

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 6, No. 3, Desember 2018



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. JTEP terbit tiga kali setahun yaitu bulan April, Agustus dan Desember, dan mulai tahun ini berisi 15 naskah untuk setiap nomornya. Peningkatan jumlah naskah pada setiap nomornya ini dimaksudkan untuk mengurangi masa tunggu dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi online. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota PERTETA tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain meliputi teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energi alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam invited paper yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, review perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, technical paper hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta research methodology berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (online submission) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Scopus ID: 6602716827, Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang Boro Seminar (Scopus ID: 54897890200, Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Scopus ID: 6507392012, Universitas Sriwijaya - Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Yohanes Aris Purwanto (Scopus ID: 6506369700, Institut Pertanian Bogor)
Muhammad Faiz Syuaib (Scopus ID: 55368844900, Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Scopus ID: 6507093353, Universitas Hasanuddin - Makassar)
I Made Anom Sutrisna Wijaya (Scopus ID: 56530783200, Universitas Udayana - Bali)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah (Scopus ID: 55782905900, Institut Pertanian Bogor)
Sekretaris : Lenny Saulia (Scopus ID: 16744818700, Institut Pertanian Bogor)
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah (Universitas Gadjah Mada - Yogyakarta)
Anggota : Dyah Wulandani (Scopus ID: 1883926600, Institut Pertanian Bogor)
Usman Ahmad (Scopus ID: 55947981500, Institut Pertanian Bogor)
Satyanto Krido Saptomo (Scopus ID: 6507219391, Institut Pertanian Bogor)
Slamet Widodo (Scopus ID: 22636442900, Institut Pertanian Bogor)
Liyantono (Scopus ID: 54906200300, Institut Pertanian Bogor)
Administrasi : Diana Nursolehat (Institut Pertanian Bogor)

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 6 No. 3 Desember 2018. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Slamet Budijanto, M.Agr. (Departemen Ilmu dan Teknologi Pangan, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Daniel Saputra, MS. (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Ir. Loekas Susanto, MS., Ph.D. (Fakultas Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Prof.Dr.Ir. Muhammad Idrus Alhamid (Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Indonesia), Prof.Dr.Ir. Sobir, M.Si. (Departemen Agronomi dan Hortikultura (AGH), Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Bambang Susilo, M.Sc.Agr. (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr. Radi, STP., M.Eng. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Dr.Ir. Evi Savitri Iriani M.Si. (Balai Besar Litbang Pascapanen Pertanian), Dr.Ir. Hermantoro, MS. (Institut Pertanian Stiper (INSTIPER) Yogyakarta), Dr.Ir. Ridwan Rachmat, M.Agr. (Balai Besar Penelitian Tanaman Padi), Dr.Ir. Rokhani Hasbullah, M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Usman Ahmad, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Leopold Oscar Nelwan, STP., M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Slamet Widodo, STP., M.Sc. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Muhamad Yulianto, ST., MT. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor), Dr. Nora H. Pandjaitan, DEA. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Chusnul Arif, STP., M.Si. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Dr. Satyanto Krido Saptomo, STP, M.Si. (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor), Wilson Palelingan Aman, STP., M.Si. (Fakultas Pertanian dan Teknologi Pertanian, Universitas Negeri Papua), Andri Prima Nugroho, STP., M.Sc., Ph.D. (Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Gadjah Mada), Asna Mustofa, STP., MP. (Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman), Diding Suhandy, S.TP., M.Agr., Ph.D. (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Lampung) Agus Ghautsum Ni'am, STP., M.Si. (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Tinjauan Aplikasi Indikator Perubahan Hidrologi di DAS Wonorejo

Application of Indicator of Hydrological Alteration (IHA) at Wonorejo Watershed

Indarto, Program Studi Teknik Pertanian, Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember. Email: indarto.ftp@unej.ac.id

Abstract

This study use Indicator of Hydrological Alteration (IHA) method to evaluate statistically the flow characteristics between two periods of records. Existing daily discharge data from Wonorejo Watershed was separated in two periods called: pre-assesment (from 1990 to 2001), and post-assesment (from 2002 to 2013). All of 33 IHA parameters, which classified in five (5) class indicator, were used to measure the change or the level of alteration. IHA software version 7.1 was used for the analysis. The result shows that discharge in Wonorejo river has change to negative index. Result show that monthly, daily and extreme value of flow regime have decrease during the last 10 years (2002 – 2014) or post-assesment periods, compared to pre-assesment period (from 1990 - 2001). This study also calculate the environmental flow component of river flow to support sustainability of river ecology and surrounding environment.

Keywords: *indicator, hydrological, characteristics, alteration, wonorejo.*

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi terjadinya perubahan indikator karakteristik hidrologi pada suatu DAS. Penelitian dilakukan di DAS Wonorejo, di wilayah Kabupaten Lumajang. Input utama adalah data rentang waktu berupa debit dan hujan harian. Periode rekaman data lebih dari 20 tahun. Analisis dilakukan menggunakan *Indicator of Hydrological Alteration (IHA)*. Data rentang waktu dibagi menjadi dua interval (periode pra-penilaian (1990 – 2001) dan periode pasca-penilaian (2002 - 2014). Sejumlah, 33 parameter IHA yang terklasifikasi ke dalam 5 kategori digunakan untuk mengevaluasi perubahan tersebut. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan nilai parameter yang mengindikasikan perubahan hidrologi antara periode sebelum dan sesudah analisis. Selanjutnya, analisis menunjukkan adanya penurunan pada semua aspek aliran, yang mencakup: aliran bulanan, aliran esktrrem (minimal dan maksimal), aliran tinggi/ rendah dan aliran dasar. Analisis statistik ini juga dapat menunjukkan adanya perubahan karakteristik aliran tinggi dan rendah yang berpotensi menyebabkan kejadian banjir dan kekeringan.

Kata Kunci: indikator, perubahan, karakteristik, hidrologi, Wonorejo.

Diterima: 2 Agustus 2017; Disetujui: 10 Oktober 2018

Latar Belakang

Proses hidrologi di dalam DAS dipengaruhi secara langsung oleh variabel masukan berupa hujan yang masuk ke dalam DAS dan secara tidak langsung oleh variabel iklim lainnya (evaporasi, temperatur, kecepatan angin, kelembaban udara). Variabel iklim selain hujan akan mempengaruhi besarnya evapotranspirasi, kejadian hujan dan komponen siklus hidrologi lain di dalam DAS. Faktor lain yang secara tidak langsung dapat mempengaruhi proses hidrologi di dalam DAS adalah perubahan karakteristik fisik DAS. Perubahan tersebut dapat terjadi karena pengaruh dari aktivitas manusia (faktor *antrophometri*) atau

faktor alam. Perubahan karakteristik fisik DAS yang paling mencolok adalah perubahan peruntukan lahan (*land use*). Pembangunan infrastruktur sumberdaya air di atas aliran sungai (misalnya: bendung, bendungan, DAM, dan rorak) juga dapat berpengaruh secara langsung terhadap perubahan aliran di sungai. Dampak dari itu semua, akan teramati dalam bentuk fluktuasi naik-turunnya debit di sungai, sebagai respon terhadap siklus hidrologi dan perubahan yang terjadi di dalam DAS.

Perubahan aliran (debit) dapat berpengaruh positif atau negatif terhadap ketersediaan air di sungai. Ketersediaan air di sungai akan menentukan terpenuhinya kebutuhan akan air bagi keperluan:

irigasi, air bersih untuk masyarakat, industri, perkebunan, wisata dan sektor lainnya. Oleh karena itu, analisis statistik terhadap hidrograf aliran sungai dapat membantu pengelola DAS untuk: (1) memahami karakteristik aliran di sungai sebagai fungsi waktu, (2) mengantisipasi kemungkinan terjadinya kekurangan air, karena ketidak-seimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan pada periode tertentu, (3) mengantisipasi potensi kejadian bencana banjir atau kekeringan, (4) mengantisipasi dampak bangunan (bendung atau struktur lain) di atas sungai terhadap ekologi sungai.

Indikator perubahan hidrologi

Indikator perubahan hidrologi atau IHA (*Indicator of Hydrological Alteration*) menurut (Mathews & Richter, 2007) merupakan salah satu metode statistik untuk menganalisis terjadinya perubahan aliran di sungai. IHA dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak ekologi dari perubahan aliran (Richter et al., 1996). IHA menggunakan 33 parameter untuk menyatakan indikator terkait lingkungan sungai. Parameter tersebut dikelompokkan menjadi lima kelas untuk menyatakan kondisi aliran (Mathews and Richter 2007). Analisis yang dapat dilakukan mencakup 3 aspek yaitu: analisis regresi linear untuk mendeteksi adanya kecenderungan (*trend detection*), analisis RVA (*Range of Variability Approach*) dan analisis EFC (*Environmental Flow Components*). IHA dapat digunakan untuk analisis statistik yang sifatnya parametrik dan non-parametrik (Richter et al., 1996, 1997, 1998).

Range of Variability Approach (RVA)

Analisis RVA (Richter et al., 1997) menggunakan variabilitas debit pada periode pra-penilaian (*pre-assesment*) sebagai dasar untuk menilai periode paska-penilaian (*post-assesment*). RVA menggunakan variasi alami dari nilai parameter IHA sebagai referensi untuk menentukan apakah suatu regim aliran telah berubah dari keadaan alaminya. Dalam hal ini, periode rekaman data yang tersedia dibagi menjadi dua, yaitu: pra-penilaian (*pre-assesment*) dan paska-penilaian (*post-assesment*). Batas antara ke dua periode (pra dan paska) adalah tanggal penilaian atau tanggal yang dipilih untuk menentukan penilaian. Selanjutnya, Richter (Richter et al., 1997)

menyarankan agar pengelola air, menjaga distribusi aliran tahunan di sungai sedekat mungkin dengan variabilitas alaminya. Analisis RVA juga menghasilkan sejumlah faktor perubahan hidrologi. Dalam hal ini, perubahan hidrologi dinyatakan dengan indikator berupa 33 parameter IHA (Rybicki, 2009).

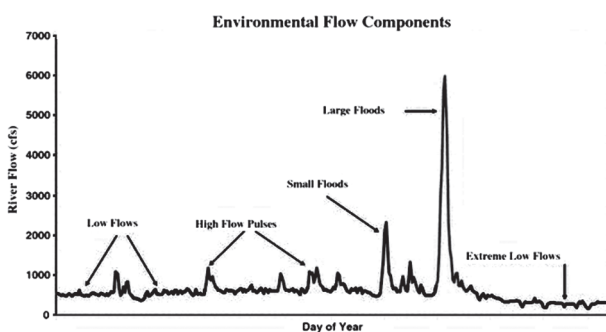
Selanjutnya, RVA mengklasifikasikan aliran ke dalam tiga kategori (Rybicki, 2009) yaitu: rendah, sedang dan tinggi. Aliran rendah mencakup aliran yang nilai aliran \leq persentil 33% (P_{33}). Aliran sedang mencakup semua aliran yang besarnya antara persentil 34% (P_{34}) sampai dengan 67% (P_{67}). Aliran tinggi mendefinisikan semua aliran yang besarnya lebih dari $>$ persentil 67% (P_{67}). Kemudian RVA menghitung frekuensi kejadian dari ke 33 parameter tersebut pada dua rentang waktu, yaitu: periode *pre-assesment* dan periode *post-assesment*. Corsedo (2013) menyatakan bahwa indikator perubahan hidrologi dihitung untuk ke tiga kategori dan dapat menghasilkan nilai positif atau negatif. Nilai positif menyatakan adanya indikator perubahan hidrologi yang meningkat dari periode pra (*pre*) dan paska (*post*) *assesment*. Nilai negatif menunjukkan adanya indikator perubahan yang menurun (dengan nilai minimum-1) dari periode (*pre*) dan (*post*) *assesment*.

Environmental Flow Component (EFC)

IHA juga dilengkapi dengan lima jenis aliran yang masuk ke dalam *Environmental Flow Components (EFC)* yaitu: aliran rendah (*base/low flow*), aliran yang sangat rendah (*extreme low flow*), aliran tinggi (*high flow*), banjir kecil (*small flood*), dan banjir besar (*flood*). Ke lima (5) jenis aliran tersebut bermanfaat dan sangat terkait dengan fungsi ekologi sungai (Mathews and Richter, 2007).

Aliran dasar (*Low flows*) menyatakan kondisi aliran yang dominan pada sebagian besar sungai. Pada sungai yang masih alami, setelah musim hujan berlalu dan aliran permukaan dari daerah tangkapan telah mereda, maka aliran di sungai (*stream flow*) akan kembali ke tingkat aliran yang rendah. Tingkat aliran rendah atau dikenal sebagai aliran dasar (*base flow*) disuplai oleh air tanah yang keluar ke sungai (*groundwater discharge*). Aliran dasar (*low flows* atau *base flow*) ini membatasi ketersediaan air di sungai sepanjang musim kemarau. Keterbatasan besarnya aliran dasar berpengaruh terhadap ketersediaan air, keragaman dan jumlah organisme yang dapat hidup pada habitat sungai (Rybicki, 2009).

Aliran sangat rendah (*Extreme low flows*) terjadi selama periode musim kemarau panjang, dimana aliran di sungai berada pada posisi yang sangat rendah (lebih rendah dari aliran dasar). Hal ini dapat menyebabkan banyak organisme menjadi *stress* karena kekurangan air. Selanjutnya, aliran sangat tinggi (*extreme high flow*) adalah kondisi kenaikan aliran air di sungai yang tidak sampai melebihi tepi sungai. Kondisi aliran semacam ini dapat membantu kehidupan biota yang berada di dalam air, karena kandungan oksigen di dalam air bertambah banyak. Aliran semacam ini juga



Gambar 1. Lima jenis aliran dalam kategori EFC (Mathews and Richter, 2007).

dapat membantu proses penggelontoran sungai, yaitu dengan membawa sampah ke wilayah hilir sungai. Aliran banjir kecil (*Small floods*) menyatakan kondisi aliran di sungai dengan debit tertentu yang dapat menyebabkan ikan dan organisme lain dapat bergerak ke arah hulu, hilir atau ke luar ke dataran banjir atau lahan basah di sekeliling sungai. Pada kondisi "banjir kecil", maka aliran pada sungai utama dan anak sungai-nya naik, tetapi tidak mencapai kondisi banjir ekstrem (Rybicki, 2009). Misalnya, kondisi aliran pada awal dan akhir musim penghujan. Aliran banjir besar (*Large floods*) menyatakan kondisi aliran pada level tertentu yang dapat merusak habitat sungai dan lingkungan di sekitar sungai. Aliran banjir besar dapat memindahkan banyak organisme ke tempat yang jauh dan merusak beberapa jenis populasi. Aliran banjir besar pada banyak kasus juga dapat menciptakan lingkungan baru yang memberi keuntungan kompetitif bagi beberapa spesies. Aliran banjir besar dapat membentuk habitat utama seperti danau dan lahan basah (*wet land*) di daerah hilir sungai (Rybicki, 2009). Contoh aplikasi IHA untuk analisis perubahan hidrologi dapat dijumpai dalam artikel yang ditulis oleh: (USGS, 2003), (Opperman, 2006a,b), dan (Corsedo, 2013). Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan analisis berbasis indikator perubahan hidrologi (*IHA*) tersebut dan mengevaluasi apakah telah terjadi perubahan yang signifikan pada aliran air di sungai Wonorejo (DAS Wonorejo) selama periode 1990 sampai dengan 2014.

Bahan dan Metode

Lokasi, Input Data dan Peralatan Penelitian

Penelitian dilakukan di sub-DAS Wonorejo (bagian dari DAS Wonorejo) di wilayah Kabupaten Lumajang (Gambar 2).

Luas sub-das Wonorejo (~132 km²). Das wonorejo mencakup wilayah yang relatif datar sampai dengan dataran menengah, dengan ketinggian tempat berada pada kisaran ketinggian 33 sampai 1620 mdpl (meter di atas permukaan laut). Outlet sub-das terletak di desa Wonorejo dan bermuara di Samudera Indonesia. Jaringan sungai mengarah ke laut selatan. Input utama untuk analisis ini adalah data debit harian (*daily flow data*) yang diperoleh dari lokasi pengukuran debit di desa Wonorejo. Data debit yang tersedia dan digunakan untuk penelitian ini untuk periode rekaman dari tahun 1990 sampai dengan 2014. Data hujan harian rerata dari semua stasiun hujan yang ada di dalam sub-DAS untuk periode rekaman dari 1997 sampai dengan 2014 digunakan untuk membantu interpretasi hasil.

Prosedur analisis

Inventarisasi dan Pengolahan Data

Data tersebut selanjutnya diformat dalam dua kolom (kolom 1 = tanggal, kolom 2 = data) sesuai dengan format perangkat lunak. Selanjutnya file

disimpan dalam format (*.txt) atau (*.csv). Persiapan dan pengolahan data menggunakan Excel. Analisis pendahuluan terhadap data time series debit menggunakan perangkat lunak *River Analysis Package* (Marsh, 2004; Marsh *et al.*, 2005ab). Analisis utama dilakukan menggunakan perangkat lunak IHA (IHA Software versi 7.0) yang didapat dari website (<https://www.conservationgateway.org>).

Parameter IHA

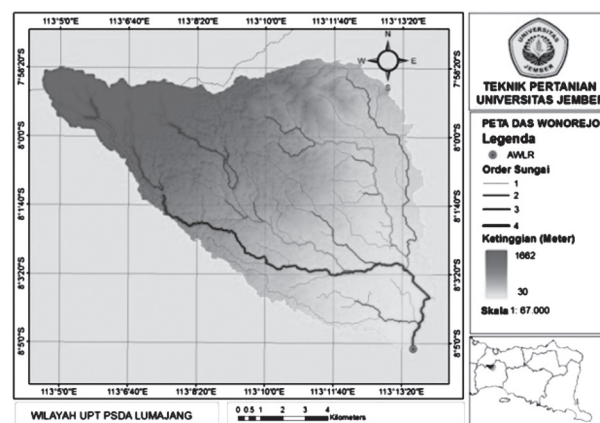
Pada langkah pertama, *IHA* menggunakan 33 parameter untuk menganalisis data debit harian. Data debit dianalisis dan dibagi ke dalam lima kelompok (Mathews dan Richter, 2007), mencakup: (a) kondisi aliran bulanan (rerata, median dan 12 sub-parameter lainnya), (b) kondisi aliran ekstrim untuk periode harian (1, 3, 7, 30 dan 90 hari) dan kondisi *base flow* setiap 7 hari (7 harian) (ada 12 sub parameter), (c) kondisi aliran ekstrim pada level (hari-an, bulan-an dan tahun-an), (d) frekuensi dan durasi dari tinggi dan rendahnya aliran, (e) rerata dan frekuensi dari perubahan aliran. Hasil analisis terhadap ke 33 parameter IHA ditampilkan dalam satu tabel untuk keperluan interpretasi lebih lanjut.

Analisis RVA

Pada langkah ke dua, *IHA* menggunakan tool *RVA (Range of Variability Approach)* (Richter *et al.*, 1997) untuk menganalisis perubahan hidrologi yang mungkin terjadi pada dua rentang waktu (*pre dan post-assesment*). Data debit rekaman yang ada dibagi ke dalam dua periode, yaitu: *pre-assesment* (dari 1990 – 2001) dan *post-assesment* (dari 2002 – 2014). Hasil analisis terhadap ke 33 parameter IHA ditampilkan dalam tabel atau grafik untuk keperluan interpretasi lebih lanjut.

Analisis EFC

Algoritma *EFC* melakukan 3 fase penyaringan untuk memilah setiap data (kejadian debit) dan mengklasifikasikan ke dalam salah satu jenis aliran *EFC*. Fase pertama, setiap data harian diidentifikasi apakah masuk ke dalam kelas "low flows atau high



Gambar 2. Lokasi Penelitian – DAS Wonorejo (sub-DAS Wonorejo).

Tabel 1. Hasil analisis morfometri sub-DAS Wonorejo.

Orde	Segment	Bifurcation ratio	Length (km) (km)	Mean Stream length (km)	Stream length ratio
orde 1	65	2,03	108	1,66	
orde 2	32	1,6	41	1,28	0,77
orde 3	20	1,67	23	1,15	0,9
orde 4	12		19	1,58	1,38
Rerata		1,77	47,75	1,42	1,02

flows". Fase ke dua, dievaluasi apakah masuk ke "extreme high flow" dan selanjutnya dipisahkan ke dalam kelas 1, 2, at 3. Fase ke 3, selanjutnya setiap "Low flow" diklasifikasikan ke dalam salah satu jenis extreme low flow.

Interpretasi

Hasil analisis IHA selanjutnya dapat digunakan sebagai dasar untuk interpretasi kondisi aliran di DAS Wonorejo. Interpretasi mencakup hasil analisis melalui ke 33 indikator, hasil analisis RVA dan EFC.

Hasil dan Pembahasan

Karakteristik DAS

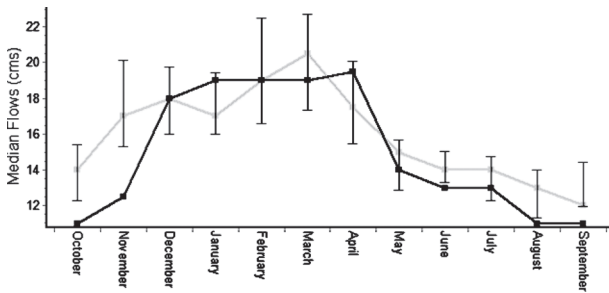
Data DEM (Digital Elevation Model) dari Aster GDEM2 (<http://asterweb.jpl.nasa.gov/GDEM.ASP>) digunakan sebagai input untuk membuat batas DAS secara otomatis dan menentukan karakteristik jaringan sungai. Pengolahan dilakukan menggunakan menu Hidrological Function yang ada pada software GIS. Selanjutnya, karakteristik morfometri diturunkan dari pengolahan DEM. Tabel (1) memuat karakteristik

morfometri utama jaringan sungai yang ada di sub-DAS Wonorejo.

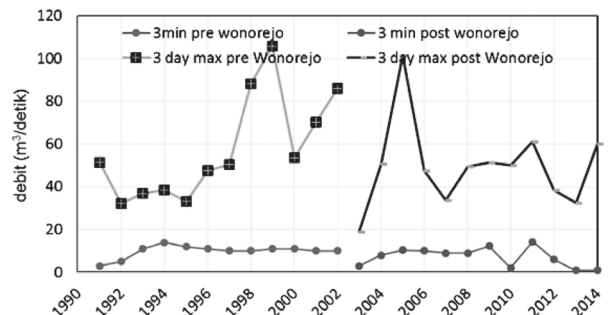
Analisis detail morfometri menghasilkan keliling DAS = 63 km, total panjang sungai = 190 km, nilai Orde (strahler) anak sungai yang tertinggi = 4. Panjang anak sungai rerata = 19 km. Nilai rerata bifurcation ratio = 1.77. Mean stream length = 1.42; stream length ratio = 1,06. Infiltration indeks = 1.42, basin relief = 1.63, relief ratio = 0.09, drainage density = 1.44; stream frekuensi = 0.98; texture ratio = 1.03; form factor = 0.37; elongation ratio = 0.68. Jenis tanah yang ada di sub-DAS Wonorejo mencakup: 21% grumosol dan 78% mediteran. Peruntukan lahan utama-nya terdiri dari: pemukiman, kebun, sawah irigasi, sawah tadah hujan, hutan dan perladangan.

Hasil Analisiske 33 Parameter IHA

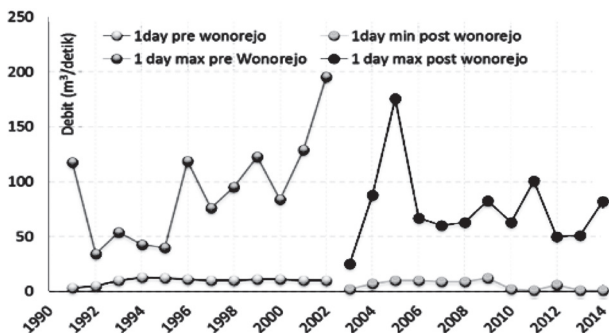
Grafik pada gambar (3) menunjukkan data debit pada DAS Wonorejo yang sudah dibagi ke dalam periode pre-assesment dan post-assesment. Secara umum grafik menunjukan adanya perubahan aliran bulanan dari periode pre-assesment ke post-assesment, yang cenderung menurun. Perubahan negatif pada aliran bulanan, menunjukan penurunan



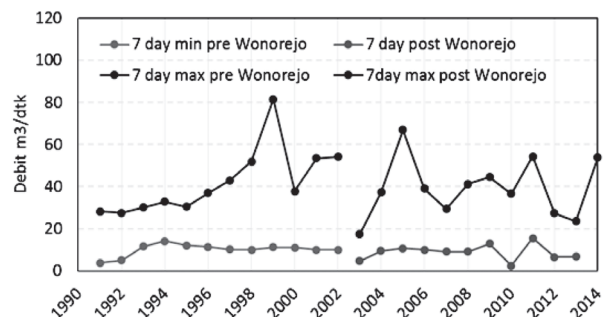
Gambar 3. Perubahan aliran bulanan.



Gambar 5. Aliran ekstrem 3 hari-an.



Gambar 4. Aliran ekstrem 1-harian (min & maksimal).



Gambar 6. Aliran ekstrem 7 hari-an.

debit bulanan pada periode *post-assesment*, dibanding dengan *pre-assesment*.

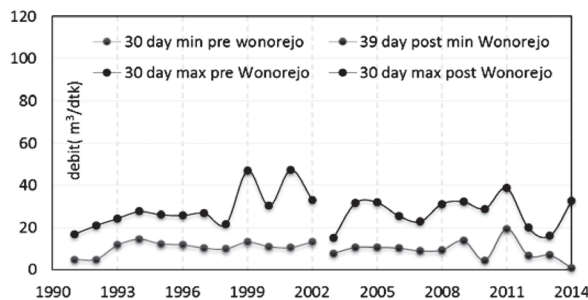
Selanjutnya, aliran ekstrem harian, baik minimal maupun maksimal mengalami penurunan. Grafik pada gambar (4) memperlihatkan perubahan debit ekstrem harian (1 hari minimal dan maksimal) dari periode *pre* dan *post-assesment*. Kondisi aliran 1 hari minimal dan maksimal mengalami penurunan, dengan nilai (-1.77) dan (-0.85).

Selanjutnya, aliran ekstrem 3 hari-an (3 hari terus-menerus minimal) dan (3 hari terus-menerus maksimal) juga mengalami penurunan dengan nilai parameter IHA sebesar (-0.08) dan (-0.38) (gambar 5).

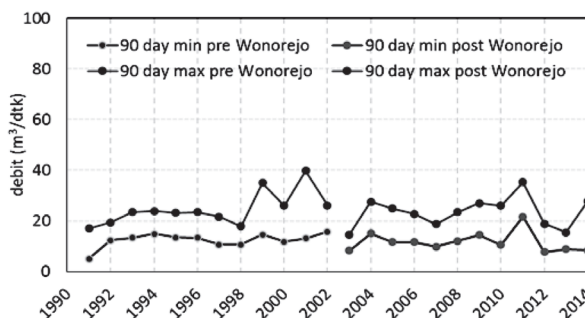
Aliran ekstrem 7 hari-an (minimal) dan (maksimal) juga mengalami penurunan, dengan nilai perubahan (-0.069) dan (-0.38) (gambar 6). Aliran ekstrem 30 hari minimal mengalami kenaikan dengan nilai perubahan IHA antara *pre* dan *post-assesment* sebesar (0.54), sebaliknya untuk 30 hari maksimal mengalami penurunan dengan nilai perubahan sebesar (-0.54) (Gambar 7).

Kondisi aliran 90 hari minimal mengalami penurunan (-0.77) dan kondisi aliran 90-hari maksimal mengalami penurunan dari periode *pre* ke *post-assesment*, dengan nilai (-0.31) (Gambar 8).

Secara umum dapat disimpulkan bahwa aliran bulanan dan aliran ekstrem hari-an, 3 hari, 7 hari, 30 hari, dan 90 hari cenderung mengalami penurunan pada periode *post-assesment*. Hal ini menunjukkan adanya penurunan kuantitas aliran air (debit) di sungai Wonorejo pada 10 tahun terakhir. Penurunan mencakup aliran bulanan, harian dan aliran ekstrem. Kecenderungan nilai statistik yang turun dari berbagai jenis aliran tersebut merupakan hasil analisis IHA secara statistik (rerata tiap tahun) dan ditunjukkan oleh nilai dengan tanda negatif (-). Grafik pada gambar



Gambar 7. Aliran ekstrem 30 hari-an.



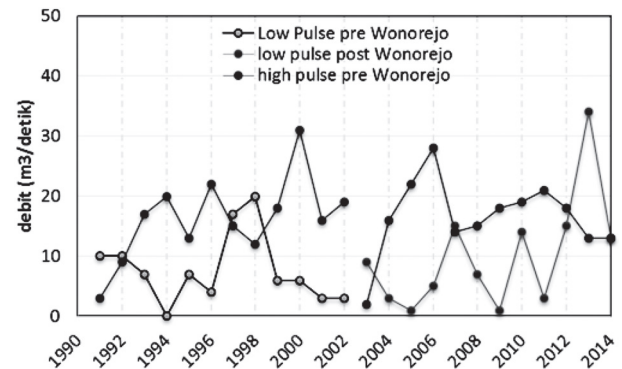
Gambar 8. Aliran ekstrem 90 hari-an.

(5) dan (6) dapat membedakan dengan secara visual penurunan tersebut. Pada gambar (7) dan (8) perbedaan kurang dapat divisualisasikan secara grafis, karena skala perubahan antar dua periode yang relatif kecil.

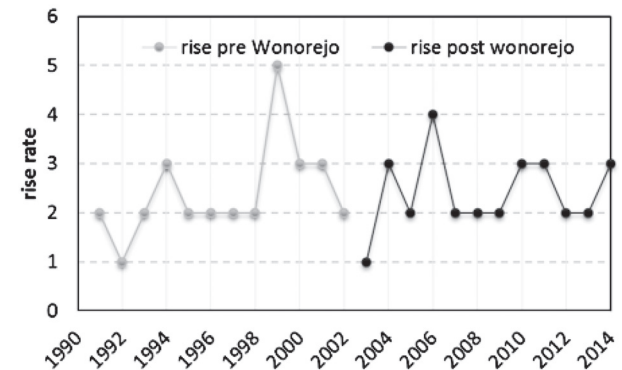
Gambar (9) menunjukkan nilai aliran-tinggi (*high-pulse*) and aliran-rendah (*low-pulse*) yang diperoleh berdasarkan ambang batas dari nilai median, dengan asumsi bahwa nilai *aliran-tinggi* terjadi jika debit berada di atas persentil 50%, sedangkan *aliran-rendah* didapat dari nilai yang di bawah persentil 25%. Kenaikan hidrograf (*rise*) dengan nilai median 2, mengalami menurun dari periode *pre* ke *post-assesment* sebesar (-0.31) (Gambar 10).

Environmental Flow Component (EFC)

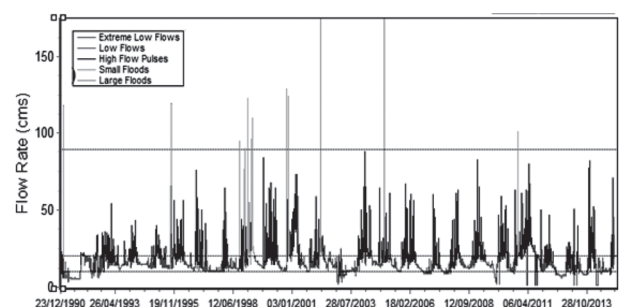
Ambang batas pada analisis *Eviromental Flow Component (EFC)* dapat diartikan sebagai suatu nilai batas debit untuk menyatakan ke lima jenis komponen aliran. Gambar (11) menunjukkan hasil analisis *EFC*



Gambar 9. Aliran tinggi and aliran-rendah.



Gambar 10. Kenaikan hidrograf.



Gambar 11. Hasil analisis EFC untuk DAS Wonorejo.

Tabel 2. Komponen EFC, aliran-sangat-rendah (*extreme-low-flow*) dan aliran tinggi (*high-flow*).

<i>EFC parameters</i>	<i>(a) Extreme-low-flow</i>		<i>EFC parameters</i>	<i>(b) High-flow</i>	
	Median	SD		Median	SD
<i>Extreme-low-flow peak</i>	10.00	0.20	<i>High-flow peak</i>	26.00	0.12
<i>Extreme-low-flow duration</i>	3.00	1.00	<i>High-flow duration</i>	2.00	0.50
<i>Extreme-low-flow timing</i>	289.00	0.33	<i>High-flow timing</i>	44.00	0.08
<i>Extreme-low-flow frequency</i>	5.00	2.00	<i>High-flow frequency</i>	15.00	0.47
			<i>High-flow rise rate</i>	7.00	0.77
			<i>High-flow fall rate</i>	-5.00	-0.73

Tabel 3. Komponen EFC, untuk *small* dan *large flood*.

<i>EFC parameters</i>	<i>(a) Small flood</i>		<i>EFC parameters</i>	<i>(b) Large flood</i>	
	Median	SD		Median	SD
<i>Small-flood peak</i>	90.50	0.39	<i>Large flood peak</i>	186.00	0.11
<i>Small-flood duration</i>	8.00	3.38	<i>Large flood duration</i>	26.00	1.31
<i>Small-flood timing</i>	347.50	0.31	<i>Large flood timing</i>	56.00	0.22
<i>Small-flood frequency</i>	0.00	0.00	<i>Large flood frequency</i>	0.00	0.00
<i>Small-flood rise rate</i>	38.90	1.68	<i>Large flood rise rate</i>	28.00	0.86
<i>Small-flood fall rate</i>	-20.93	-1.49	<i>Large flood fall rate</i>	-5.00	-0.73

yang mengklasifikasikan aliran ke dalam lima (5) kategori EFC yaitu: aliran rendah (*low flow*), aliran-sangat-rendah (*extreme-low-flow*), aliran tinggi (*high-flow*), banjir-kecil (*small-flood*) dan banjir-besar (*large flood*).

Selanjutnya, tabel (2) memperlihatkan hasil analisis komponen EFC untuk: (a) *extremelow-flow* dan (b) *high-flow*. Kondisi aliran-sangat-rendah (*extreme low-flow*) terjadi dengan ambang batas di bawah persentil 10 setiap tahunnya, kemudian nilai median didapatkan dari nilai tengah semua tahun yang ada. Aliran-tinggi (*high-flow*) dihitung jika aliran melebihi ambang batas dari persentil 75% setiap tahunnya, kemudian nilai median didapatkan dari nilai tengah dari keseluruhan tahun yang ada.

Analisis aliran-sangat-rendah (*extreme-low-flow*) menghasilkan nilai median dan standar deviasi (SD) untuk empat (4) sub-parameter (tabel 2), yaitu: puncak aliran-sangat-rendah (*extreme-low-flow peak*), durasi aliran-sangat-rendah (*extreme-low-flow duration*), saat terjadinya aliran-sangat-rendah (*extreme-low-flow timing*) dan frekuensi aliran-sangat-rendah (*extreme-low-flow frequency*). Median puncak aliran-sangat-rendah sekitar $\sim 10\text{m}^3/\text{detik}$ (peak), berlangsung selama 3 hari (duration), pada tanggal ke-289 (timing) dan frekuensi 5 kali (*frequency*) setiap tahunnya (tabel 2).

Analisis aliran-tinggi (*high-flow*) menghasilkan enam (6) sub-parameter, yaitu: puncak aliran-tinggi (*high-flow peak*), durasi aliran tinggi (*high-flow*

duration), frekuensi-aliran tinggi (*high-flow frequency*), laju kenaikan-aliran-tinggi (*high-flow-rise rate*), dan laju penurunan-aliran-tinggi (*high-flow-fall rate*).

Puncak aliran-tinggi (*high-flow peak*) merupakan nilai debit puncak yang telah terjadi dari seluruh aliran tinggi. Nilai median diambil dari data tiap tahunnya. Pada kasus DAS-Wonorejo nilai puncak-nya = $26\text{ m}^3/\text{detik}$. Durasi aliran-tinggi (*high-flow duration*) menyatakan lama kejadian (durasi) aliran tinggi tersebut pada setiap tahunnya (durasi = 2 hari pada tabel 2b). Frekuensi aliran tinggi (*high-flow frequency*) menunjukkan jumlah kejadian aliran-tinggi pada tiap tahunnya (nilai 15 kali menunjukkan median dari seluruh tahun yang ada). Laju kenaikan-aliran-tinggi (*high flow rise rate* = 7.00) dan *high flow fall rate* (-5.00) menunjukkan jumlah kenaikan dan penurunan hidrograf pada aliran tinggi.

Hasil analisis untuk komponen EFC yang terkait dengan banjir kecil (*small-flood*) dan besar (*large flood*) tercantum pada tabel (3). Banjir-kecil (tabel 3a) dihitung jika nilai debit aliran di sungai \geq nilai ambang batas debit pada persentil 90 setiap 2 tahunnya, selanjutnya nilai median didapatkan dari nilai tengah dari keseluruhan tahun yang ada. Analisis ini menghasilkan enam (6) sub-parameter banjir-kecil (*small-flood*) yaitu: *peak*, *duration*, *timing*, *frequency*, *rise rate* dan *fall rate*.

Small-flood peak merupakan nilai puncak dari *small flood* yang telah terjadi pada tiap tahunnya (nilai median = $90\text{ m}^3/\text{detik}$) merupakan median dari

semua tahun yang dianalisis. *Small-flood duration* menyatakan lamanya aliran small flood pada tiap tahunnya, nilai median (=nilai 8 hari) dihitung dari data semua tahun dalam periode analisis. *Small flood flow frequency* menunjukkan jumlah kejadian small flood setiap tahun-nya, nilai 0 menunjukkan small flood tidak terjadi setiap tahunnya. *Small-flood rise-rate* dan *fall-rate* menunjukkan jumlah segmen naik hidrograf (38.57) dan segmen turun hidrograf (-20.93) dari aliran *small flood* pada tiap tahunnya, nilai median dihitung dari data pada keseluruhan periode analisis.

Aliran diklasifikasikan ke dalam *large-flood* jika melebihi ambang batas dari persentil 99% pada setiap 10 tahun sekali, selanjutnya nilai median didapatkan dari nilai tengah dari keseluruhan tahun yang ada (Tabel 3b). Analisis large flood menghasilkan enam parameter, mencakup: *peak, duration, timing, frequency, rise rate dan fall rate*. *Large flood flow peak* merupakan nilai puncak dari banjir besar (*large flood*) yang telah terjadi (nilai median = 186 m³/detik) selama periode analisis. *Large-flood flow-duration* menyatakan lamanya aliran banjir besar tiap tahunnya (nilai median = 26 hari). *Large-flood flow-frequency* menyatakan jumlah kejadian banjir besar (*large flood*) pada tiap tahunnya (nilai median = 0), karena banjir besar dihitung setiap periode 10 tahun, dan dapat saja tidak terjadi pada setiap tahunnya, sehingga nilai median tahunan = 0. Kenaikan hidrograf pada aliran banjir besar dihitung tiap tahunnya (nilai median =28.00) dan penurunan hidrograf juga dihitung tiap tahun dengan nilai median = -15.75.

Kurva durasi aliran (KDA)

Kurva Durasi Aliran (KDA) atau *flow duration curve* (FDC) memplotkan antara frekuensi besarnya aliran (debit) pada sumbu (y) yang melebihi batas (persentil) tertentu (dinyatakan dalam sumbu x) (Indarto *et al.*, 2013). KDA dapat digunakan untuk berbagai macam analisis terkait dengan data debit sungai (Indarto, 2016).

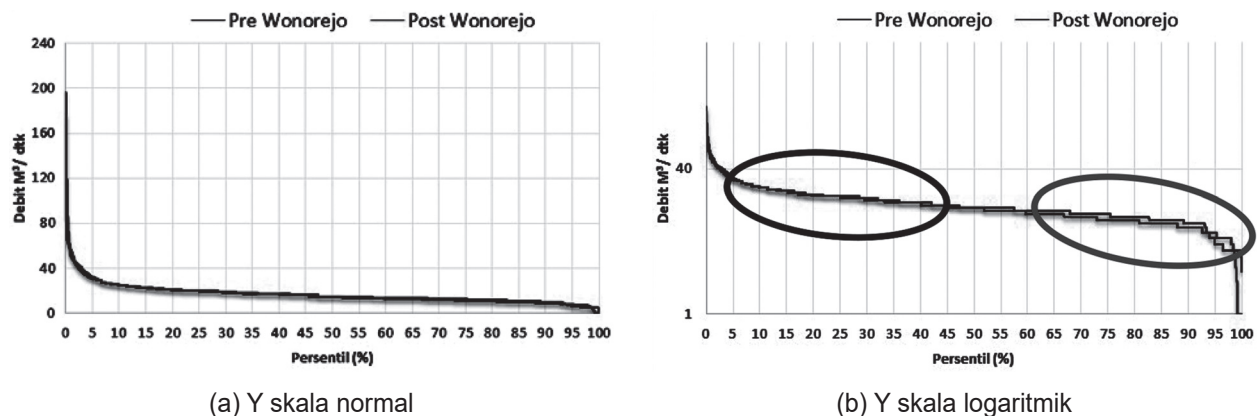
Gambar (12) menampilkan KDA dari data debit sungai, pada dua periode, yaitu: *pre-assesment* (dari 1990 – 2001) dan *post-assesment* (dari 2002 – 2014). KDA untuk *pre-assesment* digambarkan sebagai

kurva berupa garis kontinyu (*solid line*) berwarna biru. KDA untuk *post-assesment* digambarkan dalam kurva bergaris-putus putus (*dashed line*) berwarna hitam. KDA dalam skala normal ditampilkan pada grafik (a), sedangkan grafik (b) menampilkan KDA dalam skala logaritmik.

Pada gambar 12(a) sulit untuk membedakan *pre dan post assesment*. Pada gambar (b) terlihat adanya perbedaan pada wilayah grafik di dalam kurva elips. Pada persentil 10% sampai dengan 40% terlihat KDA untuk *post-assesment* (grafik garis hitam-putus-putus) berada sedikit di bawah KDA *pre-assesment* (grafik garis biru kontinyu). Persentil 20 sampai dengan 40 menunjukkan debit sungai pada kategori *high-flow* yang menunjukkan adanya penurunan pada periode *post-assesment* dibandingkan *pre-assesment*. Pembangunan infrastruktur irigasi pada wilayah atas DAS dapat mempengaruhi penurunan debit ini. Penurunan debit pada periode *post-assesment* juga teramati pada persentil antara 50% sampai dengan 80%. Segmen KDA antara persentil 50 sd 80 menunjukkan debit kecil (*base flow atau low flow*).

Simpulan

Penelitian telah berhasil menerapkan konsep analisis berbasis *IHA (Indicator of Hydrological alteration)* di DAS Wonorejo. Periode rekaman data debit yang dievaluasi antara 1990 sampai dengan 2014. Hasil analisis menunjukkan bahwa: bahwa aliran bulanan dan aliran ekstrem (1 hari, 3 hari, 7 hari, 30 hari, dan 90 hari) cenderung mengalami penurunan pada periode *post-assesment*. Ini menunjukkan adanya penurunan kuantitas aliran (debit) air di sungai Wonorejo pada 10 tahun terakhir. Penurunan mencakup aliran bulanan, harian dan aliran ekstrem. Penurunan juga terlihat pada jumlah dan puncak *high and low flow*. Penelitian juga menghasilkan klasifikasi debit atas dasar EFC (*Environmental Flow Component /EFC*) yang terkait dengan keberlanjutan ekologi di sungai Wonorejo. Perbedaan karakteristik aliran pada kedua periode analisis juga dapat ditunjukkan dengan Kurva Durasi Aliran.



Gambar 12. KDA pre dan post assesment

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini merupakan bagian dari skim Hibah Kompetensi berjudul "Pengembangan Indikator untuk klasifikasi DAS dan antisipasi Bencana Hidrometeorologis di Jawa Timur" tahun anggaran 2017 kontrak No 1799/UN25.3.1/LT/2017 periode 25 April sd 30 Oktober 2017. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Dirjen RISBANG Kemenristek Dikti, Dinas Pengairan Provinsi Jawa Timur, para mahasiswa PS-TEP, dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Corsedo, J.S.L.L. 2013. Application of Indicator of Hydrologic Alteration in Portugis Rivers Impact by Dam. Portugal. Technico Lisboa.
- Indarto. 2016. Hidrologi: Metode Analisis Dan Tool Untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai. Andi Publisher.
- Indarto., S. Widodo dan A.P. Subakti. 2013. Karakteristik Fisik Dan Kurva Durasi Aliran Pada 15 Das Di Jawa Timur (Physical Properties and Flow Duration Curves of 15 Watersheds in East Java. *Jurnal Agritech* 33 (4). DOI: <http://dx.doi.org/10.22146/agritech.9543>: 469–76.
- Marsh, N. 2004. Time Series Analysis Module: River Analysis Package, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Monash University, Melbourne Australia.
- Marsh, N., C. Harman dan S. Arene. 2005a. Time Series Manager Module: River Analysis Package, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Monash University, Melbourne Australia.
- Marsh, N., M. Kennard, A. Arthington, M. Stewardson, dan S. Arene. 2005b. Ecological Response Models Module: River Analysis Package, Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Monash University, Melbourne Australia.
- Mathews, R., dan B. Richter. 2007. Application of the Indicator of Hydrologic Alteration Software in Environmental Flow Setting. *American Water Association* Vol. 43 (5) 1400-1413.
- Opperman, J. 2006a. Preliminary IHA analysis for the Middle Fork Willamette River at Jasper OR.
- Opperman, J. 2006b. Indicators of Hydrologic Alteration analysis for the Patuca River.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, J. Powell, dan D.P. Braun. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*. Posted to nature.org with permission from Blackwell Science, publisher of *Conservation Biology*. Vol 10(4), 1163-1174.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, R. Wigington, dan D.P. Braun. 1997. How much water does a river need?. *Freshwater Biology*. Posted to nature.org with permission from Blackwell Science, publisher of *Freshwater Biology*. Vol 37, 231-249.
- Richter, B.D., J.V. Baumgartner, D.P. Braun, dan J. Powell. 1998. A spatial assessment of hydrologic alteration within a river network. *Regulated Rivers: Research & Management*. Vol 14, 329-340.
- Rybicki, T. 2009. Indicator of Hydrology Alteration Version 7.1 User Manual. United State of Amerika: The Nature Coservancy. <http://www.researchgate.net/publication/247954759> [21 Oktober 2015].
- Stewardson, M.J., 2004, "Environmental Flow Analysis", Technical Report to the Co-operative Research Center for Catchment Hydrology.
- USGS. 2003. Applying Indicator of Hydrology Alteration to Texas Streams Overview of Methods with Examples from Trinity River Basin. Texas: The Nature Coservancy. <http://pubs.usgs.gov/fs/fs12803/pd>.