APLIKASI METODE PEMISAHAN ALIRAN DASAR BERBASIS GRAFIS DIGITAL: STUDI PENDAHULUAN DI WILAYAH DAS BRANTAS

APPLICATION OF BASEFLOW SEPARATION BASED ON GRAPHICAL DIGITAL METHOD: PRELIMINARY STUDY AT BRANTAS WATERSHED

Indarto Indarto*, Nur Defitri Herlinda

PS Teknik Pertanian FTP Universitas Jember
Jl. Kalimantan no. 37 Kampus tegalboto Jember 68121

*Corresponden author: indarto.ftp@unej.ac.id

Diterima: 29 Juni 2018; Direvisi: 10 Januari 2019; Disetujui: 30 Agustus 2019

ABSTRACT

The estimation of baseflow is a crucial task for water resources management. This research aimed to calibrate, validate, and evaluate the performance of the digital graphical method to separate baseflow. Two outlets of Brantas watersheds located at Kertosono ($\pm 6414,2 \text{ km}^2$) and Ploso ($\pm 8844,2 \text{ km}^2$) were used for this study. This study used three digital graphics filters known as a local-minimum, fixed-interval and sliding-interval. The methodology consists of (1) data inventory, (2) data processing, (3) calibration, (4) validation, and (5) evaluating of models performance. Daily discharge data were separated into two periods, from 1996 to 2005 for the calibration and from 2006 to 2015 for the validation. Firstly, each method was tested annually by entering parameter values through trial and error. The period from July to September is considered as the peak of dry seasons and used to calibrate. The optimal values of parameters for calibration obtained by Averaging yearly values. Secondly, the optimal values from calibration are then used to test the model during the validation. Furthermore, statistical analysis was used to compare model performance during calibration and validation. Results show that the three methods could be used and perform well; however, the best performance is a local-minimum method.

Keywords: Baseflow, separation, graphical-method, digital-filter, Brantas

ABSTRAK

Perkiraan aliran dasar (baseflow) sangat dibutuhkan untuk manajemen sumberdaya air. Penelitian bertujuan untuk kalibrasi, validasi dan evaluasi kinerja dari tiga metode pemisahan aliran dasar. Dua outlet DAS Brantas yang terletak di Kertosono (luas = $6414,2 \text{ km}^2$) dan di Ploso (Luas = $8844,2 \text{ km}^2$) digunakan untuk penelitian. Penelitian menguji tiga metode pemisahan berbasis grafis digital, yaitu metode: minimum-lokal, fixed-interval dan sliding-interval. Metodologi terdiri dari (1) inventarisasi data, (2) pengolahan data, (3) kalibrasi, (4) validasi, dan (5) evaluasi kinerja. Data debit harian dipisahkan menjadi dua periode, tahun 1996 - 2005 untuk kalibrasi dan tahun 2006 - 2015 untuk validasi. Pertama, setiap metode diuji tiap tahun dengan memasukkan nilai parameter melalui trial and error. Dalam hal ini, periode dari bulan Juli sampai September diasumsikan sebagai puncak musim kemarau dan digunakan untuk mengkalibrasi model. Nilai optimal parameter untuk periode kalibrasi = rerata nilai tiap tahun. Kedua, nilai parameter optimal dari periode kalibrasi kemudian digunakan untuk menguji kinerja model pada periode validasi. Selanjutnya, analisis statistik digunakan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja model selama periode kalibrasi dan validasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semua metode dapat digunakan dan menunjukan kinerja yang baik. Kinerja terbaik menggunakan metode minimum-lokal.

Kata Kunci: Aliran-dasar, pemisahan, metode-grafis, filter-digital, Brantas

PENDAHULUAN

Ketersediaan air di wilayah DAS (Daerah Aliran Sungai) Brantas berperan penting dalam kegiatan pertanian dan kegiatan lainnya. Pada musim kemarau intensitas hujan berkurang sehingga ketersediaan air di sungai sangat terbatas. Aliran dasar merupakan aliran air dari bawah permukaan tanah yang ke luar kembali ke sungai. Istilah aliran dasar sering digunakan untuk menyatakan kontribusi aliran air dari

dalam tanah (groundwater) ke sungai (Eckhardt, 2005; Wahyuningsih dkk., 2018). Aliran tersebut juga mencakup kontribusi aliran dari air tanah (groundwater) dan pelepasan aliran dari sumber penyimpanan alami lainnya. Aliran dasar dapat menjaga keberadaan aliran di sungai dari satu kejadian hujan ke kejadian hujan berikutnya. Hal ini telah dibahas oleh (Hall, 1968; Smakhtin, 2001a, 2001b). Aliran dasar merupakan

komponen penting yang mempengaruhi ketersediaan air di sungai pada musim kemarau.

Perkiraan besarnya aliran dasar (*baseflow*) yang tersedia pada saat musim kemarau, sangat dibutuhkan untuk manajemen sumberdaya air di dalam DAS tersebut. Informasi tentang ketersediaan aliran dasar diperlukan untuk membuat suatu perencanaan alokasi (pemanfaatan) air dalam rangka pengelolaan sumberdaya air. Selanjutnya, hasil pemisahan aliran dasar dapat bermanfaat untuk menghitung ketersediaan air pada saat musim kemarau (atau periode debit kecil atau periode kering). Manfaat lain dari perhitungan aliran dasar adalah untuk konservasi lingkungan perairan di sungai. Selain manusia, banyak spesies hewan dan tumbuhan yang hidupnya tergantung pada ketersediaan aliran di sungai. Dengan mengetahui ketersediaan aliran dasar, kita dapat memperkirakan apakah lingkungan di sungai masih dapat mendukung dan menjamin keberlangsungan kehidupan biota dan jenis ikan yang ada di sungai, terutama pada saat periode debit kecil. Manfaat perhitungan aliran dasar, telah dibahas oleh Smakhtin (2001); Partington dkk. (2012).

Pada prinsipnya, aliran dasar (*Baseflow*) dan aliran cepat (*Quick flow*) tidak dapat dibedakan dari data debit yang terukur di sungai, karena debit terukur di sungai merupakan gabungan dari kedua komponen tersebut. Pada saat musim kemarau, relatif tidak ada hujan yang jatuh, tetapi pada kebanyakan sungai di Jawa timur masih ada debit air yang mengalir. Aliran ini berasal dari air hujan yang masuk ke dalam tanah menjadi cadangan air tanah dan akan bergabung dengan aliran sungai (Indarto, 2010).

Metode pemisahan aliran dasar umumnya membagi aliran menjadi aliran cepat dan aliran dasar menggunakan pemisahan otomatis berbasis waktu. Pemisahan ke dua komponen dapat dilakukan menggunakan metode atau algoritma. Pemisahan aliran dasar dari hidrograf aliran di sungai dapat dilakukan melalui beberapa cara, misalnya: optimasi grafik hidrograf (Linsley dkk., 2014) dan berdasarkan filter digital (Arnold and Allen, 1999; Nathan & McMahon, 1990a, 1990b; Boughton, 1993; Chapman and Maxwell, 1996; Eckhardt, 2005).

Selanjutnya, Furey (2003) mengembangkan metode berbasis filter-fisik. Tianfang & Valocchi (2015) dan Fenton (2018) mengembangkan metode pemisahan berbasis "*rating-curve*". McGlynn & McDonnell (2003), mengembangkan metode pemisahan hidrograf berbasis teknik *tracer*. Pemisahan aliran dasar juga dapat menggunakan model hidrologi, misalnya model UKIH (Piggott dkk., 2005), model numerik

(Partington dkk., 2012), model empiris (Meshgi dkk., 2014). Selanjutnya, Shengjia dkk., (2016) menggunakan data meteorologi untuk estimasi *baseflow*.

Aplikasi metode pemisahan aliran dasar pada berbagai kasus di beberapa negara juga sudah dilakukan oleh banyak peneliti, antara lain dijumpai dalam tulisan oleh Chapman (1999), Furey (2003), Eckhardt (2008), Tularam & Ilahee, (2008), Gonzales dkk. (2009), Partington dkk. (2012), Meshgi dkk. (2014), Shengjia dkk. (2016), and Fenton (2018).

Metode pemisahan grafis dikembangkan oleh Sloto & Crouse (1996). Metode pemisahan grafis membagi hidrograf menjadi dua komponen (aliran cepat dan aliran dasar) melalui garis yang menghubungkan antara debit terendah pada sebelum sisi naik dan sesudah sisi turun hidrograf. Garis yang menghubungkan kedua titik tersebut didefinisikan sebagai aliran dasar (*baseflow*) (Gambar 1).

Gambar 1 Pemisahan komponen hidrograf secara grafis (Indarto, 2017)

Selanjutnya, Sloto & Crouse (1996) memperkenalkan tiga metode pemisahan secara grafis yaitu metode minimum-lokal (*local minimum method*), metode interval tetap (*fixed interval method*) dan metode interval bergerak (*sliding interval method*). Metode minimum-lokal akan bekerja mengevaluasi debit setiap harinya untuk menentukan apakah hari tersebut termasuk debit terendah atau tidak pada interval yang di maksud. Banyaknya hari disetiap interval ditentukan dengan persamaan 1.

$$\text{Jumlah Hari per interval} = [0,5(2N-1)] \dots (1)$$

Dimana :

N = jumlah hari setelah limpasan permukaan berhenti. Secara empiris nilai N didapatkan dari rumus $N = A^{0.2}$ (Linsley dkk, 1982).

A = luas DAS dengan satuan mil² (Sloto dan Crouse, 1996).

Kemudian debit terendah pada setiap interval dihubungkan dengan garis lurus untuk menentukan aliran dasar. Gambar 2 menampilkan pemisahan aliran menggunakan *local minimum method*.

Selanjutnya, metode interval tetap (*fixed interval method*) menggunakan debit terendah pada setiap interval. Jumlah hari pada setiap interval ditentukan dengan persamaan 2.

$$\text{Jumlah hari per interval} = (2N \times \text{hari}) \dots (2)$$

Dimana :

N = jumlah hari setelah limpasan permukaan berhenti. $N = A^{0.2}$ (Linsley dkk., 2014).

A = luas DAS dengan satuan mil².

Metode ini dapat digambarkan dengan diagram batang yang ditarik ke atas hingga bersentuhan dengan debit terendah pada interval tersebut (Sloto & Crouse, 1996). Proses tersebut diulang untuk semua interval berikutnya (**Gambar 3**).

Gambar 2 Metode minimum lokal (diadaptasi dari Gregor, 2012).

Gambar 3 Metode interval tetap (diadaptasi dari Gregor, 2012)

Gambar 4 Ilustrasi metode interval bergerak (diadaptasi dari Gregor, 2012)

Metode interval bergerak (*sliding interval method*) digambarkan dengan diagram batang dan ditarik ke atas sehingga bersentuhan dengan hidrograf. Debit ditentukan dengan nilai median dalam interval hari, yang dihitung dengan persamaan 3.

$$\text{Interval hari} = [0,5 (2N-1) \text{ hari}] \dots [3]$$

Diagram batang digeser menuju hari berikutnya dan proses ini dilakukan secara berulang (**Gambar 4**).

Ringkasan literatur tersebut menunjukkan sebagian perkembangan metode pemisahan aliran dasar. Saat ini telah banyak dikembangkan tool yang menerapkan metode tersebut untuk keperluan praktis pemisahan aliran dasar. Tool tersebut ada yang tersedia baik *off-line* maupun secara *on-line* berbasis web. Salah satu tool yang dikembangkan adalah modul-BFI 3.0 (Gregor, 2012, 2015). BFI dapat dijalankan sebagai aplikasi berdiri sendiri (Gregor, 2012) atau dijalankan di atas platform *HydroOffice* (Gregor, 2012, 2015). Tool ini secara praktis sangat membantu untuk pemisahan aliran dasar.

Hasil penelitian tentang penerapan berbagai metode pemisahan aliran dasar pada DAS di wilayah Jawa Timur telah dipublikasikan, antara lain oleh: Ratnasari (2015), Puspitasari (2015), Priyanto (2015), Indarto dkk., 2016), Indarto dkk., 2017; Wahyuningsih dkk., 2018).

Penelitian ini merupakan lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan. Peneliti sebelumnya menerapkan metode pemisahan aliran dasar pada DAS kecil yang ada di Jawa Timur, dengan luas DAS < 1000 km². Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya, karena luas DAS yang digunakan > 6000 km².

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk: (1) mengkalibrasi dan memvalidasi 3 metode pemisahan aliran dasar, (2) memperkirakan nilai BFI, dan (3) membandingkan kinerja tiga metode. Penelitian dilakukan di DAS Brantas dengan lokasi pengukuran debit (*outlet*) di Kertosono dan di Ploso. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran tentang kondisi aliran dasar dan merekomendasikan metode pemisahan yang sesuai untuk wilayah tersebut.

METODOLOGI

1 Lokasi Studi

Lokasi pengamatan ini dilakukan di dua sub-DAS Brantas yang ada di wilayah UPT PSDA Kediri, yaitu: sub-DAS Brantas Ploso dan sub-DAS Brantas Kertosono (Gambar 5).

2. Input Data

Data hidro-meteorologi diperoleh dari pihak UPT PSDA di Kediri melalui beberapa skema kerjasama (magang, skripsi, penelitian) dan direkap ulang oleh lab. TPKL-TEP FTP-UNEJ. Pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL).

Gambar 5 Lokasi penelitian

a. Data debit

Input utama adalah data debit harian mulai tanggal 1 Januari 1996 sampai tanggal 31 Desember 2015 (20 tahun). Data debit diperoleh dari dua lokasi pengukuran debit (AWLR) yaitu: di Ploso dan di Kertosono (Tabel 1).

Tabel 1 Lokasi dan sumber data debit

Nama Stasiun	Koord_X (°BT)	Koord_Y (°LS)	Periode (th)
Ploso	07° 27' 30"	112° 13' 38"	20
Kertosono	07° 20' 50"	112° 24' 51"	20

Semakin panjang data rekaman proses kalibrasi dan validasi menjadi lebih stabil. Data debit selanjutnya dirubah ke dalam format *.txt agar file dapat terbaca oleh *HydroOffice* (Gregor, 2012). Selanjutnya, analisa statistik ringkasan dan distribusi data debit dilakukan dan menghasilkan nilai indikator statistik (Tabel 2).

Variabel Indikator debit (*max, mean, median, StDev, Skewness, variance, P10 sd P100, V_lane, S_log dan Slope FDC*) dihitung selama periode 1996 sd 2015 menggunakan perangkat lunak *RAP (River Analysis Package)* (Marsh 2004), dan *HydroOffice* (Gregor, 2012). Selanjutnya, visualisasi hasil dilakukan menggunakan Excel. Nilai percentile P5, P10, P15, P20, ..., P85, P95, dan P100 dari rekaman data debit yang ada selanjutnya digunakan untuk membuat Kurva Durasi Aliran (KDA) atau *flow duration curve*

(*FDC*) (Indarto, 2016). Gambar 6 menampilkan kurva durasi aliran (KDA) untuk ke dua sub-DAS.

Tabel 2 Statistik Debit (m³/detik) ke dua Sub-DAS.

Debit	Ploso	Kertosono
Maximum	1.289,81	5.063,98
Mean	204,02	319,96
Median	154,35	216,04
StDev	173,01	410,26
Skewness	1,32	1,48
Variance	0,85	1,28
P10	37,8	23,84
P20	56,2	44,21
P25	66,37	58,51
P30	78,92	81,66
P33	88,22	93,76
P50	154,35	216,04
P66	234	308,04
P70	261	343,8
P75	296,09	397,15
P80	334,87	468,82
P90	448,73	754,33
P100	1.289,81	5.063,98
V_Lane	0,44	0,6
S_log	0,44	0,6
Slope FDC	2,96	3,6

Gambar 6 Kurva Durasi Aliran

Grafik KDA menjelaskan karakteristik debit pada ke dua sub-DAS sepanjang 1996 sd 2015. Nilai percentile kecil P0 sd P70 menunjukkan domain debit besar sampai sedang. Pada grafik terlihat bahwa semakin besar debit, maka frekuensi kejadian semakin sedikit sehingga nilai percentile kecil.

b. Data hujan

Data hujan harian dijumlahkan menjadi hujan bulanan. Sebanyak 11 lokasi stasiun hujan (Tabel 3) yang ada di dalam DAS dipilih untuk mewakili wilayah ke dua Sub-DAS (Ploso dan Kertosono).

Tabel 3 Lokasi dan Sumber Data Hujan.

No	Nama Stasiun Hujan	Periode Rekaman Data (th)		
		Awal	Akhir	Panjang
1	Dingin	1994	2015	22
2	Kertosono	1994	2015	22
3	Prayungan	2003	2015	13
4	Kedungrejo	1996	2015	20
5	Rejoagung	2007	2015	9
6	Perak	1990	2015	26
7	Woromarto	1990	2015	26
8	Papar	1990	2015	26
9	Minggiran	1992	2015	24
10	Kanigoro	2002	2005	4
11	Sumber Pucung	2011	2015	5

Selanjutnya, data hujan digunakan untuk menentukan kondisi puncak musim kemarau. Puncak musim kemarau digunakan untuk menentukan periode (bulan) kalibrasi.

Gambar 7 memperlihatkan histogram hujan bulanan dari 4 stasiun hujan sebagai contoh. Kedungrejo dan Wonomerto terletak di bagian hilir sub-DAS, sedangkan Kanigoro dan Sumber Pucung di bagian hulu sub-DAS (Gambar 5).

Diagram batang menunjukkan kondisi hujan bulan Januari sampai dengan Desember. Bulan paling kering menunjukkan puncak musim

kemarau. Hujan bulanan yang ada pada histogram (Gambar 7) merupakan hujan bulanan maksimal, rerata dan minimal yang dihitung dari periode tahun tersedia.

Gambar 7 Histogram hujan bulanan

Pada Gambar 7, puncak musim kemarau pada kedua sub-DAS terjadi pada bulan Juli, Agustus dan September.

c. Data Fisik DAS

Data fisik DAS diturunkan dari: ASTER GDEM2(<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>)

), Citra Landsat, peta tanah dan layer sistem informasi geografis yang ada di Lab. TPKL. Selanjutnya, data **DEM** (*Digital Elevation Model*) didownload dari web Aster GDEM2, dipotong sebatas wilayah sub-DAS dan digunakan sebagai input untuk menentukan batas DAS, menurunkan jaringan sungai dan parameter morfometri DAS. Data fisik DAS meliputi batas DAS, batas sub-DAS, jaringan sungai, lokasi stasiun hujan, dan stasiun pengukuran debit yang berada di wilayah UPT PSDA Kediri.

Bentuk ke dua sub-DAS menyerupai *triangle* dan cenderung melebar. Luas sub-DAS Kertosono = 6.414,2 km², luas sub-DAS Ploso = 8.844,2 km². Peruntukan lahan utama yang ada di dalam ke dua Sub-DAS (Kertosono dan Ploso) mencakup: lahan persawahan (38,57%, dan 37,01%), hutan (18,07% dan 19,81%), pemukiman (29,05% dan 25,94%), perladangan (13,58% dan 16,63 %) dan badan air (0,7% dan 0,6%). Semua angka tersebut adalah dalam prosentase per luas sub-DAS (Tabel 4). Tabel 4 merupakan hasil interpretasi citra Landsat-8 yang dipotong dengan batas Sub-DAS (Hakim, 2019).

Tabel 4 Peruntukan Lahan (Hakim, 2019)

Kelas	Kertosono		Ploso	
	km ²	%	km ²	%
Badan air	45,6	0,7	53,3	0,6
Pemukiman	1819,1	29,1	2256,0	25,9
Hutan	1131,1	18,1	1722,7	19,8
Sawah	2415,1	38,6	3218,7	37,0
Ladang	850,3	13,6	1446,1	16,6
	6261,1	100,0	8696,8	100,0

Lapisan tanah yang ada dari jenis aluvial (21% dan 26%), litosol (14% dan 11%), andosol (7,1% dan 7,7%), regosol (31,7% dan 25,3%), dan mediteran (7,20% dan 10,87%) dan latoso (19% dan 18%).

Ketinggian tempat pada kedua sub-DAS antara 0 m sampai dengan > 3000m di atas permukaan laut. Selanjutnya, Tabel 5 meringkaskan karakteristik morfometri ke dua sub-DAS. Mencakup Aspek linear (*linear aspect*) morfometri jaringan sungai diwakili oleh parameter: orde sungai (U), panjang ruas sungai = *stream length* (Lu), rerata panjang ruas sungai = Mean stream length (Lsm), rasio panjang ruas sungai = *stream length ratio* (RI), dan rasio nilai bifurkasi = *bifurcation ratio* (Rb). Aspek relief sub-DAS diwakili oleh parameter: *basin relief* (Bh), *relief ratio* (Rh), and *Ruggedness number* (Rn). Areal aspect comprise of : *drainage density* (Dd), *stream frequency* (Fs), *Texture ratio* (T), *form factor* (Rf), *Circulation ratio* (Rc), *Elongation Ratio* (Re), *Length of overland flow* (lof), *Constant*

Channel Maintenance (C), *Index infiltration* (IF), *Basin shape* (Bs), *Compactness constant* (Cc).

Input utama untuk penelitian ini adalah data debit harian dari tahun 1996 sampai tahun 2015. Data hujan digunakan sebagai pertimbangan untuk menentukan periode kalibrasi. Data fisik DAS digunakan untuk mendapatkan gambaran ringkas tentang karakteristik fisik DAS.

Tabel 5 Karakteristik Morfometri

Prosentase Luas per sub-DAS (%)			
	Morfometri sub-DAS	Brantas Kertosono	Brantas Ploso
Aspek Linear	U	5	6
	Lu	117,57	13,68
	Lsm	3,12	2,99
	RI	0,86	0,87
	Rb	1,8	3,41
Aspek Relief	Bh	3,31	3,31
	Rh	0,01	0
	Rn	1,67	1,67
Aspek Area (aspek luas)	Dd	0,5	0,5
	Fs	0,13	0,14
	T	0,1	0,01
	Rf	0,02	0,02
	Rc	0,32	0,4
	Re	1,26	0,14
	lof	0,25	0,25
	C	1,98	1,99
	IF	0,07	0,07
	Bs	0,01	0,01

3 Alat dan bahan penelitian

Hardware dan software yang digunakan dalam penelitian ini mencakup: (1) PC (*Personal Computer*) digunakan untuk mengolah data, (2) *Open office Calc office* digunakan untuk mengolah data dan menampilkannya hasil analisis dalam bentuk grafik, dan (3) *Modul BFI3+ dari HydroOffice* 2012 digunakan untuk memisahkan aliran dasar.

4 Prosedur penelitian

a. Pengolahan data

Dalam penelitian ini proses kalibrasi dilakukan menggunakan data debit pada puncak musim kemarau. Puncak musim kemarau (merujuk pada Gambar 1) yaitu jatuh pada bulan: Juli, Agustus, September. Pada bulan tersebut hujan tidak turun atau sangat sedikit sekali sehingga diasumsikan aliran air di sungai hanya

berasal dari kontribusi aliran dasar (*baseflow*). Artinya tidak ada atau sedikit sekali aliran air di sungai yang berasal dari aliran permukaan atau air hujan yang mengalir di permukaan tanah secara langsung.

b. Pembagian Periode Kalibrasi dan Validasi

Periode rekaman data debit dari 1996 sd 2015, selanjutnya dibagi menjadi dua. Pada 10 tahun pertama (1996 – 2005) digunakan sebagai periode kalibrasi. Pada 10 tahun ke dua (2006 sd 2015) digunakan sebagai periode validasi (Gambar 8).

Gambar 8 Pembagian periode kalibrasi dan validasi.

Naik turunnya debit di sungai sebagai bagian dari proses hidrologi yang terjadi di dalam DAS berfluktuasi mengikuti waktu. Secara umum, keberadaan debit di sungai tidak konstan, tetapi senantiasa berubah dari hari ke hari, dari bulan ke bulan, dan dari tahun ke tahun. Perubahan dapat berupa kenaikan atau penurunan debit. Tujuan kalibrasi dan validasi adalah untuk menentukan nilai parameter dari suatu model yang paling optimal. Kata “optimal” dapat juga mengandung pengertian bahwa nilai tersebut dapat digunakan sepanjang waktu dengan tingkat kesalahan prediksi (perhitungan) yang dapat ditoleransi.

Ada beberapa prosedur kalibrasi dan validasi yang dapat diterapkan pada situasi yang berbeda. Pada kasus penelitian ini, fenomena yang diamati adalah proses hidrologi pada interval waktu harian (pemisahan *baseflow* dari debit total di sungai, dihitung setiap hari). Sementara, data yang tersedia untuk menguji model tersedia dari 1996 sd 2015 (± 20 tahun $\times$ 12 bulan $\times$ 30 hari = 7200 kali ulangan), sehingga cukup memadai untuk mengamati fenomena harian tersebut. Selanjutnya, menurut (Klemeš, 1986; Indarto, 2010), pada kasus data yang tersedia cukup lengkap dan dengan asumsi karakteristik fisik DAS tidak berubah maka prosedur kalibrasi dan validasi “*the split sample test*” dapat diterapkan. Prosedur kalibrasi dan validasi tersebut sudah umum dilakukan pada pemodelan hidrologi (Shengjia dkk, 2016).

Proses kalibrasi dilakukan selama periode kalibrasi (1996 – 2005) dengan menggunakan tool “*parameter calibration*” yang ada pada aplikasi BFI+. Kalibrasi dilakukan setiap tahun, dengan memperhatikan grafik debit terhitung

pada bulan juli, agustus dan september. Debit terukur pada 3 bulan tersebut mendekati atau sama dengan ($\approx$) *baseflow* terhitung. Karena hujan pada bulan (juli, agustus, september) sangat minim atau mendekati Nol (tidak ada hujan, referensi Gambar 7), maka hujan yang jatuh relatif tidak menghasilkan aliran permukaan (runOff $\approx$ 0), sehingga porsi terbesar debit terukur (debit total) yang ada di sungai adalah berasal dari komponen aliran dasar (*baseflow*). Asumsi ini mungkin tidak berlaku pada kasus DAS di wilayah lain. Akan tetapi, pada kasus DAS di Jawa Timur (termasuk DAS Brantas), perbedaan musim penghujan dan kemarau sangat kontras, dan meskipun tidak ada hujan di musim kemarau, tetapi mayoritas sungai di Jawa Timur masih ada aliran (debit) nya. Debit ini adalah kontribusi dari aliran dasar.

Kalibrasi dilakukan dengan memasukkan nilai parameter secara manual untuk setiap metode sampai mendapatkan hasil grafik yang memadai. *Trial* dihentikan jika posisi aliran dasar (debit terhitung - garis yang berwarna merah) dan aliran sungai (debit total - grafik biru) saling berhimpit, pada ke tiga bulan (Juli, Agustus, September (Gambar 8).

Gambar 9 Kalibrasi untuk metode grafis

Nilai parameter dicobakan tiap tahun mulai 1996. Nilai parameter yang diperoleh pada saat posisi seperti Gambar 9 kemudian dicatat. Dilanjutkan untuk tahun 1997, 1998 sampai dengan 2005. Nilai parameter optimal untuk periode kalibrasi ditentukan dari nilai rerata parameter yang didapat pada tiap-tiap tahun. Setelah ketemu nilai parameter untuk 1 metode, selanjutnya digunakan metode atau algoritma lain sampai ke tiga metode terkalibrasi. Pemisahan aliran dasar pada metode grafis menggunakan parameter N dan F.

c. Validasi

Validasi adalah proses lanjutan dari proses kalibrasi. Parameter optimal (nilai rerata) hasil kalibrasi selanjutnya digunakan untuk memisahkan aliran dasar pada periode Kalibrasi

(1996 – 2005) dan periode validasi (2006 s.d. 2015).

d. Evaluasi Kinerja

Kinerja dari ke tiga (3) algoritma atau model tersebut selanjutnya dievaluasi secara statistik menggunakan RMSE dan koefisien determinasi.

(a) Root Mean Square Error (RMSE) digunakan untuk mengetahui tingkat kesalahan (*error*) yang dihasilkan pada saat pemodelan. RMSE membandingkan antara debit terukur dan debit terhitung. Persamaan RMSE

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum (Q_m - Q_0)^2}}{n} \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

Q_0 = debit total,

Q_m = debit terhitung,

n = jumlah sampel (Indarto, 2012).

Debit terukur adalah debit total yang terukur di sungai atau debit yang diukur oleh petugas di stasiun pengukuran debit. Debit terhitung dalam hal ini adalah debit yang dihitung oleh tiap metode pemisahan aliran. Dalam studi ini, nilai debit terukur dan terhitung untuk 3 bulan (juli, agustus, dan september) periode 1996 sd 2005 hasil pemisahan oleh tiap metode dibandingkan dan dihitung nilai RMSE-nya untuk periode kalibrasi.

Selanjutnya, nilai debit terukur dan terhitung oleh tiap metode untuk 3 bulan (juli, agustus, september) dari tahun 2006 sd 2015 digunakan untuk mengevaluasi kinerja tiap metode pada periode validasi. Nilai RMSE yang diperoleh pada periode kalibrasi dibandingkan dengan nilai RMSE periode validasi.

(b) Koefisien Determinasi (r^2) diperoleh dari scatter-plot antara debit terukur dan terhitung pada periode yang sama dengan perhitungan RMSE.

e. Visualisasi

Visualisasi hasil pemisahan aliran dasar dilakukan menggunakan grafik FDC dan hidrograf hasil pemisahan. Secara visual kinerja persamaan ditampilkan melalui grafik hidrograf dan grafik FDC.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1 Hasil Kalibrasi dan validasi

a. Rentang nilai parameter

Tabel 6 menunjukkan nilai rentang parameter dari 3 metode yang didapatkan dari hasil *trial and error*, setiap tahunnya.

Tabel 6 Rentang nilai parameter

Metode	Local Minimum	Fixed	Sliding
Parameter	N	f	N
Ploso	6 - 10	0,640 - 0,980	20 - 37
Kertosono	8 - 10	0,669 - 0,990	14 - 27
Rentang nilai parameter	6- 10	0,640 - 0,990	14 - 37
			18 - 57

b. Nilai parameter rerata

Selanjutnya, dihitung nilai rerata parameter dari trial setiap tahun-nya. Nilai rerata parameter ini selanjutnya digunakan sebagai nilai parameter kalibrasi dan validasi.

Tabel 7 Nilai parameter rerata

Metode	Parameter	Ploso	Kertosono
Local Minimum	N	8	9
	f	0,82	0,83
Fixed Interval	N	29	21
Sliding interval	N	22	51

2 Uji statistik

a. Nilai RMSE

Nilai RMSE dari periode kalibrasi dan validasi ditampilkan pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8 Nilai RMSE periode kalibrasi

Metode	Ploso	Kertosono
Local Minimum	1,69	0,66
Fixed interval	1,79	0,74
Sliding interval	1,73	1,10

Tabel 9 Nilai RMSE periode validasi

Metode	Ploso	Kertosono
Local Minimum	3,76	1,00
Fixed interval	4,14	1,23
Sliding interval	4,03	1,62

Tabel 8 menunjukkan metode *local minimum* menghasilkan nilai RMSE yang kecil dibandingkan dengan metode lainnya, begitupula pada periode validasi metode tersebut menghasilkan nilai RMSE yang cukup kecil (Tabel 9). Oleh karena itu, metode ini dapat dikatakan memiliki kinerja yang baik untuk memisahkan aliran dasar dari aliran total pada kedua DAS.

b. Nilai R Square (R^2)

Nilai R^2 dari periode kalibrasi dan validasi disajikan pada Tabel 10 dan Tabel 11.

Tabel 10 Nilai R Square periode kalibrasi

Metode	Ploso	Kertosono
Local Minimum	0,57	0,83
Fixed interval	0,53	0,77
Sliding interval	0,59	0,53

Tabel 11 Nilai R Square periode validasi

Metode	Ploso	Kertosono
Local Minimum	0,61	0,92
Fixed interval	0,57	0,90
Sliding interval	0,58	0,86

Kinerja model yang baik dapat dilihat dari nilai *R-Square* yang mendekati ~1. Tabel 10 dan Tabel 11 menunjukkan metode *local minimum* menghasilkan nilai *R-Square* yang cukup tinggi.

c. Flow Duration Curve (FDC)

Kinerja dari ke tiga metode Grafis dapat juga dilihat dari grafik FDC (Indarto, 2017).

Gambar 10 Visualisasi FDC sub-DAS Brantas Kertosono (periode 1996 – 2015).

Gambar 11 Visualisasi FDC sub-DAS Brantas Ploso (periode 1996 – 2015).

Grafik FDC di atas menggambarkan debit besar (debit banjir) di bagian kiri sedangkan debit kecil divisualisasikan di bagian kanan bawah. Metode pemisahan yang dapat bekerja dengan baik akan menghasilkan grafik yang berhimpitan antara debit terukur dan debit terhitungnya pada bagian kanan-bawah.

Gambar 10 dan Gambar 11 menunjukkan metode *local minimum* memiliki kinerja yang baik pada kedua sub-DAS. Hal ini dikarenakan selisih antara *baseflow* yang dihasilkan kedua metode tersebut dengan debit terukur sangat kecil dan menghasilkan grafik yang saling berhimpitan dibagian kanan.

2. Visualisasi hidrograf

a. Periode Satu Tahun

Gambar 12 dan Gambar 13 menunjukkan hasil pemisahan *baseflow* dari 3 metode untuk periode satu tahun pada masing-masing DAS.

Gambar 12 Hasil pemisahan aliran dasar pada sub-DAS Brantas Kertosono (Zoom mulai 1 Januari- 31 Desember 2000).

Gambar 12 dan Gambar 13 memperlihatkan bahwa metode *local minimum* memiliki kinerja yang lebih baik dalam pemisahan aliran dasar dibandingkan dengan metode lainnya.

Gambar 13 Hasil pemisahan aliran dasar pada sub-DAS Brantas Ploso (Zoom 1 Juli – 30 September 2000).

Metode yang memiliki kinerja yang baik dalam pemisahan aliran dasar akan menghasilkan *baseflow* yang hampir sama dengan debit terukur saat musim kemarau. Hal ini dapat di ketahui dari grafik antara debit terukur dengan grafik *local minimum* yang saling berhimpitan pada musim kemarau.

3 Baseflow Index (BFI)

BFI merupakan perbandingan antara volume aliran dasar dengan volume total aliran sungai (debit terukur/debit total). Nilai *baseflow index* dari tiga metode Grafis tahun 1996 – 2015 disajikan pada Tabel 12.

Tabel 12 Hasil perhitungan nilai BFI

	<i>Local Minimum</i>	<i>Fixed Interval</i>	<i>Sliding Interval</i>
Kertosono			
Maks	1	1	1
Rerata	0,71	0,68	0,58
Ploso			
Maksi	1	1	1
Rerata	0,65	0,57	0,61

Ketersediaan air sungai pada musim kemarau dipengaruhi oleh besarnya nilai *baseflow index*. Menurut Tallaksen & Van Lannen (2004) mengatakan bahwa nilai *baseflow index* yang berkisar 0,9 menunjukkan DAS yang permeable. Nilai *baseflow index* yang tinggi menggambarkan DAS yang memiliki jenis aliran relatif stabil dan DAS tersebut mampu memberikan suplai air ke sungai meskipun pada musim kemarau. Nilai *baseflow index* yang rendah (antara 0,15 sampai 0,2) menunjukkan DAS yang relatif kedap dengan debit aliran yang cepat menghilang.

Tabel 12 menunjukkan bahwa tiga metode grafis menghasilkan nilai BFI yang bervariasi. Metode *local minimum* menghasilkan nilai BFI yang tinggi pada setiap DAS. Nilai BFI dari metode *local minimum* yaitu 0,71 pada Sub-DAS Brantas Kertosono dan 0,65 pada Sub-DAS Brantas Ploso. Hal ini menunjukkan bahwa kedua DAS tersebut dapat mempertahankan aliran sungai pada musim kemarau.

KESIMPULAN

Berdasarkan kriteria pada uji statistik RMSE, *R Square* dan FDC metode yang memiliki kinerja terbaik dalam memisahkan aliran dasar pada sub-DAS Brantas Ploso dan sub-DAS Brantas Kertosono yaitu metode *local-minimum*. Nilai rerata parameter yang diperoleh yaitu $N=8$ dan $f=0,820$ untuk Sub-DAS Brantas Ploso sedangkan nilai parameter pada Sub-DAS Brantas Kertosono yaitu $N=9$ dan $f=0,830$. Selanjutnya, Nilai parameter tersebut dapat diterapkan pada sub-DAS Ploso dan Kertosono untuk memperkirakan ketersediaan aliran pada saat musim kemarau pada periode setelah 2015, sebagai bahan pertimbangan dalam perencanaan alokasi air.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari Hibah Kompetensi tahun anggaran 2016 – 2017 yang didanai oleh Kementerian Ristek Dikti. Tim Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi terhadap suksesnya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J.G. & Allen, P. M. (1999). Automated Methods for Estimating Baseflow and Groundwater Recharge from Streamflow Records. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 35:411-424. doi:10.1111/j.17521688.1999.tb03599.
- 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 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 Streamflow Recession and Baseflow Separation Hydrological Processes. *Australia: Institute of Engineers Australia*, Vol. 13: 57-63.
- 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. (2003). Tests of Two Physically Based Filters for Base Flow Separation, *Water Resources Research* 39 (10). doi:10.1029/2002WR001621.
- Fenton, J. D. (2018). On the Generation of Stream Rating Curves. *Journal of Hydrology Vol. 564*: 748 – 757
- Gonzales, A. L., Nonner, J., Heijkers, J., & Uhlenbrook, S. (2009). Comparison of Different Base Flow Separation Methods in a Lowland Catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13:2055–2068
www.hydrol-earth-syst-sci.net/13/2055/2009/.
- Gregor, M. (2012). *Hydrooffice User Manual version 2012*. http://hydrooffice.org
- Gregor, M. (2015). *Hydrooffice User Manual version 2015*. http://hydrooffice.org.

- Hakim, F.L. (2019). Interpretasi citra satelit landsat 8 untuk pemetaan tutupan lahan provinsi jawa timur. Skripsi_S1. PS TEP, FTP, Universitas Jember.
- Hall, F. R. (1968). Baseflow recessions – a review. *Water Resources Research*, 4(5): 973-983
- Indarto. (2010). *Hidrologi – Dasar Teori Dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*. ISBN: 978-979-010-579-9. PT Bumi Aksara.
- Indarto, I., Novita, E., & Wahyuningsih, S. (2016). Preliminary Study on Baseflow Separation at Watersheds in East Java Regions. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, Volume 9, 2016:538-550.
[DOI: 10.1016/j.aaspro.2016.02.174](https://doi.org/10.1016/j.aaspro.2016.02.174).
- Indarto, I., Ratnaningsih, A., & Wahyuningsih, S. (2017). Calibration of Six Recursive Digital Filters for Baseflow Separation in East Java. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences* (2017) 12(12).
- Indarto (2016). *Hidrologi – Metode Analisis dan tool untuk Interpretasi Hidrograf Aliran Sungai*. PT Bumi Aksara.
- Klemeš, V. (1986). Operational Testing of Hydrological Simulation Models. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 31 (1): 13-24.
- Linsley, R.K., Kohler, M.A., Paulhus, J.L.H., & Wallace, J.S. (2014). *Hydrology for Engineers*. McGraw Hill, New York.
- Marsh, N. (2004). Time Series Analysis Module: River Analysis Package. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology, Melbourne Australia: Monash University.
- McGlynn, B. L. & McDonnell, J. J. (2003). Quantifying the Relative Contributions of Riparian and Hillslope Zones to Catchment Runoff. *Water Resour. Res.* 39 (11):1310.
- Meshgi, A., Schmitter, P., Babovic, V., & Chui, T. V. M. (2014). An Empirical Method for Approximating Stream Baseflow Time Series Using Groundwater Table fluctuation. *Journal of Hydrology* 519: 1031-1041.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.08.033>.
- 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. & McMahon, T.A. (1990b), Estimating Low Flow Characteristics in Ungauged Catchments. *Water Res. Manage.* 6: 85-100.
- Partington, D., Brunner, P., Simmons, C. T., Werner, A. D., Therrien, R., Maier, H.R., & Dandy, G.C. (2012). Evaluation of Outputs from Automated Baseflow Separation Methods Against Simulated Baseflow From a Physically Based, Surface Water-Groundwater flow Model. *Journal of Hydrology* 458-459 (2012) :28-39.
- Piggott, A. R., Moin, S. & Southam, C. (2005). A Revised Approach to the UKIH Method for the Calculation Of Baseflow / Une Approche Améliorée de La Méthode de L'ukih Pour Le Calcul de L'écoulement de Base. *Hydrological Sciences Journal*, 50(5): 911-920, DOI: 10.1623/hysj.2005.50.5.911, <https://doi.org/10.1623/hysj.2005.50.5.911>
- Priyanto, I. D. (2015). Studi Baseflow Menggunakan Perbandingan Metode Grafis Dan Metode Rdf (Recursive Digital Filter) (Studi Kasus Di Wilayah Upt Psda Pasuruan).
<http://repository.unej.ac.id/123456789/64992>
- Puspitasari, N. D. (2015). Analisis Baseflow Menggunakan Metode Grafis Dan Metode Rdf (Recursive Digital Filter) (Studi Kasus Di Wilayah Upt Psda Bondowoso)
<http://repository.unej.ac.id/123456789/65381>. Date: 2015-12-01.
- Ratnasari, D. (2015). Study Baseflow Menggunakan Perbandingan 6 Metode RDF (Recursive Digital Filter) (Studi Kasus di DAS Wilayah UPT PSDA Bondowoso).
<http://repository.unej.ac.id/123456789/72841>. Date: 2016-01-28.
- Shengjia, H., Li, S., Xie, R., Lu, J. (2016). Baseflow Separation Based on a Meteorology Corrected Nonlinier Reservoir Algorithm in a Typical Rainy Agricultural Watershed. *Journal of Hydrology*. 533(2016):418-428.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.02.010>.
- Sloto, R. & Crouse, M. (1996). HYSEP: A Computer Program For Streamflow Hydrograph Separation And Analysis. *US Geological Survey, Water Resources Investigations, Report* 96-4040.
- 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. & Van Lanen, H.A.J. (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.
- Tianfang, X. & Valocchi, A.J. (2015). Data-Driven Methods to Improve Baseflow Prediction of a Regional Groundwater Model. *Computers & Geosciences*: 1 – 13
- Tularam, G. A & Ilahee, M. (2008). Exponential Smoothing Method of Base Flow Separation And Its Impact on Continuous Loss Estimates. *American Journal of Environmental Sciences*. Brisbane: *Environment Engineering and Technology Griffith University (ENV)*. Vol. 4 (2): 136-138.
- Wahyuningsih, S., Indarto, I., & Galih, Y.T. (2018). Pengujian 9 Algoritma Untuk Pemisahan Aliran Dasar : Studi Di Wilayah UPT PSDA di Madiun. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol 25, No 2.