

ANALISIS BEBAN PENCEMAR DAN KAPASITAS ASIMILASI DI MUARA SUNGAI TONDANO TELUK MANADO

Analysis of Pollutant Load and Assimilation Capacity in Tondano Estuary, Manado Bay

Irman Rumengan^a, Haeruddin^b, Pujiono Wahyu Purnomo^b

^aProgram Studi Pasca Sarjana UNDIP, Semarang, Indonesia — irman08.08@gmail.com

^bProgram Manajemen Sumberdaya Pantai, Program Studi Pasca Sarjana UNDIP, Semarang, Indonesia

Abstract. *The Tondano river estuary waters is located in the Manado city, North Sulawesi Province. Receiving inputs from rural, urban, hydropower, agriculture, plantation, livestock, and industrial activities is high enough to cause a decrease in the quality of Tondano river estuary waters. The aim of this research is to analyze the pollutant load from Tondano river and the assimilation capacity of Tondano river estuary waters. The study was conducted in December 2016 - January 2017 in the waters of the Tondano river estuary. The research method refers to the approach of measuring pollution load of river estuary. Multiplication of concentration of pollution variables with river flow discharge, calculation of assimilation capacity by making a graph of the relationship between pollutant concentration and pollutant load at river estuary, which then analyzed with water quality standard value for marine life based on Decree of State Minister of Environment Number 51 of 2004. The measurement results showed that the pollution load value of BOD5 was 261,473 mg/s, nitrate (NO3-N) of 0,747 mg/s, lead (Pb) of 0,747 mg/s, and phosphate (PO4-P) of 0,311 mg/s. The pollution load variable that has passed the assimilation capacity is NO3-N, PO4-P, and Pb, while the variable that has not passed the assimilation capacity is BOD5. From the results, it can be concluded that the waters of the Tondano river estuary have been polluted by NO3-N, PO4-P, and Pb contaminants. Water pollution control of Tondano river estuary needs to be done more tightly so that the potential of coastal and marine resources remain sustainable.*

Keywords: *Assimilation capacity, pollutant load, tondano river estuary.*

(Diterima: 11-04-2017; Disetujui: 12-07-2017)

1. Pendahuluan

Muara Sungai Tondano merupakan salah satu dari enam muara sungai yang bermuara di Teluk Manado dan letaknya juga berada di pesisir Kota Manado yang merupakan Ibukota Provinsi Sulawesi Utara. Pada proses perkembangannya, Kota Manado sebagai Ibukota Provinsi banyak dipengaruhi oleh aktivitas pembangunan baik di daerah daratan (lahan atas) maupun di daerah pesisir pantai. Aktivitas daratan menghasilkan buangan air melalui Sungai Tondano, sehingga menyebabkan sungai ini sebagai agen pembawa bahan aktivitas antropogenik ke muara sungai. Muara Sungai Tondano menerima masukan aktivitas pemukiman pedesaan, pemukiman perkotaan, aktivitas pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pertanian, perkebunan, peternakan, perindustrian, serta aktivitas disekitar perairan muara sungai yang cukup tinggi. Menurut Narasiang *et al.* (2015) perairan Teluk Manado merupakan perairan teluk yang cukup variatif manfaatnya seperti penangkapan ikan, transportasi, dan pariwisata sehingga potensi pencemaran terjadi, dan dapat berbahaya bagi biota yang hidup dalam perairan tersebut. Terdapat pemukiman, pertokoan, perhotelan, rumah makan, pelabuhan kapal dan perahu serta seringnya aktifitas pengecetan perahu dan kapal yang diperkirakan menyumbang logam berat pada perairan (Selayar, 2015).

Pengaruh aktivitas yang berlebihan, diperkirakan akan menyebabkan adanya perubahan kualitas perairan

yang selanjutnya akan terjadi pencemaran di perairan muara Sungai Tondano. Menurut Undang-undang Nomor 32 Tahun 2009, pencemaran lingkungan hidup adalah masuknya atau dimasukkannya makhluk hidup, zat, energi dan/atau komponen lain ke dalam lingkungan oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu lingkungan hidup yang telah ditetapkan. Aktivitas perkotaan, pertanian, perkebunan, peternakan, pertambangan, dan industri di lahan atas serta pengaruh dari perairan sekitar merupakan sumber masuknya bahan pencemaran ke perairan muara dan pantai.

Dalam beberapa tahun terakhir, pencemaran di muara Sungai Tondano telah meningkat bahkan sampai pada ambang melewati baku mutu yang ditetapkan, hal ini diasumsikan berdasarkan masukan aktivitas yang tinggi dari pembangunan yang dilakukan pada sekitar muara sungai dan aktivitas di lahan atas yang secara langsung memberikan dampak pada muara sungai. Penelitian yang telah dilakukan oleh Tilaar (2014) menemukan bahwa, kandungan timbal (Pb) di kolom perairan muara Sungai Tondano telah melampaui kadar baku mutu air laut untuk biota laut.

Di lain pihak, perairan muara Sungai Tondano serta wilayah perairan sekitarnya mempunyai potensi sumberdaya perairan yang tinggi, berupa potensi sumberdaya perikanan, pariwisata, pemukiman, pelabuhan, sarana transportasi, dan sebagainya, yang akan terkena dampak jika terjadinya penurunan kualitas perairan maupun pencemaran di perairan tersebut. Seperti diketahui, muara Sungai Tondano bermuara di Teluk Manado, dimana lokasi Teluk Manado

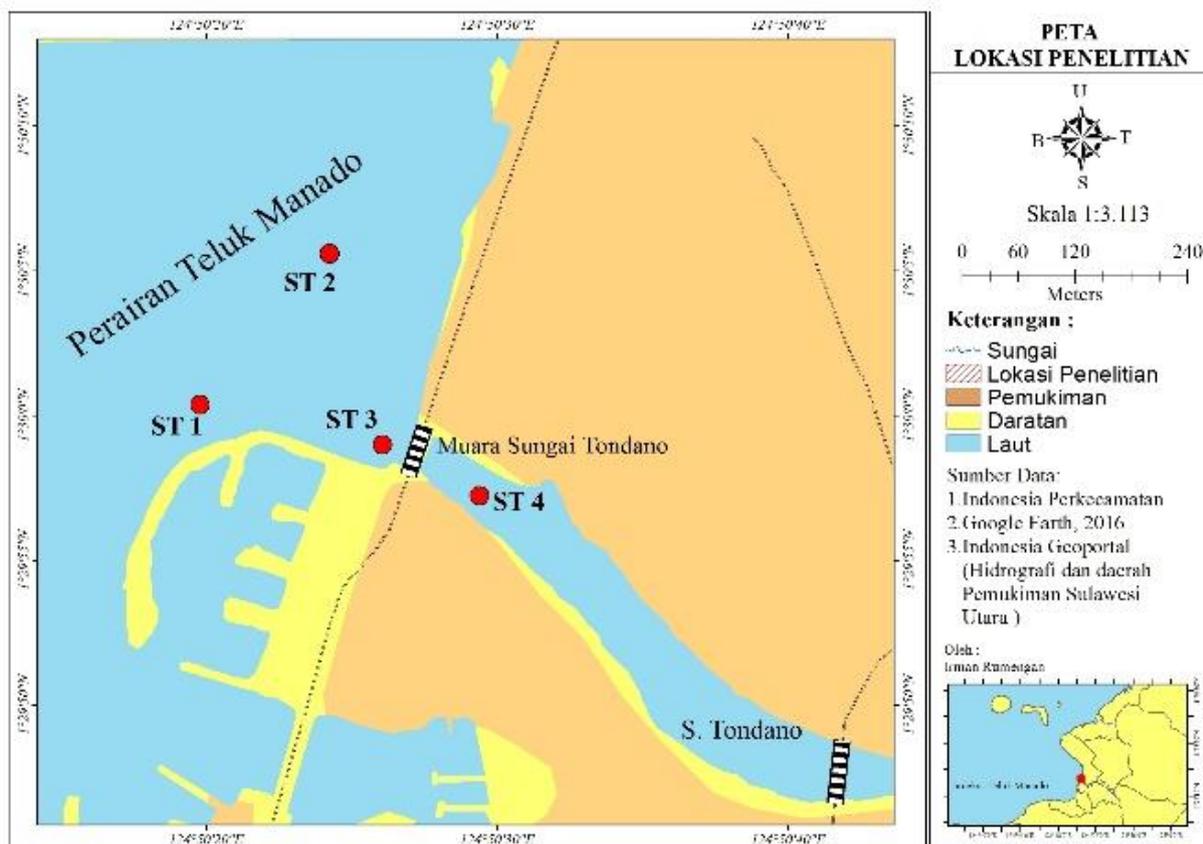
berdekatan dengan Taman Nasional Laut (TNL) Bunaken yang memiliki potensi sumberdaya pariwisata perairan dan perikanan yang sangat baik. Selain TNL Bunaken yang berada di bagian utara dari Teluk Manado, terdapat juga lokasi pariwisata khususnya wisata perairan seperti wisata pantai, snorkling, renang dan selam (*diving*) di Pantai Malalayang (bagian selatan dari muara Sungai Tondano), serta terdapat juga aktivitas penangkapan ikan yang sering dilakukan oleh masyarakat sekitar Teluk Manado, baik di muara Sungai Tondano maupun sekitarnya.

Melihat berbagai macam potensi sumberdaya yang terdapat di perairan pesisir, maka akan terdapat pula potensi ancaman oleh beban pencemaran yang dapat merusak potensi sumberdaya perairan yang ada. Potensi ancaman oleh beban pencemaran cenderung meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan peningkatan kegiatan pembangunan dari waktu ke waktu. Beban pencemaran yang dibawa oleh masukan massa air sungai dari pemukiman pedesaan dan aktivitas perkotaan serta beban pencemaran yang berasal dari laut akan berpusat ke wilayah pesisir, sehingga tujuan dari penelitian ini yaitu melihat

seberapa tinggi tingkat beban pencemaran yang masuk ke perairan muara Sungai Tondano serta kapasitas asimilasinya terhadap beban pencemaran.

2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan pada perairan muara Sungai Tondano selama Desember 2016 – Januari 2017. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali ulangan dengan interval waktu pengambilan data yaitu 2 minggu (pada saat perairan sedang surut). Pengambilan sampel air dilakukan secara *in-situ* (perairan muara Sungai Tondano), dilanjutkan dengan pengamatan dan analisa yang dilakukan secara *ex-situ* (laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri Manado) terhadap variabel nitrat, fosfat, timbal, dan BOD₅. Penentuan stasiun penelitian dilakukan secara *purposive*, dengan mempertimbangkan masukan sumber bahan pencemar, pengaruh perairan laut, serta area luasan perairan muara Sungai Tondano. Stasiun pengamatan terbagi atas 4 stasiun, yang tersebar merata di wilayah perairan muara Sungai Tondano (Gambar 1).



Gambar 1. Stasiun Pengamatan di Muara Sungai Tondano, Teluk Manado.

Beban pencemaran (*BP*) dinyatakan dalam satuan jumlah beban pencemaran per satuan waktu. Nilai beban pencemaran didapatkan dari hasil perkalian antara konsentrasi parameter pencemaran (*C*) dengan debit aliran sungai (*Q*) (Mitsy dan Goesselink, 1993 dalam Marganof *et al.*, 2007), dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$BP = Q \times C \dots\dots\dots (1)$$

Kapasitas asimilasi dapat diketahui dengan cara membuat grafik hubungan antara konsentrasi masing-masing parameter limbah di perairan dengan beban limbah pencemaran parameter tersebut di muara sungai

dan selanjutnya dianalisa dengan cara memotongkannya dengan garis baku mutu air yang diperuntukan bagi biota berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 (Quano, 1993 dalam Asuhadi, 2006; Sembel, 2012; Hamzah *et al.*, 2015). Pola hubungan antara konsentrasi limbah dengan beban pencemaran direferensikan terhadap standart baku mutu berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang “Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut”. Nilai kapasitas asimilasi didapatkan dari titik perpotongan dengan nilai baku mutu untuk parameter yang diuji.

Analisis regresi menggunakan parameter beban pencemar sebagai peubah bebas (*independent*) dan parameter konsentrasi pencemar sebagai peubah tak bebas (*dependent*). Perhitungan regresi menggunakan *software excel 2007*, dengan rumus berikut:

$$Y = a + bx \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

- Y = Parameter konsentrasi pencemar di muara sungai
- x = Nilai parameter beban pencemar dari sungai
- a = Intersep/ perpotongan dengan sumbu tegak (nilai tengah/rataan umum)
- b = kemiringan/gradient (koefisien regresi untuk parameter di perairan)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Beban Pencemaran Muara Sungai Tondano

Panjang Sungai Tondano dari hulu hingga muara yaitu 39,9 km, dengan penggunaan lahan di sepanjang daerah aliran Sungai Tondano yaitu untuk pemukiman, pertanian, perkebunan, peternakan, perikanan darat, PLTA, serta perindustrian (BPS, 2016). Sungai dapat berperan sebagai penyalur bahan pencemaran dari daratan ke perairan muara, pantai hingga laut (Green *et al.*, 2006). Selanjutnya, pertumbuhan penduduk yang semakin cepat serta pembangunan kawasan industri merupakan sumber dari penurunan kualitas lingkungan dimana perairan termasuk didalamnya (Cheevaporn dan Piamsak, 2003).

Beban pencemar muara Sungai Tondano dari berbagai aktivitas yang masuk ke perairan, diukur berdasarkan perkalian antara debit air sungai dengan konsentrasi parameter pencemaran air yang diamati yaitu nitrat, fosfat, timbal dan BOD₅. Hasil perhitungan beban pencemaran selama waktu pengamatan Desember 2016 – Januari 2017 dapat dilihat pada Tabel 1.

Rata-rata beban pencemaran yang masuk ke perairan muara Sungai Tondano yaitu BOD₅ sebesar 261.473 mg/det, nitrat sebesar 0.747 mg/det, timbal sebesar 1.196 mg/det, dan fosfat sebesar 0.863 mg/det. Secara umum beban pencemaran (nitrat, fosfat, timbal, dan BOD₅) yang ada di perairan muara Sungai Tondano merupakan pencemaran yang berasal dari aktivitas limbah pemukiman kota, pedesaan, pertanian, dan

perindustrian yang berada di lahan atas, yang membuang limbah aktivitasnya ke aliran Sungai Tondano dan bermuara di muara Sungai Tondano. Sumber bahan pencemaran baik pencemaran bahan organik maupun *non-organik* bersumber dari pertanian dan limbah industri (El-Kafrawy *et al.*, 2015).

Tabel 1. Nilai Beban Pencemaran di Muara Sungai Tondano.

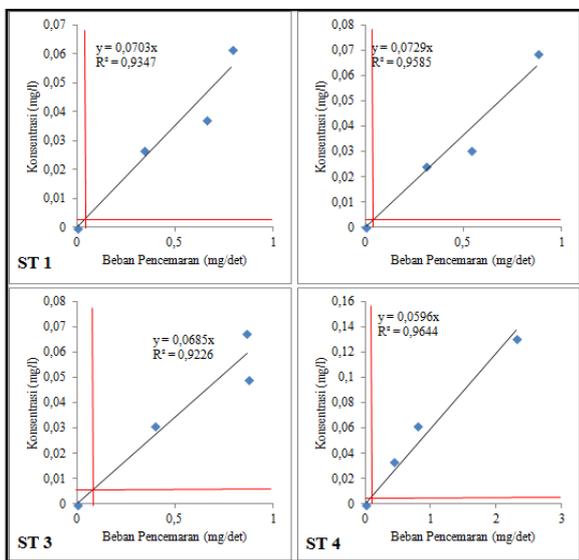
St	Beban Pencemaran (mg/det)			
	Nitrat	Fosfat	Timbal	BOD5
ST1	0.060	0.575	0.096	201.557
ST2	0.589	0.623	0.182	251.168
ST3	0.708	1.198	1.246	263.630
ST4	1.085	1.055	3.259	329.538
Rata-rata	0.747	0.863	1.196	261.473
standart deviasi	0.232	0.311	1.472	52.705

Brioso *et al.* (2010) mengatakan bahwa aliran sungai membawa kandungan nitrat dan fosfat dari aktivitas lahan pertanian yang selanjutnya dialirkan ke daerah muara sungai. Menurut Environment Canada (2003) limbah perkotaan, perindustrian, serta pertanian merupakan sumber peningkatan nitrat di perairan, selanjutnya Sembel (2012) parameter yang sangat berbahaya yang masuk ke perairan adalah logam berat, hal ini dikarenakan logam berat sulit terdegradasi dalam air dan bersifat toksik, sedangkan untuk parameter organik dapat terdegradasi atau terurai. Dari hasil yang didapatkan, logam berat timbal memiliki nilai beban pencemaran yang cukup tinggi sehingga berbahaya bagi perairan muara Sungai Tondano dan biota perairan yang ada didalamnya. Penelitian lainnya yang telah dilakukan oleh Sutoyo *et al.* (2015) menemukan bahwa perairan muara Sungai Porong memiliki konsentrasi nitrat dan fosfat yang tinggi, yang bersumber dari hasil buangan lumpur Sidoarjo ke perairan sungai. Selanjutnya Kibria *et al.* (2016) menemukan bahwa limbah yang berasal dari buangan aktivitas pemukiman, pertanian dan industri merupakan sumber utama pencemaran perairan di Chittagong, Banglades, yang dapat berdampak pada terganggunya kualitas perairan, hasil tangkapan serta kesehatan manusia yang mengkonsumsi biota hasil tangkapan.

3.2 Kapasitas Asimilasi Muara Sungai Tondano

Perhitungan nilai kapasitas asimilasi dilakukan pada 4 stasiun pengamatan, dengan cara membuat grafik hubungan antara nilai konsentrasi masing-masing parameter pencemaran dengan nilai beban pencemarannya, serta membandingkannya dengan nilai baku mutu air laut yang diperuntukan untuk biota laut berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 51 Tahun 2004 tentang Baku Mutu Air Laut untuk Biota Laut. Parameter pencemaran yang diamati untuk melihat kapasitas asimilasi perairan di perairan muara Sungai Tondano yaitu nitrat, fosfat, timbal dan BOD₅.

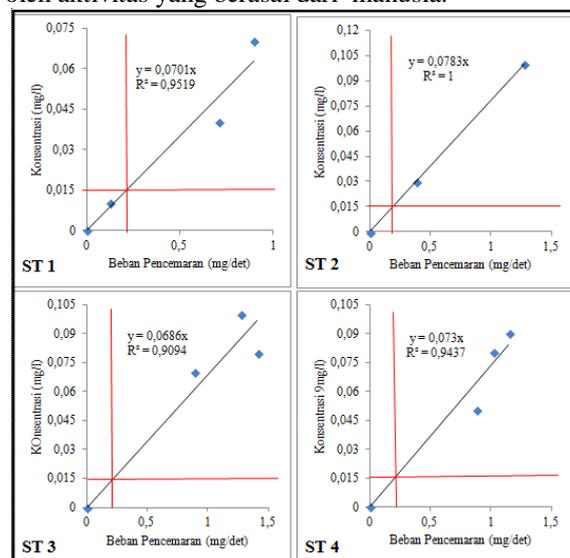
Hasil analisis grafik hubungan antara nilai konsentrasi nitrat dengan beban pencemaran nitrat pada setiap stasiun pengamatan dapat dilihat pada Gambar 2, terlihat bahwa pada semua stasiun pengamatan selama Desember 2016 – Januari 2017, nilai konsentrasi nitrat telah melampaui garis baku mutu yang telah ditetapkan, serta telah melampaui nilai kapasitas asimilasi perairan muara Sungai Tondano. Hal ini menunjukkan bahwa, perairan muara Sungai Tondano sudah tidak mampu lagi menerima beban pencemaran nitrat. Penelitian lainnya mengenai beban pencemaran serta kapasitas asimilasi nitrat pada perairan muara sungai Belau menunjukkan bahwa, nilai beban pencemaran nitrat telah melampaui nilai kapasitas asimilasi, yang mengindikasikan bahwa perairan muara sungai Belau tidak mampu melakukan *self purification* terhadap beban pencemaran nitrat (Sembel, 2012). Menurut Nugroho (2003) nitrat dikenal sebagai salah satu senyawa yang menyebabkan kerusakan lingkungan yaitu eutrophikasi di badan-badan air seperti danau, sungai, dan tempat rekreasi, dimana sumber yang menyebabkan pencemaran nitrat yaitu berasal dari limbah domestik, penggunaan pupuk untuk pertanian yang tidak efektif dan air limbah yang berasal dari limbah industri. Kadar nitrat yang melebihi angka 5 mg/l menggambarkan sudah terjadinya pencemaran antropogenik yang berasal dari aktivitas manusia dan tinja hewan, selanjutnya kadar nitrat yang melebihi angka 0,2 mg/l dapat menyebabkan terjadinya eutrofikasi (pengkayaan) perairan, yang selanjutnya menstimulus pertumbuhan algae dan tumbuhan air secara pesat (*blooming*) (Effendi, 2003).



Gambar 2. Grafik Hubungan antara Konsentrasi Nitrat dan Beban Pencemaran Nitrat

Hasil grafik hubungan antara nilai konsentrasi fosfat dengan beban pencemaran fosfat dapat dilihat pada Gambar 3, terlihat bahwa pada semua stasiun pengamatan selama Desember 2016 – Januari 2017, nilai konsentrasi fosfat telah melampaui garis baku mutu yang telah ditetapkan, serta telah melampaui nilai kapasitas asimilasi perairan muara Sungai Tondano. Hal ini menunjukkan bahwa, perairan muara Sungai

Tondano sudah tidak mampu lagi menerima beban pencemaran fosfat. Sumber utama bahan pencemaran fosfat di muara Sungai Tondano, diduga berasal dari hasil limbah pupuk yang digunakan untuk aktivitas pertanian yang berada pada sekitaran daerah aliran Sungai Tondano. BPS (2016) mencatat, luasan penggunaan lahan untuk pertanian di sepanjang aliran sungai Tondano yaitu sebesar 86.844 ha dengan penggunaan pupuk yang mengandung fosfor. Seperti yang di kemukakan oleh Effendi (2003) fosfat banyak digunakan sebagai pupuk, sabun atau detergen, bahan industri keramik, minyak pelumas, produk minuman dan makanan, katalis, dan sebagainya, dari limbah-limbah hasil dari penggunaan tersebut menjadi sumber antropogenik fosfat di perairan. Menurut Anderson *et al.* (2002) nutrisi nitrat dan fosfat memiliki beberapa bentuk di kebanyakan muara sungai, yaitu dalam bentuk terlarut dan partikel serta ada yang organik maupun inorganik, semua bentuk tersebut dipengaruhi oleh aktivitas yang berasal dari manusia.

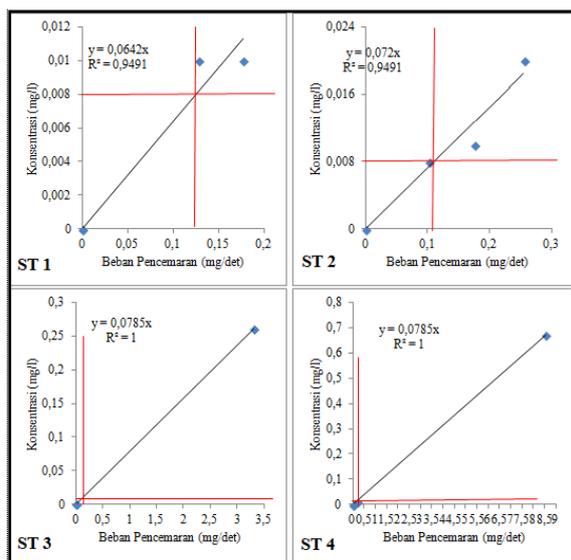


Gambar 3. Grafik hubungan antara konsentrasi fosfat dan beban pencemaran Fosfat.

Hasil grafik hubungan antara nilai konsentrasi timbal dengan beban pencemaran timbal dapat dilihat pada Gambar 4, terlihat bahwa pada semua stasiun pengamatan selama Desember 2016 – Januari 2017, nilai konsentrasi timbal telah melewati garis baku mutu yang telah ditetapkan, serta telah melewati nilai kapasitas asimilasi perairan muara Sungai Tondano. Hal ini menunjukkan bahwa, perairan muara Sungai Tondano sudah tidak mampu lagi menerima beban pencemaran timbal.

Sumber bahan pencemar timbal diduga berasal dari kegiatan industri yang berada di sepanjang daerah aliran Sungai Tondano, dimana BPS (2016) mencatat terdapat sekitar 154 unit industri yang terdiri dari industri kimia, bahan bangunan, elektronik, dan logam. Sofarini *et al.* (2010) menunjukkan bahwa konsentrasi Pb pada perairan muara DAS Barito bersumber dari buangan kapal-kapal motor/angkutan air yang beroperasi di sepanjang alur sungai Barito dan konsentrasi logam berat Pb telah melampaui baku mutu yang di tetapkan.

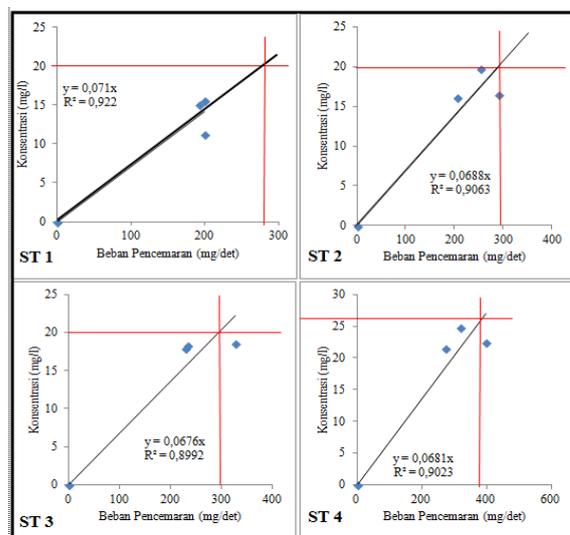
Menurut Effendi (2003) sumber utama dari Pb berasal dari daratan yaitu *galena*, *gelesite*, dan *cerrusite*, selain itu juga Pb dapat berasal dari atmosfer yaitu dari pelepasan Pb ke atmosfer meningkat tajam akibat pembakaran minyak dan gas bumi, kemudian jatuh ke laut mengikuti air hujan. Selanjutnya temuan yang didapatkan oleh Looi *et al.* (2013) di perairan selat Malaka, menemukan bahwa, sumber pencemaran logam berat di perairan selat Malaka yaitu bersumber dari aktivitas antropogenik dan aktivitas yang berhubungan dengan pertambangan mineral.



Gambar 4. Grafik Hubungan antara Konsentrasi timbal dan Beban Pencemaran timbal.

Hasil grafik hubungan antara nilai konsentrasi BOD₅ dengan beban pencemaran BOD₅ dapat dilihat pada Gambar 5, terlihat bahwa pada stasiun 1, 2, dan 3 nilai konsentrasi BOD₅ belum melewati garis baku mutu yang di tetapkan dan belum terlampauinya nilai kapasitas. Pada stasiun 4, nilai konsentrasi BOD₅ telah melampaui garis baku mutu yang ditetapkan, serta telah melampaui nilai kapasitas asimilasi. Dapat dikatakan bahwa, pada stasiun 1, 2, dan 3 perairan masih dapat menerima beban pencemaran BOD₅, sedangkan pada stasiun 4 perairan sudah tidak dapat menerima beban pencemaran BOD₅. Menurut Putri (2010) BOD₅ dapat menggambarkan keberadaan bahan organik di perairan, semakin tinggi nilai BOD₅ maka semakin tinggi juga bahan organik di perairan tersebut.

Hasil perhitungan kapasitas asimilasi untuk setiap parameter pencemaran dapat dilihat pada Tabel 2. Dari hasil perhitungan kapasitas asimilasi, terlihat bahwa nilai kapasitas asimilasi beban pencemar BOD₅ sebesar 290 mg/det, fosfat sebesar 0.207 mg/det, timbal sebesar 0.131 mg/det, dan nitrat sebesar 0.119 mg/det.



Gambar 5. Grafik Hubungan antara Konsentrasi BOD₅ dan Beban Pencemaran BOD₅.

Tabel 2. Hasil Perhitungan Kapasitas Asimilasi di Perairan Muara Sungai Tondano.

St	Kapasitas Asimilasi (mg/det)			
	Nitrat	Fosfat	Timbal	BOD ₅
1	0.114	0.214	0.125	281.690
2	0.110	0.192	0.208	290.698
3	0.112	0.219	0.102	295.858
4	0.134	0.205	0.102	293.686
rata-rata	0.119	0.201	0.134	290.483
standart deviasi	0.010	0.012	0.051	6.231

3.3 Perbandingan Beban Pencemar dan Kapasitas Asimilasi.

Hasil perhitungan dari beban pencemar serta kapasitas asimilasi dari nitrat, fosfat, timbal dan BOD₅ dibuat perbandingan, sehingga dapat terlihat parameter yang telah melampaui kapasitas asimilasi di perairan muara Sungai Tondano. Perbandingan beban pencemaran dengan kapasitas asimilasi dari variabel peubah nitrat, fosfat, timbal, dan BOD₅ bertujuan untuk melihat status cemaran dari variabel-variabel tersebut, hasil perbandingan menunjukkan bahwa nilai variabel peubah nitrat, fosfat, dan timbal lebih besar dari nilai kapasitas asimilasinya, sehingga dapat dikatakan bahwa nitrat, fosfat, dan timbal telah mencemari perairan muara Sungai Tondano, sedangkan nilai variabel peubah BOD₅ lebih kecil dari nilai kapasitas asimilasinya, sehingga dapat dikatakan BOD₅ belum mencemari perairan muara Sungai Tondano. Hasil yang berbeda ditemukan oleh Hamzah *et al.* (2015) pada perairan pesisir Pomalaa, Sulawesi Tenggara, dimana beban pencemaran timbal lebih kecil dibandingkan dengan nilai kapasitas asimilasinya namun untuk beberapa jenis logam berat lainnya telah melampaui nilai kapasitas asimilasi perairan tersebut.

Perbandingan nilai beban pencemaran dan kapasitas asimilasi nitrat, fosfat, timbal dan BOD₅ dapat dilihat pada tabel 3, sebagai berikut:

Tabel 3. Perbandingan Beban pencemaran dan Kapasitas Asimilasi nitrat, fosfat, timbal, dan BOD₅ di perairan muara Sungai Tondano.

No	Peubah	Status BP, KA (mg/det)		
		BP	KA	Ket
1	Nitrat	0,747	0,119	BP > KA
2	Fosfat	0,863	0,207	BP > KA
3	Timbal	1,196	0,134	BP > KA
4	BOD ₅	261,473	290,483	BP < KA

Keterangan : BP : Beban Pencemaran
KA : Kapasitas Asimilasi

Berdasarkan hasil perbandingan antara beban pencemar dan kapasitas asimilasi pada masing-masing parameter di perairan muara Sungai Tondano, didapatkan 2 pola hubungan antara beban pencemar dan kapasitas asimilasi yaitu:

- Beban pencemar BOD₅ lebih rendah di bandingkan dengan nilai kapasitas asimilasi BOD₅ di perairan muara Sungai Tondano, hal ini menunjukkan bahwa perairan muara Sungai Tondano mampu melakukan *self purification* terhadap BOD₅.
- Beban Pencemar nitrat, fosfat, dan timbal lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kapasitas asimilasi perairan muara Sungai Tondano. Hal ini menunjukkan bahwa perairan muara Sungai Tondano sudah tidak mampu melakukan *self purification* terhadap nitrat, fosfat, dan timbal.

Sebagian besar parameter pencemaran yang telah diamati telah melampaui nilai kapasitas asimilasi di perairan muara Sungai Tondano, kecuali BOD₅. Hal ini dapat diartikan bahwa beban pencemaran yang masuk ke lingkungan perairan muara Sungai Tondano sudah tidak dapat lagi di tampung oleh lingkungan perairan muara Sungai Tondano, sehingga pengendalian pencemaran di perairan muara sungai perlu di tingkatkan.

4. Kesimpulan

Beban pencemar nitrat, fosfat, timbal, dan BOD₅ yang masuk pada perairan muara Sungai Tondano diduga berasal dari limbah aktivitas pemukiman pedesaan, perkotaan, PLTA, pertanian, peternakan, perkebunan yang berada pada bagian atas daerah muara Sungai Tondano. Kapasitas asimilasi perairan pantai Sindulang hanya mampu mengasimilasi beban pencemar BOD₅, sedangkan beban pencemar nitrat, fosfat, dan timbal telah melampaui kapasitas asimilasi perairan, atau dapat diartikan, lingkungan perairan muara Sungai Tondano sudah tidak dapat lagi menampung beban pencemar nitrat, fosfat, dan timbal. Pengendalian pencemaran muara Sungai Tondano perlu dilakukan lebih giat lagi, sehingga potensi sumberdaya dapat berkelanjutan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Pengelola Dana Pendidikan (LPDP) yang telah membantu secara penuh dalam penelitian hingga pada publikasi.

Daftar pustaka

- Andreson, D. M., P. M. Glibert, dan J. M. Burkholder, 2002. Harmful alga blooms and eutrophication: Nutrien source, composition, and consequence. *Estuaries*. 25(4B), pp. 704-726.
- Asuhadi, S., 2006. Analisis Beban Pencemaran dan Kapasitas Asimilasi Kawasan Perairan Pelabuhan Tanjung Priok Jakarta Utara. [Tesis]. Sekolah Pascasarjana Institusi Pertanian Bogor, Bogor.
- BPS SULUT, 2016. Provinsi Sulawesi Utara dalam Angka 2016.
- Brioso, B.C., J.C. Fernandez, A. Miras, J. Cornejo dan E.Galan, 2010. Multi-source water pollution in a highly anthropized wetland system associated with the estuary of Huelva (SW Spain). *Marine Pollution Bulletin*. 60. pp. 1259-1269.
- Cheevaporn V. dan M. Piamsak, 2003. Water Pollution and habitat degradation in Gulf of Thailand. *Marine Pollution Bulletin*. 47, pp. 43-51.
- Effendi, H., 2003. Telaah Kualitas Air; Bagi Pengelolaan sumberdaya dan lingkungan perairan. Penerbit Kanisius, Yogyakarta.
- El-Kafrawy, S. B., A. Khalafallah, M. Omar. M.M. Khalil, A. Yehia, dan M. Allam, 2015. An intergrate field and remote sensing approach for water quality mapping of lake Burullus, Egypt. *Int. J. Environ. Sci. Eng.* 6, pp.15-20.
- Environment Canada, 2003. Canadian water quality guidelines for the protection of aquatic life: Nitrate ions. *Ecosystem Health: Science-based Solutions Report No. 1-6*. National Guidelines And Standards Office, Water Policy Coordination Directorate, Environment Canada. p. 115.
- Green, R., T. Bianchi. M. Dagg, N. Walker, dan G. Bree, 2006. An organic carbon budget for The Mississippi River turbidity plume and plum contribution to air-sea CO₂ fluxes and bottom water hypoxia. *Estuar Coast*. 29, pp. 579-97.
- Hamzah., E. Hefni, R. Ety, Saharuddin, S. I. Nastiti, 2015. Pollution Load, Assimilative Capacity and Quality Status of Coastal Waters in Pomalla Nickel Mining Site of Southeast Sulawesi. *International Journal of Research in Earth & Environmental Science*. 3(3).
- Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup . No 51 Tahun 2004. Baku Mutu Air Laut bagi Biota Laut.
- Kibria, G., M. H. Md, M. Debbrota, T.C. Lau, W. Rudolf, 2016. Trace/heavy metal pollution monitoring in estuary and coastal area of Bay of Bengal, Bangladesh and implicated impacts. *Marine Pollution Bulletin*. 105, pp.393-402.
- Looi J. L., Z. A. Ahmad, L. W. J. Wan, M. Y. Fatimah, dan H. Zailina, 2013. Baseline metals pollution profile of tropical estuaries and coastal waters of Straits of Malacca. *Marine Pollution Bulletin*. 74, pp. 471 - 476.
- Marganof., K. D. Latifah, R. Ety, dan P. Bambang, 2007. Analisis Beban Pencemaran, Kapasitas Asimilasi dan Tingkat Pencemaran dalam Upaya Pengendalian Pencemaran Perairan Danau Maninjau. *Jurnal Perikanan dan kelautan*. 12(1), pp. 8-14.
- Narasiani, N. A., T. L. Markus, dan J. K. Nikson, 2015. Akumulasi Merkuri (Hg) pada Ikan di Teluk Manado. *Jurnal Pesisir dan Laut Tropis*. 1(1), pp. 8-14.
- Nugroho, R., 2003. Pemanfaatan Mikroba Autotroph dalam Pengolahan Limbah Nitrat Konsentrasi Tinggi. *Jurnal Teknik Lingkungan, P3TL-BPPT*. 4(3), 122-127.
- Putri, W. A. E., 2010. Pencemaran Bahan Organik di Muara Sungai Batang Arau Padang Sumatera Barat. *Maspri Jurnal*. 1, 30-34.
- Selayar, A. N., T. Sipriana, dan L. J. J. M. Lukas, 2015. Telaah Kandungan Logam Berat Merkuri (Hg) Di Sekitar Teluk Manado. *Jurnal Budidaya Perairan*. 3, pp.124-130.

- [19] Sembel, L., 2012. Analisis Beban Pencemaran dan Kapasitas Asimilasi di Estuari Sungai Belau Teluk Lampung. *Maspari Journal*. 4(2), 178-183.
- [20] Sofarini, D., R. Abdur dan R. Ichsan, 2010. Studi Analisis Pengujian Logam Berat Pada Badan Air, Biota dan Sedimen di Perairan Muara DAS Barito. *Jurnal Bumi Lestari*. 10(1), pp. 28-37.
- [21] Sutoyo, I. Hasan, Z. Muhammad, A. S. Noverina, A. Gita, T. Hitoshi, U. Makoto, dan K. Suichi, 2015. Modelling of the COD, TSS, Phosphate and Nitrate Distribution Due to the Sidoarjo Mud Flow into Porong River Estuary. *Procedia Earth and Planetary Science*. 14, pp. 144-151.
- [22] Tilaar, S., 2014. Analisis Pencemaran Logam Berat di Muara Sungai Tondano dan Muara Sungai Sario Manado Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Platax*. 2(1), pp. 32-39.
- [23] Undang-Undang Nomor 32 Tahun 2009. Tentang Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.