

## PREDIKSI FLUKS KARBON ORGANIK TERLARUT DARI SUNGAI-SUNGAI UTAMA DI JAWA KE LAUT

Sutopo Purwo Nugroho <sup>1)</sup>, Hidayat Pawitan <sup>2)</sup>, Ety Riany <sup>3)</sup>, dan Edvin Aldrian <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> Peneliti di PTLWB BPPT, <sup>2)</sup> Guru Besar di FMIPA IPB Bogor, <sup>3)</sup> Peneliti di PKSPL IPB Bogor, dan <sup>4)</sup> Peneliti di UPT Hujan Buatan BPPT

### Abstract

*Stream plays an important role on carbon cycle due to its role to deliver carbon from land to sea. Smaller creeks in the mountaineous area are main sources of DOC. In total, Indonesian streams contribute around 10% of global DOC intake to the ocean. Based on reasearch, DOC concentration in Java streams is higher that those in the world, that is around 929 uMol/l. DOC flux is reflected by stream debit that relates on precipitation where rainy season is higher than in dry season. DOC flux of 8 streams in Java is about 0.000923 GtC/year. Extrapolation of all streams in Java show that DOC flux in the island is about 0,00256 GtC/year (12,19%) of all streams in Indonesia or about 1.02-1.51% of all rivers in the world, that is 170-250 Tg C/year or 0,64-1,02% of all rivers in the world based on global DOC export that is 0,25-0,4 GtC/year. Of the total DOC flux, 27% flows into Java Sea, 61% into Madura Strait and 13% into Hindian Ocean. The higher yield of DOC in Java relates to high population. In the end, above facts highlight expert hypothesis that smaller creeks in mountaineous area is major source of organic carbon into the ocean, significantly higher that predicted before.*

*Key words: DOC, organic carbon, river, Jawa, flux.*

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Neraca fluks karbon global di atmosfer terus meningkat jika dibandingkan dengan periode sebelumnya. Dalam neraca karbon tersebut, sungai memegang peranan sangat penting karena berfungsi sebagai penghantar lateral karbon dari daratan menuju lautan. Oleh karena itu, saat ini terjadi peningkatan untuk menguantifikasi transpor karbon dari sungai ke laut. Namun, adanya keterbatasan data dan kesulitan memprediksi fluks karbon menyebabkan perkiraan kuantifikasi fluks karbon dari sungai ke laut di dunia selalu berubah-ubah. Demikian pula halnya dengan masalah-masalah yang mendasar yang mengatur fluks karbon melalui sungai dan estuari-estuari besar di daerah tropis di Asia belum dipahami dengan baik<sup>1-5)</sup>.

Secara global, total fluks karbon yang dibawa oleh sungai di dunia sekitar  $0,8 \times 10^{15}$  gC/tahun ( $0,8 \text{ PgC/tahun} = 0,8 \text{ GtC/tahun}$ )<sup>6)</sup>;  $0,9 \text{ GtC/tahun}$ <sup>7)</sup>;  $1 \text{ GtC/tahun}$ <sup>8)</sup> hingga  $1,1 \text{ GtC/tahun}$ <sup>9)</sup>. Dari total tersebut kontribusi karbon organik terlarut (*dissolved organic carbon/DOC*) diperkirakan sekitar  $0,17-0,25 \text{ GtC/tahun}$ <sup>10)</sup> hingga memperkirakan  $0,25-0,4 \text{ GtC/tahun}$ <sup>11)</sup>.

Dalam neraca karb on global, sungai-sungai di tropis seperti di Indonesia sangat penting peranannya dalam memasok karbon ke lautan. Sebab sungai-sungai tersebut menyumbang sekitar 45-65% terhadap DOC dunia. Demikian pula dalam hal pasokan air tawar dari daratan ke lautan, sungai-sungai di Indonesia diperkirakan berkontribusi 11% ( $4,26 \times 10^{12} \text{ m}^3/\text{tahun}$ ) dari global<sup>12)</sup>. Sedangkan dalam

hal fluks sedimen, sungai-sungai di daerah Asia-Oceania memasok 70% sedimen global<sup>13</sup>).

Meskipun sungai-sungai tersebut tergolong dalam klasifikasi sungai-sungai kecil<sup>14</sup>), namun sungai-sungai tersebut berperan penting dalam memasok DOC ke laut dan daerah pesisir dimana berhubungan dengan sumber makanan. Sungai-sungai kecil di pegunungan merupakan sumber utama penting karbon organik ke lautan daripada perkiraan sebelumnya. Studi-studi yang ada semakin mendukung bahwa bagian besar dari kandungan organik berasal dari daratan. DOC dari daratan tersebut menyuplai ke laut melalui sungai ke estuari. Proses-proses yang mempengaruhi dinamika DOC di estuari bisa berasal dari pengaruh fluks DOC daratan ke ekosistem laut<sup>15-17</sup>).

Diperkirakan pasokan DOC ke laut dari sungai-sungai di Indonesia sekitar 21 TgC/tahun (0,021 GtC/tahun) atau 10% dari total pasokan sungai-sungai di dunia<sup>18</sup>). Ironisnya data dan informasi mengenai sungai-sungai di Indonesia tersebut masih sangat terbatas<sup>19</sup>). Pulau Jawa yang luasnya 6,7% dari luas daratan nasional dihuni 128.738.000 jiwa atau 59,09% penduduk Indonesia. Kepadatan penduduk mencapai 1.009 jiwa/km<sup>2</sup> dan laju pertumbuhan penduduk 1,53% per tahun<sup>20</sup>). Dengan jumlah penduduk yang demikian besar maka akan sangat berpengaruh terhadap DOC. Selain itu juga akan berpengaruh terhadap perubahan penggunaan lahan, dimana tutupan hutan saat ini mencapai 23% yang terdiri dari 7% hutan lindung dan 16% hutan produksi<sup>21</sup>). Perubahan iklim global juga sangat mempengaruhi perubahan pola aliran yang ada, seperti terjadinya penurunan kecenderungan (*trend*) curah hujan tahunan yang berakibat pada perubahan watak hidrologi sungai-sungai di Jawa<sup>22</sup>).

Dengan berubahnya watak hidrologi tersebut tentunya sangat berpengaruh terhadap siklus karbon yang ada. Ketika debit aliran kering atau tidak ada aliran pada musim kemarau, maka tidak ada pula fluks karbon dari daratan ke lautan. Berkurangnya

pasokan karbon sungai ke estuari juga dipengaruhi oleh adanya bendungan<sup>23</sup>).

Dengan mempertimbangkan hal tersebut di atas, maka kajian mengenai fluks DOC dari sungai-sungai utama di Jawa perlu dilakukan lebih mendalam. Kajian ini menjadi sangat penting dalam mengisi kekosongan informasi mengenai fluks karbon di Indonesia yang hingga saat ini masih sangat terbatas.

### 1.1. Tujuan Penelitian

- a) Menemukan karakteristik fluks DOC dari sungai-sungai di Jawa.
- b) Memperkirakan besarnya ekspor DOC sungai-sungai di Jawa dan perbandingan dengan sebagian sungai-sungai di dunia.

## 2. METODOLOGI

### 2.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di 8 sungai utama di Jawa, yaitu Sungai Ciujung, Cisadane, Citarum, Cimanuk, Citanduy, Serayu, Bengawan Solo, dan Sungai Brantas.

### 2.2. Alat dan Bahan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini alat penelitian yang akan digunakan perangkat lunak SIG (Arc View, Arc Info) untuk analisis spasial. Sedangkan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: peta RePPPOT skala 1:250.000, peta geologi skala 1:250.000, peta penggunaan lahan 1:100.000, data penduduk, dan data karbon.

### 2.3. Rancangan Penelitian

Penelitian ini bersifat eksploratif-investigatif yang dilakukan untuk memperoleh fakta-fakta dari fenomena-fenomena yang ada, mencari dan mengungkapkan keterangan-keterangan secara faktual, serta membandingkan obyek penelitian dengan lainnya. Sebab penelitian mengenai fluks karbon dari sungai-sungai di Indonesia belum dilakukan investigasi dalam studi lapangan secara mendalam.

### 2.3.1. Metode pengumpulan data

Data yang digunakan untuk penelitian ini merupakan data hasil pengukuran karbon yang pernah dilakukan sebelumnya. Data karbon untuk DAS Brantas merupakan hasil penelitian dari The Brantas Catchment Water and Carbon Cycle yang dibiayai melalui hibah penelitian dari The Southeast Asia Regional Center for START dan BPPT melalui SARCS project 94/01/CW. Pengukuran tersebut dilakukan selama Juni 2005 hingga Juni 2006 untuk periode pengambilan tiap dua bulan sekali.

Sedangkan data karbon untuk 7 sungai lainnya yaitu: Sungai Ciujung, Cisadane, Citarum, Cimanuk, Citanduy, Serayu, dan Sungai Bengawan Solo merupakan hasil pengukuran "Carbon, Nutrient and Water Fluxes of River Basins of the Java Island", yang merupakan penelitian dengan biaya dari hibah the Southeast Asia Regional Center for START dan IPB melalui SARCS project 95/01/CW-0021. Pengukuran tersebut dilakukan selama September 2006 hingga Januari 2008 untuk periode pengambilan tiap tiga bulan sekali.

### 2.3.2. Analisis data

Untuk menghitung fluks, maka konsentrasi karbon dikalikan dengan data debit sungai sehingga diketahui fluks karbon pada masing-masing sungai. Ekspor DOC dari masing-masing sungai dihitung dengan berdasarkan luas DAS. Selanjutnya karbon yang terhitung pada masing-masing sungai tersebut dibandingkan dengan sungai-sungai di dunia berdasarkan studi literatur yang ada, sehingga dapat diketahui lebih lanjut.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Konsentrasi DOC

Konsentrasi DOC berkisar antara 5,4 – 17,5 mg/l di 8 sungai yang diteliti. Rata-rata sekitar 11,1 mg/l. Berturut-turut sungai-sungai yang mempunyai konsentrasi rata-rata DOC terbesar adalah: Brantas (17,5 mg/l); Ciujung (17,2 mg/l); Bengawan Solo (11,9 mg/l); Cisadane (11,3 mg/l); Citarum (7,5 mg/l); Cimanuk (6,3 mg/l); Serayu (5,9

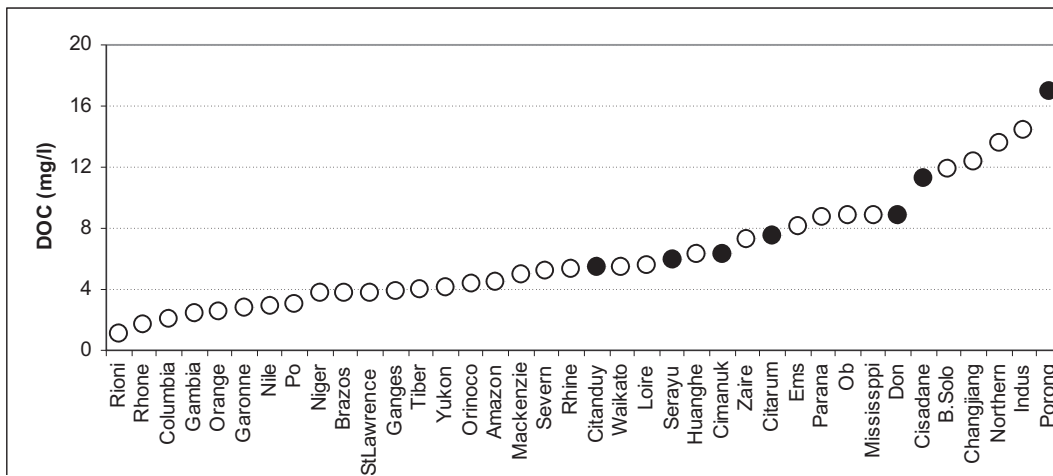
mg/l); dan Citanduy (5,4 mg/l). Konsentrasi ini hampir mendekati DOC di Sungai Tampung Kanan dan Tampung Kiri yang merupakan hulu Sungai Siak yang berair bukan gambut yaitu 7,3 – 18,6 mg/l. Namun dibandingkan dengan sungai bergambut di Indonesia, seperti Sungai Mandau (Sungai Siak) (35 – 36,7 mg/l)<sup>18)</sup> dan Sungai Dumai (60,6 mg/l)<sup>19)</sup>, maka DOC di Jawa lebih kecil.

Dibandingkan dengan sungai-sungai lain di dunia, umumnya konsentrasi DOC sungai-sungai di Jawa memiliki konsentrasi yang relatif lebih tinggi yaitu rata-rata 11,1 mg/l. Beberapa sungai di dunia yang terletak di daerah tropis, antara lain Sungai Amazon dengan DOC 4,46 mg/l<sup>24)</sup>; Sungai Zaire 7,25 mg/l<sup>25)</sup>; Sungai Niger 3,71 mg/l<sup>26)</sup>; dan Sungai Brazos 3,74 mg/l<sup>27)</sup>. Perbandingan antara konsentrasi sungai-sungai di Jawa dibandingkan dengan sebagian sungai-sungai di dunia disajikan pada Gambar<sup>1)</sup>

### 3.2. Ekspor Fluks DOC

Fluks karbon merupakan hasil perkalian antara konsentrasi karbon (mg/l) dengan debit sungai sehingga besarnya fluks DOC sangat dipengaruhi oleh debit sungai. Kuatnya pengaruh debit ditunjukkan oleh korelasi antara DOC-Q sekitar 0,61 – 0,96. Fluks DOC sungai-sungai di Jawa mencapai puncak terbesar saat musim hujan yaitu bulan Januari, kecuali di Sungai Brantas yang puncaknya terjadi pada Maret. Sebaliknya pada musim kemarau fluks DOC sangat rendah karena debit sungai sangat kecil pada musim kemarau.

Rata-rata fluks DOC dari 8 sungai utama di Jawa sebesar 829.414 ton/tahun (0,83 TgC/tahun). Sungai Bengawan Solo memiliki fluks DOC yang paling besar yaitu sekitar 5,1 lebih besar daripada rata-rata sungai lainnya. Dengan melakukan ekstrapolasi untuk seluruh Pulau Jawa, maka fluks DOC diperkirakan sekitar 2,2 juta ton/tahun (2,2 TgC/tahun). Dari total fluks DOC tersebut sekitar 27% mengalir ke Laut Jawa, 61% ke Selat Madura, dan 13% ke Samudera Hindia.



Gambar 1. Perbandingan konsentrasi DOC sungai-sungai di daerah penelitian (bulat hitam) dengan sebagian sungai-sungai di dunia (bulat putih)

Sungai-sungai di Indonesia diperkirakan memiliki ekspor DOC sekitar ~10% (~21 TgC/tahun = 0,021 GtC/tahun) dari input DOC global sungai-sungai di dunia ke lautan. Dengan demikian ekspor DOC dari sungai-sungai di Pulau Jawa ke lautan berkontribusi sekitar 11,7% dari total sungai-sungai di Indonesia Gambar 2). Atau sekitar 1,17% dari sungai-sungai di dunia dalam ekspor DOC yang diperkirakan sekitar 170-250 Tg C/tahun<sup>10</sup>).

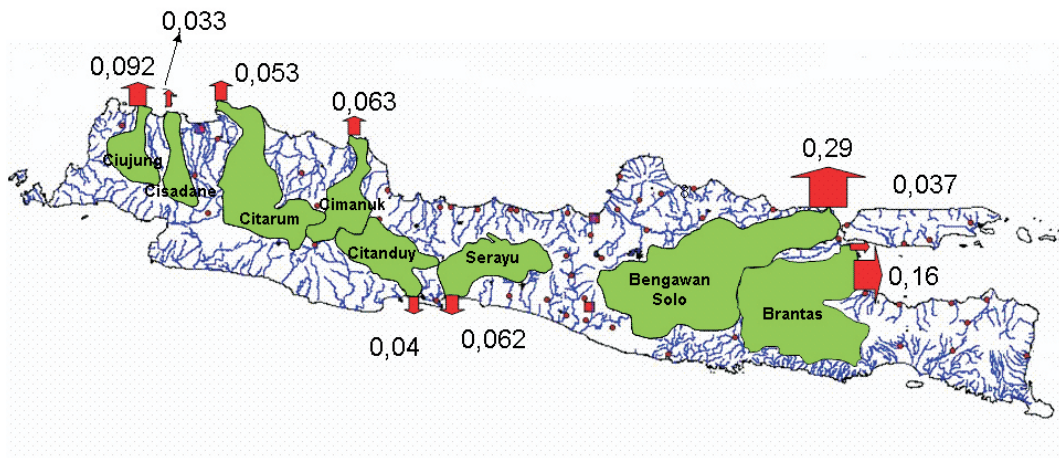
Dibandingkan dengan sungai-sungai lain di dunia, fluks DOC dari sungai-sungai di daerah penelitian tergolong memiliki fluks yang lebih kecil. Hal ini disebabkan luas DAS berukuran kecil dan debit sungai juga kecil (Tabel 1). Namun jika dibandingkan dengan sungai-sungai yang memiliki luas DAS lebih kecil dari 16.000 km<sup>2</sup> seperti Sungai Severn, Waikato, Ems, Tiber dan Rioni, fluks DOC sungai di daerah penelitian memiliki fluks yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa konsentrasi DOC lebih tinggi dibandingkan dengan sungai lain di dunia.

### 3.3. Hubungan DOC dan Penduduk

Besarnya kandungan organik karbon yang terlarut dari sungai-sungai di daerah penelitian terlihat dari DOC lapang (DOC

yield) yang merupakan fluks DOC per km<sup>2</sup> atau dengan satuan ton/tahun/km<sup>2</sup>. Rata-rata DOC yield sungai-sungai di daerah penelitian sekitar 24,03 ton/tahun/km<sup>2</sup>. Nilai ini sangat besar dibandingkan dengan sungai di dunia. Sebab sungai lain seperti Sungai Changjiang dengan luas 1.817.000 km<sup>2</sup> hanya memiliki DOC yield 5,69 ton/tahun/km<sup>2</sup> dan Sungai Orinoco (luas 1.023.000 km<sup>2</sup>) mempunyai DOC yield 4,82 ton/tahun/km<sup>2</sup>. Sungai lain yang memiliki luas sekitar 12.000 km<sup>2</sup> atau hampir sama dengan luas DAS Brantas, hanya memiliki DOC yield 4,58 ton/tahun/km<sup>2</sup>.

Berdasarkan sebarannya, Sungai Ciujung memiliki DOC yield yang paling besar, kemudian berturut-turut Cisadane, Serayu, Bengawan Solo, Citanduy, Cimanuk, Brantas dan Citarum. Dibandingkan dengan sungai-sungai besar lain di dunia, sungai-sungai di Jawa memiliki DOC yield yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa kandungan organik per luas sangat tinggi. Kandungan tanah dan sumber-sumber penyumbang karbon organik, baik yang berasal dari alam maupun pengaruh penduduk (antropogenik) memiliki sumbangan yang sangat tinggi ke badan air sungai. Sumber-sumber penyumbang karbon organik alamiah dapat berasal dari hutan, pelapukan seresah,



Gambar 2. Sebaran fluks DOC dari masing-masing sungai ke laut (TgC/tahun)

Tabel 1. Luas DAS, Penduduk dan Fluks DOC dari Beberapa Sungai-Sungai di Dunia

No	Sungai	Luas (103 km <sup>2</sup> )	Kepadatan Penduduk (orang/km <sup>2</sup> )	DOOC (mg/l)	Fluks DOC (ton/thn)	Fluks DOC (ton/thn)
1	Ob	3.109	7	8,79	3.674.838	1,18
2	Parana	2.860	14	8,68	4.095.520	1,43
3	Mississippi	3.243	27	8,79	4.277.517	1,32
4	Orinoco	1.023	13	4,39	4.934.952	4,82
5	Zaire	3.704	15	7,25	9.130.360	2,47
6	Changjiang	1.817	205	12,37	10.338.730	5,69
7	Amazon	5.903	2	4,46	26.333.283	4,46
8	St. Lawrence	1.112	25	3,75	1.814.784	1,63
9	Ganges	975	193	3,87	2.159.625	2,22
10	Brahmaputra	580	197	-	1.900.080	3,28
11	Northern Dvina	329	1	13,63	1.479.842	4,50
12	Mackenzie	1.615	1	4,93	1.353.370	0,84
13	Niger	1.540	43	3,71	913.220	0,59
14	Yukon	843	1	4,14	803.379	0,95
15	Columbia	664	16	2,12	527.880	0,80
16	Don	413	37	8,81	247.800	0,60
17	Huanghe	823	157	6,25	395.863	0,48
18	Orange	716	9	2,50	179.000	0,25
19	Nile	1.874	28	2,95	166.786	0,09
20	Rhine	156	190	5,33	158.028	1,01

Tabel 1. Luas DAS, Penduduk dan Fluks DOC dari Beberapa Sungai-Sungai di Dunia (lanjutan)

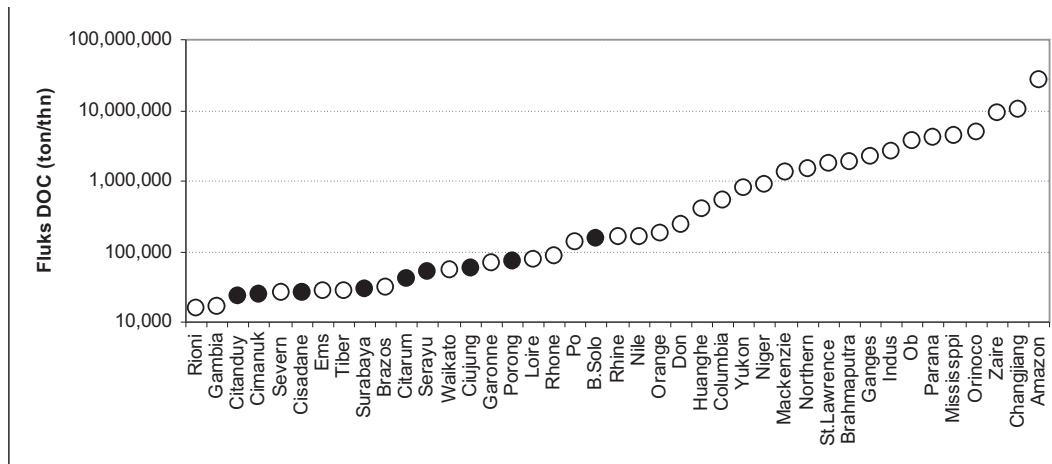
No	Sungai	Luas( 103 km <sup>2</sup> )	Kepadatan Penduduk (orang/km <sup>2</sup> )	DOC (mg/l)	Fluks DOC (ton/thn)	DOC Yield (t/thn/km <sup>2</sup> )
21	Loire	107	135	5,63	78.431	0,73
22	Po	65	167	3,08	134.225	2,07
23	Rhone	97	103	1,67	85.845	0,89
24	Garonne	79	71	2,79	70.468	0,89
25	Waikato	12	3	5,46	54.912	4,58
26	Brazos	127	24	3,74	30.861	0,24
27	Severn	13	389	5,27	26.013	2,00
28	Ems	9	169	8,12	27.234	3,03
29	Tiber	16	62	3,97	28.608	1,79
30	Gambia	63	9	2,39	16.506	0,26
31	Rioni	16	26	1,05	15.904	0,99
32	Indus	912	121	14,4	2.671.248	2,93
33	Ciujung	1,80	1.355	17,2	59124	32,94
34	Cisadane	1,50	2.160	11,3	26.727	17,82
35	Citarum	5,48	1.809	7,5	42.337	7,73
36	Cimanuk	3,32	1.222	6,3	24.835	7,48
37	Citanduy	2,19	764	5,4	23.160	10,59
38	Serayu	3,10	1.000	5,9	50.609	16,35
39	B.Solo	14,38	1.333	11,9	153.114	10,65
40	Brantas (Surabaya)	11,08	1.087	17,5	28.698	2,59
41	Brantas (Porong)	10,57	1.087	17,0	74.520	7,05

humus, dan sebagainya, sedangkan dari pengaruh antropogenik dapat berasal dari limbah, pupuk pertanian, pestisida, sampah dan sebagainya.

Secara umum terdapat hubungan yang kuat antara DOC yield dan kepadatan penduduk, dimana korelasinya 0,80. Dari Gambar 3 terlihat bahwa pola DOC yield dan kepadatan penduduk dari sebagian sungai-sungai di dunia dan di daerah kajian mempunyai pola yang hampir mirip. Dengan pola yang mirip dan korelasi yang cukup

besar tersebut mengindikasikan bahwa antropogenik mempunyai kaitan yang signifikan terhadap fluks DOC.

Hasil kajian ini semakin menguatkan adanya pengaruh antropogenik terhadap kualitas perairan sungai, khususnya dari DOC. Pengaruh antropogenik lebih dominan dalam mempengaruhi kualitas perairan sungai dibandingkan dengan proses-proses alamiah seperti di Sungai Seine, Sungai Colorado, Sungai Yangtze dan Yellow River. Lebih dari itu, secara menyolok dampak



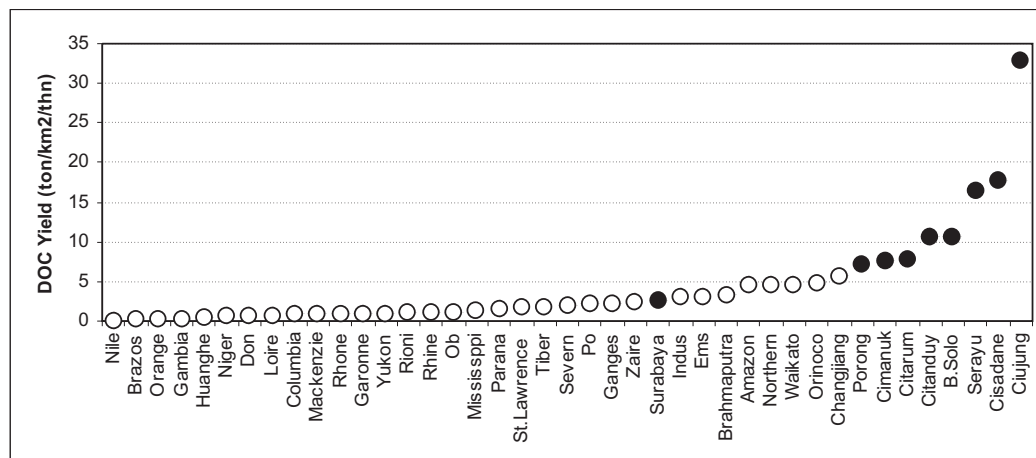
Gambar 2. Perbandingan antara fluks DOC sungai-sungai di daerah penelitian (bulat hitam) dengan sebagian sungai-sungai di dunia (bulat putih)

aktivitas manusia terhadap sistem sungai telah mempengaruhi ekosistem sungai yang dikenal dengan delapan sindrom (*eight syndromes*) yaitu: regulasi aliran, fragmentasi alur sungai, ketidakseimbangan sedimen, pengeringan sungai, kontaminasi kimiawi, pengasaman, eutrofikasi, dan kontaminasi mikrobia.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1. Kesimpulan

Fluks DOC dari 8 sungai-sungai di Jawa sekitar 0,000923 GtC/tahun atau sekitar 0,00256 GtC/tahun untuk Jawa secara keseluruhan. Berarti sungai-sungai di Pulau Jawa berkontribusi 12,19% dari



Gambar 3. Perbandingan antara DOC yield sungai-sungai di daerah penelitian (bulat hitam) dengan sebagian sungai-sungai di dunia (bulat putih)

total sungai-sungai di Indonesia dalam memasok DOC dari daratan ke lautan. Atau sekitar 1,02% - 1,51% dari sungai-sungai di dunia dalam ekspor DOC yang diperkirakan sekitar 170-250 Tg C/tahun. Dari total fluks DOC tersebut sekitar 27% mengalir ke Laut Jawa, 61% ke Selat Madura, dan 13% ke Samudera Hindia.

Tingginya konsentrasi DOC dari sungai-sungai di Jawa sangat dipengaruhi oleh DOC yield yang ada yang dapat berasal dari faktor alam maupun antropogenik. Dalam hal ini terdapat korelasi positif antara DOC yield dan kepadatan penduduk. DOC yield sungai-sungai di Jawa lebih besar dibandingkan dengan sungai-sungai dunia. Hal ini semakin memperkuat dugaan para ahli bahwa sungai-sungai kecil di pegunungan merupakan sumber utama penting karbon organik ke lautan daripada perkiraan sebelumnya.

#### 4.2. Saran

Kajian mengenai karbon sungai di Indonesia perlu ditingkatkan mengingat sungai-sungai di Indonesia mempunyai peran yang sangat penting. Dalam neraca biogeokimia global, kontribusi Indonesia terhadap dunia sangat penting. Indonesia menyumbang 11% aliran air tawar ke laut, 50% total sedimen fluks ke lautan bersama dengan negara-negara di kawasan Hindia dan 10% fluks DOC dari sungai. Namun demikian, kuantifikasi tersebut berasal dari bangkitan model biogeokimia global karena terbatasnya publikasi internasional mengenai karbon sungai di Indonesia.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. IPCC. (2007a). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Summary for Policymakers*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
2. Hedges, J.I. (1992) *Global Biogeochemical Cycles: Progress and Problems*. *Mar. Chem.* 39, 67-93.
3. Coynel, A., Etcheber, H., Abril, G., Eric, M., Jacques, D., and Jean-Emmanuel, H. (2005). *Contribution of small mountainous rivers to particulate organic carbon input in the Bay of Biscay*. *Biogeochemistry* 74: pp 151-171.
4. McKee, B.A. (2003) *RiOMar: The transport, transformation and fate of carbon in river-dominated ocean margins, report of RiOMar Workshop, 1 –3 November 2001, Tulane Univ., New Orleans, La.*
5. Talaue-Mcanus, L., Kiemer, H.H., Marshal, J.I. (2001). *LOICZ Reports and Studies No.17*, ii+277 pages. LOICZ IPO, Texel, The Netherlands.
6. IPCC. (2007b). *Climate Change 2007. Impact, Adaptation and Vulnerability. Working Group II Contribution to the Fourth.*
7. Probst, J.L., Moratti, J., Tardy, Y., (1999). *Carbon River Fluxes and Weathering CO<sub>2</sub> Consumption in the Congo and Amazon River Basins*. *Applied Geochemistry* 9, 1-13.
8. Meybeck, M., (2003). *Global Analysis of River System: From Earth System Controls to Anthropocene Syndromes*. *Philos. Trans. R. Soc. London Ser. B*, 358, 1935-1955



9. Sabine, C.L., Heinman, M., Artaxo, P., Baker D. (2004). *Current Status and Past Trends of the Global Carbon Cycle*. In: *The Global Carbon Cycle: Integrating Humans, Climate, and the Natural World*. Island Press. Washington DC.
10. Ludwig, W., Probst, J.L. and Kempe, S. (1996) *Predicting the oceanic input of organic carbon by continental erosion*, *Global Biogeochem. Cycles*, 10, 23– 41.
11. Chen, C.T.A. (2004) *Exchanges of Carbon in the coastal seas*, in *The Global carbon cycle: Integrating humans, climate and the natural world*, eds. CB Field and MR Raupach, SCOPE 62, Island Press, Washington DC, 2004, pp 341-351.
12. Syvitski, J.P.M., Vorosmarty, C.J. Kettner, A.J. Green P. (2005). *Impact Humans on the Flux of Terrestrial Sediments to the Global Coastal Ocean*. *Science* 308. 376-380.
13. Milliman, J.D. and Syvitski, J.P.M. (1992) *Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: the importance of small mountainous rivers*. *J Geol* 100, 525–544.
14. Walling, DE., and Fang,D. (2003). *Recent Trends in the Suspended Sediment Loads of the World's Rivers*. *Global and Planetary Change XX*.
15. Wu, Y., J. Zhang, S.M. Liu, Z.F. Zhang, Q.Z. Yao, G.H. Hong, L. Cooper. (2007). *Sources and Distribution of Carbon within the Yangtze River System*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 71. 13-25. Elsevier.
16. Komada T, Druffel, E.R.M. and Trumbore, S.E. (2004) *Oceanic export of relict carbon by small mountainous rivers*, *Geophys. Res. Lett.* 31, L07504.
17. Muylaert, K., Dasseville, R., De Brabandere, L., Dehairs, F., Vyverman, W. (2005). *Dissolved Organic Carbon in the Freshwater Tidal Reaches of the Schelde Estuary*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 64, 591-600.
18. Baum, A., Rixen, T., Samiaji, J. (2007). *Relevance of Peat Draining Rivers in Central Sumatra for the Riverine Input of Dissolved Organic Carbon Into the Ocean*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73: 563-570.
19. Alkhatib, M., and Jennerjahn, T.C. (2007) *Biogeochemistry of the Dumai River Estuary, Sumatra, Indonesia, a Tropical Black-Water River*. *Limnol Oceanogr.* 52(6), 2410-2417.
20. BPS (2004). *Statistik Indonesia Tahun 2004*. BPS. Jakarta.
21. Lavigne, F. and Gunnell, Y. (2006). *Land Cover Change and Abrupt Environmental Impacts on Javan Volcanos, Indonesia: A Long-Term Perspective on Recent Events*. *Reg. Environ Change* 6: 86-100.
22. Pawitan, H., (2004). *Perubahan Penggunaan Lahan dan Pengaruhnya Terhadap Hidrologi Daerah Aliran Sungai (Land Use Change and Their Impact on Watershed Hydrology)*. *Prosiding Multifungsi Pertanian*. Balai Penelitian Tanah. Bogor.
23. Ittekkot, V., Humborg, C., Schafer, P., (2000). *Hydrological Alterations and Marine Biogeochemistry: A Silicate Issue?* *Bioscience* 50(9): 776-782.
24. Richey, J.E., Hedges, J.I., Devol, A.H., Quay, P.D., (1990) *Biogeochemistry of Carbon in the Amazon River*. *Limnol Oceanogr.* 35. 352-371.

25. N'Kunkou, R.R., and Probst, J.L., (1987) *Hydrology and Geochemistry of the Congo River System, in Transport of Carbon and Mineral in Major World Rivers*, Vol.14. Mitt. Geol.-Pallaont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd. 64, edited by E.T. Degens, S. Kempe and Gan Wei-Bin, pp 417-421, Universitat Hamburg, Hamburg.
26. Martins, O., and Probst, J.L. (1991). *Biogeochemistry of Major African Rivers: Carbon and Mineral Transport, in Biogeochemistry of Major World Rivers*, SCOPE Rep.42 Edited E.T Degens, s. Kempe, and J.E. Richey, pp 127-155. John Wiley. New York.
27. Malcom, R.L. and W.H. Durum. (1976) *Organic Carbon and Nitrogen Concentrartion and Annual Organic Carbon Load of Six Selected Rivers of the United States. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper. 1817F, 1-21.*