

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/295858983>

# Studi Tentang Pemisahan Aliran Dasar: Perbandingan Metode Grafis dan Filter

Conference Paper · August 2015

CITATIONS

0

READS

2,259

6 authors, including:



**Indarto Indarto**

Universitas Jember

136 PUBLICATIONS 151 CITATIONS

SEE PROFILE



**Elida Novita**

Universitas Jember

102 PUBLICATIONS 182 CITATIONS

SEE PROFILE



**Sri Wahyuningsih**

Universitas Jember

173 PUBLICATIONS 265 CITATIONS

SEE PROFILE



**Hamid Ahmad**

University of Management and Technology (Pakistan)

6 PUBLICATIONS 1 CITATION

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Water Quality Management of Bedadung Watershed [View project](#)



Determination of De-oxygenation and Re-oxygenation Coefficients of Bedadung River as Water Resources Management [View project](#)

---

## Studi Tentang Pemisahan Aliran Dasar: Perbandingan Metode Grafis dan Filter

Indarto<sup>1\*</sup>, Elida Novita, Sri Wahyuningsih, Hamid Ahmad, Diesty Riastuti, Wulandari

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Pertanian - Fakultas Teknologi Pertanian - Universitas Jember

Jl. Kalimantan no. 37 Kampus Tegalboto – Jember 68121

\*Penulis Korespondensi, Email: indarto.ftp@unej.ac.id

### ABSTRAK

Penelitian bertujuan untuk menentukan nilai range parameter dan memilih metode pemisahan yang dapat direkomendasikan untuk diterapkan pada DAS - DAS di wilayah provinsi Jawa Timur. Tujuh (7) metode berbasis filter atau *Recursive-Digital-Filter (RDF)* dan dua (2) jenis metode berbasis grafis digunakan dalam penelitian ini. Data debit harian (dari 1996 sd 2005) yang berasal dari **6 DAS** pada wilayah UPT PSDA Lumajang dipilih sebagai sampel pengujian. Kalibrasi dilakukan menggunakan data debit musim-kemarau (Bulan Juli sd September) pada tiap tahunnya dan diperoleh nilai range parameter untuk tiap metode pada masing-masing DAS. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter optimal dari DAS, untuk menentukan nilai parameter pada DAS lain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai parameter dari DAS terpilih dapat digunakan untuk menentukan aliran dasar (*baseflow*) pada DAS lain. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa pada prinsipnya semua metode dapat digunakan. Selanjutnya, tiga metode (EWMA, Line-Hollick dan metode lokal minimum) memberikan kinerja yang lebih baik untuk diterapkan di wilayah UPT PSDA Lumajang.

**Kata Kunci :** Aliran dasar, Jawa Timur, metode grafis, metode filter digital.

### ABSTRACT

This research aims to determine the range of parameter value and to select the appropriate method for *baseflow separation*. Seven (7) *recursive-digital-filters (RDF)* and two (2) graphical methods are used for this study. Discharge data from 6 watersheds in the administratif area of UPT PSDA **Lumajang** in East Java were used to test the nine (9) algorithms. Firstly, each method was calibrate using daily discharge data for each year (anually) to separate baseflow. Baseflow separation was conducted by means of Hydrooffice (Gregor, 2010) software. Then, optimal parameter values are obtained by avareging the annual values. Calibration process produce optimal parameters value for each watershed. Futhermore, validation are effected using optimal parameter values from watershed having complete discharge data (Rawatamtu) to other watersheds. The result show that optimal parameter values from calibrated watershed could be used to separate baseflow in other waterheds. Results also show that pincipally all methods can be used to separate baseflow on this region. However, three methods (EWMA, Line-Hollick and Local Minimum) perform better than others 6 methods.

**Key Words :** Baseflow Separation, East Java, graphical methods, recursive digital filter.

## PENDAHULUAN

### Peran Aliran Dasar

Hidrograf aliran sungai sebagai respon atas suatu kejadian hujan dapat digambarkan terdiri dari dua komponen, yaitu: Aliran cepat (*direct runoff atau quick flow*) dan aliran dasar (*baseflow*). Hall (1968,1971) mendefinisikan aliran yang terlambat sebagai kontribusi dari air tanah dan aliran air dari sumber lain yang terlambat dan dikenal sebagai aliran dasar (*baseflow*). Aliran dasar sangat penting artinya dalam pengelolaan sumber daya air. Pada saat musim kemarau dimana ketersediaan air di sungai sangat terbatas (karena minim-nya input dari air hujan), maka aliran dasar menjadi sumber utama untuk suplai air bagi banyak kepentingan (irigasi, industri, rumah tangga, pariwisata, dll). Sebaliknya, pada saat musim hujan, perkiraan besarnya aliran dasar menjadi penting supaya kita dapat memprediksi besarnya bagian debit yang merupakan kontribusi dari aliran cepat atau *surface run-off* yang berpotensi menghasilkan banjir. Pada banyak Daerah Aliran Sungai (DAS) aliran dasar merupakan komponen utama dan penyumbang terbesar ke aliran sungai. Rekaman data aliran dasar sangat berguna untuk mengukur dinamika karakteristik air tanah (*groundwater*) di dalam DAS (Brodie dan Hostetler, 2007).

Selanjutnya, digunakan istilah indek aliran dasar (IAD) atau *Baseflow Index (BFI)*. IAD atau BFI dikembangkan selama studi aliran selama debit kecil (*low flow*) di United Kingdom (*Institute of Hydrology, 1980*). IAD menunjukkan proporsi (*rasio*) antara aliran dasar terhadap debit aliran total di Sungai. IAD dihitung dari hidrograf debit aliran harian di Sungai menggunakan metode pemisahan aliran dasar. IAD menunjukkan indek kemampuan DAS untuk menyimpan dan melepas air selama musim kering. IAD digunakan sebagai ukuran aliran sungai yang berasal dari tempat-tempat penyimpanan (air tanah/aquifer) dan merupakan deskriptor DAS (*catchment descriptor*) yang banyak aplikasinya. Contoh aplikasi misalnya untuk: perkiraan debit musim kering (*low flow*) dan evaluasi pengisian kembali air tanah. Menurut Tallaksen dan Van Lannen (2004), nilai IAD yang berkisar 0,9 menunjukkan DAS yang *permeabel*. Nilai IAD yang tinggi menggambarkan DAS yang memiliki jenis aliran relatif stabil (*stable flow regime*) dan DAS tersebut mampu memberikan suplai air ke Sungai, meskipun pada kondisi musim kemarau yang cukup panjang. Nilai IAD yang rendah (antar 0,15 sd 0,2) menunjukkan DAS yang impermeabel dengan debit aliran yang cepat hilang (*flashy flow regime*).

---

IAD juga berkaitan dengan indikator aliran rendah (*low flow indices*) dan sering digunakan sebagai *low flow indice* pada DAS yang tidak dilengkapi dengan peralatan ukur (*ungauged site*). Banyak studi tentang penggunaan BFI sebagai deskriptor DAS dan penggunaan BFI untuk estimasi debit aliran dasar pada DAS yang tidak terukur, misalnya: Institute of Hydrology, 1980; Tallaksen dan Van Lannen, 2004). IAD umumnya berkorelasi dengan karakteristik hidrologi lapisan tanah dan geologi DAS, serta deskriptor penyimpanan lain-nya. Kosekuensinya, informasi tentang sifat tanah di dalam DAS dan karakteristik lapisan geologi dapat ditambahkan ke dalam persamaan regresi suatu model (Tallaksen dan van Lannen, 2004). Banyak metode telah digunakan oleh para praktisi, peneliti dan ahli untuk memperkirakan besarnya aliran dasar yang ada di sungai.

#### **Klasifikasi Metode Analisis Aliran Dasar**

Analisis terhadap komponen aliran dasar dari hidrograf aliran sungai dimulai sejak Boussinesq (1904), mengembangkan teori dan pengalaman empiris-nya. Kemudian dilanjutkan oleh: Maillet (1905) dan Horton (1933). Kajian literatur terkait dengan analisis aliran dasar yang ditulis oleh Hall (1968; 1971), Nathan dan McMahon (1990ab), Tallaksen (1995), Smakhtin (2001ab), Gonzales et al., 2009), menunjukkan beberapa perkembangan pemahaman dan analisis terhadap aliran dasar. Metode pemisahan aliran dasar umumnya membagi aliran menjadi aliran cepat dan aliran dasar menggunakan pemisahan otomatis berbasis waktu. Kajian literatur yang lebih detail dan cukup komprehensif tentang berbagai metode untuk perhitungan dan analisis aliran dasar (*baseflow*) dari hidrograf aliran sungai ditulis oleh Brodie dan Hostetler (2007) dan Murphy et al., (2009). Dari banyak metode yang ada, metode filter digital dan metode grafis digital merupakan dua metode yang cukup mudah untuk pengoperasiannya.

#### **Metode Filter Digital**

Metode filter digital (*recursive digital filter / RDF*) bekerja dengan mengolah data debit untuk memisahkan aliran dasar dari hidrograf. *RDF* merupakan tool yang umumnya dipakai dalam analisis sinyal (misalnya: frekuensi gelombang, sinyal suara, listrik, dll). Pada proses pemisahan aliran dasar, *RDF* digunakan untuk memisahkan komponen aliran cepat (*quickflow*) yang menyerupai sinyal frekuensi tinggi, dan menyisakan komponen aliran dasar (*baseflow*) yang dianalogikan dengan seri sinyal berfrekuensi rendah. Dalam

hal ini, *RDF* dapat bekerja dengan seluruh rekaman data debit di dalam hidrograf aliran sungai untuk menghasilkan hidrograf aliran dasar.

Ada banyak persamaan atau model yang telah dikembangkan untuk pemisahan aliran dasar dari hidrograf menggunakan filter digital, hal ini dijumpai dalam artikel dan review terkait, misalnya: (Pettyjohn dan Henning, 1979); (Nathan dan McMahon, 1990); (Grayson et al., 1996); (Chapman dan Maxwell, 1996); (Chapman, 1999); Furey and Gupta (2001); (Tallaksen dan Van Lannen, 2004); Eckhardt (2005, 2008); Brodie dan Hostetler, 2007); (Murphy et al., 2009) dan Gregor (2010, 2012). Ada banyak algoritma *RDF* yang telah dikembangkan dan terangkum dalam review yang ditulis misalnya, oleh: Brodie and Hostetler (2007), Murphy et. al (2009), dan Gregor(2010, 2012). Beberapa persamaan *RDF* ditampilkan dalam Tabel (1).

**Tabel 1. Beberapa metode *RDF* untuk memisahkan aliran dasar dan menghitung *BFI***

Nama Filter	Persamaan Filter	Referensi
One-parameter algorithm	$q_{b(i)} = \frac{k}{2-k} q_{b(i-1)} + \frac{1-k}{2-k} q_{(i)} \text{ (pers 1)}$	(Chapman dan Maxwell, 1996)
Boughton two-parameter algorithm	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} q_{(i)} \text{ (pers 2)}$	(Boughton, 1993; Chapman dan Maxwell, 1996)
IHACRES three-parameter algorithm	$q_{b(i)} = \frac{k}{1+C} q_{b(i-1)} + \frac{C}{1+C} (q_{(i)} + \alpha_q q_{(i-1)}) \text{ (pers 3)}$	(Jakeman & Hornberger, 1993)
Lyne & Hollick algorithm	$q_{f(i)} = \alpha q_{f(i-1)} + (q_{(i)} - q_{(i-1)}) \frac{1+\alpha}{2} \text{ (pers 4)}$	(Lyne & Hollick, 1979; Nathan & McMahon, 1990)
Chapman algorithm	$q_{f(i)} = \frac{3\alpha-1}{3-\alpha} q_{f(i-1)} + \frac{2}{3-\alpha} (q_{(i)} - \alpha q_{(i-1)}) \text{ (pers 6)}$	(Chapman, 1991; Mau & Winter, 1997)
Eckhardt Filter	$q_{b(i)} = \frac{(1 - BFI_{max}) q_{b(i-1)} + (1 - \alpha) BFI_{max} \times q_{(i)}}{1 - BFI_{max}} \text{ (pers 7)}$	(Eckhardt, 2005)

Keterangan :

- $q_{(i)}$  : nilai aliran total pada hari ke  $i$
- $q_{b(i)}$  : nilai aliran dasar pada hari ke  $i$
- $q_{ff(i)}$  : nilai aliran cepat atau *quick flow/direct run off* pada hari ke  $i$

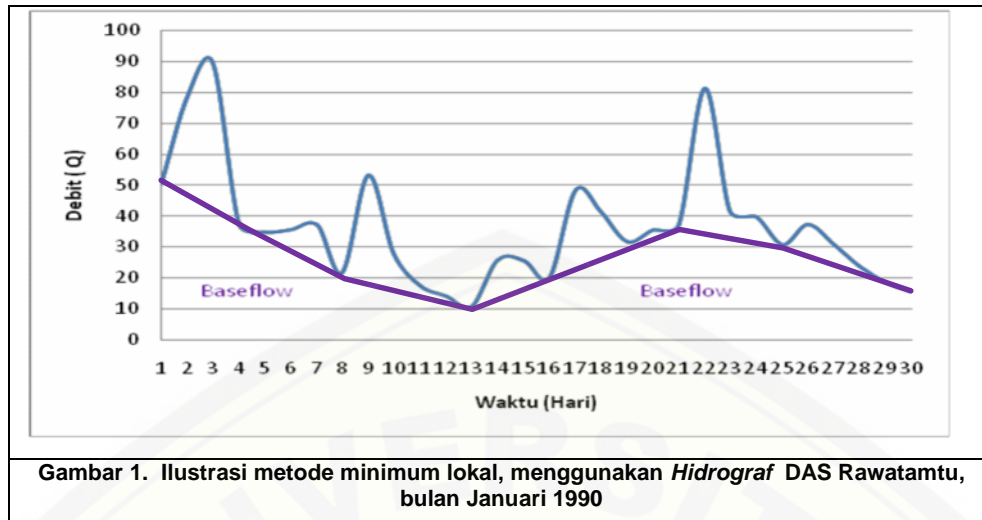
- $q_{(i-1)}$  : nilai aliran total pada hari ke ( $i - 1$ )  
 $q_{b(i-1)}$  : nilai aliran dasar pada hari ke ( $i - 1$ )  
 $q_{f(i-1)}$  : nilai aliran cepat pada hari ke ( $i - 1$ )  
 $k$  : parameter filter ~ konstanta resesi  
 $\alpha$  : parameter filter  
 $C$  : parameter filter.  
 $BFI_{max}$  : Nilai BFI (baseflow index maksimum)

Metode filter (persamaan 1 sd 7 pada Tabel 1) bekerja dengan prinsip menghitung aliran dasar hari ke  $i$ , dengan mempertimbangkan aliran total, aliran dasar, aliran cepat pada hari sebelumnya dan BFI maksimal. Metode tersebut dapat menggunakan satu parameter ( $k$  atau  $\alpha$ ), dua parameter ( $k$  dan  $c$ ;  $BFI_{max}$  dan  $\alpha$ ) atau tiga ( $k$ ,  $c$  dan  $\alpha$ ).

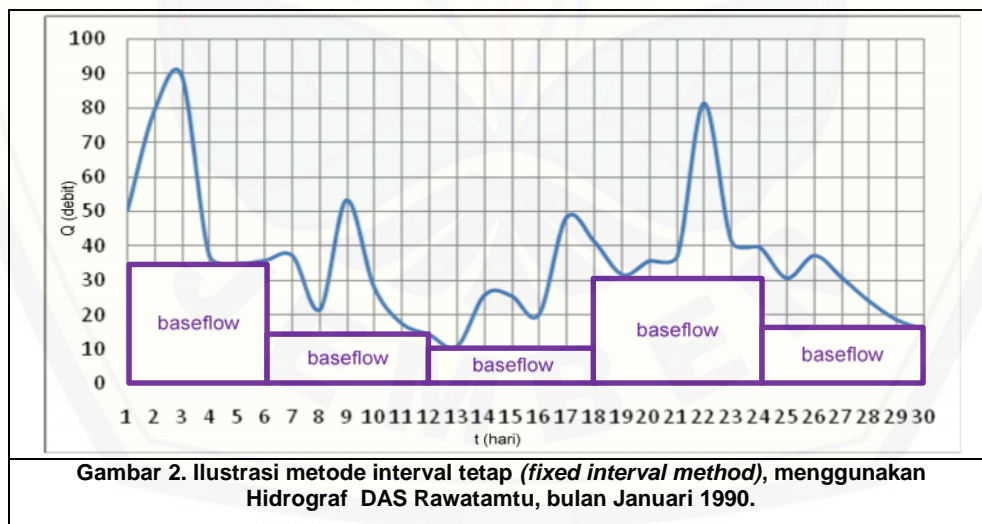
### Metode Grafis

Banyak metode pemisahan secara grafis telah dikembangkan untuk pemisahan aliran dasar (*baseflow separation*). Sloto & Crouse (1996) memberikan contoh tiga metode pemisahan secara grafis: (a) metode interval tetap (*Fixed interval method*), (b) metode interval bergerak (*Sliding interval method*) dan (c) metode minimum lokal (*Local minimum method*). Cara kerja metode minimum lokal (*local minimum methods*) Pattyjohn dan Henning (1979), dijelaskan oleh Sloto & Crouse (1996), sebagai berikut:

Metode minimum (*Local Minimum Method*) mengevaluasi debit setiap harinya untuk menentukan apakah hari tersebut termasuk debit terendah atau tidak, dengan menggunakan interval waktu yang dinyatakan oleh:  $[0,5 (2N^* - 1)$  hari]. Nilai  $N$  didapatkan secara empiris dari persamaan  $N = A^{0,2}$  (Linsley et al. 1982), dimana  $A$  adalah luas daerah aliran sungai (DAS) dalam satuan mil<sup>2</sup>. Selanjutnya debit terendah pada setiap interval dihubungkan dengan garis lurus untuk menentukan *baseflow* (Gambar 1). Pada (Gambar 1) *local minimum* terjadi pada tanggal 8, 13, 16, dan 23 Januari 1990.



Selanjutnya, metode interval tetap (*Fixed Interval Method*) menggunakan debit terendah dalam setiap interval. Banyaknya hari dalam setiap interval ditentukan dengan menggunakan rumus ( $2N \cdot \text{Hari}$ ).  $N$  merupakan jumlah hari setelah limpasan permukaan berakhir. Nilai  $N$  didapatkan secara empiris dari rumus  $N = A^{0.2}$  (Linsley et al., 1958), dimana  $A$  adalah luas daerah aliran sungai (DAS) dengan satuan  $\text{mil}^2$ . Metode ini dapat digambarkan dengan diagram batang yang ditarik ke atas hingga bersentuhan dengan debit terendah pada setiap interval (Gambar 2).



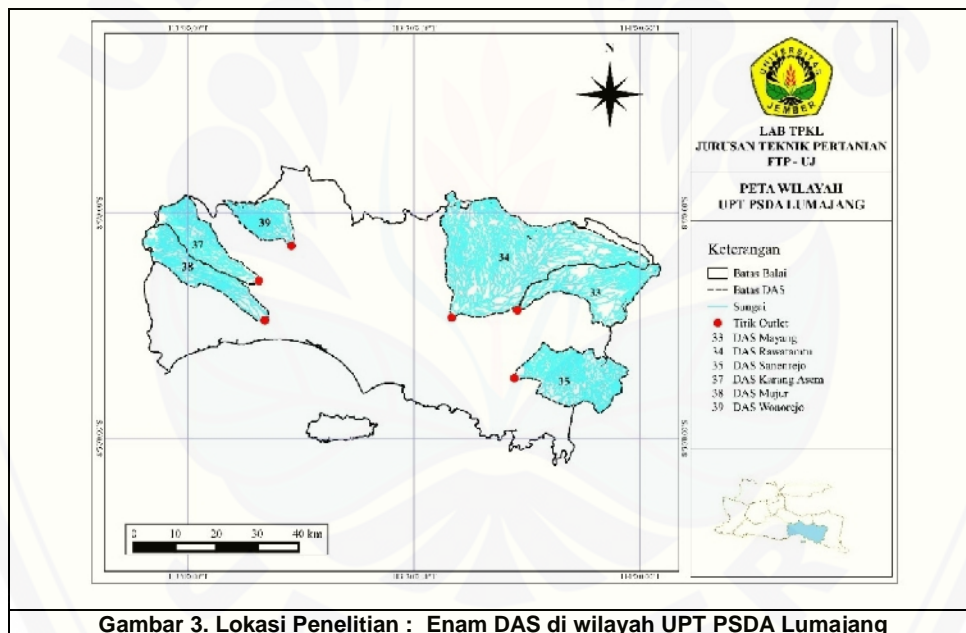
Aliran dasar untuk interval berikutnya ditentukan dengan menggeser diagram batang pada interval yang sama hingga bersentuhan dengan hidrograf pada debit terendah pada interval berikutnya. Proses tersebut diulang pada semua interval berikutnya.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji beberapa metode grafis dan metode filter untuk memperkirakan besarnya kontribusi aliran dasar pada wilayah UPT PSDA Lumajang. Kedua metode dipilih karena prinsip dan pengoperasiannya sangat mudah. Penelitian juga bertujuan untuk merekomendasikan metode mana dapat digunakan untuk wilayah tersebut.

## BAHAN DAN METODE

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel data pada enam DAS di wilayah administratif UPT PSDA Lumajang (Jawa Timur), mencakup: Das Mayang (33), DAS Rawatmatu (34), DAS Sanenrejo (35), DAS Karang Asem (37), DAS Mujur (38) dan DAS Wonorejo (39) (Gambar 3).



Karakteristik fisik ke enam DAS tersebut diringkaskan dalam Tabel 2. Luas DAS bervariasi dari 116 km<sup>2</sup> sd 771 km<sup>2</sup>, bentuk DAS triangle, bulat dan memanjang (tabel 2).

**Tabel 2. Perbandingan karakteristik fisik DAS**

No DAS	Nama DAS	Bentuk DAS	Luas DAS (km <sup>2</sup> )
33	Mayang	Memanjang	264,25
34	Rawatamtu	Triangle melebar	<b>771,83</b>
35	Sanenrejo	Elips memanjang	275,48
37	Karang Asam	Memanjang	179,16
38	Mujur	Memanjang	199,14
39	Wonorejo	Triangle melebar	116,84



Karakteristik hidro-meteorologi ke enam DAS tersebut diringkaskan dalam tabel (2). Data debit tersedia dari 1996 sd 2005. Data hujan tersedia bervariasi, umumnya dari 1997 sd 2002. Hujan harian maksimal antara 98 sd 125 mm/hari. Debit rerata antara 5 sd 36 m<sup>3</sup>/hari, sedangkan debit maksimal tercatat antara 23 sd 588 m<sup>3</sup>/hari.

**Tabel 3. Perbandingan karakteristik Hidro-meteorologi DAS**

No DAS	Nama DAS	Karakteristik hujan harian		Karakteristik debit		Data debit tersedia
		Rerata (mm/hari)	Maksimal (mm/hari)	Rerata (m <sup>3</sup> /hari)	Maksimal (m <sup>3</sup> /hari)	
33	Mayang	0,90	69,70	5,75	70,45	1996 - 2005
34	Rawatamtu	0,90	68,40	35,91	588,00	1996 - 2005
35	Sanenrejo	3,88	102,50	9,89	283,00	1996 - 2005
37	Karang Asam	7,53	104,00	14,35	104,00	1996 - 2005
38	Mujur	7,53	124,20	5,05	23,20	1996 - 2005
39	Wonorejo	0,80	99,30	18,57	196,06	1996 - 2005

Peruntukan lahan didominasi oleh: lahan persawahan (irigasi dan tadah hujan), pemukiman, hutan, kebun dan perladangan. Jenis tanah utama terdiri dari: mediteran, andosol dan grumosol.

### **Input data dan Metode Analisis**

#### **Input data**

Input utama adalah data debit harian. Data debit harian diurutkan dengan excel ke dalam dua kolom dan diformat ke dalam (\*.txt), selanjutnya dimasukkan ke dalam perangkat lunak HydroOffice (Gregor, 2010, 2012).

#### **Metode analisis**

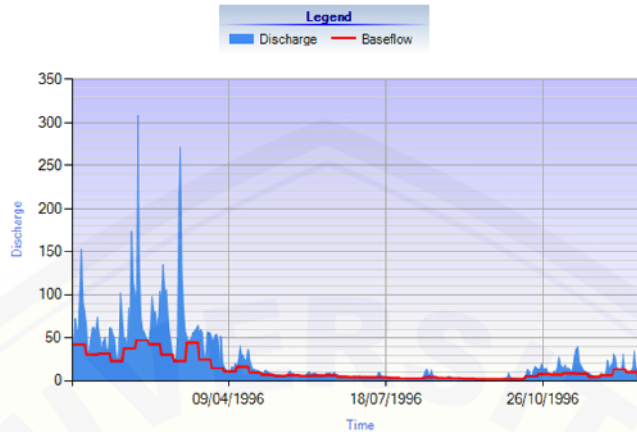
Pemisahan aliran dasar dari debit total, dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HydrOffice ([www.hydrooffice.org](http://www.hydrooffice.org)) (Gregor, 2010, 2012), menggunakan 7 metode filter (One parameter, Boughthon – two parameter, Ihacres, Chapman, Lynie-Hollick, EWMA dan Eckhardt) dan dua metode berbasis grafis (metode interval tetap dan minimum lokal). Analisis statistik hasil pemisahan dilakukan dengan menggunakan statistik : RMSE, scatter plot dan visualisasi grafis menggunakan analisis kurva durasi aliran (*flow Duration Curve*).

### **Tahap Pelaksanaan**

#### **Proses Kalibrasi**

Proses kalibrasi dilakukan dengan memasukkan nilai parameter secara manual sampai menghasilkan nilai aliran dasar yang sesuai untuk tiap tahunnya. Penentuan nilai

parameter dihentikan jika grafik garis (merah) pada musim kemarau (periode tidak ada hujan) berimpit dengan grafik luasan (biru) (Gambar 4).



**Gambar 4. Proses kalibrasi pada DAS Rawatamtu**

Selanjutnya, nilai parameter untuk tiap DAS ditentukan dari nilai rerata tiap tahunnya. Kalibrasi dilakukan pada setiap DAS dengan cara yang sama, sehingga didapatkan range nilai parameter tiap DAS dan nilai rerata-nya.

**Analisis statistik hasil kalibrasi**

Analisis statistik hasil kalibrasi dilakukan dengan membandingkan aliran dasar terhitung dengan debit total di sungai (terukur) pada bulan Juli sd Agustus, dengan asumsi bahwa pada ke dua bulan tersebut aliran air di Sungai hanya terdiri dari aliran dasar (*baseflow*), karena hujan tidak turun atau sangat sedikit sehingga komponen aliran cepat (*Quick flow/DRO*) mendekati 0. Selanjutnya, digunakan selisih akar kuadrat rerata atau *Root Mean Square Error (RMSE)* sebagai berikut:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(Q_M - Q_0)^2}}{n} \dots\dots\dots (pers 8)$$

Keterangan:

- $Q_M$  : aliran dasar terhitung (m<sup>3</sup>/detik) ,
- $Q_0$  : debit terukur di Sungai (m<sup>3</sup>/detik),
- $n$  : jumlah sampel data debit harian.

Semakin kecil nilai RMSE maka semakin ada kemiripan antara debit terhitung dan terukur, artinya: metode pemisahan dapat menghitung aliran dasar mendekati debit total yang ada di Sungai. Perhitungan RMSE periode musim kemarau dari Juli sd

September. Selanjutnya, visualisasi antara debit terhitung dan terukur dilakukan dengan menggunakan *scatter plot* antara debit total di sungai (terukur) dan debit terhitung (aliran dasar) untuk periode kalibrasi. Kinerja model dalam menghitung aliran dasar juga dapat dinilai dari koefisien regresi (koefisien determinasi) antara debit terhitung dan terukur.

### Proses Validasi

Validasi Parameter dari DAS Rawatamtu ke DAS lainnya

Proses validasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter optimal (rerata) dari DAS Rawatamtu (dengan asumsi data nya lebih lengkap) ke DAS lainnya (dengan asumsi data kurang lengkap).

### Visualisasi FDC

Visualisasi FDC dilakukan untuk melihat metode mana yang menghasilkan proses pemisahan aliran dasar paling baik. Pada kasus di wilayah UPT PSDA Lumajang (Jember dan Lumajang) dimana curah hujan sangat minim atau hampir tidak ada selama musim kemarau (dalam hal ini diambil bulan paling kering antara Juli sd September), maka pemisahan yang berkinerja baik akan menghitung aliran dasar pada bulan Juli sd September mendekati debit terukur (debit total di Sungai), sebaliknya pada musim hujan (misalnya: periode oktober sd april) maka metode tersebut dapat memisahkan komponen aliran dasar dari debit total. Karena pada musim penghujan kontribusi aliran cepat dan komponen aliran selain aliran dasar sangat signifikan. Hal ini dapat kita amati melalui bentuk Kurva Durasi Aliran (KDA) atau *flow duration curve (fdc)*.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Kalibrasi

#### Nilai range parameter yang diuji

Rentang nilai parameter yang didapatkan dari masing-masing metode dan diujikan pada semua DAS ditampilkan pada Tabel (4). Nilai BFIMax untuk Eckhardt filter tentukan = 0,80.

**Tabel 4. Rentang nilai parameter yang diuji tiap tahunnya pada semua DAS**

Nama Filter	Range Nilai Paramter yang dicoba				
	k	C	$\alpha$	N	f
<i>One parameter</i>	0,910 - 0,999				

<i>Boughthon - Two parameter</i>	0,860 - 0,970	0,020 - 0,110			
IHACRES	0,860 - 0,950	0,010 - 0,130	0,030-0,140		
Lynie-Hollick			0,993-0,999		
Chapman			0,910-0,999		
EWMA			0,001-0,004		
<i>Eckhardt Filter</i>			0,96 - 0,99	-	-
<i>Minimum Lokal</i>				4 - 9	0,87 – 0,89
<i>Fixed Interval</i>				9 - 21	-

### Parameter Optimal pada setiap DAS

Tabel 5a dan 5b menampilkan nilai parameter optimal pada masing-masing DAS untuk setiap metode. Dalam hal ini parameter optimal adalah nilai rerata parameter dari nilai parameter yang dicoba pada setiap tahunnya.

**Tabel 5a. Nilai parameter optimal pada masing-masing DAS**

Nama DAS	<i>One parameter</i>	<i>Boughthon- Two parameter</i>		<i>Ihacres</i>			<i>Lyne-Hollick</i>	<i>Chapman</i>	<i>EWMA</i>
	k	k	C	k	c				
Mayang	0,956	0,915	0,070	0,890	0,105	0,082	0,998	0,960	0,002
Rawatamtu	<b>0,990</b>	<b>0,931</b>	<b>0,027</b>	<b>0,931</b>	<b>0,024</b>	<b>0,061</b>	<b>0,998</b>	<b>0,998</b>	<b>0,001</b>
Sanenrejo	0,968	0,917	0,043	0,922	0,043	0,082	0,997	0,999	0,001
Karang Asem	0,993	0,933	0,025	0,928	0,024	0,061	0,997	0,997	0,998
Mujur	0,955	0,936	0,065	0,920	0,075	0,100	0,998	0,990	0,002
Wonorejo	0,922	0,915	0,086	0,900	0,086	0,111	0,997	0,968	0,002

**Tabel 5b. Nilai parameter optimal pada masing-masing DAS**

Nama DAS	<i>Local Minimum Method</i>		<i>Fixed Interval Method</i>	<i>Eckhardt Filter</i>	
	f	N	N		BFI(max)
Mayang	0,89	4	10	0,96	0,80
<b>Rawatamtu</b>	<b>0,89</b>	<b>9</b>	<b>21</b>	<b>0,99</b>	<b>0,80</b>
Sanenrejo	0,88	4	9	0,98	0,80
Karang Asem	0,89	5	9	0,96	0,80
Mujur	0,87	6	16	0,98	0,80
Wonorejo	0,88	5	9	0,97	0,80

### Hasil Analisis statistik : RMSE dan *Scater-plot*

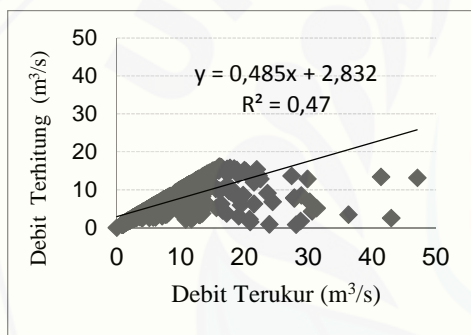
Tabel 6 menampilkan contoh hasil pengujian secara statistik (nilai RMSE), yang menunjukkan selisih antara debit terhitung (aliran dasar) dan debit terukur (debit total di

Sungai), untuk DAS Rawatamtu. Perhitungan RMSE menggunakan data bulan Juli sd September dari 1996 sd 2005.

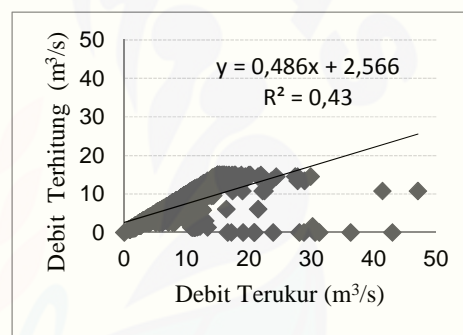
**Tabel 6. Nilai RMSE dan Koefisien regresi ( $R^2$ ) pada DAS Rawatamtu**

Metode	Metode RDF							Metode Grafis	
	<i>One parameter</i>	<i>Boughthon</i>	IHACRES	Lynie & Hollick	Chapman	EWMA	Eckhardt	Min	Fixed
RMSE	0,109	0,236	0,239	<b>0,051</b>	<b>0,090</b>	<b>0,077</b>	<b>0,085</b>	0,140	0,149
Koef regresi	0,714	<b>0,811</b>	<b>0,805</b>	<b>0,927</b>	<b>0,776</b>	<b>0,836</b>	<b>0,81</b>	0,47	0,43

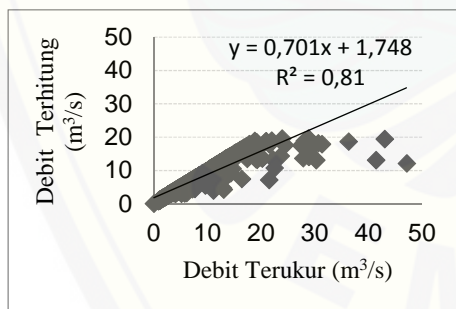
Selanjutnya, korelasi antara debit terhitung vs debit terukur untuk masing-masing metode, dapat ditampilkan dalam bentuk *scater-plot*. Gambar 6 menampilkan contoh scater-plot pada kalibrasi di DAS Rawatamtu untuk semua metode. Scater-plot menggunakan data bulan Juli sd September, dari tahun 1996 sd 2005.



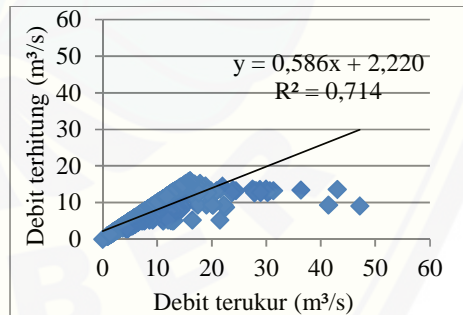
*Local Minimum Method*



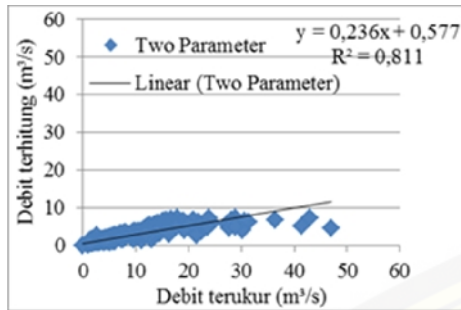
*Fixed Interval Method*



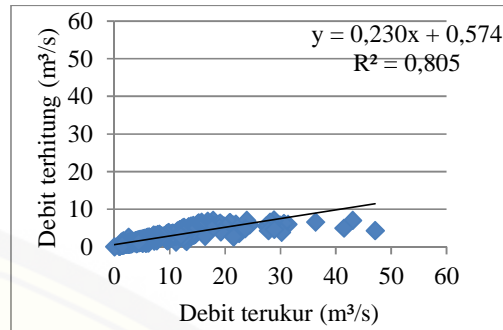
*Eckhardt Filter*



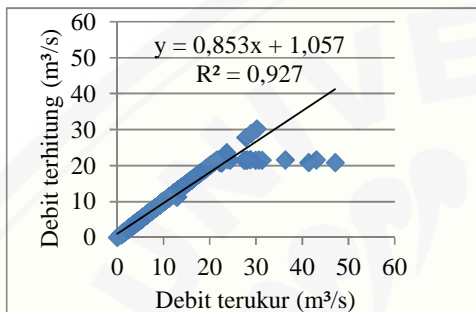
One parameter



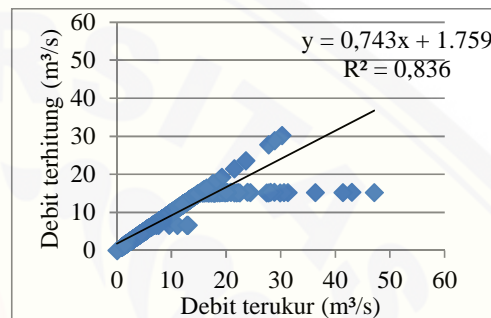
*Boughthon – two parameter*



Ihacres



*Lyne & Hollick*



EWMA

**Gambar 5. Scater-plot debit terhitung (aliran dasar) vs debit terukur (debit total) di DAS Rawatamtu.**

Tabel 6 menunjukkan bahwa secara umum semua metode dapat digunakan. Beberapa metode filter menghasilkan performa relatif lebih baik pada periode kalibrasi. Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE yang relatif kecil dan nilai koefisien regresi mendekati 1.

### Hasil Validasi

#### Substitusi nilai parameter

Tabel 6 menampilkan analisa statistik (nilai RMSE) hasil perhitungan aliran dasar pada semua DAS. Dalam hal ini, nilai parameter optimal yang sudah dikalibrasi pada DAS Rawatamtu, digunakan untuk melakukan simulasi (menghitung) nilai aliran dasar pada DAS lainnya. Selanjutnya, hasil perhitungan aliran dasar selama bulan Juli sd September (dari 1996 sd 2005), digunakan untuk menghitung nilai RMSE dan hasilnya ditampilkan dalam tabel 7.

**Tabel 7. Nilai RMSE pada semua DAS, menggunakan nilai parameter optimal DAS Rawatamtu**

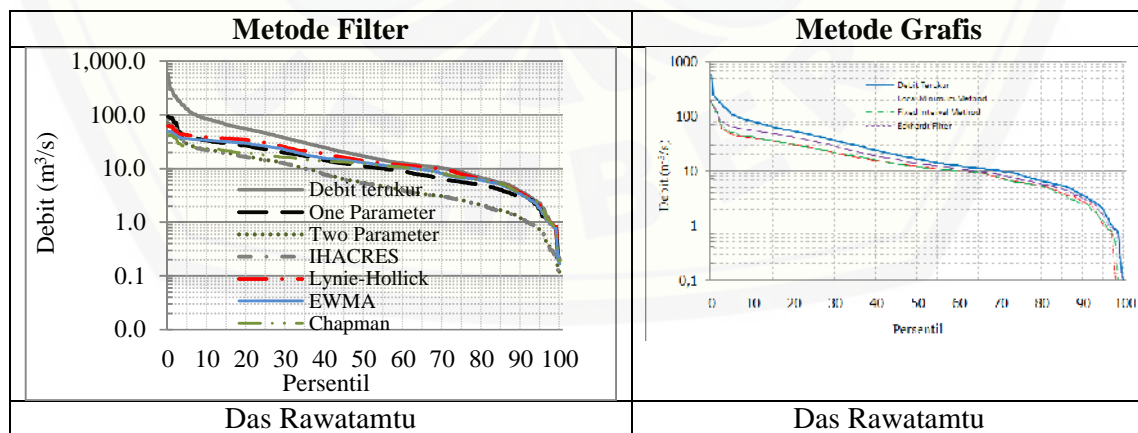
Nama DAS	Metode RDF							Metode Grafis	
	<i>One parameter</i>	<i>Boughthon</i>	IHACRES	Lynie & Hollick	Chapman	EWMA	Eckhardt	Min	Fixed
Rawatamtu	<b>0,109</b>	<b>0,236</b>	<b>0,239</b>	<b>0,051</b>	<b>0,090</b>	<b>0,077</b>	<b>0,085</b>	<b>0,140</b>	<b>0,149</b>

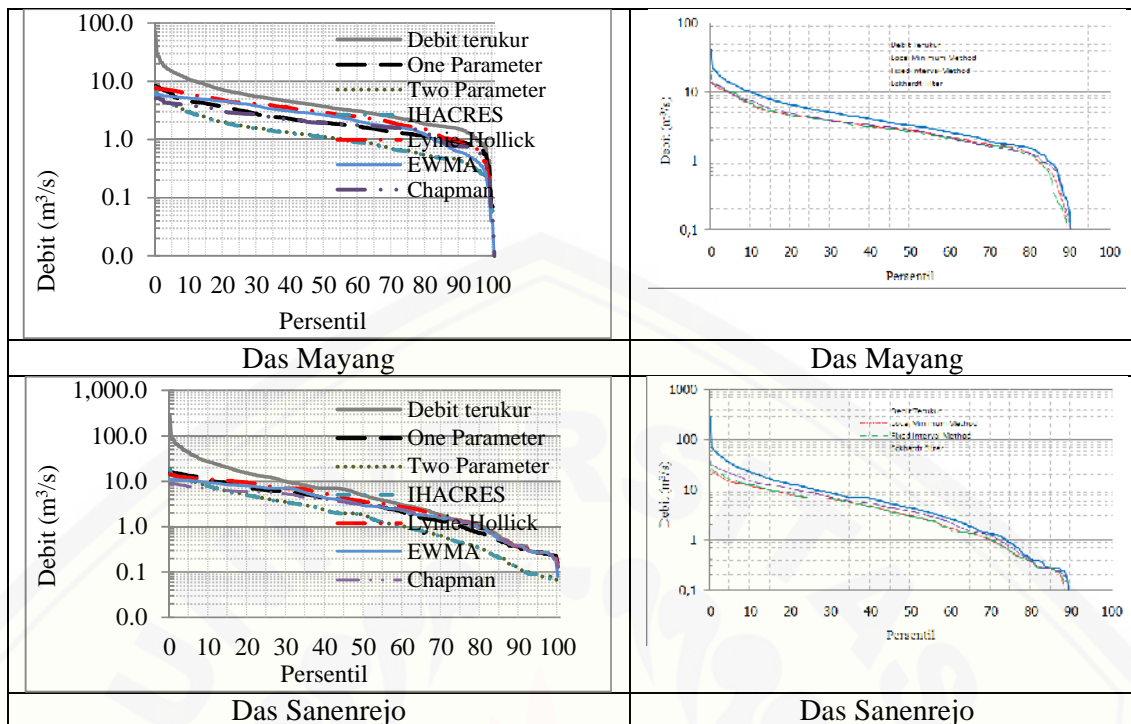
Mayang	0,030	0,055	0,056	<b>0,014</b>	<b>0,025</b>	<b>0,026</b>	<b>0,017</b>	0,016	0,018
Sanenrejo	0,081	0,107	0,108	<b>0,066</b>	<b>0,073</b>	<b>0,069</b>	<b>0,060</b>	0,062	0,063
Mujur	0,151	0,206	0,208	<b>0,147</b>	<b>0,185</b>	<b>0,188</b>	<b>0,054</b>	0,051	0,053
Wonorejo	0,242	0,348	0,351	<b>0,163</b>	<b>0,232</b>	<b>0,192</b>	<b>0,160</b>	0,150	0,156
Karang Asem	<b>0,366</b>	0,435	0,439	<b>0,324</b>	<b>0,073</b>	<b>0,387</b>	<b>0,274</b>	0,190	0,267

Tabel 7 menunjukkan bahwa penerapan setting nilai parameter DAS rawatamtu pada DAS yang lain, dapat menghasilkan nilai RMSE lebih kecil atau lebih besar. Nilai RMSE tertinggi 0,439 <<< ~1. Dapat dikatakan bahwa secara prinsip nilai parameter yang dikalibrasi pada DAS Rawatamtu, dapat digunakan untuk pemisahan aliran dasar pada DAS Mayang (DAS 35) dan Sanenrejo (DAS 36). Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE yang menjadi lebih kecil (hasil cenderung positif). Sebaliknya, pada kasus DAS Mujur (DAS 37), Karang Asem (DAS 39) dan Wonorejo (DAS 39). Faktor lokasi mungkin berpengaruh. DAS dengan lokasi yang berdekatan cenderung memiliki karakteristik hujan dan debit yang identik, sehingga penggunaan nilai parameter yang sama menghasilkan kinerja yang relatif sama.

### Visualisasi melalui FDC

Gambar (6), menampilkan grafik KDA (FDC) untuk membandingkan antara debit terhitung (aliran dasar) yang dihitung dengan masing-masing metode dan debit terukur (debit total di Sungai) sepanjang periode 1996 sd 2005. Secara umum, KDA menggambarkan distribusi frekuensi kejadian debit yang lebih dari batas tertentu (Indarto et al., 2012). Sumbu X menggambarkan frekuensi kejadian debit lebih dari batas tertentu (%) dan sumbu Y menggambarkan besarnya debit sebagai batas untuk menentukan frekuensi debit  $\geq$  batas tersebut.





Gambar 7. Perbandingan hasil pemisahan aliran dasar: metode filter dan metode grafis.

Dalam hal ini, debit besar akan tergambar pada bagian sisi kiri-atas bidang grafik (dimana debit besar, frekuensi kejadian rendah/jarang). Sementara grafik bagian kanan-bawah menggambarkan debit kecil, yang umumnya sering terjadi sehingga frekuensi kejadian tinggi. Kurva pada kolom kiri (metode filter) menunjukkan perbandingan antara debit terukur (debit total) dengan debit aliran dasar yang dihitung dengan enam (6) metode filter (one parameter, boughthon-two parameter, IHACRES, Linie-Hollick, Chapman dan EWMA). Pada kolom kanan ditampilkan perbandingan antara kurva debit terukur dengan debit terhitung (aliran dasar) yang dihitung menggunakan dua metode grafis (minimum lokal /local minimum, dan Fixed interval) dan filter Eckhardt. Metode pemisahan yang bekerja dengan baik akan menghasilkan grafik yang berimpit antara debit terukur dan debit terhitung, pada bagian kanan-bawah (debit kecil), karena debit kecil identik dengan debit pada saat tidak ada hujan (musim kemarau) atau periode dimana kontribusi aliran dasar maksimal.

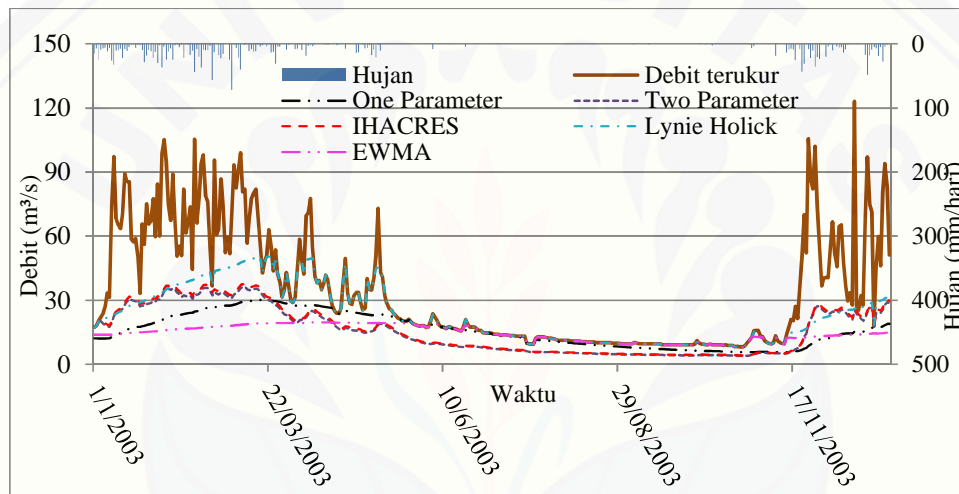
Sebaliknya, metode pemisahan aliran dasar yang handal juga harus dapat memisahkan aliran dasar dari debit terukur (debit total) pada bagian kiri-atas grafik. Hal ini menunjukkan bahwa pada kejadian debit besar, komponen aliran dasar hanya merupakan sebagian kecil dari debit yang terukur di Sungai. Pada musim penghujan



dimana terjadi debit besar, umumnya aliran di Sungai disumbang sebagian oleh komponen aliran cepat (*quick flow*). Oleh karena itu, jika di plot antara aliran dasar dan debit total di Sungai, akan terpisah kurva nya. Debit terukur menunjukkan kurva yang semakin naik (pada sisi kiri-atas) sebaliknya kurva aliran dasar akan lebih rendah dan terpisah. Hal ini ditunjukkan oleh sebagian besar metode yang digunakan dalam penelitian ini.

### Visualisasi melalui Hidrograf

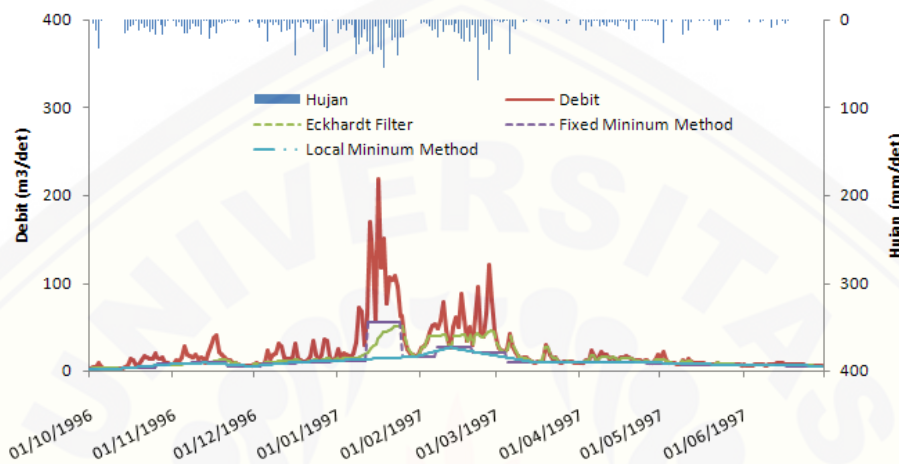
Visualisasi untuk membandingkan hidrograf aliran total di Sungai atau debit terukur dengan debit aliran dasar hasil perhitungan menggunakan enam (6) metode filter ditampilkan pada gambar 7.



Gambar 7. Pemisahan aliran dasar periode 1 Januari 2003 - 31 Desember 2003 pada DAS Rawatamtu

Terlihat bahwa metode filter Lynie-Hollick dan EWMA mengestimasi aliran dasar pada musim kemarau relatif mendekati debit terukur di Sungai. Sebaliknya, pada musim penghujan aliran dasar dihitung relatif tinggi. Kedua metode merespon bahwa besar hujan yang jatuh pada saat musim hujan, berpengaruh positif terhadap infiltrasi dan meningkatnya aliran air tanah (groundwater). Selanjutnya, peningkatan air tanah akan menyumbang terhadap kenaikan aliran dasar di Sungai. Sebaliknya, metode one-parameter cenderung menghitung aliran dasar pada level yang konstan antara musim kemarau dan penghujan. Adapun, tiga (3) metode lainnya (Boughton – two parameter, Ihacres, dan Chapman) cenderung mengestimasi aliran dasar lebih rendah.

Visualisasi yang sama untuk dua metode grafis (minimum lokal dan interval tetap) dan filter Eckhardt ditampilkan oleh gambar 10. Terlihat bahwa Eckhardt filter dan metode minimum lokal cenderung memprediksi aliran dasar lebih tinggi pada saat kejadian banjir besar (Januari sd Maret 1997), sementara metode interval tetap menghitung aliran dasar lebih rendah dari dua metode tersebut.



Gambar 8. Hasil pemisahan aliran dasar pada DAS Rawatamtu periode penghujan Oktober 1996 - Juni 1997

### Nilai Baseflow Index (BFI)

Indek aliran dasar atau *Baseflow index (BFI)* menyatakan perbandingan besarnya aliran dasar terhadap debit total di Sungai. Pada penelitian ini BFI dihitung setiap hari (tiap interval waktu) sepanjang periode data debit yang digunakan (1996 sd 2005). Tabel 8 meringkaskan BFI minimum, rerata, maksimum dari semua metode yang digunakan pada semua DAS.

Tabel 8. Ringkasan statistik Nilai BFI (*Baseflow Index*) Rerata 1996 sd 2005

Metode	DAS yang diuji					
	Rawatamtu	Mayang	Sanenrejo	Karangasem	Mujur	Wonorejo
<i>One parameter</i>	0,689	0,588	0,726	0,552	0,585	0,544
<i>Two parameter</i>	0,530	0,501	0,560	0,502	0,501	0,500
<i>IHACRES</i>	0,552	0,518	0,578	0,501	0,515	0,510
<i>Chapman</i>	0,708	0,591	0,716	0,583	0,598	0,542
<i>Lynie &amp; Hollick</i>	0,863	0,866	0,868	0,892	0,878	0,916
<i>EWMA</i>	0,773	0,700	0,767	0,697	0,625	0,741

Eckhardt	0,95	0,82	0,94	0,84	0,82	0,84
Minimum Lokal	0,89	0,82	0,91	0,92	0,82	0,96
Fixed Interval	0,85	0,79	0,88	0,80	0,92	0,94

Nilai BFI rerata berkisar antara 0,50 sd 0,90 pada semua DAS. Metode Grafis (minimum lokal dan interval tetap) cenderung menghasilkan nilai BFI rerata tinggi. Hal ini karena metode grafis memperkirakan aliran dasar dari satu ke jadian hidrograf ke lainnya dengan mempertimbangkan nilai debit terendah pada setiap interval. Pada musim penghujan, interval kedin debit juga menghasilkan debit terendah yang cukup besar, sehingga kontribusi terhadap aliran dasar juga dihitung besar. Metode one parameter, Boughton – two parameter dan Ihacres cenderung menghasilkan nilai BFI yang lebih rendah dibanding metode lainnya.

## SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa baik metode filter digital maupun metode grafis dapat digunakan untuk mengestimasi aliran dasar. Pada kasus DAS-DAS di UPT PSDA Lumajang, metode filter (*Lynie-Hollick*, *EWMA*, *Chapman*, dan *Eckhardt*) dan metode grafis (minimum lokal dan interval tetap) cenderung menghasilkan perhitungan aliran dasar lebih tinggi. Sebaliknya, tiga metode filter (*one parameter*, *Boughton-two parameter* dan *Ihacres*) cenderung mengestimasi aliran dasar lebih rendah. Hasil penelitian menunjukkan range nilai BFI rerata antara: 0,50 sd 0,90.

## DAFTAR PUSTAKA

- Brodie, R., and Hostetler, S., 2007, *An overview of tools for assessing groundwater-surface water connectivity*. Bureau of Rural Sciences, Canberra. [ross.s.brodie@brs.gov.au](mailto:ross.s.brodie@brs.gov.au).
- Boussinesq, J., 1904, *Recherches thoretique sur l'rcoulement des nappes d'eau infiltrés dans le sol et sur le débit des sources*. J. Math. Pure Appl., 10 (5th series), 5-78. Cited by Hall.
- Boughton, W. C., 1987, *Hydrograph analysis as a basis of water balance modelling*. The Institution of Engineers, Australia, Civil Engineering Transaction, CE29(1): 8 -33.
- Boughton, W.C., 1988, *Partitioning streamflow by computer*. The Institution of Engineers, Australia, Civil Engineering Transaction, pp: 285 -291.
- Boughton, W.C. 1993, *A hydrograph-based model for estimating water yield of ungauged catchments*. Institute of Engineers Australia National Conference. Publ. 93/14, 317-324 Boughton, W. C. 1993. A Hydrograph Based Model For Estimating The Water Yield Of Ungauged Catchments. *Hydrology and Water Resources Symposium*. Newcastle: Institute of Engineers Australia.
- Chapman, T. G. dan Maxwell, A. I. 1996. Baseflow Separation - Comparison Of Numerical Methods With Tracer Experiments. *Water Resour.* Hobart : Institute of Engineers Australia.

- Chapman, T.G. 1991, *Comment on evaluation of automated techniques for base flow and recession analyses*, by RJ Nathan and TA McMahon. Water Resources Research, 27(7), 1783-1784
- Chapman T.G., and Maxwell A.I., 1996, *Baseflow separation – comparison of numerical methods with tracer experiments*. Institute Engineers Australia National Conference. Publ. 96/05, 539-545.
- Chapman T., 1999, *A comparison of algorithms for stream flow recession and baseflow separation*. Hydrological Processes 13: 710-714
- Eckhardt K. 2005, *How to construct recursive digital filters for baseflow separation*. Hydrological Processes 19, 507-515.
- Eckhardt, K., 2008, *A comparison of base flow indices, which were calculated with seven different base flow separation methods*. J. Hydrol., 352, 168–173.
- Furey, P.R., and Gupta, V.K., 2001, *A physically based filter for separating base flow from streamflow time series*. Water Resources Research 37(11):2709-2722.
- Grayson, R.B, Argent, R.M, Nathan, R.J, McMahon, T.A, Mein, R.G., 1996, *Hydrological recipes: estimation techniques in Australian hydrology*. CRC for Catchment Hydrology.
- Gonzales, A. L., Nonner, J., Heijkers, J., and Uhlenbrook, S., 2009, *Comparison of different base flow separation methods in a lowland Catchment*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 13, 2055–2068, 2009. [www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/2055/2009/](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/2055/2009/).
- Gregor, M., 2010, *Hydrooffice User Manual version 2010*. <http://hydrooffice.org>
- Gregor, M., 2012, *Hydrooffice User Manual version 2012*. <http://hydrooffice.org>
- Hall, F. R., 1968, *Baseflow recessions – a review*. Water Resources Research 4(5), 973-983
- Hall, A.J., 1971, *Baseflow recessions and the baseflow hydrograph separation problem*. Hydrology papers 1971, The Institution of Engineers, Australia, pp: 159 – 170.
- Horton, R., E., 1933, *The role of infiltration in the hydrological cycle*. Trans. Am. Geophys. Union, 14, 446-460
- INSTITUTE OF HYDROLOGY, 1980, *Low flow studies*. Res. Rep. 1. Institute of Hydrology, Wallingford, UK.
- Jakeman, A.J. and Hornberger, G.M., 1993, *How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model*. Water Resources Research 29, pp2637-2649.
- Linsley, R.K., Kohler M.A., Paulhus J.L.H., Wallace J.S., 1958, *Hydrology for engineers*. McGraw Hill, New York.
- Lyne, V. and Hollick, M., 1979, *Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling*. Institute of Engineers Australia National Conference. Publ. 79/10, 89-93.
- Murphy, R., Graszkiwicz, Z., Hill, P., Neal, B., Nathan, R., Ladson, To., 2009, *Australian rainfall and runoff revision*. Project 7: baseflow for catchment simulation. Stage 1 report – volume 1 - selection of approach. AR&R Report Number, P7/S1/004, ISBN: 978-085825-9218, Engineers Australia, Engineering House 11, National Circuit, Barton ACT 2600.
- Mau, D.P., Winter, T.C., 1997, *Estimating ground-water recharge from streamflow hydrographs for a small mountain watershed in a temperate humid climate*. New Hampshire, USA. Ground Water, 35(2), 291-304
- Maillet, E., 1905, *Essais d'Hydraulique Souterraine et Fluviale*. Hermann Paris, 218 p.
- Nathan R.J. and McMahon T.A., 1990a, *Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis*. Water Resources Publications : USA. 26(7):1465-1473.
- Nathan R.J. and McMahon T.A., 1990b, *Estimating low flow characteristics in ungauged catchments*. *Water Res. Manage.* 6 85-100.
- Pettyjohn, W.A., and Henning R., 1979, *Preliminary estimate of ground-water recharge rates, related streamflow and water quality in Ohio*. Ohio State University Water Resources Centre Project Completion Report No 552, 323pp.
- Sloto, R., A., Crouse, M., Y., 1996, *HYSEP: A computer program for streamflow hydrograph separation and analysis*. U.S. Geological Survey, Water-Resources Investigations, Report 96-4040 Pennsylvania, 46 p.
- Smakhtin V.U., 2001a, *Estimating continuous monthly baseflow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve*. *Water SA* 27(2) 213-217.
- Smakhtin, V.U., 2001b, *Low flow hydrology: a review*. *J Hydrology* 240, 147-186.
- Tallaksen, L., M., 1995, *A review of baseflow recession analysis*. *Journal of Hydrology* 165:349-370.
- Tallaksen, L., M., Vvan Lanen, H., A., J., van eds., 2004, *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Science, 48. Amsterdam, Elsevier Science B.V, ISBN 0-444-51688-3, pp. 579

Tularam, G. A. and Ilahee, M., 2008, *Exponential smoothing method of baselow separation and its impact on continuous loss estimates*. American Journal of Environmental Sciences. 4(2), 136-144.

