

# ANALISIS INDEKS *BASEFLOW* DAERAH ALIRAN SUNGAI BENGAWAN SOLO

SITI ANNISA'



DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
2012

Halaman ini adalah...  
1. Diambil sebagai...  
2. Diambil sebagai...  
3. Diambil sebagai...  
4. Diambil sebagai...  
5. Diambil sebagai...  
6. Diambil sebagai...  
7. Diambil sebagai...  
8. Diambil sebagai...  
9. Diambil sebagai...  
10. Diambil sebagai...

## ABSTRACT

SITI ANNISA'. Analysis of Baseflow Index of Bengawan Solo Watershed. Under Direction of MUH. TAUFIK.

---

Study about baseflow characteristics in Java Island remains research challenge especially to correlate biophysical characteristics of watershed with long term streamflow observation. This study aimed to know baseflow characteristic of Bengawan Solo watershed which physically grouped as one of critical watersheds in Java Island. We analysed daily streamflow data 1980-2010 to calculate baseflow index (BFI) based on smoothed minima method. We compared non-overlapping 3 days, 5 days, and 7 days of streamflow to calculate BFI. The results showed that higher N days would generate lower BFI. Lower BFI meant less baseflow contributing on streamflow. We found that average BFI3d, BFI5d and BFI7d in period 1980-2010 were 0.67, 0.56 and 0.49. It showed that Bengawan Solo watershed has permeability of fissure with low storage. We also found that trend BFI, BFa, and Qann rise significantly ( $\alpha = 5\%$ ) in period 1998-2010, while annual precipitation indicated negatif trend.

**Keywords:** Baseflow Index (BFI), Baseflow separation, Smoothed minima method, Bengawan Solo Watershed, Mann-Kendall Test

### ABSTRAK

SITI ANNISA'. Analisis Indeks *Baseflow* Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo. Dibimbing oleh MUH. TAUFIK.

Penelitian mengenai karakteristik *baseflow* di Pulau Jawa merupakan tantangan khususnya untuk menghubungkan karakter fisik Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan data debit jangka panjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *baseflow* DAS Bengawan Solo yang menjadi salah satu DAS kritis di Pulau Jawa. Data debit harian periode tahun 1980-2010 digunakan untuk estimasi nilai BFI (*Baseflow Index*). Penghitungan BFI dilakukan dengan metode *smoothed minima*. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan debit 3 harian, 5 harian dan 7 harian *non-overlapping* untuk menghitung nilai BFI. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin tinggi N hari yang digunakan untuk penentuan nilai BFI, maka semakin kecil nilai BFI yang diperoleh. Nilai BFI yang kecil menunjukkan kontribusi *baseflow* yang kecil untuk aliran debit sungai. Rata-rata nilai BFI3d, BFI5d dan BFI7d selama periode tahun 1980-2010 yaitu sebesar 0.67, 0.56, dan 0.49. Nilai ini menunjukkan bahwa DAS Bengawan Solo memiliki karakteristik permeabilitas *fissure* dengan penyimpanan (*storage*) rendah. Tren BFI, BFa, dan Qann mengalami kenaikan secara signifikan ( $\alpha = 5\%$ ) pada periode tahun 1998-2010, sedangkan curah hujan tahunan mengalami penurunan secara signifikan.

Kata kunci: Indeks *Baseflow* (BFI), Pemisahan *Baseflow*, Metode *Smoothed Minima*, DAS Bengawan Solo, Uji Mann-Kendall

Halaman ini adalah hak cipta milik IPB University. Untuk informasi lebih lanjut, silakan kunjungi website kami di [www.ipb.ac.id](http://www.ipb.ac.id).  
1. Dilindungi oleh undang-undang hak cipta.  
2. Dilarang mengutip, menyalin, atau menyebarkan isi dari dokumen ini tanpa izin tertulis dari IPB University.  
3. Diperoleh dengan cara legal dari sumber yang sah.  
4. Pengutipan harus mencantumkan sumber, nama penulis, dan tahun terbit.  
5. Tidak diperbolehkan untuk menjual, menyewakan, atau meminjamkan dokumen ini kepada pihak lain.  
6. Penggunaan dokumen ini untuk tujuan komersial tanpa izin tertulis dari IPB University.  
7. Dokumen ini adalah milik IPB University dan tidak boleh disebarkan atau dipublikasikan kembali tanpa izin tertulis dari IPB University.



© Hak Cipta milik IPB, tahun 2012  
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

*Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah; dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB*

*Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB*

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang  
1. Dilindungi sebagai hak cipta seluruh karya tulis yang merupakan ciptaan dan merupakan bentuk:  
a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah  
b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University  
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University

# ANALISIS INDEKS *BASEFLOW* DAERAH ALIRAN SUNGAI BENGAWAN SOLO

SITI ANNISA'

Skripsi  
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Sains pada  
Departemen Geofisika dan Meteorologi

DEPARTEMEN GEOFISIKA DAN METEOROLOGI  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
2012

Hak Cipta Pendaftar: Universitas  
1. Dilindungi sebagai bagian dari koleksi karya seni dan sastra  
2. Pengutipan harus mencantumkan sumber  
3. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
4. Pengutipan tidak mengaitkan tanggung jawab dengan IPB University  
5. Dilarang memperjualbelikan dan menyalahgunakan sebagian atau seluruh karya seni dan sastra tanpa izin dari pendaftar

Judul Skripsi : Analisis Indeks *Baseflow* Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo  
Nama : Siti Annisa'  
NRP : G24080059

Menyetujui,  
Pembimbing Skripsi

**Muh. Taufik, S.Si, M.Si**  
NIP 19810303 200701 1 001

Mengetahui,  
Ketua Departemen Geofisika dan Meteorologi

**Dr. Ir. Rini Hidayati, MS**  
NIP 19600305 198703 2 002

Tanggal Lulus:

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirobbil'alamin penulis ucapkan atas segala kemudahan yang diberikan Allah SWT dalam penyelesaian penulisan tugas akhir yang berjudul "Analisis Indeks *Baseflow* Daerah Aliran Sungai Bengawan Solo". Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat lulus dari Departemen Geofisika dan Meteorologi FMIPA IPB.

Tugas akhir ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ungkapan terima kasih patut penulis sampaikan kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan karya ilmiah ini yaitu:

1. Kedua orang tua tercinta atas kesabaran dalam mendengar keluh kesah putrimu ini dan atas dukungan selama ini. Adikku Ela, Zaki, Ismail, nenekku tercinta dan seluruh keluarga besar atas doanya selama ini.
2. Bapak Muh. Taufik, S.Si, M.Si selaku pembimbing utama atas bimbingan, arahan, dan nasihat selama penulis melakukan penelitian.
3. Ibu Ana Turyanti, S.Si, M.T selaku pembimbing akademik atas bimbingan, arahan, dan nasihat selama penulis menjalani perkuliahan di GFM.
4. Bapak Ir. Bregas Budianto, Ass.Dipl dan Bapak Drs. Bambang Dwi Dasanto, M.Si selaku dosen penguji sidang atas bimbingan, arahan, dan nasihat untuk penulisan skripsi ini.
5. Puslitbang (Pusat Penelitian dan Pengembangan) Sumber Daya Air Bandung atas bantuan pemberian data.
6. Para sahabat dan teman-teman di GFM 45 dan Lab. Hidrometeorologi, Nadita, Putri, Dila, Dora, Fitra, Usel, Aila, Ketty, Maria, Ria, Mela, Pungki, Firman, Tiska, Ferdi, Fey, Diah, Aul, Ratdil, Nia, Fatchah, Mirna, Icha, Farah, Fida, Dody, Nae, Iput, Faiz, Yudha, Yoga, Fela, Hanifah, Taufik dan teman-teman lain yang tidak dapat disebut satu persatu. Terima kasih atas kebersamaan dan persahabatan dalam suka duka selama masa kuliah dan penulisan tugas akhir.
7. Para sahabat dan teman-teman di CSS MoRA IPB khususnya untuk angkatan 45 atas kebersamaan, kekeluargaan dan persahabatan dalam suka duka selama di IPB.
8. Teman satu kontrakan, Lufi, Iin, Echa, Uun, Riri, Isma, Nisa dan Miya.
9. Teman satu kamar di asrama Rusunawa TPB nomor 520 Liza, Vita, Ranti dan juga teman terkasih Tiara yang selalu mendukung dan menemani penulis semasa TPB.
10. Teman semasa MA Tiwi, Muhim, Ali, Bidin, Ova, Diah, Rikza, Herman dan seluruh staf guru di MA Hasyim Asy'ari terutama Ibu Hindun dan Pak Jazuli terima kasih atas doa dan dukungannya selama ini.
11. Seluruh staf pengajar GFM atas ilmu, pengalaman, dan pengetahuan yang diberikan selama perkuliahan.
12. Seluruh staf TU GFM atas kemudahan dalam administrasi.
13. Semua pihak yang telah banyak membantu penyelesaian tugas akhir ini yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa karya ilmiah ini masih jauh dari kesempurnaan. Semoga karya ilmiah yang disusun pada masa yang akan datang jauh lebih sempurna dari karya ilmiah yang penulis susun. Penulis juga berharap semoga karya ilmiah ini dapat bermanfaat bagi seluruh pembaca dan khususnya untuk penulis sendiri.

Bogor, Juli 2012

Siti Annisa'





## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
DAFTAR TABEL .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
<b>I. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	1
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>1</b>
2.1 Wilayah Sungai Bengawan Solo .....	1
2.2 <i>Baseflow</i> .....	2
2.2.1 Pemisahan <i>Baseflow</i> .....	2
2.2.2 Metode <i>Smoothed Minima</i> .....	3
2.2.3 Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap <i>Baseflow</i> .....	3
2.3 Indeks <i>Baseflow</i> .....	4
2.4 Analisis Tren dengan Uji Mann-Kendall.....	5
<b>III. METODOLOGI .....</b>	<b>5</b>
3.1 Waktu dan Tempat.....	5
3.2 Bahan dan alat .....	5
3.3 Metode Penelitian .....	5
3.3.1 Penghitungan Nilai <i>Baseflow Index (BFI)</i> .....	5
3.3.2 Analisis Tren.....	6
<b>IV. HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>7</b>
4.1 DAS Bengawan Solo .....	7
4.2 Analisis <i>Baseflow Index (BFI)</i> DAS Bengawan Solo.....	7
4.3 Analisis Tren .....	9
<b>V. KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>12</b>
5.1 Kesimpulan .....	12
5.2 Saran .....	12
DAFTAR PUSTAKA .....	12
LAMPIRAN.....	14

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
1 Nilai BFI berdasarkan jenis batuan.....	4
2 Prediktor hidroklimat yang digunakan untuk analisis tren.....	6
3 Tren prediktor hidroklimat DAS Bengawan Solo periode tahun 1980-2010, 1980-1998, dan 1998-2010 pada $\alpha = 5\%$ .....	9

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
1	Peta DAS Bengawan Solo .....2
2	Sungai dengan jenis aliran <i>influent</i> (a) dan aliran <i>effluent</i> (b) .....4
3	Rata-rata debit bulanan (●) dan curah hujan bulanan (□) tahun 1980-2006 Stasiun Babat DAS Bengawan Solo ..... 7
4	Nilai BFI3d (●), BFI5d (■), BFI7d (▲) DAS Bengawan Solo pada periode tahun 1980 sampai 2010 ..... 8
5	Nilai BFa3 (a), BFa5 (b), BFa7 (c) dan Qann (d) pada periode tahun 1998-2010 ..... 10
6	Nilai BFI DAS Bengawan Solo pada berbagai N <i>non-overlapping</i> : (a) BFI3d periode 1980-1998, (b) BFI3d periode 1998-2010, (c) BFI5d periode 1980-1998, (d) BFI5d periode 1998-2010, (e) BFI7d periode 1980-1998, (f) BFI7d periode 1998-2010 ..... 11

## DAFTAR LAMPIRAN

	<b>Halaman</b>
1	Nilai <i>baseflow</i> 3 harian (BF3), 5 harian (BF5), dan 7 harian (BF7) periode tahun 1980-2010 Stasiun Babat DAS Bengawan Solo ..... 15
2	Contoh penghitungan BFI3d (a), BFI5d (b), dan BFI7d (c) ..... 16
3	Nilai $V_A$ , $V_B$ dan BFI dari debit 3 harian, 5 harian dan 7 harian Stasiun Babat DAS Bengawan Solo periode tahun 1980-2010 ..... 17
4	Contoh hasil analisis tren prediktor hidroklimat Stasiun Babat DAS Bengawan Solo periode tahun 1980-2010, 1980-1998, dan 1998-2010 pada $\alpha = 5\%$ ..... 18

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Air sungai merupakan salah satu bentuk air permukaan yang sering dimanfaatkan oleh masyarakat, baik untuk kepentingan sosial maupun ekonomi. Pulau Jawa sebagai pulau dengan kepadatan penduduk yang tinggi memerlukan sumber daya air yang tinggi juga. Hasil sensus tahun 2010 populasi penduduk Pulau Jawa telah mencapai 136.6 juta (BPS 2010). Namun hal ini tidak didukung dengan kondisi sumber daya air di Pulau Jawa. Sekitar 16 Daerah Aliran Sungai (DAS) utama di pulau Jawa berada dalam kondisi sangat kritis. Hal ini terlihat dari semakin banyak DAS yang memiliki persentase lahan hutan kurang dari 30% luas DAS sesuai dengan yang dipersyaratkan dalam Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan Ruang (Mawardi 2010). Salah satu DAS yang mengalami kondisi ini adalah DAS Bengawan Solo (Mawardi 2008; Mawardi 2010). Indikator lain yang dapat digunakan untuk menilai kekritisan DAS adalah karakteristik debit sungai.

Salah satu analisis karakteristik debit sungai yang dianalisis secara statistik adalah analisis tren debit seperti yang dilakukan oleh Nugroho (2009). Hasil kajian Nugroho (2009) menunjukkan bahwa tren debit sungai-sungai bagian hulu di Pulau Jawa mengalami penurunan secara signifikan pada  $\alpha$  (tingkat kesalahan) sebesar 0.1%, 1%, 5%, dan 10%. Temuan ini juga mengindikasikan bahwa *baseflow* dari sungai-sungai kajian yaitu DAS Ciujung (1986-2001), Cisadane (1976-2001), Citarum (1969-2001), Cimanuk (1974-2001), Citanduy (1973-2001), Serayu (1977-2001), Bengawan Solo (1971-2003) dan Brantas (1974-2005) telah mengalami penurunan. Namun demikian belum ada penelitian mengenai karakteristik *baseflow* di sungai-sungai tersebut terutama untuk DAS Bengawan Solo.

Karakteristik *baseflow* dapat ditunjukkan dengan nilai indeks *baseflow* (BFI). Nilai BFI merupakan rasio antara volume *baseflow* dan *streamflow* (Smakhtin 2001). Prosedur penentuan BFI dalam penelitian ini mengacu pada *Institute of Hydrology* (1980) yang menggunakan durasi 5 harian dalam prosedur penentuan BFI. Pada penelitian ini dilakukan perbandingan antara BFI dari debit 3 harian, 5 harian dan 7 harian *non-overlapping* pada Stasiun duga air Babat DAS Bengawan Solo. Selain itu, penelitian

ini juga menganalisis tren BFI periode tahun 1980-2010, 1980-1998, dan 1998-2010. Analisis tren BFI dilakukan sebelum dan setelah tahun 1998, karena pada tahun 1998-2005 luas hutan di wilayah sungai DAS Bengawan Solo telah mengalami penurunan dari 23% pada tahun 1998 menjadi 18% pada tahun 2005 yang disebabkan oleh penebangan liar dan konversi lahan (Sutadi 2008). Selain analisis tren BFI, juga dilakukan analisis tren *baseflow* tahunan, curah hujan tahunan dan debit tahunan DAS Bengawan Solo. Hasil pengolahan BFI dan tren diharapkan dapat dijadikan acuan untuk perkembangan pengelolaan DAS Bengawan Solo.

### 1.2 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menentukan BFI DAS Bengawan Solo selama periode tahun 1980-2010.
2. Menentukan BFI DAS Bengawan Solo terbaik dari BFI 3 harian, BFI 5 harian dan BFI 7 harian.
3. Menentukan dan membandingkan tren BFI periode tahun 1980-2010, 1980-1998 dan 1998-2010.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

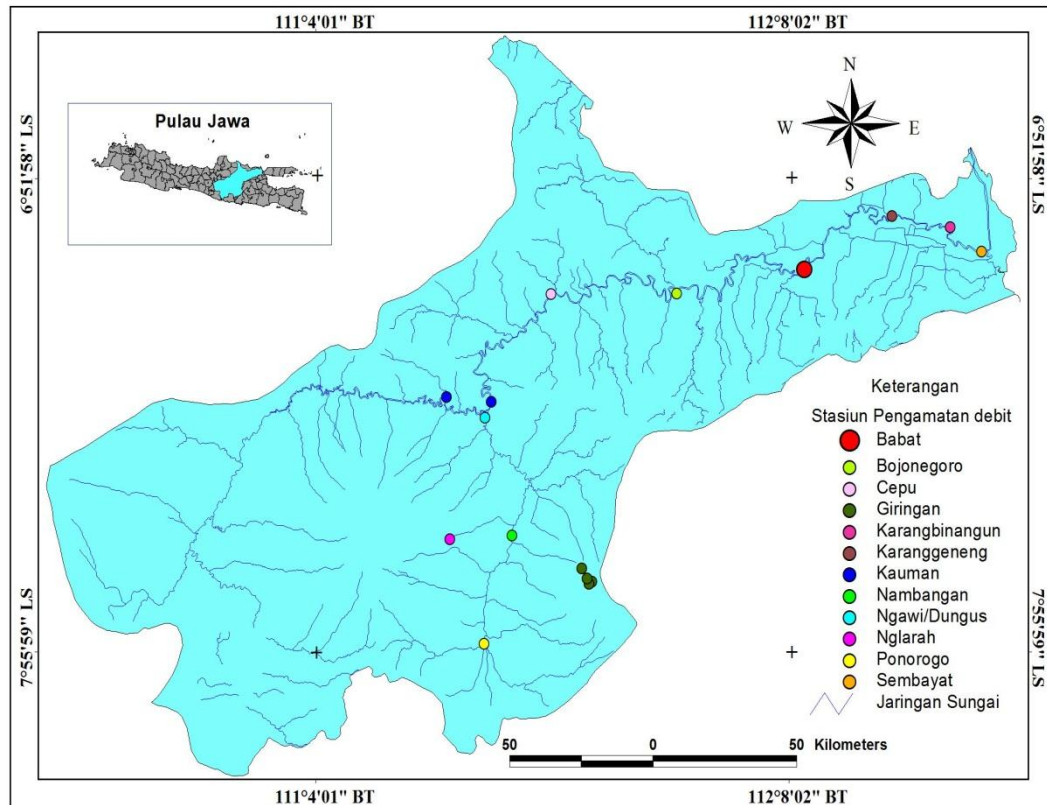
### 2.1 Wilayah Sungai Bengawan Solo

Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terbesar di Pulau Jawa, terletak di Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur dengan luas wilayah sungai  $\pm 12\%$  dari seluruh wilayah Pulau Jawa. Secara geografis, wilayah sungai (WS) Bengawan Solo terletak antara  $6^{\circ}49' - 8^{\circ}07' \text{ LS}$  dan  $110^{\circ}18' - 112^{\circ}45' \text{ BT}$ . WS Bengawan Solo memiliki luas  $\pm 19\,778 \text{ km}^2$  yang terdiri atas empat DAS, yaitu DAS Bengawan Solo (Gambar 1), DAS Kali Grindulu dan Kali Lorog di Pacitan, DAS kecil di kawasan pantai utara dan DAS Kali Lamong (Sutadi 2008). DAS Bengawan Solo merupakan DAS terluas di WS Bengawan Solo dengan luas  $\pm 16\,100 \text{ km}^2$  dan terdiri atas tiga wilayah sub-DAS yaitu sub-DAS Bengawan Solo Hulu dengan luas  $\pm 6\,072 \text{ km}^2$ , sub-DAS Kali Madiun dengan luas  $\pm 3\,755 \text{ km}^2$ , dan sub-DAS Bengawan Solo Hilir dengan luas  $\pm 6\,273 \text{ km}^2$  (Sutadi 2008).

Luas hutan di WS DAS Bengawan Solo mengalami penurunan dari 23% pada tahun 1998 menjadi 18% pada tahun 2005 akibat penebangan liar dan konversi hutan. Pada tahun 2008 DAS Bengawan Solo hanya memiliki luas lahan hutan sebesar 3%

(Mawardi 2010). Masih pada tahun yang sama, luas lahan kritis akibat proses erosi yang berlanjut dan kerusakan vegetasi di WS Bengawan Solo mulai dari kategori potensial kritis sampai sangat kritis mencapai  $\pm 11\,398$

km<sup>2</sup>. Luas lahan kritis terbesar terdapat di Kabupaten Wonogiri seluas 128 662 ha, Kabupaten Pacitan seluas 129 598 ha dan Kabupaten Bojonegoro seluas 172 261 ha (Sutadi 2008).



Gambar 1 Peta DAS Bengawan Solo.

## 2.2 Baseflow

*Baseflow* didefinisikan sebagai aliran yang berasal dari *groundwater*. *Baseflow* menjadi salah satu hal terpenting dalam studi *low flow hydrology* terutama dalam karakteristik DAS. Karakteristik *baseflow* pada suatu DAS perlu diketahui untuk beberapa kepentingan yaitu untuk pengembangan strategi manajemen air khususnya pada kondisi kekeringan, mengetahui hubungan antara organisme akuatik dengan lingkungannya, estimasi besar kecilnya suplai air, manajemen salinitas, kualitas air dan *bloom* alga (Santhi *et al.* 2008).

Nilai *baseflow* dari suatu DAS ditentukan dengan teknik pemisahan *baseflow* dari hidrograf debit aliran total. Terdapat berbagai cara yang bisa digunakan dalam pemisahan *baseflow* salah satunya adalah metode *smoothed minima* (Institute of Hydrology 1980; Wahl dan Wahl 1995) dan metode *recursive digital filter* (Smakhtin 2001; Chapman 1999).

### 2.2.1 Pemisahan Baseflow

*Baseflow* merupakan komponen dari aliran debit yang berkontribusi besar pada saat musim kemarau. Stewart *et al.* (2007) mengatakan bahwa penentuan *baseflow* diperlukan untuk memahami neraca hidrologi dari suatu DAS. Piggott *et al.* (2005) menambahkan bahwa *baseflow* menjadi informasi penting dalam analisa kuantitas dan kualitas air, dan habitat akuatik. Selain itu, hubungan *baseflow* terhadap debit *groundwater* juga memberikan informasi penting mengenai kondisi *groundwater* pada skala regional. Karena peran penting *baseflow* ini, banyak metode yang dikembangkan untuk pemisahan *baseflow*. Stewart *et al.* (2007) membagi metode pemisahan *baseflow* ke dalam tiga kategori yaitu metode *recession curve*, *low-pass filter*, dan *mass-balance*.

Metode pertama adalah metode *recession curve* yang didasarkan pada solusi satu dimensi untuk persamaan aliran



*groundwater* yang dikembangkan oleh Boussinesq (Halford dan Mayer 2000; Stewart *et al.* 2007). Metode ini menggunakan kemiringan dari penurunan hidrograf untuk menentukan konstanta resesi sebagai salah satu bagian dari sistem *groundwater* yang menyumbang *baseflow* ke aliran debit (Stewart *et al.* 2007).

Metode kedua adalah *low-pass filter* yang menggunakan waktu penghentian limpasan sebagai dasar pemisahan *baseflow*. Metode ini menggunakan interval waktu tertentu untuk menentukan debit minimum berturut-turut pada hidrograf (Stewart *et al.* 2007). *Baseflow* hidrograf diasumsikan sebagai garis yang menghubungkan debit minimum yang telah dipilih. Stewart *et al.* (2007) mengatakan bahwa dalam beberapa metode, interval waktu dapat diperoleh dari rumus Linsley berikut ini:

$$N = 0.83 A^{0.2} \quad (1)$$

N adalah waktu (hari), A adalah luas DAS (km<sup>2</sup>). Pada program pemisahan *baseflow* otomatis yaitu HYSEP, interval yang digunakan adalah 2N\*, merupakan dua kali waktu (hari) setelah terjadinya debit puncak pada hidrograf atau waktu *direct runoff* berhenti dan seluruh debit berupa *baseflow*, dan bisa diperoleh dari persamaan 1 (Stewart *et al.* 2007). Menurut Stewart *et al.* (2007) persamaan 1 tidak bisa digunakan secara umum karena waktu menghilangnya *direct runoff* (N) tidak hanya dipengaruhi oleh luas DAS melainkan juga dari komponen DAS lain seperti kapasitas infiltrasi, rata-rata kemiringan topografi, dan karakteristik *groundwater*.

Metode ketiga adalah *mass-balance* yang mengasumsikan bahwa setiap aliran debit terdiri atas komponen aliran yang berbeda (Stewart *et al.* 2007). Setiap komponen aliran memiliki karakteristik mengandung satu atau lebih unsur kimia yang konsentrasinya akan tetap stabil tergantung pada arah aliran sungai. Kelemahan dalam metode ini adalah syarat yang mengharuskan debit dan konsentrasi bahan kimia diukur bersamaan, sehingga pembuatan aplikasi sulit dan kurang praktis jika dilakukan pada DAS dengan luasan yang besar dan periode pengukuran yang panjang (Stewart *et al.* 2007).

### 2.2.2 Metode Smoothed Minima

Metode *smoothed minima* adalah salah satu dari metode *low-pass filter*. Metode ini

telah digunakan oleh Wahl dan Wahl (1995) dalam program FORTRAN untuk penentuan nilai BFI. Wahl dan Wahl (1995) mengacu prosedur metode *smoothed minima* pada *Institute of Hydrology* (1980). Dalam analisa empat prosedur pemisahan *baseflow* untuk penentuan nilai BFI oleh Longobardi dan Villani (2008), menunjukkan bahwa metode *smoothed minima* merupakan metode yang cocok untuk pendugaan nilai BFI karena nilai *baseflow* yang dihasilkan dari metode ini lebih stabil dibandingkan dengan metode lain yang diuji.

Prosedur pemisahan *baseflow* berdasarkan metode *smoothed minima* adalah membagi data debit harian satu tahun atau lebih ke dalam N harian *non-overlapping* dan menentukan debit minimum setiap N harian. Dari data minimum ini kemudian ditentukan titik belok (*turning points*) pada *baseflow* hidrograf. Dalam penentuan titik belok ini digunakan faktor 0.9 yang cocok untuk metode BFI (Wahl dan Wahl 1995). Menurut Piggott *et al.* (2005) titik belok mengindikasikan hari dan awal kontribusi *baseflow* terhadap nilai debit.

Nilai *baseflow* ditentukan dari tiap data titik belok yang diinterpolasi secara linier. Volume *baseflow* dan debit ditentukan masing-masing dari luas dibawah kurva *baseflow* dan debit tiap tahun. Hasil rasio volume *baseflow* dan debit (*streamflow*) adalah nilai BFI.

### 2.2.3 Faktor-faktor yang Berpengaruh terhadap Baseflow

*Baseflow* merupakan suatu fungsi dari berbagai parameter DAS antara lain topografi, geologi, jenis tanah, vegetasi dan iklim wilayah DAS (Lacey dan Grayson 1998). Parameter topografi DAS terdiri atas luas DAS (A), panjang sungai utama (L), relief DAS (perbedaan antara elevasi tertinggi dengan elevasi terendah; H), total panjang jaringan sungai, dan elevasi pusat DAS. Beberapa parameter seperti luas DAS, elevasi pusat DAS, dan panjang sungai utama sangat berkaitan dengan parameter evapotranspirasi potensial, fraksi penutupan hutan, fraksi bebatuan sedimen dan curah hujan.

Pengaruh geologi terhadap *baseflow* dapat dibagi menjadi dua (Lacey dan Grayson 1998). Pertama pengaruh secara langsung, aliran *groundwater* disimpan di dalam batuan, terlebih jika batuan itu memiliki patahan, maka hal ini akan berpengaruh terhadap kontribusi *baseflow*.

Kedua pengaruh secara tidak langsung dari formasi tanah. Jenis batuan yang berbeda akan mengakibatkan perbedaan jenis dan kedalaman tanah, selain juga dipengaruhi oleh faktor iklim dan penutupan vegetasi. Hal ini yang kemudian memengaruhi *groundwater* dan *baseflow* (Lacey dan Grayson 1998).

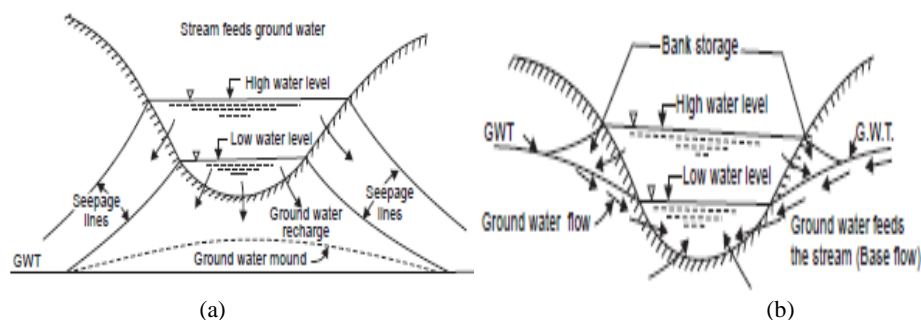
Pada penelitian Lacey (1997) mengenai pengaruh indeks geologi-vegetasi dan

sejumlah sifat DAS terhadap nilai BFI, jenis batuan tersier basal, *rhyodacite*, granit, dan *upper ordovician sedimentary* memiliki BFI tertinggi. Dalam beberapa kasus hal ini disebabkan oleh pengaruh faktor rekahan batuan dan pelapukan batuan, yang lain dikarenakan oleh formasi tanah yang terbentuk dari batuan (misal batuan granit).

Tabel 1 Nilai BFI berdasarkan jenis batuan

Dominant Permeability Characteristics	Dominant Storage Characteristics	Example of rock type	Typical BFI Range
Fissure	High storage	Chalk	0.90 - 0.98
		Oolitic limestones	0.85 - 0.95
	Low storage	Carboniferous limestone	0.20 - 0.75
		Millstone Grit	0.35 - 0.45
Intergranular	High storage	Permo-Triassic sandstones	0.70 - 0.80
	Low storage	Coal measures	0.40 - 0.55
		Hastings Beds	0.35 - 0.50
Impermeable	Low storage at shallow depth	Lias	0.40 - 0.70
		Old Red Sandstone	0.45 - 0.55
		Silurian/Ordovician	0.30 - 0.50
	No storage	Metamorphic-Igneous	0.30 - 0.50
		Oxford Clay	0.15 - 0.45
		Weald Clay	0.15 - 0.45
		London Clay	0.15 - 0.45

Sumber: *Institute of Hydrology* (1980)



Gambar 2 Sungai dengan jenis aliran *inflow* (a) dan aliran *effluent* (b).  
(Sumber: Raghunath 2006)

### 2.3 Indeks *Baseflow*

Indeks *baseflow* pertama kali diperkenalkan oleh Lvovich pada tahun 1972 dan lebih lanjut konsep ini dikembangkan oleh *Institute of Hydrology* pada tahun 1980 untuk menerangkan hubungan karakteristik Geologi suatu wilayah DAS dengan *base-*

*flow*. BFI atau indeks *baseflow* didefinisikan sebagai rasio antara volume *baseflow* dan volume total aliran debit (Smakhtin 2001).

DAS dengan aliran jenis *effluent stream* (Gambar 2), yaitu DAS dengan kontribusi *baseflow* tinggi (Raghunath 2006), kemungkinan memiliki nilai BFI



mendekati 1, sedangkan untuk DAS dengan jenis aliran *ephemeral stream* atau *influent stream* (Gambar 2) akan memiliki nilai BFI mendekati 0 (Smakhtin 2001). Faktor yang berpengaruh terhadap BFI sangat terkait dengan faktor-faktor yang memengaruhi *baseflow*. Salah satu faktor yang berpengaruh pada *baseflow* adalah faktor geologi, hubungan geologi dan nilai BFI ditunjukkan pada Tabel 1.

#### 2.4 Analisis Tren dengan Uji Mann-Kendall

Uji Mann-Kendall adalah uji statistik non-parametrik yang sering digunakan untuk studi tren hidroklimat. Beberapa studi tren hidroklimat yang menggunakan uji Mann-Kendall adalah tren curah hujan di DAS Brantas Jawa Timur yang dilakukan oleh Aldrian dan Djamil (2008), tren debit di bagian hulu sungai-sungai di Pulau Jawa oleh Nugroho (2009), tren hidroklimat oleh Sahoo dan Smith (2009), tren iklim dan ketersediaan air di Palembang oleh Taufik (2010), dan tren curah hujan di Orissa wilayah Cuttack, India oleh Mondal *et al.* (2012).

Dua kelebihan yang bisa diperoleh dari uji ini adalah data yang digunakan tidak perlu tersebar normal. Hasil uji Mann-Kendall juga tidak hanya berupa tren data yang diuji tapi juga tingkat signifikansi dari tren (Aldrian dan Djamil 2008).

### III. METODOLOGI

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrometeorologi, Departemen Geofisika dan Meteorologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Institut Pertanian Bogor dari bulan Februari sampai Juli 2012.

#### 3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan adalah data debit harian tahun 1980-2010 dan curah hujan bulanan tahun 1980-2006 Stasiun Babat DAS Bengawan Solo. Alat yang digunakan adalah personal komputer yang dilengkapi dengan perangkat lunak *microsoft excel*, *VBA (Visual Basic for Applications) macro code Excel*, dan *microsoft word* 2010.

#### 3.3 Metode Penelitian

Pengolahan data pada penelitian ini dibagi menjadi dua tahap, yaitu penghitungan nilai BFI DAS Bengawan Solo tahun

1980-2010 dan analisis tren BFI. Nilai BFI diduga berdasarkan data debit 3 harian, 5 harian dan 7 harian *non-overlapping*.

#### 3.3.1 Penghitungan Nilai *Baseflow Index* (BFI)

Metode penghitungan BFI pada penelitian ini merujuk *Institute of Hydrology* (1980). Secara umum penghitungan BFI meliputi pemisahan hidrograf untuk estimasi nilai *baseflow* dan perhitungan BFI dari volume *baseflow* dan *streamflow*. Prosedur awal dalam metode pemisahan hidrograf adalah menentukan titik belok (*turning points*) pada *baseflow* hidrograf dari debit minimum selama N harian *non-overlapping*. Prosedur dalam penentuan titik belok *baseflow* hidrograf menggunakan faktor 0.9 (Wahl dan Wahl 1995; *Institute of Hydrology* 1980). Penghitungan nilai BFI meliputi nilai BFI dengan data debit minimum 3 harian, 5 harian dan 7 harian. Berikut merupakan langkah penghitungan nilai BFI:

1. Membagi data debit harian ( $Q_i$ ) aliran DAS Bengawan Solo tahun 1980 sampai 2010 ke dalam data 3 harian, 5 harian dan 7 harian secara *non-overlapping*.
2. Memilih data terkecil (minimum) dari data 3 harian, 5 harian, dan 7 harian, sebut data ini sebagai  $Q_{m_1}$ ,  $Q_{m_2}$ , ...  $Q_{m_n}$ .
3. Menentukan *turning points* dari tiga nilai  $Q_m$  ( $Q_{m_1}$ ,  $Q_{m_2}$ ,  $Q_{m_3}$ ), ( $Q_{m_2}$ ,  $Q_{m_3}$ ,  $Q_{m_4}$ ), ... ( $Q_{m_n}$ ,  $Q_{m_{n+1}}$ ,  $Q_{m_{n+2}}$ ). Jika *central value* ( $Q_{m_{n+1}} \times 0.9 \leq$  *outer value* ( $Q_{m_n}$ ,  $Q_{m_{n+2}}$ ) maka *central value* menjadi *turning points*.
4. Menentukan nilai *baseflow* ( $QB_i$ ) dengan interpolasi antar nilai *turning points* yang telah diperoleh pada langkah kerja ke-3, kemudian penuhi ketentuan  $QB_i > Q_i$  maka  $QB_i = Q_i$ .
5. Menghitung nilai  $V_A$  (luas di bawah kurva *baseflow*) dan  $V_B$  (luas di bawah kurva debit) sesuai dengan rumus berikut:

$$V_A = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{2} (x_{i+1} - x_i) \quad (2)$$

$$V_B = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{y_i + y_{i+1}}{2} (x_{i+1} - x_i) \quad (3)$$

Keterangan:

$y$  : sebagai nilai *baseflow* di rumus  $V_A$   
dan sebagai nilai debit di rumus  $V_B$

- $x$  : hari ke-
6. Menghitung nilai BFI berdasarkan rasio nilai  $V_A$  dan  $V_B$

$$BFI = \frac{V_A}{V_B} \quad (4)$$

Tabel 2 Prediktor hidroklimat yang digunakan untuk analisis tren

No.	Variabel	Simbol	Keterangan
1.	Baseflow Index 3 harian	BFI3d	Baseflow index dari data debit minimum 3 harian <i>non-overlapping</i>
2.	Baseflow Index 5 harian	BFI5d	Baseflow index dari data debit minimum 5 harian <i>non-overlapping</i>
3.	Baseflow Index 7 harian	BFI7d	Baseflow index dari data debit minimum 7 harian <i>non-overlapping</i>
4.	Baseflow tahunan (3 harian)	BFa3	Rata-rata baseflow yang diperoleh dari pemisahan hidrograf dengan data debit minimum 3 harian <i>non-overlapping</i> dalam satu tahun
5.	Baseflow tahunan (5 harian)	BFa5	Rata-rata baseflow yang diperoleh dari pemisahan hidrograf dengan data debit minimum 5 harian <i>non-overlapping</i> dalam satu tahun
6.	Baseflow tahunan (7 harian)	BFa7	Rata-rata baseflow yang diperoleh dari pemisahan hidrograf dengan data debit minimum 7 harian <i>non-overlapping</i> dalam satu tahun
7.	Rata-rata debit tahunan	Qann	Rata-rata debit harian dalam satu tahun
8.	Curah hujan tahunan	Rann	Jumlah curah hujan harian dalam satu tahun

### 3.3.2 Analisis Tren

Analisis tren dilakukan dengan uji Mann-Kendall seperti yang dilakukan oleh Aldrian dan Djamil (2008), Nugroho (2009), Sahoo dan Smith (2009), Taufik (2010), dan Mondal *et al.* (2012). Hasil akhir dari uji Mann-Kendall adalah tren data yang dianalisis beserta tingkat signifikansi tren. Tingkat signifikansi tren dapat dilihat dari nilai Z (Sahoo dan Smith 2009). Tingkat signifikansi tren diuji dengan membandingkan nilai Z, yaitu nilai standar sebaran normal, pada  $\alpha = 5\%$ . Adapun statistik S uji Mann-Kendall adalah sebagai berikut:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{Sgn}(x_i - x_j) \quad (5)$$

$x_i$  dan  $x_j$  adalah data urut,  $n$  adalah jumlah data, dan  $\text{sgn}()$  merupakan fungsi sign yang nilainya +1, 0 atau -1 dan tergantung pada nilai  $(x_i - x_j)$  positif, nol atau negatif (Lettenmaier *et al.* 1993) seperti pada persamaan 6.

$$\text{Sgn}(\theta) = \begin{cases} +1 & \theta > 0 \\ 0 & \text{jika } \theta = 0 \\ -1 & \theta < 0 \end{cases} \quad (6)$$

Nilai  $\theta$  adalah  $(x_i - x_j)$ . Statistik S menyebar normal jika  $n \geq 10$  (Lettenmaier *et al.* 1993), nilai tengah  $E(S) = 0$  dan ragam S diperoleh dari persamaan 7.

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (7)$$

Uji statistik Z diperoleh dari persamaan 8.

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{jika } S > 0 \\ 0 & \text{jika } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{jika } S < 0 \end{cases} \quad (8)$$

Jika Z bernilai positif maka tren yang terjadi adalah tren naik, begitu pun sebaliknya. Jika nilai  $|Z| \geq Z_{1-\alpha/2}$  terpenuhi maka data yang diuji memiliki tren pada  $\alpha$  yang digunakan (Sahoo dan Smith 2009). Pada penelitian ini  $\alpha$  yang digunakan sebesar 5%. Adapun prediktor hidroklimat yang dianalisis disajikan pada Tabel 2.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 DAS Bengawan Solo

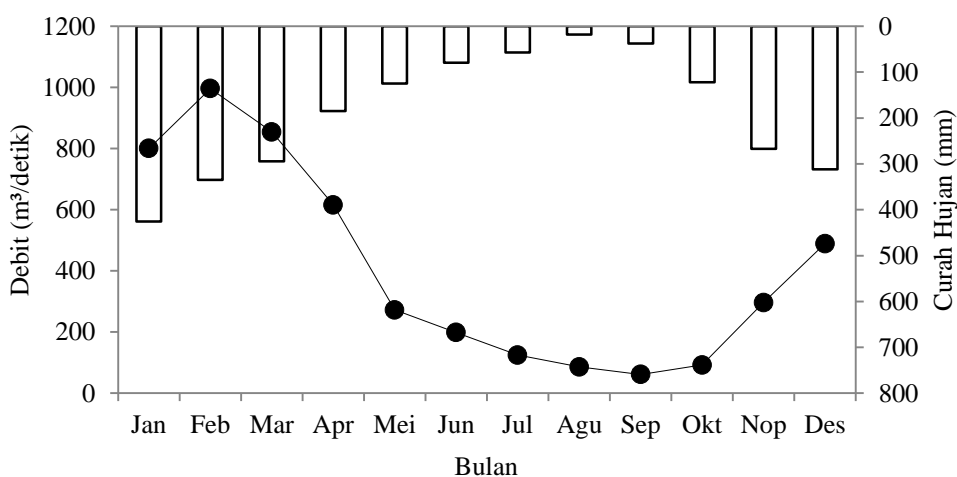
Pada peta geologi Indonesia (Sukamto *et al.* 1996) formasi geologi DAS Bengawan Solo didominasi batuan sedimen tersier, batuan sedimen kuartar, batuan vulkanik dan batuan karbonat. Menurut Van Bemmelen (1949) formasi geologi DAS Bengawan Solo didominasi oleh kompleks Gunung Merapi-Merbabu dan Lawu. Jenis batuan yang mendominasi adalah batu apung konglomerat, breksi, tufa, kuarsa yang mengandung andesit dan formasi batuan vulkan. Lembah Bengawan Solo Hulu dan tengah dikelilingi oleh tiga gunung berapi atau bekas gunung berapi yang lereng-lerengnya tertutup oleh bahan-bahan lepas seperti konglomerat, pasir dan debu vulkanis, sedangkan lembah Bengawan Solo Hilir merupakan dataran aluvial yang dibatasi oleh pegunungan tersier yang terdiri atas batu pasir tufa, batu lempung dan batu gamping. Disebelah selatan dibatasi oleh Gunung Kendeng yang terbentuk dari batuan tersier.

DAS Bengawan Solo terdiri atas tiga sub-DAS yaitu sub-DAS Bengawan Solo Hulu, sub-DAS Bengawan Solo Hilir dan sub-DAS Kali Madiun. Sub-DAS Bengawan Solo Hilir secara administratif meliputi lima kabupaten yaitu Kabupaten Blora, Kabupaten Bojonegoro, Kabupaten Tuban, Kabu-

paten Lamongan, dan Kabupaten Gresik (Asriningrum *et al.* 2008). Secara geografis sub-DAS Bengawan Solo Hilir terletak pada  $6^{\circ}50' - 7^{\circ}26' \text{ LS}$  dan  $111^{\circ}15' - 112^{\circ}40' \text{ BT}$ .

Pada sub-DAS Bengawan Solo Hilir terdapat beberapa pos duga air dan pos hujan salah satunya adalah pos duga Stasiun Babat (Gambar 1). Stasiun Babat terletak di Desa Banaran, Kecamatan Babat, Kabupaten Lamongan. Stasiun Babat dipilih sebagai lokasi analisa karena pertimbangan ketersediaan data dan letaknya yang berada di sub-DAS Bengawan Solo Hilir yang mampu mewakili wilayah kajian DAS Bengawan Solo.

Rata-rata debit bulanan tertinggi Stasiun Babat pada periode tahun 1980-2006 adalah sebesar  $996.2 \text{ m}^3/\text{detik}$  yang terjadi pada bulan Februari, sedangkan debit terendah terjadi pada bulan September sebesar  $61.6 \text{ m}^3/\text{detik}$  (Gambar 3). Curah hujan rata-rata bulanan terendah pada tahun 1980-2006 adalah  $18.4 \text{ mm}$  dan terjadi pada bulan Agustus (Gambar 3), sedangkan curah hujan tertinggi terjadi pada bulan Januari sebesar  $425.5 \text{ mm}$  (Gambar 3). Jumlah hari hujan periode tahun 1980-2006 terbanyak terjadi pada bulan Januari dengan jumlah hari hujan rata-rata 15 hari, sedangkan yang terendah pada bulan Agustus dengan jumlah hari hujan rata-rata 0 hari.



Gambar 3 Rata-rata debit bulanan (●) dan curah hujan bulanan (□) tahun 1980-2006 Stasiun Babat DAS Bengawan Solo.

### 4.2 Analisis Baseflow Index (BFI) DAS Bengawan Solo

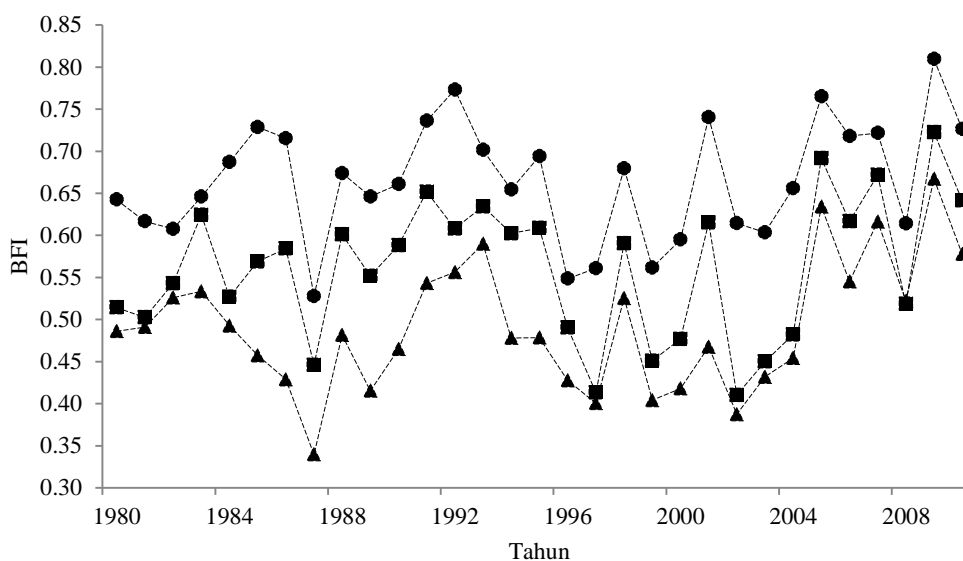
Kisaran nilai BFI3d selama periode tahun 1980-2010 adalah 0.53-0.81, nilai ini mengindikasikan bahwa kontribusi *baseflow*

terhadap total aliran debit berkisar 53-81%, begitu juga dengan nilai BFI5d dan BFI7d berturut-turut sebesar 0.41-0.72 dan 0.34-0.67 yang masing-masing mengindikasikan bahwa kontribusi *baseflow* terhadap total

aliran debit sebesar 41-72% dan 34-67%. BFI yang semakin mendekati nilai 1 atau besar kontribusi aliran dasar terhadap aliran debit sebesar 100% bisa disimpulkan bahwa sungai kajian adalah sungai dengan tipe aliran *effluent*.

Nilai BFI3d, BFI5d, dan BFI7d tertinggi terjadi pada tahun 2009. Nilai BFI3d dan BFI7d terendah terjadi pada tahun 1987, sedangkan untuk BFI5d terjadi pada tahun 1997 dan 2002. Besar nilai rata-rata BFI3d, BFI5d, dan BFI7d selama periode tahun 1980-2010 berturut-turut adalah 0.67, 0.56 dan 0.49. Nilai BFI ini menunjukkan bahwa DAS Bengawan Solo memiliki karakteristik permeabilitas *fissure* dengan karakteristik *storage* rendah sesuai dengan kategori nilai BFI terhadap jenis batuan yang ditetapkan oleh *Institute of Hydrology* (1980) sebesar 0.20-0.75 (Tabel 1). Permeabilitas batuan adalah kemampuan yang dimiliki oleh bebatuan untuk meloloskan air yang melewatinya. Porositas adalah rasio antara volume rongga pori dalam batuan dan volume total batuan. Permeabilitas dan porositas sangat

berkaitan erat, secara umum dapat dikatakan bahwa permeabilitas ditentukan oleh rongga pori dan struktur rekahan (*fissure*) (Šperl dan Trčková 2008). Sehingga peningkatan porositas juga akan meningkatkan permeabilitas. Namun hanya porositas efektif yang bisa memengaruhi permeabilitas, karena hanya rongga pori terbuka dan saling berhubungan saja yang bisa meloloskan air. Selain itu, ukuran rongga pori dan distribusi ukuran rongga pori juga berpengaruh terhadap permeabilitas. Hasil kajian Šperl dan Trčková (2008) memperlihatkan bahwa batuan kapur (*limestone*) dari Úvaly memiliki tingkat porositas yang tinggi karena terdapat rekahan mikro yang bisa meningkatkan permeabilitas batuan, sedangkan pada umumnya batuan kapur memiliki tingkat porositas yang rendah dan termasuk ke dalam jenis batuan yang impermeabel. Batuan kapur banyak ditemukan di sub-DAS Bengawan Solo Hilir selain itu juga terdapat batuan pasir, lempung, dan sedimen vulkanik (Stiebel dan Suradji 1985).



Gambar 4 Nilai BFI3d (●), BFI5d (■) dan BFI7d (▲) DAS Bengawan Solo pada periode tahun 1980 sampai 2010.

BFI3d merupakan nilai BFI tertinggi dibandingkan BFI5d dan BFI7d (Gambar 4). Semakin kecil  $N$  harian yang digunakan untuk proses pemisahan *baseflow*, maka semakin besar nilai BFI yang dihasilkan. Nilai  $N$  adalah waktu yang dibutuhkan *direct runoff* untuk berhenti setelah debit puncak terjadi, misal  $N = 5$  maka ini berarti bahwa *direct runoff* berhenti kira-kira 1-5 hari setelah terjadi debit puncak. Nilai  $N$

yang kecil pada suatu DAS akan mengakibatkan semakin kecil kontribusi *direct runoff* terhadap total aliran debit dibandingkan dengan kontribusi *baseflow*.

Penentuan nilai  $N$  terbaik untuk setiap BFI dapat dilakukan dengan menggunakan nilai standar deviasi. BFI dari durasi  $N$  yang memiliki standar deviasi terkecil akan ditetapkan sebagai BFI terbaik. Metode ini telah dilakukan oleh Longobardi dan Villani



(2008) untuk penentuan metode pemisahan *baseflow* terbaik dalam pendugaan nilai BFI. Nilai standar deviasi dari ketiga BFI yaitu BFI3d, BFI5d, dan BFI7d berturut-turut adalah 0.0701, 0.0826, dan 0.0765. Standar deviasi terkecil dimiliki BFI3d, sehingga dapat disimpulkan bahwa N terbaik untuk penentuan nilai BFI DAS Bengawan Solo adalah N = 3 harian. Nilai N juga bisa ditetapkan dari rumus Linsley (Persamaan 1), besar N untuk DAS Bengawan Solo adalah 6 harian. Nilai BFI6d (BFI 6 harian) memiliki standar deviasi sebesar 0.0788.

Nilai *baseflow* selama periode tahun 1980-2010 yang diperoleh dari pemisahan *baseflow* dengan metode *smoothed minima* pada N = 3 harian, 5 harian dan 7 harian berturut-turut adalah berkisar 157.11-544.9 m<sup>3</sup>/detik, 115.64-480.1 m<sup>3</sup>/detik, dan 111.34-437.2 m<sup>3</sup>/detik. Rata-rata *baseflow* selama periode tahun 1980-2010 masing-masing dari BFa3, BFa5, dan BFa7 adalah 299.7 m<sup>3</sup>/detik, 250 m<sup>3</sup>/detik, dan 220.1 m<sup>3</sup>/detik.

Tabel 3 Tren prediktor hidroklimat DAS Bengawan Solo periode tahun 1980-2010, 1980-1998, dan 1998-2010 pada  $\alpha = 5\%$

Prediktor	1980-2010			1980-1998			1998-2010		
	N	NT	T	N	NT	T	N	NT	T
BFI3d		√			√			√	
BFI5d		√			√			√	
BFI7d		√			√			√	
BFa3	√				√			√	
BFa5	√				√			√	
BFa7		√			√			√	
Qann	√				√			√	
Rann*						√			

\*Data hanya tersedia pada periode 1980-2006; N: Naik, NT: Netral, T: Turun

#### 4.3 Analisis Tren

Tren BFI3d, BFI5d, BFI7d, BFa3, BFa5, BFa7 dan Qann pada tahun 1980-1998 dengan selang kepercayaan 95% ( $\alpha = 5\%$ ) mengalami kondisi netral atau tidak terjadi perubahan tren. Pada seri waktu yang lebih panjang yaitu periode tahun 1980-2010 prediktor yang mengalami kenaikan adalah BFa3, BFa5, dan Qann. Kondisi kenaikan tren untuk prediktor BFI3d, BFI5d, BFI7d, BFa3, BFa5, BFa7 dan Qann mulai terjadi pada tahun 1998-2010 (Tabel 3), sehingga selama periode tahun 1980-2010, tahun 1998-2010 menjadi tahun mulai terjadi perubahan tren.

Pada tahun 1998-2005 luas lahan hutan wilayah sungai Bengawan Solo telah mengalami penurunan akibat penebangan liar dan konversi lahan, meskipun demikian nilai BFI pada DAS Bengawan Solo tidak mengalami penurunan melainkan terjadi kondisi netral. Kondisi ini bersamaan dengan kondisi netral yang terjadi pada prediktor BFa dan Qann. Meskipun telah terjadi penurunan tren Rann dan luas lahan hutan yang menjadi tempat

resapan air namun kondisi BFa tetap tidak mengalami perubahan tren. Hal ini mungkin disebabkan oleh adanya cadangan air yang cukup dari *groundwater*. Sehingga untuk memastikan kondisi ini perlu adanya kajian mengenai faktor geologi dan *groundwater* yang berada di DAS Bengawan Solo.

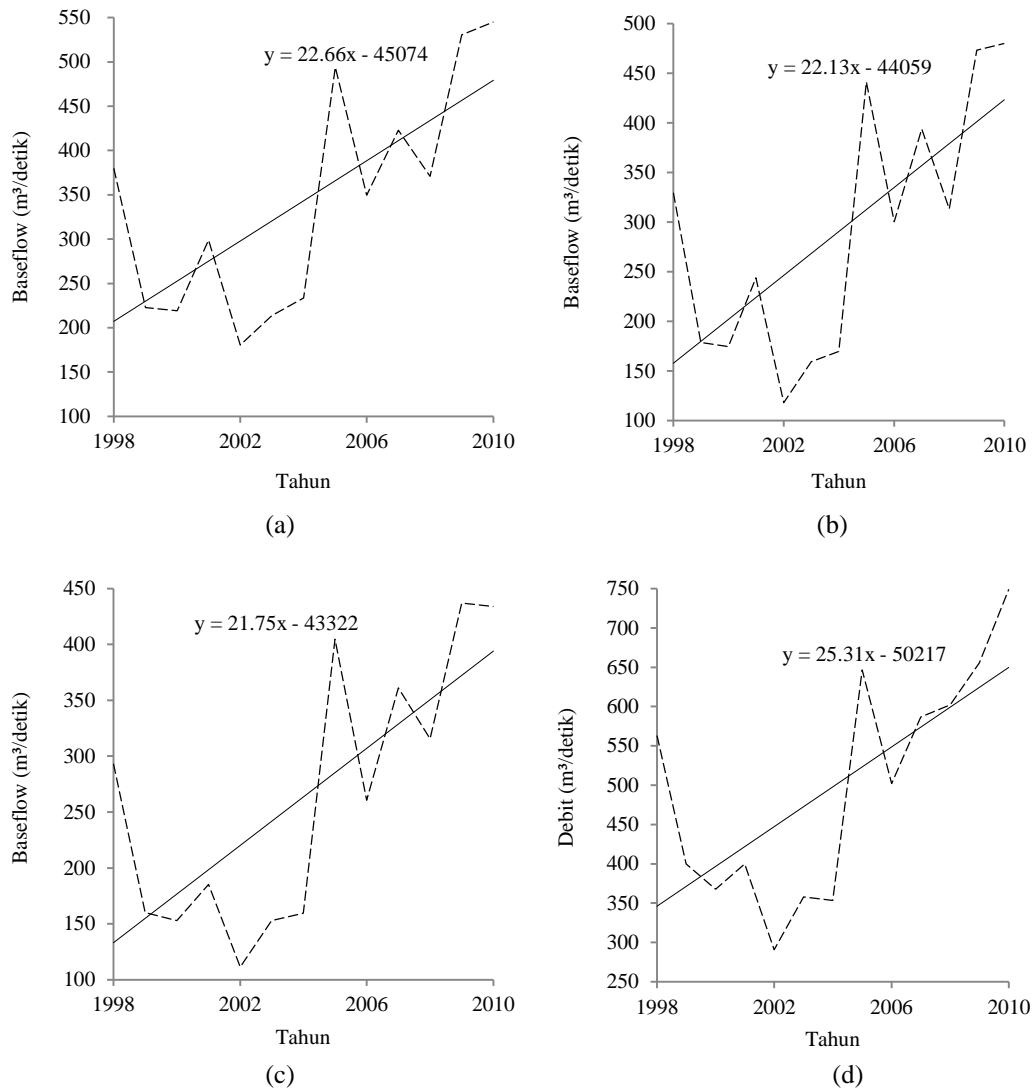
Jika selama tahun 1998-2005 BFI dan Qann tidak mengalami perubahan tren, maka pada periode tahun 1998-2010 BFI dan Qann mengalami kenaikan tren. Kenaikan nilai Qann disebabkan oleh berkurangnya luas lahan hutan sehingga mengakibatkan semua hujan yang jatuh langsung menjadi *direct runoff*.

Selama periode tahun 1980-2010, sebagian prediktor yaitu BFI3d, BFI5d, BFI7d dan BFa7 tidak mengalami tren. Perubahan tren hanya ditunjukkan oleh prediktor BFa3, BFa5 dan Qann. Tren Qann yang cenderung mengalami kenaikan selama periode 1980-2010 berbeda dengan tren debit pada DAS Bengawan Solo bagian hulu yang diteliti oleh Nugroho (2009). Nugroho (2009) mengungkapkan bahwa telah terjadi

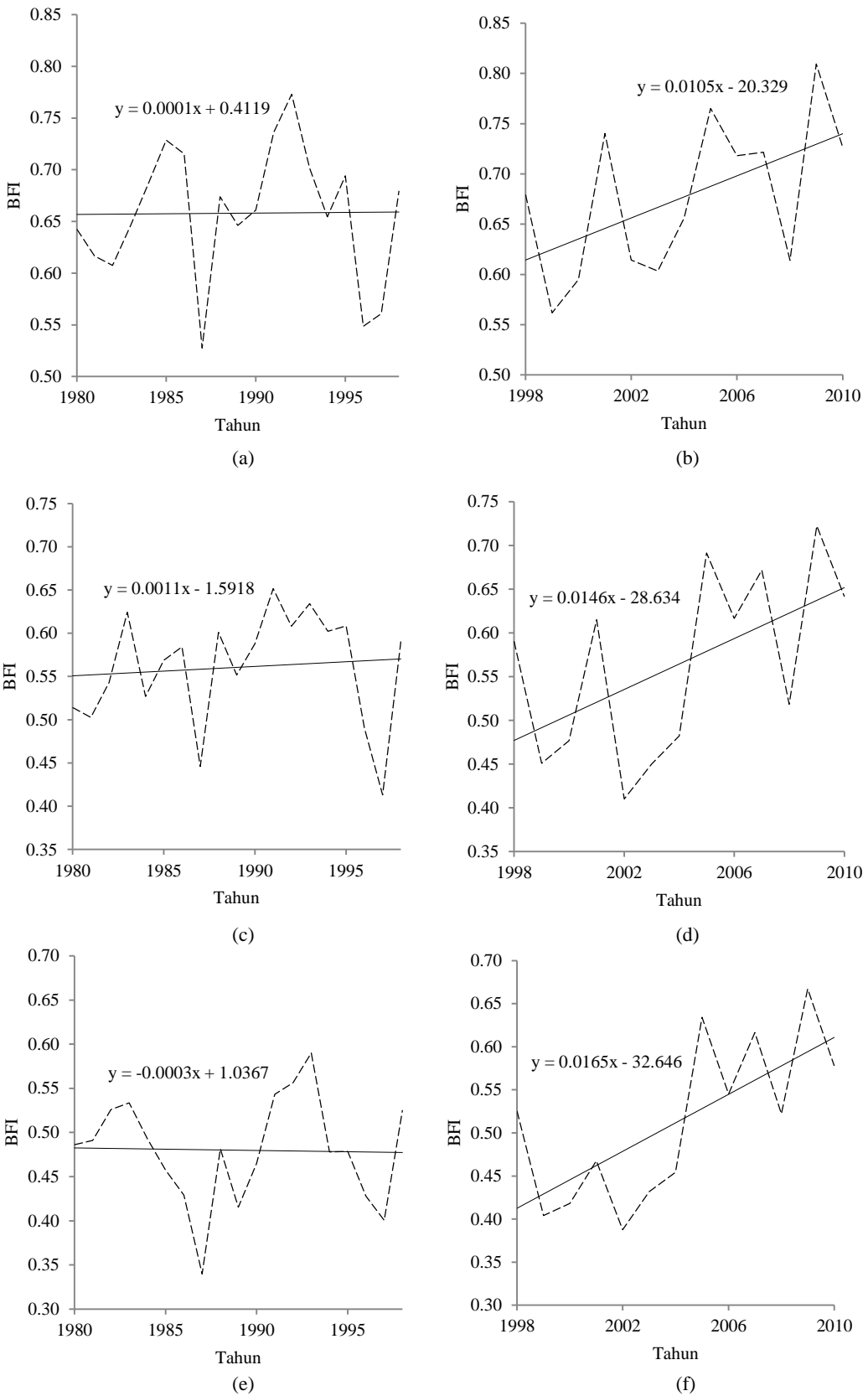
penurunan tren pada debit sungai DAS Bengawan Solo bagian hulu yang diperlihatkan dari dua stasiun kajian yaitu Stasiun Padas dengan data tahun 1974-2003 dan luas sub-DAS dari stasiun adalah 35 km<sup>2</sup>, dan Stasiun Nambangan dengan data tahun 1971-2001 dan luas sub-DAS dari stasiun adalah 2 126 km<sup>2</sup>. Perbedaan tren yang terjadi disebabkan oleh perbedaan periode dan stasiun yang digunakan untuk analisis.

Tren Rann tahun 1980-2006 mengalami penurunan secara signifikan. Penurunan tren curah hujan ini juga sama seperti yang diperoleh Aldrian dan Djamil (2008) untuk DAS Brantas, Indonesia. Aldrian dan Djamil (2008) mengungkapkan bahwa penurunan tren curah hujan ini dipengaruhi oleh ENSO.

Besarnya peningkatan tren prediktor BFI3d, BFI5d, BFI7d, pada tahun 1998-2010 yang ditunjukkan dari nilai *slope* persamaan regresi linear berturut-turut adalah 0.0105 m<sup>3</sup>/detik, 0.0146 m<sup>3</sup>/detik dan 0.0165 m<sup>3</sup>/detik (Gambar 6), sedangkan peningkatan BFa3, BFa5, BFa7 dan Qann selama periode tahun 1998-2010 berturut-turut adalah 22.663 m<sup>3</sup>/detik, 22.13 m<sup>3</sup>/detik, 21.749 m<sup>3</sup>/detik, dan 25.307 m<sup>3</sup>/detik (Gambar 5). Nilai *slope* persamaan regresi BFI periode tahun 1980-1998 (Gambar 6) untuk nilai BFI3d mengalami peningkatan sebesar 0.0001 m<sup>3</sup>/detik, BFI5d mengalami peningkatan juga sebesar 0.0011 m<sup>3</sup>/detik, sedangkan BFI7d mengalami penurunan sebesar 0.0003 m<sup>3</sup>/detik.



Gambar 5 Nilai BFa3 (a), BFa5 (b), BFa7 (c) dan Qann (d) pada periode tahun 1998-2010.



Gambar 6 Nilai BFI DAS Bengawan Solo pada berbagai  $N$  non-overlapping: (a) BFI3d periode 1980-1998, (b) BFI3d periode 1998-2010, (c) BFI5d periode 1980-1998, (d) BFI5d periode 1998-2010, (e) BFI7d periode 1980-1998, (f) BFI7d periode 1998-2010.





- of Baseflow for The Conterminous United States by Hydrologic Landscape Regions. *J. Hydrol.* 351: 139-153.
- Smakhtin VU. 2001. Low flow hydrology: a review. *J. Hydrol.* 240: 147-186.
- Šperl J, Trčková J. 2008. Permeability and Porosity of Rocks and Their Relationship Based on Laboratory Testing. *Acta Geodyn. Geomater.* 5 (1 (149)): 41-47.
- Stewart M, Cimino J, Ross M. 2007. Calibration of Base Flow Separation Methods with Streamflow Conductivity. *Ground Water* 45 (1): 17-27.
- Stiebel WH, Suradji IR. 1985. Groundwater Development in the Lower Solo River Basin East Java, Indonesia. Hydrogeology in the Service of Man, Memories of the 18<sup>th</sup> Congress of the International Association of Hydrogeologists, Cambridge: 197-208.
- Sukamto R, Ratman N, Simandjuntak TO. 1996. Peta Geologi Indonesia. *Sukamto et al. H.*, editor. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Kementerian ESDM, Badan Geologi ([www.psg.bgl.esdm.go.id](http://www.psg.bgl.esdm.go.id)).
- Sutadi G. 2008. Profil Wilayah: DAS Bengawan Solo. Buletin Tata Ruang: Penataan Ruang dan Pemanasan Global Edisi Januari-Februari 2008: 8-18.
- Taufik M. 2010. Analisis Tren Iklim dan Ketersediaan Air. *J. Agromet* 24 (1): 42-49.
- Van Bemmelen RW. 1949. The Geology of Indonesia Vol. I A General Geology. Government Printing Office, The Hague.
- Wahl KL, Wahl TL. 1995. Determining the Flow of Comal Springs at New Braunfels, Texas. *Texas Water '95*: 77-86.



Hik Cipta (Pendidikan) Universitas

1. Dilakukan sebagai bagian dari penelitian karya tulis yang bertujuan untuk dan memperoleh manfaat :
- a. Peningkatan wawasan, sikap, pengetahuan, keterampilan, pengalaman kerja, atau tujuan suatu masalah
- b. Pengetahuan tidak menyangkut kependidikan yang wajar IPB University
2. Dilakukan menggunakan dan memperhatikan selangun atau sesuai karya tulis yang dalam bentuk apapun tanpa hak IPB University

# LAMPIRAN

Lampiran 1 Nilai *baseflow* 3 harian (BF3), 5 harian (BF5) dan 7 harian (BF7) periode tahun 1980-2010 Stasiun Babat DAS Bengawan Solo

Tahun	BF3	BF5	BF7
1980	210.7	168.1	158.9
1981	215.3	175.4	171.5
1982	259.1	230.4	222.7
1983	294.1	283.9	242.9
1984	369.0	282.0	263.9
1985	308.1	238.4	191.7
1986	325.7	264.5	194.1
1987	183.7	155.1	118.2
1988	219.7	194.8	156.1
1989	200.8	171.1	128.8
1990	273.6	242.7	191.8
1991	266.1	234.3	195.3
1992	368.7	283.6	259.5
1993	273.9	245.8	228.6
1994	380.0	232.5	184.5
1995	326.7	282.4	222.1
1996	197.7	175.2	152.8
1997	157.1	115.6	112.1
1998	380.1	329.5	293.2
1999	222.7	178.6	160.0
2000	219.3	174.5	152.9
2001	298.9	243.7	185.2
2002	180.5	117.9	111.3
2003	213.8	159.3	152.9
2004	233.4	169.5	159.5
2005	494.2	441.1	404.8
2006	349.5	300.2	260.7
2007	423.0	393.7	361.0
2008	370.8	313.1	315.7
2009	530.4	473.3	437.2
2010	544.9	480.1	433.8



Lampiran 3 Nilai  $V_A$ ,  $V_B$  dan BFI dari debit 3 harian, 5 harian dan 7 harian Stasiun Babat DAS Bengawan Solo periode tahun 1980-2010

Tahun	3 Harian			5 Harian			7 Harian		
	$V_A$	$V_B$	BFI	$V_A$	$V_B$	BFI	$V_A$	$V_B$	BFI
1980	74696.6	116274.5	0.64	59801.2	116274.5	0.51	56526.9	116274.5	0.49
1981	78277.5	126966	0.62	63807	126966	0.5	62357.03	126966	0.49
1982	94033.8	154760.5	0.61	84034.3	154760.5	0.54	81417.6	154760.5	0.53
1983	107201.7	165987.5	0.65	103643.1	165987.5	0.62	88559.4	165987.5	0.53
1984	134696	196094	0.69	103293.2	196094	0.53	96640.3	196094	0.49
1985	111498.2	153006	0.73	87035.7	153006	0.57	69989.8	153006	0.46
1986	118042.9	165020	0.72	96425.9	165020	0.58	70789.9	165020	0.43
1987	67107.3	127164.5	0.53	56713.9	127164.5	0.45	43203.1	127164.5	0.34
1988	79853.9	118507	0.67	71225.1	118507	0.6	57073.9	118507	0.48
1989	73120.9	113167.5	0.65	62438	113167.5	0.55	47003.8	113167.5	0.42
1990	99530.4	150623	0.66	88571.6	150623	0.59	70006.7	150623	0.46
1991	96459.1	131039.5	0.74	85399.4	131039.5	0.65	71186.9	131039.5	0.54
1992	132157.8	170957	0.77	103962.6	170957	0.61	95122.2	170957	0.56
1993	99340.6	141623.5	0.7	89819.3	141623.5	0.63	83568.3	141623.5	0.59
1994	91221.7	139373	0.65	83950.8	139373	0.6	66634.6	139373	0.48
1995	117463.2	169241.5	0.69	102997.8	169241.5	0.61	80979.8	169241.5	0.48
1996	71726.4	130745.5	0.55	64133.6	130745.5	0.49	55931.1	130745.5	0.43
1997	57087.1	101788.4	0.56	42047.2	101788.4	0.41	40778.7	101788.4	0.4
1998	138271.8	203486.3	0.68	120153.6	203486.3	0.59	106916.6	203486.3	0.53
1999	81527.2	145152.4	0.56	65470.6	145152.4	0.45	58655.2	145152.4	0.4
2000	79682.5	133938.1	0.59	63874.3	133938.1	0.48	55996.5	133938.1	0.42
2001	107004.6	144529.8	0.74	88906.6	144529.8	0.62	67584.4	144529.8	0.47
2002	64461.4	104938.2	0.61	43061.5	104938.2	0.41	40659.2	104938.2	0.39
2003	77647.4	128659.2	0.6	57904.9	128659.2	0.45	55563.7	128659.2	0.43
2004	84612.5	128996.4	0.66	62199.5	128996.4	0.48	58588.9	128996.4	0.45
2005	177333.4	231738.4	0.77	152648.1	220736.7	0.69	140020	220736.7	0.63
2006	124073.8	172795.3	0.72	106540.4	172795.3	0.62	88970.1	163227.5	0.55
2007	154178.7	213640.8	0.72	143509.3	213640.8	0.67	131711.2	213640.8	0.62
2008	135896.6	221337.1	0.61	114771.3	221337.1	0.52	115584.8	221337.1	0.52
2009	194123.6	239817.9	0.81	173214	239817.9	0.72	160012.1	239817.9	0.67
2010	197076.9	271426.9	0.73	169274.4	263926.1	0.64	156855.0	271426.9	0.58

Lampiran 4 Contoh hasil analisis tren prediktor hidroklimat Stasiun Babat DAS Bengawan Solo periode tahun 1980-2010, 1980-1998, dan 1998-2010 pada  $\alpha = 5\%$ 

Tahun	Analisis Tren	Prediktor							
		BFa3	BFa5	BFa7	BFI3d	BFI5d	BFI7d	Rann*	Qann
1980-2010	S	132	106	92	80	80	54		120
	Z	2.24	1.80	1.56	1.36	1.36	0.92		2.04
	$f_z$	0.99	0.96	0.94	0.91	0.91	0.82		0.98
	SL	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95		0.95
	Tren	N (S)	N (S)	NT	NT	NT	NT		N (S)
1980-1998	S	20	18	12	40	35	11	-52	6
	Z	0.70	0.63	0.42	1.40	1.22	0.38	-1.82	0.21
	$f_z$	0.76	0.74	0.66	0.92	0.89	0.65	0.97	0.58
	SL	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
	Tren	NT	NT	NT	NT	NT	NT	T (S)	NT
1998-2010	S	37	33	35	31	33	37		33
	Z	2.26	2.01	2.14	1.89	2.01	2.26		2.01
	$f_z$	0.99	0.98	0.98	0.97	0.98	0.99		0.98
	SL	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95		0.95
	Tren	N (S)	N (S)	N (S)	N (S)	N (S)	N (S)		N (S)

\*Data hanya tersedia pada periode 1980-2006; N: Naik, NT: Netral, T: Turun, S: Signifikan, SL: *Significance Level*

**Keterangan:**

$Z > 0 \rightarrow$  Tren Naik

$Z < 0 \rightarrow$  Tren Turun

$Z = 0 \rightarrow$  Netral

$f_z \geq SL (1 - \alpha) \rightarrow$  Signifikan

$f_z < SL (1 - \alpha) \rightarrow$  Tidak Signifikan = Netral