

Beban Pencemar Dan Kapasitas Asimilasi Amonium dan Nitrat Saat Pucak Musim Barat di Teluk Jakarta

Yulianto Suteja*

Program Studi Ilmu Kelautan, Fakultas Kelautan dan Perikanan, Universitas Udayana, Bukit Jimbaran, Bali 80361, Indonesia

* Penulis koresponden. Tel.: +62-81-803-6497-90
Alamat e-mail: yuliantosuteja@gmail.com

Diterima (received) 21 Februari 2016; disetujui (accepted) 24 Mei 2016; tersedia secara online (available online) 28 Mei 2016

Abstract

Jakarta Bay is a bay that has an important role in Jakarta, but the activity in this area lead to the potential for pollution mainly ammonium and nitrate. Pollution peaks generally occur during the rainy season (west monsoon). Pollution that enters the bay can be neutralized naturally by water as long as the amount does not exceed the assimilation capacity. This study aims to calculate the total input (load), assimilation capacity, and residence time of ammonium and nitrate in Jakarta Bay in the rainy season. Data from this study is derived from secondary data. For the total input of pollutants are calculated from the input stream, the atmosphere and the boundary. From the research found that the Jakarta Bay had a total load of pollutants NH_4 at 115.8×10^9 mmol N/month and NO_3 46.5×10^9 mmol N/month. The biggest contributor to the pollution comes from the boundary NH_4 is 56.9% and NO_3 from the river 70.1%. Load from Citarum river for NH_4 around 3.8×10^{10} mmol N/month and NO_3 around 3.0×10^{10} mmol N/month higher than Marunda, Priok and Angke the rivers. Assimilation capacity of Jakarta bay for NH_4 around 25.7×10^9 mmol N/month and NO_3 of 24.1×10^9 mmol N/month. It shows the total load of pollutants entering the Jakarta Bay is greater than the assimilation capacity. The residence time of water in the Bay of Jakarta is 13.3 days longer than the residence time of NH_4 and NO_3 which were only 8.6 and 9.2 days.

Keywords: Load; assimilation capacity; Jakarta Bay

Abstrak

Teluk Jakarta merupakan teluk yang memiliki peranan penting bagi kehidupan di Jakarta, namun tingginya aktifitas di teluk ini menyebabkan potensi untuk terjadinya pencemaran sangat tinggi terutama dari amonium dan nitrat. Puncak pencemaran umumnya terjadi terutama saat musim hujan (musim barat). Pencemaran yang masuk ke dalam teluk dapat dinetralisir secara alami oleh perairan asalkan jumlah pencemaran tidak melebihi kapasitas asimilasinya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penghitungan total masukan (load), kapasitas asimilasi dan waktu tinggal amonium dan nitrat di Teluk Jakarta pada musim hujan. Data dari penelitian ini berasal dari data sekunder. Untuk total masukan bahan pencemar dihitung dari input sungai, atmosfer dan bidang batas. Dari penelitian didapatkan bahwa Teluk Jakarta memiliki total load bahan pencemar NH_4 sebesar $115,8 \times 10^9$ mmol N/bulan dan NO_3 sebesar $46,5 \times 10^9$ mmol N/bulan. Penyumbang terbesar untuk pencemaran NH_4 berasal dari bidang batas sebesar 56,9% sedangkan untuk NO_3 berasal dari sungai sebesar 70,1%. Sungai citarum memberikan beban pencemar NH_4 sebesar $3,8 \times 10^{10}$ mmol N/bulan dan NO_3 sebesar $3,0 \times 10^{10}$ mmol N/bulan yang paling tinggi dibandingkan Sungai Marunda, Priok dan Angke. Kapasitas asimilasi teluk Jakarta untuk NH_4 sebesar $25,7 \times 10^9$ mmol N/bulan dan NO_3 sebesar $24,1 \times 10^9$ mmol N/bulan. Hal ini menunjukkan total load bahan pencemar yang memasuki Teluk Jakarta lebih besar dari kapasitas asimilasi teluk. Waktu tinggal air di dalam teluk Jakarta selama 13,3 hari lebih besar dibandingkan waktu tinggal NH_4 dan NO_3 yang hanya 8,6 dan 9,2 hari.

Kata Kunci: beban pencemar; kapiasias asimilasi; Teluk Jakarta

1. Pendahuluan

Teluk Jakarta merupakan satu-satunya teluk yang terdapat di Provinsi Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta. Teluk Jakarta memiliki peran yang sangat penting, diantaranya menunjang kehidupan, pemasok sumberdaya alam, tempat rekreasi dan meregulasi limbah. Di daerah pesisir Teluk Jakarta juga berkembang sekitar 50 industri yang bergerak diberbagai bidang seperti transpotasi, galangan kapal, dan pariwisata (Arifin, 2004). Menurut Kusma (2015) berbagai kegiatan didarat akan sangat mempengaruhi kualitas perairan teluk jakarta sehingga teluk jakarta tidak bisa menjalankan fungsinya secara optimal. Berbagai pencemaran yang ada didarat akan masuk ke perairan laut

terutama melalui sungai (Sanusi dan Putranto, 2009). Teluk Jakarta merupakan daerah tempat bermuara 13 sungai yang membawa bahan limbah dari daerah Jakarta-Bogor-Bekasi-Depok-Tangerang-Bekasi (JABODETA-BEK) (Rositasari, 2011). Ditambahkan oleh Ahmad (2012) bahwa 83% dari 13 sungai yang bermuara ke Teluk Jakarta telah masuk dalam kategori tercemar berat. Sungai-sungai tersebut membawa berbagai macam jenis limbah yang bersifat toksik ke perairan Teluk Jakarta.

Pencemaran pada Teluk Jakarta tidak hanya berasal dari aliran sungai yang bermuara, namun juga berasal dari atmosfer dan perairan sekelilingnya. Pencemaran dari atmosfer merupakan imbas dari polusi udara yang terjadi di daratan sekelilingnya dan bereaksi dengan alam

sehingga turun bersama air hujan. Menurut Sanusi dan Putranto (2009) semakin tinggi polusi udara yang terjadi di darat maka kemungkinan masukan pencemar dari atmosfer juga tinggi. Namun demikian, hal tersebut tidak lepas dari pola pergerakan angin yang membawanya sebagai fenomena alam. Teluk Jakarta yang merupakan perairan terbuka tidak lepas dari pengaruh sekeliling/bidang batas (*boundary*), termasuk di dalamnya pergerakan arus dan musim. Wyrki (1961) mengemukakan Indonesia memiliki 2 musim yang dipengaruhi oleh pola pergerakan angin yang berbeda, yaitu musim hujan yang dipengaruhi oleh angin muson barat dan musim kemarau yang dipengaruhi oleh angin muson timur. Kedua pola angin tersebut mengakibatkan terjadinya perbedaan tingkat masukan pencemar di Teluk Jakarta yang juga akan berdampak kepada kondisi organisme yang hidup di dalamnya. Pada saat musim barat, intensitas hujan akan meningkat (Aldrian and Susanto, 2003; As-syakur, 2015), sehingga masukan bahan pencemar dari atmosfer dan daratan akan semakin tinggi (Chester, 1990). Nugrahadhi *et al.* (2010) menyatakan bahwa masukan nutrisi ke Teluk Jakarta sangat tinggi pada saat musim hujan (musim barat).

Pencemaran di Teluk Jakarta dapat berupa limbah organik (Alfiansah *et al.*, 2014) dan inorganik (Nugrahadhi *et al.*, 2010; Putri *et al.*, 2012). Limbah inorganik ini dapat berupa Amonium (NH_4) dan Nitrat (NO_3) yang banyak dihasilkan dari aktifitas industri dan rumah tangga (Nugrahadhi *et al.*, 2010). Pada kondisi normal, suatu sistem perairan memiliki kemampuan untuk mengeluarkan bahan pencemar dan memulihkan kondisi sistem menjadi stabil dan aman untuk lingkungan maupun organisme di dalamnya. Namun hal tersebut akan menjadi berbeda bila masukan pencemar telah melebihi kemampuan sistem untuk mengeluarkan dan memulihkan diri. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan penghitungan total masukan (*load*), kapasitas asimilasi dan waktu tinggal NH_4 dan NO_3 di Teluk Jakarta pada musim barat yang menjadi puncak dari masukan bahan pencemar ke perairan.

2. Metode Penelitian

2.1 Waktu dan lokasi

Data yang digunakan adalah data kondisi nutrisi Teluk Jakarta pada puncak musim barat yaitu bulan Desember 2000. Teluk Jakarta secara geografis terletak pada garis bujur $106^\circ 33' \text{ BT} - 107^\circ 30' \text{ BT}$ dan garis lintang $5^\circ 48' 30'' \text{ LS} - 6^\circ 10' 30'' \text{ LS}$. Teluk Jakarta dibatasi oleh Tanjung Kait di bagian barat, Tanjung Karawang di bagian timur, bagian luar Kepulauan Seribu dibagian utara dan pesisir Jakarta dibagian selatan. Teluk Jakarta memiliki luas $\pm 490 \text{ km}^2$, panjang pantai hingga 40 km dan rata-rata kedalaman 15 m (Koropitan *et al.*, 2009). Peta lokasi studi dapat dilihat pada Gambar 1. *Load* sungai yang dihitung di teluk Jakarta hanya berasal dari Sungai Angke (mewakili *load* darat dari bagian barat teluk), Priok dan Marunda (mewakili *load* dari bagian tengah teluk) dan Citarum (mewakili *load* dari bagian timur teluk).

2.2 Analisis data

Data yang dianalisis merupakan data sekunder dari Koropitan *et al.* (2009). Data-data tersebut kemudian dianalisis sehingga diperoleh nilai Beban Pencemar (*load*) NH_4 dan NO_3 dari sungai, curah hujan, dan bidang batas, serta kapasitas asimilasi dan waktu tinggal (*residence time*) nutrisi di Teluk Jakarta.

2.2.1. Beban pencemar (*load*)

Load merupakan jumlah suatu unsur pencemar yang terkandung dalam air (KepMenLH no 110 Tahun 2003). Beban pencemar suatu perairan dapat berasal dari masukan sungai, air hujan, dan bidang batas. *Load* yang dari input sungai dan air hujan diperoleh dengan menggunakan persamaan (EPA, 2009):

$$W = Q \cdot C \quad (1)$$

$$W_{\text{atm}} = J_{\text{atm}} \cdot A_2 \quad (2)$$

dimana

W : *load* dari sungai (mmol N/bulan)

Q : debit sungai, hujan, dan bidang batas (m^3/s)

C : konsentrasi nutrisi dalam air sungai, hujan dan bidang batas (mmol N/m^3)

W_{atm} : *load* dari atmosfer (hujan) (mmol N/bulan)

J_{atm} : fluks air hujan ($\text{mmol/m}^2 \cdot \text{bulan}$)

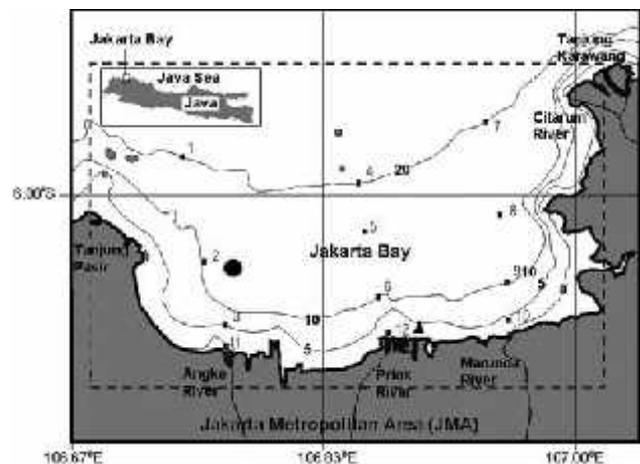
A_2 : luas permukaan Teluk Jakarta (m^2)

Fluks yang berasal dari air hujan (J_{atm}) diperoleh dari persamaan (Chester, 1990) :

$$J_{\text{atm}} = \bar{u} \cdot C \quad (3)$$

dengan \bar{u} : curah hujan (mm/bulan)

Load yang diperoleh dari bidang batas, dibedakan menjadi bidang batas input yang menambah *load* nutrisi dalam Teluk Jakarta, dan bidang batas output yang mengurangi *load* nutrisi dalam teluk. Angin muson barat yang bergerak dari barat ke timur, mengakibatkan arus dalam teluk bergerak dari barat ke timur, sehingga arus barat menjadi batas input dan arus timur menjadi batas output (Gambar 2).



Gambar 1. Peta Lokasi (Koropitan *et al.* (2009))

Tabel 1.

Kadungan NH₄ dan NO₃ dari sungai dan curah hujan, debit aliran sungai, dan curah hujan

Parameter	Konsentrasi
Debit Sungai Angke (m ³ /s)	38
Debit Sungai Priok (m ³ /s)	21,3
Debit Sungai Marunda (m ³ /s)	17,6
Debit Sungai Citarum (m ³ /s)	418,58
Air Hujan (mm)	225
Konsentrasi NH ₄ di Sungai Angke (mmol N m ⁻³)	38,8
Konsentrasi NH ₄ di Sungai Priok (mmol N m ⁻³)	64,5
Konsentrasi NH ₄ di Sungai Marunda (mmol N m ⁻³)	11,7
Konsentrasi NH ₄ di Sungai Citarum (mmol N m ⁻³)	34,9
Konsentrasi NO ₃ di Sungai Angke (mmol N m ⁻³)	7,5
Konsentrasi NO ₃ di Sungai Priok (mmol N m ⁻³)	35,2
Konsentrasi NO ₃ di Sungai Marunda (mmol N m ⁻³)	6,4
Konsentrasi NO ₃ di Sungai Citarum (mmol N m ⁻³)	27,3
Konsentrasi NH ₄ di air hujan (mmol N m ⁻³)	37,2
Konsentrasi NO ₃ di air hujan (mmol N m ⁻³)	23,5

(Sumber : Koropitan *et al.* 2009)

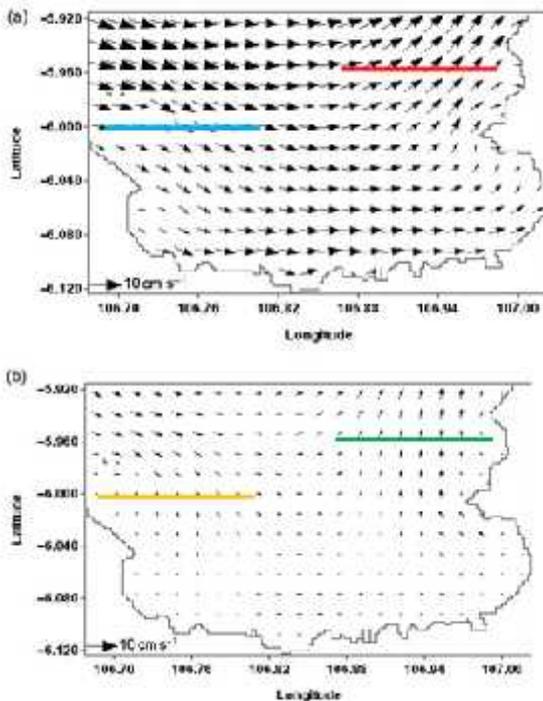
Load bidang batas ini diperoleh dengan menggunakan persamaan (1), dimana flow *Q* diperoleh dengan menggunakan persamaan (EPA, 2009):

$$Q = A \cdot \bar{v} \tag{4}$$

dimana :

A : luas bidang batas (m²);

\bar{v} : kecepatan arus bidang batas (m/s)



Gambar 2. Arus residu bagian permukaan (a) dan dasar (b) musim barat bidang batas input (garis biru dan kuning) dan output (garis merah dan hijau) (modifikasi dari Koropitan *et al.*, 2009)

Luas bidang batas diperoleh dari selisih longitude sebagai panjang, dan kedalaman sebagai lebar (Gambar 3). Data kedalaman diperoleh dari nilai kedalaman yang terdapat pada peta batimetri (Gambar 1).

Pada bidang input :

$$\text{Kedalaman} = (20 + 10)/2 = 15 \text{ m}$$

Selisih longitude

$$= 106,88^\circ - 107,00^\circ = 0,12^\circ \text{ dengan } 1^\circ = 110 \text{ km,}$$

$$\text{maka } = 0,12^\circ \times 110 \text{ km} = 13,2 \text{ km} = 1,32 \cdot 10^4 \text{ m}$$

Luas bidang input

$$= 1,32 \cdot 10^4 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 1,98 \cdot 10^5 \text{ m}^2$$

Pada bidang output :

$$\text{Kedalaman} = (20 + 10 + 5)/3 = 11,67 \text{ m}$$

Selisih longitude

$$= 106,70^\circ - 106,82^\circ = 0,12^\circ \text{ dengan}$$

$$1^\circ = 110 \text{ km, maka}$$

$$= 0,12^\circ \times 110 \text{ km} = 13,2 \text{ km} = 1,32 \cdot 10^4 \text{ m}$$

Luas bidang input

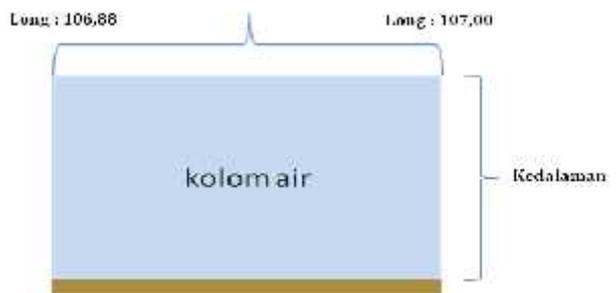
$$1,32 \cdot 10^4 \text{ m} \times 11,67 \text{ m} = 1,54 \cdot 10^5 \text{ m}^2$$

Rata-rata kecepatan arus bidang batas diperoleh dari Koropitan *et al.*, 2009 (Tabel 2).

Tabel 2.

Rata-rata kecepatan arus di bidang batas

Barat Teluk Jakarta (Output)	Timur Teluk Jakarta (Input)
Permukaan	Permukaan
— 9,5 · 10 ⁴ m/s	— 7,8125 · 10 ⁴ m/s
Dasar	Dasar
— 1,52 · 10 ⁴ m/s	— 2,8125 · 10 ⁴ m/s
Rata-rata: 5,51 · 10 ⁴ m/s	Rata-rata: 5,3125 · 10 ⁴ m/s



Gambar 3. Ilustrasi penghitungan luas bidang batas

2.2.2. Beban pencemar (load)

Kapasitas asimilasi atau daya tampung beban pencemar merupakan kemampuan air pada suatu sumber air, untuk menerima masukan beban pencemar tanpa mengakibatkan air tersebut menjadi cemar (KepMenLH no 110 Tahun 2003). Kapasitas asimilasi dapat diperoleh dengan persamaan berikut (EPA, 2009):

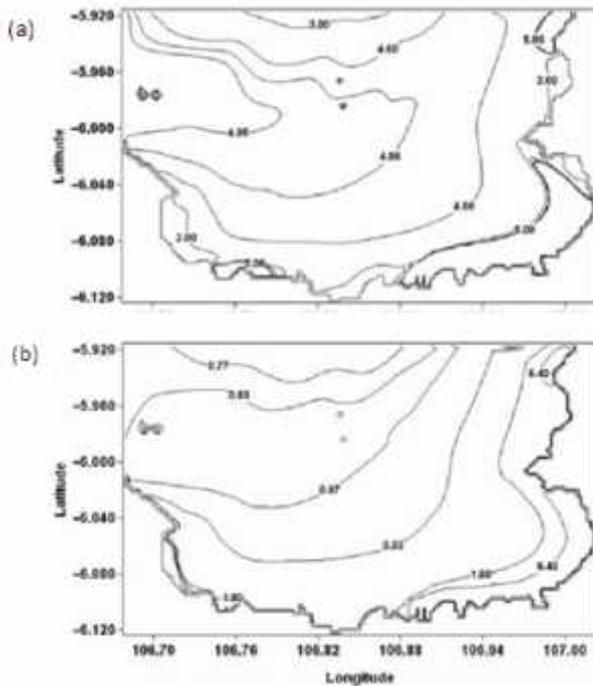
$$a = \frac{W}{C} \tag{5}$$

Dimana :

w : merupakan total load yang memasuki badan air (mmol/bulan)

C : rata-rata konsentrasi nutrien di badan air (mmol N/m³)

Konsentrasi nutrisi diperoleh dengan mencari rata-rata konsentrasi NH_4 dan NO_3 yang terdapat di Teluk Jakarta (Gambar 4).



Gambar 4. Peta konsentrasi NH_4 (a) dan NO_3 (b) Teluk Jakarta (Koropitan *et al.*, 2009)

2.2.2. Beban pencemar (*load*)

Residence time merupakan rata-rata waktu untuk elemen agar tetap berada di laut sebelum keluar dari badan air, maupun mengendap ke sedimen (Libes, 1992). *Residence time* diperoleh dengan persamaan (Chester, 1990):

$$\tau_w = \frac{V}{Q} \quad (6)$$

$$\tau_c = \frac{V}{a} \quad (7)$$

Dimana

τ_w : *residence time* massa air (*hari*)

V : volume badan air (m^3)

Q : total debit massa air sungai, hujan dan bidang batas (m^3/s)

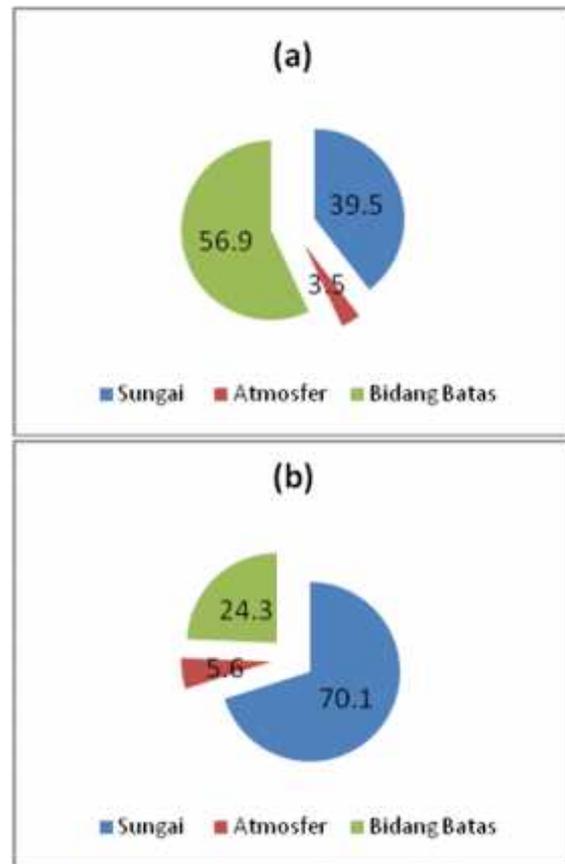
τ_c : *residence time* nutrisi (*hari*)

a : kapasitas asimilasi (mmol/bulan)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Load (Beban Pencemar)

Total pencemaran nutrisi berupa NH_4 dan NO_3 pada Teluk Jakarta berturut-turut $1,2 \times 10^{11}$ mmol N/bulan dan $4,7 \times 10^{10}$ mmol N/bulan. Total *load* nutrisi tersebut berasal dari masukan air sungai, terbawa bersama air hujan (atmosfer), dan dari bidang batas (Gambar 5). Secara keseluruhan, NH_4 paling besar berasal dari bidang batas dan NO_3 dominan berasal dari sungai.



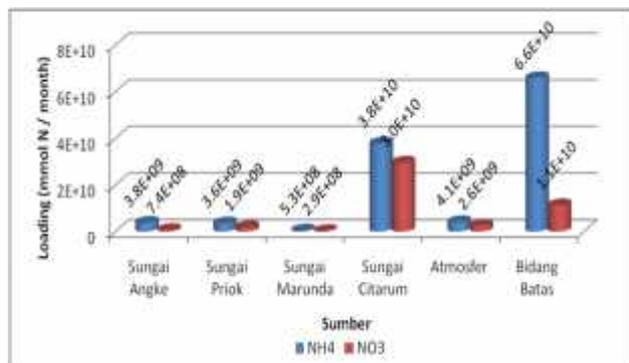
Gambar 5. Persentase *load* NH_4 (a) dan NO_3 (b) di Teluk Jakarta

3.1.1. Load dari sungai

Load sungai terkecil hingga terbesar berasal dari Sungai Marunda, Sungai Priok, Sungai Angke dan Sungai Citarum (Gambar 6). Tingkat *load* yang terjadi tersebut sesuai dengan besar debit sungai yang masuk dalam Teluk Jakarta. Sungai Citarum merupakan sungai yang memiliki wilayah yang luas dengan masukan air dari anak sungai yang banyak. Sungai Citarum memiliki panjang 268,80 km, lebar 75 m, memiliki 2.235 anak sungai, dan kedalaman muara berkisar antara 5-10 m (BPDAS Citarum-Ciliwung, 2010; Koropitan *et al.*, 2009). Luasan Sungai Citarum yang besar (fungsi dari kedalaman dan lebar sungai), serta aliran sungai yang deras mengakibatkan debit air Sungai Citarum juga menjadi besar, sehingga *load* nutrisi yang masuk dalam Teluk Jakarta juga besar. Menurut Hidayat (2013) debit sungai citarum mencapai puncaknya saat musim barat yaitu berkisar $578 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan berkurang saat musim kemarau.

Pola arus di Indonesia sangat dipengaruhi oleh musim. Pada bulan Desember bertiup angin muson barat, yang mengakibatkan arus bergerak dari barat ke timur (Wyrski, 1961). Hal ini menyebabkan arus sisa permukaan dan dasar air (Gambar 2) di Teluk Jakarta bergerak menuju Laut Jawa (Koropitan *et al.*, 2009) Letak Sungai Citarum yang berada pada ujung bagian timur Teluk Jakarta, mengakibatkan massa air Sungai Citarum cenderung langsung bergerak menuju Laut Jawa, sehingga *Load* dari

Sungai Citarum tidak memberikan kontribusi pencemar yang besar di Teluk Jakarta saat musim barat.



Gambar 6. Input *load* NH₄ (biru) dan NO₃ (merah) di Teluk Jakarta

Dari hasil perhitungan menunjukkan bahwa *Load* NH₄ seluruh sungai lebih besar dibandingkan dengan *load* dari NO₃. Hal ini disebabkan sumber NH₄ yang lebih besar dibandingkan dengan sumber NO₃. Chester (1990) mengemukakan sumber utama NH₄ berasal dari buangan limbah organik yang terurai oleh bakteri, penggunaan pupuk pertanian dan sisa kotoran hewan ternak.

Load NH₄ Sungai Citarum lebih tinggi dibandingkan *load* NO₃ yang menunjukkan pula kondisi limbah Sungai Citarum. Sumber utama dari limbah NH₄ adalah dari sektor pertanian, peternakan dan pabrik. Penggunaan pupuk di sawah yang berlebih merupakan faktor utama tingginya limbah NH₄ di yang masuk kesungai. Untuk aktivitas peternakan sendiri, NH₄ di hasilkan dari sisa kotoran kotoran berupa NH₃ yang membentuk ikatan dengan H₂O. Menurut Wardhani (2010) di sungai Citarum terdapat 151 pabrik yang membuang secara langsung air sisa produksinya ke sungai ini dan beberapa industri ini menghasilkan amoniak (NH₃) dan NH₄.

Sungai Marunda memiliki debit yang paling kecil dibandingkan Sungai Citarum, Angke dan Priok. Kedalaman Sungai Marunda pun berkisar antara 0-5 m (Koropitan *et al.*, 2009). Debit Sungai Marunda yang kecil dan konsentrasi bahan pencemar yang relative rendah menyebabkan kontribusi *load* nutrien pada Teluk Jakarta juga kecil. Meski demikian, karena arus yang keluar dari Sungai Marunda terbawa oleh angin musim barat dan bergerak ke arah timur melalui tepi Teluk Jakarta, menyebabkan seluruh *load* nutrien yang terbawa oleh arus menuju ke bagian timur Teluk Jakarta.

3.1.2. *Load* dari atmosfer

Masukan NH₄ dan NO₃ dari atmosfer dihitung dari air hujan yang jatuh di permukaan Teluk Jakarta. Atmosfer memberikan kontribusi yang lebih besar dibandingkan dengan Sungai Angke, Priok, dan Marunda (Gambar 6). Kondisi ini disebabkan karena curah hujan di Teluk Jakarta pada Desember 2000 sangat tinggi yaitu 225 mm, curah hujan ini jauh lebih besar dibandingkan pada saat Juli 2001 yang hanya mencapai 30.4 mm (Koropitan *et al.*, 2009). Curah hujan yang jatuh di Indonesia (termasuk Teluk Jakarta) sangat terkait dengan pola angin muson

yang selalu memiliki arah tiupan yang berubah-ubah sepanjang tahun tergantung dari posisi matahari (Wyrski, 1961). Pada bulan Desember posisi matahari sedang berada di Belahan Bumi Selatan (BBS), hal ini menyebabkan tekanan udara di Belahan Bumi Utara (BBU) lebih tinggi dibandingkan dengan BBS. Angin pada bulan ini bertiup dari arah Benua Asia menuju Benua Australia, pada saat ini Indonesia mengalami musim penghujan, faktor ini yang menyebabkan tingginya *load* nutrien dari atmosfer.

Dari total *load* atmosfer menunjukkan bahwa *load* NH₄ ($4,10 \times 10^9$ mmol N/bulan) lebih besar dibandingkan dengan *load* NO₃ ($2,59 \times 10^9$ mmol N/bulan) (Gambar 4). Tingginya sumber pencemaran NH₄ yang masuk ke atmosfer dibandingkan dengan NO₃ diduga menjadi pemicu utama terjadinya fenomena ini. Bahera *et al.*, (2013) menjelaskan sumber utama NH₄ di atmosfer adalah NH₃ yang berasal dari aktivitas pertanian (penggunaan pupuk) dan kotoran hewan ternak. Ditambahkan oleh Hill (2010) Emissi NH₃ ke atmosfer tiga kali lebih besar dibandingkan dengan NO_x. NH₃ di atmosfer akan melakukan reaksi dengan uap air dan kemudian membentuk NH₄ yang kemudian akan turun kembali bersama dengan proses hujan. Sutton *et al.*, (2009) menjelaskan faktor lain yang dapat menyebabkan konsentrasi NH₄ tinggi dari atmosfer karena NH₃ akan mengalami proses konversi ke NH₄ hanya dalam beberapa jam saja, sedangkan NH₄ yang sudah berikatan dengan aerosol dapat bertahan dalam jangka waktu yang lebih lama di atmosfer. NH₄ dalam jumlah yang berlebihan bersifat toksik bagi tumbuhan dan hewan (van Katwijk *et al.*, 1997; Hecnar, 1995), misalkan pada *Zostera marina* akan mengalami nekrotik jika terpapar NH₄ sebesar 125μM (van Katwijk *et al.*, 1997).

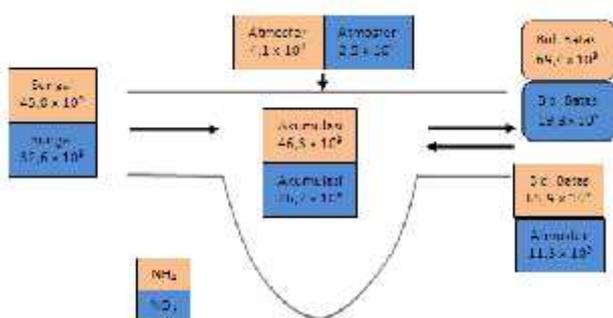
3.1.3. *Load* dari bidang batas

Bidang batas mempengaruhi konsentrasi nutrien di Teluk Jakarta sebagai input yang menambah *load* maupun output yang menjadi pengurang *load*. Pada musim barat, dimana angin menyebabkan arus bergerak dari barat ke timur, menyebabkan bagian barat Teluk Jakarta menjadi bidang batas input *load*, sedangkan bagian timur Teluk Jakarta menjadi output *load*. Hasil analisis *load* akibat bidang batas menunjukkan bahwa input *load* NH₄ lebih tinggi dibandingkan NO₃ (Gambar 6), begitu pula dengan outputnya ($6,9 \times 10^{10}$ mmol N/bulan untuk NH₄ dan $2,0 \times 10^{10}$ mmol N/bulan untuk NO₃). Tingginya NH₄ pada input bidang batas disebabkan karena adanya pengaruh masukan massa air dari arah barat menuju Teluk Jakarta. Prasono dan Kastoro (1979) mengemukakan bahwa pada musim barat, massa air di Teluk Jakarta sangat dipengaruhi oleh massa air berasal dari Selat Karimata, terutama dari Pulau Sumatera dan Kalimantan. Pasokan massa air dari bidang batas ini banyak mengandung NH₄ dibandingkan NO₃, hal ini diduga karena jumlah perkebunan dan pertanian di Pulau Sumatera dan Kalimantan yang tinggi dan limbahnya dibawa sampai ke laut Jawa termasuk Teluk Jakarta. Ditambahkan oleh Howarth *et al.* (2002) bahwa pertanian memberikan kontribusi pencemaran yang tinggi terhadap N di daerah pantai, terutama dari aktifitas pemupukan.

Bidang batas bagian timur sebagai output mengakibatkan *load* nutrien yang terdapat di Teluk Jakarta menjadi berkurang akibat pergerakan massa air. Total *load* dari sungai, atmosfer, dan bidang batas barat yang lebih didominasi oleh *load* NH_4 mengakibatkan massa air di Teluk Jakarta mengandung NH_4 lebih banyak. Hal ini mengakibatkan ketika arus bergerak keluar dari Teluk Jakarta menuju ke arah timur, massa air Teluk Jakarta tersebut juga mengandung NH_4 lebih tinggi. Meski demikian, secara umum *load* akibat bidang batas sebelah barat (*input*) lebih rendah dibandingkan bidang batas timur (*output*). Artinya bila masukan *load* nutrien pada Teluk Jakarta hanya berasal dari bidang batas saja, maka pencemar nutrien tersebut masih dapat dibawa keluar dari dalam Teluk oleh pergerakan massa air pada musim barat.

3.2 Kapasitas Asimilasi

Kapasitas asimilasi merupakan kemampuan suatu lingkungan atau ekosistem untuk memulihkan diri ke kondisi semula apabila terdapat masukan pencemar yang dapat merusak lingkungan atau ekosistem tersebut. Pada perhitungan, diperoleh hasil kapasitas asimilasi NH_4 di Teluk Jakarta sebanyak $2,57 \times 10^{10}$ mmol N/bulan dan untuk NO_3 sebanyak $2,41 \times 10^{10}$ mmol N/bulan, sedangkan total akumulasi bahan pencemar yang masuk ke teluk Jakarta sangat besar yaitu NH_4 sebesar $4,63 \times 10^{10}$ mmol N/bulan dan NO_3 sebesar $2,67 \times 10^{10}$ mmol N/bulan. Dengan total *load* dan akumulasi yang terjadi, menandakan bahwa *load* NH_4 dan NO_3 yang masuk ke dalam Teluk Jakarta telah melebihi kapasitas asimilasi (Gambar 7) dan menyebabkan daya dukung Teluk Jakarta mengalami penurunan dan berimbas pada kelayakan dan fungsi utama Teluk Jakarta. Bila hal ini terjadi secara terus menerus, tanpa adanya penanganan yang serius dari semua pihak maka kemungkinan kapasitas asimilasi Teluk Jakarta akan semakin menurun sepanjang tahun yang kemudian akan meluas dan berdampak pada berbagai sektor seperti perikanan dan pariwisata.



Gambar 7. Keseimbangan nutrient di Teluk Jakarta

3.3 Waktu Tinggal (Residence Time)

Residence time merupakan waktu yang diperlukan suatu badan air untuk mengurangi konsentrasi polutan yang masuk dari inflow. Penghitungan residence time diperoleh, bahwa sistem badan air di Teluk Jakarta memerlukan 13,3 hari untuk dapat mengeluarkan *load* nutrien yang masuk ke dalam Teluk Jakarta, baik melalui

pergerakan outflow, pengendapan, maupun pemanfaatan secara biologis. Waktu tinggal nutrien tersebut adalah 8,6 hari untuk NH_4 dan 9,2 hari untuk NO_3 , sehingga menyebabkan waktu yang dimiliki oleh badan air Teluk Jakarta untuk mengeluarkan *load* nutrien lebih lama daripada peluruhan nutrien itu sendiri. Hal tersebut menyebabkan nutrien akan semakin sulit keluar dari wilayah Teluk Jakarta dan penumpukan *load* akan terjadi.

4. Simpulan

Dari penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa Teluk Jakarta memiliki total *load* bahan pencemar NH_4 sebesar $115,8 \times 10^9$ mmol N/bulan dan NO_3 sebesar $46,5 \times 10^9$ mmol N/bulan. Penyumbang terbesar untuk pencemaran NH_4 berasal dari bidang batas sebesar 56,9% sedangkan untuk NO_3 berasal dari sungai sebesar 70,1%. Kapasitas asimilasi teluk Jakarta untuk NH_4 sebesar $25,7 \times 10^9$ mmol N/bulan dan NO_3 sebesar $24,1 \times 10^9$ mmol N/bulan. Hal ini menunjukkan total *load* bahan pencemar yang memasuki Teluk Jakarta lebih besar dari kapasitas asimilasi teluk. Waktu tinggal air di dalam teluk Jakarta selama 13,3 hari lebih besar dibandingkan waktu tinggal NH_4 dan NO_3 yang hanya 8,6 dan 9,2 hari.

Daftar Pustaka

- Ahmad, F. (2012). Kandungan senyawa Polisiklik Aromatik Hidrokarbon (PAH) di Teluk Jakarta. *Ilmu Kelautan*, **17**(4), 199-208.
- Aldrian, E., & Susanto, R. D. (2003). Identification of three dominant rainfall regions within Indonesia and their relationship to sea surface temperature. *International Journal of Climatology*, **23**(12), 1435-1452.
- Alfiansah, Y. R., Adindasari, M., Argarini, M., Darmayati, Y., & Ruyitno. (2014). Isolation and distribution of crude oil and polycyclic aromatic hydrocarbon-degrading bacteria from polluted harbours in North Jakarta. *Marine Resesearch Indonesia*, **39**(2), 79-85
- Arifin, Z. (2004). *Local millenium ecosystem assessment: condition and trend of the greater Jakarta Bay ecosystem*. Jakarta: The Indonesian Ministry of Environmental.
- As-syakur, A. R. (2015). Spatio-Temporal Variations of Rainfall and SST Anomaly over Indonesia during ENSO Modoki Event in 2010. *Journal of Marine and Aquatic Sciences*, **1**(1), 23-29.
- Behera, S. N., Sharma, M., Aneja, V. P., & Balasubramanian, R. (2013). Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies. *Environmental Science and Pollution Research*, **20**(11), 8092-8131.
- BPDAS Citarum-Ciliwung. (2010). *Rencana Pengelolaan DAS Terpadu Citarum Hulu*. Bogor-Indonesia: Direktorat Jenderal Perhutanan Sosial dan Pengelolaan. Kementerian Kehutanan.
- Chester, R. (1990). *Marine Geochemistry*. London: Unwin Hyman Ltd

- Environmental Protection Authority (EPA). 2009. *Load Calculation Protocol for use by holders of NSW environment protection licences when calculating assessable pollutant loads*. Sydney South: Departement of Environmental and Climate Change NSW.
- Hecnar, S. J. (1995). Acute and chronic toxicity of ammonium nitrate fertilizer to amphibians from Southern Ontario. *Environmental Toxicology and Chemistry*, **14**(12), 2131-2137.
- Hidayat, Y., Martilaksono, K., Wahjunie, E. D., & Panuju, D. R. (2013). Pencirian Debit Aliran Sungai Citarum Hulu. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, **18**(2), 109-114.
- Hill, M. K. (2010). *Understanding environmental pollution*. 3rd edition. United Kingdom: Cambridge University Press.
- Howarth, R. W., Sharpley, A., & Walker, D. (2002). Sources of Nutrien Pollution to Coastal Waters in the United State: Implication for Achieving Coastal Water Quality Goal. *Estuaries*, **25**(4b), 656-676.
- van Katwijk, M. M., Vergeer, L. H. T., Schmitz, G. H. W. & Roelofs, J. G. M. (1997). Ammonium toxicity in eelgrass *Zostera marina*. *Marine Ecology Progress Series*, **157**, 159-173.
- KepMenLH no 110. (2003). Pedoman Penetapan Daya Tampung Beban Pencemaran Air Pada Sumber Air.
- Koropitan, A. F., Ikeda, M., Damar, A., & Yamanaka, Y. (2009). Influences of physical processes on the ecosystem of Jakarta Bay: a coupled physical-ecosystem model experiment. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, **66**(2), 336-348.
- Kusuma, A. H. (2015). Variabilitas Senyawa Logam Berat (Pb, Cd, Cu, Ni dan Zn) terlarut dan sedimen di perairan Teluk Jakarta. *Thesis*. Bogor-Indonesia: Institut Pertanian Bogor.
- Libes, S. M. (1992). *An Introduction to Marine Biogeochemistry*. New York: John Wiley and Sons
- Nugrahadi, M. S., Yanagi, T., Tejakusuma, I. G., Adi, S., & Darmawan, R. A. (2010). Seasonal variations of nutrient budgets in Jakarta Bay, Indonesia. *Marine Research in Indonesia*, **35**(1), 9-20
- Putri, L. S. E., Prasetyo, A. D., & Arifin, Z. (2012). Green Mussel (*Perna viridis* L.) As Bioindicator Of Heavy Metals Pollution At Kamal Estuary, Jakarta Bay, Indonesia. *Journal of Environmental Research and Development*, **6**(3), 389-396.
- Prasono, D. P., & Kastoro, W. (1979). *Evaluasi hasil pemantauan kondisi perairan Teluk Jakarta tahun 1975-1979*. Jakarta-Indonesia: Lembaga Oseanologi Indonesia.
- Rositasari, R. (2011). Karakteristik Komunitas Foraminifera di Perairan Teluk Jakarta. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, **3**(2), 100-111.
- Sanusi, H. S. & Putranto, S. (2009). *Kimia laut dan pencemaran. Proses Fisika kimia dan interaksinya dengan lingkungan*. Bogor-Indonesia: Institut Pertanian Bogor.
- Sutton, M. A., Reis, S., & Baker, S. M. H. (2009). *Atmospheric ammonia. detecting emission change and environmental impact*. United Kingdom: Springer Science.
- Wardhani, E. (2010). *Inventarisasi Beban Pencemar BOD Air Sungai Citarum di Wilayah Kabupaten Bandung*. In Prosiding Seminar. Tjipto Utomo. Jawa Barat: Institut Teknologi Nasional.
- Wyrski, K. (1961). *Scientific results of marine investigations of the South China Sea and the Gulf Of Thailand*. Naga Report Volume 2. California: University of California.