

jTEP

JURNAL KETEKNIKAN PERTANIAN

P-ISSN No. 2407-0475 E-ISSN No. 2338-8439

Vol. 4, No. 2, Oktober 2016



Publikasi Resmi
Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
(Indonesian Society of Agricultural Engineering)
bekerjasama dengan
Departemen Teknik Mesin dan Biosistem - FATETA
Institut Pertanian Bogor



Jurnal Keteknikan Pertanian (JTEP) merupakan publikasi resmi Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA). JTEP terakreditasi berdasarkan SK Dirjen Penguatan Riset dan Pengembangan Kementerian Ristek Dikti Nomor I/E/KPT/2015 tanggal 21 September 2015. Selain itu, JTEP juga telah terdaftar pada Crossref dan telah memiliki Digital Object Identifier (DOI) dan telah terindeks pada ISJD, IPI, Google Scholar dan DOAJ. Sehubungan dengan banyaknya naskah yang diterima redaksi, maka sejak edisi volume 4 No. 1 tahun 2016 redaksi telah meningkatkan jumlah naskah dari 10 naskah menjadi 15 naskah untuk setiap nomor penerbitan, tentunya dengan tidak menurunkan kualitas naskah yang dipublikasikan. Jurnal berkala ilmiah ini berkiprah dalam pengembangan ilmu keteknikan untuk pertanian tropika dan lingkungan hayati. Jurnal ini diterbitkan dua kali setahun baik dalam edisi cetak maupun edisi *online*. Penulis makalah tidak dibatasi pada anggota **PERTETA** tetapi terbuka bagi masyarakat umum. Lingkup makalah, antara lain: teknik sumberdaya lahan dan air, alat dan mesin budidaya pertanian, lingkungan dan bangunan pertanian, energy alternatif dan elektrifikasi, ergonomika dan elektronika pertanian, teknik pengolahan pangan dan hasil pertanian, manajemen dan sistem informasi pertanian. Makalah dikelompokkan dalam **invited paper** yang menyajikan isu aktual nasional dan internasional, **review** perkembangan penelitian, atau penerapan ilmu dan teknologi, **technical paper** hasil penelitian, penerapan, atau diseminasi, serta **research methodology** berkaitan pengembangan modul, metode, prosedur, program aplikasi, dan lain sebagainya. Penulisan naskah harus mengikuti panduan penulisan seperti tercantum pada website dan naskah dikirim secara elektronik (*online submission*) melalui <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>.

Penanggungjawab:

Ketua Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia
Ketua Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB

Dewan Redaksi:

Ketua : Wawan Hermawan (Institut Pertanian Bogor)
Anggota : Asep Sapei (Institut Pertanian Bogor)
Kudang B. Seminar (Institut Pertanian Bogor)
Daniel Saputra (Universitas Sriwijaya, Palembang)
Bambang Purwantana (Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta)
Y. Aris Purwanto (Institut Pertanian Bogor)
M. Faiz Syuaib (Institut Pertanian Bogor)
Salengke (Universitas Hasanuddin, Makasar)
Anom S. Wijaya (Universitas Udayana, Denpasar)

Redaksi Pelaksana:

Ketua : Rokhani Hasbullah
Sekretaris : Lenny Saulia
Bendahara : Hanim Zuhrotul Amanah
Anggota : Usman Ahmad
Dyah Wulandani
Satyanto K. Saptomo
Slamet Widodo
Liyantono
Sekretaris : Diana Nursolehat

Penerbit: Perhimpunan Teknik Pertanian Indonesia (PERTETA) bekerjasama dengan Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Institut Pertanian Bogor.

Alamat: Jurnal Keteknikan Pertanian, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Kampus Institut Pertanian Bogor, Darmaga, Bogor 16680.
Telp. 0251-8624 503, Fax 0251-8623 026,
E-mail: jtep@ipb.ac.id atau jurnaltep@yahoo.com
Website: web.ipb.ac.id/~jtep atau <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep>

Rekening: BRI, KCP-IPB, No.0595-01-003461-50-9 a/n: Jurnal Keteknikan Pertanian

Percetakan: PT. Binakerta Makmur Saputra, Jakarta

Ucapan Terima Kasih

Redaksi Jurnal Keteknikan Pertanian mengucapkan terima kasih kepada para Mitra Bebestari yang telah menelaah (*me-review*) Naskah pada penerbitan Vol. 4 No. 2 Oktober 2016. Ucapan terima kasih disampaikan kepada: Prof.Dr.Ir. Thamrin Latief, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya), Prof.Dr.Ir. Ade M. Kramadibrata, (Fakultas Pertanian, Universitas Padjadjaran), Prof.Dr.Ir. Bambang Purwanto, MS (Jurusan Teknik Pertanian, Universitas Gadjah Mada), Prof.Dr.Ir. Tineke Madang, MS (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Sutrisno, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Prof.Dr.Ir. Budi Indra Setiawan (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Siswoyo Soekarno, M.Eng (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya), Dr.Ir. Nugroho Triwaskito, MP (Prodi. Ilmu dan Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Malang), Dr.Ir. Lady Corrie Ch Emma Lengkey, M.Si (Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi), Dr.Ir. Andasuryani, S.TP, M.Si. (Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Andalas), Dr. Yazid Ismi Intara, SP.,M.Si. (Fakultas Pertanian, Universitas Mulawarman), Dr. Ir. Supratomo, DEA (Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr. Suhardi, STP.,MP (Jurusan Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin), Dr.Ir. Desrial, M.Eng (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Dewa Made Subrata, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Lilik Pujantoro, M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. I Wayan Budiastira, M.Agr (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Dyah Wulandani, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Leopold O. Nelwan, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Gatot Pramuhadi, M.Si (Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Sugiarto (Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Ir. M. Yanuar J. Purwanto, MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr.Ir. Chusnul Arief, STP., MS (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor), Dr. Yudi Chadirin, STP.,M.Agr (Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor).

Technical Paper

Studi Tentang Pemisahan Aliran Dasar pada DAS di Wilayah UPT PSDA Pasuruan, Jawa Timur

Baseflow Separation Study at Watersheds of UPT PSDA Pasuruan, East Java

Indarto, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ Jl Kalimantan N0. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121.

Email: indarto.ftp@unej.ac.id

Elda Novita, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ Jl Kalimantan N0. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121.

Email: elida_novita.ftp@unej.ac.id

Sri Wahyuningsih, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ Jl Kalimantan N0. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121. Email: sriwahyuningsteh@yahoo.co.id

Hamid Ahmad, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ Jl Kalimantan N0. 37 Kampus Tegalboto, Jember 68121.

Muharjo Pudjono, PS Teknik Pertanian, FTP, UNEJ Jl Kalimantan N0. 37

Kampus Tegalboto, Jember 68121

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 were used for this study. Discharge data from 6 watersheds in the administrative area of UPT PSDA Pasuruan in East Java were used to test those nine (9) algorithms. Firstly, each method was calibrate using daily discharge data for each year (annually) to separate baseflow. Then, optimal parameter values are obtained by averaging the annual values. Calibration process produce optimal parameters value for each watershed. Furthermore, validation are effectued using optimal parameter values from Pekalen watershed's to other watersheds. The result show that optimal parameter values from Pekalen could be used to separate baseflow in other watersheds. Results also recommend two algorithms (EWMA filter and fixed interval) to be used more frequently for baseflow seperation on this region.

Keywords: *calibration, baseflow separation, graphical, recursive digital filter*

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 Pasuruan dipilih sebagai sampel pengujian. Kalibrasi dilakukan menggunakan data debit musim-kemarau (bulan Juli - September) pada tiap tahun-nya dan diperoleh kisaran nilai parameter untuk tiap metode pada masing-masing DAS. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter DAS Pekalen, untuk menentukan baseflow pada DAS lain. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai parameter dari DAS Pekalen dapat digunakan untuk menentukan aliran dasar (*baseflow*) pada DAS lain. Penelitian juga merekomendasikan filter EWMA dan metode grafis interval tetap (*fixed interval*) untuk digunakan di wilayah UPT PSDA Pasuruan.

Kata Kunci: Pemisahan, Aliran dasar, metode grafis, filter digital. spasi tunggal.

Diterima: 27 Januari 2016; Disetujui: 5 Maret 2016

Latar Belakang

Hall (1968, 1971) mendefinisikan aliran yang terlambat datangnya ke sungai, sebagai kontribusi dari air tanah dan aliran air dari sumber lain 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, misalnya: irigasi, industri, rumah tangga, lingkungan, dan *rafting*. Sebaliknya, pada saat musim hujan, perkiraan besarnya aliran dasar menjadi penting supaya kita dapat memprediksi besarnya bagian debit yang merupakan kontribusi

Tabel 2. Perbandingan karakteristik fisik DAS.

No DAS	Nama DAS	Bentuk DAS	Luas DAS (km ²)
20	Rondodingo	Memanjang	135.3
24	Rejoso	Melebar	168.1
26	Kramat	Melebar	177.4
29	Welang	Memanjang	157.3
31	Kadalpang	Memanjang	113.2
32	Pekalen	Memanjang	165.2

dari aliran cepat atau *surface run-off* atau *quickflow* yang berpotensi menghasilkan banjir.

Analisis terhadap komponen aliran dasar dari hidrograf aliran sungai dimulai sejak Boussinesq (1904), mengembangkan teori dan pengalaman empiris-nya. Kemudian dilanjutkan oleh: Maillet (1905), Horton (1933), Hall (1968; 1971), Nathan and McMahon (1990ab), Tallaksen (1995), Smakhtin (2001ab), dan (Gonzales, et al. 2009). Dari banyak metode yang ada, metode filter digital dan metode grafis digital merupakan dua metode yang cukup mudah untuk pengoperasiannya (Brodie and Hostetler. 2007; Murphy et al. 2009 ; dan Gregor, 2012).

Metode filter digital (*recursive digital filter/ RDF*) bekerja dengan mengolah data debit untuk memisahkan aliran dasar dari hidrograf. 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. Ada banyak persamaan atau model yang telah dikembangkan untuk pemisahan aliran dasar dari hidrograf menggunakan filter digital, beberapa tercantum di dalam Tabel (1) di lampiran.

Metode filter (persamaan 1 sampai dengan 7 pada Tabel 1) bekerja dengan prinsip menghitung aliran dasar hari ke i , dengan mempertimbangkan aliran total, aliran dasar, aliran cepat pada hari sebelumnya ($i - 1$) dan *Baseflow Index (BFI)*

maksimal. Metode tersebut dapat menggunakan satu parameter (k atau α), dua parameter (k dan c ; BFI -Mak dan α) atau tiga (α , k dan c).

Metode pemisahan secara grafis juga telah dikembangkan untuk pemisahan aliran dasar. Sloto and 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 dijelaskan oleh Sloto and Crouse (1996) sebagai berikut:

"metode minimum lokal mengevaluasi debit setiap harinya untuk menentukan apakah hari tersebut termasuk debit terendah atau tidak, dengan menggunakan interval waktu yang dinyatakan oleh: $[0.5 (2N^* - 1) \text{ hari}]$ ". Nilai N didapatkan secara empiris dari persamaan $N = A^{0.2}$, dimana A adalah luas daerah aliran sungai (DAS) dalam satuan mil².

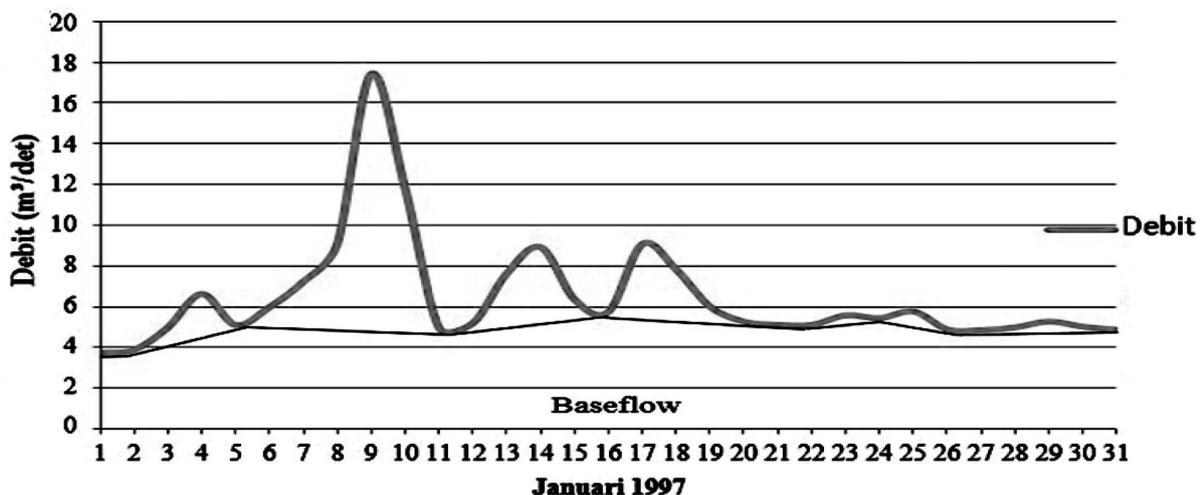
Selanjutnya debit terendah pada setiap interval dihubungkan dengan garis lurus untuk menentukan *baseflow* (Gambar 1). Pada (Gambar 1) *local minimum* terjadi pada tanggal 1, 5, 11, 16, 20, 24, 26, dan 31 Januari 1991.

Penelitian ini bertujuan untuk menguji beberapa metode grafis dan metode filter tersebut untuk memperkirakan besarnya kontribusi aliran dasar pada 6 DAS di wilayah UPT PSDA Pasuruan. Kedua metode dipilih karena prinsip dan pengoperasiannya cukup mudah. Penelitian juga bertujuan untuk merekomendasikan metode mana yang tepat digunakan untuk wilayah tersebut.

Bahan dan Metode

Lokasi Penelitian dan Input Data

Penelitian dilakukan dengan mengambil sampel data pada enam DAS di wilayah administratif UPT PSDA Pasuruan (Jawa Timur), mencakup: DAS



Gambar 1. Ilustrasi metode minimum lokal, menggunakan Hidrograf DAS Pekalen untuk Januari 1997.

Tabel 3. Perbandingan karakteristik hidro-meteorologi DAS.

No. DAS	Nama DAS	Karakteristik hujan harian (mm/hari)		Karakteristik debit (m ³ /hari)		Data debit tersedia
		Maksimal	Rerata	Rerata	Maksimal	
20	Rondodingo	135.3	58.90	4.99	101.00	1996 - 2005
24	Rejoso	168.1	30.26	12.52	110.19	1996 - 2005
26	Kramat	177.4	27.77	2.62	193.03	1996 - 2005
29	Welang	157.3	47.27	3.89	32.55	1996 - 2005
31	Kadalpang	113.2	61.41	2.91	69.04	1996 - 2005
32	Pekalen	165.2	86.39	10.94	94.30	1996 - 2005

Kadalpang (20), DAS Rejoso (24), DAS Welang (26), DAS Kramat (29), DAS Pekalen (31) dan DAS Rondodingo (32) (Gambar 3).

Karakteristik fisik ke enam DAS tersebut diringkaskan dalam Tabel 2. Luas DAS bervariasi dari 113 km² sd 168 km², bentuk DAS segitiga, bulat dan memanjang (Gambar 2 dan Tabel 2).

Karakteristik hidro-meteorologi ke enam DAS tersebut diringkaskan dalam tabel (3). Data debit tersedia dari periode 1996 - 2005. Data hujan tersedia dari tahun 1997 - 2005. Hujan harian maksimal antara 95 sd 145 mm/hari. Debit harian rerata antara 2 sd 12 m³/hari, sedangkan debit maksimal tercatat antara 32 sd 193 m³/hari.

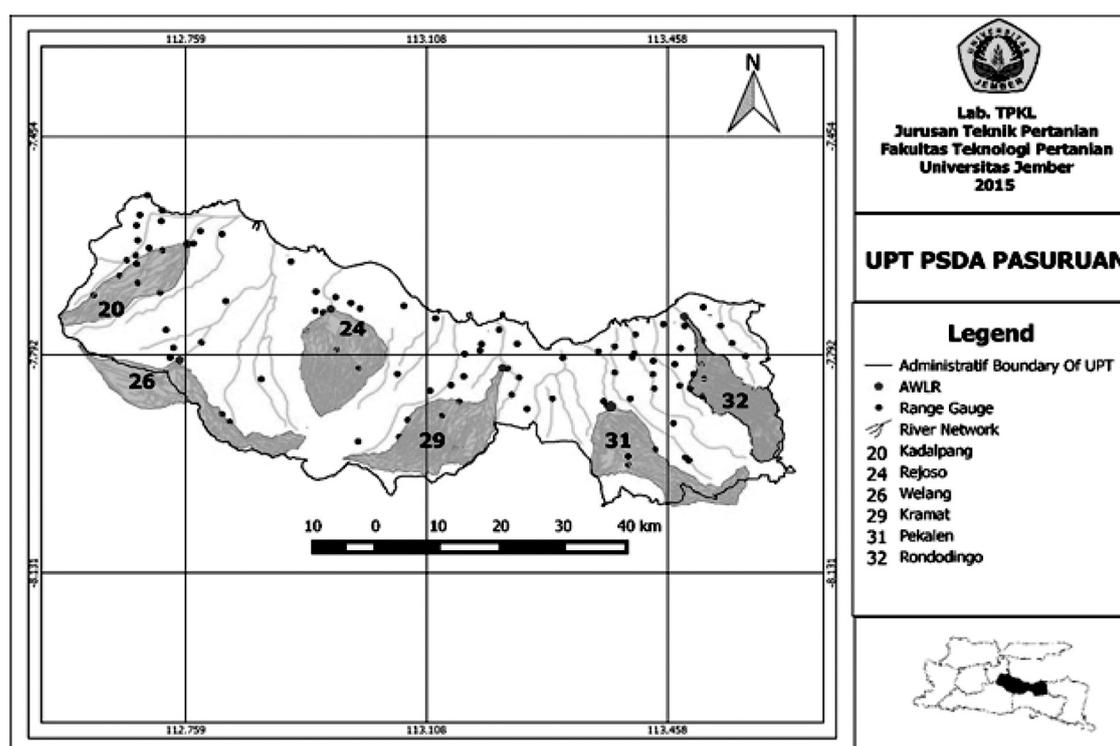
Peruntukan lahan didominasi oleh: lahan persawahan (irigasi dan tadah hujan), pemukiman, hutan, kebun dan perladangan (Tabel 4 pada lampiran). Jenis tanah utama terdiri dari: aluvial, andosol, grumusol, mediteran, regosol dan latosol (Tabel 5 pada lampiran).

Pada penelitian ini, input utama untuk proses

pemisahan hidrograf adalah data debit harian. Data debit harian diurutkan dengan excel ke dalam dua kolom dan diformat ke dalam (*.txt), selanjutnya diimport ke dalam perangkat lunak HydroOffice (Gregor, 2010, 2012).

Proses Kalibrasi

Pemisahan aliran dasar dari debit total, dilakukan dengan perangkat lunak HydrOffice (www.hydrooffice.org) (Gregor, 2010, 2012), menggunakan 7 metode filter (*One parametre, Boughthon – two parameter, Ihacres, Chapman, Lynie-Hollick, EWMA dan Eckhardt*) dan 2 dua metode berbasis grafis (*metode interval tetap dan minimum lokal*). Kalibrasi dilakukan dengan memasukan nilai parameter secara trial-error dan manual sampai menghasilkan nilai aliran dasar yang sesuai untuk tiap tahunnya. Penentuan nilai parameter dihentikan jika grafik garis (merah) pada musim kemarau atau periode dimana tidak ada hujan, berimpit dengan grafik luasan (biru) (Gambar 3).



Gambar 2. Lokasi Penelitian : Enam DAS di wilayah UPT PSDA Pasuruan.

Selanjutnya, nilai parameter optimal untuk tiap DAS ditentukan dari nilai rerata tiap tahunnya. Kalibrasi dilakukan pada setiap DAS dengan cara yang sama, sehingga didapatkan kisaran nilai parameter untuk setiap DAS dan nilai rerata (nilai optimal).

Analisis statistik hasil kalibrasi

Analisis statistik hasil kalibrasi dilakukan dengan membandingkan aliran dasar terhitung dengan debit total di sungai (terukur) pada bulan Juli sd September, dengan asumsi bahwa pada kedua 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:

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum(Q_M - Q_0)^2}}{n} \quad \text{(persamaan 8)}$$

Keterangan:

- Q_M : aliran dasar terhitung (m³/detik) ,
- Q_0 : debit terukur di Sungai (m³/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

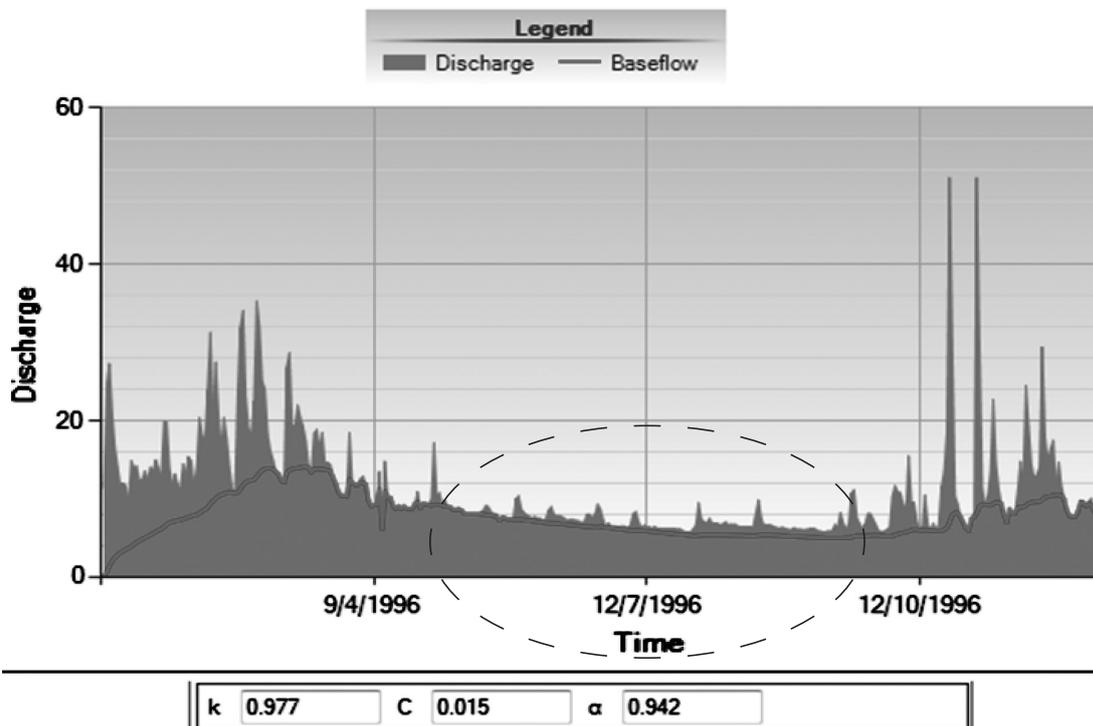
periode kalibrasi. Kinerja model dalam menghitung aliran dasar juga dapat dinilai dari koefisien regresi (koefisien determinasi) antara debit terhitung dan terukur. Koefisien determinasi yang mendekati 1, menunjukkan tingkat yang paling sesuai antara perhitungan model dengan debit terukur. Dalam hal ini, debit terukur pada musim kemarau menunjukkan tingkat aliran dasar (*Baseflow*) sungai tersebut.

Proses Validasi

Proses validasi dilakukan dengan menggunakan nilai parameter optimal (rerata) dari DAS Pekalen, dengan asumsi data DAS Pekalen lebih lengkap dari das lain yang ada di sekitarnya. Asumsi lain yang digunakan adalah bahwa ke enam DAS lokasi-nya berdekatan dan masih di dalam wilayah iklim yang sama, sehingga karakteristik umum hujan masih relatif identik.

Visualisasi FDC

Visualisasi FDC dilakukan untuk melihat hasil proses pemisahan aliran dasar dan membandingkan kinerja pemisahan dari tiap model. Pada kasus di wilayah UPT PSDA Pasuruan dimana curah hujan sangat minim atau hampir tidak ada selama musim kemarau (dalam hal ini diambil bulan paling kering antara Juli - September), maka pemisahan yang berkinerja baik akan menghitung aliran dasar pada bulan Juli - September mendekati debit terukur (debit total di Sungai), sebaliknya pada musim hujan (misalnya: periode Oktober sampai 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



Gambar 3. Proses kalibrasi.

Tabel 6. Rentang nilai parameter yang diuji tiap tahunnya pada semua DAS.

Nama Filter	Range Nilai Paramter yang dicoba				
	k	C	α	N	f
<i>One parameter</i>	0.80 – 0.99				
<i>Boughthon - Two parameter</i>	0.90 – 0.99	0.02 – 0.15			
IHACRES	0.90 – 0.98	0.12 – 0.15	0.10 – 0.18		
Lynie-Hollick				0.96 – 0.99	
Chapman				0.33 – 0.98	
EWMA				0.01- 0.04	
<i>Eckhardt Filter</i>				-	-
<i>Minimum Lokal</i>				5 - 11	0.90 – 0.95
<i>Fixed Interval</i>				10 - 30	-

Tabel 7a. Nilai parameter optimal pada masing-masing DAS (metode filter digital).

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	α	α	α	
Rondodingo	0.925	0.98	0.06	0.95	0.045	0.5	0.97	0.975	0.015
Rejoso	0.925	0.99	0.04	0.98	0.035	0.04	0.97	0.815	0.015
Kramat	0.989	0.98	0.052	0.95	0.035	0.04	0.97	0.915	0.012
Welang	0.952	0.99	0.05	0.98	0.025	0.04	0.98	0.985	0.012
Kadalpang	0.992	0.852	0.20	0.98	0.035	0.3	0.95	0.995	0.015
Pekalen	0.875	0.98	0.06	0.98	0.032	0.4	0.99	0.975	0.015

Tabel 7b. Nilai parameter optimal pada masing-masing DAS (metode grafis digital).

Nama DAS	<i>Local Minimum Method</i>		<i>Fixed Interval Method</i>		<i>Eckhardt Filter</i>	
	f	N	N	N	α	BFI _(max)
Rondodingo	0.90	10	30	30	0.92	0.80
Rejoso	0.95	10	30	30	0.98	0.80
Kramat	0.95	5	10	10	0.99	0.80
Welang	0.95	9	30	30	0.99	0.80
Kadalpang	0.94	5	19	19	0.95	0.80
Pekalen	0.95	11	30	30	0.98	0.80

dapat kita amati melalui bentuk Kurva Durasi Aliran (KDA) atau *flow duration curve (FDC)* (Indarto et al., 2013).

Hasil dan Pembahasan

Hasil Kalibrasi

Rentang nilai parameter yang didapatkan dari masing-masing metode dan diujikan pada semua DAS ditampilkan pada Tabel 6.

Tabel 7a dan 7b menampilkan nilai parameter optimal pada masing-masing DAS untuk setiap metode. Dalam hal ini parameter optimal adalah nilai rerata, dari nilai parameter yang dicoba pada setiap tahunnya.

Hasil Analisis statistik

Tabel 8 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 Pekalen. Perhitungan RMSE menggunakan data bulan Juli - September dari 1996 sampai dengan 2005.

Tabel 8 menunjukkan bahwa secara umum semua metode dapat digunakan. Beberapa metode filter menghasilkan performan relatif lebih baik pada periode kalibrasi. Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE yang relatif kecil ~ 0 dan nilai koefisien regresi mendekati ~ 1 .

Hasil Validasi

Tabel (9) menampilkan analisa statistik (nilai

Tabel 8. Nilai RMSE dan Koefisien determinasi (R^2) pada DAS Pekalen.

Metode	Metode RDF					Metode Grafis			
	One parameter	Boughthon	IHACRES	Lynie & Hollick	Chapman	EWMA	Eckhardt	Min	Fixed
RMSE	0.11	0.09	0.06	0.00	0.10	0.00	0.04	0.05	0.04
Koef regresi	0.95	0.10	0.77	1.00	0.04	1.00	0.91	0.75	0.46

Tabel 9. Nilai RMSE pada semua DAS, menggunakan nilai parameter optimal DAS Pekalen.

Nama DAS	Metode RDF					Metode Grafis			
	One parameter	Boughthon	IHACRES	Lynie & Hollick	Chapman	EWMA	Eckhardt	Min	Fixed
Rondodingo	0.05	0.02	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.04	0.05
Rejoso	0.21	0.08	0.13	0.01	0.21	0.01	0.06	0.07	0.08
Kramat	0.03	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
Welang	0.05	0.02	0.03	0.02	0.05	0.01	0.02	0.02	0.02
Kadalpang	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
Pekalen	0.11	0.04	0.10	0.00	0.10	0.00	0.04	0.05	0.04

RMSE) hasil perhitungan aliran dasar pada semua DAS. Dalam hal ini, nilai parameter optimal yang sudah dikalibrasi pada DAS Pekalen, digunakan untuk melakukan simulasi (menghitung) nilai aliran dasar pada DAS lainnya. Selanjutnya, hasil perhitungan aliran dasar selama bulan Juli - September (dari 1996 sd 2005), digunakan untuk menghitung nilai RMSE dan hasilnya ditampilkan dalam Tabel 9.

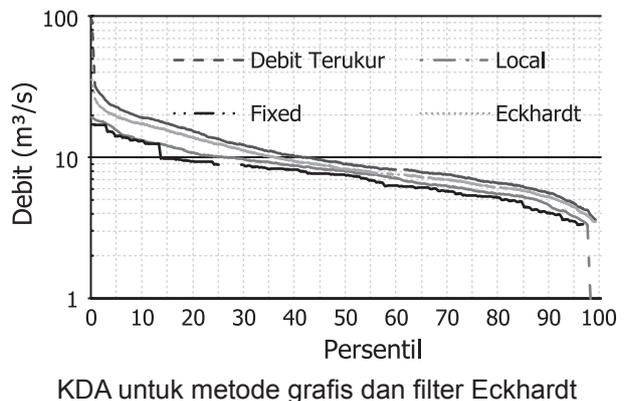
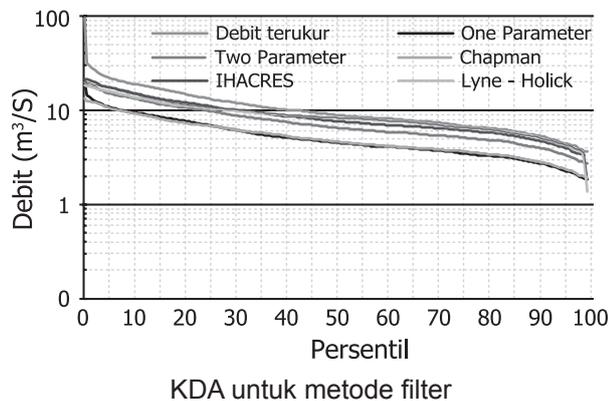
Tabel (9) menunjukkan bahwa penerapan setting nilai parameter DAS Pekalen pada DAS yang lain, dapat menghasilkan nilai RMSE lebih kecil atau lebih besar. Nilai RMSE tertinggi 0.21 (masih lebih dekat ke nilai NOL daripada ke nilai 1). Dapat dikatakan bahwa secara prinsip nilai parameter yang dikalibrasi pada DAS Pekalen, dapat digunakan untuk pemisahan aliran dasar pada DAS Rondodingo (DAS 32), Kramat (DAS

29), Welang (DAS 26), dan Kadalpang (DAS 20). Hal ini ditunjukkan oleh nilai RMSE yang menjadi lebih kecil (hasil cenderung positif). Sebaliknya, pada kasus DAS Rejoso. 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 (4), menampilkan grafik KDA (kurva durasi aliran) atau *Flow Duration Curve (FDC)* untuk membandingkan antara debit terukur (aliran dasar) yang dihitung dengan masing-masing metode dan debit terukur (debit total di Sungai) sepanjang periode 1996 – 2005. Contoh grafik KDA ditampilkan untuk DAS Pekalen.

Secara umum, KDA menggambarkan distribusi



Gambar 4. Perbandingan hasil pemisahan aliran dasar: metode filter dan metode grafis

frekuensi kejadian debit yang lebih dari batas tertentu (Indarto et al., 2013). 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.

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, Lynie-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 oleh komponen aliran cepat (*quick flow*). Oleh karena itu, jika diplot 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 Aliran

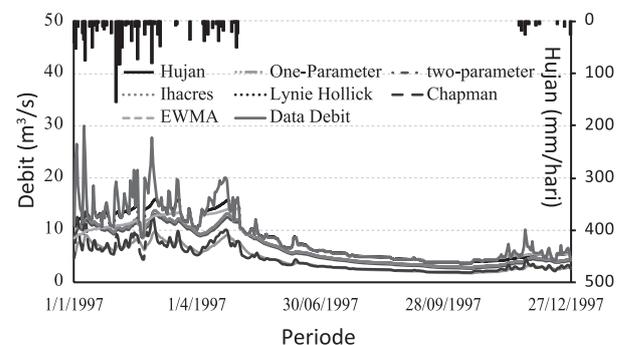
Visualisasi untuk membandingkan hidrograf aliran total di sungai atau debit terukur dengan debit aliran dasar hasil perhitungan menggunakan enam (6) metode filter pada DAS pekalen ditampilkan pada gambar (5). Terlihat bawah metode filter *Lynie-Hollick* dan *EWMA* mengestimasi aliran dasar pada musim 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. Hal ini juga ditunjukkan oleh terpisahnya KDA pada gambar 4. Sebaliknya, metode one-parameter cenderung menghitung aliran dasar pada level yang konstan antara musim kemarau dan penghujan. Adapun, tiga (3) metode lainnya (Boughthon – two parameter, Ihacres, dan Chapman) cenderung mengestimasi aliran dasar lebih rendah.

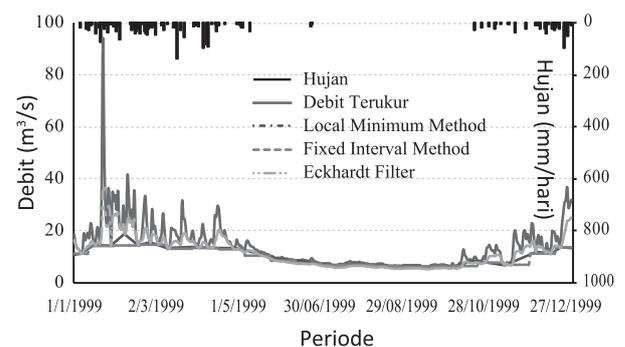
Visualisasi yang sama untuk dua metode grafis (minimum lokal dan interval tetap) dan filter *Eckhardt* pada DAS Pekalen ditampilkan oleh gambar 6. Terlihat bahwa metode filter *Eckhardt* dan metode minimum lokal cenderung memprediksi aliran dasar lebih tinggi pada saat kejadian banjir besar (Januari - Mei 1997), sementara metode interval tetap (*fixed interval*) menghitung aliran dasar lebih rendah dari dua metode tersebut.

Nilai Baseflow Index (BFI)

Indek aliran dasar (IAD) atau *Baseflow index (BFI)* menyatakan perbandingan besarnya aliran dasar terhadap debit total di Sungai (*Institute of Hydrology, 1980*). IAD menunjukkan proporsi (*rasio*) antara aliran dasar terhadap debit aliran total di Sungai. Menurut Tallaksen and 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 – 0.2) menunjukkan DAS yang



Gambar 5. Pemisahan aliran dasar DAS Pekalen zoom: 1 Januari - 31 Desember 1997



Gambar 6. Hasil pemisahan aliran dasar pada DAS Pekalen Zoom: 1 Jan – 31 Des 1999

Tabel 10. Ringkasan statistik nilai BFI (Baseflow Index)rerata 1996 sd 2005.

Metode	DAS yang diuji					
	Rondodingo	Rejoso	Kramat	Welang	Kadalpang	Pekalen
<i>One parameter</i>	0.54	0.5	0.57	0.52	0.58	0.51
<i>Two parameter</i>	0.88	0.82	0.85	0.83	0.8	0.83
<i>IHACRES</i>	0.78	0.70	0.80	0.74	0.8	0.74
<i>Chapman</i>	0.98	0.50	0.91	0.50	0.94	0.92
<i>Lynie & Hollick</i>	0.50	0.94	0.52	0.91	0.50	0.50
EWMA	0.99	0.93	0.9	0.9	0.93	0.94
Eckhardt	0.82	0.81	0.84	0.86	0.82	0.83
Minimum Lokal	0.77	0.89	0.70	0.79	0.67	0.84
Fixed Interval	0.83	0.86	0.75	0.84	0.73	0.87

impermeabel dengan debit aliran yang cepat hilang (*flashy flow regime*). Pada penelitian ini *BFI* dihitung setiap hari (tiap interval waktu) sepanjang periode data debit yang digunakan (1996 sd 2005). Tabel (10) meringkaskan *BFI* rerata dari semua metode yang digunakan 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 kejadian hidrograf ke lainnya dengan mempertimbangkan nilai debit terendah pada setiap interval. Pada musim penghujan, interval kejadian debit juga menghasilkan debit terendah yang cukup besar, sehingga kontribusi terhadap aliran dasar juga dihitung besar. Metode one parameter, Ihacres dan minimum local cenderung menghasilkan nilai *BFI* yang lebih rendah dibanding metode lainnya. Nilai *BFI* rerata yang tinggi menunjukkan DAS dengan ketersediaan air baik musim kemarau maupun penghujan yang cukup baik, sementara *BFI* rerata yang rendah menunjukkan DAS dengan kontribusi aliran dasar yang cukup rendah. Dari tabel 10 terlihat bahwa enam metode (two parameter, ihacres, EWMA, Eckhardt, minimum lokal, dan interval tetap) menghasilkan perhitungan *BFI* rerata lebih dari 0.7 dan konsisten pada semua DAS. Sementara tiga metode (one parameter, Chapman, dan lyne Hollick) cenderung menghasilkan nilai *BFI* rerata rendah dan cenderung tidak stabil.

Pada kasus DAS-DAS di UPT PSDA Pasuruan, metode filter (*Lynie-Hollick*, *EWMA*) dan metode grafis (interval tetap) dapat memisahkan aliran dasar pada musim penghujan dan mengestimasi aliran dasar musim kemarau lebih tepat dibanding metode lainnya, hal ini didukung oleh visualisasi grafik KDA dan hidrograf. Selanjutnya, tiga metode filter (*one parameter*, *Boughthon-two parameter* dan *Ihacres*) cenderung mengestimasi aliran dasar lebih rendah, baik pada musim kemarau maupun musim penghujan. Metode filter Eckhardt dan minimum lokal cenderung mengestimasi aliran dasar lebih tinggi dari metode lain.

Simpulan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum baik metode filter maupun metode grafis dapat digunakan untuk mengestimasi aliran dasar pada wilayah tersebut. Beberapa metode cenderung mengestimasi aliran dasar lebih tinggi dan yang lain cenderung mengestimasi lebih rendah. Hasil penelitian merekomendasikan metode EWMA dan Fixed Interval untuk digunakan di wilayah UPT PSDA Pasuruan. Hasil penelitian juga menunjukkan perhitungan nilai *BFI* rerata yang relatif cukup tinggi > 0.7 dan stabil pada semua DAS. Ketidakstabilan perhitungan nilai *BFI* rerata lebih disebabkan oleh faktor metode yang digunakan.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan pada Dinas Pengairan Provinsi Jawa Timur, DP2M-DIKTI, para mahasiswa PS-TEP dan kepada semua pihak yang telah membantu dalam penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Brodie, R., and S. Hostetler. 2007. An overview of tools for assessing groundwater-surface water connectivity. Bureau of Rural Sciences, Canberra. 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 debit des sources. J. Math. Pure Appl., 10 (5th series), 5-78. Cited by Hall.
- 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.
- Chapman, T.G., and A.I. Maxwell. 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 R.J. Nathan and T.A. McMahon. *Water Resources Research*, 27(7), 1783-1784.
- Chapman T.G., and A.I. Maxwell. 1996. Baseflow separation – comparison of numerical methods with tracer experiments. Institute Engineers Australia National Conference. Publ. 96/05, 539-545.
- 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.
- Gonzales, A.L., J. Nonner, J. Heijkers and S. Uhlenbrook. 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/.
- 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.
- Indarto, W. Suhardjo, P.S. Agung. 2013. Physical properties and flow Duration Curves of 15 Watersheds in East Java. *Agritech*. Vol 33, No. 4, November 2013.
- Jakeman, A.J. and G.M. Hornberger. 1993. How much complexity is warranted in a rainfall-runoff model. *Water Resources Research* 29, pp2637-2649.
- Lyne, V., and M. Hollick. 1979. Stochastic time-variable rainfall-runoff modelling. Institute of Engineers Australia National Conference. Publ. 79/10, 89-93.
- Murphy, R., Z. Graszekiewicz, P. Hill, B. Neal, R. Nathan, To. Ladson. 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., and T.C. Winter. 1997. Estimating groundwater recharge from streamflow hydrographs for a small mountain watershed in a temperate humid climate. *New Hampshire, USA. Ground Water*, 35(2), 291-304.
- Nathan R.J. and T.A. McMahon. 1990a. Evaluation of automated techniques for baseflow and recession analysis. *Water Resources Publications : USA*. 26(7):1465-1473.
- Nathan R.J. and T.A. McMahon. 1990b. Estimating low flow characteristics in ungauged catchments. *Water Res. Manage.* 6 85-100.
- Sloto, R.A., M.Y. Crouse. 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., H.A.J. van Lanen 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.

LAMPIRAN

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

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

Keterangan :

- $q_{(i)}$: nilai aliran total pada hari ke i
- $q_{b(i)}$: nilai aliran dasar pada hari ke i
- $q_{f(i)}$: 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
- α : parameter filter
- C : parameter filter.
- BFI_{max} : Nilai BFI (*baseflow index maksimum*).

Tabel 4. Jenis tata guna lahan

Tata Guna Lahan	Persentase per luas DAS (%)					
	DAS Rondodingo	DAS Rejoso	DAS Kramat	DAS Welang	DAS Kadalpang	DAS Pekalen
Hutan	31	8.6	1.5	37.7	10.2	27.6
Kebun	7	17.5	24.6	28.6	7.7	7.8
Ladang	10.6	43.3	57.9	17.2	13.6	48.9
Pemukiman	5.6	4.2	4.4	10.8	13.4	1.8
Sawah irigasi	11.9	7.7	2.7	5.5	38.6	3.8
Semak belukar	29.7	17.4	2.4	5.9	9.4	8.4

Tabel 5. Jenis tanah enam DAS di wilayah UPT PSDA Pasuruan

Jenis Tanah	DAS				
	Rondodingo	Kramat	Welang	Kadalpang	Pekalen
Aluvial	1.0	-	-	16.9	-
Andosol	40.4	47.9	42.4	45	0.5
Grumusol	29.7	31.5	20	30.1	14.3
Mediteran	23.3	11.3	46.5	8	82.9
Regosol	5.4	9.3	10.9	-	-
Latosol				2.3	