

## PENGARUH ANTROPOGENIK TERHADAP BANJIR BENGAWAN SOLO

*Sutopo Purwo Nugroho\**

Sutopo Purwo Nugroho, (2010), Pengaruh Antropogenik terhadap Banjir Bengawan Solo, *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, Vol. 1, No. 2, Tahun 2010, hal 47-54, 1 tabel, 8 gambar.

### *Abstract*

*Changes in the river hydrology character is strongly influenced by climate change and anthropogenic. Decrease of rainfall in Java has caused decreased flow trends. Reduced water catchment area has also led to reduced flow. Upstream river flow patterns Solo River, which changes greatly influenced by changes in the river channel morphology. Before the Wonogiri Dam was built river flow patterns are relatively stable. But after Wonogiri Dam was built, the pattern of decreasing flow trend because the river flow was blocked by the dam with a capacity of 730 x 106 m3 per year. To cope with floods in the prone area is short cut the original river channel meander shaped. The existence of a straight line of the river flow causes flow more quickly and much faster so the flow of the river more dry. These conditions cause the flow pattern of declining trends. Flood control efforts turned out to have caused environmental problems that did not previously exist in the region.*

**Key Words :** river, trend, discharge, flood control, Bengawan Solo

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebagian besar kota-kota besar di Indonesia berkembang di dataran banjir sehingga memiliki risiko yang tinggi terhadap banjir. Risiko bencana meningkat pada kawasan perkotaan karena memiliki tingkat kepadatan penduduk yang besar. Di Indonesia pada tahun 2008, lebih kurang 50% penduduknya tinggal di kawasan perkotaan. Sekitar, 110 juta dari total 222,78 penduduk bermukim pada 60 kota utama yang terletak 100 km dari garis pantai.

Banjir merupakan bencana yang paling besar frekuensinya di Indonesia dimana tercatat 108 kali dari keseluruhan 343 peristiwa bencana. Kerugian yang ditimbulkan dari bencana banjir sangat besar. Sebagai misal adalah, banjir

yang melanda Jawa Tengah dan Jawa Timur di DAS Bengawan Solo dan DAS Brantas pada akhir tahun 2007 yang lalu telah menyedot setidaknya Rp. 2,01 Trilyun yang setara dengan alokasi dana tanggap darurat untuk semua jenis bencana sepanjang tahun 2008.

Parahnya, proses urbanisasi tidak hanya terjadi di daerah hilir dimana kota-kota pesisir berkembang secara alamiah, namun juga terjadi di daerah hulu yang sediakala merupakan kawasan resapan air. Perkembangan penggunaan lahan di sejumlah daerah aliran sungai-sungai di Indonesia dalam tiga dasawarsa terakhir ini telah memberi dampak berupa peningkatan frekuensi, debit, dan volume banjir dari sungai-sungai yang ada (Pawitan, 2004). Proses perubahan yang terjadi secara terus menerus tersebut jelas berimplikasi terhadap perubahan aliran sungai. Kondisi demikian juga terjadi di DAS Bengawan Solo.

Bengawan Solo merupakan sungai yang terpanjang di Pulau Jawa yaitu sekitar 600 km dengan luas DAS sekitar 16.100 km<sup>2</sup> atau sekitar 12,3% dari luas Pulau Jawa. Sungai ini mengalir

\* Pusat Data Informasi dan Hubungan Masyarakat  
BNPB  
sutopopn2001@yahoo.com

melintasi Provinsi Jawa Tengah (8 kabupaten, 1 kota) dan Jawa Timur (9 kabupaten, 2 kota) dengan melalui beberapa rangkaian pegunungan seperti: Pegunungan Kapur, Kendeng, Merapi, Merbabu, Lawu dan Wilis. Jumlah penduduk di DAS Bengawan Solo terus bertambah. Pada tahun 1980 sekitar 13,45 juta jiwa, tahun 1990 meningkat menjadi 14,67 juta jiwa, tahun 1998 menjadi 15,37 juta jiwa dan tahun 2005 menjadi 17,5 juta jiwa dengan kepadatan penduduk 1.087 jiwa per km<sup>2</sup>.

Masalah utama dari aspek bencana di DAS Bengawan Solo adalah banjir. Hampir setiap tahun banjir selalu terjadi di daerah-daerah rawan banjir, baik bagian hulu, tengah dan hilir DAS Bengawan Solo. Kawasan hulu DAS Bengawan Solo yang sering mengalami banjir adalah daerah-daerah di sekitar alur sungai karena terkena luapan dari Bengawan Solo.

Berkurang kawasan lindung dan resapan air akibat adanya perubahan penggunaan lahan telah menyebabkan peningkatan debit banjir. Di bagian hulu DAS Bengawan Solo telah berkembang permukiman yang semakin padat penduduknya. Berdasarkan analisis citra Landsat tahun 2001, tutupan lahan di DAS Bengawan Solo didominasi oleh pertanian lahan kering (43,78%), sawah (18,97%), hutan (13,57%), permukiman (10,84%), semak belukar (5,06%), tanah terbuka (4,18%), perkebunan (1,55%) dan tambak/raja (1,49%). Dengan terbatasnya kawasan hutan tersebut menyebabkan curah hujan sebagian besar berubah menjadi limpasan permukaan dan pada akhirnya meningkatkan debit banjir.

Guna mengatasi masalah banjir, maka sesuai Masterplan Pengendalian Banjir Sungai Bengawan Solo dilakukan upaya struktural seperti pembangunan Waduk Wonogiri, pelurusan alur sungai (*short cut*), sudetan, normalisasi, pembangunan tanggul sungai dan sebagainya. Dengan adanya upaya tersebut diharapkan debit sungai dapat mengalir lebih cepat ke arah hilir sehingga genangan dan banjir dapat terataskan. Namun upaya pengendalian banjir tersebut ternyata memberikan dampak banjir bagi kawasan di hilirnya. Penetapan kebijakan pembangunan yang kurang berwawasan lingkungan tersebut

telah menimbulkan masalah baru yaitu meningkatnya banjir pada daerah lain.

## 1.2. Tujuan

Penelitian ini bertujuan mengkaji pengaruh antropogenik terhadap pola kecenderungan debit sungai di hulu DAS Bengawan Solo. Hal ini sangat penting guna mengetahui bagaimana pola kecenderungan waktu jangka panjang yaitu dari tahun-tahun sebelumnya hingga kondisi terakhir.

## 2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di hulu DAS Bengawan Solo dengan menggunakan data sekunder. Jenis data yang dikumpulkan adalah data debit sungai secara jangka panjang yaitu dari tahun 1971 hingga 2001. Mengingat ketersediaan data debit aliran sangat beragam bentuk dan pencatatannya, maka kondisinya disesuaikan dengan yang ada. Bentuk data debit umumnya dalam bentuk aliran (m<sup>3</sup>/detik) atau tinggi muka air (meter) yang selanjutnya perlu dikalikan dengan rating curve untuk memperoleh data debit (m<sup>3</sup>/detik). Format pencatatan umumnya dalam bentuk rata-rata harian, mingguan, dan bulanan.

Data debit yang sudah diperoleh selanjutnya dibakukan dalam satuan m<sup>3</sup>/detik. Oleh karena itu untuk stasiun-stasiun hidrometri yang pengukuran debit dengan hanya mengukur duga muka air maka perlu dihitung dengan rating curve yang ada untuk masing-masing stasiun pengukuran. Data debit yang digunakan adalah data debit rata-rata bulanan yang diperoleh dari data penjumlahan data debit harian.

Analisis kecenderungan debit dilakukan dengan menggunakan analisis statistik yakni metode Mann Kendall. Metode Mann Kendall merupakan salah satu metode statistik non parametrik yang sering digunakan untuk mendeteksi pola kecenderungan (Yue et al., 2002). Untuk mengetahui dampak dari adanya pembangunan terhadap perubahan watak hidrologi maka dilakukan analisis komparatif

terhadap perubahan morfologi alur sungai melalui analisis spasial. Beberapa kebijakan pembangunan dalam penanggulangan banjir disandingkan dengan perubahan watak hidrologi pada kawasan tersebut.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berkembangnya kawasan budidaya di DAS Bengawan Solo tidak terlepas dari suburnya kawasan tersebut. Lembah Bengawan Solo Hulu (6.072 km<sup>2</sup>) dan Kali Madiun (anak sungai dengan luas DAS 3.755 km<sup>2</sup>) merupakan lembah yang sangat luas dan berada di atas dataran alluvial. Bengawan Solo Hilir melintasi bukit-bukit Tertiary dan Kuarter dan rangkaian pegunungan Kendeng. Bukit Tertiary terdiri dari batuan tufa, lanau, lempung dan batugamping Miosen. DAS Secara klimatologis, DAS Bengawan Solo beriklim tropis yang ditandai dengan curah hujan yang tinggi pada musim hujan dan curah hujan rendah pada musim kemarau dengan curah hujan tahunan rata-rata sebesar 2.100 mm. Sekitar 80% curah hujan tahunan terjadi pada bulan November hingga April. Rata-rata evaporasi sekitar 4,3 mm/hari. Secara keruangan curah hujan terkonsentrasi di bagian hulu yaitu di sekitar Gunung Lawu dan Gunung Merapi dengan curah hujan tahunan sekitar 3.000 mm/tahun. Di bagian tengah curah hujan tahunan sekitar 2.000 mm/tahun dan di bagian hilir sekitar 1.500 mm/tahun.

Dengan lahan yang subur tersebut menyebabkan perkembangan kawasan permukiman meningkat dengan cepat. Daerah-daerah di dataran banjir seperti Solo, Madiun, Ngawi, Bojonegoro, Tuban, dan Gresik telah berkembang dengan pesat. Meningkatnya jumlah penduduk pada daerah-daerah tersebut makin meningkatkan tekanan penduduk terhadap lingkungan. Tidak sedikit pula yang bertempat tinggal di dataran banjir, bahkan di bantaran sungai.

Daerah hulu dengan topografi perbukitan dan pegunungan dimanfaatkan untuk budidaya lahan pertanian dan permukiman. Pemanfaatan

pertanian di lereng-lereng pegunungan dilakukan tanpa diikuti oleh kaidah konservasi tanah dan air dengan baik (Gambar 1 dan 2). Akibatnya erosi meningkat dan menyebabkan kawasan tersebut rawan terhadap longsor.



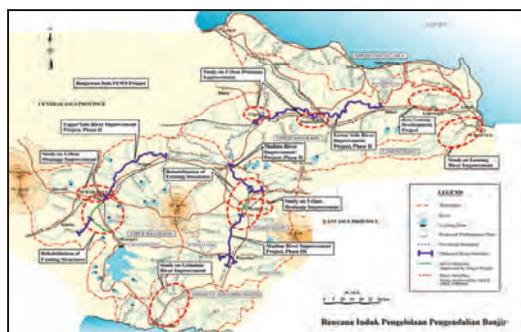
Gambar 1. Pertanian lahan kering yang dibudidayakan di lereng-lereng pegunungan



Gambar 2. Budidaya pertanian lahan kering yang tidak diikuti konservasi tanah dan air

Rusaknya kawasan resapan air dan makin terdegradasinya DAS menyebabkan banjir semakin meningkat. Untuk mengendalikan banjir yang ada maka telah banyak dilakukan upaya pengendalian banjir, baik struktural maupun non struktural. Dalam rencana induk pengendalian banjir Bengawan Solo telah ditetapkan berbagai rencana penanggulangan banjir, seperti pembangunan bendungan, bendung, normalisasi sungai, sudetan, pembangunan tanggul sungai dan sebagainya (Gambar 3).

Sesuai dengan Masterplan Pengendalian Banjir Bengawan Solo, maka telah banyak dilakukan upaya pengendalian banjir, baik di kawasan hulu maupun di bagian hilir sungai. Pembangunan tanggul sungai sudah dilakukan dari hulu hingga hilir dengan panjang keseluruhan mencapai 289 km (Tabel 1). Tidak seluruh bantaran sungai di tanggul di sepanjang Bengawan Solo, namun pada daerah-daerah yang memiliki rawan banjir. Selain itu untuk mengendalikan banjir telah dibangun Waduk Wonogiri. Waduk Wonogiri merupakan bendungan terbesar di DAS Bengawan Solo dengan kapasitas tampung  $730 \times 10^6 \text{ m}^3$  yang selesai dibangun pada tahun 1981. Waduk tersebut berfungsi sebagai suplesi air irigasi untuk 23.200 ha, PLTA 12,4 MW dan pengendali banjir dengan kemampuan mampu mereduksi debit banjir dari 4.000 m<sup>3</sup>/detik menjadi 400 m<sup>3</sup>/detik. Upaya lain adalah normalisasi alur sungai Bengawan Solo. Pada periode antara 1994-1996 dibangun sudetan sungai sepanjang 10,6 km, normalisasi sungai 24,2 km dan pembangunan tanggul 24,2 km yang meliputi Kabupaten Sukoharjo, Klaten dan Kota Solo.



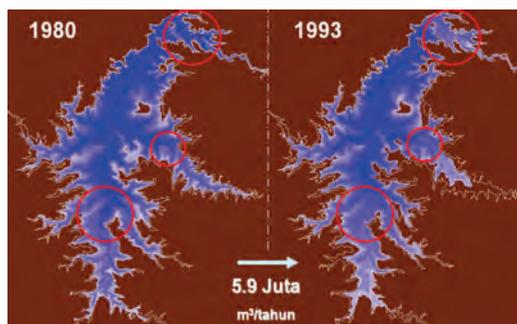
Gambar 3. Masterplan pengendalian banjir Bengawan Solo (Sumber: PJT I)

No	Sungai	Panjang Sungai (km)	Panjang Tanggul (km)		
			Kiri	Kanan	Jumlah
1	Bengawan Solo hulu	200	20	19	39
2	Bengawan Solo hilir	299	99	109	208
3	Kali Madiun	78	21	21	42

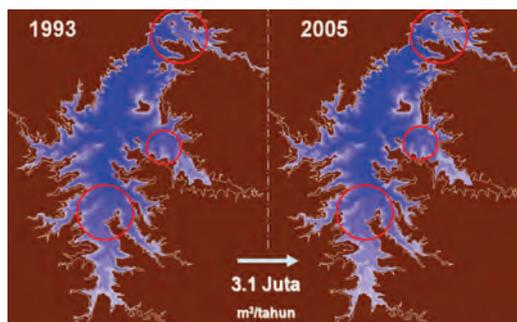
Tabel 1. Panjang tanggul yang telah dibangun di Bengawan Solo

Dalam perkembangannya fungsi Waduk Wonogiri tersebut telah berkurang sangat besar.

Intensifnya penggunaan lahan di hulu Bengawan Solo telah menimbulkan erosi yang sangat besar. Lahan pertanian banyak diusahakan di daerah pegunungan hingga lereng yang cukup terjal. Kondisi demikian menyebabkan tingkat erosi tanah, khususnya di bagian hulu cukup besar. Erosi tanah di DAS Bengawan Solo Hulu mencapai 3,18 mm/tahun dan sedimen lapang mencapai 250 – 1000 ton/ha/tahun. Berdasarkan data sounding, sedimentasi di Bendungan Wonogiri mencapai 5,9 juta m<sup>3</sup>/tahun antara tahun 1980-1993 (Gambar 4). Sedangkan antara tahun 1993 – 2005 sedimentasi mencapai sekitar 3,1 juta m<sup>3</sup>/tahun atau 3.192.000 ton/tahun (Gambar 5) (JICA, 2006).



Gambar 4. Laju sedimentasi sebesar 5,9 juta m<sup>3</sup>/tahun di Waduk Wonogiri pada periode 1980 – 1993 (Sumber: JICA, 2006)



Gambar 5. Laju sedimentasi sebesar 3,1 juta m<sup>3</sup>/tahun di Waduk Wonogiri pada periode 1993 – 2005 (Sumber: JICA, 2006)

Besarnya tingkat sedimentasi tersebut menyebabkan kapasitas bendungan berkurang. Dengan berkurangnya kemampuan menampung volume tersebut maka kemampuan pengendalian banjir berkurang, khususnya pada saat puncak

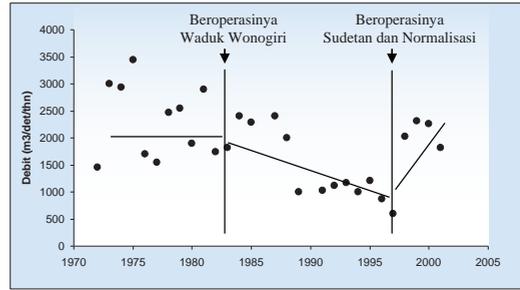
musim penghujan dimana kondisi duga muka air permukaan di bendungan telah limpas. Perbedaan antara kondisi Bendungan Wonogiri saat musim penghujan dan kemarau disajikan pada Gambar 6.

Upaya-upaya pengendalian banjir tersebut ternyata telah memberikan dampak pada perubahan kecenderungan debit sungai. Pada periode 1972-1981 yaitu sebelum beroperasinya Waduk Wonogiri pola kecenderungan debit sungai Bengawan Solo di stasiun Kauman relatif tetap. Namun dengan mulai beroperasinya waduk Wonogiri dengan daya tampung  $730 \times 106 \text{ m}^3$  pada akhir 1981, telah menyebabkan pola kecenderungan debit sungai Bengawan Solo menurun secara signifikan hingga tahun 1996 (Gambar 7). Menurunnya debit sungai tersebut karena sangat dipengaruhi oleh beroperasinya waduk Wonogiri yang memiliki fungsi utama sebagai pengendali banjir daerah di bagian hilir. Kemampuan waduk tersebut adalah mampu menurunkan debit puncak banjir dari 4.000  $\text{m}^3/\text{detik}$  menjadi 400  $\text{m}^3/\text{detik}$  sehingga debit sungai dapat dikendalikan baik pada saat musim penghujan maupun kemarau.



Gambar 6. Perbandingan kondisi air pada Waduk Wonogiri saat musim penghujan dan kemarau

Sesuai dengan Rencana Induk Pengendalian Banjir Sungai Bengawan Solo, maka pada periode antara 1994-1996 dibangun sudetan sungai sepanjang 10,6 km, normalisasi sungai 24,2 km dan pembangunan tanggul 24,2 km yang meliputi



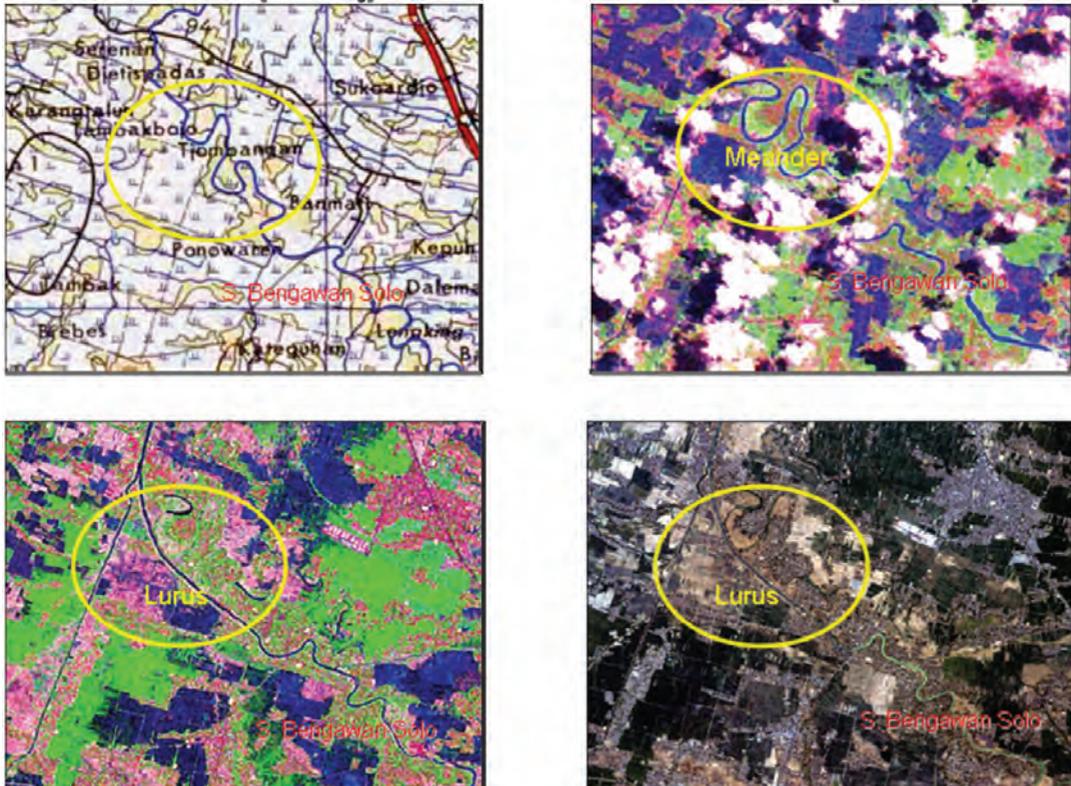
Gambar 7. Perubahan pola kecenderungan debit sungai sebelum (1972-1981) dan sesudah (1982-1996) beroperasinya waduk Wonogiri, serta pengaruh pembangunan sudetan dan normalisasi sungai Bengawan Solo (1997-2001) distasiun Kauman.

Kabupaten Sukoharjo, Klaten dan Kota Solo. Tujuan utama dari pembangunan infrastruktur sungai tersebut adalah mengendalikan banjir pada daerah-daerah tersebut sehingga meander sungai menjadi lurus dan kemampuan pengatusan debit sungai dapat berlangsung dengan lebih cepat. Dengan hilangnya meander dan palung sungai lurus maka debit sungai meningkat lebih besar. Perubahan kenaikan sungai tersebut terlihat dari data debit tahun 1997-2001 yang menunjukkan pola kecenderungan naik. Kecilnya debit sungai pada tahun 1997 disebabkan oleh pengaruh El Nino yang menyebabkan berkurangnya curah hujan pada saat itu. Namun setelah luruhnya pengaruh El Nino dan curah hujan normal, debit sungai di stasiun Kauman menunjukkan pola kecenderungan kenaikan yang sangat besar. Perubahan bentuk morfologi sungai Bengawan Solo di bagian hulu tersebut disajikan pada Gambar 8.

Dibandingkan dengan sungai-sungai lain maka perubahan pola kecenderungan debit sungai sangat bervariasi. Saat ini sebagian besar sungai-sungai di dunia mengalami kecenderungan yang menurun. Berdasarkan hasil analisis kecenderungan debit sungai, baik di bagian hulu, tengah dan hilir dari delapan sungai utama di Jawa, terlihat semua sungai di Jawa mempunyai kecenderungan turun. Artinya debit sungai semakin mengecil dan

kecenderungannya semakin meningkat. Semakin ke arah hilir maka kecenderungan penurunan debit semakin besar (Nugroho, 2010). Fenomena penurunan debit sungai tersebut, juga terjadi di sungai-sungai lain di dunia, seperti 42 sungai di Kanada.

air dari waduk-waduk besar di bagian hulu ternyata juga memberikan pengaruh terhadap pola kecenderungan debit sungai (Humborg et al., 1997; Admiral et al., 1990; Bennekot et al., 1981; Conley et al., 1993; Hastenrath et al., 1999; Nilsson et al., 2005; Shiklomanov, 1997).



Gambar 8. Perbandingan morfologi alur sungai Bengawan Solo dari tahun 1945 hingga 2007

Dengan menggunakan metode Mann-Kendall, sungai-sungai tersebut juga mengalami kecenderungan penurunan debit  $-2,3 \text{ km}^3/\text{tahun}$  untuk periode pengamatan selama 37 tahun dengan tingkat signifikansi  $\alpha = 0,05$  dan nilai  $Z > 2,576$  (Dery et al., 2005). Zhang et al., (2001) dan Whitfield dan Cannon (2000) juga meneliti sungai-sungai di Kanada dengan 243 stasiun tahun 1967-1996 dan 650 sungai untuk periode 1976-1995 menunjukkan sebagian besar debit sungai mengalami kecenderungan penurunan. Seperti halnya hasil penelitian di beberapa sungai di dunia, pengaruh dari adanya pengaturan tata

Pengaruh perubahan pola kecenderungan debit akibat pembangunan waduk dan pembangunan infrastruktur badan sungai terlihat secara nyata di hulu sungai Bengawan Solo yaitu di stasiun Kauman yang mewakili luas DAS sekitar  $5.196 \text{ km}^2$  dari stasiun tersebut.

Pengaruh antropogenik, khususnya perubahan penggunaan lahan dan biogeofisik DAS kontribusinya terhadap perubahan pola kecenderungan debit lebih besar daripada pengaruh perubahan iklim global. Chiew dan McMahon (1996) telah melakukan pengujian statistik terhadap data historis debit puncak

dan volume aliran dari 142 sungai di dunia dengan panjang data 50 sampai 162 tahun dan luas DAS 1000 sampai 8 juta km<sup>2</sup>, dan sampai pada kesimpulan bahwa walau didapatkan adanya pola kecenderungan dan perubahan nyata pada sejumlah lokasi, namun tidak diperoleh konsistensi untuk seluruh wilayah. Disimpulkan bahwa dari data debit puncak dan volume aliran sungai tersebut tidak dapat dibuktikan adanya pola kecenderungan akibat telah terjadinya perubahan iklim global. Dalam sejumlah kasus di mana pola kecenderungan terjadi, diyakini karena telah terjadinya perubahan kondisi biofisik DAS, dan hal ini menunjukkan adanya ketidakpastian ketersediaan air wilayah di masa depan dalam kaitannya dengan perubahan iklim global.

#### 4. KESIMPULAN

Faktor antropogenik, khususnya penggunaan lahan dan pembangunan yang berpengaruh terhadap morfologi alur sungai sangat berpengaruh terhadap banjir di Bengawan Solo. Selain itu, faktor perubahan pola curah hujan juga makin meningkatkan terjadinya banjir. Faktor yang paling dominan dari perubahan kecenderungan debit sungai di hulu Bengawan Solo adalah operasional Waduk Wonogiri dan perubahan morfologi alur sungai. Sedimentasi yang besar pada Waduk Wonogiri telah mengurangi kemampuan waduk tersebut dalam mengendalikan banjir di bagian hilirnya sehingga pada saat puncak musim penghujan, banjir sulit dikendalikan. Sedangkan pembangunan normalisasi sungai yang semula dimaksudkan untuk mengurangi banjir pada daerah rawan banjir di sepanjang sungai tersebut, ternyata telah merubah pola debit sungai.

Upaya pengendalian banjir dengan melakukan pelurusan dan normalisasi sungai di bagian hulu terbukti telah menimbulkan masalah baru pada bagian hilir. Perubahan morfologi sungai menyebabkan debit sungai

menjadi lebih besar. Halusnya penampang basah sungai dan lurusnya alur sungai mengakibatkan kecepatan aliran sungai menjadi lebih besar sehingga debit membesar. Oleh karena itu model pembangunan sungai seperti yang terjadi di hulu Bengawan Solo hendaknya menjadi pembelajaran yang penting, khususnya pengendalian banjir di bagian hulu sungai.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Admiraal, W., Breugem, P., Jacobs, D., Stevenick, D.R., (1990) *Fixation of Dissolved Silicate and Sedimentation of Biogenic Silicate in the Lower River During Diatom Blooms*. Biogeochemistry 9. 175-185.
- Bennekom, A.J., and Salomons, W. in *River Inputs to the Ocean Systems* (eds Martin, J.M., Burton, J.D., Eisma). 33-51 (UNEP, IOC, SCOR, United Nations, New York, 1981).
- Conley, D.J., Schelske, C.L., Stoermer, E.F. (1993) *Modification of the Biogeochemical Cycle of Silica with Eutrophication*. Marine Ecology Progress Series 101:179-192.
- Dery, S.J., Stieglitz, M., McKenna, Wood, E.F. (2005) *Characteristics and Trends of River Discharge to Hudson, James, and Ungava Bays, 1964-2000*. J. Climate, Vo. 18. 2540-2557.
- Hastenrath, S., Greischar, L., Colon, E., Gil, A. (1999) *Forecasting the Anomalous Discharge of the Caroni River, Venezuela*. Journal of Climate. Vol.12, 2673-2678.
- Humborg, C., Ittekkot, V., Cociasu, A., Bodongen, B.V. (1997) *Effect of Danube River Dam on Black Sea Biogeochemistry and Ecosystem Structure*. Nature. Vol. 386, 385-388.
- JICA, (1998). *The Study on Comprehensive Management Plan for the Water Resources of the Brantas River Basin in the Republic of Indonesia*. DGWRD, Ministry of Public Works, Indonesia.

- Nillson, C., Reidy, C.A., Dynesius, M., Revenga, C. (2005) *Fragmentation and Flow Regulation of the World's Large River Systems*. Science Vo. 308. 405-408.
- Nugroho, S.P. (2010) Karakteristik Fluks Karbon dan Kesehatan DAS dari Aliran Sungai-Sungai Utama di Jawa. Disertasi Doktorat. IPB. Bogor.
- 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.
- Shiklomanov, A. (1997) *Comprehensif Assessment of the Freshwater Resources of the World: Assessment of Water Resources and Water Availability in the World*. World Meteorological Organization and Stockhloim Environment Institute. Stockhloim.
- Whitfield, P.H. and Cannon, A.J. (2000) *Recent Variations in Climate and Hydrology in Canada*. Can. Water Resour. J., 25. 16-25.
- Yue, S., Pilom, P. and Cavadias, G. (2002) *Power of the Mann-Kendall and Spearman's rho tests for Detecting Monotonic Trends in Hydrological Series*. J. Hydrol., 259, 254-271.
- Zhang, X., Harvey, K.D. Hogg, W.D. and Yuzyk, E.F. (2001) *Trends in Canadian Streamflow*. Water Resources Res., 37. 987-998.