

# PENGARUH FLUKTUASI DEBIT TERHADAP POLA FLUKTUASI KARBON DI SUNGAI SURABAYA

Prihartanto

Pusat Teknologi Sumberdaya Lahan, Wilayah dan Mitigasi Bencana  
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

## Abstract

*Fluctuation of carbon in rivers are considered to be reflection of their rivers discharge fluctuation. To monitor carbon concentration fluctuation in Surabaya river, several water samples were analyzed automatically in Automated Water Monitoring System MERMAID (Marine, Environmental Remote-Controlled Monitoring and Integrated Detection) for Total Inorganic Carbon (TIC) and Total Organic Carbon (TOC). An inverse relationship with discharge was found in this study, relatively high TIC and TOC observed at low discharge and low TIC and TOC in high discharge. It shows dilution process of carbon organic and inorganic during rainy seasons and accumulation process during dry seasons. Inorganic carbon (TIC) is the dominant form of carbon transport in Surabaya river. The high amount of inorganic suggesting basin-wide flushing with dominant allochthonous  $\text{HCO}_3^-$  from carbonate rocks regions in Brantas basin.*

**Kata kunci:** karbon anorganik total, fluktuasi debit, DAS

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Untuk memantau kualitas air Sungai Brantas, telah dibangun stasiun pemantau kualitas air sungai otomatis *MERMAID (Marine, Environmental Remote-Controlled Monitoring and Integrated Detection)* di sungai Surabaya yang merupakan anak Sungai Brantas. Dari Sungai Surabaya air sungai mengalir ke Kali Mas dan Sungai Wonokromo sebelum akhirnya memasuki muara di Selat Madura.

Beberapa parameter kualitas air sungai yang dipantau adalah adalah *Total Organic Carbon (TOC)* dan *Total Inorganic Carbon (TIC)*. Fluktuasi konsentrasi parameter-parameter tersebut sangat dipengaruhi oleh fluktuasi debit sungai Brantas dan anak-anak sungainya sebagai media pengencer maupun transportasi nutrisi dari hulu ke hilir.

Sungai Brantas yang memiliki Panjang 320 km dan luas DAS 11.050 km<sup>2</sup> (dihitung berdasarkan koordinat 111°30'E hingga 112°45'E dan 7°20'S hingga 8°20'S) merupakan salah satu sungai besar di pulau Jawa. Hulu Sungai Brantas berasal dari gunung berapi Arjuno yang terbagi menjadi tiga cabang utama yang menuju pesisir. Sungai Porong dan Wonokromo merupakan cabang utama yang mengalir ke Selat Madura, sedangkan Kali Mas mengalir ke dekat Selat Madura setelah melalui

kota Surabaya. Iklim di wilayah DAS ini didominasi iklim *monsoons*. Di bagian timur Pulau Jawa hanya terjadi satu kali musim hujan selama bulan November-April dengan rata-rata debit puncak sungai rata-rata tahunan sebesar 2220 mm. Debit puncak sungai yang terjadi sebesar 217 m<sup>3</sup>/det<sup>-1</sup> pada kondisi rata-rata tahunan selama periode 1991-1996 (Jennerjahn *et. al.*, 2003)



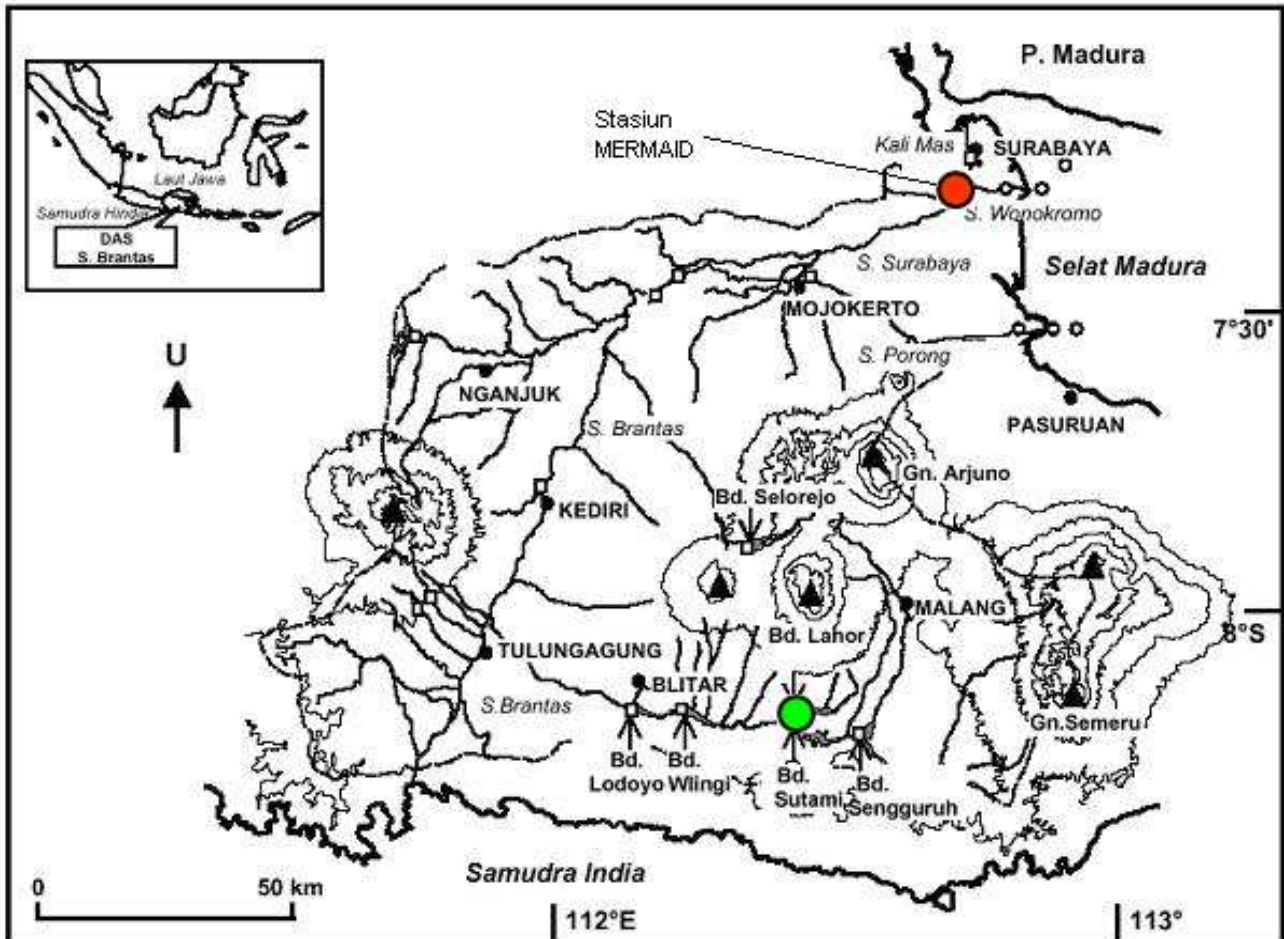
Gambar 1 Stasiun Pemantau Kualitas Air Sungai otomatis *MERMAID (Marine, Environmental Remote-Controlled Monitoring and Integrated Detection)* di sungai Surabaya

Sekitar 40 km sebelum kota Surabaya, Sungai Brantas terbagi menjadi dua cabang yaitu Sungai Surabaya kearah timur laut dan Sungai Porong ke arah tenggara. Kedua sungai ini merupakan sarana transportasi sedimen utama ke arah laut.

Selama musim hujan hampir 80% air sungai yang berasal dari Sungai Brantas dibuang ke arah sungai Porong dengan debit  $600 \text{ m}^3/\text{det}^{-1}$  hingga mencapai  $1200 \text{ m}^3/\text{det}^{-1}$  pada kondisi hujan yang ekstrim (Hoekstra *et. al.*, 1989). Hal ini dilakukan untuk menghindari terjadinya banjir di kota Surabaya.

Kira-kira 10 km sebelum kota Surabaya, sungai Surabaya bercabang menjadi dua yaitu Kali Mas

untuk memenuhi kebutuhan listrik, irigasi dan pengendalian banjir di. Aktivitas utama penduduk yang berpengaruh pada kondisi ekologi di DAS Brantas adalah penebangan hutan, pertanian padi yang intensif, pembuangan limbah domestik dan industri, penambangan pasir, konversi hutan *mangrove* menjadi pertambakan mengakibatkan turunnya rejim aliran dan meningkatkan kuantitas dan komposisi substansi dalam sungai yang



Gambar 2 Wilayah Studi di Sungai, Muara dan Laut sekitar Sungai Wonokromo dan Porong (Jennerjahn *et. al.*, 2003)

dengan volume air yang memasuki kota Surabaya relatif kecil dan sebagian lagi menuju Sungai Wonokromo di arah tenggara (30 km sebelah Utara Sungai Porong) mengalir kearah Selat Madura. Karena beban sedimen yang besar, muara di Sungai Porong cenderung membentuk delta. Pada musim kering, aliran cenderung diarahkan ke kota Surabaya, dan debit ke Sungai Porong relatif rendah (Hoekstra, 1989).

Diperkirakan 16 juta orang hidup di sekitar Sungai Brantas. Karena perkembangan penduduk yang sangat tinggi di DAS Brantas, sekitar tahun 1970-1980 dibangun beberapa dam dan *reservoir*

tertransport oleh sungai ke Selat Madura.

## 1.2. Tujuan Studi

Studi ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh fluktuasi debit terhadap pola fluktuasi karbon organik dan anorganik yang terpantau di stasiun pemantau kualitas air sungai otomatis *MERMAID*, serta mengetahui proses akumulasi dan pengenceran karbon yang terjadi di Sungai Surabaya.

## 2. BAHAN DAN METODE

### 2.1. Titik Sampling

Data kualitas air utama yang akan dievaluasi adalah parameter *Total Organic Carbon (TOC)* dan *Total Inorganic Carbon (TIC)*. Pengambilan sampel dan analisisnya diambil secara kontinyu di stasiun pemantauan kualitas air *MERMAID* menggunakan metode standard spektrofotometri. Stasiun pemantauan kualitas air tersebut terletak antara Bendung Gunungsari dan Bendung Jagir di sungai Surabaya. Titik pengambilan sampel air diambil di stasiun pemantauan kualitas Air *MERMAID* yang terletak  $\pm 50$  sebelum Bendung Jagir.

Bendung Jagir terletak di hilir Bendung Gunungsari yang bertujuan meninggikan muka air sungai Surabaya yang berfungsi untuk memberikan air ke intake PDAM Ngagel Surabaya sebesar 3 m<sup>3</sup>/dt. Mengalihkan aliran Sungai Surabaya ke Kali Mas melalui pintu air Wonokromo untuk suplai air irigasi, industri dan penggelontoran kota.

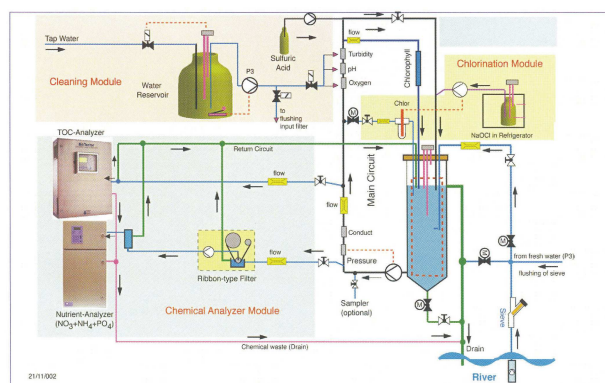
### 2.2. Metode Pengukuran

Data kualitas air utama yang akan dievaluasi adalah parameter *Total Organic Carbon (TOC)* dan *Total Inorganic Carbon (TIC)* yang merupakan rata-rata harian dari masing-masing parameter tersebut. Data harian dihitung berdasarkan rata-rata konsentrasi yang diukur setiap 2 jam sekali. Parameter ini diukur melalui stasiun pemantau kualitas air *MERMAID (Marine, Environmental Remote-Controlled Monitoring and Integrated Detection)* (Schroeder *et. al.*, 2004). Sistem ini memungkinkan untuk mengambil sampel air secara menerus dan otomatis serta menghasilkan data tepat waktu (*real time*). Dengan teknologi ini, data kualitas air disimpan pada *server database* yang terdapat pada stasiun pemantau kualitas air yang terletak di tepi sungai Brantas. Data yang tersimpan dalam database ditransmisikan ke *ftp server* melalui saluran telpon, dengan demikian data kualitas air dapat diobservasi dari jarak jauh dengan mengakses *ftp server* melalui jaringan internet.

Stasiun pemantau kualitas air dengan sistem *MERMAID* Brantas terdiri dari beberapa sistem monitoring modular yang terdiri dari beberapa sensor dan instrumen yang diprogram untuk mengukur, menganalisa dan mengambil sampel secara periodik secara otomatis. Sistem ini merupakan *fully automated flow through system* dengan beberapa sensor dan *analyzer* otomatis yang berbeda-beda. Stasiun pemantau ini diletakkan di salah satu sisi Sungai Surabaya yang merupakan anak Sungai Brantas yang merupakan

bagian dari muara Sungai Brantas. Air dipompakan dari sungai ke *internal water loop* dimana air disirkulasikan dengan kecepatan konstan 1 m/detik. Kecepatan aliran ini akan menurun karena tumbuhnya bakteri pada sensor-sensor dan permukaan tabung. Untuk itu sensor-sensor akan dicuci secara otomatis dan periodik dengan air bersih, air bercampur asam maupun proses klorinasi untuk mencegah terjadinya *biofouling*. Dalam kondisi tertentu, pompa air akan mengalami penurunan debit akibat menurunnya efisiensi pompa, dalam kondisi ini dilakukan penggantian pompa *submersible* sehingga selalu didapatkan kecepatan konstan 1 m/detik.

Modul-modul yang terdapat pada sistem *MERMAID* ini terdiri atas modul perangkat pembersihan, modul perangkat klorinasi dan modul perangkat untuk analisa kimia. Air terlebih dahulu disaring menggunakan filter dalam bentuk pita yang beroperasi secara otomatis sebelum dialirkan pada proses analisa nutrisi dan *TOC analyzer*. Pada modul perangkat analisa kimia parameter-parameter yang diukur secara periodik adalah  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ , *Total Organic Carbon (TOC)* dan *Total Inorganic Carbon (TIC)*. Pengambilan dan pengukuran data untuk parameter-parameter kimia dilakukan setiap 2 jam sekali secara otomatis. *Nutrient analyzer* yang digunakan pada modul ini menggunakan prinsip yang sama dengan prinsip *spektrofotometri*.



Gambar 3 Diagram Proses Sistem Pemantau Kualitas Air *MERMAID* (Sumber: Schroeder *et. al.*, 2004)

Disamping parameter-parameter kimia, parameter-parameter fisik yang diukur dengan sistem ini adalah oksigen terlarut, pH, turbidity, konduktivitas, debit aliran pada *loop*, temperatur dan tekanan air. Parameter-parameter fisik diambil dan diukur secara otomatis setiap 10 menit sekali secara periodik dan menerus. Sedangkan parameter biologi yang diukur adalah parameter

*klorofil*. Secara lengkap system *MERMAID* Brantas diperlihatkan pada Gambar 3.

Data debit diambil dari stasiun pengukuran debit Perum Jasa Tirta 1 (PJT1) di Gunungsari. Data debit yang diambil adalah data debit harian rata-rata selama tahun 2003.

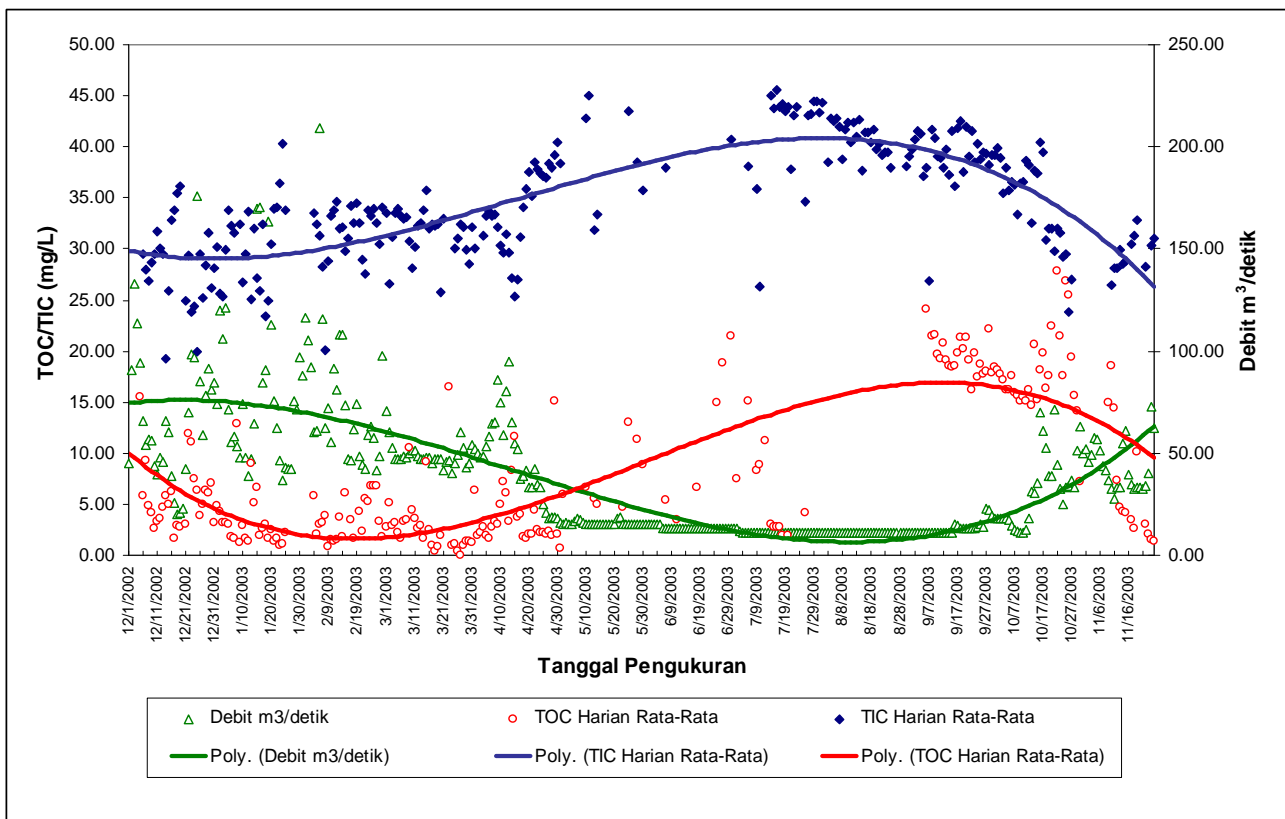
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran *Total Organic Carbon* (TOC) dan *Total Inorganic Carbon* (TIC) memperlihatkan bahwa konsentrasi TIC lebih besar daripada TOC yang menunjukkan bahwa proporsi karbon anorganik lebih besar daripada karbon organik. Konsentrasi TIC tertinggi terukur pada musim kering sebesar 45,160 mg/L (3763.33  $\mu\text{Mol/L}$ ) dan terendah 19,267 mg/L (1605.58  $\mu\text{Mol/L}$ ) pada musim hujan dengan kecenderungan TIC rendah pada musim hujan dan meningkat pada musim kering. Hal ini memperlihatkan adanya kecenderungan proses pengeceran karbon anorganik pada musim hujan seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Kecenderungan yang sama

terjadi pada konsentrasi karbon organik (TOC) yang relatif rendah pada musim hujan dan meningkat pada musim kemarau. Konsentrasi karbon organik(TOC) terendah terukur pada musim hujan sebesar 0,000 mg/L dan tertinggi 24,110 mg/L (2009.17  $\mu\text{Mol/L}$ ) pada musim hujan.

Pola debit rata-rata harian sungai Surabaya pada tahun 2003 yang diukur di stasiun Gunungsari memperlihatkan adanya peningkatan debit sungai pada musim hujan bulan Januari hingga bulan Mei 2003 dengan pola fluktuasi yang besar. Debit sungai tertinggi yang terukur di Gunungsari sebesar 209,35 m<sup>3</sup>/detik pada bulan Maret 2003 dan terendah terukur sebesar 11,00 m<sup>3</sup>/detik pada awal bulan Agustus hingga pertengahan bulan Oktober 2003. Pada awal bulan November 2003 debit sungai cenderung meningkat kembali karena meningkatnya curah hujan.

Meningkatnya karbon organik maupun anorganik pada musim kemarau menunjukkan bahwa konsentrasi karbon di sungai Surabaya relatif tidak dipengaruhi oleh proses transportasi karbon dari hulu ke hilir akibat peningkatan debit



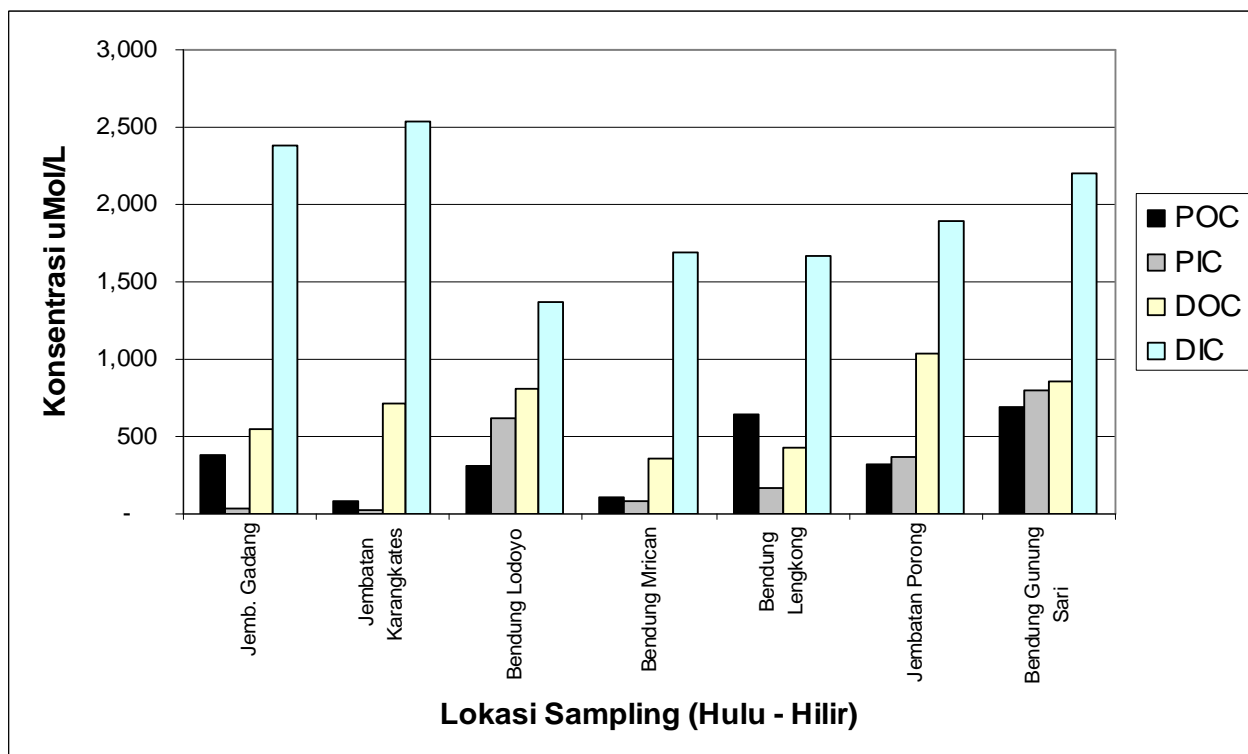
Gambar 4 Fluktuasi TOC dan TIC yang terukur di Stasiun Pengukuran *MERMAID* (Prihartanto, 2006) serta Debit Sungai Surabaya Hasil Pengukuran Perum Jasa Tirta 1 (PJT 1) di Stasiun Gunungsari Selama Tahun 2003



sungai Surabaya pada saat musim hujan. Penurunan konsentrasi karbon lebih dipengaruhi oleh proses pengenceran karbon organik maupun anorganik pada musim hujan.

Komposisi karbon organik maupun anorganik yang terukur pada musim hujan Desember 2005 di beberapa titik dari hulu hingga hilir di sungai Brantas diperlihatkan pada Gambar 5. Pada gambar tersebut diperlihatkan komposisi *Particulate Organic Carbon* (POC), *Particulate Inorganic Carbon* (PIC), *Dissolved Organic Carbon* (DOC) dan *Dissolved Inorganic Carbon* (DIC).

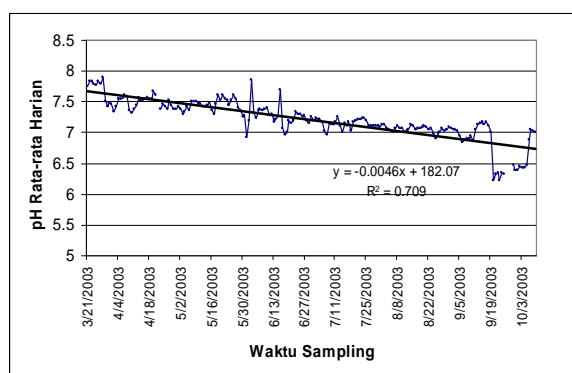
oleh ion  $\text{HCO}_3^-$  sehingga akan meningkatkan konsentrasi karbon anorganik di dalam sungai. Diperkirakan sumber utama dari karbon anorganik terlarut berasal dari batuan kapur yang terlarut ke dalam air sungai yang membentuk ion  $\text{HCO}_3^-$ . Pada Gambar 6, tampak bahwa pH air Sungai cenderung mengalami penurunan pada musim hujan dan peningkatan pada musim kemarau namun tetap berada pada kisaran pH dimana karbonat dalam air tetap didominasi ion  $\text{HCO}_3^-$ .



Gambar 5 Komposisi POC, PIC, DOC dan DIC dari Hulu Hingga Hilir Sungai Brantas pada Musim Hujan Bulan Desember 2005 (Sumber: Aldrian *et. al.*, 2005)

Tampak bahwa proporsi karbon anorganik terlarut (DIC) relatif tinggi di semua titik pemantauan sepanjang sungai Brantas hingga mencapai 2532,74  $\mu\text{Mol/L}$  di Jembatan Karangates dan terendah terukur 1.368,78  $\mu\text{Mol/L}$  di Bendung Lodayo. Konsentrasi karbon organik terlarut (DOC) terendah terukur di Bendung Mirican sebesar 355,52  $\mu\text{Mol/L}$  dan tertinggi 1037,41  $\mu\text{Mol/L}$  di Jembatan sungai Porong. Dengan demikian komposisi karbon terlarut maupun karbon total di sungai Brantas lebih didominasi oleh karbon anorganik.

Dengan relatif tingginya nilai DIC dibandingkan dengan nilai PIC, POC dan DOC serta nilai pH sungai Surabaya pada rentang minimum 6,22 hingga maksimum 7,91 seperti diperlihatkan pada Gambar 6, maka karbonat dalam air didominasi



Gambar 6 Fluktuasi pH di Stasiun Pengukuran MERMAID di Sungai Surabaya Selama Bulan

Maret-Oktober 2003 yang terukur di Stasiun MERMAID tahun 2003

Dengan tingginya nilai DIC disemua titik pemantauan sepanjang Sungai Brantas dari hulu ke hilir diperkirakan adanya beberapa sumber karbon anorganik yang berasal dari deposit batu kapur yang berada di dalam DAS Brantas. Pada penelitian ini diduga deposit batu kapur yang memiliki kontribusi ke dalam DAS Brantas berada di sekitar Turen, Tulungagung dan Pegunungan Kendeng di bagian Utara DAS.

Deposit batu kapur dari wilayah Turen diduga memiliki kontribusi terhadap tingginya nilai DIC di sungai Brantas yang berada di sekitar wilayah Malang hingga Waduk Karangates seperti diperlihatkan pada Gambar 5. Tingginya nilai DIC di dalam waduk dan turunnya nilai DIC setelah melalui waduk tersebut menunjukkan adanya penjebaran  $\text{HCO}_3^-$  karena keberadaan waduk.

Konsentrasi karbon anorganik mengalami peningkatan kembali dari waduk Karangates menuju bendung Lengkong di wilayah Mojokerto yang diduga akibat adanya akumulasi  $\text{HCO}_3^-$  dari Waduk Karangates dan penambahan konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  yang melalui wilayah deposit kapur disekitar Tulungagung, Blitar.

Kontribusi  $\text{HCO}_3^-$  dari wilayah deposit kapur disekitar Pegunungan Kendeng yang berada dalam wilayah DAS Brantas diduga juga meningkatkan konsentrasi  $\text{HCO}_3^-$  di Sungai Surabaya dan Sungai Porong.

#### 4. KESIMPULAN

Meningkatnya karbon organik maupun anorganik pada musim kemarau di sungai Brantas kurang dipengaruhi oleh transportasi karbon dari hulu ke hilir akibat peningkatan debit sungai Brantas pada saat musim hujan. Penurunan konsentrasi karbon di sungai Brantas pada saat musim hujan lebih dipengaruhi oleh proses pengenceran karbon organik maupun inorganik pada musim hujan.

Komposisi karbon terlarut maupun karbon total di sungai Brantas lebih didominasi oleh karbon anorganik. Sumber utama dari karbon anorganik terlarut berasal dari batuan kapur yang terlarut ke dalam air sungai yang sebagian besar dalam bentuk  $\text{HCO}_3^-$  yang ditandai dengan tingginya nilai DIC dan nilai pH sungai pada rentang minimum 6,22 hingga maksimum 7,91.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E., Chen-Tung, C.A., Adi, S., Sudiana, N., Prihartanto, Nugroho, S.P., 2006. Spatial and seasonal dynamics of riverine carbon fluxes of the Brantas catchment in East Java. SARCS Report, 2006
- Hoekstra, P., 1989. Hydrodynamics and depositional processes of the Solo and Porong Deltas, East Java. Indonesia. Proceeding of the KNGMG Symposium "Coastal Lowlands, Geology and Geotechnology", Kluwer. Dordrecht, 1989, hal. 161-173
- Hoekstra, P., Nolting, R.F., van der Sloot, H.A., 1989. Supply and dispersion of water and suspended matter of the river Solo and Brantas into the coastal waters of East Java, Indonesia. Netherlands Journal of Sea Research 23, 1989, hal. 501-515
- Jennerjahn, T.C., Ittekkot, V., S. Klöpffer, S., Adi, S., Nugroho, S.P., Sudiana, N., Yusmal, A., Prihartanto, Caye-Haake, B., 2003. Biogeochemistry of a tropical river affected by human activities in its catchment: Brantas River estuary and coastal waters of Madura Strait, Java, Indonesia. Estuarine Coastal and Shelf Science 60, 2003, hal. 503-514
- Prihartanto, 2006. Pola Fluktuasi Karbon dan Nutrien di Badan Air Sungai Brantas, Teknologi Pengelolaan Sungai. Jurnal Alami Vol. 11 Nomor 1 Tahun 2006, BPPT – Hans Seidel Foundation, Jakarta 2006, hal 30 – 35
- Schroeder, F., Knauth, H.-D., Pfeiffer, K., Nohren, I., Duwe, K., Jennerjahn, T., Adi, S., Agus, D., 2004. Water quality monitoring of the Brantas Estuary, Indonesia. Proseding Konferensi IEEE Techno-Ocean 2004, Volume 1, 2004, hal : 115 – 120.