Recent Pattern Space Technology*. 2:124-144.
- Black CA. 1965. Chemical and mikrobiological properties. In : *Methods of soil analysis*. Wisconsin-Madinson: American Society.
- Brar BS, Singh J, Singh G, Kaur G. 2015. Effect of long term application of inorganic and organic fertilizer on soil organic carbon and physical properties in maize-wheat rotation. *Agronomy*. 5:220-238.
- Budiadi, Ishii HT, Sabarnurdin MS, Suryanto P, Kanazawa Y. 2006. Biomass cycling and soil properties in an agroforestry-based plantation system of kayu putih (*Melaleuca leucadendron* LINN) in East Java, Indonesia. *Agroforestry Systems*. 67:135-145.
- Budiadi, Ishii HT. 2010. Comparison of carbon sequestration between multiple-crop, single-crop and monoculture agroforestry systems of melaleuca in Java, Indonesia. *Journal of Tropical Forest Science*. 22(4):378-388.
- Budiadi, Kanazawa Y, Ishii HT, Sabarnurdin MS, Suryanto P. 2005. Productivity of kayu putih (*Melaleuca leucadendron* LINN) tree plantation managed in non-timber forest production systems in Java, Indonesia. *Agroforestry Systems*. 64:143-155.
- Chua IY, King PJ, Ong KH, Sarbini SR, Yiu PH. 2015. Influence of light intensity and temperature on antioxidant activity in *Premna serratifolia* L. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 15(3):605-614.
- Dahlgren JP, Ehrlen J. 2009. Linking environmental variation to population dynamics of a forest herbs. *Journal of Ecology*. 97:666-674.
- Dengiz O, Gol C, Sarioglu FE, Edis S. 2010. Parametric approach to land evaluation for forest plantation. *African Journal of Agriculture Research*. 5(12):1482-1496.
- Dibia IY. 2015. Land suitability evaluation for cajuput development (*Melaleuca leucadendra*) in western plantation Bali (Grograk Sub-District), Buleleng District. *Agrotrop*. 5 (2):194-205.
- Girma R, Moges A, Quraishi S. 2015. GIS based physical land suitability evaluation for crop production in eastern Ethiopia : a case study in Jello Watershed. *Agrotechnology*. 5(1):2-7.
- Haryanto, S. 2012. Planning of cajuput plantation management. Yogyakarta Forest Management Unit Official, Yogyakarta.
- Helfiansah R, Sastrohamidjojo H, Riyanto. 2013. Isolation, identification and purification cinneol materials 1.8 of cajuput oil (*Melaleuca leucadendron*). *ASEAN Journal of Systems Engineering*. 1(1):19-24.
- Jafarzadeh AA, Alamdari P, Neyshabouri MR, Saedi S. 2008. Land suitability evaluation of Bilverdy Research Station for wheat, barley, alfalfa, maize, and safflower. *Soil and Water Resource*. 3(1):81-88.

- Junaidi E, Winara A, Siarudin M, Indrajaya Y, Widiyanto A. 2015. Spatial distribution of plant cajuput oil in Wasur National Park. *Journal of Wallacea Forestry Research*. 4(2):101-113.
- Liu CW, Sung Y, Chen BC, Lai HY. 2014. Effects of nitrogen fertilizers on the growth and nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.). *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 11:4427-4440.
- Makinde EA, Eniola HT, Fagbola O. 2009. Effect of organic, organomineral, and NPK fertilizers on soil pH, organic matter, and micronutrient content in two soil types. *Research on Crops*. 10:77-85.
- Malekian A, Jafar zadeh AA. 2011. Qualitative land suitability evaluation of the Khajeh Research Station for wheat, barley, alfalfa, maize, and safflower. *Research in Plant Biology*. 1(5):33-40.
- Memarbashi E, Azadi H, Barati AA, Mohajeri F, Van Passel S, Witlox F. 2017. Land-use suitability in Northeast Iran : application of AHP-GIS hybrid model. *International Journal of Geo-Information*. 6(396):1-15.
- Mohd SN, Majid NM, Shazili NM, Abdu A. 2013. Growth performance, biomass, and phytoextraction efficiency of *Acacia mangium* and *Melaleuca cajuput* in remediating heavy metal contaminated soil. *American Journal of Environmental Science*. 9(4):310-316.
- Mu W, Yu F, Li C, Xie Y, Tian J, Liu J, Zhao N. 2015. Effects of rainfall intensity and slope gradient on runoff and soil moisture content on different growing stages of spring maize. *Water*. 7:2990-3008.
- Murthy IK, Dutta S, Varghese V, Joshi PP, Kumar P. 2016. Impact of agroforestry systems on ecological and socio-economy system : a review. *Global Journal of Science Frontier Research*. 16(5):15-27.
- Nakashizuka T. 1991. Altitudinal zonation of forest communities in Selangor, Peninsular Malaysia. *Journal of Tropical Forest Science*. 4(3):233-244.
- Nandini R, Narendra BH. 2012. Critical land characteristics of former eruption of Batur Mount in Bangli District, Bali. *Journal of Forest Research and Nature Conservation*. 9(3):199-211.
- Nethononda LO, Odhiambo JO, Paterson DG. 2014. Land suitability for specific crop ranges using dynamic land suitability evaluation guidelines for small-scale communal irrigation schemes. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 20(6):1349-1360.
- Page S, Hoscilo A, Wosten H, Jauhiainen J, Silvius M, Rieley J, Limin S. 2009. Restoration ecology of lowland tropical peatlands in Southeast Asia : current knowledge and future directions. *Ecosystems*. 12:888-905.
- Pramanik MK. 2016. Site suitability analysis for agricultural land use of Darjeeling District using AHP and GIS techniques. *Modeling Earth Systems and Environment*. 2(56):1-22.
- Rakkar MK, Franzen DW, Chatterjee A. 2015. Evaluation of soil potassium test to improve fertilizer recommendations for corn. *Open Journal of Soil Science*. 5:110-122.
- Sadono R, Soeprijadi D., Wirabuana PYAP. 2019. Effect of soil chemical properties on the growth of cajuput stand (*Melaleuca leucadendron* (L.) Linnaeus). *Journal of Wallacea Forestry Research*. 8(1):1-7.
- Sarfaraz S. 2014. The sub-regional classification of Pakistan's winter precipitation based on principal components analysis. *Pakistan Journal of Meteorology*. 10(20):57-66.
- Sharififar A. 2012. Assessment of different methods of soil suitability classification for wheat cultivation. *Journal of Agrobiology*. 29(2):47-54.
- Silva GL, Lima HV, Campanha MM, Gilkes RJ, Oliveira TS. 2011. Soil physical quality of luvisols under agroforestry, natural vegetation and conventional crop management systems in the Brazilian semi-arid region. *Geoderma*. 167-168:61-70.
- Sudaryono. 2010. Land suitability evaluation for cajuput in Buru District, Maluku Province. *Journal of Environmental Engineering*. 11(1):105-116.
- Suryanto P, Tohari, Putra E, Alam T. 2017. Minimum soil quality determinant for rice and 'kayu putih' yield under hilly areas. *Journal of Agronomy*. 16:115-123.

- Sys C, Vanranst E, Debaveye J. 1991. Method in land evaluation. In : Land evaluation. Ghent: Internasional training center for post graduate soil scientist and Ghent University.
- Tata HL, Pradjadinata S. 2015. Native species for degraded peat swamp forest rehabilitation. *Journal of Tropical Silviculture*. 7:580-582.
- Van Reeuwijk LP. 1993. Technology paper. In : Procedure for soil analysis. Wageningen: Internasional Soil Reference and Information Center, Wageningen.
- Zhang J, Su Y, Wu J, Liang H. 2015. GIS based land suitability assessment for tobacco production using AHP and fuzzy set in Shandong province of China. *Computation Electronical Agriculture*. 114:202-211.



Komposisi Jenis Tumbuhan dan Analisis Sebaran Langkap (*Arenga obtusifolia* Mart.) di Taman Nasional Ujung Kulon

Composition of Plants and Spread Analysis of Langkap (*Arenga obtusifolia* Mart.) in Ujung Kulon National Park

Indra Febriana^a, Cecep Kusmana^b, U. Mamat Rahmat^c

^a Program Studi Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680, Indonesia [+6281310318349]

^b Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga, Bogor 16680

^c Balai Taman Nasional Ujung Kulon, Direktorat Jenderal Konservasi Sumberdaya Alam dan Ekosistem, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan

Article Info:

Received: 15 - 10 - 2019

Accepted: 18 - 12 - 2019

Keywords:

Arenga obtusifolia, the spread analysis, dominance, Ujung Kulon National Park

Corresponding Author:

Indra Febriana
Program Studi Pengelolaan
Sumberdaya Alam dan
Lingkungan, Sekolah
Pascasarjana Institut Pertanian
Bogor;
Tel. +62-81310318349
Email: ifebriana@gmail.com

Abstract: *Langkap (*Arenga obtusifolia*) is one of the species of the *Arenga* clan, which has a wide distribution in Ujung Kulon National Park (UKNP). The *Langkap* dominance has serious implications for the forest dynamics, including the plant diversity that feeding the Javan Rhino in the park. The aim of study was to determine the pattern of spreading *langkap* in order to support the management of Javan Rhino habitat. The vegetation analysis method used is a combination method between the line method and the path method. *Langkap* is the dominant species in UKNP at the sapling growth rate, with a density of 480-624 individuals/ha and INP value of 61.47% -78.30%, while the catch density at seedling growth rate is 900- 2,200 individuals/ha with INP value of 21.31% -49.41%. The standard Morisita coefficient value of *langkap* in each research block and growth rate is obtained in the range of values (-0.32) - 0.51, the spreading pattern shows a clustered spread pattern ($I_p > 0$) and uniform ($I_p < 0$). The tendency of *langkap* domination in the research block can be seen from the ratio of catch density compared to the total density or its relative density at various growth rates. This shows that in the dominant catchment area there is a reduction in the density of plants other than *langkap*, especially the Javan Rhino feed plants.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Febriana I, Kusmana C, Rahmat UM. 2019. Komposisi Jenis Tumbuhan dan Analisis Sebaran Langkap (*Arenga obtusifolia* Mart.) di Taman Nasional Ujung Kulon. JPSL 10(1): 52-65. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.52-65>.

PENDAHULUAN

Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK) merupakan kawasan pelestarian alam yang memiliki keanekaragaman hayati tinggi, khususnya satwa langka badak jawa (*Rhinoceros sondaicus* Desmarest, 1822). Pada saat ini badak jawa hanya terdapat di TNUK Provinsi Banten dengan populasi yang relatif kecil. Ukuran populasi yang kecil dan areal penyebaran yang sangat terbatas menyebabkan dinamika ekosistem di kawasan yang menjadi habitat badak jawa akan mempengaruhi perkembangan populasinya. Salah satu aspek penting dari tekanan biologis yang berhubungan dengan hal tersebut adalah suksesi vegetasi, khususnya adanya kecenderungan invasi *langkap* (*Arenga obtusifolia*) dan kaitannya dengan penyediaan tumbuhan pakan badak jawa (Putro, 1997).

Langkap (*A. obtusifolia*) merupakan salah satu spesies dari marga Arenga, yang sebarannya cukup luas di TNUK. Langkap merupakan salah satu spesies invasif yang bukan merupakan spesies asing, namun menjadi bersifat invasif karena pertumbuhannya tidak terkendali dan mengganggu keberadaan spesies lokal lainnya. Menurut Muntasib dan Putro (1992) diacu dalam Putro dan Siswoyo (1997), langkap memiliki potensi regenerasi yang sangat tinggi karena dapat berbunga sepanjang musim. Kondisi tajuk langkap cukup rapat sehingga menghambat penetrasi cahaya matahari ke lantai hutan. Hal ini berdampak pada terhambatnya regenerasi tumbuhan pakan badak jawa yang umumnya bersifat intoleran, dimana distribusi suatu jenis tumbuhan pada suatu komunitas tertentu dibatasi oleh kondisi lingkungannya (Gunawan *et al.*, 2011).

Sampai dengan saat ini, Balai TNUK telah melakukan pembinaan habitat badak jawa melalui pengendalian spesies invasif langkap. Namun pemetaan langkap di seluruh kawasan TNUK khususnya di Semenanjung Ujung Kulon belum dilakukan secara detil (Rahmat, 2012). Pemetaan ini akan membantu dalam menentukan lokasi-lokasi yang tepat untuk dilakukan pengendalian langkap sebagai dasar pengelolaan habitat badak jawa di TNUK, serta menentukan pola sebaran spasial langkap merupakan hal yang perlu dilakukan untuk mengetahui pengaruh sebaran langkap terhadap pengelolaan habitat badak jawa.

Hasil penelitian sebelumnya memberikan indikasi bahwa invasi langkap merupakan penyebab utama terjadinya degradasi habitat badak jawa secara alami dan dalam jangka panjang diduga menyebabkan penurunan populasi satwa tersebut serta menyebabkan penurunan keanekaragaman hayati (*biodiversity*) di kawasan TNUK (Putro, 1997; Supriatin, 2000; Hariyadi *et al.*, 2012). Berkenaan dengan hal tersebut, maka ketersediaan informasi sebaran langkap sangat diperlukan dalam menjaga kelestarian habitat badak jawa di TNUK. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pola penyebaran langkap dalam rangka mendukung pengelolaan habitat badak jawa.

METODE

Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Semenanjung Ujung Kulon, Taman Nasional Ujung Kulon (TNUK), yang termasuk dalam kawasan Seksi Pengelolaan Taman Nasional (SPTN) Wilayah II Pulau Handeuleum. Secara administratif lokasi ini termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Sumur, Kabupaten Pandeglang, Provinsi Banten, sedangkan secara geografis berada pada posisi geografis 06°38'30"–06°52'30" LS dan 105°12'00"–105°37'30" BT. Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1 Lokasi Penelitian.

Alat dan Bahan

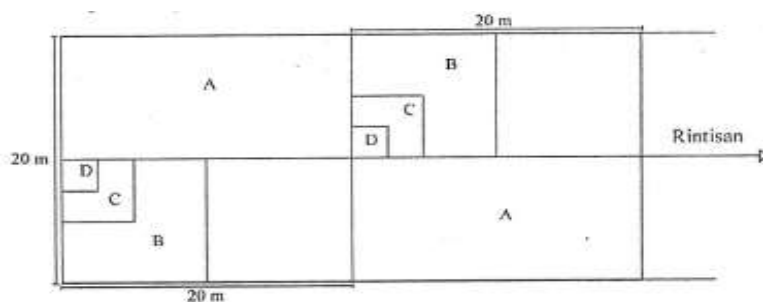
Peralatan lapangan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu: kamera, Global Positioning System (GPS), pita ukur diameter, kompas dan perangkat lunak komputer (SPSS Statistics 19, ArcGIS 9.3, dan ERDAS Imagine 9.1). Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi: citra LANDSAT 8 path/row 121/65 akuisisi 30 Maret 2016, peta batas kawasan Taman Nasional Ujung Kulon, peta jaringan sungai, peta jaringan jalan dan peta jenis tanah.

Metode Pengumpulan Data

Dalam studi ini, data struktur vegetasi dan komposisi jenis dikumpulkan melalui metode analisis vegetasi. Analisis vegetasi ini dilakukan dengan cara pengambilan sampling pada lokasi penelitian (Gambar 2). Metode yang digunakan adalah metode kombinasi antara metode garis berpetak dengan metode jalur. Lokasi pengambilan plot contoh pada 4 (empat) lokasi yang telah ditentukan Balai TNUK dalam rangka kegiatan prioritas pengendalian langkap, yaitu terdiri dari 25 petak contoh di Semenanjung Ujung Kulon untuk masing-masing lokasi prioritas (Gambar 2).

Ukuran petak contoh berbentuk persegi dengan ukuran 20m x 20m. Total petak contoh yang dibuat sebanyak 100 petak contoh sehingga luas petak contoh seluas 4 ha. Analisis vegetasi yang dilakukan pada sub petak berupa pengamatan terhadap tumbuhan mulai dari tingkat tumbuhan bawah, semai, pancang, tiang dan pohon, dengan desain pengamatan petak contoh disajikan pada Gambar 3.

Petak A digunakan untuk pengamatan tumbuhan tingkat pohon (diameter ≥ 20 cm) dengan luas petak sebesar 20 m x 20 m, petak B untuk pengamatan tingkat tiang (diameter 10 sampai <20 cm) dengan luas 10 m x 10 m, petak C untuk pengamatan tingkat pancang (diameter <10 cm, tinggi >1,5 m) dengan luas 5 m x 5 m dan petak D untuk pengamatan tingkat semai dan tumbuhan bawah (tinggi <1,5 m; diameter <3 cm) dengan luas petak sebesar 2 m x 2 m.



Gambar 3 Desain petak contoh vegetasi.

Variabel yang diamati

Variabel yang diamati pada masing-masing tingkat pertumbuhan jenis tumbuhan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Tumbuhan tingkat semai: jenis tumbuhan, jumlah individu tiap jenis.
- Tumbuhan tingkat pancang: jenis tumbuhan, jumlah individu tiap jenis, diameter setinggi dada (dbh).
- Tumbuhan tingkat tiang: jenis tumbuhan, jumlah individu tiap jenis, diameter setinggi dada (dbh) dan tinggi vegetasi.
- Tumbuhan tingkat pohon: jenis tumbuhan, jumlah individu tiap jenis, diameter setinggi dada (dbh) dan tinggi vegetasi.

Metode Analisis Data

Indeks Nilai Penting (INP)

Indeks Nilai Penting (INP) digunakan untuk menentukan dominansi suatu jenis terhadap jenis yang lain. Menurut Mueller dan Dumbois (1974), nilai INP merupakan penjumlahan dari kerapatan relatif (KR), dominansi relatif (DR), dan frekuensi relatif (FR) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Kerapatan (ind/ha)} = \frac{\text{Jumlah individu dari suatu jenis}}{\text{Luas contoh}}$$

$$\text{Kerapatan Relatif (\%)} = \frac{\text{Kerapatan dari suatu jenis}}{\text{Kerapatan seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Frekuensi} = \frac{\text{Jumlah plot ditemukannya suatu jenis}}{\text{Jumlah seluruh plot}}$$

$$\text{Frekuensi Relatif (\%)} = \frac{\text{Frekuensi dari suatu jenis}}{\text{Frekuensi seluruh jenis}} \times 100\%$$

$$\text{Dominansi (m}^2\text{/ha)} = \frac{\text{Jumlah bidang dasar}}{\text{Luas petak contoh}}$$

$$\text{Dominansi Relatif (\%)} = \frac{\text{Dominansi dari suatu jenis}}{\text{Dominansi seluruh jenis}} \times 100\%$$

INP (%) = Kerapatan Relatif + Frekuensi Relatif (untuk tingkat semai, tumbuhan bawah, dan pancang)

INP (%) = Kerapatan Relatif + Frekuensi Relatif + Dominansi Relatif (untuk tingkat tiang dan pohon)

Indeks Keanekaragaman Jenis

Keanekaragaman jenis adalah parameter yang sangat berguna untuk membandingkan dua komunitas, terutama untuk mempelajari pengaruh gangguan biotik, untuk mengetahui tingkatan suksesi atau kestabilan. Keanekaragaman jenis ditentukan dengan menggunakan rumus Shannon-Wiener (Ludwig dan Reynold, 1988). Bahkan Menurut Magurran (2004) dalam penentuan indeks keanekaragaman jenis rumus Shanon-Wiener paling banyak digunakan karena rumus ini memiliki sensitivitas yang tinggi untuk menggambarkan struktur komunitas dan berfungsi untuk mengetahui perubahan yang terjadi pada jenis-jenis tidak dominan, dengan rumus sebagai berikut.

$$H' = - \sum \left(\frac{n_i}{N} \ln \frac{n_i}{N} \right), \text{ dimana:}$$

H' = Indeks keanekaragaman Shanon-Weiner

n_i = INP jenis ke-i

N = Total INP

Menurut Magurran (2004), nilai indeks keanekaragaman jenis umumnya berada pada kisaran antara 1.0 sampai 3.5. Jika indeks jenis (H') mendekati 3.5 maka menggambarkan tingkat keanekaragaman yang semakin tinggi.

Indeks Kekayaan Jenis

Perhitungan indeks kekayaan jenis menggunakan rumus Margallef (Ludwig dan Reynold 1988), yaitu :

$$R1 = S-1/\ln (N), \text{ dimana:}$$

R1 = Indeks kekayaan jenis Margallef
 S = Jumlah jenis
 N = Jumlah total individu

Indeks Margallef dapat digunakan untuk mengetahui kekayaan jenis di suatu kawasan. Menurut Magurran (2004) besaran $R1 < 3.5$ menunjukkan kekayaan jenis tergolong rendah, $R1 = 3.5-5.0$ menunjukkan kekayaan jenis tergolong sedang, $R1 > 5.0$ kekayaan tergolong tinggi.

Indeks Dominansi

Indeks dominansi digunakan untuk menentukan dominansi jenis di dalam suatu komunitas sehingga dapat ditentukan posisi dominansi dipusatkan (Misra 1980). Indeks dominansi ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut.

$$C = \frac{\sum [ni/N]}{S}, \text{ dimana:}$$

C = Indeks dominansi
 Ni = INP tiap jenis
 N = Total INP seluruh jenis

Nilai indeks dominansi mendekati satu (1) apabila dipusatkan pada satu jenis dan sebaliknya apabila nilai indeks dominansi mendekati nol (0) menunjukkan jika pada areal tersebut didominasi secara bersama-sama.

Indeks Penyebaran Jenis

Analisis pola sebaran langkap menggunakan Indeks Morisita yang terstandar (*Standardized Morisita's Index*) (Morisita, 1962 dalam Krebs, 1989). Pada umumnya jenis tumbuhan memiliki pola penyebaran yang berbeda. Krebs (1989) menyatakan bahwa untuk melihat pola penyebaran suatu jenis dihitung dengan rumus:

$$I_d = n \left[\frac{\sum x^2 - \sum x}{(\sum x)^2 - \sum x} \right], \text{ dimana:}$$

I_d = Indeks Penyebaran Morisita
 x = Jumlah individu yang ditemukan pada setiap petak
 n = Jumlah petak pengamatan

$$\text{Uniform Indeks} = M_u = \frac{\chi_{0.975}^2 - n + \sum x_i}{(\sum x_i) - 1}$$

$$\text{Clumped Indeks} = M_c = \frac{\chi_{0.025}^2 - n + \sum x_i}{(\sum x_i) - 1}$$

Keterangan :

$\chi_{0.975}^2$ = Nilai dari tabel dengan df (n-1) yang memiliki 97,5% area ke sebelah kanan kurva

$\chi_{0.025}^2$ = Nilai dari tabel dengan df (n-1) yang memiliki 2,5% area ke sebelah kanan kurva

$\sum x_i$ = Jumlah individu dalam kuadrat i (i=1,2,...n)

n = Jumlah kuadrat

Berdasarkan hasil indeks M_c atau M_u di atas maka Indeks Morisita Standar (I_p) dihitung berdasarkan salah satu dari empat persamaan berikut ini:

1. Jika $I_d \geq M_c > 1$: $I_p = 0,5 + 0,5 \left(\frac{I_d - M_c}{n - M_c} \right)$
2. Jika $M_c > I_d \geq 0$: $I_p = 0,5 \left(\frac{I_d - 1}{M_u - 1} \right)$
3. Jika $1 > I_d > M_u$: $I_p = -0,5 \left(\frac{I_d - 1}{M_u - 1} \right)$

4. Jika $1 > Mu > Id$: $I_p = -0,5 + 0,5 \left(\frac{I_d - M_u}{M_u} \right)$

Indeks Morisita yang distandarkan (I_p) ini berkisar antara -1 hingga 1. Jika $I_p = 0$ maka pola penyebaran acak, $I_p < 0$ pola penyebaran seragam dan $I_p > 0$ pola penyebaran mengelompok.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Komposisi Jenis Tumbuhan

Analisis vegetasi dilakukan pada 4 (empat) blok penelitian, yaitu Blok Citalanca, Blok Cikarang, Blok Cigenter dan Blok Cilintang. Hasil analisis vegetasi diketahui bahwa terdapat 205 jenis tumbuhan yang merupakan jumlah keseluruhan dari tingkat tumbuhan bawah, semai, pancang, tiang dan pohon. Hasil analisis vegetasi pada seluruh blok penelitian berdasarkan tingkat pertumbuhan disajikan pada Tabel 1.

Langkap merupakan salah satu spesies dari suku Areceaceae dan termasuk dalam tumbuhan Monokotil, dengan ciri morfologi batang diantaranya: tegak, bulat dan berbatang lurus, berijuk sedikit dan berbuku-buku, tidak berbanir dan tidak bercabang (Putro dan Siswoyo 1997). Salah satu ciri yang lain dari Suku Areceaceae ini adalah tidak memiliki kambium sejati.

Tingkat Tumbuhan Bawah

Berdasarkan hasil analisis vegetasi dari seluruh blok penelitian pada tingkat tumbuhan bawah ditemukan sebanyak 29 jenis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Anadendrum microtachyum* (Areuy lolo) merupakan jenis dominan yang memiliki nilai INP paling tinggi yaitu sebesar 98.46%, selanjutnya *Daemonorops* sp. (Rotan merah) (INP=76.89%) dan *Ficus Montana* (Areuy mata) (INP=63.92%). Daftar tiga jenis tumbuhan bawah dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1 Daftar jumlah jenis tumbuhan pada lokasi penelitian.

Tingkat Pertumbuhan	Jumlah Jenis
Tumbuhan bawah	29
Semai	46
Pancang	41
Tiang	37
Pohon	52

Tabel 2 Daftar tiga jenis tumbuhan bawah dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian.

No	Nama Jenis	Nama Latin	Nilai INP (%)
I. Blok Citalanca			
1	Rotan merah	<i>Daemonorops</i> sp.	76.89
2	Areuy Lolo	<i>Anadendrum microtachyum</i>	49.05
3	Areuy kutak	<i>Piper bantamense</i>	19.22
II. Blok Cikarang			
1	Areuy kupu	<i>Uvaria</i> sp.	61.41
2	Areuy Lolo	<i>Anadendrum microtachyum</i>	30.20
3	Rotan merah	<i>Daemonorops</i> sp.	25.77
III. Blok Cigenter			
1	Areuy mata	<i>Ficus montana</i>	63.92
2	Areuy Kolebahe	<i>Trema orientalis</i>	35.08
3	Pepedesan	-	18.78
IV. Blok Cilintang			
1	Areuy Lolo	<i>Anadendrum microtachyum</i>	98.46
2	Rotan	<i>Daemonorops</i> sp.	27.12
3	Sayar	<i>Caryota mitis</i>	19.49

Tingkat Semai

Berdasarkan hasil analisis vegetasi dari seluruh blok penelitian pada tingkat semai ditemukan sebanyak 46 jenis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Diospyros macrophylla* (Kicalung) merupakan jenis dominan yang memiliki nilai INP paling tinggi yaitu sebesar 68.98%, selanjutnya *Cynometra ramiflora* (Kibatok) (INP=68.76%) dan *Diospyros macrophylla* (Kicalung) (INP=51.78%). Daftar tiga jenis semai dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Daftar tiga jenis semai dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian.

No	Nama Jenis	Nama Latin	Nilai INP (%)
I. Blok Citalanca			
1	Kicalung	<i>Diospyros macrophylla</i>	68.98
2	Langkap anakan	<i>Arenga obtusifolia</i>	49.41
3	Kibatok	<i>Cynometra ramiflora</i>	25.61
II. Blok Cikarang			
1	Kicalung	<i>Diospyros macrophylla</i>	51.78
2	Langkap anakan	<i>Arenga obtusifolia</i>	47.32
3	Kibatok	<i>Cynometra ramiflora</i>	17.03
III. Blok Cigenter			
1	Kibatok	<i>Cynometra ramiflora</i>	68.76
2	Kiendog	<i>Cynocroches axillaris</i>	38.52
3	Langkap anakan	<i>Arenga obtusifolia</i>	29.43
IV. Blok Cilintang			
1	Kililin	-	42.20
2	Kijahe	<i>Croton auypelas</i>	25.20
3	Langkap anakan	<i>Arenga obtusifolia</i>	21.31

Tingkat Pancang

Berdasarkan hasil analisis vegetasi dari seluruh blok penelitian pada tingkat pancang ditemukan sebanyak 41 jenis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Arenga obtusifolia* (Langkap) merupakan jenis dominan yang memiliki nilai INP paling tinggi yaitu sebesar 78.30%, selanjutnya *Arenga obtusifolia* (Langkap) (INP=67.63%) dan *Arenga obtusifolia* (Langkap) (INP=62.95%). Daftar tiga jenis pancang dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian disajikan pada Tabel 4.

Tingkat Tiang

Berdasarkan hasil analisis vegetasi dari seluruh blok penelitian pada tingkat tiang ditemukan sebanyak 37 jenis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Diospyros javanica* (Kigeunteul) merupakan jenis dominan yang memiliki nilai INP paling tinggi yaitu sebesar 96.62%, selanjutnya *Orophea hexandra* (Sauhen) (INP=66.19%) dan *Eugenia* sp. (Jajambuan) (INP=52.58%). Daftar tiga jenis tiang dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian disajikan pada Tabel 5.

Tingkat Pohon

Berdasarkan hasil analisis vegetasi dari seluruh blok penelitian pada tingkat pohon ditemukan sebanyak 52 jenis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Eugenia polyantha* (Salam) merupakan jenis dominan yang memiliki nilai INP paling tinggi yaitu sebesar 98.35%, selanjutnya *Ficus benyamina* (Kiara) (INP=78.27%) dan *Lagerstromieia speciosa* (Bungur) (INP=74.01%). Daftar tiga jenis pohon dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian disajikan pada Tabel 6.

Tabel 4 Daftar tiga jenis pancang dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian.

No	Nama Jenis	Nama Latin	Nilai INP (%)
I. Blok Citalanca			
1	Langkap dewasa	<i>Arenga obtusifolia</i>	67.63
2	Kibatok	<i>Cynometra ramiflora</i>	39.42
3	Lampeni	<i>Ardisia humilis</i>	13.19
II. Blok Cikarang			
1	Langkap dewasa	<i>Arenga obtusifolia</i>	62.95
2	Kikeper	-	41.89
3	Kibatok	<i>Cynometra ramiflora</i>	37.63
III. Blok Cigenter			
1	Langkap dewasa	<i>Arenga obtusifolia</i>	78.30
2	Kibatok	<i>Cynometra ramiflora</i>	34.42
3	Kikacang	<i>Strombosia javanica</i>	16.93
IV. Blok Cilintang			
1	Langkap dewasa	<i>Arenga obtusifolia</i>	61.47
2	Sauhen	<i>Orophea hexandra</i>	57.03
3	Kigeunteul	<i>Diospyros javanica</i>	21.28

Tabel 5 Daftar tiga jenis tiang dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian.

No	Nama Jenis	Nama Latin	Nilai INP (%)
I. Blok Citalanca			
1	Kigeunteul	<i>Diospyros javanica</i>	96.62
2	Jajambuan	<i>Eugenia sp</i>	52.58
3	Huru batu	<i>Litsea vulva</i>	26.29
II. Blok Cikarang			
1	Kicalung	<i>Diospyros macrophylla</i>	51.91
2	Kikeper	-	47.01
3	Kigeunteul	<i>Diospyros javanica</i>	35.88
III. Blok Cigenter			
1	Kicalung	<i>Diospyros macrophylla</i>	43.74
2	Ipis kulit	<i>Decaspermum fruticosum</i>	42.19
3	Sauhen	<i>Orophea hexandra</i>	23.94
IV. Blok Cilintang			
1	Sauhen	<i>Orophea hexandra</i>	66.19
2	Kililin	<i>Phaleria octendre</i>	34.68
3	Kijaje	<i>Croton auypelas</i>	31.51

Tabel 6 Daftar tiga jenis pohon dengan nilai INP tertinggi pada seluruh blok penelitian.

No	Nama Jenis	Nama Latin	Nilai INP (%)
I. Blok Citalanca			
1	Bungur	<i>Lagerstromeia speciosa</i>	74.01
2	Kiara	<i>Ficus benyamina</i>	65.09
3	Kicalung	<i>Diospyros macrophylla</i>	27.71
II. Blok Cikarang			
1	Kiara	<i>Ficus benyamina</i>	78.27
2	Bungur	<i>Lagerstromeia speciosa</i>	43.57
3	Kigelam	-	25.31
III. Blok Cigenter			
1	Salam	<i>Eugenia polyantha</i>	98.35
2	Kiara	<i>Ficus benyamina</i>	49.12
3	Bungur	<i>Lagerstromeia speciosa</i>	29.75
IV. Blok Cilintang			
1	Kigeunteul	<i>Diospyros javanica</i>	29.49
2	Dahu	<i>Dracontomelon dao</i>	25.32
3	Kipelah	-	22.44

Kerapatan individu pada tingkat tumbuhan bawah dan semai lebih banyak didominasi oleh jenis tumbuhan yang merupakan sumber pakan badak jawa, diantaranya kicalung, ipis kulit, dan sulangkar.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa langkap (*Arenga obtusifolia*) merupakan jenis yang memiliki kerapatan paling tinggi kedua dalam populasi tingkat pancang yaitu sebesar 624 individu/ha, dengan penyebaran individu yang merata. Tabel 7. menggambarkan lima jenis tumbuhan masing-masing tingkat pertumbuhan dengan kerapatan tertinggi pada seluruh blok penelitian. Berdasarkan Tabel 7. diketahui bahwa Areuy mata (*Ficus Montana*) merupakan jenis yang memiliki kerapatan tertinggi pada tingkat tumbuhan bawah yaitu sebesar 14.800 individu/ha. Adapun jenis tumbuhan pada tingkat semai, pancang, tiang dan pohon yang memiliki kerapatan tertinggi secara berurutan yaitu Kililin (*Phaleria octendre*) sebesar 12.400 individu/ha, Sauhen (*Orophea hexandra*) sebesar 752 individu/ha, Kigeunteul (*Diospyros javanica*) sebesar 32 individu/ha dan Bungur (*Lagerstromeia speciosa*) sebesar 28 individu/ha.

Keanekaragaman Jenis Tumbuhan

Indeks Keanekaragaman Jenis (H')

Keanekaragaman jenis tumbuhan di blok penelitian berdasarkan Indeks Keanekaragaman Jenis Shannon-Weiner termasuk dalam kategori sedang ($1 < H' < 3,32$) dengan kisaran nilai indeks sebesar 2.00-2.60 (Tabel 8.). Keanekaragaman jenis yang tertinggi pada tingkat pohon (2.60), sedangkan keanekaragaman jenis terendah pada tingkat tumbuhan bawah (2.00). Secara umum blok penelitian Cilintang mempunyai keanekaragaman jenis paling tinggi dibandingkan dengan blok penelitian yang lain, dengan rata-rata nilai indeks keanekaragaman setiap tingkat pertumbuhan sebesar 2.37.

Pada tingkat semai, tiang dan pohon blok penelitian Cilintang mempunyai keanekaragaman jenis tumbuhan tertinggi. Blok penelitian Cilintang umumnya mempunyai kondisi hutan yang cukup baik dengan naungan dan kerapatan pohon yang tinggi dibandingkan dengan blok penelitian yang lain, sehingga banyak jenis yang dapat tumbuh di lokasi tersebut. Tingkat keanekaragaman jenis dapat diketahui berdasarkan indeks dominansi, indeks keanekaragaman, indeks kekayaan, dan indeks pemerataan jenis (Istomo dan Sari 2018).

Tabel 7 Lima jenis tumbuhan pada berbagai tingkat pertumbuhan dengan kerapatan tertinggi di seluruh blok penelitian.

Nama Jenis	Nama Latin	Famili	Kerapatan (Ind./ha)
Tumbuhan Bawah			
Areuy mata	<i>Ficus montana</i>	Moraceae	14.800
Areuy Lolo	<i>Anadendrum microtachyum</i>	Araceae	9.900
Areuy kupu-kupu	<i>Uvaria</i> sp.	Annonaceae	8.500
Areuy Kolebahe	<i>Trema orientalis</i>	Cannabaceae	5.400
Rotan merah	<i>Daemonorops</i> sp.	Arecaceae	5.200
Semai			
Kililin	<i>Phaleria octendre</i>	Thymelaeaceae	12.400
Kijahe	<i>Croton auypelas</i>	Euphorbiaceae	8.500
Kisariawan	<i>Symplocos conchinchinensis</i>	Symplocaceae	6.100
Leungsir	<i>Pometia pinnata</i>	Sapindaceae	5.100
Kicalung	<i>Diospyros macrophylla</i>	Ebenaceae	4.500
Pancang			
Sauhen	<i>Orophea hexandra</i>	Annonaceae	752
Langkap	<i>Arenga obtusifolia</i>	Arecaceae	624
Kibatok	<i>Cynometra ramiflora</i>	Leguminosae	608
Kikeper	<i>Engelhardia spicata</i>	Junglandaceae	528
Kigeunteul	<i>Diospyros javanica</i>	Ebenaceae	208
Tiang			
Kigeunteul	<i>Diospyros javanica</i>	Ebenaceae	32
Ipis kulit	<i>Decaspermum fruticosum</i>	Myrtaceae	28
Kicalung	<i>Diospyros macrophylla</i>	Ebenaceae	28
Sauhen	<i>Orophea hexandra</i>	Annonaceae	28
Kikacang	<i>Strombosia javanica</i>	Olacaceae	16
Pohon			
Bungur	<i>Lagerstromeia speciosa</i>	Lythraceae	28
Salam	<i>Eugenia polyantha</i>	Myrtaceae	14
Kicalung	<i>Diospyros macrophylla</i>	Ebenaceae	12
Kiara	<i>Ficus benjamina</i>	Moraceae	10
Kikacang	<i>Strombosia javanica</i>	Palmae	8

Tabel 8 Nilai indeks keanekaragaman jenis pada berbagai tingkat pertumbuhan.

Tingkat Pertumbuhan	Blok Penelitian				Rata-rata
	Citalanca	Cikarang	Cigenter	Cilintang	
Tumbuhan bawah	1.91	2.09	2.21	1.77	2.00
Semai	1.96	1.92	2.00	2.62	2.13
Pancang	2.23	2.04	2.19	2.00	2.12
Tiang	1.92	2.22	2.03	2.40	2.14
Pohon	2.46	2.53	2.34	3.08	2.60

Indeks Kekayaan Jenis (RI)

Hasil analisis kekayaan jenis di blok penelitian berdasarkan Indeks Kekayaan Jenis Margalief menghasilkan kisaran nilai indeks antara 2.30-5.04 (Tabel 9) dengan rata-rata sebesar 3.44, hal ini mengindikasikan bahwa kekayaan jenis tergolong rendah.

Pada tingkat pertumbuhan pohon blok penelitian Cilintang mempunyai kekayaan jenis tertinggi (6.53), hal tersebut mengindikasikan bahwa terdapat jenis pohon dan jumlah individu yang cukup banyak.

Tabel 9 Nilai indeks kekayaan jenis pada berbagai tingkat pertumbuhan.

Tingkat Pertumbuhan	Blok Penelitian				Rata-rata
	Citalanca	Cikarang	Cigenter	Cilintang	
Tumbuhan bawah	2.46	1.95	2.42	2.38	2.30
Semai	2.78	3.13	2.78	3.55	3.06
Pancang	3.16	2.90	4.12	2.87	3.26
Tiang	2.20	3.06	5.17	3.64	3.52
Pohon	4.09	4.91	4.64	6.53	5.04

Indeks Dominansi (C)

Hasil analisis dominansi jenis berdasarkan Indeks Dominansi menunjukkan bahwa nilai indeks dominansi tidak ada yang mendekati satu, yaitu kisaran nilai indeks antara 0.12-0.21 (Tabel 10.) sehingga dapat dikatakan bahwa indeks dominansi jenis di blok penelitian tergolong rendah dan tidak ada jenis yang mendominasi kawasan. Menurut Magurran (2004), nilai C akan bernilai 1 atau mendekati 1 apabila dominansi dipusatkan pada satu atau sedikit jenis. Sebaliknya, jika beberapa jenis mendominasi secara bersama-sama maka nilai C akan bernilai rendah atau bahkan mendekati 0.

Tabel 10 Nilai indeks dominansi pada berbagai tingkat pertumbuhan.

Tingkat Pertumbuhan	Blok Penelitian				Rata-rata
	Citalanca	Cikarang	Cigenter	Cilintang	
Tumbuhan bawah	0.23	0.16	0.16	0.28	0.21
Semai	0.21	0.15	0.19	0.10	0.16
Pancang	0.17	0.19	0.20	0.20	0.19
Tiang	0.18	0.12	0.08	0.11	0.12
Pohon	0.13	0.12	0.16	0.05	0.12

Populasi Langkap

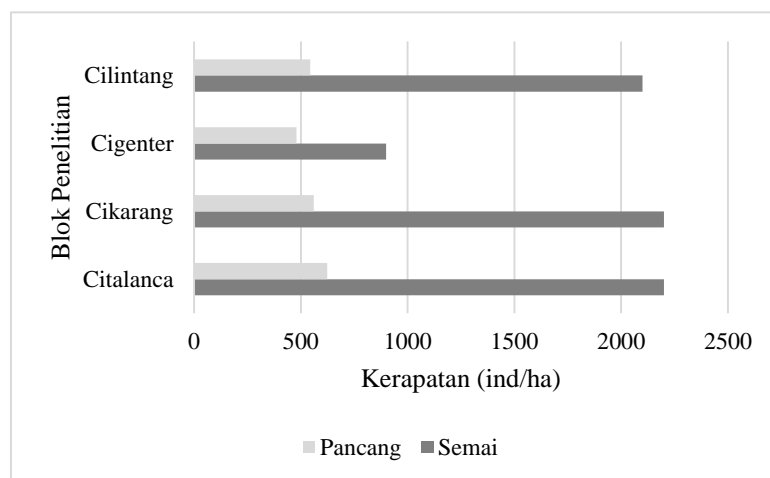
Langkap merupakan jenis yang dominan di TNUK pada tingkat pertumbuhan pancang (langkap dewasa), dengan kerapatan 480-624 individu/ha dan nilai INP sebesar 61.47%-78.30%, sedangkan kerapatan langkap pada tingkat pertumbuhan semai (langkap anakan) sebesar 900-2.200 individu/ha dengan nilai INP 21.31%-49.41%. Struktur populasi langkap di TNUK menggambarkan bahwa jumlah individu permudaan lebih banyak dari pada tingkat pertumbuhan di atasnya, hal ini terlihat dari jumlah kerapatan langkap pada tingkat pertumbuhan semai lebih banyak dibandingkan kerapatan langkap pada tingkat pertumbuhan pancang.

Hasil analisis vegetasi di 4 (empat) blok penelitian menunjukkan bahwa langkap merupakan jenis yang dominan dengan nilai INP tertinggi dibandingkan jenis lainnya sebesar 78,30% pada tingkat pertumbuhan pancang di blok penelitian Cigenter. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan pertumbuhan langkap untuk menginvasi kawasan di sekitarnya lebih luas karena jumlah permudaan langkap yang banyak. Nilai INP langkap di setiap blok penelitian disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11 Nilai INP langkap di setiap blok penelitian.

Blok Penelitian	Nilai INP
Citalanca	67,63
Cikarang	62,95
Cigenter	78,30
Cilintang	61,47

Secara umum seluruh blok penelitian memiliki kerapatan langkap yang relatif tinggi pada tingkat pertumbuhan semai dan pancang, tetapi pada tingkat pertumbuhan pohon dan tiang memiliki kerapatan yang rendah. Blok penelitian Citalanca memiliki kerapatan langkap pada tingkat pertumbuhan pancang yang tinggi dibandingkan blok penelitian yang lain, yaitu 624 individu/ha, sedangkan pada tingkat pertumbuhan semai kerapatan langkap tertinggi pada blok penelitian Citalanca dan Cikarang yaitu masing-masing 2.200 individu/ha. (Gambar 2). Tingginya kerapatan langkap pada blok penelitian Citalanca dikarenakan pada blok penelitian tersebut mempunyai penutupan tajuk yang rapat sehingga sangat mendukung pertumbuhan langkap. Kecenderungan dominasi langkap di blok penelitian dapat diketahui dari rasio kerapatan langkap dibandingkan dengan kerapatan total atau kerapatan relatifnya pada berbagai tingkat pertumbuhan. Diketahui bahwa semakin besar kerapatan langkap pada tingkat pertumbuhan pancang, semakin besar pula kerapatan langkap pada tingkat pertumbuhan semai. Kondisi tersebut menunjukkan tingginya stabilitas regenerasi langkap di blok penelitian. Hal ini menunjukkan bahwa pada kawasan langkap yang dominan maka terjadi pengurangan kerapatan tumbuhan selain langkap, sehingga akan menyebabkan kecenderungan dominansi langkap semakin kuat.



Gambar 2 Kerapatan dan struktur populasi langkap.

Pola Penyebaran Langkap

Krebs (1989) dalam Usjadi (2015) menyatakan bahwa Indeks Morisita merupakan metode yang digunakan untuk mengetahui pola penyebaran jenis dalam ekosistem. Hasil analisis dan perhitungan terhadap populasi langkap di setiap blok penelitian diperoleh nilai indeks penyebaran Morisita (I_d) pada setiap tingkat pertumbuhan bervariasi dengan nilai 1.01-1.37 (Tabel 12.). Selanjutnya nilai indeks penyebaran Morisita tersebut dilakukan pengujian untuk dicari dua titik kritisnya yaitu indeks M_u (*Uniform Indeks*) dan M_c (*Clumped Indeks*) melalui uji *chi-square*, selain itu juga perlu dilakukan standarisasi sehingga diperoleh nilai koefisien Morisita standar (I_p).

Nilai koefisien Morisita standar pada setiap blok penelitian dan tingkat pertumbuhan diperoleh kisaran nilai 0.32 – 0.51, maka pola penyebaran langkap menunjukkan pola penyebaran mengelompok ($I_p > 0$). Nilai indeks Morisita terstandar dan pola penyebaran langkap pada setiap tingkat pertumbuhan dan blok penelitian disajikan pada Tabel 12.

Hasil pengamatan di lapangan diketahui bahwa sebaran langkap tiap blok penelitian dijumpai mengelompok dengan jumlah individu langkap sedikit sampai sangat banyak di setiap plot contoh (20 m x 20 m), kisaran 5-150 individu per plot contoh. Pola penyebaran langkap yang mengelompok diindikasikan adanya pengaruh faktor perkebangbiakan dan faktor lingkungan.

Tabel 12 Nilai indeks Morisita Langkap.

Blok Penelitian	I_d	M_u	M_c	I_p	Pola Penyebaran
Citalanca					
Langkap dewasa	1.06	0.98	1.02	0.50	Mengelompok
Langkap anakan	1.04	0.99	1.01	0.50	Mengelompok
Cikarang					
Langkap dewasa	1.04	0.98	1.03	0.50	Mengelompok
Langkap anakan	1.10	0.99	1.00	0.50	Mengelompok
Cigenter					
Langkap dewasa	1.18	0.98	1.03	0.50	Mengelompok
Langkap anakan	1.37	0.99	1.02	0.51	Mengelompok
Cilintang					
Langkap dewasa	1.01	0.98	1.03	0.32	Mengelompok
Langkap anakan	1.08	0.99	1.01	0.50	Mengelompok

Langkap dapat berkembangbiak secara vegetatif melalui tunas akar (Haryanto, 1997). Tunas akar tersebut akan tumbuh menjadi individu-individu baru yang masih dekat dengan induknya, sehingga membentuk koloni langkap. Penyebaran biji langkap di habitat alamnya dibantu oleh musang (*Paradoxurus hermaphroditus*), badak jawa (*Rhinoceros sondaicus*) dan banteng (*Bos javanicus*) (Haryanto, 1997). Biji tersebut akan keluar dari tubuh satwa tersebut melalui feses dan akan berkecambah di area yang tidak jauh dari habitat langkap tersebut. Sedangkan berdasarkan faktor lingkungan, hasil pengamatan di lapangan dapat diketahui bahwa langkap ditemukan pada lokasi yang mempunyai naungan yang tinggi dan rapat, namun langkap tidak ditemukan pada lokasi yang berdekatan dekat pantai atau lokasi dengan penutupan tajuk yang sangat terbuka.

Kecenderungan dominasi langkap di blok penelitian diketahui dari rasio kerapatan langkap dibandingkan dengan kerapatan total atau kerapatan relatifnya pada berbagai tingkat pertumbuhan. Diketahui bahwa semakin besar kerapatan langkap pada tingkat pertumbuhan pancang, semakin besar pula kerapatan langkap pada tingkat pertumbuhan semai. Kondisi tersebut menunjukkan tingginya stabilitas regenerasi langkap di blok penelitian.

SIMPULAN

Pola penyebaran langkap pada tingkat pertumbuhan semai (langkap anakan) dan pancang (langkap dewasa) memiliki pola penyebaran mengelompok ($I_p > 0$), dengan kisaran nilai koefisien Morisita standar (I_p) 0.32-0.51. Pola penyebaran langkap yang mengelompok diindikasikan adanya pengaruh faktor perkembangbiakan dan faktor lingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Gunawan W, Basuni S, Indrawan A, Prasetyo LB, Soedjito H. 2011. Analisis komposisi dan struktur vegetasi terhadap upaya restorasi Kawasan Hutan Taman Nasional Gunung Gede Pangrango. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. (1) 2 : 93-105.
- Hariyadi ARS. 2012. *Model Pengelolaan Populasi Badak Jawa (Rhinoceros sondaicus) Berdasarkan Analisis Nutrisi dan Tingkat Cekaman sebagai Parameter Kesehatan*. [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Istomo dan Sari PN. 2018. Penyebaran dan karakteristik habitat jenis rasamala (*Altingia excelsa* Noronha) di Taman Nasional Gunung Halimun Salak. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 9(3): 608-625. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.3.608-625>.
- Krebs JC. 1989. *Ecological Methodology*. New York (USA): Harper Collins Publisher, Inc.
- Ludwig JA, Reynold JF. 1988. *Statistical Ecology, A Primer on Methods and Computing*. New York (USA): John Willey and Sons.
- Magurran. 2004. *Measuring Biological Diversity*. Oxford (UK): Blackwell Science Ltd.

- Misra, K.C. 1980. *Manual of Plant Ecology*. 2nd ed. New Delhi: Oxford & IBH Publishing Co.
- Mueller-Dombois, D. and D. H. Ellenberg. 1974. *Aims and Methods of Vegetation Ecology*. New York (USA): John Wiley & Son.
- Putro HR. 1997. Invasi langkap dan dampaknya terhadap keanekaragaman hayati di Taman Nasional Ujung Kulon, Jawa Barat. *Media Konservasi Edisi Khusus*. 95-100.
- Putro HR. 1997. Heterogenitas habitat Badak Jawa (*Rhinoceros sondaicus*, Demarest 1822) di Taman Nasional Ujung Kulon, Jawa Barat. *Media Konservasi Edisi Khusus*. 17-40.
- Putro HR, Siswoyo. 1997. Sifat-sifat Morfologis dan Anatomis Langkap (*Arenga obtusifolia* Blumme ex Mart). *Media Konservasi Edisi Khusus*. 105-109.
- Rahmat UM. 2012. *Sebaran Spasial dan Model Kesesuaian Habitat Badak Jawa (Rhinoceros sondaicus, Demarest 1822) di Taman Nasional Ujung Kulon*. [disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Soerianegara I, Indrawan A. 2015. *Ekologi Hutan Indonesia*. Bogor (ID): Laboratorium Ekologi Hutan. Fakultas Kehutanan. Institut Pertanian Bogor.
- Supriatin. 2000. *Studi kemungkinan adanya pengaruh alleopati langkap (Arenga obtusifolia Blume ex Mart.) terhadap pertumbuhan semai tumbuhan pakan badak jawa di Taman Nasional Ujung Kulon*. [skripsi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Usmadi, D. 2015. *Autekologi dan Kesesuaian Habitat Langkap (Arenga obtusifolia Mart.) di Cagar Alam Leuweung Sancang, Jawa Barat*. [tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.



Pemetaan Daerah Rawan Kebakaran Di Lahan Gambut Berdasarkan Pola Sekuens Titik Panas Di Kabupaten Pulang Pisau Kalimantan Tengah

Mapping of Risk Fire in Peat Land based on Hotspot Sequential Pattern Mining in District of Pulang Pisau, Kalimantan Tengah

Anissa Rezainy^a, Lailan Syaufina^b, Imas Sukaesih Sitanggang^c

^a Program Studi Ilmu Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarja, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Baranangsiang Bogor

^b Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

^c Departemen Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga Bogor 16680

Article Info:

Received: 27 - 02 - 2020

Accepted: 17 - 07 - 2018

Keywords:

Composite mapping analysis, land and forest fire, sequential pattern mining, hotspot.

Corresponding Author:

Anissa Rezainy
Program Studi Ilmu Pengelolaan
Sumberdaya Alam dan
Lingkungan, Sekolah Pascasarja,
Institut Pertanian Bogor;
Email:
anissarezainy@yahoo.co.id

Abstract: *Land and forest fire is one of the major causes of Indonesia's deforestation, who has a significant impact to the environment, loss of conservation, air pollution and economic loss. This research develop a spatial modelling of factors that can drive the forest fire. Spatial model of vulnerability of land and forest fire is developed by the composite mapping analysis method. Hotspot datasets used in this research is the results of data mining processing, with sequential pattern mining technique which to find the relationships between the occurances of sequential event and its pattern that often appear. From the six variables influences land and forest fire there are four variables that have significant impacts in the study area, as follows: forest zone, depth of peatland, distance of irrigation, and distance of road. The fire in the area of study occurs many times in the peatland area with the depth of 400-800 cm. Land and forest fire occurs frequently in 100-900 meters from irrigation and land and forest fire also occurs frequently in 1-4 km form the road. Land and forest fire occurs frequently in protected forest.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Rezainya A, Syaufina L, Sitanggang IS. 2020. Pemetaan daerah rawan kebakaran di lahan gambut berdasarkan pola sekuens titik panas di Kabupaten Pulang Pisau Kalimantan Tengah. **10**(1): 66-76. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.66-76>.

PENDAHULUAN

Kebakaran hutan dan lahan yang terjadi setiap tahun di Indonesia dilatarbelakangi adanya kebutuhan penggunaan lahan yang terus bertambah untuk pertanian dan permukiman. Kebakaran hutan dan lahan bukan merupakan fenomena baru pada hutan hujan tropis (Hoscilo *et al.*, 2011). Bertambahnya kejadian kebakaran hutan dan lahan dibuktikan dengan semakin meluasnya wilayah yang terbakar dan frekuensi kejadian kebakaran dalam beberapa dasawarsa terakhir (Cattau *et al.*, 2016). Menurut Wooster *et al.* (2012); Hoscilo *et al.* (2011) kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan sebagian besar merupakan hasil aktivitas kegiatan manusia yang berkaitan dengan deforestasi hutan (perkebunan kelapa sawit, pulp dan kertas), perubahan penggunaan lahan, persiapan produksi pertanian yang dilakukan masyarakat dengan cara membakar lahan.

Kebakaran hutan dan lahan yang terjadi pada tahun 2015, merupakan kejadian terburuk dalam periode dua dasawarsa terakhir, dengan prediksi besaran lahan yang hilang sebesar 2.61 juta hektar (Tacconi, 2016). Tingginya kejadian kebakaran yang berulang setiap tahun diketahui menimbulkan kerugian pada bidang ekonomi, kesehatan dan ekologi sehingga diperlukan sistem pengelolaan untuk mengendalikan kejadian kebakaran. Secara umum sistem pengelolaan pengendalian kebakaran dibagi menjadi tiga komponen yaitu, pencegahan, pemantauan dan penanggulangan. Komponen terpenting adalah pencegahan kejadian kebakaran. Menurut Cortez dan Morais (2007) sistem peringatan dini merupakan elemen kunci untuk mencegah kebakaran hutan dan lahan. Pengembangan sistem peringatan dini (*early warning sistem*) dan kajian evaluasi resiko kebakaran, cukup efektif dalam mencegah munculnya kebakaran (Chuvieco *et al.*, 2014).

Penentuan tingkat kerawanan daerah kebakaran merupakan salah satu cara dalam mencegah terjadinya kebakaran hutan dan lahan. Tingkat kerawanan kebakaran hutan pada suatu wilayah dapat didekati dengan pemodelan matematik yang menghubungkan kejadian kebakaran dengan faktor-faktor yang dapat memengaruhi kejadian kebakaran (Mukti *et al.*, 2016; Mapilata *et al.*, 2013; Setiawan *et al.*, 2004; Samsuri 2008).

Titik panas merupakan indikasi yang memungkinkan terjadinya kebakaran yang merupakan rekaman dari sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) yang dapat diakses oleh masyarakat. Pada penelitian Prasasti *et al* (2012) mengungkapkan bahwa dengan banyaknya jumlah titik panas tidak selalu menggambarkan makin luas area yang terbakar. Pembaharuan pada penelitian kali ini adalah penggunaan titik panas yang diperoleh dari hasil *data mining*. Penelitian mengenai titik panas berdasarkan pola sekuens dalam menganalisis faktor-faktor yang dapat memengaruhi kebakaran hutan belum banyak dilakukan. Pola sekuens titik panas merupakan hasil pengolahan *data mining* dengan menggunakan metode *Sequence Pattern Mining*. Pola sekuens digunakan pada data yang jumlahnya besar dan bertujuan untuk menemukan hubungan yang menarik antara kejadian peristiwa yang berurutan dan pola yang sering muncul (Zhao dan Bhowmick, 2003). Pola sekuens diharapkan dapat menemukan pola-pola berurutan dalam kumpulan urutan data kejadian (Nurulhaq dan Sitanggang, 2015). Adanya pola titik panas yang berurutan, menjadi indikator kuat dilapangan yang mengindikasikan terjadinya kejadian kebakaran hutan dan lahan. Diharapkan model spasial kebakaran pada daerah penelitian yang terbentuk dapat berguna sebagai upaya pencegahan kebakaran dan informasi dalam membuat keputusan dan pengelolaan kebakaran lahan gambut di Indonesia.

Penelitian ini, bertujuan untuk melakukan pemetaan daerah rawan kebakaran pada lahan gambut berdasarkan faktor-faktor yang dapat memengaruhi kebakaran dengan data pola sekuens titik panas.

METODE

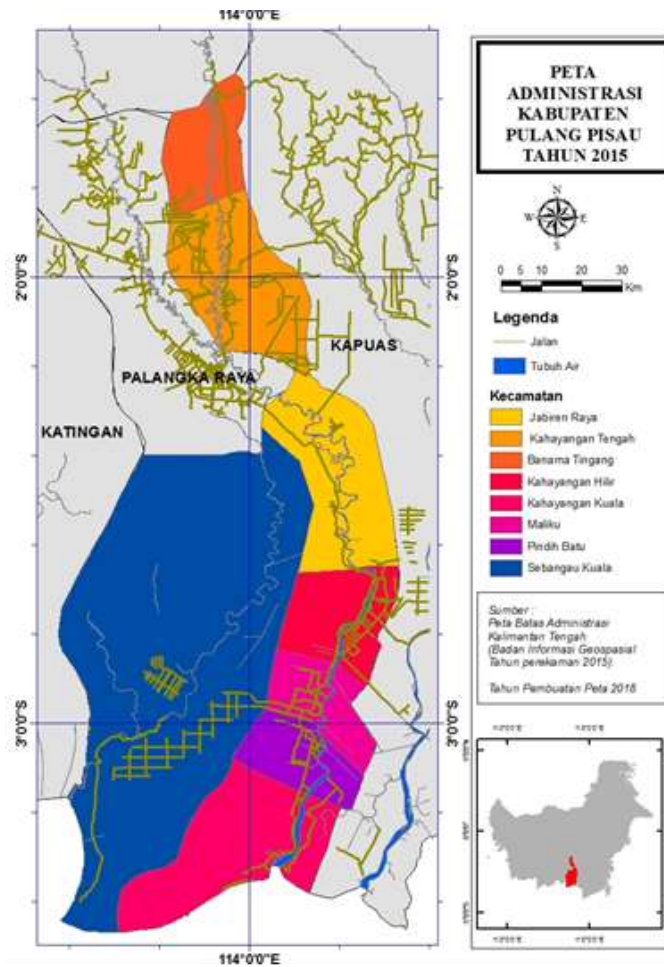
Lokasi dan Waktu Penelitian

Wilayah studi penelitian ini adalah Kabupaten Pulang Pisau, Provinsi Kalimantan Tengah (Gambar 1). Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa citra landsat 8 tahun 2015, peta rupa bumi indonesia dari Badan Informasi Geospasial (BIG) skala 1 : 250 000 Kabupaten Pulang Pisau, dan peta sebaran lahan gambut Provinsi Kalimantan Tengah dari Wetland International tahun 2002. Perangkat lunak yang digunakan pada penelitian ini yaitu ArcGIS 10.2, Quantum GIS, dan SPSS.

Analisis Data

Analisis spasial yang dilakukan meliputi proses *overlay*, manipulasi, pengkelasan, penyusunan skor, pembobotan, dan pembuatan model sehingga menghasilkan peta kerawanan kebakaran hutan. Faktor – faktor penyebab kebakaran hutan dan lahan disajikan pada Tabel 1. Data pola sekuens titik panas diperoleh dari penelitian Istiqomah pada tahun 2015, dengan bantuan perangkat lunak ArcGIS, dikonversi menjadi data

shapefile. Peta sebaran pola sekuens titik panas diolah dengan fasilitas *density tools* untuk membuat peta kepadatan titik panas yang akan digunakan untuk membangun model spasial tingkat kerawanan kebakaran hutan dengan metode CMA (*Composite Mapping Analysis*).



Gambar 1 Peta Area Penelitian.

Tabel 1 Faktor – faktor yang mempengaruhi kebakaran hutan dan lahan.

Faktor	Sub Faktor
Fungsi Kawasan	Area Penggunaan Lain
	Kawasan Suaka Alam
	Hutan Lindung
	Hutan Produksi Terbatas
	Hutan Produksi Tetap
Tutupan Lahan	Hutan Produksi yang dapat dikonversi
	Perkebunan
	Ladang
Jangkauan Jarak jalan	Hutan
	Semak Belukar
Jangkauan jarak kanal	Analisa <i>multiple ring buffer</i> dengan interval 1 km
Jangkauan jarak sungai	Analisa <i>multiple ring buffer</i> dengan interval 100 meter
Kedalaman Gambut	Analisa <i>multiple ring buffer</i> dengan interval 1 km
	50-100 (20/80)
	50-100 (60/40)

Faktor	Sub Faktor
	50-100 (80/20)
	100-200 (60/40)
	200-400 (60/40)
	400-800 (60/40)
	800-1200 (60/40)

Nilai skor pada masing-masing sub faktor dapat dihitung menggunakan formula Jaya *et al.*, (2007) dengan menggunakan formula (1) dan (2)

$$X_i: \left[\frac{O_i}{E_i} \right] \times \frac{100}{\sum E_i} \quad (1)$$

$$E_i: \left[\frac{T \times F}{100} \right] \quad (2)$$

dimana : x_i = skor kelas (sub faktor) pada masing–masing variable, O_i = jumlah titik panas yang ada pada masing–masing kelas (*observed* titik panas), E_i = jumlah titik panas yang diharapkan pada masing–masing kelas (*expected* titik panas), T = total jumlah titik panas, F = persentase luas pada masing–masing kelas

Rescalling score adalah cara untuk menstandarkan nilai skor pada masing–masing variabel pada rentang nilai tertentu. Salah satu cara melakukan standarisasi skor skala menggunakan formula Jaya *et al.* (2007), dimana masing–masing kelas diberi skor pada rentang 10 sampai dengan 100 dengan persamaan berikut ;

$$score_{R.out} = \left(\frac{Score_{E.input} - Score_{E.min}}{Score_{E.Max} - Score_{E.min}} \right) * (Score_{R.Max} - Score_{R.Min}) + Score_{R.min}$$

dimana :

Score R_{out} : nilai skor hasil *rescalling*

Score E_{input} : nilai skor dugaan

Score E_{min} : nilai minimal skor

Score E_{max} : nilai maksimal skor dugaan

Score R_{max} : nilai skor tertinggi hasil *rescalling*

Score R_{min} : nilai skor terendah hasil *rescalling*

Pada analisis ini bobot setiap peubah untuk mengidentifikasi derajat pengaruhnya terhadap kerawanan kebakaran hutan dan lahan dilakukan dengan pendekatan kuantifikasi dengan menggunakan metode analisis pemetaan komposit (*Composit mapping analysis/CMA*). Hubungan antara jumlah titik panas per km² dengan faktor-faktor penyusun kerawanan kebakaran hutan dan lahan dianalisis untuk menurunkan nilai skor masing-masing faktor. Faktor-faktor yang memiliki korelasi yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan faktor lain dipilih dan digunakan untuk menyusun model regresi linear berganda. Model regresi dinyatakan bagus apabila model yang terbentuk memiliki signifikansi < 0.005.

Uji Kelayakan Model

Uji validasi terhadap model spasial yang telah dibangun dilakukan dengan menggunakan data pola sekuens titik panas pada tahun 2015 sebanyak 187 titik. Data kebakaran tersebut dilakukan uji akurasi pada peta kerawanan kebakaran yang telah diperoleh dari model yang berhasil dibuat. Jika model dapat memplotposisikan daerah hasil kerawanan kebakaran pada kelas kerawanan yang sangat tinggi lebih dari 75% maka model dapat diterima sebagai model spasial kerawanan kebakaran pada Kabupaten Pulang Pisau.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis hubungan skor setiap variabel dengan kepadatan titik panas dilakukan melalui proses spasial dan statistik. Data tabel hasil *intersect* antara kepadatan titik panas (variabel tidak bebas) dengan variabel-variabel yang memengaruhi kebakaran dilakukan analisis regresi linear. Analisis regresi dilakukan untuk mendapatkan model dengan nilai koefisien determinasi (R^2) terbaik. Nilai skor komposit disusun berdasarkan semua peubah yang memiliki R^2 tertinggi. Beda nyata antar kelas dapat diketahui dengan melihat nilai signifikansi setiap kelas terhadap kelas pembanding dimana dua kelas dinyatakan berbeda nyata apabila kelas-kelas tersebut memiliki nilai signifikansi < 0.005 . Tabel 2 menunjukkan nilai koefisien dan signifikansi hasil *intersect* skor *rescalling* terhadap kepadatan titik panas.

Tabel 2 Hasil regresi linear pada skor *rescalling* terhadap kepadatan titik panas pola sekuens.

Variabel – variabel yang memengaruhi kebakaran hutan	Coefficients	Sig.
Fungsi Kawasan (X_1)	0.050	0.000 ^(a)
Kedalaman Gambut (X_2)	0.180	0.000 ^(a)
Jarak Jalan (X_3)	0.073	0.000 ^(a)
Jarak Kanal (X_4)	0.047	0.000 ^(a)
Jarak Sungai (X_5)	0.018	0.082
Tutupan Lahan (X_6)	0.025	0.011

^aSignifikan pada taraf 0.5%

Berdasarkan hasil uji model terbaik yang terdapat pada tabel 2, variabel yang signifikan memiliki pengaruh terhadap kepadatan titik panas pada taraf nyata 0.5%, yaitu fungsi kawasan, kedalaman gambut, jarak jalan, dan jarak kanal. Persamaan skor komposit yang diperoleh adalah $y = 0.050 X_1 + 0.180X_2 + 0.073X_3 + 0.047 X_4$. Penyusunan bobot masing-masing variabel disusun berdasarkan proporsi masing-masing koefisien korelasi dari regresi linear terhadap total seluruh koefesien regresinya. Nilai bobot dapat dilihat pada Tabel 3. Skor komposit kerawanan kebakaran berada pada interval 3.498 sampai 77.652. Terdapat 3 kelas kerawanan kebakaran di wilayah studi. Nilai interval skor komposit dan jumlah titik panas validasi tiap kelas kerawanan ditampilkan pada Tabel 4.

Kabupaten Pulang Pisau memiliki tingkat kerawanan kebakaran dengan proporsi kelas kerawanan tertinggi pada kelas tinggi. Kelas kerawanan tertinggi sebesar 76% dari seluruh total area kajian dengan jumlah pola sekuens titik panas sebanyak 143 titik. Proporsi kelas kerawanan rendah pada kelas rendah sebesar 4% dari seluruh total area kajian dengan jumlah pola sekuens titik panas sebanyak 7 titik. Peta kelas kerawanan kebakaran pada Kabupaten Pulang Pisau ditunjukkan pada Gambar 2.

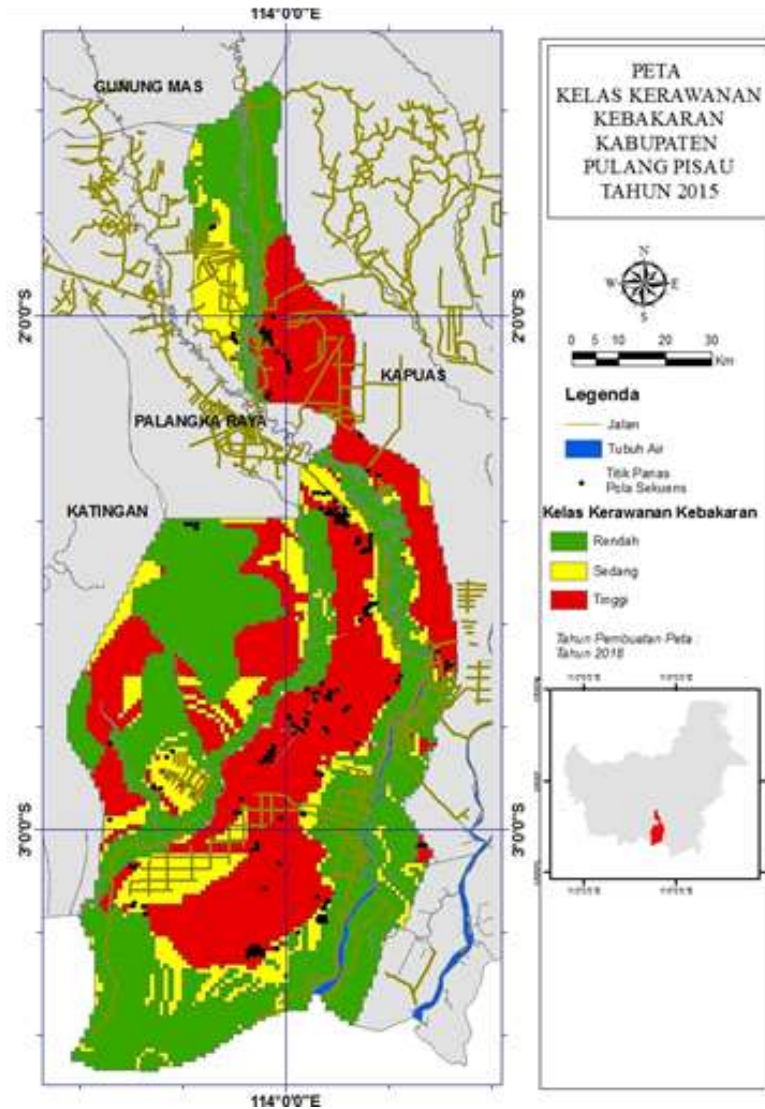
Tabel 3 Nilai koefisien dan bobot penyusun untuk skor komposit model.

Variabel	Coefficients	Bobot
Fungsi kawasan (X_1)	0.050	0.142
Kedalaman Gambut (X_2)	0.180	0.514
Jarak jalan (X_3)	0.073	0.208
Jarak kanal (X_4)	0.047	0.134

Tabel 4 Data kelas kerawanan kebakaran di Kabupaten Pulang Pisau.

Kelas Kerawanan Kebakaran	Interval Skor Komposit	O _i ^(a)	Persentase Akurasi Model
Rendah	3.498 – 28.216	7	4%
Sedang	28.217 – 52.935	37	20%
Tinggi	➤ 52.936	143	76%

^aO_i :Jumlah pola sekuens titik panas



Gambar 2 Peta kelas kerawanan hutan dan lahan di Kabupaten Pulang Pisau Tahun 2015.

Kedalaman gambut merupakan variabel yang berpengaruh terhadap kebakaran di Kabupaten Pulang Pisau. Persentase dan luas daerah kerawanan pada area studi digambarkan pada Tabel 5. Persentase kerawanan paling tinggi pada kelas kerawanan tinggi berada pada kedalaman gambut 400-800 cm, dengan persentase sebesar 64% dari seluruh total kejadian kebakaran di area studi. Persentase kerawanan kebakaran paling rendah pada kelas rendah berada pada tanah Gambut dengan kedalaman 800-1200 cm, dengan persentase sebesar 3% dari seluruh total kajian kebakaran. Kejadian kebakaran pada area studi banyak terjadi pada gambut dengan kedalaman 400-800 cm, apabila dibandingkan dengan kelas kedalaman yang lain.

Kebakaran pada gambut dalam merupakan ciri kebakaran di lahan gambut, karena kebakaran tidak dapat diprediksi dan bergerak lambat karena tidak diakibatkan oleh angin. Praktek pengaliran air pada lahan gambut (seperti perkebunan kelapa sawit, perkebunan karet, pembukaan untuk lahan pertanian, dan penebangan tebang pilih) berkontribusi tinggi menyebabkan daerah tersebut gampang terbakar oleh api jika tidak dilakukan pengelolaan yang baik (Sumarga, 2017). Pada musim kering lahan gambut yang kering, cenderung lebih sensitif terhadap api dikarenakan materialnya yang mudah terbakar (Sumarga, 2017).

Kebakaran di lahan gambut memiliki resiko sulit dideteksi dan sulit dikendalikan dibandingkan kebakaran pada jenis tanah lain. Kebakaran di lahan gambut menembus lapisan bawah dan membentuk lubang corong, kemudian api akan menyebar secara horizontal (Syaufina, 2008). Gambut yang mengalami konversi pada temperatur yang tinggi, sedikit kelembapan, menyebabkan meningkatnya evaporasi gambut selama musim panas sehingga menyebabkan kandungan air gambut menurun pada tingkat terendah (Dohong

et al., 2017). Gambut yang terbakar cenderung berlangsung secara terus menerus bahkan sampai berbulan-bulan, terutama pada musim kering (Shi et al., 2014). Akibat kadar air gambut menurun menyebabkan terjadinya oksidasi gambut dan mempercepat dekomposisi dan mineralisasi yang menyebabkan subsiden gambut, kebakaran dan meningkatnya emisi karbon (Dohong et al., 2017).

Hasil penelitian pada Tabel 6 menunjukkan bahwa persentase jarak dari kanal dengan tingkat kerawanan yang paling tinggi pada kelas kerawanan tinggi berada pada jarak antara 200-900 meter dari kanal dengan persentase antara 8%-11% dari kejadian kebakaran pada area studi. Persentase jarak dari kanal dengan tingkat kerawanan rendah pada kelas kerawanan rendah pada semua jarak tidak memiliki pengaruh berarti terhadap kelas kerawanan kebakaran. Penelitian ini membuktikan bahwa jarak kanal memengaruhi kejadian kebakaran hutan. Hasil penelitian sesuai dengan pendapat Hooijer et al., (2014) bahwa pada jarak 200-600 meter dari kanal memiliki hubungan yang kuat dengan kejadian kebakaran. Semakin dekat dengan kanal maka gambut yang terbakar semakin dalam, menurut Hooijer et al., (2014) rata-rata kedalaman gambut yang terbakar pada jarak kanal 200-900 meter sedalam 0.38 meter, sedangkan rata-rata kedalaman gambut yang terbakar dengan jarak lebih dari 600 meter memiliki kedalaman 0.20 meter.

Tabel 5 Luas kerawanan kebakaran pada kedalaman gambut dan luas berdasarkan tingkat kerawanan kebakaran

Kedalaman Gambut (cm)	Jenis Gambut	Kelas kerawanan rendah		Kelas kerawanan sedang		Kelas kerawanan tinggi	
		%	Luas ^(a)	%	Luas ^(a)	%	Luas ^(a)
50 – 100 (20/80)	Hemist/mineral	0	624	1	50,648	0	57,110
50 – 100 (60/40)	Hemist/Fibrust	0	7,839	0	4,293	0	143
50 – 100 (80/20)	Hemist/mineral	1	40,037	7	23,350	0	1,579
100 - 200	Hemist/fibrust	0	2,968	6	58,738	1	10,590
200 - 400	Hemist/Fibrust	0	846	0	683	2	11,042
400 - 800	Hemist/Fibrust	1	4,761	5	54,068	64	272,052
800 – 1,200	Hemist/fibrust	3	99,017	0	1,734	0	1,529

^aLuas dalam hektar

Tabel 6 Luas kerawanan kebakaran di jarak terhadap kanal dan luas berdasarkan tingkat kerawanan kebakaran

Jarak kanal (meter)	Kelas kerawanan rendah		Kelas kerawanan sedang		Kelas kerawanan tinggi	
	%	Luas ^(a)	%	Luas ^(a)	%	Luas ^(a)
100	0	3,658	0	867	3	5,755
200	0	3,712	0	859	13	5,717
300	0	3,720	0	905	8	5,721
400	0	3,735	0	955	8	5,719
500	0	3,714	0	964	8	5,733
600	0	3,467	0	980	10	5,460
700	0	3,381	0	1,000	8	5,406
800	0	3,328	0	1,002	10	5,413
900	0	3,257	0	999	10	5,359
1,000	0	3,036	0	920	8	5,306
1,100	0	2,806	0	835	5	5,274
1,200	0	2,731	0	795	5	5,204
1,300	0	2,769	0	763	5	5,119

^aLuas dalam hektar

Hasil penelitian pada Tabel 7 menunjukkan bahwa persentase kerawanan tertinggi pada kelas kerawanan tinggi berada pada fungsi kawasan hutan lindung sebesar 40% dari kejadian kebakaran pada daerah area studi. Persentase kelas kerawanan rendah pada kelas kerawanan rendah berada pada fungsi kawasan Kawasan Suaka Alam (KSA) sebesar 3% dari kejadian kebakaran pada daerah studi. Tingginya kelas kerawanan kebakaran pada fungsi kawasan hutan sejalan dengan penelitian Febriani *et al.*, 2017 yang mengungkapkan bahwa luasan hutan yang hilang sejak tahun 2000 sampai 2015 di dominasi perubahan hutan menjadi semak belukar dan rumput serta perkebunan. Perubahan hutan menjadi semak belukar dan rumput memiliki presentase terbesar dalam perubahan penggunaan lahan hal tersebut mengindikasikan area deforestasi dibiarkan saja setelah diambil kayunya (Febriani *et al.*, 2017). Fungsi kawasan hutan lindung perlu mendapatkan perhatian dalam pengendalian kebakaran hutan untuk menghindari dampak kerusakan ekologis khususnya spesies yang terancam punah.

Tabel 7 Luas kerawanan kebakaran terhadap fungsi kawasan dan luas berdasarkan tingkat kerawanan kebakaran.

Fungsi Kawasan	Kelas kerawanan rendah		Kelas kerawanan sedang		Kelas kerawanan tinggi	
	%	Luas	%	Luas	%	Luas
APL ^(a)	0	110,758	3	29,592	8	29,047
HL ^(b)	0	29,509	2	31,806	40	156,061
HP ^(c)	1	101,336	11	38,663	8	95,643
HPK ^(d)	0	42,016	3	21,825	0	1,634
HPT ^(e)	0	5,792	0	2,245	1	1,519
KSA ^(f)	3	104,692	3	21,249	24	103,254

^a APL = Area Penggunaan Lain, ^dHPK = Hutan Produksi yang dapat dikonversi,

^cHP = Hutan Produksi tetap, ^eHPT = Hutan produksi terbatas, ^fKSA = Kawasan Suaka Alam,

^bHL = Hutan Lindung. Luas dalam hektar

Tabel 8 Luas kerawanan kebakaran terhadap jarak jalan dan persentase luas berdasarkan tingkat kerawanan kebakaran

Jarak jalan (km)	Kelas kerawanan rendah		Kelas kerawanan sedang		Kelas kerawanan tinggi	
	%	Luas ^(a)	%	Luas ^(a)	%	Luas ^(a)
1	0	73,256	35	54,222	12	54,307
2	0	55,609	16	24,853	12	32,047
3	50	44,164	8	14,969	12	24,922
4	0	32,929	30	8,886	22	23,065
5	50	24,418	5	5,081	4	22,215
6	0	19,197	0	2,521	3	22,413
7	0	14,784	3	2,077	1	22,432
8	0	11,530	3	3,713	2	20,048
9	0	9,191	0	4,198	4	18,427
10	0	8,473	0	4,829	4	16,438
11	0	7,891	0	4,767	3	15,132
12	0	6,933	0	4,389	7	14,171
13	0	5,637	0	3,721	8	12,730
14	0	4,573	0	3,539	9	11,232

^aLuas dalam hektar

Tingginya persentase luas hutan lindung yang tergolong kelas kerawanan tinggi karena kawasan tersebut mengalami perubahan penggunaan lahan menjadi perkebunan dan ladang pada data riil lapangan. Hutan produksi juga memiliki persentase tinggi pada kelas kerawanan sedang dan tinggi. Hutan produksi merupakan daerah yang *open access* dimana kepemilikan lahan dikuasai oleh pemerintah, namun secara *de facto* di lapangan keberadaannya dimiliki oleh non-pemerintahan, keadaan seperti ini menyebabkan daerah tersebut lebih rentan terhadap kejadian kebakaran.

Hasil penelitian pada Tabel 8 menunjukkan bahwa persentase jarak jalan dengan tingkat kerawanan tinggi pada kelas kerawanan tinggi berada pada jarak antara 1-4 km dari jalan, dengan besar persentase sebesar 12-22% dari kejadian kebakaran di area penelitian. Persentase pada kelas kerawanan rendah pada kelas kerawanan tinggi berada pada jarak 6-10 km dari jarak jalan

Tingginya persentase kebakaran pada jarak 1-4 km merupakan jarak yang ideal bagi masyarakat untuk melakukan aktivitas pembakaran lahan. Menurut Prayoto *et al.*, (2017) pada jarak 1-5 km dari jalan banyak ditemukan kejadian kebakaran dibandingkan dengan jarak >20 km dari jalan. Hughes (2018) dalam penelitiannya mengungkapkan bahwa, kurangnya kontrol pada pembukaan jalan merupakan faktor utama terhadap deforestasi di Indonesia. Beberapa tahun belakangan ini di Indonesia dan Malaysia menurut Hughes (2018) banyak daerah yang mengalami deforestasi dengan adanya pembukaan jalan baru untuk kemudian dibuat perkebunan kelapa sawit.

Variabel seperti jarak jalan, jarak kanal merupakan variabel yang terjadi akibat perbuatan manusia yang berpengaruh terhadap kebakaran hutan lahan. Manusia menggunakan api untuk membuka area hutan, yang kemudian digunakan untuk membersihkan lahan untuk pertanian dan memenuhi kebutuhan hidupnya (Prayoto *et al.*, 2017; Hooijer *et al.*, 2014; Dohong *et al.*, 2017).

Pengolahan *data mining* dengan metode *sequence pattern mining* memengaruhi hasil akhir variabel penyebab kebakaran hutan di area studi. Titik panas yang diolah memiliki prediksi tinggi terhadap kejadian kebakaran, menurut (Wang dan Cheng 2008), data mining merupakan strategi yang cerdas untuk digunakan untuk memadamkan kejadian kebakaran sehingga dapat menentukan sebuah keputusan.

KESIMPULAN

Pengujian terhadap enam variabel yang diduga dapat menyebabkan kebakaran hutan dan lahan pada area studi, diperoleh empat variabel yang signifikan mempengaruhi kebakaran hutan dan lahan, yaitu : kedalaman gambut, jarak kanal dan fungsi kawasan dan jarak jalan.

Pemodelan spasial yang dibuat pada penelitian terbentuk dari 3 kelas kerawanan (rendah, sedang, dan tinggi) kebakaran yang diperoleh dari variabel-variabel penyebab kebakaran dan kepadatan pola sekuens titik panas. Hasil pemodelan spasial pada lahan gambut diketahui bahwa kejadian kebakaran banyak terjadi pada area gambut dalam pada kedalaman 400-800 cm. Hasil pemodelan spasial pada jarak kanal diketahui bahwa jarak 100-900 meter dari kanal memengaruhi kebakaran. Fungsi kawasan hutan banyak terjadi kejadian kebakaran, dibandingkan fungsi kawasan lain. Kejadian kebakaran terhadap jarak jalan banyak terjadi pada jarak 1-4 km dari jalan.

DAFTAR PUSTAKA

- Cattau ME, Harrison ME, Shinyo I, Tungau S, Uriarte M, DeFries R. 2016. Source of antropogenic fire ignitions on the peat-swamp landscape in Kalimantan, Indonesia. *Journal of Global Environmental Change*. 39(2016): 250 – 219.
- Cortez P, Morais A. 2007. A Data Mining Approach to Predict Forest Fires Using Meteorological Data. Proceedings of the 13th EPIA Portuguese Conference on Artificial Intelligence. 512 – 523
- Chuvieco E, Aguado I, Jurdao S, Pettinari ML, Yebra M, Salas J, Hantson S, Riva JDL, Ibarra P, Rodrigues M, Echeverria M, Azqueta D, Roman MV, Bastarrika A, Martinez S, Recondo C, Zapico E, Martinez-Vega FJ. 2014. Integrating geospatial information into fire risk assessment. *International Journal of Wildland Fire*. 23(5): 606 – 619.
- Dohong A, Aziz AA, Dargusch P. 2017. A review of the drivers of tropical peatland degradation in South-East Asia. *Journal of Land Use Policy*. 69(2017): 349-360.
- Hooijer AL, Page S, Navratil P, Vernimmen R, Van der vat M, Tansey K, Konecny K, Siegert F, Ballhorn U, Mawdsley N. 2014. Carbon emssion from drained and degraded peatland in Indonesia and emission factor for measurement, reporting and verification (MRV) of peatland greenhouse gas emissions. [Scientific Paper] Indonesia (ID): Indonesia – Australia Kalimantan Forest Carbon Partnership.
- Hoscilo A, Page SE, Tansey KJ, Rieley JO. 2011. Effect of repeated fires on land-cover change on peatland in southern Central Kalimantan, Indonesia, from 1973 – 2005. *International Journal of Wildland Fire*. 578-588.
- Hughes AC. 2018. Have indo – malaysian forests reached the end of the road? *Journal Biological Conservation*. 223(2018): 129 – 137.
- Indriani F, Prasetyo LB, Dharmawan AH. 2017. Analisis deforestasi menggunakan regresi logistik model di Tahura sekitar Tanjung Provinsi Jambi. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 7(3): 195-203.
- Jaya INS, Purnama ES, Arianti I, Boonyanuphap, J. 2007. *Forest fire risk assessment model and post – fire evaluation using remote sensing and gis : a case study in Riau, West Kalimantan, and East Kalimantan Provinces, Indonesia*. [Project Research]. Finlandia (FI) : University of Helsinki.
- Mapilata E, Gandasasmita K, Djajakirana G. 2013. Analisis daerah rawan kebakaran hutan dan lahan dalam penataan ruang di kota Palangka Raya provinsi Kalimantan Tengah. *Majalah Ilmiah Globe*. 15(2):178 – 184.
- Mukti A, Prasetyo LB, Rushayati SB. 2016. Mapping Fire Vulnerability in Alas Purwo National Park. *Procedia Environmental Science* (33): 290 – 304.
- Nurulhaq NZ, Sitanggang IS. 2015. Sequential pattern mining on titik panas data in Riau Province using the Prefixspan algorithm. *International Conference on Adaptive and Intelligent Agroindustri (ICAIA) 2105 3rd International Conference* pp. 257 – 250. [terhubung berkala]. <https://www.researchgate.net/> [2016 July 23]. 10.1109/ICAIA.2015.7506517.
- Prasasti I, Boer R, Ardiansyah M, Buono A, Syaufina L, Vetritya Y. 2012. Analisis hubungan kode – kode SPBK (sistem peringkat bahaya kebakaran) dan hotspot dengan kebakaran hutan dan lahan di Kalimantan Tengah. *Jurnal Pengelolaan Sumbberdaya Alam dan Lingkungan*. 2(2): 91 – 101.
- Prayoto, Ishihara MI, Firdaus R, Nakagoshi N. 2017. Peatland fires in Riau, Indonesia, in relation to land cover type, land management, landholder, and spatial management. *Journal of Environmental Protection*. 8(2017): 1312 – 1332.

- Samsuri. 2008. *Model spasial tingkat kerawanan kebakaran hutan dan lahan (studi kasus di wilayah Propinsi Kalimantan Tengah)*. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. Bogor(ID): Institut Pertanian Bogor.
- Shi Y, Sasai T, Yamaguchi Y. 2014. Spatio-temporal evaluation of carbon emission from biomass burning in Southeast Asia during period 2001 – 2010. *Journal Ecological Modelling*. 272(2014): 98 – 115.
- Setiawan I, Mahmud AR, Mansor S, Shariff ARM, Nuruddin AA. 2004. GIS-grid based and multi criteria analysis for identifying and mapping swamp forest fire hazard in Pahang, Malaysia. *Disaster and Prevention Management*. 13(5): 379 – 386.
- Sumarga E. 2017. Spatial indicators for human activities may explain the 2015 fire hotspot distribution in central Kalimantan Indonesia. *SAGE Publication Journal Tropical Conservation Science*. 10: 1-9.
- Syaufina L. 2008. *Kebakaran hutan dan lahan di Indonesia: Perilaku api, penyebab dan dampak kebakaran*. Malang (ID): PT Bayu Media.
- Tacconi L. 2016. COMMENTARY: Preventing fires and haze in southeast Asia. *Nature Climate Change*. 6(7): 640-643.
- Wooster MJ, Perry GLW, Zoumas A. 2012. Fire, drought and el-nino relationship to borneo (southeast – Asia) in the pre-MODIS era (1980 – 2000). *Biogeosciences* 9(1): 317-340.
- Zhao Q, Bhowmick SS. 2003. Sequential pattern mining: a survey. *ITechnical report CAIS Nanyang Technological University Singapore* (1).



Analisis Teknis dan Ekonomis Penerapan Lampu Penerangan Jalan Umum Panel Surya di Kota Sukabumi

Techno-economic Analysis of The Public Street Light with Solar Cell Power Implementation in Sukabumi City

Dion Sanaha^a, Irzaman^b, Sri Mulatsih^a

^a Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Jl. Raya Dramaga Bogor 16680, Indonesia

^b Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^c Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

Article Info:

Received: 03 - 10 - 2018

Accepted: 05 - 09 - 2019

Keywords:

Batteres, LED, NPV, solar cell, PSL.

Corresponding Author:

Dion Sanaha

Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor;

Email: d_sanaha@yahoo.com.

Abstract. *Public Street Light (PSL) with Solar Cell Power has good prospects to be developed in the equator. PSL design must provide reliable service. The aims of this research are to know how the design of PSL with Solar Cell Power can provide a reliable service of The PSL. Besides that, monitoring of the performance of PSL is expected to be carried out centrally, this is to facilitate employees in observing the performance of the lights, also to anticipate damage PSL components. The design of PSL are expected to meet these expectations. This PSL designed can provide data on the performance of the main components of the PSL with Solar Cell Power, namely: Solar Cell, Batteries and LEDs. Descriptive analysis is used to analyze PSL technically, and economic feasibility analysis to PSL economically. Solar panels and lights work according to the technical specifications, while the battery does not work according to technical specifications, when the light is on less than specified, which is less than 12 hours. Economic analysis is taken into account of the design of this PSL. Net Present Value (NPV) are used in analyzing the Smart Design of PSL, which is by adding up all cash flow and investment costs. PSL is not an economics investment project carried out by the private sector. NPV Value with 10 % discount rate indicates that PSL is not feasible for business. Calculation of 0% discount rate, economic analysis is obtained if the price of electricity per KWH reaches of value of Rp. 11 027, which is more than seven times the price of PLN electricity per KWH without subsidies.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Sanaha D, Irzaman, Mulatsih S. 2020. Analisis teknis dan ekonomis penerapan lampu penerangan jalan umum panel surya di Kota Sukabumi. *10(1): 77-88.* <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.77-88>.

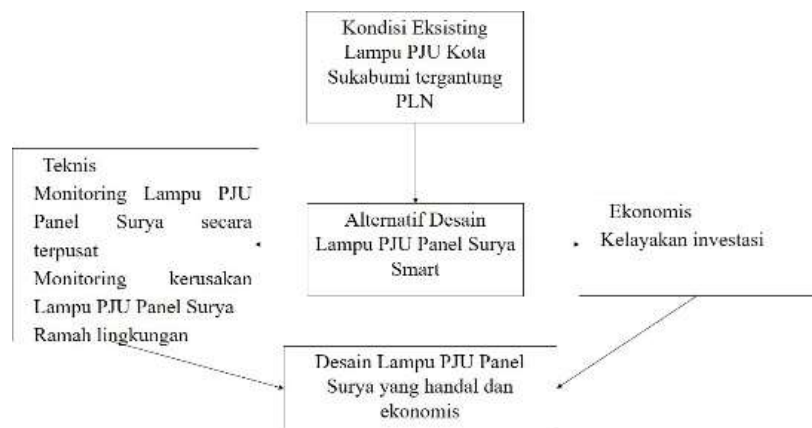
PENDAHULUAN

Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU) di Kota Sukabumi, berdasarkan sumber daya listriknya, dibagi dalam dua jenis, yaitu: lampu PJU yang bersumber dari daya listrik yang dihasilkan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan yang bersumber dari cahaya matahari melalui daya listrik yang dihasilkan oleh panel surya atau cahaya matahari.

Penggunaan Lampu PJU bersumber dari cahaya matahari memiliki prospek yang baik mengingat ketersediannya energinya yang berlimpah dan terus menerus karena posisi Indonesia di Kawasan tropis yang mendapatkan cahaya matahari sepanjang tahun. Potensi inilah yang dilihat Kota Sukabumi sebagai peluang untuk memanfaatkan energi yang besar ini sebagai sumber cahaya penerangan jalan. Keandalan layanan lampu PJU juga merupakan faktor yang perlu diperhatikan. Lampu PJU diperlukan terutama pada malam hari dimana jika terdapat gangguan listrik oleh PLN yang berdampak pada pemadaman, maka lampu PJU harus tetap menyala.

Pemantauan teknis kinerja lampu diharapkan dapat dilakukan secara terpusat. Jumlah titik lampu yang banyak dan terus bertambah memerlukan desain lampu PJU yang memungkinkan pemantauan secara menyeluruh terhadap keadaan lampu PJU yang ada. Sistem pemantauan terkait lampu diharapkan dapat dilakukan dari suatu lokasi tertentu yang memberikan data dan informasi teknis mengenai kondisi lampu PJU terpasang, sehingga memudahkan monitoring dan membuat kegiatan pemeliharaan lebih efisien dan mempermudah perawatan.

Selain secara teknis, perlu dilakukan analisis secara ekonomis mengenai desain yang akan dikembangkan. Analisis ekonomis yang digunakan adalah dengan menghitung kelayakan investasi. Selanjutnya Gambar 1 menyampaikan kerangka pemikiran dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 1 Kerangka Pemikiran.

Kondisi eksisting Lampu PJU di Kota Sukabumi yang masih tergantung pada listrik PLN menyebabkan adanya pemikiran untuk melakukan alternatif Lampu PJU Panel Surya. Secara teknis Lampu PJU Panel Surya ini harus dapat memonitoring status Lampu PJU, keadaan komponennya dan ramah lingkungan. Selain secara teknis, lampu PJU Panel Surya juga dievaluasi kelayaannya secara ekonomis.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode Juli 2018 sampai dengan September 2018 di 11 titik lokasi di Jalan Merdeka Kelurahan Cikundul Kota Sukabumi, Provinsi Jawa Barat. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapat dari hasil pengukuran langsung peralatan terpasang, sedangkan data sekunder merupakan data pendukung yang didapat dari sumber-sumber lain. Rangkaian peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah lampu LED, panel surya, baterai lithium, *Solar Charge Controller (SCC)*, *Smart Controller Module (SCM)*, dan *Gateway*.

Lampu LED

Lampu LED atau kepanjangannya *Light Emitting Diode* awalnya adalah suatu lampu yang digunakan sebagai indikator dalam perangkat elektronika, yang biasanya memiliki fungsi untuk menunjukkan status dari perangkat elektronika tersebut. Lampu ini sangat populer untuk lampu indikator yang memiliki lumens kecil. Pada perkembangannya lampu LED yang memiliki lumens lebih besar, sehingga populer dipakai untuk penerangan area yang lebih luas seperti penerangan ruangan atau bahkan penerangan jalan umum.

Lampu LED banyak di pilih untuk digunakan sebagai Penerangan Jalan umum dikarenakan daya yang digunakan oleh lampu LED ini lebih sedikit dibandingkan oleh lampu jenis lainnya. Spesifikasi Lampu LED yang digunakan untuk penerangan jalan umum berbeda dengan yang dipakai untuk area penerangan ruangan, karena cakupan pencahayaan penerangan jalan umum ini sangatlah luas di bandingkan dengan penerangan ruangan. Lampu LED yang digunakan pada penelitian ini adalah Lampu LED bermerk Solarens, tipe SL0202-MT yang memiliki spesifikasi teknis:

Rated Power ($\pm 10\%$)	: 40 W DC
Rated Fluks (lm)	: 6480
System Efficacy (lm/W)	: 162
Input Voltage	: 12/24 VDC
Power Factor	: 0.91
Harga	: Rp. 3 440 000

Panel Surya

Panel Surya merupakan satu peralatan yang digunakan untuk menyediakan sumber daya pada lampu penerangan jalan umum. Pada penelitian ini, penggunaan panel surya terutama dengan pertimbangan bahwa lokasi penelitian berada di daerah khatulistiwa dimana ketersediaan cahaya matahari tersedia sepanjang tahun sebagai sumber energy yang tersedia secara gratis untuk jangka waktu yang sangat lama. Selain itu, pertimbangan bahwa pelayanan lampu penerangan jalan umum pada malam hari tidak boleh terhenti jika terjadi pemadaman akibat gangguan listrik PLN.

Prinsip kerja dari surya panel adalah mengubah energi radiasi surya menjadi arus listrik searah dengan menggunakan lapisan-lapisan tipis dari silicon (Si) murni atau bahan semikonduktor lainnya. Pada saat ini silicon merupakan bahan yang terbanyak dipakai. Silikon merupakan suatu unsur yang banyak terdapat di alam. Untuk pemakaian sebagai semikonduktor, silicon harus dimurnikan hingga suatu tingkat pemurnian yang tinggi sekali: kurang dari satu atom pengotoran per 10^{10} atom silicon. Panel Surya yang digunakan pada penelitian ini adalah Panel Surya bermerk Jembo PV, tipe 150P yang memiliki spesifikasi teknis:

<i>Max Power</i>	: 150WP	<i>Max Power Point Voltage</i>	: 18.68Vmpp
<i>Power Output Tolerance</i>	: 3%	<i>Max Power Point Current</i>	: 8.06Amp
<i>Modul Efficiency</i>	: 15.13%	Cell Type	: Polycrystalline
		Harga	: Rp. 2 490 000

Baterai Lithium

Baterai ion lithium (biasa disebut Baterai Li-ion atau LIB) adalah salah satu jenis baterai isi ulang (*rechargeable battery*). Pada penelitian ini, baterai digunakan untuk menyimpan daya listrik yang dihasilkan dari panel surya pada saat siang hari, dan menyediakan daya listrik untuk menyalakan lampu LED pada malam hari. Baterai lithium yang digunakan adalah baterai yang dapat diisi ulang. Di dalam baterai ini, ion lithium bergerak dari elektroda negatif ke elektroda positif saat dilepaskan, dan kembali saat diisi ulang. Baterai lithium yang digunakan pada penelitian ini adalah Baterai lithium bermerk JYC, tipe LFPxx yang memiliki spesifikasi teknis:

Nominal Voltage : 12.8V
Nominal Capacity: 50 Ah
Energy : 640 Wh

Cycle life : >2000 cycles @1C 100%DOD
Harga : Rp. 6 037 500

Solar Control Charge(SCC)

Solar Charge Controller (SCC) adalah salah satu komponen pendukung yang sangat penting dalam Sistem Lampu PJU panel surya. Alat ini berfungsi untuk mengatur proses pengisian (*charging*) dan pemakaian baterai (*discharging*). Alat ini juga digunakan untuk menjaga baterai supaya tidak mudah rusak, dengan memutus arus baterai jika pengisian baterai sudah terisi penuh dan juga memutus beban/lampu jika baterai sudah habis. *SCC* yang digunakan memiliki fasilitas yang sangat membantu kinerja panel surya dan baterai lithium, dengan fasilitas sebagai berikut *sun switch*, berguna bagi sistem kerja dari panel surya dan juga baterai lithium, karena fasilitas ini dapat mengatur kinerja dari lampu LED penerangan jalan umum, serta system proteksi yang memiliki fungsi untuk pengamanan instalasi terhadap kemungkinan terjadinya hubungan singkat arus lalu lintas yang berakibat fatal akibat beberapa hal seperti pemasangan kabel positif dan negatif ke terminal input panel surya terbalik/salah, atau jika pemasangan kabel positif & negatif ke terminal input baterai terbalik/salah. *SCC* yang digunakan pada penelitian ini adalah *SCC* bermerk Epever, tipe 5210 BPL dengan harga Rp. 3 330 000.

Smart Controller Module (SCM)

Komponen penting dari desain Lampu PJU panel surya *Smart* ini adalah *Smart Controller Module (SCM)*. Alat ini terhubung dengan *SCC*, dan gateway, Fungsi dari *SCM* ini adalah menerima data dari *SCC* yang kemudian mengirimkan data tersebut ke Gateway melalui frekuensi radio. Setiap *SCM* memiliki alamat (IP Adress) yang berbeda sehingga *Gateway* dapat mengenali data yang dikirim oleh masing-masing *SCM*. *SCM* yang dipergunakan pada penelitian ini adalah merk Epever model eBox tipe WL-433M-01 dengan harga Rp. 2 990 000.

Gateway

Gateway (Gerbang Jaringan) adalah suatu perangkat yang menghubungkan jaringan komputer yang satu atau lebih jaringan komputer dengan media komunikasi yang berbeda. Pada sistem ini, *Gateway* digunakan dalam pengumpulan dan pengolahan data lampu PJU panel surya melalui Web-Server, sehingga dapat melakukan monitoring secara berkala terhadap masing – masing unit Lampu PJU panel surya dengan memberikan informasi / data yang diperlukan. Pada penelitian ini, *gateway* terhubung dengan server epever melalui jaringan internet GSM Telkomsel. *Gateway* yang digunakan pada penelitian ini adalah merk Epever, tipe Ebox-CIWL-01 Concentrator dengan harga Rp. 3 120 000.

Metode Pengumpulan Data

Data teknis diambil dari PJU panel surya hasil desain, adapun sumber data teknis diambil dari 11 titik lampu PJU di Jalan Cikundul Kota Sukabumi, pengambilan data dilakukan dari aplikasi *Smart PJU* yang dibuat oleh *Epever* selama 7 hari yaitu tanggal 20-26 September 2018. Hal ini juga disertai pengamatan di lokasi. Data teknis ini memuat tentang kondisi lampu dan kondisi komponen yang diambil dari monitoring data di komputer.

Metode Analisis Data

Analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis deskriptif yang merupakan analisis teknis dari rangkaian sistem penerangan jalan yang dibuat dan analisis kelayakan ekonomis. Analisis deskriptif dilakukan untuk mendeskripsikan teknis dalam bentuk tabulasi data rata-rata arus dan tegangan dari komponen

lampu PJU. Analisis teknis dilakukan dengan membaca data yang ditampilkan pada Komputer PC/Laptop. Data-data yang diperoleh adalah 1) Status Lampu LED, 2) Status baterai, dan 3) Status solar panel.

Analisa kelayakan ekonomis menggunakan indikator *NPV* dan *IRR* dari *cash flow* yang berupa biaya investasi dan biaya operasional serta penerimaan. Data investasi diperoleh dari harga e-katalog, harga *on-line* dan hasil lelang pada layanan pengadaan secara elektronik Jawa Barat, data operasional diperoleh dari data primer berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, dan data penerimaan diperoleh dari data primer pengukuran daya panel surya dan harga yang dihasilkan yaitu harga kwh dari PLN tanpa subsidi. Harga sistem Lampu PJU panel surya *Smart* diperoleh dari harga-harga pembelian komponennya. Dari harga tersebut dilakukan perhitungan analisis mengenai kelayakan ekonomis sistem tersebut.

Nilai *Net Present Value* (*NPV*) yang dihitung merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai diskon faktor, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskontokan pada saat ini. Untuk menghitung *NPV* diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/benefit dari proyek yang direncanakan. Jadi perhitungan *NPV* mengandalkan pada teknik arus kas yang didiskontokan.

Analisa kelayakan ekonomis menggunakan indikator *NVP* dan *IRR* dari *cash flow* yang berupa biaya investasi dan biaya operasional serta penerimaan. Data investasi diperoleh dari harga e-katalog, harga *on-line* dan hasil lelang pada layanan pengadaan secara elektronik Jawa Barat, data operasional diperoleh dari data primer berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, dan data penerimaan diperoleh dari data primer pengukuran daya panel surya dan harga yang dihasilkan yaitu harga kwh dari PLN tanpa subsidi.

Harga sistem Lampu PJU panel surya *Smart* diperoleh dari harga-harga pembelian komponennya. Dari harga tersebut dilakukan perhitungan analisis mengenai kelayakan ekonomis sistem tersebut.

Net Present Value (*NPV*) merupakan selisih antara pengeluaran dan pemasukan yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* sebagai diskon faktor, atau dengan kata lain merupakan arus kas yang diperkirakan pada masa yang akan datang yang didiskontokan pada saat ini. Untuk menghitung *NPV* diperlukan data tentang perkiraan biaya investasi, biaya operasi, dan pemeliharaan serta perkiraan manfaat/benefit dari proyek yang direncanakan. Jadi perhitungan *NPV* mengandalkan pada teknik arus kas yang didiskontokan.

Menurut Kasmir (2003) *NPV* atau nilai bersih sekarang merupakan perbandingan antara *Present Value* (*PV*) kas bersih dengan *PV* investasi selama umur investasi. Sedangkan menurut Ibrahim (2003) *NPV* merupakan *net benefit* yang telah didiskon dengan menggunakan *social opportunity cost of capital* (*SOCC*) sebagai *discount factor*. Arus kas masuk dan keluar yang didiskontokan pada saat ini atau *Present Value* (*PV*) yang dijumlahkan selama masa hidup dari proyek tersebut dapat dihitung dengan rumus:

$$PV_r = R_t / (1+i)^t$$

Rumus di atas digunakan saat proyek dijalankan dalam jangka waktu yang panjang, dimana :

PV_r = *Present Value* dari *revenue*

R_t = Arus kas bersih (*the net cash flow*) dalam waktu t

i = Suatu bunga diskonto yang digunakan

t = Waktu arus kas

$$NPV = C_0 + PV_r$$

dimana :

NPV = *Net Present Value*

C_0 = jumlah uang yang diinvestasikan pada awal masa proyek (tahun ke-0). Karena ini pengeluaran, maka menggunakan bilangan negatif

Hal berikut menunjukkan perhitungan *NPV* terhadap keputusan investasi yang akan dilakukan.

$NPV > 0$, Investasi yang dilakukan memberikan manfaat bagi perusahaan. Maka proyek bisa dijalankan.

$NPV = 0$, Investasi yang dilakukan tidak membuat perusahaan rugi maupun untung. Sehingga, Kalau proyek dilaksanakan atau tidak dilaksanakan tidak akan berpengaruh pada keuangan perusahaan. Keputusan harus ditetapkan dengan menggunakan kriteria lain misalnya dengan dampak investasi terhadap positioning perusahaan

$NPV < 0$, Investasi yang dilakukan akan mengakibatkan kerugian bagi perusahaan maka proyek ditolak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis teknis desain lampu PJU panel surya

Data Desain Lampu PJU Panel Surya diambil dari spesifikasi teknis komponen yang digunakan. Untuk menganalisis desain lampu PJU, maka perhitungan dilakukan dari beban menuju sumber energi. Beban yang digunakan pada desain Lampu PJU Panel Surya adalah Lampu LED, 40 W DC, dengan faktor daya 0,91.

Hubungan antara daya nyata, tegangan dan arus dinyatakan oleh Mismail (1981) $P = VI \cos\phi$, dimana:

P = Daya nyata (Watt)

V = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere), dan

$\cos\phi$ = faktor daya

Lampu/beban akan menyala apabila diberikan daya yang bersumber dari baterai. Daya baterai adalah daya nyata yang memiliki satuan VA. Daya baterai terpasang minimal adalah:

$$\begin{aligned} VI &= P / \cos\phi \text{ VA} \\ &= 40 / 0.91 \text{ VA} \\ &= 43.96 \text{ VA.} \end{aligned}$$

Baterai tersebut harus dapat memberikan daya sebesar 43,96 VA dalam jangka waktu minimal 12 jam, maka kapasitas minimal baterai adalah

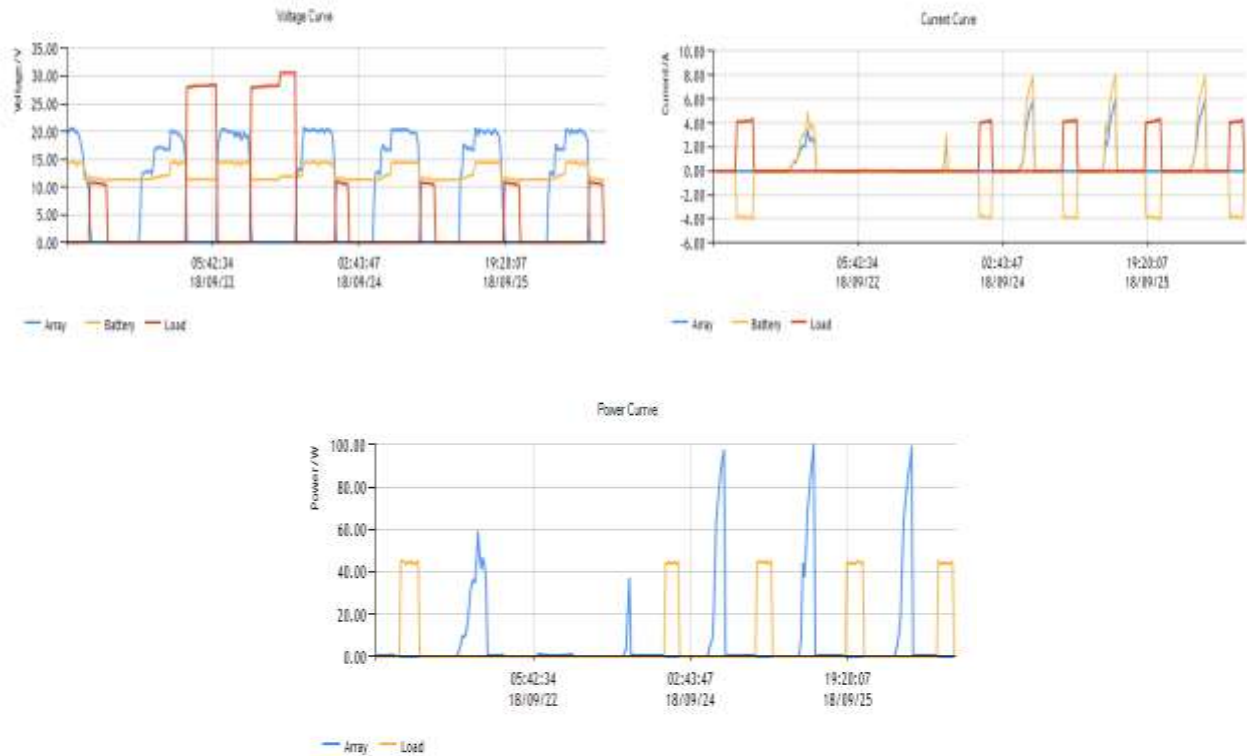
$$\begin{aligned} VI_{\text{hour}} &= 43,96 \times 12 \text{ VAh} \\ &= 527.52 \text{ VAh} \end{aligned}$$

Diketahui bahwa spesifikasi teknis baterai adalah 12.8 V, 50 Ah, sehingga kapasitasnya secara perhitungan teknis

$$\begin{aligned} VI_{\text{hour}} \text{ baterai} &= 12.8 \times 50 \text{ VAh} \\ &= 640 \text{ VAh} \end{aligned}$$

Dengan evaluasi desain tersebut, kapasitas baterai lebih besar dari kapasitas minimal baterai yang diperlukan untuk menyalakan lampu 40 W DC selama 12 jam. Baterai memberikan daya kepada lampu selama 12 jam pada malam hari. Selama lampu tidak menyala pada siang hari, maka baterai akan diisi dayanya dari energi yang dibangkitkan oleh panel surya. Yulianto (2017) menyebutkan bahwa kehilangan daya dari energi yang dihasilkan panel surya adalah sebesar 30% dan di Indonesia asumsi penyinaran matahari pada waktu optimum untuk menghasilkan listrik adalah 5 jam per hari. Jika kapasitas minimum baterai yang dibutuhkan 527.52 VAh, dengan asumsi daya yang hilang 30%, maka daya yang harus dihasilkan oleh panel surya adalah $1.3 \times 527.52 = 685.78 \text{ VAh}$. Dengan asumsi penyinaran per hari 5 jam, maka panel surya yang diperlukan minimal adalah $685.78 / 5 = 137.16 \text{ VA}$.

Sesuai spesifikasi teknis, panel surya yang dipasang adalah 150 WP, artinya memiliki kapasitas lebih tinggi dari yang diperlukan, yaitu 137.16 VA. Dengan demikian, secara perhitungan, desain lampu PJU ini dapat bekerja memenuhi kebutuhan untuk menyalakan lampu selama 12 jam di waktu malam, dan panel surya dapat mengisi baterai di waktu siang. Berdasarkan data server Epever, yang dapat diunduh secara online melalui aplikasi Epever, maka sebagai contoh diperoleh data untuk lampu 1 dari tanggal 20 September 2018 sampai dengan tanggal 26-09-2018. Seperti disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Grafik Tegangan, Arus dan Daya pada titik 1.

Gambar 2 menjelaskan hal bahwa awal pemasangan, tanggal 20 September 2018, baterai telah diisi di pabrikan, sehingga walaupun terdapat tegangan pada *array* (panel surya), namun tidak terjadi pengisian pada baterai. Pada pukul 18.40, terjadi *discharge* pada baterai, yang mengalirkan arus dari baterai ke lampu. Proses discharge berlangsung sampai dengan pukul 22.40.

Pada tanggal 21 sampai dengan 23 September 2018, beban lampu dilepas, hal ini untuk menguji proses pengisian baterai dari panel surya. Status lampu mati, Status baterai, terdapat tegangan pada baterai, dan baterai diisi dari panel surya (*array*). Status Panel Surya, terdapat tegangan pada dan arus panel surya yang mengalir dari panel surya ke baterai, hal ini berarti ada proses pengisian pada baterai.

Pada tanggal 24 September 2018, lampu kembali disambungkan. Status lampu menyala pada pukul 19.01 dan mati pada pukul 22.43. Status baterai, terdapat tegangan pada baterai, dan baterai telah diisi dari Panel Surya/*Array*. Pada pukul 19.01, terjadi *discharge* pada baterai, yang mengalirkan arus dari baterai ke lampu. Proses discharge berlangsung sampai dengan pukul 22.43. Proses ini berulang hingga tanggal 26 September 2018 dengan pola yang relatif sama.

Grafik pada Gambar 2 menunjukkan besarnya tegangan dan arus listrik yang mengalir pada lampu telah sesuai dengan spesifikasi teknis lampu, begitu pula untuk baterai dan panel surya (*array*). Namun, lamanya lampu menyala tidak sesuai dengan harapan, yaitu selama 12 jam. Sesuai grafik, hal ini terjadi karena suplai daya dari baterai tidak mencukupi untuk lampu menyala selama 12 jam.

Panel Surya terlihat dapat memberikan suplai daya sampai dengan baterai terisi penuh. Dari grafik Gambar 2 terlihat bahwa saat panel surya masih dapat menyuplai daya, namun baterai tidak lagi terisi dikarenakan sudah penuh. Dengan demikian permasalahan sistem PJU ini terdapat pada baterai terpasang. Membandingkan antara kapasitas baterai terpasang dengan kapasitas baterai yang direncanakan, dapat dilakukan sebagai berikut:

Spesifikasi kapasitas baterai yang direncanakan adalah 60Ah, 12.8V, sehingga kapasitas energi baterai adalah $60 \text{ Ah} \times 12.8\text{V} = 768 \text{ VAh}$. Beban lampu terpasang dengan faktor daya 0.91 adalah 40W atau $40/0.91 = 43.96\text{VA}$. Maka seharusnya baterai tersebut dapat menyuplai daya selama $768/43.96 = 17.47 \text{ jam}$. Kemampuan panel surya menurut spesifikasi teknis adalah = 150Wp.

Dari Gambar 2 juga diketahui bahwa lama penyinaran puncak lebih dari 5 jam, sementara itu menurut Yulianto (2017) dengan menganggap lama penyinaran adalah 5 jam, maka energi yang dihasilkan adalah $5 \times 150\text{Wh} = 750\text{Wh}$. Dengan menghitung faktor *loses energy* sebesar 30%, maka energy yang dihasilkan adalah $750/1.3 \text{ Wh} = 576.92 \text{ Wh}$ atau 633.98VAh . Dengan tegangan sebesar 12.8V, maka panel surya dapat menyuplai baterai sebesar $633.98/12,8 = 49.53 \text{ Ah}$ atau dapat menyalakan lampu selama $633.98/43.96 = 14.42 \text{ jam}$.

Kapasitas baterai terpasang dapat dihitung dari data yang ada, dengan cara menghitung arus dan tegangan rata-rata baterai saat menyuplai lampu. Contoh hasil perhitungan kapasitas baterai terpasang dengan waktu lampu menyala untuk baterai 1 adalah 14.16 Ah seperti pada Tabel 1.

Tabel 1 Hasil perhitungan kapasitas baterai pada masing-masing titik.

Komponen		$I_{\text{rata-rata}} \text{ (A)}$	$V_{\text{rata-rata}} \text{ (V)}$	Lama waktu lampu menyala	Kapasitas Baterai (Ah)
Baterai	1	3.86	11.49	3 jam 31 menit	13.57
Baterai	2	3.73	11.60	7 jam 43 menit	28.78
Baterai	3	3.83	11.60	7 jam 27 menit	28.53
Baterai	4	3.78	11.49	5 jam 03 menit	19.09
Baterai	5	3.86	11.45	3 jam 35 menit	13.83
Baterai	6	3.71	11.62	7 jam 58 menit	29.56
Baterai	7	3.82	11.60	7 jam 27 menit	28.46
Baterai	8	3.79	11.45	3 jam 04 menit	11.62
Baterai	9	3.86	11.56	7 jam 03 menit	27.21
Baterai	10	3.83	11.60	8 jam 03 menit	30.83
Baterai	11	3.87	11.52	3 jam 44 menit	14.45

Data pada tabel 1 menunjukkan bahwa dari seluruh baterai yang ada, tidak memenuhi spesifikasi teknis baterai yang telah ditentukan, yaitu 50 Ah. Dengan demikian waktu menyala lampu tidak sesuai yang diharapkan, yaitu selama 12 jam, untuk itu harus dilakukan penggantian baterai sesuai spesifikasi teknis yang telah ditentukan.

Hasil Analisis Ekonomis

Analisis ekonomis dilakukan dengan menghitung berdasarkan desain lampu PJU yang dibuat. Umur investasi adalah 25 tahun, sesuai umur panel Surya. Umur investasi 1 buah baterai adalah 2000 cycles DOD, artinya baterai dapat digunakan isi ulang selama 2000 kali. Jika satu hari baterai diisi ulang satu kali, maka satu buah baterai dapat digunakan selama $2000/365 = 5.48 \text{ tahun}$. Karena umur investasi adalah 25 tahun, maka baterai yang dibutuhkan adalah $25/5.48 = 4.56 \text{ buah}$ baterai atau 5 buah baterai.

Umur investasi 1 buah lampu adalah 50 000 jam kerja. Dalam satu hari, lampu bekerja selama 12 jam, maka lampu dapat digunakan selama $50\,000 : (12 \times 365) = 11.42 \text{ tahun}$. Karena umur investasi adalah 25 tahun, maka jumlah lampu yang dibutuhkan adalah $25/11.42 = 2.19 \text{ buah}$ lampu per titik atau 3 buah lampu. Biaya investasi didapatkan dari hasil perhitungan adalah sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2 Hasil perhitungan biaya investasi.

No	Komponen	Vol	Satuan	Harga satuan (Rp.)	Jumlah (Rp.)
1	Panel Surya	1	Buah	2 450 000	2 450 000
2	SCC	1	Buah	3 330 000	3 330 000
3	Smart Modular	1	Buah	2 990 000	2 990 000
4	Baterai	5	Buah	6 037 500	30 187 500
5	Lampu	3	Buah	3 440 000	10 320 000
6	Tiang dan instalasi	1	Buah	2 800 000	2 800 000
Jumlah					52 077 500
Untuk 11 titik					572 852 500
Gateway					3 120 000
	Komunikasi data @50 rb/bulan	300	Bulan	50 000	15,000,000
Jumlah Total					590 972 500

Data Tabel 2 menunjukkan bahwa pada tahun ke-25, baterai dan lampu masih memiliki nilai sisa investasi. Kemampuan umur baterai adalah 2 000 *cycles* DOD per buah sehingga 5 buah baterai menghasilkan 5 x 2 000 = 10 000 *cycles*. Pengisian ulang baterai selama 25 tahun adalah 25 x 365 = 9 125 hari atau 9 125 kali isi ulang. Kapasitas sisa baterai adalah 10 000 – 9 125 *cycles* = 875 *cycles*. Nilai sisa baterai adalah 875/2 000 x Rp. 6 037 500 x 11 titik = Rp. 29 055 468. Perhitungan untuk lampu dilakukan dengan kemampuan umur lampu adalah 50,000 jam per buah. Penggunaan lampu sebanyak 3 buah menghasilkan 50 000 x 3 = 150 000 jam. Penggunaan lampu selama 25 tahun dimana setiap hari lampu menyala 12 jam = 25 x 365 x 12 = 109 500 jam. Kapasitas sisa lampu adalah 150 000-109 500 = 40 500 jam. Nilai sisa lampu adalah 40 500/50 000 x Rp. 3 340 000 x 11 = Rp. 30 640 400.

Nilai sisa baterai pada tahun ke-25, dengan memperhitungkan diskon rate 10% adalah Rp. 2 827 986 sedangkan nilai sisa lampu pada tahun ke-25, dengan memperhitungkan diskon rate 10% adalah Rp. 2 861 703. Perhitungan untuk pendapatan dengan memperoleh listrik dari lampu PJU dengan mengalikan harga per Kwh listrik non-subsidi. Beban lampu 40 W yang menyala selama 12 jam, maka dalam satu tahun, 1 titik lampu akan menghasilkan energi sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Produksi Kwh} &= (40\text{W} \times 12\text{jam} \times 365\text{hari}) / 1000 \text{ KWh} \\ &= 175.2\text{KWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi KWh 11 titik} &= 175.2 \times 11 \\ &= 1 927.2 \text{ KWh} \end{aligned}$$

Harga listrik non Subsidi PLN adalah Rp. 1 647 /KWh

$$\begin{aligned} \text{Pendapatan per tahun} &= \text{Rp. } 1 647 \times 1 927.2 \\ &= \text{Rp. } 3 174 098 \end{aligned}$$

Langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan NPV. Diskon rate (i) ditentukan = 10%, maka diperoleh hasil perhitungan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil Perhitungan NPV untuk pendapatan KWh dengan diskon rate 10%

No	Keterangan	Aliran Kas (Rt)	Rt/(1+i) ^t
1	Pendapatan tahun ke	1	3 174 098
2	Pendapatan tahun ke	2	3 174 098
...	Pendapatan tahun ke
25	Pendapatan tahun ke	25	3 174 098
Total pendapatan KWh selama 25 tahun			28 811 418

$$\begin{aligned}
 \text{NPV} &= \text{Total Pendapatan} - \text{Total Investasi} \\
 \text{Total Pendapatan} &= \text{Pendapatan KWh} + \text{Nilai sisa lampu} + \text{Nilai sisa baterai} \\
 &= \text{Rp. } 28\,811\,418 + 2\,861\,703 + \text{Rp. } 2\,827\,986 \\
 &= \text{Rp. } 34\,321\,107 \\
 \text{Total investasi} &= \text{Rp. } 590\,972\,500 \\
 \text{Sehingga NPV} &= \text{Rp. } 88\,507\,286 - \text{Rp. } 590\,972\,500 \\
 &= - \text{Rp. } 556.651.393
 \end{aligned}$$

Jika diskon rate (i) ditentukan sebesar 0%, maka diperoleh hasil perhitungan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Perhitungan NPV untuk Pendapatan KWh dengan Diskon Rate 0%.

No	Keterangan		Aliran Kas (Rt)	Rt/(1+i) ^t
1	Pendapatan tahun ke	1	3 174 098	3 174 098
2	Pendapatan tahun ke	2	3 174 098	3 174 098
...	Pendapatan tahun ke
25	Pendapatan tahun ke	25	3 174 098	3 174 098
Total pendapatan KWh selama 25 tahun				79 352 460

$$\begin{aligned}
 \text{NPV} &= \text{Total Pendapatan} - \text{Total Investasi} \\
 \text{Total Pendapatan} &= \text{Pendapatan KWh} + \text{Nilai sisa lampu} + \text{Nilai sisa baterai} \\
 &= \text{Rp. } 79\,352\,460 + 29\,055\,468 + \text{Rp. } 30\,640\,400 \\
 &= \text{Rp. } 139\,048\,328 \\
 \text{Total investasi} &= \text{Rp. } 590\,972\,500 \\
 \text{Sehingga NPV} &= \text{Rp. } 139\,048\,328 - \text{Rp. } 590\,972\,500 \\
 &= - \text{Rp. } 451\,924\,172
 \end{aligned}$$

Kelayakan ekonomis PJU Panel Surya dapat dicapai dengan menghitung Kwh yang dihasilkan. Diskon rate ditentukan 0%, maka perhitungan harga Kwh adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{NPV} &= 0 \\
 \text{Total Pendapatan} - \text{Total Investasi} &= 0 \\
 \text{Total Pendapatan} &= \text{Total Investasi} \\
 \text{Pendapatan KWh} + \text{Nilai sisa lampu} + \text{Nilai sisa baterai} &= \text{Total Investasi} \\
 \text{Pendapatan KWh} &= \text{Total Investasi} - \text{Nilai sisa lampu} - \text{Nilai sisa baterai} \\
 \text{Pendapatan KWh} &= \text{Rp. } 590\,972\,500 - 29\,055\,468 - \text{Rp. } 30\,640\,400 \\
 \text{Pendapatan KWh} &= \text{Rp. } 531\,276\,632 \\
 \text{Diskon rate (i) ditentukan } 0\%, &\text{ maka dengan umur investasi 25 tahun.} \\
 \text{Pendapatan KWh per tahun} &= \text{Rp. } 531\,276\,632 / 25 = \text{Rp. } 21\,251\,066 \\
 &\text{dengan produksi listrik per tahun } 1\,927.2 \text{ KWh} \\
 \text{harga keekonomisan listrik PJU Solar Panel per Kwh} &= \text{Rp. } 21\,251\,066 / 1\,927.2 \\
 &= \text{Rp. } 11\,027
 \end{aligned}$$

Hal ini dapat dijelaskan, bahwa pemasangan lampu PJU bukanlah suatu proyek investasi yang layak secara bisnis dilakukan pihak swasta. Kelayakan secara ekonomis diperoleh jika harga listrik per Kwh mencapai nilai Rp. 11.027.

Meskipun secara ekonomis tidak menguntungkan, namun bila dibandingkan dengan sumber listrik PLN, pemasangan PJU Panel Surya lebih menguntungkan dari sisi energi baru terbarukan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, diperoleh simpulan sebagai berikut: 1) Desain Lampu PJU Panel Surya menggunakan komponen Panel Surya merk Jembo PV, tipe 150P dan Lampu LED merk Solarens tipe SL020-MT serta Baterai Lithium merk JYV tipe LFPxx. Komponen Panel Surya dan Lampu bekerja sesuai spesifikasi teknisnya, sedangkan Baterai tidak bekerja sesuai spesifikasi teknisnya, waktu lampu menyala kurang dari yang telah ditetapkan, yaitu kurang dari 12 Jam, 2) Status hidup atau mati lampu dan kondisi komponen (panel surya, lampu dan baterai) Lampu PJU Panel Surya dapat dilakukan secara terpusat, melalui Komputer PC/Laptop menggunakan aplikasi *Epever*. Pemantauan dilakukan dengan melihat data teknis berupa tegangan, arus dan daya secara *real time*, dan 3) Nilai NPV dengan diskon rate 10% menunjukkan Pemasangan lampu PJU tidak layak untuk bisnis. Perhitungan diskon rate 0%, kelayakan secara ekonomis diperoleh jika harga listrik per Kwh mencapai nilai Rp. 11.027, sekitar tujuh kali harga listrik PLN per KWh tanpa subsidi.

DAFTAR PUSTAKA

- Bukvic M, Janjic R, Stojanovic B. 2017. *Recycling Lithium-Ion Battery*. [Internet]. [diunduh 2018 Oktober 14]. Tersedia pada https://www.researchgate.net/publication/321483410_RECYCLING_LITHIUM-ION_BATTERY.
- Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan. *Statistik Ketenagalistrikan*. 2016. Jakarta (ID): Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Gouthami C, Santosh C, Kumar AP, Karthik A, Ramya KR. 2016. Design and Implementation of Automatic Street Light Control System using Light Dependent Resistor. *International Journal of Engineering Trends and Technology (IJETT)*. 35(10).
- Harten P Van, Setiawan E. 1995. *Instalasi Listrik Arus Kuat 2*. Bandung (ID): Binacipta.
- Ibrahim Y. 2003. *Studi Kelayakan Bisnis*. Jakarta (ID): Rineka Cipta.
- Iorkyaa A, Richard Ar I, Amah AN. 2012. The Efficacy of Light Emitting Diode (LED) Lamps Used in Rural Communities of Nigeria. *Journal Energy and Environment Research*. 2.
- Irawan FA, Dhofir M, Suyono H. 2013. Analisis Peningkatan efisiensi penerangan jalan umum di Kabupaten Jember [Internet]. [diunduh pada 2018 Juni 5]. Tersedia pada <http://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/8793/8757>.
- Kadir A. 1995. *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi*. Jakarta (ID): Penerbit Universitas Indonesia.
- Kasmir, Jakfar. 2003. *Studi Kelayakan Bisnis*. Jakarta (ID): Kencana.
- Khwee KK. 2013. Pengaruh temperatur terhadap kapasitas daya panel surya (Studi Kasus: Pontianak). *Jurnal ELKHA*. 5(2): 23-25.
- Kosaraju S. tanpa tahun. A Review of 'The Importance of Recycling Lithium-Ion Batteries for Lithium, in View of Impeding Electric Vehicle Industry'. [Internet]. [diunduh 2018 Oktober 14]. Tersedia pada <https://pdfs.semanticscholar.org/6aac/130904896e41a7aafd3ff02283e0f02cf5b6.pdf>.
- Kushnir D. 2015. *Lithium Ion Battery Recycling Technology* [Internet]. [diunduh 2018 Oktober 14]. Tersedia pada http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/230991/local_230991.pdf.
- Mardikaningsih IS, Sutopo W, Astuti RW. *Studi Kasus Analisis Teknis dan Ekonomis Penerapan Penerangan Jalan Umum Bertenaga Sel Surya* [Internet]. [diunduh pada 2018 Juni 5]. Tersedia pada http://idec.industri.ft.uns.ac.id/wp-content/uploads/2017/11/Prosiding2016_ID048.pdf.
- Mismail B. 1981. *Rangkaian Listrik Jilid Pertama*. Malang (ID): PT AAA Tridaya.
- Moenir HAS. 2002. *Manajemen Pelayanan Umum di Indonesia*. Jakarta (ID): Bumi Aksara.

- Mudiarso D. 2003. *Sepuluh Tahun Perjalanan Negosiasi Konvensi Perubahan Iklim*. Jakarta (ID): Penerbit buku Kompas.
- Napitupulu RAM. 2017. Pengaruh Material Monokristal dan Polikristal terhadap karakteristik Panel Surya 20 WP. *Jurnal Poliprofesi*. 7(1): 61-67.
- Nasution AH. 2006. *Manajemen Industri*. Yogyakarta (ID): Penerbit Andi.
- Rahman A. 2016. *Lithium Battery Recycling Management and Policy*, *Int. J. Energi Technology and Policy*, [Internet]. [diunduh 2018 Oktober 14]. Tersedia pada https://www.researchgate.net/publication/308063762_Lithium_Battery_Recycling_Management_and_Policy.
- Rojas M, Zea H. 2016. *Characterization and Recycling Procedure of Spent Lithium Ion Batteries from Mobile Phones*, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. [Internet]. [diunduh 2018 Oktober 14]. Tersedia pada <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2016/Octoper/140-147.pdf>.
- Rout MK, Meher S, Dhar J, Sahu Y, Das S. 2016. *Design of Modern Solar Street Light Intensity Controller: An Energi Saving Approach*. [Internet]. [diunduh 2018 Oktober 14]. Tersedia pada https://www.researchgate.net/profile/Yashraj_Sahu2/publication/297739074_Design_of_Modern_Solar_Street_Light_Intensity_Controller_An_Energi_Saving_Approach/links/56e2a65f08ae4e3e9429df5c/Design-of-Modern-Solar-Street-Light-Intensity-Controller-An-Energi-Saving-Approach.pdf?origin=publication_detail.
- Saleem AL, Sagar RR, Datta NS, Sachin HS. 2015. Street light monitoring and control system. *International Journal of Engineering and Techniques*. 1(2).
- Sapiie S, Nishino O. 1994. *Pengukuran dan Alat-alat Ukur Listrik*. Jakarta(ID): PT Pradnya Paramita.
- Sihombing DTB. 2013. *Perencanaan Sistem Penerangan Jalan Umum dan Taman di Areal Kampus USU dengan menggunakan Teknologi Tenaga Surya (Aplikasi Pendopo dan Lapangan Parkir)*. Medan (ID): Teknik Elektro USU.
- Siregar HB. 2015. *Ekonomi Teknik*. Yogyakarta (ID): Graha Ilmu.
- Standard Nasional Indonesia 7391:2008. 2008. *Spesifikasi Penerangan Jalan di Kawasan Perkotaan*. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- Sudibyho H, Arum A, Gde Dharma A, Wibisono G. 2015. Rancang bangun sistem lampu jalan pintar nirkabel berbasis teknologi zigbee. *Jurnal TESLA*, 17(1): 45-51.
- Sulisyanto. 2010. *Studi Kelayakan Bisnis*. Yogyakarta (ID): Penerbit Andi.
- Suwandi A, Fardian F. 2016. *Analisis Pemakaian Lampu LED terhadap Energi dan Efisiensi Biaya di PT Total Bangun Persada TBK*. [Internet]. [diunduh pada 2018 Juni 5]. Tersedia pada <http://journal.unisla.ac.id/pdf/110122016/jurnal4.pdf>.
- Utomo YS. 2015. *Uji Kinerja Baterai Deep Cycle pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya Photovoltaik*, *Jurnal Material dan Energi Indonesia* [Internet]. [diunduh pada 2018 Juni 5]. Tersedia pada <http://lipi.go.id/publikasi/uji-kinerja-baterai-deep-cycle-pada-sistem-pembangkit-listrik-tenaga-surya-photovoltaik/7680>.
- Wen TS, Jia SL. 2013. Design and implementation of a smart LED lighting system using a self adaptive weighted data fusion algorithm. *Journal Sensors*, [Internet]. [diunduh 2018 Oktober 14]. Tersedia pada https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=10&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiWhOiz_oXeAhVbcCsKHYviCn4QFjAJegQIAhAC&url=https%3A%2F%2Fwww.mdpi.com%2F1424-8220%2F13%2F12%2F16915%2Fpdf&usg=AOvVaw1YbwLhT7Fn0z8oQqLYuDY0.
- Yulianto B. 2017. *Memanen Matahari*. Bandung (ID): Penerbit ITB.



Environmental Quality and Poverty in Indonesia

Wanda Pribadi^a, Fitri Kartiasih^b

^a Badan Pusat Statistik Kabupaten Gorontalo, 96218, Indonesia [+62]-435-881435

^b Politeknik Statistik STIS, Jakarta, 13330, Indonesia [+62]-21-8191437, 8508812

Article Info:

Received: 19 - 03 - 2019

Accepted: 26 - 02 - 2020

Keywords:

EC2SLS, environmental quality, poverty, simultaneous model

Corresponding Author:

Fitri Kartiasih

Politeknik Statistika STIS,

Jakarta, 13330 ;

Tel. +62-21-8191437, 8508812

Email: fkartiasih@stis.ac.id

Abstrak: *Poverty is both a cause and a victim of deteriorating environmental quality. The poor are regarded as very dependent on the environment and natural resources in sustaining their lives so that the environment and natural resources are exploited regardless of their sustainability. On the other hand, environmental degradation causes the poor to get out of poverty. This study aims to (1) analyze the effect of poverty on the environment, and (2) analyze the effect of environmental quality on poverty along with other supporting factors in Indonesia 2012-2014. The analytical method used is simultaneous equation with EC2SLS method. The results show that poverty can affect environmental degradation but not vice versa. Exogenous variables that significantly affect the quality of the environment are the growth of the number of poor, economic growth, population density, and literacy rate. Exogenous variables that have significant effect on poverty are economic growth, wage, population density, and literacy rate.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

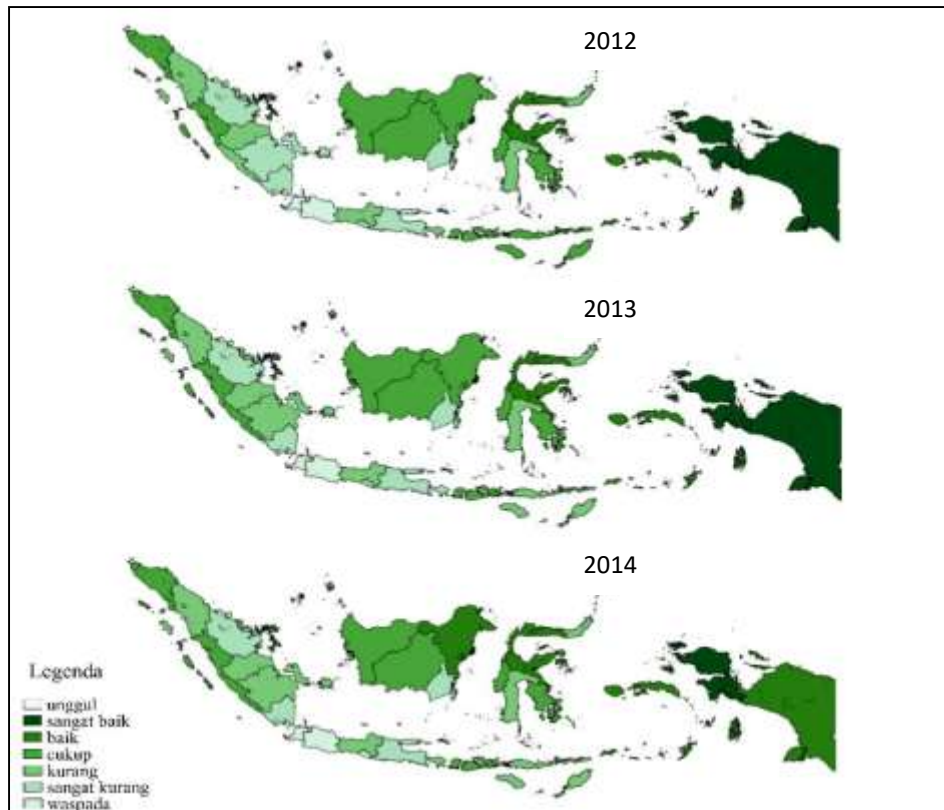
Pribadi W, Kartiasih F. 2020. Environmental quality and poverty in Indonesia. *10*(1): 89-97. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.89-97>.

INTRODUCTION

The successful development is not only determined by the conventional development that led high growth but also concerned a sustainable development that does not damage the social and environmental circumstances. Therefore, sustainable development is the key to resolve the problem because it has three main points which are environment, social, and economic (Thomas et al., 2001).

Indonesia's environmental quality has been rapid decline in last decade. According to Emerson et al. (2010) in Hill and Khan (2012), Indonesia's CO₂ emissions in 2005 of 2.1 gigatons are predicted to be 3.3 gigatons by 2030. Index of Environmental Quality Indonesia was rank 134 of 163 countries in the world and ranked 12th out of 13 countries in Southeast Asia at 2010. The cost to country due to declining environmental quality is estimated to be 0.9 percent of total Gross Domestic Product (Leitman et al., 2009 in Hal Hill and Khan, 2012).

The Environmental Quality Index (EQI) of Indonesia includes environmental quality index of air pollution, water, and forestry. EQI is already considering the balance indicator of green issues and brown issues (KLH, 2015). Based on Figure 1, EQI of Indonesia at 2012-2014 is quite alarming because it pertained "less" environmental quality that revolves around $58 \leq EQI < 66$. On the other side, Indonesia has differences EQI in 33 provinces. The western Indonesia has worse environmental quality than in eastern. Three provinces with the worst EQI are Jakarta, West Java, and Banten, all located in western Indonesia. The only "very good" environmental quality province is West Papua, which is located in eastern of Indonesia.



Source: Ministry of Environment (KLH)

Figure 1 The Map of Environmental Quality Index of Indonesia at 2012-2014.

World Commission on Environment and Development (WECD, 1987) declare that poverty is the major cause and effect of environmental problem. The poor is considered highly depends on environment and natural resources in sustaining their life. As a result, the environment and natural resources are exploited without considering sustainability. On the other hand, poor environmental quality has made it difficult for the poor to break the cycle of poverty due to lack of access to clean water and adequate sanitation.. These situation affect the health and reduce opportunity for poor to earn income. Urban and rural poverty have different characteristics in relation to poor environmental quality. Rural poor depend directly to environment and natural resources in sustaining life. They often cause polluted water, indoor air pollution and exposure to toxic chemicals, and they are very vulnerable to environmental disasters such as flood, drought, and other conflicts related to environment. On the other hand, the urban poor make the poor environmental quality because they make a lot of slums in megacity (World Bank, 2002).

Poverty also suggested to be an effect of poor environmental quality. One of the major causes of poverty is the unsustainable development. Exploitation of natural resources without regard to the environment, directly or indirectly, can have a negative impact on the continuity of people income and people health conditions. This is what ultimately worsens the poverty incidence (Irawan, 2004).

The link between poverty and environment are classified into three sections: (1) environmental quality affects poverty, (2) poverty affects environmental quality,(3) and the environmental quality-poverty will have a simultaneous (two-way) relationship. The environmental quality affects poverty can be explained based on study by Pratama (2013) which conclude that there were a significant relationship between environmental degradation and poverty in Indonesia. Environmental factors that affect poverty are sanitation, solid fuel use, fires and settlements on slopes, sanitation and solid fuel use in Java, sanitation and settlements in sloping areas outside Java, sanitation, solid fuel use and settlements in sloping areas in rural and urban sanitation.

The study by Ghani et al.(2014) concluded that there are relationship between poverty, population growth, and agricultural sector simultaneously to environmental degradation. On the other hand, poverty can affects environmental quality according the study of Hardini (2011). The study also concluded the relationship with environmental degradation from the most powerful namely economic growth, population growth, and poverty. In addition, Dariah (2007) uses simultaneous analysis to analyze two-way relationship between the environmental quality and poverty. The results showed the simultaneous relationship between economic growth, poverty, income inequality, and environmental degradation. Environmental degradation affects decreasing economic growth and increasing poverty. Environmental degradation can also be caused by poverty, income inequality, population, and economic growth.

Two-way relationship between environmental degradation and poverty have also been studied by Hassan et al. (2015), and Gaeddert and Oerther (2015). Hassan et al. (2015) analyses the relationship between economic growth, income inequality, poverty, and environment degradation. The results of the study are classified in the short and long term. In the short run, the relationship among CO₂ emissions, economic growth and poverty are negative, while the relationship between CO₂ emissions and Gini Rasio is positive. In the long run, the relationship among CO₂ emissions, economic growth, and Gini Rasio become positive, while the relationship between CO₂ emissions and poverty is negative.

Gaeddert and Oerther (2015) combines several methods such as Structural Equation Modeling (SEM), Latent Factor Regression (LFR), and Canonical Correlation Analysis (CCorA) to investigate the relationship between poverty and environment. The study concluded that the link between poverty and environment consist of multidimensional aspects from social and health indicators. Some health indicators affecting the environment namely diarrhea, fever, cough while social indicators that affect poverty: education, gender of household head, age of household head, and age at first marriage.

The reciprocal relationship between poverty and environment is an interesting issue, for several reasons. First, the relationship is multidimensional. Second, the study of the relationship of the incidence of poverty with environmental conditions at the same time is still rarely done. Previous studies still use environmental quality indicators that do not have a direct impact on environmental quality, namely air emissions (CO₂ emissions). Third, the study of relationship between poverty and environmental quality can be used as the policy recommendation as a direction strategies to achieve the 1st and 8th target of *Sustainable Development Goals* (SDGs). The 1st SDG's target is "End poverty in all its forms everywhere" and the 8th SDG's target is "Promote sustained, inclusive and sustainable economic growth, full and productive employment and decent work for all". Therefore, this study aim to: (1) analyze two-way relationship between poverty and environmental quality and (2) analyze the determinants of povety and environmental quality in Indonesia period 2012-2014.

METHOD

The study uses panel data in 33 provinces of Indonesia for period 2012-2014. All variables are obtained from Indonesian Central Bureau of Statistics (BPS) except Environmental Quality Index from Ministry of Environment and Forestry Indonesia (KLH). The method of this study uses Error Correction Two Stage Least Square (EC2SLS) to estimate the parameters in simultaneous panel data (Baltagi, 2005). The model equations are defined as:

Stuctural Equation I

$$\text{LnEQI}_{it} = \beta_0 + \beta_1 \text{LnGDP}_{it} + \beta_2 \text{POP}_{it} + \beta_3 \text{LnPOVERTY}_{it} + \beta_4 \text{GINI}_{it} + \beta_5 \text{LR}_{it} + u_{1it} \tag{1}$$

Stuctural Equation II

$$\begin{aligned} \text{LnPOVERTY}_{it} = & \beta_6 + \beta_7 \text{LnGDP}_{it} + \beta_8 \text{LnWAGE}_{it} + \beta_9 \text{UNEMPLOY}_{it} + \beta_{10} \text{POP}_{it} + \beta_{11} \text{LR}_{it} \\ & + \beta_{12} \text{LnEQI}_{it} + u_{2it} \end{aligned} \tag{2}$$

where LnEQI represents The Environmental Quality Index growth, LnGDP represents economic growth, POP represents population density in 1000 people/km², LnPOVERTY represents growth of poor people, GINI represents gini ratio, LR represents literacy rate, LnWAGE represents wage growth, UNEMPLOY represents percentage of unemployment rate, u_{1it} is error term in the first structural equation, dan u_{2it} is error term in second structural equation from i^{th} -province in t^{th} -period.

Poverty and EQI is chosen to be endogenous variabel based on a priori information, and Test of Endogeneity. According to Table 1, 95 percent of confident interval it can be concluded that EQI and poverty are endogenous variables.

Table 1 Test of Endogeneity.

Endogeneous Variables	Exogeneous Variables	Coefficient	p-value
Ln EQI	The Environment Quality Index		
	Intercept (*)	-35.5070	0.0000
	Ln Poverty	-0.000000336	0.9050
	Ln Poverty_cap (*)	3.3290	0.0000
	Unemployment (*)	-0.0821	0.0000
	Ln Wages (*)	2.8547	0.0000
	Literacy Rate (*)	0.0668	0.0000
	Gini Ratio (*)	0.0000	0.9680
	Population (*)	0.2761	0.0000
Ln POVERTY	Poor growth		
	Intercept (*)	-8635.7110	0.0000
	Ln EQI	0.0159	0.9700
	Ln EQI_cap (*)	1798.9420	0.0000
	Unemployment	-0.0002	0.9870
	Ln Wages	-0.0121	0.9560
	Literacy Rate (*)	-2.9015	0.0000
	Gini Ratio (*)	202.1941	0.0000
	Population (*)	52.3083	0.0000
Economic Growth (*)	113.9278	0.0000	

Note: *) significantly with $\alpha=5\%$

Both first and second structural equation are identified from order and rank condition as below:

1. Order Condition: the differences of predetermined variables between model and each equation should “more than” or “equal” with the amount of endogenous variables in model minus one. k represents predetermined variables in equation, K represents predetermined variables in model, and M represents endogenous variables in model.
2. Rank Condition: the rank of matrix should “more than” or “equal” with endogenous variables in model minus by one. Based on equation (1) and (2) before, the matrix is defined in Table 3.

Table 2 Order condition in each of structural equation.

Equations	K-k	Sign	m-1	Identification
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
EQI	6-4	>	2-1	Over identified
POVERTY	6-5	=	2-1	Just identified

Table 3 The matrix from equations.

Nu.	Coefficient								
	1	LnGDP	POP	LnPOV	GINI	LR	LnWAGE	UNEMP	LnEQI
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
I	$-\beta_0$	$-\beta_1$	$-\beta_2$	$-\beta_3$	$-\beta_4$	$-\beta_5$	0	0	0
II	$-\beta_6$	$-\beta_7$	$-\beta_{10}$	0	0	$-\beta_{11}$	$-\beta_8$	$-\beta_9$	$-\beta_{12}$

According Table 3 above, the rank condition identification can be presented by:

Table 4 Rank condition identification in each of structural equation.

Equations	R(A)	The sign of rank condition	M-1	The sign of order condition	Identification
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
EQI	1	=	1	>	Over identified
POVERTY	1	=	1	=	Just identified

Based on the order and rank condition above, the first structural equation is over identified so it can be estimated with Two Stage Least Square (2SLS) method. The second structural equation is just identified so it can be estimated by Indirect Least Square or Two Stage Least Square (2SLS). Estimation method of the study uses 2SLS because just identified in the first equation identification has the same estimation using 2SLS (Gujarati, 2003). This study uses error correction to apply 2SLS estimation because the observations are panel data, or it can be called by EC2SLS (Baltagi, 2005).

RESULT AND DISCUSSION

The estimation method used for both equations using EC2SLS. The first step to apply EC2SLS is using Ordinary Least Square (OLS) to estimate reduced form. The OLS estimation is defined below:

Structural Equation I

$$\widehat{\text{LnEQI}}_{it} = 4.5231^{**} - 0.0652^{**} \text{LnGDP}_{it} - 0.0284^{**} \text{POP}_{it} - 0.1192 \text{GINI}_{it} + 0.0015 \text{LR}_{it} + 0.0232 \text{LnWAGES}_{it} - 0.0040^{**} \text{UNEMPLOYMENT}_{it}$$

Structural Equation II

$$\widehat{\text{LnPOVERTY}}_{it} = 12.0740^{**} + 0.6871^{**} \text{LnGDP}_{it} - 0.0950^{**} \text{POP}_{it} + 1.0157 \text{GINI}_{it} - 0.0195 \text{LR}_{it} - 0.8790 \text{LnWAGES}_{it} + 0.0250^{**} \text{UNEMPLOYMENT}_{it}$$

EC2SLS can be used after OLS estimation and it is defined below:

Table 5 The estimation result of structural equation I.

Endogeneous Variables	Exogeneous Variables	Coefficient	p-value	R-squared
Ln EQI	The Environment Quality Index			R-squared 0.61250
	Intercept (**)	5.54730	0.0000	
	Ln Poverty (*)	-0.03885	0.0620	
	Economic Growth (**)	-0.04177	0.0220	
	Population (*)	-0.03081	0.0000	
	Gini Ratio	-0.09549	0.7760	
	Literacy Rate (**)	-0.00658	0.0000	

Note: *) significantly with $\alpha=10\%$

***) significantly with $\alpha=5\%$

Based on Table 5, R-squared from the first structural equation is 0.6125. It means the proportion of EQI variation can be explained by economic growth, population density, the poor growth, income inequality, and the literacy rate of 61.25 percent while the rest is explained by other variables outside model.

The estimation result of first structural equation shows that poverty has a negative influence on EQI. The theory of common property resource explains that the poor have a high dependence on natural resources for survival and led to worsening environmental quality because environmental management was not paying attention to sustainability (Hufschmidt, et al., 1983). According Jodha (1998) at World Bank Institute (2000), there are three assumptions why poor population can lead to environmental degradation, those are:

1. The natural resources exploitation of natural resources and environment are the only income source that the poor know.
2. Poor people do not know the limitations and consequences in exploiting natural resources and environment.
3. The poor have little stake in maintaining the natural resources and environment used.

That's what causes poverty negatively affects the EQI.

The relationship between economic growth and environmental quality is negative. According Environment Kuznets Curve (EKC) hypothesis, there is negative impact of economic growth on environmental quality, especially in developing countries. In developing countries, economic growth mostly is driven by industrialization process. The industrialization process produces residual released into environment, causing environmental degradation (Thomas et al., 2001). Based on World Bank classification in Thomas et al. (2001), Indonesia include into group of countries which have relatively fast economic growth but little concern for environmental quality.

The population density is the main cause of the environmental quality deterioration (Ismawan, 1999). High population density will lead to disasters starvation, exhaustion of natural resources, environmental damage may not be restored, and ecological destruction (Ehrlich, 1968 in Thomas et al., 2001). In addition, according to Arifin (2002) population will drive increased demand for agricultural land, which gradually will be more productive. The result is the land intensification in marginal areas without paying attention to the environmental conservation aspects. Therefore, the relationship between population density on the quality of the environment is negative.

Income inequality causes the access to utilize natural resources and the environment has focused on wealthy residents. Wealthy residents who have high incomes have a high standard of living as well to meet all their needs. High living standards is demonstrated by the substantial level of consumption to luxury goods such as cars, motorcycles, and other woes that eventually adds environment quality (World Bank Institute, 2000). On the other hand, the rich have a great power of venture capital that can be used for economic activity. The economic activity have big impact to declining environment quality. Therefore, income inequality has a negative correlation to the environment quality (Andrich et al., 2010). The cause of income inequality on model does not significantly affect the quality of the environment because Indonesia gini ratio years 2012-2014 has not changed much.

Environmental education is inclusive, which means accessible to all people, all levels and in all channels of teaching and learning, both formal and non-formal. Environmental education by the government is disseminated through socialization, mass media, and written policies. However, the estimation results of the study had a different relationship with the direction of the study hypothesis. The difference was due to direction of relationship with environmental education is not considered to be successful if the lack of public awareness and concern the environment (Inoguchi et al., 2003). Although the literacy rates is increasing (it means better education), not necessarily able to improve the environment quality.

Table 6 The estimation result of structural equation II.

Endogeneous Variables	Exogeneous Variables	Coefficient	p-value	R-squared
Ln Poverty	The growth of poor people			R-squared 0.60180
	Intercept	13.02432	0.1040	
	Ln EQI	-0.85171	0.6100	
	Ln GDP (**)	0.64409	0.0000	
	Ln Wages (**)	-0.62681	0.0160	
	Unemployment	0.01279	0.7430	
	Population (*)	-0.12061	0.0880	
	Literacy Rate (*)	-0.02030	0.0710	

Note: *) significantly with $\alpha=10\%$

**) significantly with $\alpha=5\%$

R-square from the second structural equation estimation is 0.60180. That is, the proportion of poverty growth variation can be explained by economic growth, wage growth, the unemployment rate, population density, literacy rates, and Environment Quality Index growth by 60.18 percent while the rest is explained by other variables outside the model.

Poor environmental quality may affect poverty by influencing population health condition, thereby reducing their chances of obtaining revenue. Poor environmental quality is reflected in poor access to proper sanitation, poor access to clean water and poor environmental conditions (WECD, 1987). Thus, the environmental quality can not directly affect poverty. As a result, EQI does not significant effect on poverty. In addition, the estimation results explain that poverty affects the environment quality but neither does EQI. Thus, the relationship of environmental quality and poverty in Indonesia in 2012-2014 is not simultaneous (two way).

Economic growth will reduce poverty assuming trickle-down effect occurs. Assumptions trickle-down effect is explained that high economic growth is expected to generate a multiplier effect on the economic sectors upstream and downstream, causing an increase in employment and labor. Beside that, Tambunan (2013) also shows that higher wage, the poverty rate began to decline. Increasing labor wages the level of welfare is also higher so that poverty can be decreased.

The unemployment rate indicates loss of opportunity for someone to gain income to make ends meet. So the higher unemployment, the increasing levels of poverty. According to Tambunan (2013), one of causes of unemployment is the lack of jobs that absorb a lot of labor. According to Tambunan (2001), one reason the unemployment rate did not affect poverty that households do not face liquidity constraints or the current consumption is not affected by the current income so that unemployment will affect poverty in the long term.

Based on Indonesian Central Bureau of Statistics (BPS, 2015), Indonesia population density have increased every year followed by the increasing of Human Development Index (HDI). The increase in HDI shows that the condition of Indonesian human resources are improved. That's what causes the population density does not fit the theory as a positive influence on growth in poverty. According World Bank (2002), the poor hard to get out of the poverty cycle because it has a low level of education. Low educational level of the poor led to low productivity as well. As a result, output and income is also low, causing poverty.

CONCLUSION

All the exogenous variables, namely the poverty growth, economic growth, population density, and literacy rate has a negative influence on the environmental quality. The variables positive effect on poverty is economic growth, while the negative effect on poverty are growth of wage, population density, and the literacy rate. On the other hand, the environmental quality and the unemployment rate did not had significant effect on

poverty. Thus, the relationship between the environmental quality and poverty did not happen two ways because the environmental quality doesn't effect on poverty.

Based on the study results, the appropriate policies to improve the quality of the environment due to poverty have a significant effect on the environment, among others: (1) Increase the number of affordable housing units as cheap flats especially in urban areas; (2) Intensified activities of non-governmental organizations related to environment, especially to disseminate environmental education, for example socialization/education awareness of protecting the environment; (3) Applying Happy City program (improving the system of public space in synergy with environment); (4) Feature ads or improve socialization government about caring for the environment to make it more attractive; (5) Procurement event overall environmental care and are conducted regularly.

REFERENCES

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2015. *Laporan Bulanan Data Sosial Ekonomi*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Arifin B. 2002. Tekanan Penduduk dan Degradasi Sumberdaya Alam di Tengah Upaya Pemulihan Ekonomi. Dalam B. Arifin, *Prosiding Seminar Tekanan Penduduk, Degradasi Lingkungan, dan Ketahanan Pangan*. Bogor: Pusat Studi Pembangunan LP IPB.
- Baltagi BH. 2005. *Econometric Analysis for Panel Data- Third Edition*. England: John Wiley and Sons Ltd.
- Budiman A. 1995. *Teori Pembangunan Dunia Ketiga*. Jakarta (ID): PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Dariah AR. 2007. *Dampak Pertumbuhan Ekonomi dan Kemiskinan terhadap Degradasi Lingkungan di Jawa Barat*. [Tesis]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Gaeddert LV, D Oerther. 2015. Measuring Multidimensional Poverty in a Complex Environment, Identifying the Sensitive Links. *Procedia Engineering-Elsevier*. 172 – 180.
- Ghani, MU Ghani *et al.* 2014. Review: Poverty Influence on Environment. *Middle East Journal of Scientific Research*. 21(6): 870-874.
- Gujarati DN. 2003. *Basic Econometrics-Fourth Edition*. New York (USA): McGraw-Hill.
- Hardini, Ayu D. 2011. *Hubungan Antara Pertumbuhan Penduduk, Kemiskinan, dan Pertumbuhan Ekonomi terhadap Kualitas Lingkungan di Kota Semarang Tahun 2001-2008*. [Skripsi]. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- Hassan SA, Zaman K, Gul S. 2015. The Relationship between Growth-Inequality Poverty Triangle and Environment Degradation: Unveiling the Reality. *Science Direct - Arab Economics and Business Journal*. 57-71.
- Hill Hal dan M.E. Khan. 2012. *Diagnosing the Indonesian Economy Toward Inclusive and Green Economy*. Manila (PH): Asian Development Bank.
- Hufschmidt MM, James DE, Meister AD, Bower BT, Dixon JA. 1983. *Environment, Natural Systems, and Development – An Economic Valuation Guide*. London (UK): The Johns Hopkins University Press.
- Inoguchi T, Newan E, dan Paoletto G. 2003. *Kota dan Lingkungan - Pendekatan Baru Masyarakat Berwawasan Ekologi*. Jakarta (ID): LP3ES.
- Irawan PB. 2004. Pengelolaan Lingkungan Hidup yang Berkelanjutan dan Strategi Penanggulangan Kemiskinan di Indonesia. *Background Paper Round Table Discussion Indonesian Decentralized Environmental and Natural Resources Management (IDEN) Project-UNDP*. Jakarta (ID): UNDP.
- Ismawan I. 1999. *Risiko Ekologis di Balik Pertumbuhan Ekonomi*. Yogyakarta (ID): Media Pressindo.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2015. *Indeks Kualitas Lingkungan Hidup 2014*. Jakarta (ID): Kementerian Lingkungan Hidup.
- Pratama, Dicko S. 2013. *Pengaruh degradasi lingkungan terhadap kemiskinan Indonesia Tahun 2011* [Skripsi]. Jakarta (ID): Sekolah Tinggi Ilmu Statistik.

- Tambunan T. 2001. *Perekonomian Indonesia*. Bogor (ID): Ghalia Indonesia.
- Tambunan T. 2013. *Perekonomian Indonesia (Kajian Teoretis dan Analisis Empiris)*. Bogor (ID): Ghalia Indonesia.
- Thomas V, Dailami M, Dhareshwar A, Kaufmann D, Kishor N, Lopez R, et al. 2001. *The Quality of Growth - Kualitas Pertumbuhan*. Jakarta (ID): PT Gramedia Pustaka Utama.
- World Bank Institute. 2000. *Economic Development and Environmental Sustainability*. Washington DC (USA): WBI.
- World Bank. 2002. *Linking Poverty Reduction and Environmental Management Policy Challenges and Opportunities*. United Kingdom: UNDP.
- World Commission on Environment and Development's (the Brundtland Commission). 1987. *Report Our Common Future*. Oxford (UK): Oxford University Press. <http://www.un-documents.net>.



Lingkungan Biofisik Hutan Mangrove di Kota Langsa, Aceh

Environment Biophysical of Mangrove Forest in Langsa City, Aceh

Iswahyudi^a, Cecep Kusmana^b, Aceng Hidayat^c, Bambang Pramudya Noorachmat^d

^a Program Studi Pengelolaan Sumber Daya Alam dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^a Dosen Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian Universitas Samudra, Jalan Meurandeh Langsa, 24416, Indonesia

^b Departemen Silvikultur, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^c Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^d Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

Article Info:

Received: 06 - 02 - 2019

Accepted: 29 - 07 - 2019

Keywords:

Mangrove ecosystem, spatial analysis, vegetation analysis, mangrove flora.

Corresponding Author:

Iswahyudi

Program Studi Agroteknologi,
Fakultas Pertanian, Universitas
Samudra;

Tel. +62-82164016300

Email:

Iswahyudi@unsam.ac.id

Abstract: *Mangrove ecosystem is an area that serves as a interface between the land and sea, but at the moment has a lot of damage. The phenomenon of damage to the mangrove forest ecosystem also occurred in Langsa City. This study aims to analyse biophysical conditions of mangrove forest ecosystems in Langsa City. The method used in this study is to combine spatial analysis and vegetation analysis. Results of the study show that the area of mangrove forest in the study has increased as large as 324.29 ha in the period of 6 years (2007-2013). The mangrove flora in Langsa City consist of a group of true mangrove flora and mangrove associates, consisting of 14 families and 25 species. The criticality of mangrove forests in the research location is classified as damaged (1 955.96 ha) and severely damaged (2 556.82 ha).*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Iswahyudi, Kusmana C, Hidayat A, Noorachmat BP. 2020. Lingkungan biofisik hutan mangrove di Kota Langsa, Aceh. **10**(1): 98-110. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.98-110>.

PENDAHULUAN

Mangrove adalah ekosistem penting di wilayah pesisir karena fungsi lingkungannya. Ekosistem ini penting untuk perlindungan pesisir dan bermanfaat bagi ekonomi lokal di sekitar 123 negara di dunia (Spalding *et al.*, 2010; Kathiresan, 2012). Secara alami, hutan mangrove adalah rumah bagi mamalia, amfibi, reptil, burung, kepiting, ikan, primata, serangga dan hewan lainnya (Kusmana, 2014). Untuk menjaga kelestarian ekologi, ekonomi dan sosial dari hutan mangrove sebagai sumberdaya lahan yang terbarukan maka fokus utama yang harus dilakukan adalah pengelolaan hutan mangrove yang lestari dalam rangka memenuhi kebutuhan generasi masa depan dan tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan fisik dan sosial (Kusmana, 2015).

Mangrove tumbuh di 124 negara tropik dan sub-tropik dengan luas mangrove di dunia sekitar 15.2 juta ha. Indonesia bersama dengan empat negara lainnya (Australia, Brazil, Nigeria, dan Mexico) mewakili 48% dari luas hutan mangrove dunia (Lavieren *et al.*, 2015). Secara global, penurunan luasan hutan mangrove sudah mencapai 1-2% pertahun. Penurunan luasan hutan mangrove terjadi di hampir setiap negara yang memiliki hutan mangrove, dan penurunannya meningkat lebih cepat di negara-negara berkembang, di mana lebih dari 90% hutan mangrove dunia berada (Carter *et al.*, 2015).

Berdasarkan Keputusan Menteri Kehutanan Republik Indonesia No. 941/Menhut-II/2013 tentang Perubahan peruntukan kawasan hutan menjadi bukan hutan seluas 42,616 ha, perubahan fungsi kawasan hutan seluas 130,542 ha dan perubahan bukan kawasan hutan menjadi kawasan hutan seluas 26,461 ha di Propinsi Aceh, maka peruntukan kawasan hutan mangrove di Kota Langsa seluas 1,687.76 ha sebagai hutan lindung mangrove, seluas 3,657.12 ha sebagai hutan produksi, seluas 676.44 sebagai hutan produksi konversi dan seluas 151.1 ha sebagai area penggunaan lain.

Pada saat ini, hutan mangrove di Kota Langsa telah mengalami kerusakan. Menurut DKPP Kota Langsa (2013), akibat dari kerusakan hutan mangrove telah menyebabkan deforestasi ekosistem pesisir dan penurunan kualitas air di Kota Langsa. Pemerintah Kota Langsa dalam mewujudkan keberlanjutan ekosistem hutan mangrove telah melakukan program rehabilitasi mangrove di wilayah Kota Langsa yang melibatkan *stakeholder* terkait. Namun, hasil dari kegiatan tersebut sejauh ini kurang optimal. Berbagai upaya perbaikan kondisi ekosistem hutan mangrove akan dapat terlaksana dengan baik apabila tersedia informasi obyektif kondisi hutan dan lahan secara menyeluruh. Penyediaan data dan informasi tersebut sangat diperlukan terutama dalam menunjang formulasi strategi rehabilitasi yang berdayaguna, sehingga diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengalokasian sumberdaya secara proporsional. Dengan demikian diharapkan tercipta daya dukung sumberdaya hutan dan lahan yang optimal dan lestari. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi perubahan luas dan sebaran mangrove; mengidentifikasi komposisi jenis dan struktur vegetasi mangrove; dan mengidentifikasi kekritisitas hutan mangrove di Kota Langsa.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kota Langsa Propinsi Aceh. Waktu penelitian mulai bulan Januari sampai dengan Juli 2016.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah citra satelit Landsat 7 ETM+ tahun peliputan 2007 dengan akuisisi pada tanggal 15 Mei 2007 dan tahun peliputan 2013 dengan akuisisi pada tanggal 10 Juni 2013. Peta sistem lahan skala 1:250 000 (RePPPProT, 1976); peta rupa bumi Indonesia/tematik Kota Langsa skala 1:50 000 nomor lembar peta 0620-14, 23, 42 dan 0621-51 (BIG, 2015); peta jenis tanah skala 1:250.000 (PPT Bogor, 1983); peta tutupan lahan dan peta kelas lereng Kota Langsa skala 1:50 000 (Bappeda Kota Langsa, 2015).

Adapun alat yang digunakan adalah seperangkat komputer yang dilengkapi dengan *software* ERDAS Imagine 9.1, *software* ArcGIS ver 10.3, buku panduan pengenalan mangrove, peralatan survey lapangan (form isian survei, alat tulis menulis, *refraktometer*, *Global Positioning System* (GPS), kamera, sarana transportasi, meteran, baju pelampung, sepatu bot dan perahu).

Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data terdiri atas: studi pustaka dan survei lapangan. Jenis data terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh langsung di lapangan, berupa hasil pengukuran dan pengamatan. Data sekunder diperoleh melalui studi pustaka (data hasil penelitian sebelumnya serta dokumen-dokumen ilmiah lainnya dari berbagai instansi terkait yang relevan untuk bahan penelitian).

Metode Analisis Data

Untuk mengetahui kondisi hutan mangrove di lokasi penelitian, maka perlu dilakukan inventarisasi dan identifikasi hutan mangrove. Pemetaan kawasan hutan mangrove dengan metode konvensional, memerlukan waktu yang lama dan biaya yang relatif mahal mengingat kawasan hutan mangrove umumnya berada pada area yang sulit di akses. Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) dengan penggunaan citra satelit penginderaan jauh sangat diperlukan dalam pemetaan hutan mangrove yang dapat memberikan informasi mengenai karakteristik hutan mangrove lokasi penelitian. Hasil analisis citra landsat ini digunakan untuk menentukan titik pengambilan sampel yang dilakukan pada wilayah yang ditumbuhi mangrove. Hal ini bertujuan untuk mengetahui komposisi jenis dan struktur vegetasi mangrove yang terdapat di lokasi penelitian. Setelah diketahui komposisi jenis dan struktur vegetasi mangrove, maka dilakukan analisis tingkat kekritisan hutan mangrove. Hasil analisis ini memberikan informasi tentang kondisi kerusakan hutan mangrove di lokasi penelitian.

Analisis Perubahan dan Sebaran Mangrove

Peta perubahan dan sebaran mangrove merupakan hasil dari interpretasi citra satelit Landsat 7 ETM+. Citra yang digunakan adalah citra tahun peliputan 2007 dan tahun 2013. Tujuan dari penggunaan citra ini adalah untuk melihat perubahan tutupan mangrove setelah dilakukan program rehabilitasi mangrove di Kota Langsa sejak tahun 2006-2012. Untuk melihat keberhasilan program rehabilitasi mangrove di lokasi penelitian dapat dilakukan pada saat mangrove sudah berumur 5-8 tahun. Hasil analisis citra kemudian di validasi dilapangan untuk mengurangi kesalahan penafsiran citra, sehingga data yang didapatkan sesuai dengan kondisi lapangan.

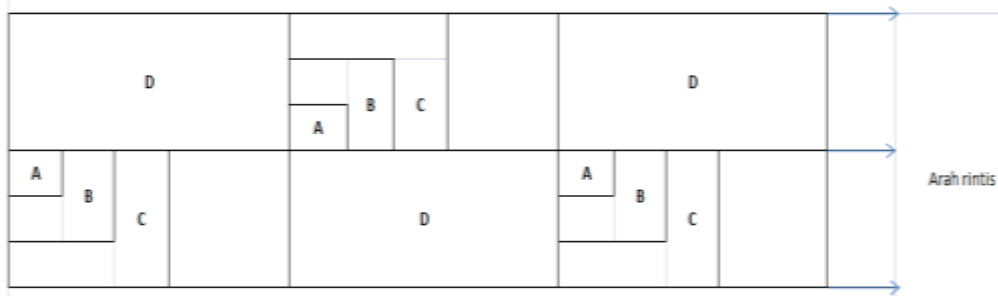
Analisis vegetasi mangrove

Data kondisi vegetasi diperoleh melalui survei langsung di lapangan. Penentuan titik sampling berdasarkan peta hasil analisis citra landsat. Lokasi pengambilan sampling dilakukan pada lima lokasi, yaitu: Alue Tirom, Pulau Pusong, Pulau Tikus, Muara Pulau Tikus dan Pelabuhan Kuala Langsa. Sampling dilakukan menggunakan kombinasi metode jalur dan garis berpetak. Metode jalur dan garis berpetak adalah metode pencuplikan contoh suatu populasi dengan pendekatan petak contoh yang berada pada garis yang ditarik pada wilayah ekosistem tersebut. Dalam metode ini, risalah pohon dilakukan dengan metode jalur dan permudaan hutan (semai, pancang, tiang) dengan metode garis berpetak. Desain plot contoh di lapangan dan titik sampel survey biofisik hutan mangrove disajikan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Pada masing-masing lokasi dibuat tiga titik pengamatan dan pada setiap titik pengamatan dibuat garis berpetak yang memotong tegak lurus garis pantai ke arah darat (yang ditumbuhi mangrove). Pada jalur-jalur yang telah dibentuk, dibuat petak ukur bertingkat berbentuk bujur sangkar yang dibuat secara berselang seling dengan ukuran 2 m x 2 m (tingkat semai), 5 m x 5 m (tingkat pancang), 10 x 10 m (tingkat tiang), dan 20 m x 20 m (tingkat pohon) (Kusmana *et al.*, 2005). Pada setiap plot contoh yang telah ditentukan, determinasi setiap jenis mangrove yang ada, hitung jumlah individu setiap jenis, dan ukur lingkaran batang setiap pohon mangrove setinggi dada. Bersamaan dengan pengukuran dilakukan pencatatan pada *tally sheet*.

Mekanisme pengambilan data vegetasi mangrove dengan cara mengidentifikasi jenis mangrove menggunakan buku panduan pengenalan mangrove. Stadium pertumbuhan vegetasi mangrove, dibedakan berdasarkan kriteria sebagai berikut:

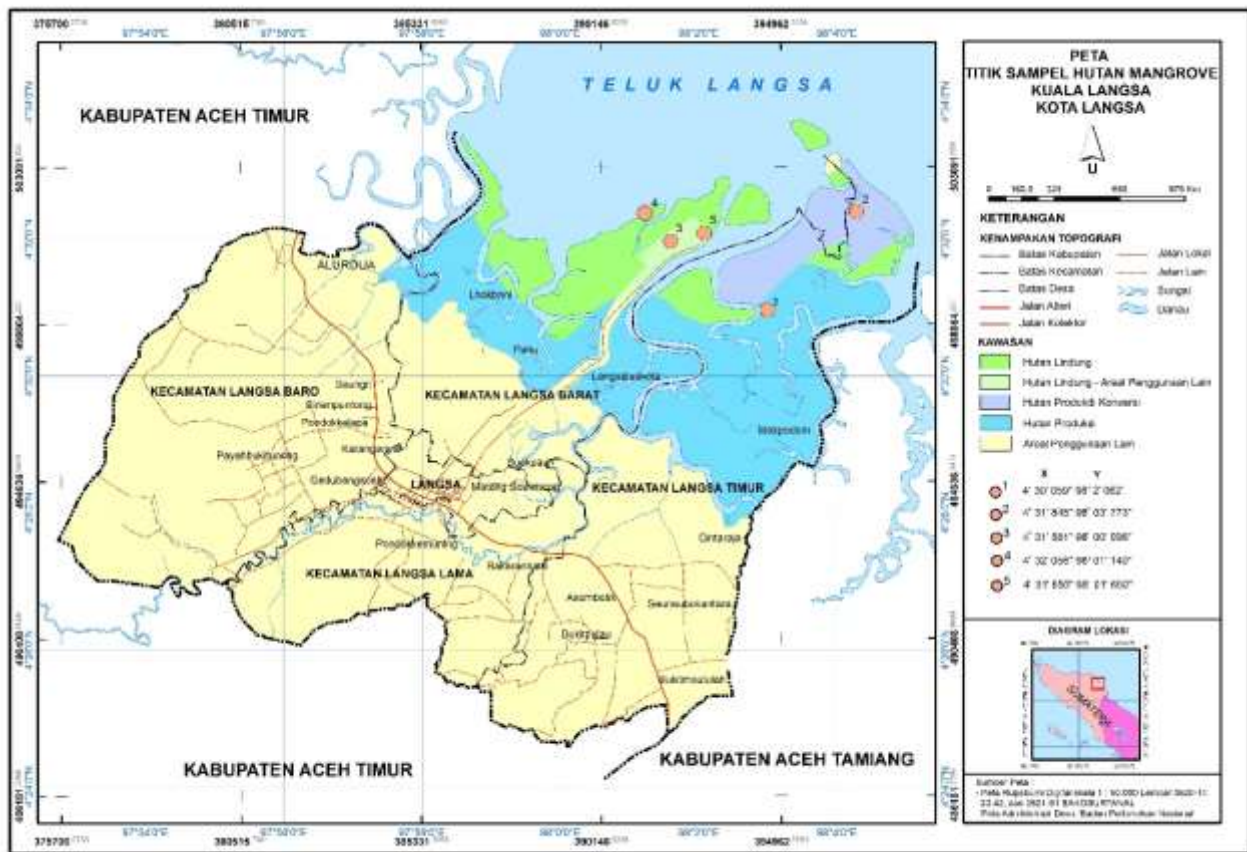
- (a) Semai : Permudaan mulai dari kecambah sampai dengan tinggi < 1.5 m.
- (b) Pancang : Permudaan dengan tinggi \geq 1.5 m sampai dengan diameter < 5 cm.
- (c) Tiang : Pohon-pohon muda yang mempunyai diameter 5 - < 10 cm.
- (d) Pohon : Pohon dengan diameter \geq 10 cm.



Gambar 1 Desain petak contoh vegetasi di lapangan.

Keterangan:

- A : Petak contoh untuk semai (2 x 2 m)
- B : Petak contoh untuk pancang (5 x 5 m)
- C : Petak contoh untuk tiang (10 x 10 m)
- D : Petak contoh untuk pohon (20 x 20 m)



Gambar 2 Titik sampel survey biofisik hutan mangrove.

Data yang diperoleh di lapangan digunakan untuk menghitung kerapatan, frekuensi, dominansi, dan indeks nilai penting. Indeks Nilai Penting (INP) (Cox, 1985), digunakan untuk mengetahui jenis pohon dominan pada setiap tingkat pertumbuhan. Indeks Nilai Penting (INP) merupakan indeks yang menggambarkan pentingnya peranan suatu jenis tumbuhan dalam ekosistemnya. Apabila INP suatu jenis tumbuhan bernilai tinggi, maka jenis itu sangat mempengaruhi kestabilan ekosistem tersebut.

Analisis Kekritisian Lahan Mangrove

Analisis kekritisian lahan mangrove dilakukan dengan menggunakan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG), sedangkan untuk parameter tutupan/penggunaan lahan dan tingkat kerapatan mangrove diturunkan dari data penginderaan jauh. Untuk membedakan jenis penggunaan lahan dari analisis citra landsat, dilakukan validasi dilapangan pada lokasi-lokasi yang diragukan keakuratan hasil interpretasi citranya. Data ketahanan tanah terhadap abrasi didapatkan dari hasil analisis tekstur tanah yang dilakukan di Laboratorium Tanah dan Tanaman Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala Banda Aceh. Samplel tanah diambil pada titik yang sama dengan pengamatan vegetasi. Sampel diambil sebanyak satu buah pada masing-masing titik, sehingga jumlah total sampel yang diambil sebanyak 15 sampel.

Analisis kekritisian lahan mangrove mengacu pada Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove (Dephut, 2005). Kriteria, bobot dan skor penilaian untuk penentuan tingkat kekritisian lahan mangrove disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kriteria, bobot dan skor penilaian untuk penentuan tingkat kekritisian lahan mangrove.

No.	Kriteria	Bobot	Skor Penilaian
1	Jenis penggunaan lahan (Jpl)	45	3: hutan (kawasan berhutan) 2: tambak tumpangsari, perkebunan 1: pemukiman, industri, tambak non-tumpangsari, sawah, tanah kosong
2	Kerapatan tajuk (Kt)	35	3: kerapatan tajuk lebat (70-100%, atau $0.43 \leq NDVI \leq 1,00$) 2: kerapatan tajuk sedang (50-69%, atau $0.3 \leq NDVI \leq 0.42$) 1: kerapatan tajuk jarang (< 50%, atau $-1.0 \leq NDVI \leq 0.32$)
3	Ketahanan tanah terhadap abrasi (Kta)	20	3: jenis tanah tidak peka erosi (tekstur lempung) 2: jenis tanah peka erosi (tekstur lempung berpasir) 1: jenis tanah sangat peka erosi (tekstur pasir)

Sumber: Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Mangrove (Dephut, 2005)

Catatan: skor 1 = jelek, 2 = sedang dan 3 = bagus.

Berdasarkan Tabel 1, maka Total Nilai Skoring (TNS) dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$TNS = (Jp1 \times 45) + (Kt \times 35) + Kta \times 20$$

Dari total nilai skoring (TNS), selanjutnya dapat ditentukan tingkat kekritisian lahan mangrove sebagai berikut :

- a) Nilai 100 – 166 : rusak berat
- b) Nilai 167 – 233 : rusak
- c) Nilai 234 – 300 : tidak rusak

Hasil analisis tingkat kekritisian lahan mangrove dengan parameter terkoreksi selanjutnya dipetakan dan dibuat Tabel Hasil Reskoring.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis luas dan sebaran mangrove

Hasil interpretasi visual terhadap citra Satelit Landsat 7 ETM+, didapatkan informasi luas tutupan lahan mangrove pada setiap tahun pengamatan. Pada tahun 2007, luas tutupan lahan mangrove di lokasi penelitian adalah sekitar 4 188.50 ha dan pada tahun 2013 sekitar 4 512.78 ha (Tabel 2 dan Gambar 3).

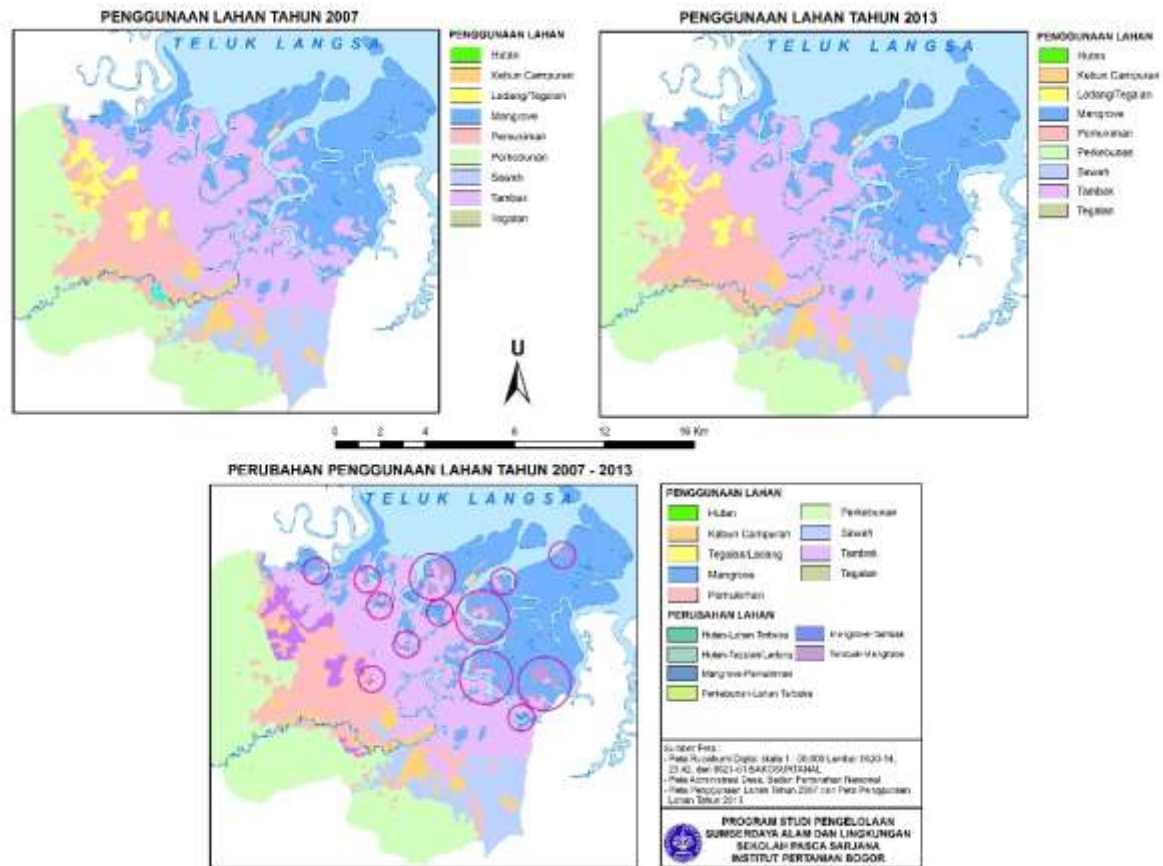
Dari Tabel 2, dapat dilihat pada tahun 2007 tutupan lahan mangrove di Kota Langsa hanya terdapat di tiga kecamatan. Adapun pada tahun 2013 menyebar di seluruh kecamatan dengan luas yang berbeda-beda. Kecamatan Langsa Timur merupakan wilayah yang mempunyai luas tutupan lahan mangrove terluas di Kota Langsa pada kedua tahun pengamatan. Hasil analisis perubahan luas mangrove terlihat dibandingkan dengan tahun 2007, maka pada tahun 2013 terjadi penambahan luas hutan mangrove sebesar 324.29 ha.

Tabel 2 Luas, sebaran dan perubahan luas hutan mangrove di lokasi penelitian.

No	Kecamatan	Luas Mangrove (2007)		Luas Mangrove (2013)		Perubahan (2007-2013)	
		(ha)	(%)	(ha)	(%)	(ha)	(%)
1	Langsa Timur	2 639.19	63.01	2 851.08	63.18	+211.89	65.34
2	Langsa Lama	0.00	0.00	1.90	0.04	+1.90	0.59
3	Langsa Barat	1 390.52	33.20	1 484.05	32.89	+93.53	28.84
4	Langsa Baro	158.78	3.79	173.36	3.84	+14.58	4.50
5	Langsa Kota	0.00	0.00	2.39	0.05	+2.39	0.74
Jumlah Total		4 188.50	100	4 512.78	100	324.29	100

Sumber: Hasil analisis Citra Satelit Landsat 7 ETM+ tahun 2007 dan 2013.

Gambar 3 Perubahan luas lahan mangrove.



Menurut DKPP Kota Langsa (2013), luas rehabilitasi mangrove di Kota Langsa sejak tahun 2006-2013 seluas 580 ha. Kegiatan rehabilitasi ini dilakukan oleh berbagai lembaga. Satker BRR-NAD Nias pada tahun 2006 melakukan rehabilitasi mangrove seluas 350 ha. Berdasarkan hasil evaluasi yang dilakukan mangrove yang tumbuh hanya seluas 164.5 ha (47%) (Satker BRR-NAD Nias, 2008). Rendahnya keberhasilan rehabilitasi mangrove yang dilakukan oleh Satker BRR-NAD Nias pada awal program ini dijalankan karena tidak adanya bibit mangrove yang tersedia di Kota Langsa dan kesalahan pemilihan lokasi penanaman. Karena

tidak tersedianya bibit mangrove pada waktu itu, maka pihak Satker BRR-NAD Nias terpaksa mendatangkan bibit mangrove dari Kota Banda Aceh yang kondisi biofisik tempat tumbuhnya berbeda dengan di Kota Langsa, sehingga banyak mangrove yang ditanam mati. Jika dibandingkan dengan hasil analisis citra Satelit Landsat 7 ETM+ tahun 2013, maka terdapat selisih penambahan luas mangrove sebesar 159.79 ha.

Penambahan luas mangrove ini diduga karena keberhasilan rehabilitasi mangrove yang dilakukan oleh Pemerintah Kota Langsa bersama dengan Dinas Kehutanan dan Lingkungan Hidup Propinsi Aceh, Lembaga Swadaya Masyarakat, Badan Usaha Milik Negara, Lembaga pendidikan, masyarakat pecinta alam dan pihak swasta juga melakukan rehabilitasi mangrove di Kota Langsa sejak tahun 2006-2012. Luas areal yang dilakukan rehabilitasi seluas 280 ha. Lokasi rehabilitasi ini berada pada kawasan hutan lindung dan hutan produksi terbatas mangrove (DKPP Kota Langsa, 2013). Selain itu juga ada beberapa buah tambak yang terdapat di luar kawasan hutan mangrove yang tidak produktif lagi dan ditinggalkan oleh pemiliknya sehingga secara alami ditumbuhi oleh mangrove.

Berdasarkan hasil analisis citra Satelit Landsat 7 ETM+, sebaran hutan mangrove di lokasi penelitian sebagian besar menyebar di kiri-kanan sungai, hutan lindung, hutan produksi terbatas dan tepi pantai. Tutupan lahan mangrove di lokasi penelitian pada tahun 2007 dan 2013 membentuk dua pola, yaitu pola poligon yang relatif luas dengan bentuk yang teratur dan pola poligon yang relatif memanjang dengan lebar yang sempit. Poligon-poligon yang relatif luas dengan bentuk yang teratur, ditemukan di kawasan hutan lindung dan hutan produksi yang dapat di konversi.

Poligon-poligon yang relatif luas ini dari hasil pengamatan langsung di lapangan merupakan wilayah yang sudah pernah dilakukan program rehabilitasi dan keberhasilan program rehabilitasi yang dilakukan telah menambah luas mangrove di lokasi penelitian. Sebagian besar areal rehabilitasi ini berada di kawasan hutan lindung mangrove yang terdapat di Desa Kuala Langsa. Pada tahun 2016, Pemerintah Kota Langsa menjadikan kawasan hutan lindung mangrove seluas 888,81 ha sebagai kawasan wisata mangrove Kuala Langsa yang dilengkapi dengan sarana dan prasarana pendukungnya (Qanun Kota Langsa No. 8 tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Kepariwisata Kota Langsa).

Pada wilayah sepanjang aliran sungai dan dekat dengan pemukiman, poligon yang terbentuk relatif memanjang dan mempunyai lebar yang sempit, pola ini dapat kita asumsikan bahwa hutan mangrove telah mengalami kerusakan yang disebabkan oleh konversi hutan mangrove menjadi tambak maupun penebangan pohon mangrove untuk bahan baku arang, bahan bangunan maupun kayu bakar. Jenis mangrove yang dijadikan bahan baku arang adalah famili *Rhizophoraceae* yang berdiameter minimal 5-7.5 cm.

Komposisi jenis dan sruktur vegetasi mangrove

Hasil inventarisasi flora di lokasi penelitian yang didasarkan pada pengelompokan flora mangrove oleh Tomlinson (1984), terdapat dua golongan yang menyusun kelompok ini, yaitu kelompok flora mangrove sejati yang terdiri atas 8 famili dan 19 jenis dan kelompok flora mangrove ikutan yang terdiri atas 6 famili dan 6 jenis (Tabel 3).

Berdasarkan tingkat pertumbuhannya, jenis-jenis yang dijumpai berada pada tingkat permudaan semai, pancang, tiang dan tingkat pohon. Jenis mangrove yang dominan pada tiap tingkat permudaan semai, pancang, tiang dan tingkat pohon pada Alue Tirom berturut-turut yaitu *R. apiculat* (INP 200%), *R. stylosa* (INP 133.18%), *R. apiculata* (INP 103.26%) dan *L. racemosa* (INP 80.00%). Pada Pulau Pusong, jenis mangrove yang dominan berturut-turut yaitu *B. cylindrica* (INP 200%), *B. cylindrica* (INP 159.53%), *B. cylindrica* (INP 102.53%) dan *C. tagal* (INP 152,80%). Pada Pulau Tikus, jenis mangrove yang dominan berturut-turut yaitu *R. stylosa* (INP 200%), *R. stylosa* (INP 230.50%), *R. apiculata* (INP 300%) dan *R. apiculata* (INP 181.11%). Pada Muara Pulau Tikus, jenis mangrove yang dominan berturut-turut yaitu *A. officinalis* (INP 200%), *A. marina* (INP 247.51%), *A. officinalis* (INP 172.27%) dan *A. officinalis* (INP 190.40%) dan jenis mangrove yang memiliki nilai INP dominan pada Pelabuhan Kuala Langsa untuk tiap tingkat permudaan semai, pancang,

tiang dan tingkat pohon seluruhnya adalah jenis *S. alba* dengan nilai INP masing-masing 200%; 210.04%; 237.87% dan 100.78% (Tabel 4).

Secara umum Indeks Nilai Penting (INP) famili *Rhizophoraceae* memiliki INP tertinggi di semua tingkat strata pengamatan pada transek Alue Tirom, Pulau Pusong dan Pulau Tikus. Pada transek Muara Pulau Tikus, famili *Avicenniaceae* mempunyai nilai INP tertinggi pada seluruh strata pengamatan. *A. officinalis* tumbuh di bagian pinggir daratan mangrove, khususnya di sepanjang Sungai Krueng Langsa yang dipengaruhi oleh pasang surut dan mulut sungai. Pada transek Pelabuhan Kuala Langsa, famili *Sonneratiaceae* mempunyai nilai INP tertinggi pada seluruh strata pengamatan. *S. alba* tumbuh dibagian yang kurang asin di hutan mangrove, pada tanah lumpur yang dalam dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut.

Tingginya INP masing-masing famili mangrove pada masing-masing transek pengamatan diduga karena kekuatan dan kecocokan dari karakteristik tempat hidupnya. Sebagian besar lahan tersebut kondisinya sesuai dengan syarat tumbuh mangrove. Tekstur tanah yang berlumpur, tingkat salinitas dan tipe pasang surut yang sesuai menyebabkan jenis-jenis mangrove tersebut INPnya lebih tinggi dari jenis yang lain. Hossain dan Nuruddin (2016), menyatakan bahwa sifat tanah yang berbeda mempengaruhi vegetasi, komposisi spesies dan struktur hutan mangrove.

Hasil pengamatan di lapangan, jenis *R. mucronata* sesuai tumbuh pada lahan berlumpur dan dipengaruhi oleh keberadaan sungai. *A. marina* dapat tumbuh dengan subur pada substrat lempung berpasir dan *Bruguiera* spp. banyak dijumpai tumbuh pada substrat lempung berpasir atau lempung berdebu. Menurut Kusmana *et al.*, (2005), jenis *Rhizophora* spp. dan *Avicennia* spp. bisa tumbuh dengan baik pada tanah yang lunak (belum begitu matang) dan berlumpur. Jenis *Bruguiera* spp., *Sonneratia* spp. dan *Ceriops* spp. bisa ditanam di tanah yang lebih keras/lebih matang (biasanya lebih dekat ke arah daratan).

Tabel 3 Jenis-jenis tumbuhan mangrove yang dijumpai di lokasi penelitian.

No.	Kelompok	Famili	Jenis
1	Mangrove sejati	1) <i>Pteridaceae</i>	1) <i>Acrostichum aureum</i>
			2) <i>Acrostichum speciosum</i>
			3) <i>Avicennia marina</i>
		2) <i>Avicenniaceae</i>	4) <i>Avicennia officinalis</i>
			5) <i>Bruguiera cylindrica</i>
			6) <i>Bruguiera gymnorhiza</i>
			7) <i>Bruguiera parviflora</i>
			8) <i>Bruguiera sexangula</i>
			9) <i>Ceriops decandra</i>
		3) <i>Rhizophoraceae</i>	10) <i>Ceriops tagal</i>
			11) <i>Rhizophora apiculata</i>
			12) <i>Rhizophora mucronata</i>
			13) <i>Rhizophora stylosa</i>
			14) <i>Excoecaria aggalocha</i>
			15) <i>Lumnitzera littorea</i>
			16) <i>Lumnitzera racemosa</i>
		6) <i>Arecaceae</i>	17) <i>Nypa fruticans</i>
		7) <i>Sonneratiaceae</i>	18) <i>Sonneratia alba</i>
		8) <i>Meliaceae</i>	19) <i>Xylocarpus granatum</i>
2	Mangrove Ikutan	1) <i>Malvaceae</i>	1) <i>Hibiscus tiliaceus</i>
		2) <i>Euphorbiaceae</i>	2) <i>Ricinus communis</i>
		3) <i>Molluginaceae</i>	3) <i>Sesuvium portulacastrum</i>
		4) <i>Rubiaceae</i>	4) <i>Morinda citrifolia</i>
		5) <i>Asteraceae</i>	5) <i>Wedelia biflora</i>
		6) <i>Verbeceae</i>	6) <i>Stachytarpheta jamaicensis</i>

Tabel 4 Indeks Nilai Penting (INP) vegetasi mangrove di lokasi penelitian.

Strata/Jenis	Famili	Jumlah Jenis	INP (%)
Transek 1			
<i>Semai (R apiculata)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	4	200.00
<i>Pancang (R stylosa)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	5	133.18
<i>Tiang (R apiculata)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	6	103.26
<i>Pohon (L racemosa)</i>	<i>Combretaceae</i>	5	80.00
Transek 2			
<i>Semai (B cylindrica)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	13	200.00
<i>Pancang (B cylindrical)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	6	159.59
<i>Tiang (R mucronata)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	7	197.47
<i>Pohon (C tagal)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	6	152.80
Transek 3			
<i>Semai (R stylosa)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	5	200.00
<i>Pancang (R stylosa)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	15	230.50
<i>Tiang (R apiculata)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	5	300.00
<i>Pohon (R apiculata)</i>	<i>Rhizophoraceae</i>	12	181.11
Transek 4			
<i>Semai (A officinalis)</i>	<i>Avicenniaceae</i>	3	200.00
<i>Pancang (A marina)</i>	<i>Avicenniaceae</i>	9	247.51
<i>Tiang (A officinalis)</i>	<i>Avicenniaceae</i>	9	172.27
<i>Pohon (A officinalis)</i>	<i>Avicenniaceae</i>	9	190.40
Transek 5			
<i>Semai (S alba)</i>	<i>Sonneratiaceae</i>	4	200.00
<i>Pancang (S alba)</i>	<i>Sonneratiaceae</i>	23	210.04
<i>Tiang (S alba)</i>	<i>Sonneratiaceae</i>	8	237.87
<i>Pohon (S alba)</i>	<i>Sonneratiaceae</i>	10	100.78

Kemampuan adaptasi masing-masing jenis mangrove terhadap salinitas berbeda-beda. Menurut Hoppe-Speer *et al.*, (2011), *R. mucronata*, *R. apiculata*, *R. stylosa* dan *R. mangle*, memiliki pertumbuhan yang optimal pada salinitas 8-18 ppt. Selanjutnya Perera *et al.*, (2013), menyatakan bahwa *A. marina* adalah jenis yang paling toleran terhadap salinitas, diikuti oleh *R mucronata*, *C tagal* dan *L racemosa*. *E agallocha* adalah spesies yang paling toleran terhadap garam. Siringoringo *et al.*, (2018), menambahkan bahwa *Avicennia* lebih adaptif terhadap air dangkal, sedangkan *Rhizophora* lebih adaptif pada area yang lebih dekat atau kontak langsung dengan laut.

Rendahnya INP pada jenis tertentu mengindikasikan bahwa jenis ini kurang mampu bersaing dengan lingkungan yang ada disekitarnya serta jenis lainnya. Rendahnya ketahanan terhadap gejala alam serta besarnya eksploitasi mengakibatkan jenis-jenis tersebut berkurang dari tahun ke tahun. Ketersediaan propagul diduga lebih berpengaruh dalam proses reproduksi. Mangrove akan bereproduksi jika kondisi lingkungan cocok atau sesuai. Hal ini berkaitan dengan daya adaptasi mangrove terhadap kondisi lingkungan yang ekstrim, seperti substrat lumpur yang baru terbentuk akan didominasi oleh jenis mangrove yang propagulnya paling banyak sampai ketempat tersebut.

Famili *Rhizophoraceae*, *Avicenniaceae* dan *Sonneratiaceae* diperkirakan akan mendominasi populasi jenis mangrove pada masa yang akan datang di lokasi penelitian jika tidak ada gangguan terhadap kelestarian hutan mangrove. Hal ini ditunjukkan oleh tingginya populasi jenis-jenis mangrove tersebut pada semua tingkat pertumbuhan di lokasi penelitian. Tingginya Nilai INP menunjukkan bahwa jenis-jenis mangrove tersebut mampu beradaptasi dengan baik terhadap kondisi lingkungan tempat tumbuhnya, sehingga dapat digunakan sebagai bahan untuk rekomendasi program rehabilitasi dan sebagai zona penyangga bagi lingkungan pesisir, sebab jenis inilah yang paling mampu tumbuh dengan baik serta mampu memanfaatkan peluang dan ruang yang lebih luas

dibandingkan dengan jenis-jenis mangrove lainnya. Selain itu nilai INP yang tinggi menunjukkan jenis mangrove tersebut memiliki peranan yang besar terhadap ekosistem mangrove di lokasi penelitian dibandingkan jenis yang lain.

Hasil identifikasi ini didukung oleh beberapa hasil penelitian yang dilakukan di Kota Langsa pada beberapa lokasi yang berbeda seperti di lokasi wisata mangrove Kuala Langsa Kecamatan Langsa Barat (Majid *et al.*, 2014 & Fitrianiingsih 2017) dan di Desa Kuala Langsa Kecamatan Langsa Barat (Zurba *et al.*, 2017), menunjukkan hasil yang sama. Dimana jenis mangrove yang paling mendominasi adalah *Rhizophora* spp., *Avicennia* spp., dan *Sonneratia* spp. Ketiga jenis mangrove ini mendominasi di semua kawasan mangrove di wilayah pesisir Kota Langsa. Hasil penelitian ini juga didukung oleh data yang didapat dari DKPP Kota Langsa (2013), yang menyatakan bahwa struktur dan komposisi hutan mangrove yang ada di wilayah pesisir Kota Langsa didominasi oleh jenis *Rhizophora* spp., pada area pinggir daratan rawa mangrove sepanjang sungai yang dipengaruhi oleh pasang surut air laut dan mulut sungai didominasi oleh jenis *A officinalis*. Pada bagian tengah vegetasi mangrove kearah laut didominasi oleh jenis *B cylindrica*. Pada area yang salinitasnya rendah, lumpurnya dalam dan dipengaruhi oleh pasang surut air laut didominasi oleh jenis *S alba*.

Tingkat kekritisan hutan mangrove

Berdasarkan hasil analisis tingkat kekritisan lahan mangrove di lokasi penelitian didapatkan dua kategori kerusakan, yaitu rusak dan rusak berat (Tabel 5 dan Gambar 4). Kategori kerusakan yang paling luas yaitu kategori rusak berat yang tersebar di seluruh kecamatan dengan luas 2 556.82 ha. Kecamatan Langsa Barat merupakan wilayah yang mempunyai luas hutan mangrove pada tingkat kekritisan paling luas dibandingkan dengan kecamatan yang lain. Dari 2 896,38 ha luas hutan mangrove yang mengalami kekritisan di Kecamatan Langsa Barat, seluas 1 488.48 ha termasuk dalam kategori rusak dan seluas 1 407.90 ha termasuk dalam kategori rusak berat.

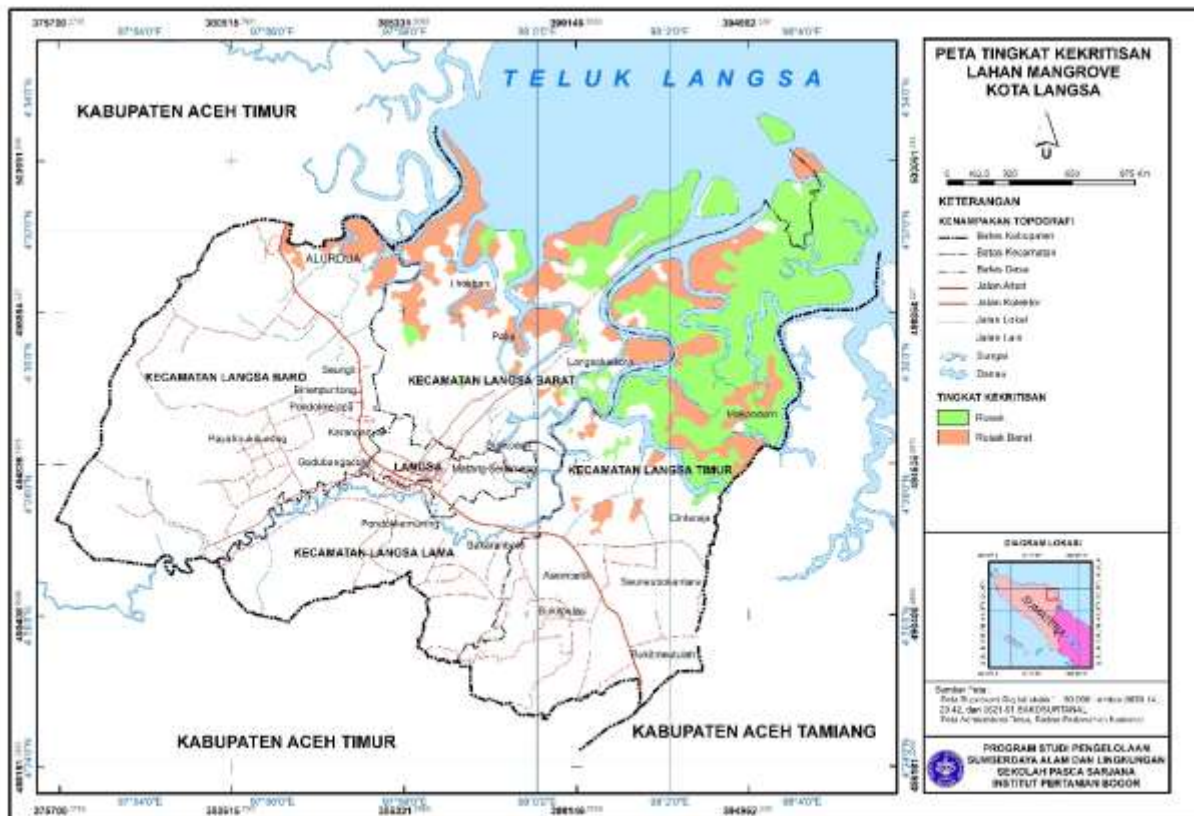
Tutupan lahan di lokasi penelitian adalah hutan mangrove (kawasan hutan lindung, areal penggunaan lain, hutan produksi konversi dan hutan produksi), tambak, kawasan pemukiman, kawasan pelabuhan dan Pusat Pelelangan Ikan (PPI). Kondisi tutupan ini memberikan gambaran bahwa kondisi ekosistem hutan mangrove di lokasi penelitian mengalami tekanan yang berat. Tekanan tersebut terutama disebabkan oleh konversi lahan, pembalakan mangrove untuk bahan baku pembuatan arang dan sedimentasi.

Kawasan hutan mangrove yang terdapat di lokasi penelitian pada saat ini sudah banyak dikuasai oleh masyarakat untuk memenuhi kebutuhan ekonominya. Berdasarkan penuturan tokoh-tokoh masyarakat dan tetua kampung, dahulunya tidak ada yang mengklaim kepemilikan lahan-lahan mangrove di wilayah tersebut, karena sebagian besar masyarakat memiliki profesi sebagai nelayan yang mencari ikan di laut. Budidaya udang dan ikan bandeng yang mulai berkembang di tahun 1980-an mendorong sebagian masyarakat menguasai lahan mangrove untuk diusahakan menjadi tambak yang dikelola secara tradisional.

Selain itu, pembalakan pohon mangrove dilakukan oleh masyarakat di sekitar lokasi penelitian maupun oleh masyarakat yang berasal dari Kabupaten Aceh Timur, Kabupaten Aceh Tamiang maupun dari Kabupaten Langkat Provinsi Sumatera Utara. Pohon mangrove ini merupakan bahan baku industri arang, bahan kayu bakar maupun sebagai bahan kayu bangunan. Di lokasi penelitian banyak ditemui dapur-dapur arang yang sudah mulai beroperasi semenjak tahun 1970-an yang mengandalkan bahan baku pembuatan arang dari pembalakan liar. Sampai dengan tahun 2014, jumlah dapur arang yang masih aktif beroperasi di Kota Langsa sebanyak 67 buah dapur dengan produktivitas 1.4 ton/dapur/bulan dan produksi total 115.6 ton/bulan (DKPP Kota Langsa, 2013).

Tabel 5 Hasil penilaian kekritisan hutan mangrove di lokasi penelitian.

No.	Kecamatan	Tingkat Kekritisan Hutan Mangrove		Jumlah (ha)
		Rusak (ha)	Rusak Berat (ha)	
1	Langsa Timur	266.62	935.42	1 202.04
2	Langsa Lama	1.90	0.00	1.90
3	Langsa Barat	1 488.48	1 407.90	2 896.38
4	Langsa Baro	196.57	213.50	410.07
5	Langsa Kota	2.39	0.00	2.39
Total (Ha)		1 955.96	2 556.82	4 512.78



Gambar 4 Peta tingkat kekritisan hutan mangrove.

Pengambilan pohon mangrove untuk bahan baku pembuatan arang menggunakan perahu bermesin tempel yang dilakukan oleh tenaga pengumpul yang bekerja pada pengusaha arang. Kayu yang dapat dikumpulkan dalam sehari (8 jam waktu kerja) dengan jumlah tenaga kerja 1 orang/perahu sebanyak 100 batang, dengan panjang 2.5-3 m dan diameter 5-7.5 cm. Bahan baku kayu mangrove yang dibutuhkan untuk dapur arang sebanyak 67 unit dan produksi total 115.6 ton/bulan adalah 6 817.92m³/tahun, terdiri dari kayu untuk pembuatan arang sebanyak 5 454.34 m³/tahun dan kayu bakar sebanyak 1 363.58 m³/tahun dengan rendemen 20%. Dampak yang ditimbulkan oleh pembalakan pohon mangrove adalah penurunan kualitas tegakan mangrove, yang dapat menghambat terjadinya regenerasi tumbuhan mangrove sehingga dalam jangka waktu panjang hutan mangrovenya menjadi rusak.

Indikasi yang dapat dilihat adalah kerapatan pertumbuhan permudaan tingkat semai dan pancang yang rendah. Hal ini menunjukkan kondisi hutan mangrove yang rusak. Hutan mangrove yang mengalami tingkat kerusakan berat di lokasi penelitian berada di dalam kawasan hutan produksi konversi, hutan produksi dan areal penggunaan lain. Kawasan areal penggunaan lain di lokasi penelitian pada awalnya merupakan kawasan hutan lindung yang telah dikonversi untuk pembangunan Pelabuhan Kuala Langsa, Hutan Wisata Mangrove,

Kawasan Industri Kuala Langsa, Pelabuhan Pendaratan Ikan dan pada tahun 2017 mulai dibangun bandara perintis Kuala Langsa dengan panjang landasan 1 000 m lengkap dengan sarana dan prasarana pendukungnya.

Secara umum, dilihat dari jenis tanah dan sistem lahan dilokasi penelitian, tingkat kepekaan erosinya relatif tidak peka erosi. Kecuali pada lokasi yang berada didekat pantai dimana teksturnya adalah lempung berpasir. Perera *et al.* (2013), menyatakan bahwa pertumbuhan dan struktur mangrove sangat dipengaruhi oleh erosi tanah, laju sedimentasi, input unsur hara dan kualitas tanah pada suatu lokasi. Tingginya sedimentasi yang dibawa dari hulu oleh sungai-sungai yang bermuara ke Teluk Langsa menyebabkan terjadinya pendangkalan di muara sungai.

Badan Rehabilitasi dan Rekonstruksi NAD-Nias (BRR 2007), menetapkan wilayah pesisir timur Provinsi Aceh merupakan kawasan prioritas pengelolaan karena rawan dan berpotensi sedimentasi, meliputi muara Sungai Krueng Biruem Puntong, Krueng Bayeun dan Krueng Langsa di sekitar Teluk Langsa. Kondisi yang terjadi pada saat ini adalah tingginya abrasi yang terjadi di Pulau Telaga Tujuh akibat adanya arus sejajar pantai yang bergerak menyusuri pantai yang terjadi di muara Sungai Krueng Langsa. Sedimentasi ini menjadi salah satu penyebab kerusakan ekosistem mangrove di lokasi penelitian. Rusaknya hutan mangrove di lokasi penelitian juga menyebabkan seringnya pasang purnama (banjir rob) menggenangi pemukiman masyarakat yang bertempat tinggal di wilayah pesisir terutama warga Desa Pusong Telaga Tujuh dan Desa Kuala Langsa di Kecamatan Langsa Barat dan warga Desa Alue Beurawe Kecamatan Langsa Kota. Banjir rob merupakan fenomena yang sudah biasa bagi warga di desa tersebut yang terjadi dua kali dalam sebulan (awal bulan dan pertengahan bulan).

SIMPULAN

Melalui analisa perbandingan citra satelit landsat tahun 2007 dan 2013, diketahui selama enam tahun telah terjadi penambahan luas mangrove di Kota Langsa seluas 324.29 ha. Penambahan ini karena adanya kegiatan rehabilitasi mangrove yang dilakukan di Kota Langsa sejak tahun 2006-2012 dan ada beberapa tambak yang tidak produktif yang secara alami ditumbuhi oleh mangrove.

Terdapat dua kelompok mangrove yang dijumpai di lokasi penelitian, yaitu kelompok mangrove sejati yang terdiri atas 14 famili dan 19 jenis dan kelompok mangrove ikutan yang terdiri atas 6 famili dan 6 jenis. Berdasarkan struktur vegetasinya, jenis-jenis yang dijumpai berada pada tingkat permudaan semai, pancang, tiang dan tingkat pohon. Berdasarkan Indeks Nilai Penting, maka mangrove dari famili *Rhizophoraceae*, *Avicenniaceae* dan *Sonneratiaceae* akan mendominasi vegetasi mangrove yang tumbuh di Kota Langsa.

Kekritisn hutan mangrove di Kota Langsa terdiri atas dua kategori kerusakan, yaitu rusak seluas 2 556.82 ha dan rusak berat seluas 1 955.96 ha. Kecamatan Langsa Barat merupakan wilayah yang mempunyai luas hutan mangrove pada tingkat kekritisn paling luas dibandingkan dengan kecamatan yang lain

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Informasi Geospasial. 2015. *Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Kota Langsa Skala 1: 50,000*. Bogor (ID): BIG.
- Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Langsa. 2015. *Gambaran Umum Kota Langsa*. Langsa.
- Carter, HN, Schmidt SW, Hirons AC. 2015. An international assessment of mangrove management: Incorporation in integrated coastal zone management. *Diversity*. (7): 74-104. doi:10.3390/d7020074.
- Cox GW. 1985. *Laboratory Manual of General Ecology*. Dubuque, Iowa (USA): WCM Brown.
- Departemen Kehutanan. 2005. *Pedoman Inventarisasi dan Identifikasi Lahan Kritis Mangrove*. Jakarta (ID): Direktorat Jendral Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial.
- Dinas Kelautan, Perikanan dan Pertanian Kota Langsa. 2013. *Sebaran Realisasi Kegiatan Bidang Kehutanan*. Langsa.

- Fitrianingsih YR. 2017. Kajian ekowisata untuk konservasi mangrove: Studi kasus di Kecamatan Langsa Barat Kota Langsa Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. *Journal of Aceh Aquatic Science*. 1(1): 83-94.
- Hossain MD, Nuruddin AA. 2016. Soil and mangrove: A review. *Journal of Environmental Science and Technology*. 9 (2): 198-207. 10.3923/jest.2016.198.207.
- Kathiresan K. 2012. Importance of mangrove ecosystem. *International Journal of Marine Science*. 2(10): 70-89.
- Keputusan Menteri Kehutanan No. 941/Menhut-II/2013 tentang Perubahan peruntukan kawasan hutan menjadi bukan hutan seluas 42.616 ha, perubahan fungsi kawasan hutan seluas 130.542 ha dan perubahan bukan kawasan hutan menjadi kawasan hutan seluas 26.461 ha di Provinsi Aceh.
- Kusmana C. 2014. *Distribution and current status of mangrove forests in Indonesia*. Di dalam: Hanum FI, Latiff A, Hakeem KR, Ozturk M, editor. *Mangrove ecosystem of Asia: Status, challenges and management strategies*. Springer. hlm 37-60.
- Kusmana C. 2015. Integrated sustainable mangrove forest management. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 5(1): 1-6. doi.org/10.29244/jpsl.9.1.%15p.
- Kusmana C, Wilarso S, Iwan H, Pamoengkas P, Wibowo C, Tiryana T, Triswanto A, Yunasfi, Hamzah. 2005. *Teknik Rehabilitasi Mangrove*. Bogor (ID): Fakultas Kehutanan Institut Pertanian Bogor.
- Lavieren HV, Spalding M, Alongi DA, Kainuma M, Godt MC, Adeel Z. 2015. *Securing the Future of Mangroves*. Hamilton (CA): Institute for Water, Environment and Health, United Nations University.
- Majid AB, Patana P, Lesmana I. 2014. Studi potensi ekowisata di Kuala Langsa Provinsi Aceh. *Aquacoastmarine*. 3(2): 44-54.
- Qanun Kota Langsa No. 8 Tahun 2015 tentang Rencana Induk Pembangunan Kepariwisata Kota Langsa. Langsa: Jaringan Dokumentasi dan Informasi Hukum.
- Perera KAR, Amarasinghe MD, Somaratna S. 2013. Vegetation structure and species distribution of mangroves along a soil salinity gradient in a micro tidal estuary on the North-Western coast of Sri Lanka. *American Journal of Marine Science*. 1(1): 7-15. DOI: 10.12691/marine-6-1-3.
- Pusat Penelitian Tanah. 1983. *Jenis dan Macam Tanah di Indonesia untuk Keperluan Survei dan Pemetaan Tanah Daerah Transmigrasi*. Bogor (ID).
- Regional Physical Planning Program for Transmigration. 1990. Peta *Land System RePPPProT Pulau Sumatera*. Jakarta (ID): Official Development Assistance-Bakosurtanal-Departemen Transmigrasi.
- Hoppe-Speer SCL, Adams JB, Rajkaran A, Bailey DF. 2011. The response of the red mangrove *Rhizophora mucronata* Lam to salinity and inundation in South Africa. *Aquatic Botany*. (95): 71-76. DOI: 10.1016/j.aquabot.2011.03.006.
- Satuan Kerja Badan Rehabilitasi dan Rekonstruksi Nanggroe Aceh Darussalam-Nias. 2008. *Rehabilitasi hutan mangrove dan hutan pantai di pesisir Nanggroe Aceh Darussalam*. Banda Aceh (ID): Pusat Pengendalian Lingkungan dan Konservasi BRR NAD-Nias.
- Siringoringo HH, Narendra BH, Salim AG. 2018. Kualitas perairan mangrove di Ciasem Pamanukan, Kabupaten Subang, Jawa Barat. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(3): 301-307. doi.org/10.29244/jpsl.9.1.%15p.
- Spalding MD, Kainuma M, Collins L. 2010. *World Atlas of Mangroves*. Washington DC (USA). Earthscan Ltd.
- Tomlinson PB. 1986. *The Botany of Mangroves*. England (UK): Cambridge University Pr.
- Zurba N, Effendi H, Yonvitner. 2017. Pengelolaan potensi ekosistem mangrove di Kuala Langsa, Aceh. *JITK*. 9(1): 281-300.



Sasi Laut Folley dan Dinamika Pengelolaan Berbasis Masyarakat

Sasi Laut Folley and Dynamics of Community Based Management

Fevi Rahma Dwi Putri, Arif Satria, Saharuddin

Program Studi Sosiologi Pedesaan, Sekolah Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia
[+62-251-8627793]

Article Info:

Received: 23 - 01 - 2020

Accepted: 13 - 03 - 2020

Keywords:

Community based management, institution, management dynamics, sasi laut.

Corresponding Author:

Fevi Rahma Dwi Putri
Program Studi Sosiologi
Pedesaan, Sekolah Pascasarjana,
Institut Pertanian Bogor,
fevirahmadwip16@gmail.com

Abstract. *Indonesia's natural resources are decline due to excessive use of natural resources and destructive behavior without the responsibility of various parties. Community-based management (CBM) such as the management of Sasi Laut in Kampung Folley, West Papua is one of the models considered appropriate to mitigates the degradation of the natural resource in Indonesia. This study aims to analyze the dynamics of the management of Kampung Folley Sea Sasi and its impact on strengthening management. The results of this study indicate that there is a management dynamics that involves at least six momentum changes, namely the formation of the village, the intervention of the role of religion, the introduction of technology, the involvement of external parties and the establishment of regulations for Water Conservation Area. The management elements that have changed are territorial boundaries, regulations, authority holders, rights, sanctions, and monitoring due to internal and external factors. The management dynamics that occur are leading to the strengthening of Sasi Laut management.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Putri FRD, Satria A, Saharuddin. 2020. Sasi laut Folley dan dinamika pengelolaan berbasis masyarakat. 10(1): 111-123. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.111-123>.

PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara maritim dengan luas perairan ± 6.315 juta km² atau setara tiga kali luas wilayah daratan Indonesia yaitu 1 913 578.68 juta km² (KKP, 2015; BPS, 2018). Indonesia juga disebut sebagai negara bahari dan *mega-biodiversity* karena didominasi ekosistem lautan dan keanekaragaman sumber daya didalamnya (Dahuri, 2003). Teridentifikasi 6.869 jenis biota laut termasuk tumbuhan laut (mangrove, alga, dan lamun), terbagi atas 77.87 % fauna, 14.14% alga, 2.08% flora, dan 5.91% mikroba laut (BPS, 2017). Pengelolaan potensi yang bijaksana dan terpadu seharusnya memberi manfaat optimal bagi kemajuan negara, kesejahteraan masyarakat dan kelestarian lingkungan. Realitasnya, Indonesia mengalami penurunan kualitas dan kuantitas sumber daya alam, khususnya sektor kelautan. Merujuk berita lingkungan *Mongabay* (2017), data Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) (2016) menjelaskan terumbu karang Indonesia dengan kondisi baik tersisa 5.32%, sementara >30% kondisi kurang baik dari luas ± 2.5 juta Ha. Berpengaruh pada penurunan ketersediaan biota lain, karena fungsi terumbu karang sebagai ruang hidup berbagai biota yang terikat rantai makanan (Noviana *et al.*, 2019). Penyebab utama diungkapkan Bappenas (2014) dalam BPS (2018) adalah pengelolaan perikanan Indonesia belum optimal, kecenderungan perilaku eksploitatif manusia

pada wilayah *open acces*¹ seperti aktivitas *Illegal, Unreported, dan Unregulated (IUU) Fishing, overfishing*, belum efektifnya sistem pengawasan, dan konversi lahan tidak sesuai peruntukannya.

Konservasi menjadi salah satu alternatif pencegahan dan penanggulangan krisis yang terjadi. Berbagai regulasi diterbitkan untuk mendorong perluasan kawasan tersebut. Realitasnya, konservasi seringkali cenderung sentralistik dan memicu perbedaan kepentingan antara masyarakat dan pemerintah. Sebagai contoh kajian Satria (2009), keputusan pemerintah menetapkan Taman Nasional Wisata Alam Laut (TWAL) telah menimbulkan konflik dengan masyarakat yang mengklaim wilayah TWAL merupakan wilayah strategis untuk penangkapan sumber daya pesisir dan laut melalui interpretasi wilayah hak ulayat masyarakat. Benturan kepentingan juga hadir antara masyarakat dan korporat seperti perusahaan yang mengubah peruntukan wilayah perikanan tangkap masyarakat menjadi sektor pariwisata atau industri.

Urgensi pengentasan krisis lingkungan yang dibutuhkan adalah pengelolaan yang menyelaraskan tujuan multipihak. Horowitz (2015) dalam memberikan kontribusi gagasan *Local Environment Knowledge (LEK)*, sebagai respon banyaknya wacana menyalahkan penduduk lokal atas peristiwa degradasi ekologi akibat praktik lokal didasarkan pada ketidaktahuan dan tradisi yang irrasional. LEK hadir untuk membongkar dikotomi pengetahuan “lokal” dan “ilmiah”, sehingga membentuk pengelolaan yang mempersatukan tujuan keduanya. Rekomendasi Ostrom (1990) terkait dua pilihan model yang dinilai lebih preventif bagi pengelolaan sumber daya adalah pengelolaan berbasis masyarakat (PBM) atau *community based management (CBM)* dan pengelolaan kolaboratif atau *co-management*. Penelitian ini fokus mengkaji PBM. Sebagaimana disinggung khusus oleh Ostrom (1990), kelembagaan masyarakat dapat menjamin berkelanjutan sumber daya, karena kecenderungan prinsip yang dianut adalah keberlanjutan. Penelitian ini menganalisis pengelolaan Sasi Laut di Kampung Folley, Distrik Misool Timur, Kabupaten Raja Ampat, Provinsi Papua Barat.

Sasi Laut adalah kelembagaan tradisional yang menerapkan prinsip konservasi, yaitu mengatur tentang masa pemeliharaan dan panen teripang, batulaga, lola dan lainnya dalam jangka waktu tertentu. Menurut Sztompka (2004), tradisi merupakan segala sesuatu (meliputi adat, kepercayaan, kebiasaan, ajaran dan lainnya) yang berlangsung secara turun temurun dan melekat dalam kehidupan. Proses konstruksi sosial secara berkala, menjadikan Sasi Laut berkembang dan mengalami perubahan baik menguatkan atau melemahkan sebagaimana dinamika sosial. Berita lingkungan *Mongabay*, 12 Juli 2015 memaparkan Sasi Laut Folley adalah salah satu kearifan lokal yang masih bertahan, bahkan mengalami peningkatan produksi, pendapatan dan penyokong pembangunan kampung. Diduga dinamika pengelolaan Sasi Laut Folley mengarah pada penguatan pengelolaan. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini untuk menganalisis dinamika pengelolaan Sasi Laut Folley sebagai PBM serta pengaruhnya terhadap penguatan pengelolaan.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Kampung Folley, Distrik Misool Timur, Kabupaten Raja Ampat, Provinsi Papua Barat. Penelitian dilakukan pada bulan September 2018 - April 2019.

Metode Pengumpulan Data

Penelitian bertujuan mengkaji dinamika pengelolaan berbasis masyarakat menggunakan paradigma konstruktivis dan metode penelitian kualitatif. Paradigma konstruktivis berusaha memahami realitas sosial dengan mengembangkan makna-makna subjektif atas pengalaman individu pada objek kajian (Creswell 2016). Pengumpulan data kualitatif menitikberatkan kepada interaksi peneliti dan tinaliti, karena persepsi, pandangan dan pemahaman tinaliti didalami melalui proses tersebut. Strategi penelitian adalah studi kasus. yaitu mengarahkan peneliti untuk mengembangkan analisis mendalam suatu kasus, seperti program, peristiwa,

¹ Tidak berlaku hak kepemilikan sumber daya atau bersifat bebas diakses siapapun tanpa regulasi pemanfaatan (Bromley, 1992). Wahyuningsih *et al.* (2019) memaknai status *open acces* ketika tidak seimbang laju pemanfaatan dan laju pemulihan sumberdaya.

aktivitas atau proses, dengan berbagai prosedur pengumpulan data berdasarkan waktu yang ditentukan (Stake 1995 dan Yin 2009, 2012 dalam Creswell, 2016).

Subjek penelitian adalah informan yang dipilih secara sengaja, yaitu individu atau kelompok yang dianggap memahami dan berkaitan dengan pengelolaan Sasi Laut. Populasi penelitian adalah masyarakat pelaksana kelembagaan Sasi Laut di Kampung Folley. Unit analisis adalah komunitas pelaksana kelembagaan. Informan terpilih yaitu pemerintah Kabupaten Raja Ampat, pemerintah Distrik Misool Timur, Pemerintah Kampung Folley, tokoh adat dan agama, anggota marga pemilik wilayah adat, kelompok masyarakat terkait, Pihak Unit Pelaksana Teknis Kawasan Konservasi Perairan (UPT KKP), LSM The Nature Conservancy (TNC), masyarakat Matbat dan pendatang.

Data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder (Sugiyono 2013). Data primer adalah sumber data yang langsung didapatkan oleh peneliti dari hasil observasi (pengamatan), wawancara mendalam (*indepth interview*), dan *Focus Group Discussion* (FGD). Data sekunder diperoleh dari dokumen yang berkaitan dengan penelitian, seperti dokumen di kantor pemerintahan, data kawasan konservasi dan pengelolaan Sasi Laut Raja Ampat dari kantor LSM dan Unit Pelayanan Teknis Kawasan Konservasi Perairan (UPT KKP), dokumen penunjang kekayaan teori, regulasi dan fakta empiris dari dokumen cetak dan elektronik, seperti data Badan Pusat Statistik (BPS), laporan akhir dan jurnal penelitian.

Alat yang digunakan saat wawancara mendalam yaitu panduan pertanyaan mengacu parameter yang ditentukan melalui kajian literatur. Analisis perkembangan pengelolaan berbasis masyarakat (PBM) berdasarkan parameter Ruddle (1999) terkait unsur-unsur pengelolaan yaitu batas wilayah, aturan, hak, pemegang otoritas, sanksi, pemantauan dan evaluasi. Faktor-faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi disintesis dari kajian teoritis dan fakta empiris tulisan Berkes (2000), Alkausar (2011), Khoirunnisak dan Satria (2016). Faktor internal merupakan faktor di dalam masyarakat, berupa; 1) sejarah pengelolaan lokal; 2) pengaruh kepemimpinan dan sosialisasi hukum adat; dan 3) kompleksitas masyarakat yang terdiri dari perkembangan *livelihood* dan identitas etnik, agama, dan perbedaan kepentingan/kebutuhan pribadi. Faktor eksternal merupakan faktor pendorong pelaksanaan di luar masyarakat yaitu; 1) dimensi regulatif; 2) intervensi multipihak; dan 3) globalisasi.

Metode Analisis Data

Data yang diperoleh berupa catatan harian, dokumen, gambar, dan audio-visual, dianalisis dengan tiga alur kegiatan bersamaan yaitu reduksi, penyajian, dan penarikan kesimpulan atau verifikasi data. *Pertama*, tahap reduksi yaitu mengelompokkan data menjadi kelompok-kelompok catatan kategori sesuai tujuan penelitian. *Kedua*, tahap penyajian yaitu menyusun informasi dan data yang dikelompokkan menjadi rangkaian kata-kata, bagan, gambar dan tabel. *Terakhir*, tahap penarikan kesimpulan dari hasil pengolahan data dan dapat dilakukan verifikasi lapangan (Miles dan Huberman, 1992 dalam Idrus, 2009). Ketiganya merupakan kegiatan yang jalin-menjalin dilakukan saat sebelum, selama, dan sesudah pengumpulan data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sasi Laut Folley: Pengelolaan berbasis Masyarakat (PBM)

Sasi merupakan sebuah kelembagaan adat di Maluku hingga Papua yang diterapkan untuk mengatur proses pemanfaatan sumber daya (Soekanto 2002). Terdapat dua macam Sasi yaitu Sasi Darat dan Sasi Laut. Penelitian ini fokus mengkaji Sasi Laut di Kampung Folley. Masyarakat adat mengatur pemanfaatan biota laut seperti teripang (*holothuria scabra*, *holothuria nobilis*, *holothuria fuskogilfa*, dan *thelenota ananas dan bohadschia argus*), kerang batu laga, siput lola, dan lainnya dengan sistem jangka waktu. Dilarang ditangkap saat masa pemeliharaan (Tutup Sasi) dan dimanfaatkan bersama saat masa panen (Buka Sasi). Alat tangkap dan teknis penangkapan juga diatur agar memenuhi standar keberlanjutan. Cooley (1987) menjelaskan Sasi menerapkan aturan dan sanksi adat yang membudaya dan diputuskan oleh para elit setempat.

Bagi masyarakat, Sasi sebagai bentuk menabung sumber daya alam untuk dipanen diwaktu yang tepat. Selain produktivitas maksimal (berukuran besar/dewasa) dan memberikan keuntungan finansial, nilai utama Sasi adalah agar sumber daya dapat terus menjamin kehidupan generasi mendatang. Kebutuhan praktik Sasi semakin kuat karena peningkatan krisis sumber daya dan lingkungan. Sebagai contoh, pengaruh perkembangan teknologi meningkatkan eksploitasi sumber daya dan *illegal fishing* yang merusak. Oleh karena itu, Sasi merupakan bentuk konservasi berbasis masyarakat. Satria (2009) menjelaskan masyarakat Maluku dan Papua memiliki bentuk konservasinya sendiri atau konservasi konstruktivis.

Merujuk analisis *property right*, Ostrom *et al.* (1994) menjelaskan tingkat kekuasaan manusia memanfaatkan sumber daya berdasarkan tingkat *subtractability* dan *excludability*. *Subtractability* merupakan asumsi ketika sumber daya diklaim milik pribadi/kelompok, maka peluang orang lain mengambil manfaat semakin menurun. *Excludability* mengasumsikan kemampuan individu melarang orang lain memanfaatkan suatu sumber daya. Wilayah Sasi Laut Folley termasuk tipe *common-pool resources* berdasarkan teori Ostrom *et al.* (1994) yaitu sumber daya dimiliki bersama oleh sekelompok masyarakat dengan tingkat *subtractability* tinggi tetapi *excludability* rendah. Relevan dengan rezim kepemilikan oleh Bromley (1992), wilayah Sasi Laut Folley termasuk rezim *common property* yaitu dikuasai sekelompok masyarakat. Hak kepemilikan tidak bersifat eksklusif, keputusan dibuat bersama untuk kesejahteraan anggota dan keberlanjutan sumber daya. Ulasan diatas membuktikan Sasi Laut Folley termasuk kategori PBM, relevan dengan definisi Gorris (2016), PBM adalah pengelolaan sumber daya milik bersama menerapkan penatagunaan secara informal berdasarkan pengetahuan lokal/tradisional. Analisis pengelolaan PBM menggunakan enam unsur pengelolaan menurut Ruddle (1999) untuk melihat apakah kelembagaan Sasi Laut dapat memenuhi standar PBM.

Batas Wilayah

Secara turun-temurun, masyarakat telah mengetahui pembagian wilayah adat di Pulau Misool, terutama di Kampung sendiri. Marga Fadimpo dan Moom yang diakui memiliki hak ulayat laut di Kampung Folley, sehingga kedua marga melaksankan kelembagaan Sasi Laut. Luas wilayah adat Marga Fadimpo yaitu dari jembatan dermaga depan kampung kearah timur sepanjang ± 2.5 , dan Marga Moom sepanjang ± 1 km kearah barat. Batas wilayah Sasi Laut diperjelas dengan batas-batas alam. Marga Fadimpo dari Tanjung Vagita, hingga ke Kali Mebel, sedangkan Marga Moom dari jembatan dermaga hingga Teluk Nukari. Pelibatan peran agama kristiani sejak tahun 1976 berkontribusi menambah kejelasan batas wilayah melalui simbol keagamaan, yaitu penancapan papan "Sasi Gereja" di beberapa titik kawasan Sasi.

Sasi Laut termasuk dalam Kawasan Konservasi berdasarkan ketetapan Perbub No 66 tahun 2007 tentang Kawasan Konservasi Laut Daerah (KKLD) Kab. Raja Ampat (kini Kawasan Konservasi Perairan Daerah/KKPD) hingga dikeluarkannya Kepmen KP RI No 36/Kepmen-KP 2014 tentang rencana pengelolaan Kawasan Konservasi Perairan Kepulauan Raja Ampat yang melampirkan Peta Zonasi Jejaring Kawasan Konservasi Perairan Kabupaten Raja Ampat, Provinsi Papua Barat. Wilayah Sasi Laut Folley termasuk dalam Subzona Sasi dan Pemanfaatan Tradisional Masyarakat (Gambar 1).

Hak Kepemilikan

Merujuk analisis kesatuan hak (*bundle of rights*), terdapat lima status kepemilikan berdasarkan hak² yang dimiliki aktor, antara lain *authorized entrant*, merupakan pihak yang hanya memiliki hak akses. *Kedua, authorized user* yaitu memiliki hak akses dan hak pemanfaatan. *Ketiga, claimant*, memiliki hak akses, hak pemanfaatan dan hak pengelolaan. *Keempat, propriertor*, memiliki hak akses, hak pemanfaatan, hak

² Ostrom dan Schlager (1996) menguraikan lima tipe hak, yaitu; 1) Hak akses (*access right*), hak untuk masuk ke wilayah sumber daya, 2) Hak pemanfaatan (*withdrawl right*), hak untuk memanfaatkan sumber daya atau hak berproduksi; 3) Hak pengelolaan (*management right*), hak menentukan aturan operasional pemanfaatan sumber daya; 4) Hak eksklusi (*exclusion right*), hak menentukan pihak mana yang diperbolehkan untuk mengakses; 5) Hak pengalihan (*alienation right*), hak untuk menjual atau menyewakan sumber daya.

Menurut masyarakat, kelembagaan Sasi Laut merupakan kearifan lokal yang telah terbentuk jauh sebelum pemerintahan Raja Ampat berdiri. Tokoh adat sebagai pemimpin dan pembina masyarakat sejak dulu, dipercaya menjadi pemegang otoritas kelembagaan Sasi. Era kini, aktor-aktor lain mulai dilibatkan dalam pengelolaan mengikuti perkembangan zaman. Masyarakat menyebutnya sebagai tiga tungku tak terpisah, yaitu tokoh adat, tokoh agama dan pemerintah. Tabel 1 memetakan aktor-aktor dan peranannya terhadap pengelolaan Sasi Laut.

Tabel 2 Pemetaan Aktor dan Peranan.

Kategori	Aktor/Kelompok	Peranan
Adat	Tokoh Adat	Penginisiasi, pengambil keputusan, dan pemimpin upacara adat
Agama	Pendeta, Majelis	Memberikan saran, melaksanakan prosesi doa gereja, penancangan papan sasi dan mengatur pajak persepuluhan
	Pemuda Gereja	Mambantu kegiatan <i>monitoring</i> , acara Tutup dan Buka Sasi, memanen hasil untuk keperluan bersama.
Pemerintah	Pemerintah Kampung	Memberi saran, menghadiri acara adat, penghubung pihak eksternal, penugasan Babinsa Hansip untuk pengawasan.
	Pemerintah Distrik	Menghadiri upacara adat, penghubung pihak eksternal seperti Pemda, Pusat, serta pihak media promosi.
	Pemerintah Daerah dan Pusat	Menghadiri upacara adat, menugaskan UPT KKP dan LSM TNC untuk pendampingan, mengakui kawasan Sasi Laut dalam KKPD
	UPT KKP	Monitoring kawasan KKPD
LSM	TNC	Mendampingi masyarakat dengan memberikan edukasi keberlanjutan lingkungan, pengetahuan penunjang hasil Sasi, meningkatkan keberdayaan masyarakat, meningkatkan publikasi.
	Fasilitator Kampung	Monitoring, perantara masyarakat dan LSM, fasilitator kegiatan pendidikan lingkungan termasuk Sasi Laut
Masyarakat	Lokal dan pendatang	Mengakui, mematuhi, dan mengawasi pelaksanaan Sasi Laut

Peraturan

Peraturan kelembagaan Sasi Laut terus berkembang mengikuti perkembangan zaman. Peraturan yang ditetapkan dalam praktik Sasi Laut Folley kini adalah sebagai berikut:

1. Penentuan waktu Tutup dan Buka Sasi didasarkan berbagai pertimbangan, seperti ditutup selama satu musim/tahun, dibuka saat hari raya atau peristiwa genting misalnya masa masuk sekolah, pembangunan fasilitas umum, memperhitungkan jumlah serta ukuran biota siap dipanen melalui hasil *monitoring*.
2. Dilarang mengambil biota-biota laut yang sepakat di Sasi dalam jangka waktu yang ditentukan.
3. Pada saat Buka Sasi, masyarakat dilarang berjalan kaki dan memanen hasil dengan tangan kosong. Diwajibkan memakai perahu dan penikam agar tidak merusak karang dan mendapatkan hasil merata.
4. Dilarang menggunakan peralatan merusak, seperti bom dan kompresor baik saat Tutup atau Buka Sasi.
5. Setiap pihak tanpa terkecuali diperbolehkan mengambil hasil saat Buka Sasi, namun dibebankan persepuluhan (pajak amalan 10%) yang akan dipersembahkan untuk gereja. Ini merupakan kepercayaan kaum kristiani tentang kewajiban umat memberikan 10% dari penghasilannya pada gereja.
6. Memberlakukan biaya Rp 100,000 di wilayah adat Moom, dan Rp 200,000 di wilayah Fadimpo bagi perahu pemanen. Pembayaran hanya satu kali untuk Buka Sasi (biasanya 2 minggu). Pajak tersebut dipergunakan untuk kepentingan umum, seperti pembangunan gereja, kegiatan agama, dan lainnya.

Sanksi

Terdapat berbagai golongan sanksi yaitu sanksi adat, agama, sosial, ekonomi, fisik dan formal. Semula sanksi yang berlaku hanya sanksi adat dan sosial. Masyarakat percaya bahwa keberadaan leluhur dapat melindungi kawasan Sasi Laut. Tidak sedikit kasus pelanggaran berdampak buruk pada kesehatan seperti buta, lumpuh, hingga meninggal. Hukuman ini dipercaya datang dari para leluhur karena diluar kendali manusia. Sanksi sosial berupa pelabelan negatif, seperti masyarakat Kampung Wejim, Distrik Kepulauan Sembilan dipandang sebagai kampung pencuri karena banyaknya pelanggaran pada Sasi Laut Folley.

Saat ini telah berlaku sanksi agama, ekonomi, fisik dan seharusnya formal. Hukuman yang irrasional dipercaya juga hadir dari Tuhan. Ketika pihak UPT KKP sedang patroli dan menemukan pelanggaran di wilayah Sasi Laut, maka hanya dikenakan sanksi fisik (*push up*, mengangkat beban berat memutar lapangan) dan penyitaan peralatan oleh pihak berwenang seperti Babinsa, UPT KKP, Hansip, dan Kepolisian (sanksi ekonomi). Proses hukum positif yang berlaku terhadap pelanggaran Sasi belum pernah dilakukan karena beberapa alasan, yaitu belum terdapat petunjuk teknis dan disposisi khusus terkait pengawasan dan sanksi kawasan Sasi Laut, serta keterbatasan akses transportasi menuju pusat pemerintahan untuk memproses pelanggaran.

Monitoring dan Evaluasi

Kegiatan monitoring dilakukan rutin oleh kelompok pemuda gereja/pemuda Sasi, fasilitator kampung dan didampingi oleh LSM TNC. Meskipun ketetapan waktu Tutup Sasi sudah disepakati, namun melalui *monitoring* dapat terlihat hasil Sasi telah mencapai standard siap panen atau sebaliknya. Ada kemungkinan penundaan proses Buka Sasi hingga menunggu teripang siap dipanen. Evaluasi dilaksanakan setelah praktik Buka Sasi selesai dilakukan (biasanya 2 (dua) minggu). Proses evaluasi dilakukan secara bersamaan dengan kegiatan perencanaan Tutup Sasi selanjutnya. Bahan evaluasi berupa pengalaman dari proses Tutup dan Buka Sasi sebelumnya yang menjadi rekomendasi perbaikan bagi pelaksanaan periode selanjutnya.

Dinamika Pengelolaan Sasi Laut di Kampung Folley, Kab. Raja Ampat, Papua Barat

Novaczek *et al.* (2001) yang dikutip Pical (2008) menyatakan Sasi sebagai suatu kelembagaan tidak bersifat statis, namun mengalami perubahan dari waktu ke waktu. Kelembagaan sendiri didefinisikan sebagai nilai-nilai dan norma-norma yang membentuk seperangkat pengaturan masyarakat dalam mengatur perilaku hidup tertib masyarakat terutama dalam proses pemenuhan kebutuhannya. Tulisan ini menguraikan analisis dinamika pengelolaan Sasi Laut Folley berupa perubahan unsur pengelolaan dalam beberapa periode waktu melalui pengkajian momentum-momentum perubahan penting masyarakat, sehingga mendapatkan data komprehensif. Faktor internal dan eksternal yang mempengaruhi menggunakan parameter yang disintesis dari Berkes (2000), Alkausar (2011), Khoirunnisak dan Satria (2016).

Momentum perubahan di Kampung Folley berkaitan dengan perkembangan pembangunan dan kompleksitas masyarakat yang berpengaruh terhadap pengelolaan Sasi Laut hingga kini yang dapat dibagi menjadi enam periode. *Pertama*, Kampung Folley dibangun tahun 1972 setelah migrasi penduduk dari Tanjung Vagita dan Pulau Holl. Masyarakat asli Suku Matbat dan pendatang dari Buton bekerjasama membangun Kampung dalam semua aspek. Sasi Laut masa ini telah dilaksanakan oleh Marga Fadimpo Suku Matbat dan masih murni berdasarkan pengetahuan adat yang diturunkan nenek moyang. Faktor internal berperan dalam masa ini, yaitu sejarah pengelolaan lokal, pengaruh pemimpin dan hukum adat, serta homogenitas.

Kedua, mayoritas masyarakat telah menganut agama dan Suku Matbat beragama kristiani. Tahun 1976, dibangun gereja pertama yang memperkokoh keimanan, karena ibadah menjadi rutin dan semua kegiatan melibatkan peran agama, termasuk Sasi. Masyarakat percaya tidak hanya leluhur yang menjaga keselamatan masyarakat dan sumber dayanya, namun Tuhan sang pencipta. Oleh karena itu, peran adat dan agama mulai berdamping dalam praktik Sasi Laut, diantaranya; 1) menambah prosesi berdoa bersama dipimpin

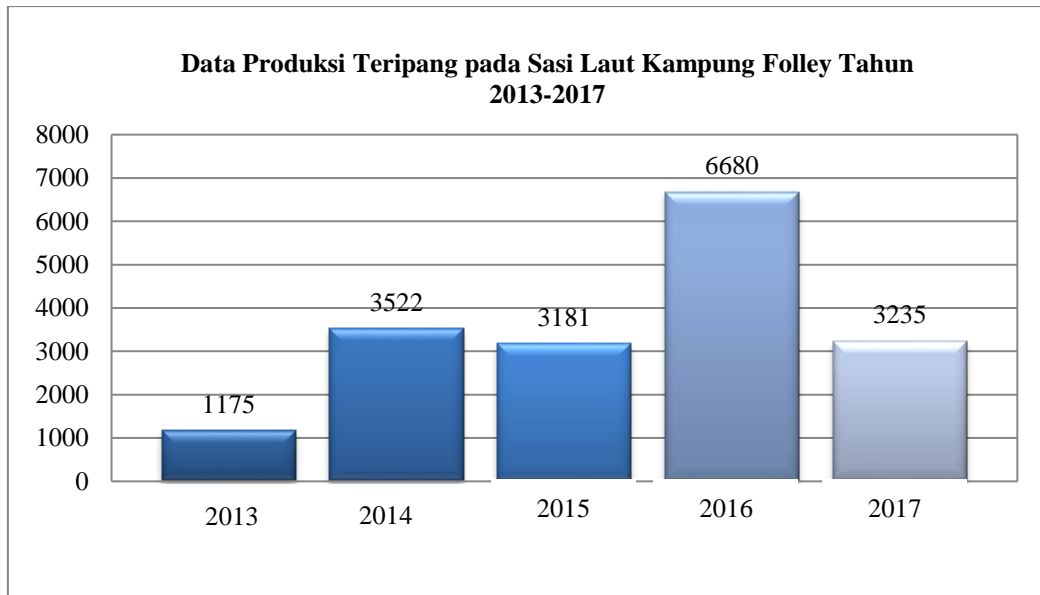
pendeta/majelis pada ibadah besar minggu; 2) ketentuan persepuluhan, dan; 3) pelibatan panitia gereja. Dapat dianalisis faktor yang mempengaruhi adalah kompleksitas keyakinan masyarakat (adat dan agama).

Ketiga, tahun 1980an merupakan momentum semakin kompleksnya masyarakat. Perpindahan penduduk mulai meningkat akibat faktor perkawinan, pekerjaan dan intervensi program pemerintah yaitu perkebunan, pembangunan sekolah, dan sebagainya. Keberagaman identitas masyarakat meningkat, seperti bertambahnya tiga marga dari suku Matbat, yaitu Marga Faloy, Marga Mjam, dan Marga Mlui yang mayoritas karena perkawinan. Program internalisasi perkebunan dari pemerintah daerah tahun 1982, banyak membawa pekerja dari Maluku, Jawa, dan Bugis. Realitasnya, momentum ini tidak berpengaruh signifikan terhadap perubahan pengelolaan Sasi Laut. Pendatang tidak dilibatkan dalam pengelolaan, namun diperbolehkan ikut memanfaatkan hasil saat Buka Sasi. Disamping itu, mayoritas pendatang dari luar Papua bertujuan untuk bekerja formal atau memilih bercocok tanam memanfaatkan daratan rendah Kampung Folley yang luas dan subur. Keterbatasan skill dan sarana melaut juga membatasi pendatang tidak melakukan kegiatan di laut, sehingga praktik Sasi Laut tidak menjadi penghalang bagi pendatang mencari nafkah.

Keempat, tahun 1991 momentum diresmikan Kampung Folley sebagai desa administratif. Pemerintah bertanggung jawab terhadap seluruh kegiatan masyarakat, meskipun pada pengelolaan Sasi tidak berwenang sebagai pengambil keputusan. Peran pemerintah yaitu menyetujui, menghadiri dan mengawasi pelaksanaan, serta penghubung pihak eksternal (pemerintah daerah, pusat dan pembeli hasil). Transformasi kampung terpencil menjadi desa membuka jalan pengembangan teknologi, seperti mesin listrik, mesin kapal, lampu penerang, dan berbagai alat tangkap. Teknologi dapat memudahkan aktivitas masyarakat, namun di sisi lain beberapa pihak melakukan kegiatan perikanan tangkap merusak seperti pemboman liar. Pengembangan peraturan dilakukan masyarakat untuk memanfaatkan intervensi teknologi sekaligus meminimalisir kerusakan. Pemanen Sasi Laut dilarang mengambil biota dengan tangan dan berjalan kaki diatas karang, wajib mengendarai perahu dan alat penikam untuk mengurangi kerusakan karang dan distribusi hasil merata.

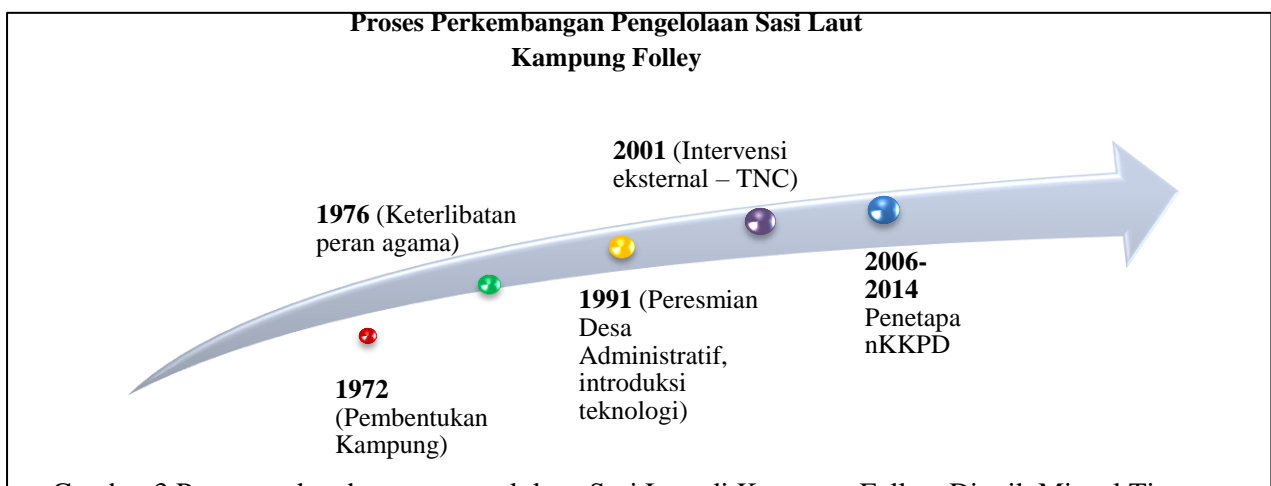
Kelima, tahun 2001 menjadi momentum perubahan yang signifikan pengelolaan Sasi karena faktor intervensi pihak eksternal yang bertujuan memperluas pendidikan lingkungan. LSM TNC hadir melakukan pendampingan masyarakat hingga saat ini. TNC membentuk fasilitator kampung yang dilatih menjadi pelopor kegiatan pelestarian lingkungan, inovasi pertanian dan perikanan, hingga membantu pengelolaan Sasi Laut mulai tahun 2010. TNC memberikan pengetahuan ilmiah yang menunjang produktivitas Sasi Laut dan dapat membuat pengetahuan lokal dan ilmiah diaplikasikan bersamaan. Masa ini mengubah unsur batas wilayah, peraturan dan monitoring. Sebelumnya, hanya marga Fadimpo yang melaksanakan kegiatan Sasi. Mulai tahun 2012, Marga Moom turut melaksanakan Sasi Laut di wilayah adatnya karena terpacu dengan peningkatan signifikan hasil produksi Sasi Laut marga Fadimpo, serta kebutuhan revitalisasi wilayah. Pada unsur peraturan, TNC menyarankan batas ukuran minimal teripang mencapai 15 cm (teripang dewasa) untuk mengurangi resiko kegagalan Buka Sasi periode berikutnya dan kepunahan sumber daya. TNC juga memfasilitasi kebutuhan sarana monitoring dan melaksanakan monitoring rutin bersama masyarakat.

Terakhir, tahun 2006-2014 perubahan dilatarbelakangi faktor eksternal dimensi regulasi dan pengakuan formal, yaitu momentum penetapan KKPD di Raja Ampat. UPT KKP dibentuk untuk mengelola program dan keuangan KKPD. Salah satu kegiatan utama adalah melakukan patroli kawasan, termasuk kawasan Sasi. Bantuan monitoring yang dilakukan sedikit membantu masyarakat meminimalisir pelanggaran. Pengakuan yang sah kawasan Sasi di ranah hukum, memperlebar pemberlakuan sanksi yaitu sanksi ekonomi, fisik dan bisa masuk ke sanksi formal. Dua periode terakhir memberikan dampak cukup signifikan terhadap hasil produksi. Unsur yang paling berpengaruh yaitu monitoring kawasan dan penambahan pemberlakuan sanksi yang meminimalisir pelanggaran Sasi. Gambar 2 menunjukkan produktivitas teripang hasil penerapan Sasi Laut Folley dari tahun 2003-2017.



Gambar 2 Data Produktivitas Teripang Hasil Penerapan Sasi Laut di Kampung Folley tahun 2013-2017 menurut Laporan TNC (2017).

Data grafik diatas menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan produksi teripang dari tahun 2013-2017. Pelebaran ilmu pengetahuan ilmiah dan lokal setelah masuknya pendampingan TNC, seperti Buka Sasi dilakukan mempertimbangkan hasil produksi maksimal, rata-rata ukuran teripang mencapai 15 cm. Bantuan fasilitas monitoring dari TNC dan UPT KKP serta sanksi fisik dan ekonomi bagi pelanggar oleh pihak berwenang. Pada tahun 2017, produktivitas mengalami penurunan akibat intensitas monitoring mulai menurun. Masyarakat cenderung bergantung pada bantuan sarana monitoring pihak eksternal. Diperlukan peningkatan kemandirian masyarakat pada unsur ini agar produksi Sasi Laut tetap stabil meskipun pendampingan telah selesai dilaksanakan. Pengelolaan keuangan hasil pajak Buka Sasi sebagian dapat dianggarkan untuk kegiatan monitoring. Gambar 3 menjelaskan secara ringkas perubahan unsur-unsur pengelolaan serta faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan berdasarkan momentum-momentum penting dalam masyarakat.



Gambar 3 Proses perkembangan pengelolaan Sasi Laut di Kampung Folley, Distrik Misool Timur, Kabupaten Raja Ampat, Provinsi Papua Barat.

Keterangan Perubahan:

- Murni pengetahuan adat.
Faktor : sejarah pengelolaan lokal, pengaruh pemimpin dan hukum adat, serta homogenitas.
- Unsur : otoritas pelibatan tokoh agama, peraturan persepuluhan, sanksi agama.
Faktor : kompleksitas masyarakat.
- Unsur : otoritas Pemerintah Kampung, peraturan alat dan teknik memanen.
Faktor : dimensi regulatif dan globalisasi
- Unsur : otoritas TNC, perluasan wilayah, peraturan waktu dan ukuran biota, peningkatan monitoring.
Faktor : intervensi multi pihak
- Unsur : otoritas pihak berwenang, monitoring UPT KKP, sanksi (fisik, ekonomi), hak *Claimant*.
Faktor : Dimensi regulatif dan pengakuan formal

Gambar 3 menunjukkan hanya lima momentum perubahan yang berkenaan langsung dengan dinamika pengelolaan Sasi Laut. Masuknya pendatang tidak berpengaruh secara signifikan terhadap pengelolaan. Masyarakat lokal dan pendatang saling menghargai dan tidak merugikan satu sama lain.

Penguatan Pengelolaan Sasi Laut Folley

Proses perubahan pengelolaan Sasi Laut dalam setiap periode memiliki dua kemungkinan yaitu kemajuan atau kemunduran. Analisis sekunder beberapa kasus menunjukkan hal tersebut, sebagai contoh penetapan regulasi pengakuan formal bagi sumber daya milik adat sangat diperlukan untuk mencapai keadilan distribusi (*distributive justice*) dan keadilan pengakuan (*justice of recognition*) agar terhindar dari berbagai gangguan eksternal merugikan. Tanpa adanya pengakuan hak tradisional resmi, masyarakat lambat laun bisa termarginalisasi dari wilayah adatnya (Satria, 2009). Kasus lain menunjukkan sisi berbeda, merujuk Satria (2009) sepanjang rezim sentralisme, pemerintah memiliki kekuasaan mutlak mengatur pengelolaan. Tak jarang sumber daya dikelola dengan tujuan pragmatis menjaga pelestarian lingkungan, dan menciptakan penerimaan bagi negara, namun kurang memperhatikan bagian masyarakat.

Masa awal pengelolaan Sasi yang dibatasi pada awal pembentukan Kampung tahun 1972 menghimpun masyarakat yang homogen. Mayoritas Suku Matbat yang memegang erat budaya Sasi sejak dulu. Sosok pemimpin yang terus menginisiasi penerapan Sasi, menjadikan Sasi tidak ditinggalkan meskipun masyarakat pindah dari satu wilayah ke wilayah lain. Masa perkembangan pendidikan dan fasilitas agama menyebabkan internalisasi peran agama dalam pengelolaan. Penambahan doa dan sanksi agama menjadikan masyarakat semakin patuh terhadap aturan Sasi, artinya intervensi agama memperkuat pengelolaan. Namun, meski sedikit juga berpengaruh melemahkan praktik adat. Beberapa sarana adat mulai ditinggalkan, seperti pakaian adat cawat saat kegiatan berdoa.

Kompleksitas masyarakat meningkat di tahun 1980an, terutama perbedaan etnisitas dan pilihan kegiatan ekonomi. Banyaknya migrasi dari luar Papua menjadikan masyarakat kurang memahami kelembagaan Sasi. Hal ini dapat meningkatkan resiko pelanggaran Sasi akibat ketidaktahuan ataupun penolakan. Realitasnya perbedaan identitas tidak berpengaruh signifikan melemahkan pengelolaan, karena mayoritas pendatang dari luar Papua tidak bekerja di sektor perikanan tangkap, sehingga resiko pelanggaran dan penolakan menjadi rendah. Meningkatnya pilihan mata pencaharian sektor perkebunan, pertanian, pekerjaan formal, dan perikanan tidak menyurutkan semangat penerapan Sasi Laut oleh masyarakat, karena pada dasarnya Sasi Laut tidak mengganggu kegiatan sehari-hari masyarakat.

Pemerintah Kampung Folley yang diresmikan tahun 1991 turut berkontribusi menguatkan pengelolaan. Peran pemerintah menyetujui, ikut mengawasi dan menghubungkan dengan pemerintah pusat dan pembeli hasil, membantu mendorong kesuksesan praktik Sasi Laut. Disisi lain, perkembangan teknologi yang terintegrasi pengembangan desa membuka celah oknum untuk melanggar peraturan Sasi Laut, seperti mencuri

hasil saat Tutup Sasi menggunakan alat bantu kompresor dan alat lainnya. Pelemahan pengelolaan ini diatasi masyarakat adat dengan menambah peraturan terkait sarana dan teknik panen ramah lingkungan.

Kepercayaan pemerintah pusat dan daerah kepada LSM TNC dalam mendampingi masyarakat berhasil menciptakan peleburan pengetahuan lokal dan ilmiah yang menguatkan pengelolaan Sasi Laut mulai tahun 2010. Sebagai contoh, pertimbangan jangka waktu Tutup Sasi sebelumnya mengikuti perhitungan musim atau kebutuhan mendesak masyarakat. Dekade terakhir, waktu Tutup dan Buka Sasi juga mempertimbangkan hasil produksi maksimal melalui proses monitoring rutin. Pelaksanaan monitoring juga bertujuan menangkap pelanggar/pencuri hasil, sehingga kegagalan Buka Sasi terminimalisir. Merujuk berkembangnya publikasi media massa inisiasi TNC, perlu dipertimbangkan terbukanya pengembangan wisata dan resiko komodifikasi budaya yang akhirnya dapat melemahkan nilai dasar pengelolaan Sasi Laut.

Pengakuan formal dari pemerintah melalui KKPD menjadi satu hal terpenting dalam menguatkan pengelolaan, karena; 1) meminimalisir resiko pengalihan fungsi wilayah atau perampasan hak ulayat masyarakat; 2) mendorong intervensi dukungan eksternal (TNC, pemerintah, UPT KKP) yang turut membantu mensukseskan pengelolaan. Uraian diatas menunjukkan perubahan unsur-unsur pengelolaan berpengaruh pada pelemahan atau penguatan pengelolaan. Tabel 3 menjelaskan dinamika pengelolaan secara komprehensif.

Tabel 3 Dinamika Pengelolaan Sasi Laut Kampung Folley, Distrik Misool Timur, Kabupaten Raja Ampat, Provinsi papua Barat.

Momentum	Faktor Perubahan	Perubahan Unsur	Pelemahan	Penguatan
1972 (pembangunan kampung)	Internal <ul style="list-style-type: none"> • Sejarah • Homogenitas • Kepemimpinan dan hukum adat 	Murni pengetahuan adat.		Hukum adat serta kepemimpinan mendorong Sasi
1976 (Perkembangan peranan Agama)	Eksternal <ul style="list-style-type: none"> • Kompleksitas masyarakat 	Otoritas tokoh agama, peraturan persepuluhan, sanksi agama	Sarana adat sebagian ditinggalkan	Peran dan sanksi agama memperkokoh pengelolaan
1980 (Perkawinan antar etnik dan migrasi)	Internal <ul style="list-style-type: none"> • Kompleksitas Masyarakat (multi etnik, agama dan mata pencaharian) 	Peraturan memperbolehkan marga, agama dan etnik lain memanfaatkan.	Memungkinkan resiko pelanggaran Sasi	Mayoritas pendatang menghargai dan mematuhi Sasi Laut.
1991 (Adms Kamp. Folley, introduksi teknologi)	Eksternal <ul style="list-style-type: none"> • Dimensi regulatif • Globalisasi (teknologi) 	Otoritas pemerintah kampung, peraturan alat dan teknik memanen.	Meningkatkan resiko pelanggaran Sasi (alat merusak)	Dukungan Pemerintah, Penggunaan API ramah lingkungan.
2001 (intervensi eksternal)	Eksternal <ul style="list-style-type: none"> • Intervensi pihak TNC. 	Otoritas TNC, perluasan wilayah, peraturan waktu dan ukuran biota, peningkatan monitoring.	Memungkinkan keterbukaan wisata dan komodifikasi budaya	Dukungan TNC (bantuan sarana, promosi, transfer IP ilmiah, minim pelanggaran)
2006-2014 Penetapan KKPD	Eksternal <ul style="list-style-type: none"> • Dimensi regulatif dan pengakuan formal • Intervensi pihak UPT KKP. 	Otoritas pihak berwenang, monitoring UPT KKP, sanksi (fisik, ekonomi, formal), pengakuan hak <i>Claimant</i> .		Pengakuan hak adat meminimalisir pengalihfungsian wilayah dan pelanggaran Sasi Laut.

Tabel 3 menunjukkan proses perkembangan pengelolaan Sasi Laut Folley berpengaruh terhadap penguatan dan pelamahan pengelolaan, namun praktik sosial yang melemahkan tidak berpengaruh signifikan terhadap

hasil produksi dan dapat diorganisir melalui revitalisasi unsur-unsur pengelolaan oleh masyarakat. Hasil penelitian menunjukkan dinamika pengelolaan Sasi Laut Folley mengarah pada penguatan pengelolaan.

SIMPULAN

Pengelolaan Sasi laut Kampung Folley merupakan salah satu bentuk pengelolaan sumber daya berbasis masyarakat dan memuat enam unsur pengelolaan sumber daya berbasis masyarakat, yaitu memiliki batas wilayah yang jelas, hak kepemilikan untuk mengelola dan menentukan peruntukan wilayah, pemegang otoritas oleh tokoh adat, peraturan yang dibuat secara mandiri, sanksi yang berlaku, serta menjalankan monitoring dan evaluasi.

Terdapat lima periode masa yang mempengaruhi perkembangan pengelolaan Sasi Laut, terutama pada batas wilayah, hak, peraturan dan monitoring. Faktor yang melatarbelakangi adalah faktor internal sejarah pengelolaan Sasi dan homogenitas masyarakat Matbat, kekuatan pemimpin dan hukum adat, serta kompleksitas identitas dan ekonomi. Faktor eksternal yaitu regulasi Kawasan Konservasi, regulasi penetapan desa dan penyaluran program, intervensi peran *stakeholders* eksternal serta globalisasi melalui introduksi teknologi dan pendidikan. Perubahan dapat diorganisir dengan baik oleh masyarakat lokal dibantu peran multipihak, sehingga dinamika pengelolaan dapat menjadi input terhadap penguatan pengelolaan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Riset dan Teknologi / Badan Riset dan Inovasi Nasional Republik Indonesia atas sumbangan dana penelitian melalui beasiswa Program Magister menuju Doktor untuk Sarjana Unggul (PMDSU) berdasarkan Surat Keputusan Nomor 25/E/KPT/2018 dan Perjanjian / Kontrak Nomor 4393/IT3.11/PN/2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2017. *Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir 2017*. [diunduh pada 2018 Juli 20]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/publication/2017/12/21/c2451f58814e91d71124d541/statistik-sumber-daya-laut-dan-pesisir-2017.html>.
- [BPS] Badan Pusat Statistik. 2018. *Statistik Sumber Daya Laut dan Pesisir 2018*. [diunduh pada 2018 Juli 20]. Tersedia pada: <https://www.bps.go.id/publication/2018/12/07/93a0fd8885fe2ac14201e71a/statistik-sumber-daya-laut-dan-pesisir-2018.html>.
- [KKP] Kementerian Kelautan dan Perikanan. 2015. *Laporan Kinerja Kementerian Kelautan dan Perikanan*. [diunduh pada 2018 Juli 20]. Tersedia pada: https://www.google.com/url?q=http://kkp.go.id/kategori/179LAKIP%20KKP&sa=U&ved=0ahUKEwj q4L7nyNLaAhXCa7wKHdPmB_oQFggcMAE&usg=AOvVaw0DhxO29wss1dJWBKpr1LgD.
- [TNC] The Nature Conservancy. 2017. Implementasi “Sasi Laut” di Kampung Folley - Raja Ampat. *Indonesia Coastal and Ocean Program Report*. 17.
- Alkausar A. 2011. *Model Keterancaman Ritual Mappandesasi Dalam Masyarakat Nelayan Etnik Mandar Kelurahan Bungkutoko Sulawesi Tenggara* [Tesis]. Denpasar (ID): Universitas Program Pascasarjana Universitas Udayana Denpasar.
- Berkes F. 2000. *Cross-Scale Institutional Linkages: Perspectives from the Bottom Up*. IASCP. Conference Indiana University.
- Bromley DW. 1992. *Making The Commons Work*. (Ed). San Francisco (CA): Institute for Contemporary Studies.
- Cooley FL. 1987. *Mimbar dan Tahta Hubungan Lembaga-Lembaga Keagamaan dan Pemerintahan di Maluku Tengah*. Jakarta (ID): Pustaka Sinar Harapan.

- Creswell JW. 2016. *Research Design Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*. Fawaid A, Pancasari RK, penerjemah. Yogyakarta (ID): Pustaka Pelajar Yogyakarta.
- Dahuri R. 2003. *Keanekaragaman Hayati Laut. Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. Jakarta (ID): PT Gramedia Pustaka Utama.
- Gorris P. 2016. Deconstructing the Reality of Community Based Management of Marine Resources in a Small Island Context in Indonesia.. *Front. Mar. Sci.* 3 (120): 1-15.
- Horowitz LS. 2015. *Local Environmental Knowledge* dalam *The Routledge Handbook of Political Ecology*. Perreault T, Bridge G, McCarthy (ed). London (UK): Routledge.
- Idrus M. 2009. *Metode penelitian Ilmu Sosial*. Yogyakarta (ID): PT. Gelora Akasara Pratama.
- Khoirunisak, Satria A. 2016. Kelembagaan dan keberlanjutan eha laut dan mene'e sebagai model pengelolaan sumberdaya pesisir berbasis masyarakat di Desa Kakorotan, Kecamatan Nanusa, Kabupaten Kepulauan Talaud, Provinsi Sulawesi Utara. *Sodality: Jurnal Sosiologi Pedesaan*. 23-37.
- Mongabay. 2015. *Sasi, Konservasi berbasis Kearifan Lokal di Raja Ampat*. [diunduh pada 2018 Januari 11]. Tersedia pada: <http://www.mongabay.co.id/2015/07/12/sasi-konservasi-berbasis-kearifan-lokal-di-raja-ampat/>.
- Mongabay. 2017. *Terumbu Karang di Nusantara Membaik, Namun*. [diunduh pada 2018 Februari 28]. <https://www.mongabay.co.id/2017/07/17/terumbu-karang-di-nusantara-membaik-namun/>.
- Noviana L, Arifin HS, Adrianto L, Kholil. 2019. Studi ekosistem terumbu karang di Taman Nasional Kepulauan Seribu. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 9(2): 352-365. [Internet]. [diunduh pada 2019 November 23]. Tersedia pada: <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.9.2.352-365>.
- Ostrom E, Gardner R. Walker J. 1994. *Rules, Games, and Common-Pool Resources*. Ann Arbor (US): University of Michigan Press.
- Ostrom E, Schlager E. 1996. The Formation of Property Rights in Hanna S, Folke C, Mäler KG. 1996. *Rights to Nature: Ecological, Economic, Cultural, and Political Principles of Institutions for the Environment* [Editor]. Washington DC (USA): Island Press.
- Ostrom E. 1990. *Governing the commons: the evolution of institutions for collective actions*. Cambridge (US): Cambridge University Press.
- Pical VJ. 2008. Pengaruh perubahan sistim pemerintahan desa terhadap pengelolaan sumber daya perikanan berbasis masyarakat di Pedesaan Maluku. *Ichthyos*. 7(2): 71-78.
- Ruddel K. 1999. The role of lokal management and knowledge systems in small-scale fisheries. *The Journal of Policy Studies*. 7: 101-108.
- Satria A. 2009. *Pesisir dan Laut untuk Rakyat*. Bogor (ID): IPB Press.
- Soekanto S. 2002. *Sosiologi: Suatu Pengantar*. Jakarta (ID): Raja Persada.
- Sugiyono. 2013. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung (ID): Alfabeta.
- Sztompka P. 2004. *Sosiologi Perubahan Sosial*. Jakarta (ID): Prenada Media
- Wahyuningsih SM, Anggoro S, Hartoko A. 2019. Evaluasi Efektifitas Pengawasan dalam Pengelolaan Kawasan Konservasi di Pulau Menjangan, Bali. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 9(2): 264-275.



Keragaman genetik mimi (*Carcinoscorpius rotundicauda* dan *Tachypleus gigas*) di perairan Demak, Madura dan Balikpapan berdasarkan penanda *Random Amplified Polymorphic DNA*

Genetic diversity of horseshoe crabs (*Carcinoscorpius rotundicauda* and *Tachypleus gigas*) in Demak, Madura and Balikpapan waters based on Random Amplified Polymorphic DNA marker

Naila K. Aini^a, Ali Mashar^b, Hawis H. Madduppa^c, Yusli Wardiatno^{bd}

^a Mahasiswa Pascasarjana Prodi Pengelolaan Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia [+62 82213739330]

^b Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^c Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

^d Pusat Penelitian Lingkungan Hidup, Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Darmaga Bogor, 16680, Indonesia

Article Info:

Received: 12 - 03 - 2020

Accepted: 31 - 03 - 2020

Keywords:

Adaptation capability, heterozygosity, Limulidae, Xiphosura

Corresponding Author:

Yusli Wardiatno
Departemen Manajemen
Sumberdaya Perairan, Fakultas
Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Institut Pertanian Bogor;
Tel. +628128608966
Email:
yusli@apps.ipb.ac.id

Abstract. *Horseshoe crab is an exotic and protected marine organism in Indonesia and is considered as the living fossil animal in the world. IUCN conservation status of *Carcinoscorpius rotundicauda* and *Tachypleus gigas* is still Data Deficient, and in Indonesia research on genetic population is lacking, if any. This study aims to reveal genetic diversity of *C. rotundicauda* and *T. gigas* populations in northern (Demak and Madura) and Balikpapan waters. This research was conducted by using molecular analysis with genetic markers Random Amplified Polymorphic DNA (RAPD). The primers used in this study were OPB 06, OPG 10, and OPX 03. The results showed that the highest polymorphism of *C. rotundicauda* was found in Demak (74.6667%) and heterozygosity was 0.2669. Furthermore, *T. gigas* had the highest polymorphism in Madura (74.3590%) and heterozygosity was 0.25551. Based on pairwise comparison tests, populations of *C. rotundicauda* and *T. gigas* in Demak, Madura, and Balikpapan were significantly different ($p < 0.05$). The difference is believed due to the limitation movement of horseshoe crabs from and into the three locations, as well as the presence of natural geographic barrier. Thus, it can be concluded that horseshoe crabs in northern Java and Balikpapan waters has different genetic diversity. Genetically, horseshoe crab in northern Java or Balikpapan had relatively moderate diversity and low adaptation capability.*

How to cite (CSE Style 8th Edition):

Aini NK, Mashar A, Madduppa HH, Wardiatno Y. 2020. Studi awal pada keragaman genetik mimi (*Carcinoscorpius rotundicauda* dan *Tachypleus gigas*) di perairan Demak, Madura dan Balikpapan berdasarkan penanda Random Amplified Polymorphic DNA. *JPSL* 10(1): 124-137. <http://dx.doi.org/10.29244/jpsl.10.1.124-137>.

PENDAHULUAN

Mimi atau belangkas (*horseshoe crab*) merupakan salah satu hewan yang berasal dari famili Limulidae. Mimi adalah biota perairan yang eksotik dan merupakan salah satu *living fossil animal* yang ada di dunia (Eldredge dan Stanley, 1984). Hewan ini ditemukan sejak zaman Paleozolitikum periode Ordovician dan diduga nenek moyangnya berasal dari zaman Mesozolitikum. Hingga saat ini, di dunia terdapat empat jenis mimi. *Carcinoscorpius rotundicauda* (Latreille, 1802), *Tachypleus gigas* (Müller, 1785), dan *Tachypleus tridentatus* (Leach, 1819) ditemukan hidup di sekitar kawasan pantai Asia termasuk Indonesia dan biasa disebut dengan *Asian horseshoe crab*. Selanjutnya, *Limulus polyphemus* atau biasa dikenal sebagai *Atlantic horseshoe crab* hanya ditemukan di pantai Atlantik Amerika Utara (Walls *et al.*, 2002).

Mimi adalah hewan yang dilindungi di Indonesia, namun penelitian terhadap hewan ini tidak sebanyak hewan yang dilindungi lainnya, misalnya seperti penyu (Ismane *et al.*, 2018) atau gajah Sumatera (Febryano dan Rusita, 2018). Status konservasi setiap jenis mimi berbeda satu sama lain. Jenis *C. rotundicauda* dan *T. gigas* berstatus konservasi *data deficient* (World Conservation Monitoring Centre 1996a). Makna dari status tersebut adalah informasi yang ada saat ini belum memadai untuk menentukan resiko kepunahan dari kedua jenis mimi ini. *T. tridentatus* mempunyai status perlindungan *endangered* (EN) atau terancam punah (Laurie *et al.*, 2019). Status konservasi *T. tridentatus* diperbarui pada bulan April 2019, status konservasi sebelumnya adalah *data deficient* (World Conservation Monitoring Centre, 1996b). Mimi jenis *L. polyphemus* mempunyai status IUCN *lower risk / near threatened* atau rentan (Smith *et al.*, 2016).

Mimi mempunyai persebaran yang luas. Persebaran mimi terbagi menjadi dua wilayah yang besar yaitu di wilayah Atlantik Utara dan Asia. Persebaran mimi di Atlantik Utara terdapat di sepanjang pantai Atlantik dan Teluk Mexico dengan kelimpahan terbesar dapat ditemukan di antara Virginia dan New Jersey (Shuster, 1982). Persebaran mimi di wilayah perairan Asia mulai dari India hingga Jepang termasuk sekitar Indonesia dan Filipina (Walls *et al.*, 2002). Persebaran mimi di perairan berkaitan dengan kondisi arus dan fase larva (planktonik) (Shanks, 2009). Mimi dewasa cenderung akan melakukan migrasi ke pantai untuk proses pemijahan dan meletakkan telur. Telur tersebut akan menetas setelah masa inkubasi selama kurang lebih dua hingga empat minggu (Sekiguchi *et al.*, 1982). Setelah menetas menjadi larva, mimi akan bergerak menuju ke perairan terbuka untuk tumbuh dan berkembang. Larva mimi akan berenang bebas kurang lebih selama enam hari sebelum menetap (*settle*) di dasar perairan. Kondisi lingkungan perairan menentukan pergerakan larva mimi sebelum akhirnya menetap di dasar wilayah lokasi tertentu. Keterkaitan antara populasi di lokasi satu dengan lainnya dapat diketahui melalui penanda genetik.

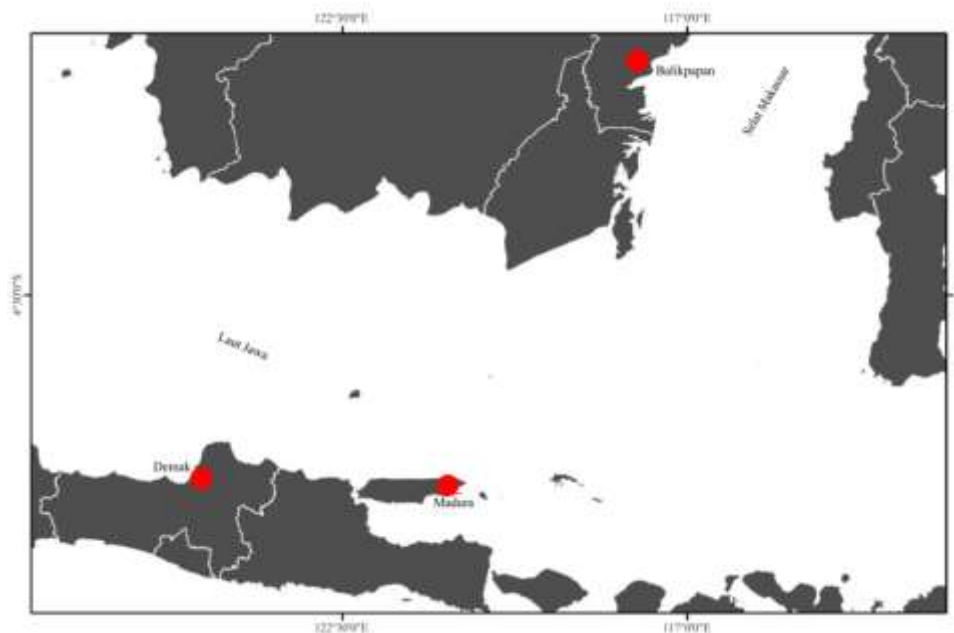
Penanda genetik merupakan urutan DNA yang dapat diwariskan dari satu generasi ke generasi berikutnya. Urutan basa nukleotida yang beragam antar spesies dapat digunakan sebagai penanda spesifik yang memberikan pengetahuan mengenai hubungan filogenetik untuk mengatasi keraguan dalam sistematika. Penanda genetik *Random Amplified Polymorphic DNA* (RAPD) merupakan amplifikasi genom DNA berdasarkan teknik PCR (Williams *et al.*, 1990). Analisis ini menggunakan primer tunggal dengan panjang urutan basa nukleotida sebanyak 10 basa. Analisis RAPD digunakan untuk melihat keragaman genetik berdasarkan tingkat polimorfisme. Ruas penempelan dengan perbedaan panjang fragmen DNA diasumsikan mengikuti pola pewarisan Mendel (Chauhan dan Rajiv, 2010). RAPD DNA *fingerprint* dapat memberikan penjelasan secara global jumlah urutan DNA dalam suatu populasi, walaupun terbatas oleh sifat anomin dari poliorfisme genetik yang diperoleh. Penanda RAPD mempunyai kelebihan tidak memerlukan informasi urutan basa nukleotida untuk melakukan pembacaan (Iyengar *et al.*, 2000; Nebauer *et al.*, 2000). Teknik ini lebih murah dan cepat untuk dilakukan. Kekurangan dari RAPD yaitu belum mampu membedakan antara lokus homozigot dan heterozigot sehingga memerlukan analisis urutan basa nukleotida dengan teknik yang beresolusi tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengungkap keragaman genetik pada populasi mimi jenis *C. rotundicauda* dan *T. gigas* di perairan Demak, Madura, dan Balikpapan.

Pemilihan lokasi tersebut berdasarkan pada dua pertimbangan. Pertama pesisir Balikpapan mewakili lokasi habitat mimi dengan kondisi ekosistem mangrove yang masih baik. Selain itu, mimi yang ditemukan di Balikpapan mempunyai ukuran yang lebih besar (Hery Seputro dari Dinas Pangan Pertanian dan Perikanan Kota Balikpapan, komunikasi pribadi 2019). Mangrove di Balikpapan terdapat di Kelurahan Teritip dengan luasan ± 61.35 ha (Noor dan Helminuddin, 2009). Mimi yang ditemukan sekitar pesisir utara Jawa mempunyai ukuran yang lebih kecil jika dibandingkan dengan mimi yang berasal dari pesisir Balikpapan (Mashar *et al.*, 2017). Kedua, sebagai pembanding dipilih lokasi pesisir utara Jawa khususnya Demak dan Madura sebagai ekosistem dengan kondisi sudah banyak terjadi kerusakan (Faturrohmah dan Majuki, 2017), tetapi masih terdapat ekosistem mangrove walaupun tidak sebaik di Balikpapan. Luasan mangrove di Demak (daerah Betahwalang) mencapai 37.41 ha (Faturrohmah, 2017) sedangkan di Madura (daerah Kalianget, Sumenep) adalah 39.4 ha (Muhsoni *et al.*, 2011). Selain itu tekanan penangkapan terhadap sumberdaya mimi di kedua daerah tersebut cukup tinggi.

METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan April hingga Desember 2019 di Laboratorium Biologi Molekuler, Departemen Manajemen Sumberdaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor. Pengambilan sampel dilakukan di tiga lokasi yaitu Demak (daerah Betahwalang), Madura (daerah Kalianget, Sumenep), dan Balikpapan (Gambar 1).



Gambar 1 Peta lokasi penelitian yang memperlihatkan titik pengambilan contoh kedua jenis mimi (bulatan merah), yakni *C. rotundicauda* dan *T. gigas*.

Metode Pengumpulan Data

Pengambilan contoh dilakukan dengan menggunakan teknik acak sederhana. Contoh mimi didapatkan dari jaring yang dijalankan oleh kapal nelayan atau diambil menggunakan tangan secara langsung. Contoh yang diambil adalah mimi jenis *C. rotundicauda* dan *T. gigas*. Dilakukan pengukuran mimi contoh yang didapatkan dalam kondisi hidup diambil darahnya masing-masing sebanyak 1 mL kemudian ditambahkan ke dalam tube berukuran 2 mL yang telah berisi alkohol *absolute* (100%) sebanyak 1 mL (Dillon *et al.*, 1996; Quicke *et al.*, 1999).

Ekstraksi DNA

Sampel darah yang berasal dari Demak, Madura, dan Balikpapan akan diisolasi dan diekstraksi, tetapi sebelumnya dilakukan pencucian terlebih dahulu untuk menghilangkan kandungan alkohol yang digunakan sebagai pengawetnya. Tahap pencucian dilakukan dengan menggunakan akuades. Sampel darah sebanyak 400-500 μL dipindahkan ke dalam *microtube* 1.5 ml kemudian disentrifius selama 1.5 menit dengan kecepatan 14000 rpm. Supernatan dihilangkan dan setiap tube diisi dengan akuades sebanyak 400 μL dan disentrifius. Pencucian dilakukan sebanyak tiga kali. Setelah itu dilakukan isolasi dan diekstraksi untuk memperoleh total genom sesuai dengan arahan protokol GeneAID Kit.

Amplifikasi PCR (*Polymerase Chain Reaction*) dengan metode RAPD

Screening 13 jenis primer dilakukan sebagai tahap awal dalam analisis RAPD. Primer yang dipilih untuk analisis adalah primer yang mampu menghasilkan pitapolimorfik. Hasil pengujian tahap awal primer yang menghasilkan pita tersebut diantaranya adalah OPB 06, OPG 10, dan OPX 03. PCR dilakukan dengan menggunakan *thermocycler gradient* (AB) dengan tujuan pengaturan suhu *annealing* dapat dilakukan sesuai dengan *temperature melting* (TM) masing-masing primer. Komponen bahan yang digunakan dalam PCR terdiri atas 12.5 μL *Dream Taq Master Mix 2x* (Thermo Scientific, USA), 1 μL primer RAPD, 3 μL DNA, dan ditambahkan *free water* sampai dengan total volume 25 μL . Tahapan PCR yang dilakukan diantaranya denaturasi awal pada suhu 94°C selama dua menit, denaturasi 94°C selama satu menit, *annealing* dilakukan sesuai dengan TM masing-masing primer (OPB 06 39.8°C, OPG 10 41.2°C, OPX 03 41.8°C) selama satu menit, dan elongasi 72°C selama dua menit, dan *post elongasi* 72°C selama satu menit (modifikasi dari Williams *et al.*, 1990).

Elektroforesis dan Visualisasi

Produk PCR kemudian dielektroforesis. Produk tersebut dimasukkan ke dalam sumur pada *gel agarose* 1.5% sebanyak 6 μL (sudah termasuk *dye*) (modifikasi dari Williams *et al.*, 1990). Media yang digunakan adalah larutan 1x TBE (Tris Borate EDTA) (Lee dan Cowman 1994). Elektroforesis dilakukan bersama dengan marker 100 bp pada tegangan listrik sebesar 100 volt selama 60 menit menggunakan PowerPac Basic (Bio-Rad). Visualisasi dilakukan dengan menggunakan bantuan sinar UV (Gel documentation –UV transiluminator Alphamager).

Metode Analisis Data

Scoring kemunculan fragmen DNA dilakukan pada hasil elektroforesis yang telah diperoleh. Kemunculan fragmen tersebut akan bergantung pada berat molekul yang dihasilkan. Prediksi berat molekul produk amplifikasi dilakukan dengan menggunakan bantuan *software* AlphaView SA. *Scoring* dilakukan dengan cara memberikan nilai 1 untuk fragmen DNA yang muncul dan nilai 2 untuk fragmen DNA yang tidak muncul (mengubah menjadi data biner). Hasil *scoring* yang berupa data biner dianalisis dengan menggunakan *software* TFGA (*Tools for Population Genetic Analyses*). *Software* tersebut digunakan untuk menentukan nilai derajat polimorfisme, heterozigositas, serta jarak genetik. Pembuatan dendrogram digunakan untuk melihat pengelompokan hirarki mimi yang berada di Demak, Madura, dan Balikpapan serta koefisien nilai F_{ST} digunakan untuk melihat kemampuan migrasi individu. Kedua analisis tersebut dilakukan berdasarkan UPGMA (*Unweighted Pair Group Arithmetic Average*) (Miller, 1997).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil amplifikasi menggunakan primer OPB 06, OPX 03, dan OPG 10 pada 70 contoh mimi yang terdiri atas 30 individu *C. rotundicauda* dari ketiga lokasi penelitian masing-masing 10 individu (Demak, Madura, dan Balikpapan), 30 individu *T. gigas* juga dari lokasi yang sama (Gambar 2).

Carcinoscorpius rotundicauda

Berdasarkan hasil analisis diketahui bahwa setiap primer memiliki profil jumlah fragmen yang berbeda karena memiliki daerah penempelan yang berbeda-beda disetiap individu. Total jumlah lokus yang muncul dengan menggunakan tiga jenis primer (OPB 06, OPG 10, OPX 03) pada jenis *C. rotundicauda* di tiga lokasi adalah 75 lokus (Tabel 1). Jumlah lokus paling banyak berada pada primer OPG10 sebanyak 29 lokus, sedangkan jumlah paling sedikit pada primer OPB 06 sebanyak 19 lokus. Jumlah kisaran fragmen yang paling banyak ditemukan pada populasi *C. rotundicauda* di Balikpapan, sedangkan jumlah kisaran fragmen yang paling sedikit ditemukan di populasi Madura.

Hasil analisis ukuran fragmen pada jenis *C. rotundicauda* di masing-masing lokasi berbeda satu sama lain. Ukuran fragmen *C. rotundicauda* paling panjang diantara ketiga lokasi tersebut terdapat di Balikpapan dengan kisaran 200 hingga 2900 pb. Kisaran ukuran terpanjang *C. rotundicauda* di Balikpapan pada primer OPG 10 dan terpendek pada primer OPB 06. Kisaran ukuran fragmen *C. rotundicauda* di Madura paling rendah dibandingkan dengan lokasi lainnya yaitu pada kisaran ukuran 200 hingga 2400 pb. Pajang fragmen dengan ukuran terpanjang terdapat pada primer OPX 03 dan terpendek pada OPG 10. Ukuran fragmen *C. rotundicauda* di Demak berkisar antara 200 hingga 2500 pb, dengan ukuran terpanjang pada primer OPX 03 yaitu 400-2400 pb dan ukuran terpendek 200-1500 pb (Tabel 1).

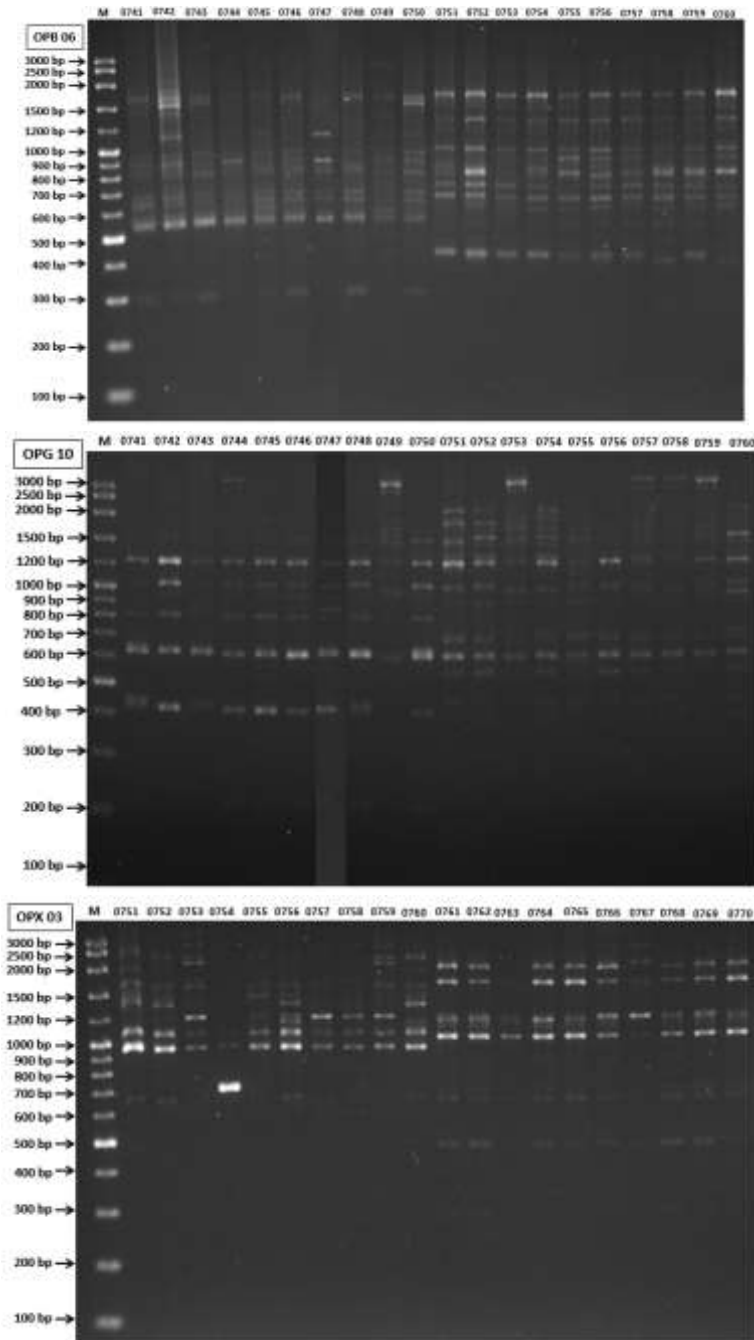
Variasi keragaman genetik berdasarkan derajat polimorfisme dan heterozigositas *C. rotundicauda* di Demak, Madura, dan Balikpapan terdapat di Tabel 2. Berdasarkan hasil analisis, derajat polimorfisme tertinggi pada *C. rotundicauda* terdapat di Demak dengan nilai persentase sebesar 74.6667%. Keragaman genetik terendah berdasarkan nilai derajat polimorfisme terdapat pada *C. rotundicauda* di Madura dengan nilai sebesar 58.6667%. Selain derajat polimorfisme terdapat nilai heterozigositas yang dapat menggambarkan keragaman genetik. Nilai heterozigositas tertinggi pada *C. rotundicauda* terdapat di Demak sedangkan nilai heterozigositas terendah terdapat di Balikpapan yaitu 0.2669 dan 0.1885. Sementara itu, nilai derajat polimorfisme antar populasi di ketiga lokasi tersebut adalah 76% dengan nilai heterozigositas 0.2678.

Hasil uji F_{ST} berpasangan ditampilkan pada Tabel 3. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa antara ketiga populasi *C. rotundicauda* di Demak, Madura, dan Balikpapan pada ketiga spesies mempunyai karakter *genotype* yang berbeda secara signifikan satu sama lain ($p < 0.05$). Perbedaan terjauh terdapat di antara Madura dan Balikpapan sedangkan perbedaan terdekat terdapat diantara Demak dan Madura.

Tachypleus gigas

Berdasarkan hasil analisis RAPD diperoleh bahwa setiap jenis primer yang digunakan menampilkan jumlah dan ukuran fragmen yang disetiap individu. Jumlah lokus yang diperoleh dengan menggunakan primer OPB 06, OPG 10, OPX 03 pada jenis *T. gigas* di tiga lokasi adalah 78 lokus (Tabel 5). Jumlah lokus paling banyak berada pada primer OPG10 sebanyak 32 lokus, sedangkan jumlah paling sedikit pada primer OPB 06 sebanyak 19 lokus. Jumlah kisaran fragmen *T. gigas* di masing-masing lokasi hampir sama yaitu Demak sebanyak 2 hingga 15, Madura 2 hingga 16, dan Balikpapan 3 hingga 14.

Jarak genetik yang diperoleh digambarkan dengan menggunakan dendogram (Gambar 3). Hasil tersebut menunjukkan bahwa jarak genetik *C. rotundicauda* di Demak dan Madura lebih dekat dibandingkan dengan Balikpapan yaitu (Tabel 4). Jarak genetik terjauh *C. rotundicauda* terdapat di antara Madura dan Balikpapan yaitu 0.3604.



Gambar 2 Sebagian dari hasil amplifikasi dengan menggunakan primer OPB 06, OPX 03, dan OPG 10 pada *C. rotundicauda* dan *T. gigas*.

Tabel 1 Kisaran jumlah fragmen pada populasi *C. rotundicauda* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan.

	Kisaran Jumlah Fragmen			Kisaran Ukuran Fragmen (pb)			Jumlah lokus per primer
	Demak	Madura	Balikpapan	Demak	Madura	Balikpapan	
OPB 06	0-12	5-12	7-12	300-1500	300-1800	300-1700	19
OPG 10	0-16	3-11	6-11	200-2500	200-1500	200-2900	29
OPX 03	0-14	1-12	5-12	450-2400	400-2400	450-2800	27
Total	0-16	3-12	5-12	200-2500	200-2400	200-2900	75

Tabel 2 Heterozigositas dan polimorfisme pada populasi *C. rotundicauda* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan.

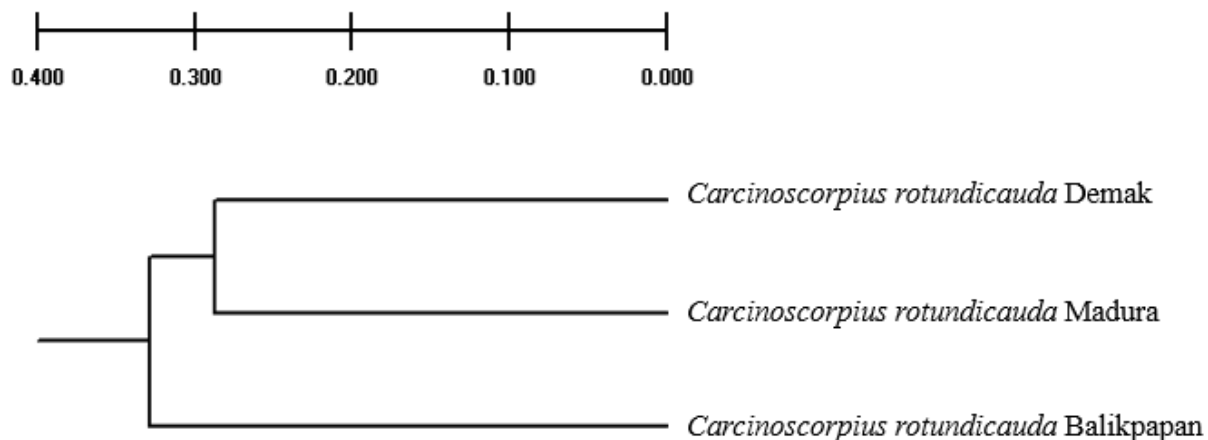
	Heterozigositas	Polimorfisme (%)
Demak	0.2669	74.6667
Madura	0.1921	58.6667
Balikpapan	0.1885	64
Antar populasi	0.2678	76

Tabel 3 Nilai F_{ST} populasi *C. rotundicauda* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan

	Demak	Madura	Balikpapan
Demak	-		
Madura	0.0004	-	
Balikpapan	0.0001	0.0000	-

Tabel 4 Jarak genetik pada populasi *C. rotundicauda* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan

	Demak	Madura	Balikpapan
Demak	-		
Madura	0.2874	-	
Balikpapan	0.2963	0.3604	-



Gambar 3 Visualisasi jarak genetik pada populasi *C. rotundicauda* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan

Hasil analisis ukuran fragmen pada jenis *T. gigas* di setiap lokasi penelitian berbeda satu sama lain. Ukuran fragmen *T. gigas* di Balikpapan lebih panjang dibanding dengan lokasi lainnya yaitu kisaran 400 hingga 3000 pb. Kisaran ukuran terpanjang *T. gigas* di Balikpapan terdapat pada primer OPG 10 dan terpendek pada primer OPB 06. Berbeda halnya dengan *T. gigas* Demak yang mempunyai kisaran ukuran fragmen lebih rendah dibandingkan dengan lokasi lainnya yaitu 200 hingga 2500 pb. Populasi *T. gigas* di Demak ini mempunyai kisaran ukuran fragmen terpanjang terdapat pada primer OPX 03 dan terpendek pada OPG 10 (Tabel 5).

Hasil analisis RAPD pada *T. gigas* di Demak, Madura, dan Balikpapan menunjukkan derajat polimorfisme dan nilai heterozigositas yang berbeda-beda (Tabel 6). Derajat polimorfisme tertinggi pada jenis *T. gigas* terdapat di Madura dengan nilai persentase sebesar 74.3590%. Keragaman genetik terendahnya terdapat di Demak dengan nilai persentase sebesar 51.2821%. Selain derajat polimorfisme terdapat nilai heterozigositas. Nilai heterozigositas tertinggi pada *T. gigas* terdapat di Madura sedangkan nilai heterozigositas terendah terdapat di Balikpapan yaitu 0.2551 dan 0.1864. Sementara itu, nilai derajat polimorfisme antar populasi di ketiga lokasi tersebut adalah 89.7436% dengan nilai heterozigositas 0.2938.

Uji F_{ST} berpasangan dilakukan untuk mengetahui kemampuan migrasi suatu individu. Berdasarkan hasil yang diperoleh pada Tabel 7 menunjukkan bahwa ketiga populasi *T. gigas* di Demak, Madura, dan Balikpapan berbeda secara signifikan ($p < 0.05$). hal tersebut mengartikan bahwa pola perpindahan *T. gigas* dari satu lokasi ke lokasi lainnya cenderung rendah. Selain itu, hasil analisis tersebut juga menunjukkan bahwa populasi *T. gigas* di ketiga lokasi mempunyai karakter *genotype* yang berbeda satu sama lain.

Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai jarak genetik yang menunjukkan bahwa jarak genetik *T. gigas* di Demak dan Madura lebih dekat dibandingkan dengan *T. gigas* Balikpapan yaitu 0.3232 (Gambar 4). Jarak genetik terjauh *T. gigas* terdapat di antara Demak dan Balikpapan yaitu 0.4631 (Tabel 8).

Tabel 5 Kisaran jumlah fragmen pada populasi *T. gigas* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan

	Kisaran Jumlah Fragmen			Kisaran Ukuran Fragmen (pb)			Jumlah lokus per primer
	Demak	Madura	Balikpapan	Demak	Madura	Balikpapan	
OPB 06	2-9	2-11	11-14	400-1900	400-1900	400-1600	19
OPG 10	12-15	6-16	8-14	200-2100	300-2900	400-2900	32
OPX 03	4-13	7-13	3-9	300-2500	300-2500	650-3000	27
Total	2-15	2-16	3-14	200-2500	300-2900	400-3000	78

Tabel 6 Heterozigositas dan polimorfisme pada populasi *T. gigas* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan

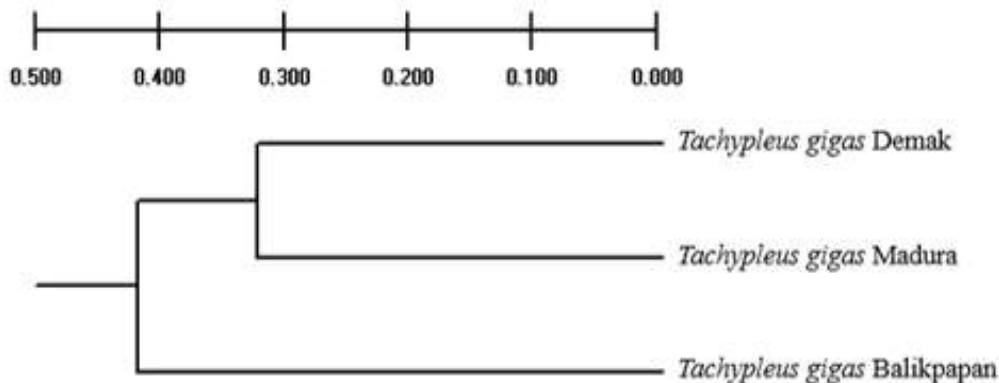
	Heterozigositas	Polimorfisme (%)
Demak	0.1950	51.2821
Madura	0.2551	74.3590
Balikpapan	0.1864	52.5641
Antar populasi	0.2938	89.7436

Tabel 7 Nilai F_{ST} pada populasi *T. gigas* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan

	Demak	Madura	Balikpapan
Demak	-		
Madura	0.0000	-	
Balikpapan	0.0000	0.0000	-

Tabel 8 Jarak genetik pada populasi *T. gigas* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan

	Demak	Madura	Balikpapan
Demak	-		
Madura	0.3232	-	
Balikpapan	0.4631	0.3847	-



Gambar 4 Visualisasi jarak genetik pada populasi *T. gigas* yang diambil dari perairan utara Jawa (Demak dan Madura) dan Balikpapan

Pembahasan

Ukuran mimi yang ditemukan di Balikpapan cenderung lebih besar (Hery Seputro dari Dinas Pangan Pertanian dan Perikanan Kota Balikpapan, komunikasi pribadi 2019) diantaranya karena tekanan tangkapan mimi di Balikpapan lebih rendah. Hal tersebut dikarenakan mimi di Balikpapan cenderung tidak dikonsumsi oleh masyarakat setempat. Kondisi mangrove di Balikpapan lebih luas dibandingkan dengan Demak (daerah Betahwalang) dan Madura (daerah Kalianget). Berbeda halnya dengan di Demak dan Madura, mimi di kedua daerah tersebut masih dikonsumsi oleh masyarakat khususnya betina yang bertelur (komunikasi pribadi 2019 dengan nelayan Betahwalang, Kabupaten Demak dan Kalianget, Kabupaten Sumenep, Madura). Ancaman keberadaan mimi menjadi serius dengan adanya budaya festival *dugderan* di Kendal, Jawa Tengah. Telur mimi di festival tersebut menjadi menu makanan yang sangat diminati, sehingga permintaan mimi betina bertelur menjadi meningkat. Tidak hanya di Indonesia, mimi betina bertelur juga menjadi salah satu menu makanan eksklusif di beberapa restoran mahal di Thailand dan Malaysia (Christianus dan Saad, 2007). Hal lain yang menjadi ancaman mimi adalah perlakuan nelayan terhadap mimi. Sebagian besar nelayan menyatakan bahwa mimi adalah hama yang bersifat merusak jaring nelayan apabila tertangkap, sehingga cenderung melakukan pelepasan paksa dari jaring. Selain itu, mimi juga dimanfaatkan secara komersial sebagai umpan penangkapan ikan sidat (*Anguilla rostrata*) (Kreamer dan Michels 2009), di Jambi (Kuala Tungkal) digunakan sebagai umpan ikan sembilang (*Euristhmus microceps*) (Rubiyanto 2012) dan beberapa juga di impor ke Amerika utara untuk digunakan sebagai umpan penangkapan (Smith *et al.* 2016).

Analisis kisaran ukuran dan jumlah fragmen yang menempel pada setiap individu berdasarkan primer masing-masing cenderung berbeda. Pemilihan primer dalam analisis RAPD berpengaruh karena setiap primer mempunyai situs penempelannya masing-masing. Hal tersebut mengakibatkan adanya perbedaan kemunculan pita polimorfik yang dihasilkan. Keberhasilan suatu primer dalam mengamplifikasi DNA *template* ditentukan oleh ada tidaknya kesamaan (homologi) antara sekuen nukleotida primer dan sekuen nukleotida DNA *template*. Hal lain yang juga dapat mempengaruhi perbedaan tersebut diantaranya suhu annealing, enzim *Taq* DNA polimerase, dan kualitas serta kuantitas DNA (Panner *et al.*, 1999). Kontaminasi adanya senyawa lain saat ekstraksi juga dapat menurunkan kualitas pita dan konsentrasi DNA sehingga mempengaruhi kemunculan pita menjadi tidak jelas (Wedden *et al.*, 1992). Sebelum melakukan analisis RAPD sebaiknya melakukan proses *screening* primer terlebih dahulu. Hal tersebut dilakukan dengan tujuan untuk memperoleh primer yang sesuai untuk dapat menghasilkan pita polimorfik.

Keragaman genetik penelitian ini didasarkan derajat polimorfisme dan heterozigositas. Polimorfisme merupakan ukuran keragaman genetik berdasarkan proporsi lokus polimorf terhadap total lokus yang teridentifikasi, sedangkan heterozigositas adalah ukuran keragaman genetik berdasarkan proporsi jumlah individu heterozigot dalam populasi (Soewardi, 2007). Keragaman genetik *C. rotundicauda* berdasarkan derajat polimorfisme di Demak, Madura, dan Balikpapan masih tergolong sedang, namun dari ketiga lokasi tersebut *C. rotundicauda* di Demak mempunyai keragaman tertinggi. Hal tersebut juga didukung dengan nilai heterozigositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan dua lokasi lainnya. Berbeda halnya dengan *T. gigas* keragaman tertinggi terdapat di Madura dengan nilai derajat polimorfisme dan heterozigositas masing-masing adalah 74.3590% dan 0.2551. Nilai tersebut lebih rendah dibandingkan dengan polimorfisme *T. gigas* di Cherating, Malaysia yaitu 83.33%, akan tetapi nilai tersebut juga lebih tinggi dibandingkan dengan *T. gigas* yang berasal dari Tanjung Dawai, Malaysia yaitu sebesar 44.44% (Ismail *et al.*, 2011).

Perbedaan nilai derajat polimorfisme terjadi karena perbedaan variasi genetik intrapopulasi dan pola diferensiasi populasi dalam penanda genetik seperti *allozymes*, DNA mitokondria, dan mikrosatelit (Selander *et al.*, 1970; Saunders *et al.*, 1986; King *et al.*, 2005). Penelitian Primer RAPD pada dasarnya didesain untuk mendeteksi polimorfisme yang disebabkan oleh adanya mutasi poin (Smith, 2005). Kemunculan pita polimorfisme pada penelitian ini menunjukkan bahwa terdapat bentuk mutasi insersi dan delesi yang terjadi saat amplifikasi (Clark dan Lanigan, 1993). Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai derajat polimorfisme intrapopulasi dan interpopulasi pada spesies *C. rotundicauda* dan *T. gigas* masih tergolong sedang. Berdasarkan hasil yang diperoleh, nilai heterozigositas *C. rotundicauda* dan *T. gigas* intrapopulasi tergolong rendah dan cenderung homogen. Penurunan heterozigositas suatu populasi dapat menghilangkan keberadaan alel potensial, misal yang berkaitan dengan ketahanan terhadap penyakit, timbulnya abnormalitas, serta gangguan pertumbuhan (Slamat, 2009). Nilai heterozigositas dalam keragaman genetik menunjukkan tingkat potensi adaptasi terhadap lingkungan. Semakin rendah nilai heterozigositas maka semakin sedikit gen yang terlibat dalam menyumbangkan tingkat kebugaran suatu populasi yang artinya spesies tersebut mempunyai kemampuan adaptasi yang lemah (Tave, 1993). Secara umum, rendahnya keragaman genetik intrapopulasi akan memberikan efek terhadap rendahnya daya adaptasi suatu spesies dalam populasi untuk mempertahankan kelangsungan hidup jangka panjang (Schemske *et al.*, 1994).

Uji perbandingan berpasangan (F_{ST}) digunakan untuk melihat keterkaitan antara populasi. Hasil pengukuran keragaman antar populasi berdasarkan pada uji F_{ST} menunjukkan bahwa populasi *C. rotundicauda* dan *T. gigas* di Demak, Madura, dan Balikpapan berbeda secara signifikan ($p < 0.05$). Hal tersebut mengindikasikan bahwa ketiga populasi *C. rotundicauda* dan *T. gigas* berasal dari stok dengan keragaman alel terfiksasi yang berbeda antar populasinya. Selain itu, hal tersebut juga mengindikasikan bahwa aliran gen (*gene flow*) yang terjadi antara ketiga populasi tersebut cenderung rendah. Perbedaan populasi tersebut diduga karena kemampuan mimi dalam melakukan perpindahan (*movement*) dari lokasi satu ke lokasi lainnya cenderung terbatas. King *et al.* (2005) menjelaskan bahwa secara genetik bahwa pergerakan mimi terbatas di beberapa bagian dari wilayah jelajahnya. Hal ini juga sesuai dengan hasil penelitian Moore dan Perrin (2007) terkait dengan penggunaan ruang dan pola pergerakan mimi (*L. polyphemus*) berdasarkan musim. Penelitian lain yang mendukung keterbatasan wilayah jelajah mimi pernah dilakukan di Taiwan untuk jenis *T. tridentatus*. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa antar populasi terjadi aliran gen pada jarak 15 km dimana jarak tersebut dianggap sebagai jarak pendek antara dua populasi, aliran gen tidak ditemukan di antara dua populasi ketika jarak geografisnya melebihi 150 km (Yang *et al.*, 2007). Jarak maksimum yang tercatat pada penelitian terkait pola pergerakan dan perpindahan *L. polyphemus* di teluk Great, New Hampshire (AS) adalah 9,2 km (Schaller *et al.*, 2010). Studi populasi yang dilakukan di perairan Atlantik Utara mulai dari New York hingga teluk Delaware dan Chesapeake mencatat sebanyak 14 individu mimi yang melakukan pergerakan atau perpindahan pada kisaran jarak 104 - 265 km (Swan, 2005). Grogan (2004) berhasil mengungkap bahwa mimi mempunyai jarak perpindahan maksimum yang berbeda antara jantan dan betina. Mimi betina mampu menempuh jarak hingga 493.74 km sedangkan mimi jantan hanya mampu menempuh jarak maksimum 363.7 km. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa mimi betina mempunyai wilayah jelajah yang lebih luas dibandingkan dengan

mimi jantan. Hal tersebut menjelaskan bahwa tidak cukup hanya jarak geografis yang menjadi pembatas antar populasi, akan tetapi terdapat faktor lain yang juga berperan penting salah satunya adalah adanya *natural barriers* (Pierce *et al.*, 2000; Grogan, 2004).

Jarak genetik populasi mimi jenis *C. rotundicauda* dan *T. gigas* di ketiga lokasi penelitian terlihat bahwa hubungan kekerabatan mimi di Demak dan Madura lebih dekat dibandingkan dengan mimi yang berada di Balikpapan. Hal tersebut dapat terjadi karena mimi di Demak dan Madura masih berada dalam wilayah yang sama yaitu pantai utara Jawa. Berdasarkan siklus hidupnya, mimi dewasa cenderung berdiam di dasar dan melakukan perpindahan ke daerah pantai untuk melakukan proses reproduksi (Sekiguchi, 1988). Larva mimi jenis *L. polyphemus* cenderung akan bersifat planktonik selama periode waktu yang singkat sebelum akhirnya menerap didasar perairan (Shuster, 1982). Berbeda halnya dengan *T. tridentatus*, larva jenis ini setelah menetas akan mendiami daerah yang dekat dengan tempat menetasnya (*natal beach*) (Sekiguchi, 1988; Chen *et al.*, 2004). Pada dasarnya mimi mempunyai wilayah jelajah yang terbatas (Pierce *et al.*, 2000) terlebih untuk jenis *C. rotundicauda* yang habitatnya di mangrove, akan tetapi di daerah utara Jawa mimi menjadi salah satu komoditas makanan yang populer, sehingga terdapat kemungkinan adanya intervensi serta peran manusia (Chiu dan Morton, 1999).

KESIMPULAN

Mimi (*C. rotundicauda* dan *T. gigas*) di perairan Demak, Madura, dan Balikpapan berasal dari satu nenek moyang yang sama. Persentase nilai keragaman genetik cenderung sedang dan beresiko mengarah ke rendah. Kedua jenis spesies tersebut di masing-masing lokasi berpeluang membentuk spesies yang berbeda berdasarkan rendahnya tingkat adaptasi. Prediksi populasi mimi di Demak, Madura, dan Balikpapan kedepannya akan cenderung homogen secara genetik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Pusat Penelitian Oseanografi, Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (PPO-LIPI) melalui Demand-Driven Research Fund (DDRF) No. B-5063/IPK.2/KS.02/III/2019 untuk YW dan IPB melalui skema PMDSU No. 6623/IT3.L1/PN/2019 ke YW (mengikuti kontrak antara Universitas IPB dan Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi No. 261/SP2H/LT/DRPM/ 2019). Para penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada mereka yang membantu dalam pengumpulan sampel dan pekerjaan laboratorium: Heri Seputro, Rani Nuraisah, Agus Alim Hakim, dan Ananingtyas Septia Darmarini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chauhan T, Rajiv K. 2010. Molecular markers and their applications in fisheries and aquaculture. *Advances in Bioscience and Biotechnology*. 1: 281-291.
- Chen C-P, Yeh H-Y, Lin P-F. 2004. Conservation of horseshoe crabs in Kinmen, Taiwan: strategies and practices. *Biodiversity and Conservation*. 13: 1889–1904.
- Chiu HMC, Morton B. 1999. The distribution of horseshoe crabs *Tachypleus tridentatus* and *Carcinoscorpius rotundicauda* in Hong Kong. *Asian Marine Biology*. 16:185-196.
- Christianus A, Saad CR. 2007. Horseshoe crabs in Malaysia and the world. *Fishery Mail*. 16: 8-9.
- Clark AG, Lanigan CMS. 1993. Prospects for estimating nucleotide divergence with RAPDs. *Molecular and Biological Evolution*. 10: 1096-1111.
- Dillion N, Austin AD, Bartowsky E. 1996. Comparison of preservation techniques for DNA extraction from hymenopterous insects. *Insect Molecular Biology*. 5(1): 21-24.
- Eldredge N, Stanley SM. 1984. *Living Fossils*. Berlin (BE): Springer.

- Faturrohmah S, Marjuki B. 2017. Identifikasi dinamika spasial sumberdaya mangrove di wilayah pesisir Kabupaten Demak Jawa Tengah. *Majalah Geografi Indonesia*. 31(1): 56-64.
- Febryano IG, Rusita. 2018. Persepsi wisatawan dalam pengembangan wisata pendidikan berbasis konservasi gajah Sumatera (*Elephas maximus sumatranus*). *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(3): 376-382.
- Grogan WN. 2004. *A mid-Atlantic study of the movement patterns and population distribution of the American horseshoe crab*, L. Polyphemus. [master thesis]. Virginia (USA): Virginia Polytechnic Institute dan State University.
- Ismail N, Taib M, Shamsuddin AA, Shazani S. 2011. Genetic variability of wild horseshoe crab, *Tachypleus gigas* (MÜller) in Tanjung Dawai, Kedah and Cherating, Pahang, Peninsular Malaysia. *European Journal of Scientific Research*. 60 (4): 592-601.
- Ismane MA, Kusmana C, Gunawan A, Affandi R, Suwardi S. 2018. Keberlanjutan pengelolaan kawasan konservasi penyu di pantai Pangumbahan, Sukabumi, Jawa Barat. *Jurnal Pengelolaan Sumberdaya Alam dan Lingkungan*. 8(1): 36-43.
- Iyengar A, Piyapattanakorn S, Stone DM, Heipel DA, Howell BR, Baynes SM, Maclean N. 2000. Identification of microsatellite repeats in turbot (*Scophthalmus maximus*) and dover sole (*Solea solea*) using RAPDbased technique: characterization of microsatellite markers in dover sole. *Marine Biotechnology*. 2: 49-56.
- King TL, Eackles MS, Spidle AP, Brockmann HJ. 2005. Regional differentiation and sex-biased dispersal among populations of the horseshoe crab *Limulus polyphemus*. *Transactions of the American Fisheries Society*. 134: 441-465.
- Kreamer G, Michels S. 2009. History of horseshoe crab harvest on Delaware Bay. Di dalam: *Biology and conservation of horseshoe crabs*. Tanacredi JT, Botton ML, Smith DR, editor. New York (NY): Springer. hlm 299–313.
- Laurie K, Chen CP, Cheung SG, Do V, Hsieh H, John A., Mohamad F, Seino S, Nishida S, Shin P, Yang M. *Tachypleus tridentatus* (errata version published in 2019). *The IUCN Red List of Threatened Species* 2019 [Internet]. 2019 [cited 2020 Jan 18]. Available from: <https://www.iucnredlist.org/species/21309/149768986>.
- Leary RF, Allendorf FW, Knudsen KL. 1985. Development instability and high meristic counts in interspecific hybrid of salmonid fishes. *Evolution*. 39: 318-326.
- Mashar A, Butet NA, Juliandi B, Qonita Y, AA Hakim, Wardiatno Y. 2017. Biodiversity and distribution of horseshoe crabs in northern coast of Java and southern coast of Madura. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 54: 012076.
- Meilana L, Wardiatno Y, Butet NA, Krisanti M. 2016. Karakter morfologi dan identifikasi molekuler dengan marka gen CO1 pada mimi (*Tachypleus gigas*) di Perairan Utara Jawa. *Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*. 8: 145-158.
- Miller MP. 1997. *Tools for population genetic analysis (TFPGA) 1.3: A windows program for the analysis of allozyme and molecular population genetic data*. Software didistribusikan oleh penulis. Tersedia di: <http://www.marksgeneticsoftware.net/>.
- Moore S, Perrin S. 2007. Seasonal Movement and Resource-Use Patterns of Resident Horseshoe Crab (*Limulus polyphemus*) Populations in a Maine, USA Estuary. *Estuaries and Coasts*. 30 (6): 1016–1026.
- Muhsoni FF, Syarif M, Effendi M. 2011. Inventarisasi data potensi sumberdaya wilayah pesisir Kabupaten Sumenep. *Jurnal Kelautan*. 4(1): 96 - 201.
- Nebauer SG, del Castillo-Agudo L, Segura J. 2000. An assesment of genetic relationships within the genus *Digitalis* based on PCR-generated RAPD markers. *Theoretical and Applied Genetics*. 100:1209-1216.
- Noor P, Helminuddin. 2009. Valuasi ekonomi pemanfaatan hutan mangrove di kelurahan Teritip kota Balikpapan. *Jurnal Kehutanan Tropika Humida*. 2 (1): 69-80.

- Penner GA, Bush A, Wise R, Kim W, Domier L, Kasha K, Laroche A, Scoles G, Molnar SJ, Fedak G. 1993. Reproducibility of random amplified polymorphic DNA (RAPD) analysis among laboratories. *PCR Methods Applications*. 2(4): 341–345. doi:10.1101/gr.2.4.341.
- Pierce JC, Tan G, Gaffney PM. 2000. Delaware bay and Chesapeake bay populations of the horseshoe crab *Limulus polyphemus* are genetically distinct. *Estuaries*. 23: 690-698.
- Quicke DLJ, Belshaw R, Lopez-Vaamonde C. 1999. Preservation of hymenopteran specimens for subsequent molecular and morphological study. *Zoologica Scripta*. 28(1-2): 261-267.
- Rubiyanto E. 2012. *Studi Populasi Mimi (Xiphosura) di Perairan Kuala Tungkal, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, Jambi* [tesis]. Depok (ID): Universitas Indonesia.
- Saunders NC, Kessler LG, Avise JC. 1986. Genetic variation and geographic differentiation in mitochondrial DNA of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*. *Genetics*. 112(3): 613-627.
- Schaller YS, Chabot CC, Watson III WH. 2010. Seasonal movements of American horseshoe crabs *L. polyphemus* in the Great Bay Estuary, New Hampshire USA. *Current Zoology*. 56(5): 587-598.
- Schaller YS, Chabot CC, Watson III WH. 2010. Seasonal movements of American horseshoe crabs *L. polyphemus* in the Great Bay Estuary, New Hampshire USA. *Current Zoology*. 56(5): 587-598.
- Schemske DW, Husband BC, Ruckelshaus MH, Goodwillie C, Parker IM, Bishop JG. 1994. Evaluating approaches to the conservation of rare and endangered plants. *Ecology*. 75: 584–606
- Sekiguchi K, Yamamichi Y, Costlow JD. 1982. Horseshoe crab development studies I. Normal embryonic development of *Limulus polyphemus* compared with *Tachypleus tridentatus*. Di dalam: Boneventura J, Bonaventura C, Tesh S, editor. *Physiology and Biology of Horseshoe Crabs: Studies on Normal and Environmentally Stressed Animals*. New York (NY): Alan R. Liss, Inc. hlm 53-73.
- Sekiguchi K. 1988. *Biology of Horseshoe Crabs*. Tokyo (JPN): Science House.
- Selander RK, Yang SY, Lewontin RC, Johnson WE. 1970. Genetic variation in the horseshoe crab (*Limulus polyphemus*), a phylogenetic "relic". *Evolution*. 24: 402-414.
- Shanks AL. 2009. Pelagic larval duration and dispersal distance revisited. *Biological Bulletin*. 16: 373-385.
- Shuster CN Jr. 1982. A pictorial review of the natural history and ecology of the horseshoe crab, *Limulus polyphemus*, with reference to other limulidae. pp. 1–52. In: *Physiology and Biology of Horseshoe Crabs: Studies on Normal and Environmentally Stressed Animals*. (Bonaventura JC. Bonaventura, dan S. Tesh, Eds. New York (NY): Alan R Liss, Inc.
- Slamat. 2009. *Keanekaragaman genetik ikan betok (Anabas testudineus Bloch) pada ekosistem perairan rawa di Provinsi Kalimantan Selatan* [master tesis]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Smith DR, Beekey MA, Brockmann HJ, King TL, Millard MJ, Zaldívar-Rae JA. 2016. *Limulus polyphemus*. The IUCN Red List of Threatened Species 2016. e.T11987A80159830. Available online at: <http://www.iucnredlist.org/details/11987/0>.
- Smith JP. 2005. Random amplified polymorphic DNA (RAPD). *Stock Identification Methods*. 5(18): 371-388.
- Soewardi K. 2007. *Pengelolaan Keragaman Genetik Sumberdaya Perikanan dan Kelautan*. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Swan BL. 2005. Migrations of adult horseshoe crabs, *Limulus polyphemus*, in the Middle Atlantic Bight: a 17-year tagging study. *Estuaries*. 29(1): 28-40.
- Tave D. 1993. *Genetic for fish hatchery managers*. Netherland (EU): Kluwer Academic Publishers.
- Walls EA, Berkson J, Smith SA. 2002. The horseshoe crab, *Limulus polyphemus*: 200 million years of existence, 100 years of study. *Reviews in Fisheries Science*. 10(1): 39-73.
- Weeden NF, Timmerman GM, Hemmat M, Kneen BE, Lodhi M.A. 1992. Inheritance and reliability of RAPD markers. In: *Applications of RAPD Technology to Plant Breeding*. Joint Plant Breeding Symposia Series, November 1, 1992, Minneapolis, MN. Crop Science Society of America, Madison, WI.
- Williams JG, Kubelik AR, Lival KJ, Rafalski JA, Tingey SV. 1990. DNA polymorphisms amplified by arbitrary primers are useful as genetic markers. *Nucleic Acids Research*. 18: 6531-5.

- World Conservation Monitoring Centre. 1996b. *Tachypleus Tridentatus*, *The IUCN Red List of Threatened Species* [Internet]: [diunduh 28 Maret 2020] e. T21309A9267047. Tersedia pada: <https://doi.org/10.2305/IUCN.UK.1996.RLTS.T21309A9267047.en>
- World Conservation Monitoring Centre. 1996a. *Tachypleus gigas*. *The IUCN Red List of Threatened Species* [Internet]. [diunduh 18 Januari 2020]. Tersedia pada: <https://www.iucnredlist.org/species/21308/9266907>.
- Yang MC, Chen CA, Hsieh HL, Chen CP. 2007. Population Subdivision of the tri-spine horseshoe crab, *Tachypleus tridentatus* in Taiwan Strait. *Zoological Science*. 24: 219-224. Yang MC, Chen CA, Hsieh HL, Chen CP. 2007. Population Subdivision of the tri-spine horseshoe crab, *Tachypleus tridentatus* in Taiwan Strait. *Zoological Science*. 24: 219-224.