

ANALISIS KURVA RESESI ALIRAN DASAR MENGGUNAKAN MODEL RESERVOIR LINIER PERANGKAT LUNAK *RECESSION CURVE HYDROOFFICE* PADA DAS WURYANTORO KABUPATEN WONOGIRI PROPINSI JAWA TENGAH

Bokiraiya Latuamury

Jurusan Kehutanan Fakultas Pertanian Universitas Pattimura, Ambon
Email:okky.environmentalscience@gmail.com

Sudarmadji dan Slamet Suprayogi

Jurusan Geografi Lingkungan Fakultas Geografi
Universitas Gadjah Mada

ABSTRACT

The hydrograph recession curve expresses the theoretical relationship between the aquifer structure and the flow of groundwater flowing into the river basin channel. These theoretical relationships are often empirically depicted using the base flow recession curve. The hydrograph recession curve is commonly used to estimate the recessionary parameters, aquifer properties and to evaluate alternative hydrological hypotheses. The river basin hydrograph recession curve records the behavior of the relationship between the aquifer structure and its association with groundwater outflow to the river channel. This research was conducted with the aim: to analyze the characteristics of the baseflow recession based on the parameters and coefficients of the recession, and the shape of the individual recession curve and the master recession curve.

The characteristics of the baseflow recession to research sub-watershed have the recession curves tend to sloped, describing the water storage well enough. The parameter Q_0 (recession early), a and the recession constant K_{rb} ranging from 0,80 – 0,90 for the individual and master recession curve in all three research sub-watershed. This calculation result indicates that the recession characteristics in three research sub-watershed have the condition of water storage is excellent, because they are supported by the aquifer characteristics dominated by the geological structures are more permeable (porous).

Keywords: *baseflow recession characteristic; the parameters of recession; the individual's recession curve shape; the master recession curve.*

ABSTRAK

Kurva resesi hidrograf aliran sungai merupakan hubungan teoritis antara struktur akuifer dan aliran airtanah yang mengalir menuju saluran sungai. Hubungan teoritis ini sering digambarkan secara empiris menggunakan kurva resesi. Kurva resesi hidrograf digunakan untuk mengestimasi parameter resesi, sifat akuifer dan untuk mengevaluasi kondisi hidrologi DAS. Untuk itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kurva resesi aliran dasar sungai meliputi kurva resesi individu, dan kurva resesi master baik secara manual dan melalui pemrosesan algoritma genetika menggunakan model reservoir linier dari perangkat lunak *hydrooffice* paket *recession curve* (RC) 4.0. Hasil analisis kurva resesi individu menunjukkan bahwa karakteristik resesi aliran dasar di SubDAS Wuryantoro cenderung bervariasi, dengan nilai RMSE (*root mean square error*) < 0,001, dan dipertimbangkan mewakili bentuk kurva resesi individu di DAS penelitian. Hasil analisis kurva resesi individu dan kurva resesi master secara manual maupun melalui proses algoritma genetika memiliki nilai koefisien resesi adalah (0,80 dan 0,90). Analisis

kurva resesi master secara algoritma genetika lebih optimal dibandingkan dengan kurva resesi master secara manual. Bentuk kurva resesi master yang landai menggambarkan kondisi simpanan air DAS lebih cukup tinggi, dan tersimpan dalam waktu yang lebih lama. Bentuk kurva resesi master juga menunjukkan karakteristik akuifer, terutama struktur geologi yang bersifat permeable (porous).

Kata Kunci: Analisis kurva resesi; Kurva resesi individu; Kurva resesi master, Simpanan air DAS.

PENGANTAR

Pendekatan kurva resesi secara luas merupakan suatu karakterisasi teoritis dari perilaku resesi hidrograf Daerah Aliran Sungai (DAS). Teori resesi hidrograf dimunculkan dari penelitian aliran airtanah (Dupuit 1863; Boussinesq, 1877; Maillet, 1905) dan sejak saat itu mendorong beragam pendekatan untuk karakterisasi hubungan antara aliran permukaan dan aliran airtanah selama periode aliran rendah (Tallaksen, 1995; Smakhtin, 2001). Penelitian resesi aliran dasar mendapat banyak perhatian, terutama penelitian yang fokus terhadap kuantitas debit airtanah maupun kualitas debit airtanah menuju saluran sungai.

Setiap Daerah Aliran Sungai (DAS) memiliki kurva resesi individu dan kurva resesi master. Kurva resesi master mencerminkan karakteristik penyimpanan DAS secara keseluruhan dan merupakan kombinasi sistem aliran sungai dan aliran airtanah yang respon terhadap kejadian hujan (Beven dan Kirkby, 1993). Jika cara menggabungkan seluruh rangkaian kurva resesi membentuk garis-garis kontinu yang relatif landai, maka bentuk kurva resesi master lebih landai. Kurva resesi yang mengelompok membentuk dua kurva resesi individu. Hal mengindikasikan bahwa ada dua sistem penyimpanan DAS yang berbeda dalam merespon curah hujan, masing-masing dapat digambarkan dengan persamaan linier terbaik untuk nilai K sebagai fungsi dari $\log Q$. Kurva resesi master dengan kemiringan landai, menunjukkan korelasi yang sangat kuat antara waktu dan debit sungai mendekati 1, yang ditentukan dalam hari persiklus \log .

Proses penyimpanan air dalam skala DAS, dicirikan dengan kurva resesi master,

yaitu kurva resesi master berbentuk landau merupakan hasil dari penyimpanan aliran dasar yang tinggi dalam sistem aliran sungai dan airtanah. Sistem tersebut mencerminkan karakteristik DAS beberapa tahun berdasarkan besar-kecilnya sistem input curah hujan dalam jangka panjang. Sementara, kurva resesi master berbentuk curam, menunjukkan bahwa kapasitas penyimpanan jenuh beberapa hari. Kapasitas penyimpanan kecil, menunjukkan kemungkinan input curah hujan relatif kecil, terlokalisasi pada bagian DAS tertentu. Kondisi ini dibandingkan dengan potensi penyimpanan aliran sungai dan airtanah memiliki volume kecil, terutama bila dianggap penyimpanan depresi besar di DAS, dan fakta bahwa hanya sekitar 50% DAS berkontribusi terhadap limpasan permukaan. Kurva resesi curam umumnya ditemukan selama musim kemarau, dengan resesi aliran dasar yang semakin menurun. Hal ini terutama berpengaruh signifikan pada daerah dengan muka airtanah dangkal dan vegetasi ekstensif, di mana pengeringan dari tanah lapisan atas dapat digantikan oleh pengangkutan kapiler airtanah (Szilagyi *dkk.*, 2007).

Bentuk kurva resesi merupakan suatu segmen hidrograf, dan kurva resesi tersebut memiliki korelasi satu sama lain (Tallaksen, 1995). Hubungan fungsional ini harus dilengkapi dengan data yang memadai untuk memperoleh pernyataan kuantitatif (Eckhardt, 2008). Model resesi dapat dipilih antara pernyataan analitis yang dipilih apriori berdasarkan pertimbangan teoritis, atau ditentukan berdasarkan penilaian empiris. Persamaan resesi terpilih, disesuaikan untuk suatu set data tertentu dan kesesuaian visual subyektif terbaik. Sebuah prosedur teknik manual biasanya bersifat subyektif dan handal untuk kesalahan manusia. Sementara, metode otomatis lebih cepat, handal dan obyektif, serta digunakan untuk mengestimasi parameter resesi dan karakteristik resesi.

Perilaku debit sungai pada skala DAS diperkenalkan oleh Brutsaert (2008) melalui sebuah pendekatan untuk mengestimasi parameter resesi hidrograf dari kurva resesi, terutama debit sungai saat kondisi aliran

dasar. Stoelzle *dkk.*, (2013) menggambarkan cara pemilihan resesi hidrograf tunggal yang mempengaruhi persepsi mengenai perilaku simpanan dan keluaran aliran keluar. Berdasarkan uraian tersebut di atas, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik resesi aliran dasar melalui analisis kurva resesi individu, dan kurva resesi master melalui pemrosesan algoritma genetika dengan menggunakan teknik pemilihan dan pemrosesan secara otomatis dan debit *time series* yang relatif panjang sebagai representasi karakteristik resesi aliran yang optimal pada DAS Wuryantoro Kabupaten Wonogiri Propinsi Jawa Tengah.

Hasil penelitian analisis dan pemodelan kurva resesi aliran dasar sungai diharapkan berguna dalam banyak bidang perencanaan dan manajemen sumberdaya air antara lain: (1) dalam peramalan aliran dasar untuk pengelolaan irigasi, penyediaan air, pembangkit listrik tenaga air maupun pengenceran limbah; (2) berperan dalam pemodelan matematika untuk kalibrasi, atau sebagai input untuk pemodelan curah hujan-limpasan- aliran dasar; (3) berperan dalam analisis hidrograf resesi untuk pemisahan grafis komponen aliran yang berbeda; dan (4) berperan dalam analisis frekuensi untuk estimasi statistik aliran dasar dalam studi aliran dasar regional sampai dengan indeks kapasitas penyimpanan air DAS.

Metode Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan di DAS Wuryantoro Kabupaten Wonogiri Provinsi Jawa Tengah. Pencatatan debit harian selama

kurun waktu dari 1 Januari 2000 – 31 Desember 2010. DAS ini Keduang dipertimbangkan untuk diteliti karena kelengkapan data SPAS (Stasiun Pengamatan Aliran Sungai) dengan debit harian yang layak untuk analisis kurva resesi aliran dasar. Lokasi SPAS terletak pada koordinat UTM yakni X 483012,04 dan Y 9128720,68 dengan luas DAS 17,78 km².

Prosedur penelitian

Penelitian ini menggunakan perangkat lunak hydrooffice 12.0 (<http://hydrooffice.org>) paket *Recession Curve* (RC) 4.0 (Gregor dan Malik, 2010 dan 2012) untuk menganalisis karakteristik resesi aliran dasar pada DAS Wuryantoro Propinsi Jawa Tengah. Data debit harian selama kurun waktu 1 Januari 2000 sampai dengan 31 Desember 2010) digunakan untuk pemilihan dan pengolahan segmen resesi serta analisis kurva resesi individu dan kurva resesi master, dengan melakukan kalibrasi model resesi adalah model reservoir linier (Persamaan 1) (Boussinesq 1877; Maillet 1905):

$$Q = Q_0 e^{-kt} \tag{1}$$

dimana: Q0 =debit awal resesi, k = koefisien resesi. Paraeter Q0 dan k, dikalibrasi dalam model reservoir linier.

Model reservoir linier dipertimbangkan karena ketersediaan *time series* debit harian relatif pendek 10 tahun seperti yang disyaratkan model. Persamaan resesi dipilih atas dasar pertimbangan teoritis, penilaian empiris, dan disesuaikan dengan dataset dan kesesuaian visual terbaik.

Model Konseptual	Persamaan fungsi resesi	Tipe Simpanan
Linear reservoir (Boussinesq 1877; Maillet 1905)	$Q = Q_0 e^{-kt}$	Persamaan Deputit-Boussinesq Untuk Simpanan umum dalam periode resesi relatif pendek
Horton double exponential model (Horton 1933)	$Q = Q_0 e^{-\alpha_1 t} + \alpha_2 t^m$	Model reservoir linier untuk transformasi simpanan umum
Exponential reservoir	$Q = Q_0 / (1 + \phi Q_0 . t)$	Model untuk konduktivitas hidraulik tanah yang diasumsikan menurun secara eksponensial terhadap kedalaman airtanah

**BOKIRAIYA LATUAMURY, SUDARMADJI DAN SLAMET SUPRAYOGI ❖ ANALISIS KURVA
RESESI ALIRAN DASAR MENGGUNAKAN MODEL RESERVOIR LINIER PERANGKAT...**

Model Konseptual	Persamaan fungsi resesi	Tipe Simpanan
Power-law reservoir (Brutsaert and Nieber 1977; Hall 1968)	$Q = Q_0 / (1 + \mu t)^\rho$ $\rho = \beta / (1 - \beta)$ $\mu = \alpha^{1/\beta} (\beta - 1) Q_0^{\beta-1}$	Model untuk mataair dan akuifer (p=2), kelembaban tanah, persamaan resesi dimodelkan menggunakan ($\rho \approx 1,671$; Wittenberg, 1994)
Dupuit-Boussinesqov aquifer storage (Boussinesq 1904)	$Q = Q_0 / (1 + \alpha_3 t)^{-2}$	Kasus khusus untuk akuifer airtanah dangkal
Hyperbola reservoir (Toebes Strang, 1964)	$Q = \alpha_1 t^{-\nu} + b$	Lelehan salju, danau
Constant reservoir (Toebes Strang, 1964)	$Q = \alpha$	Simpanan airtanah luas, aliran sungai konstan dengan periode yang sangat panjang
Turbulent model (Kullman 1990)	$Q = Q_0 (1 - \beta t)$	Akuifer Karst
Hyperbolic model (Kovács 2003)	$Q = Q_0 (1 + \alpha t)^n$	Akuifer Karst

Q =debit, t =waktu permulaan resesi, Q_0 = waktu untuk $t=0$; $k, n, m, \alpha, \beta, \mu, \phi, \gamma, \varphi$ = parameter yang diturunkan dari kalibrasi model

Kurva resesi individu dan kurva resesi master dibuat secara manual dan/ atau secara otomatis. Memindahkan kurva resesi individu pada timeline (sumbu horisontal), sehingga membentuk satu kurva resesi master (Gregor dan Malik, 2012). Hasil kurva resesi master yang dibuat dari data input. Menciptakan kurva resesi master difokuskan terutama untuk menjelaskan perjalanan resesi dari kondisi aliran dari sistem hidrologi (DAS) dan/ atau struktur hidrogeologi pada saat deplesi, kemudian mencatat aliran terendah. Rezim resesi mencirikan aliran yang tidak terpengaruh limpasan oleh parameter dinamis seperti parameter meteorologi dan iklim di daerah tangkapan air, tetapi hanya bergantung pada sifat hidrolik dari sistem hidrologi dan/ atau struktur hidrogeologi.

Seluruh proses membuat kurva resesi master secara otomatis diawali dengan segmentasi kurva resesi terpilih ke dalam segmen pendek. Metode resesi didasarkan pada kenyataan bahwa untuk membuat kurva resesi master, kurva resesi terpilih tidak menggunakan seluruh durasinya karena setiap kurva resesi berasal dari situasi hidrologi yang berbeda dan unik, dan setiap kurva resesi adalah unik. Semua kurva resesi terpotong

menjadi segmen pendek, yang menggambarkan perubahan resesi dalam jangka waktu hanya beberapa hari. Kurva resesi individu terpotong secara manual atau secara otomatis.

Dalam tahap pengembangan dan pengujian kurva resesi, segmentasi otomatis paling sering digunakan. Untuk menjalankan metode segmentasi otomatis, tahapan segmentasi diatur dalam hari (atau minggu), dengan durasi resesi N hari atau N minggu. Input optimal untuk segmen resesi secara otomatis (panjang durasi dari suatu segmen) adalah empat pengukuran berturut-turut (4 hari atau minggu) observasi. Setelah semua segmen individu terpilih selesai, tahap berikutnya melakukan pemrosesan pengolahan kurva resesi terpilih. Untuk memperoleh hasil kurva resesi master yang akurat, perlu memperoleh jumlah segmen yang cukup untuk setiap interval debit, dari nilai pengukuran tertinggi sampai terendah. Syarat distribusi normal dari data time series membantu proses analisis kurva resesi master.

Analisis visual distribusi frekuensi debit dapat dilihat pada tombol Histogram, yang menunjukkan frekuensi relatif dari nilai debit terukur pada bagian yang berbeda. Setelah menyesuaikan data, distribusi frekuensi dari

nilai-nilai debit lebih seragam. Ini berarti bahwa untuk menjalankan algoritma genetik, jumlah siklus evolusi yang sedikit diperlukan agar algoritma evolusioner berjalan lebih cepat, sebagaimana jumlah data yang lebih kecil diproses lebih cepat. Selama pengujian dan kinerja algoritma oleh penulis, ditemukan bahwa untuk akurasi yang cukup dari estimasi kurva resesi master yang dirakit secara otomatis adalah tepat dengan menjalankan algoritma minimal tiga kali, pada berbagai nilai parameter (terutama mutasi), dan memilih solusi terbaik.

HASIL DAN PEMBAHASAN
Parameter dan koefisien resesi dari segmen resesi individu

Hasil kalibrasi model reservoir linier memperoleh parameter awal resesi (Q_0) untuk

SubDAS Wuryantoro dari total 80 segmen resesi memiliki nilai parameter Q_0 berkisar antara (2,71 - 37,10 m^3/det) dengan nilai median 6,69 m^3/det , dan parameter Q_0 per tahun berkisar antara (2,71 - 7,59 m^3/det) dengan nilai median 5,32 m^3/det . Kombinasi parameter Q_0 , α , konstanta resesi dengan nilai residual (RMSE) bervariasi selama kurun waktu penelitian.

Perhitungan nilai α untuk SubDAS Wuryantoro berkisar antara (0,041 - 0,199) dan nilai median 0,113, dan nilai α per tahun periode 2000 - 2010 berkisar antara (0,044 - 0,158) dan median 0,106. Berdasarkan hasil α untuk total segmen resesi di SubDAS penelitian, dilakukan perhitungan konstanta resesi (Krb) SubDAS Wuryantoro dengan nilai Krb berkisar antara 0,8196 - 0,9598 dengan median 0,8932 disajikan pada Tabel 1 dan Lampiran 1.

Tabel 1. Perhitungan Parameter dan Konstanta Resesi Periode 2000-2010

Tahun	Tanggal	Durasi (Hari)	Q_0	α	Krb	Q-Obs	Q-Cal	RMSE
2000	21 jul - 1 Agust 2000	11	7.59	0.10	0.906	4.62	4.41	0.1343
2001	19 - 29 Jul 2001	10	6.81	0.16	0.854	3.09	3.09	0.0898
2002	13 - 24 Agust 2002	11	5.90	0.04	0.957	4.66	4.63	0.0318
2003	16-26 Agust 2003	10	5.32	0.11	0.893	3.18	3.02	0.0925
2004	5-15 Jul 2004	10	4.35	0.13	0.877	2.31	2.26	0.0581
2005	12-22 Okt 2005	10	6.69	0.11	0.897	3.90	3.88	0.0404
2006	9 - 19 Jul 2006	10	4.22	0.08	0.920	2.79	2.79	0.0217
2007	15 - 25 Jul 2007	10	3.90	0.11	0.893	2.27	2.22	0.0462
2008	8 - 19 Des 2008	11	6.65	0.11	0.899	3.76	3.72	0.0469
2009	10 - 21 Jul 2009	11	3.25	0.09	0.917	2.10	2.02	0.0770
2010	16 - 27 Agust 2010	11	2.71	0.05	0.956	2.12	2.12	0.0141

Sumber : Analisis kurva resesi *Recession curve Hydrooffice* 12.0, 2000 s.d 2010

Hasil perhitungan Krb per tahun selama 2000 - 2010 untuk SubDAS Wuryantoro memiliki nilai Krb berkisar antara 0,8538 - 0,9570 dengan median 0,8994. Nilai parameter, koefisien, dan konstanta resesi untuk SubDAS Wuryantoro merepresentasikan kondisi resesi aliran dasar optimal dalam kapasitas penyimpanan aliran relatif tinggi. Hasil ini sesuai dengan penelitian Nathan dan McMohan (1997) yang menyatakan bahwa konstanta resesi \pm 0,80 s.d 0,90 memiliki kapasitas penyimpanan aliran sangat tinggi.

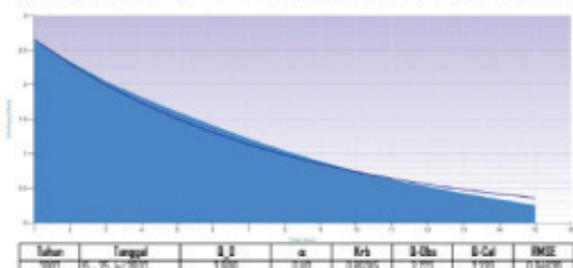
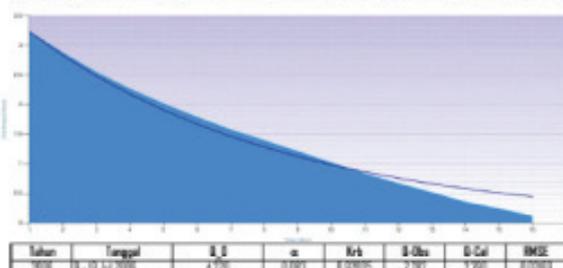
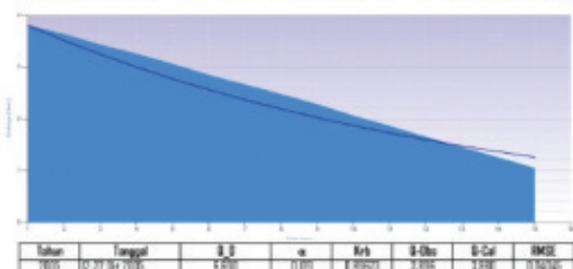
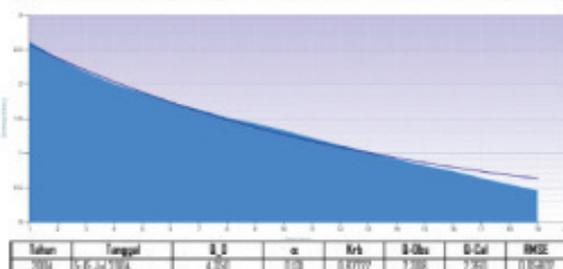
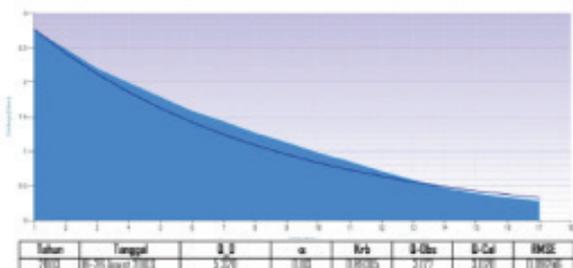
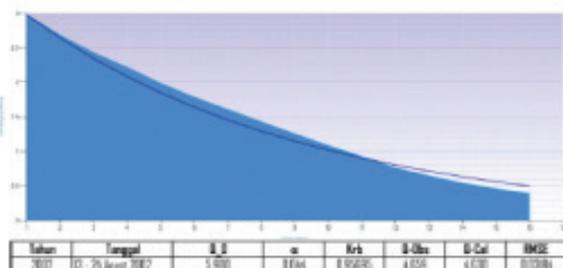
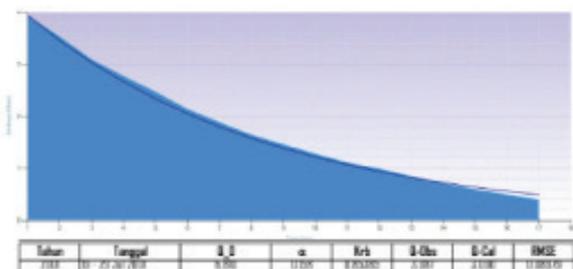
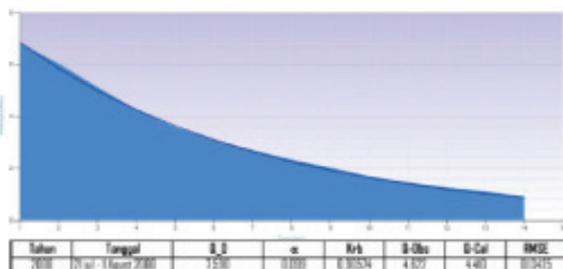
Bentuk Kurva Resesi Individu dari DAS Penelitian

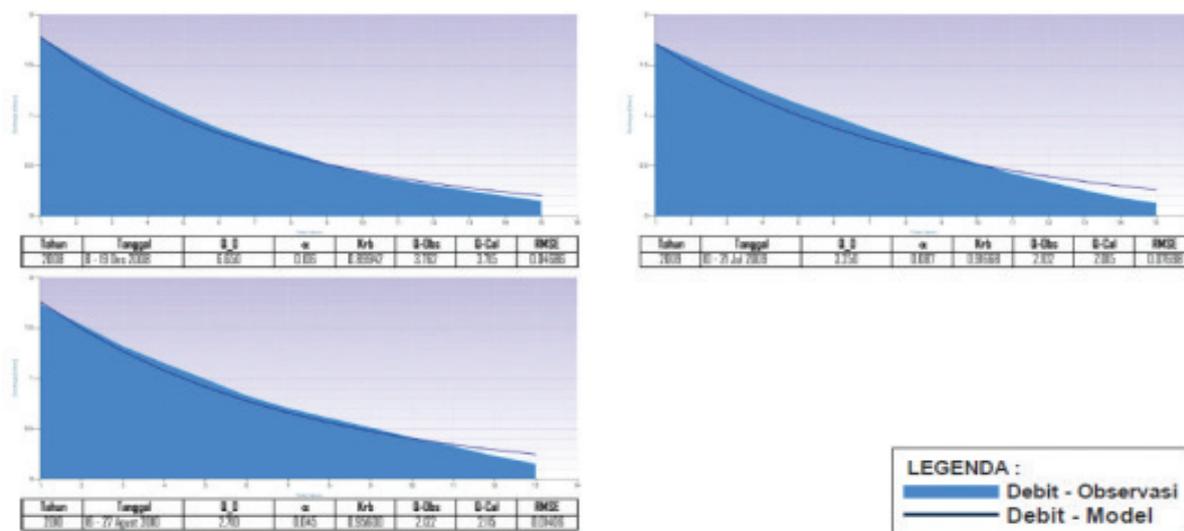
Bentuk kurva resesi individu untuk Wuryantoro selama periode 2000 s.d 2010 memperlihatkan bentuk kurva resesi individu aliran dasar yang cukup variatif, yang mencerminkan proses aliran keluar yang berbeda dalam masing-masing segmen resesi sebagai representasi karakteristik resesi aliran dasar sungai. Kurva resesi aliran dasar pada Gambar 2 memperlihatkan kurva resesi

aliran dasar dengan sumbu absis (sumbu-x) adalah waktu (dalam hari) dan sumbu ordinat (sumbu-y) adalah debit harian ($m^3/detik$). Kurva resesi aliran dasar yang dianalisis meliputi peristiwa resesi selama kurun tahun 2000 s.d 2010, kemudian peristiwa yang terpilih divalidasi dengan peristiwa resesi pengukuran, dan hasil verifikasi kurva resesi terpilih dengan nilai RMSE terkecil yang digunakan sebagai representasi karakteristik resesi aliran dasar di SubDAS Wuryantoro.

Variasi kurva resesi individu secara keseluruhan untuk SubDAS Wuryantoro, yakni dari total 80 segmen resesi diperoleh kisaran nilai Krb $\pm 0,90$ sebanyak 33 segmen resesi atau 40,74%, dan nilai Krb berkisar $\pm 0,80$ sebanyak 48 segmen resesi atau 59,26%. Hasil

persentase nilai Krb untuk SubDAS penelitian menunjukkan bahwa kurva resesi individu berada pada kirasannya Krb 0,80 - 0,90 sesuai dengan kriteria nilai konstanta resesi Nathan dan McMohan (1997) menyatakan bentuk kurva resesi aliran dasar sangat baik. Hasil penelitian ini juga mendekati penelitian dari Tallaksen (1997) yang menyatakan bahwa koefisien resesi yang tinggi memiliki kemiringan kurva resesi semakin landai, dan sebaliknya semakin kecil koefisien resesi, kemiringan kurva resesi semakin curam. Bentuk kurva resesi landai memiliki kondisi simpanan aliran dasar yang baik dan berlangsung relatif lama, sebaliknya bentuk kurva resesi curam memiliki kondisi simpanan aliran dasar yang cenderung boros dan berlangsung cepat.





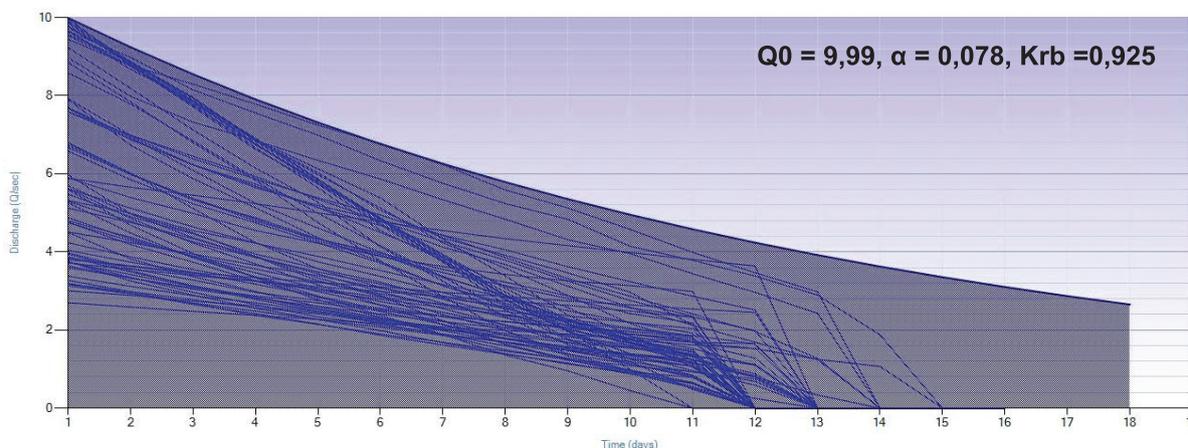
Gambar 1. Variasi kurva resesi individu SubDAS Wuryantoro periode 2000 - 2010

Bentuk Kurva Resesi Master secara Manual

Hasil analisis kurva resesi master secara manual untuk SubDAS Wuryantoro memiliki kombinasi parameter awal resesi Q_0 (9,99), nilai α (0,075) dan nilai konstanta resesi K_{rb} (0,925), artinya bahwa kurva resesi aliran dasar cenderung membentuk garis kurva resesi landai. Bentuk kurva resesi landai menggambarkan bahwa karakteristik resesi aliran dasar di SubDAS Wuryantoro memiliki kapasitas simpanan aliran sangat tinggi 92,5%. Kombinasi parameter Q_0 , α dan K_{rb} menunjukkan bahwa parameter Q_0 untuk SubDAS penelitian berkisar pada kisaran resesi aliran dasar yang optimum mengikuti

hasil penelitian konstanta resesi oleh Nathan dan McMohan, (1997) bahwa konstanta resesi berkisar diatas 0,90 memiliki bentuk kurva resesi landai dan kondisi resesi aliran dasar skala DAS memiliki kapasitas penyimpanan aliran yang optimum sebagaimana disajikan pada Gambar 3.

Rangkaian kurva resesi yang membentuk garis-garis kontinu yang relatif landai, memiliki bentuk kurva resesi master lebih landai. Kurva resesi yang mengelompok akan membentuk dua kurva resesi individu atau lebih. Hal ini mengindikasikan bahwa ada dua sistem penyimpanan DAS yang berbeda dalam merespon curah hujan, yang masing-masing dapat digambarkan dengan persamaan linier terbaik untuk nilai K sebagai fungsi dari $\log Q$.



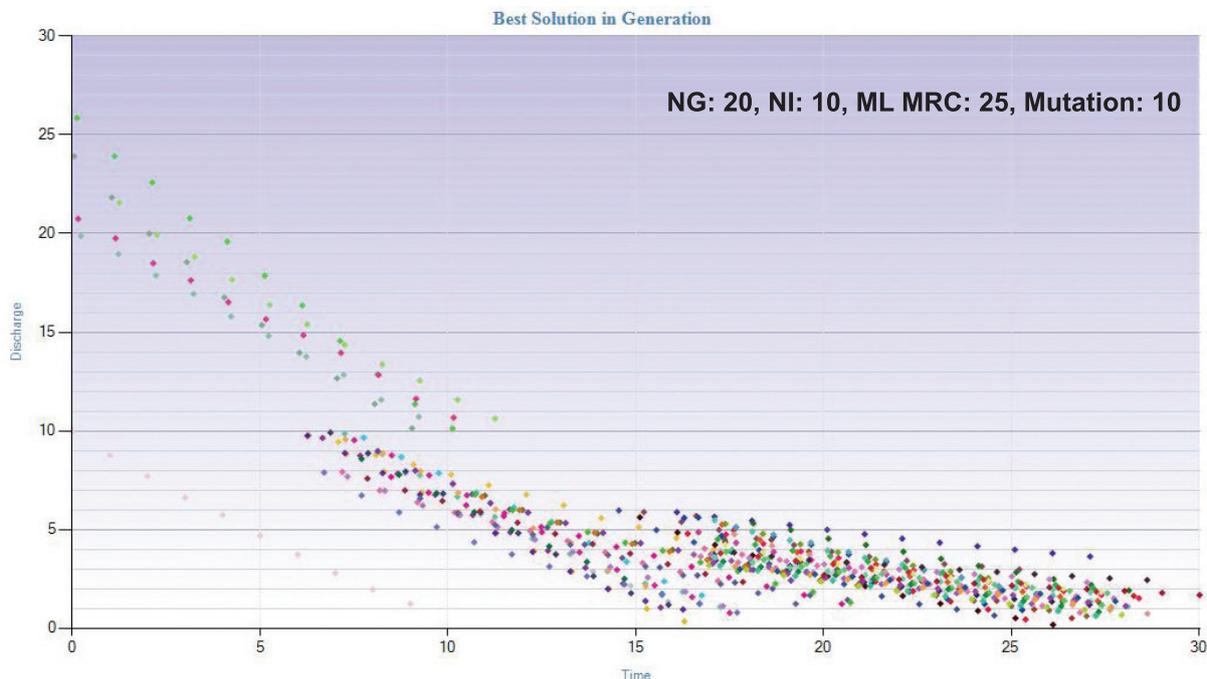
Gambar 2. Bentuk kurva resesi master secara manual DAS penelitian

Kurva resesi master dengan kemiringan landai, menunjukkan korelasi yang sangat kuat antara waktu dan debit. Terkait dengan proses penyimpanan air dalam skala DAS, dicirikan dengan kurva resesi master. Kurva resesi master berbentuk landai adalah hasil dari penyimpanan aliran dasar yang tinggi dalam sistem aliran sungai dan airtanah. Sistem tersebut mencerminkan karakteristik DAS beberapa tahun berdasarkan besar-kecilnya sistem input curah hujan dalam jangka panjang. Sebaliknya, kurva resesi master berbentuk curam, menunjukkan bahwa kapasitas penyimpanan jenuh beberapa hari. Kapasitas penyimpanan kecil, menunjukkan kemungkinan input curah hujan relatif kecil, terlokalisasi pada bagian DAS tertentu. Kondisi ini dibandingkan dengan potensi penyimpanan

aliran sungai dan airtanah memiliki volume kecil, terutama bila dianggap penyimpanan depresi besar di DAS, dan fakta bahwa hanya sekitar 50% DAS berkontribusi terhadap limpasan permukaan (Szilagyi *et al.*, 2007).

Kurva resesi master dari proses algoritma genetika

Hasil pemrosesan evolusi dan solusi terbaik dari keempat parameter siklus evolusi adalah parameter *number of generation* (NG) ditetapkan 20, *number of individu* (NI) ditetapkan 10, *Cross of probability* 0.90, *maximum length of master recession curve* (ML MRC) 25, dan *maximal dispersion of mutation* 10. Visualisasi hasil solusi terbaik (*best solution*) untuk SubDAS Wuryantoro disajikan pada Gambar 3, menunjukkan pola resesi yang menumpuk dan cenderung bergerak ke kanan.



Gambar 3. Visualisasi solusi terbaik (*best solution*) dalam generasi algoritma genetika

Kinerja algoritma dari solusi terbaik yang ditampilkan menunjukkan bahwa solusi terbaik dari kurva resesi master yang optimal untuk Wuryantoro. Pengujian kinerja algoritma dilakukan untuk memperoleh hasil akurasi yang cukup optimum dalam melakukan

estimasi kurva resesi master yang dirakit secara otomatis, sehingga memperoleh hasil estimasi yang akurat. Kinerja algoritma evolusi dapat diperlihatkan dengan pengembangan dispersi solusi dalam siklus evolusional. Waktu berjalan dari generasi algoritma tergantung pada

jumlah segmen yang dipilih dari kurva resesi, jumlah siklus evolusi, sejumlah solusi solusi

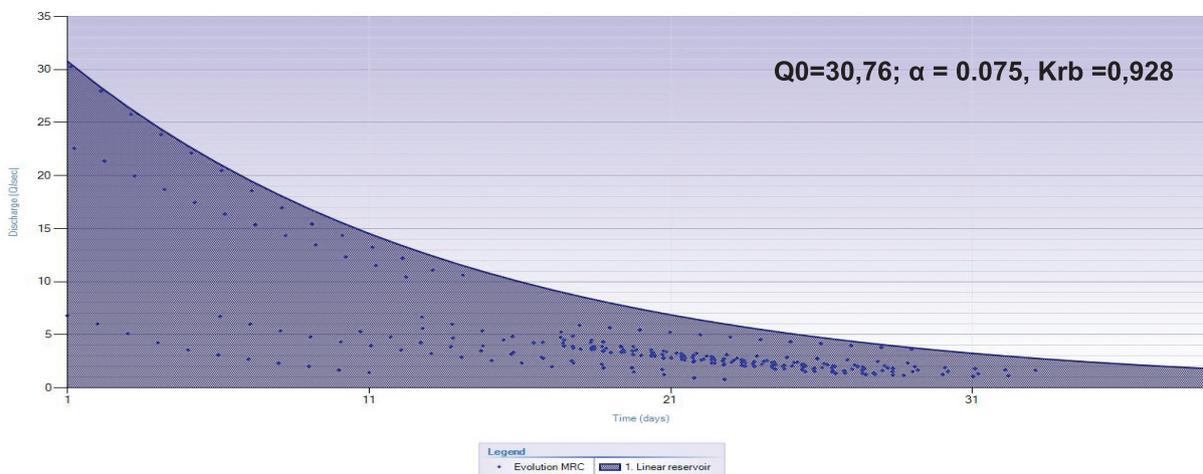
paralel (individu), dan pada parameter panjang maksimum kurva resesi master.



Gambar 4. Pengembangan dispersi solusi dalam siklus evolusional DAS penelitian

Hasil pengembangan disperse solusi dari siklus evolusi di SubDAS Wuryantoro memiliki disperse rata-rata (garis biru) yang optimal pada generasi 3 (tiga) dan solusi terbaik 390, dan disperse terbaik (garis magenta merah) pada generasi 3 (tiga) dan solusi terbaik 270. Hasil disperse solusi menunjukkan hasil yang optimum. Hasil evolusi dan solusi terbaik yang optimal ini, kemudian dilakukan analisis lanjutan untuk memperoleh optimalisasi parameter dan koefisien kurva resesi master secara algoritma genetika yang lebih akurat.

Optimalisasi parameter dan koefisien resesi kurva resesi master secara algoritma genetika untuk SubDAS penelitian, yakni memiliki nilai parameter Q_0 (30,76, nilai α (0,075) dan konstanta resesi (0,928). Bentuk kurva resesi master melalui proses algoritma genetika menunjukkan bahwa bentuk kurva resesi SubDAS Wuryantoro relatif lebih landai dengan nilai konstanta resesi $\pm 0,90$; artinya bahwa kurva resesi master secara algoritma genetika untuk SubDAS Wuryantoro memiliki simpanan aliran dasar sangat tinggi disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Hasil algoritma genetika untuk urva resesi master di SubDAS penelitian

Visualisasi kurva resesi master secara algoritma genetika menunjukkan bahwa distribusi titik data bergeser ke kanan dan cenderung menumpuk. Bentuk kurva resesi aliran dasar untuk SubDAS Wuryantoro relatif landai, memiliki kondisi resesi lebih optimal, yakni simpanan aliran dasar lebih besar dan cenderung lebih lambat. Bentuk kurva resesi memiliki tren lebih landai mendekati hasil analisis kurva resesi individu dan kurva resesi master secara manual, yakni bentuk kurva resesi lebih landai antar- peristiwa resesi dan peristiwa resesi antar- SubDAS penelitian, di mana secara teoritis lebih dipengaruhi oleh karakteristik akuifer dari SubDAS penelitian.

Keterkaitan Resesi Aliran dan Karakteristik Akuifer Batuan DAS Penelitian

Hubungan antara geologi dan resesi aliran dasar sering dilaporkan, tetapi penelitian-penelitian sebelumnya hanya terbatas pada deskripsi kualitatif. Vogel dan Kroll (1992) mengembangkan persamaan regresi dengan merumuskan model DAS konseptual untuk aliran dasar, dan memperluas model sederhana dari akuifer aliran dasar sungai untuk skala DAS. Karakteristik material penyusun geologi SubDAS penelitian mendukung hasil karakterisasi resesi aliran dasar sungai. Formasi semilir tersusun oleh tufa, breksi, batupung dasitan tufa, serpih, formasi mandalika tersusun atas Breksi aneka bahan batupasir, batulanau dan batulempung bersisipan batugamping, napal pasiran, batupasir kerikilan, berbatu- apung, setempat breksi gunungapi, dan Formasi Wonosari tersusun atas Aglomerat

bersisipan batu asir tufaan dan batupasir kasar, breksi aglomerat, kayu terkersikan, bongkah tufa terkersikan. Keberadaan dataran alluvial karst dimungkinkan berpengaruh besar terhadap jumlah simpanan air DAS. Sedimentasi material alluvial yang berasal dari hulu dengan material vulkanik memungkinkan adanya endapan alluvium yang cukup tebal, sehingga menghasilkan peningkatan infiltrasi dan simpanan aliran dasar, sebagaimana disajikan pada Lampiran 2.

Suplai air ke tubuh sungai sebagai aliran dasar dipengaruhi oleh nilai porositas material penyusunnya. Porositas batuan sangat mempengaruhi imbuhan suatu sistem air tanah, sehingga besarnya tampungan air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi porositas tersebut. Dalam proses pergerakan air secara vertikal, porositas memegang peranan penting dalam *recharge* air tanah. Karakteristik batuan dalam mempengaruhi pergerakan air diketahui dari daya hantar hidrolik (*hydraulic conductivity*) batuan. Todd (1980) menyatakan bahwa daya hantar hidrolik merupakan ukuran permeabilitas dari medianya. Identifikasi jenis batuan dominan pada skala DAS dilakukan untuk mengetahui karakteristik hidrogelologi, terutama yang berkaitan dengan kemampuannya dalam meloloskan air (permeabilitas)

LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan parameter Q_0 , koefisien resesi, debit observasi dan debit terhitung, dan RMSE model menggunakan *Recession Curve Hydrooffice 12.0* untuk SubDAS Wuryantoro

RC	Awal	Akhir	Durasi (Hari)	Q_0	α	Konstanta resesi	Q-Obs	Q-calculated	RMSE
1	1/5/2000	1/17/2000	12	22.280	0.064	0.9380	16.344	15.950	0.29246
2	2/5/2000	2/18/2000	13	37.710	0.069	0.9333	25.674	24.100	1.09571
3	3/7/2000	3/17/2000	10	23.490	0.084	0.9194	15.527	15.400	0.15395
4	5/12/2000	5/22/2000	10	20.470	0.082	0.9213	15.151	14.700	0.31930
5	7/21/2000	8/1/2000	11	7.590	0.099	0.9057	4.522	4.410	0.13425
6	2/13/2001	2/27/2001	14	30.330	0.083	0.9204	17.775	17.700	0.20714
7	3/1/2001	3/13/2001	12	22.690	0.065	0.9371	15.881	15.900	0.22653
8	6/9/2001	6/20/2001	11	9.240	0.191	0.8261	4.135	3.560	0.60237
9	7/19/2001	7/29/2001	10	6.810	0.158	0.8538	3.087	3.090	0.08979

Lampiran 1 (Lanjutan)

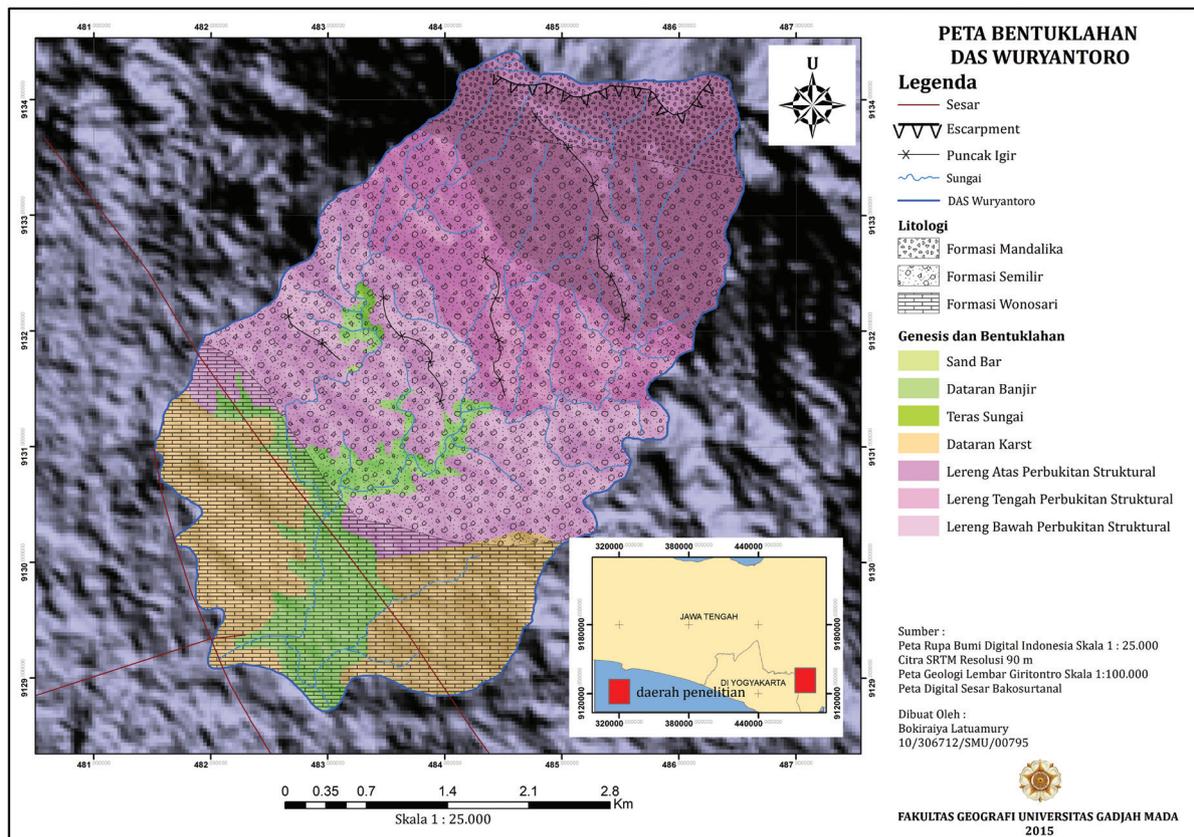
RC	Awal	Akhir	Durasi (Hari)	Q ₀	α	Konstanta resesi	Q-Obs	Q-calculated	RMSE
10	1/7/2002	1/20/2002	13	20.820	0.063	0.9389	15.661	15.200	0.36351
11	2/16/2002	2/28/2002	12	28.110	0.080	0.9231	17.631	17.400	0.26766
12	5/9/2002	5/19/2002	10	20.520	0.073	0.9296	15.366	15.300	0.18576
13	6/14/2002	6/24/2002	10	8.900	0.187	0.8294	3.767	3.490	0.55495
14	7/14/2002	7/24/2002	10	5.610	0.187	0.8294	2.323	2.200	0.08448
15	8/13/2002	8/24/2002	11	5.900	0.044	0.9570	4.659	4.630	0.03184
16	9/16/2002	9/26/2002	10	8.700	0.163	0.8496	4.157	3.850	0.47600
17	2/5/2003	2/17/2003	12	25.900	0.089	0.9148	17.865	16.600	0.83558
18	6/2/2003	6/15/2003	13	7.680	0.161	0.8513	3.989	3.430	0.39350
19	7/13/2003	7/23/2003	10	5.000	0.130	0.8781	2.642	2.610	0.09408
20	8/16/2003	8/26/2003	10	5.320	0.113	0.8932	3.177	3.020	0.09246
21	9/11/2003	9/21/2003	10	7.610	0.112	0.8940	4.786	4.350	0.32029
22	1/28/2004	2/10/2004	13	24.000	0.093	0.9112	16.064	15.800	0.21298
23	4/14/2004	4/24/2004	10	9.810	0.169	0.8445	4.732	4.210	0.64953
24	6/8/2004	6/20/2004	12	7.890	0.199	0.8196	3.133	2.390	0.55975
25	7/5/2004	7/15/2004	10	4.350	0.131	0.8772	2.308	2.260	0.05807
26	8/7/2004	8/17/2004	10	5.180	0.135	0.8737	2.987	2.640	0.28374
27	9/20/2004	9/30/2004	10	5.310	0.099	0.9057	3.522	3.240	0.19442
28	10/1/2004	10/12/2004	11	9.610	0.186	0.8303	4.364	3.470	0.77484
29	12/5/2004	12/15/2004	10	9.990	0.183	0.8328	4.695	4.000	0.61960
30	2/11/2005	2/22/2005	11	21.440	0.069	0.9333	15.394	15.200	0.16657
31	4/16/2005	4/27/2005	11	9.860	0.163	0.8496	4.680	4.035	0.52065
32	6/15/2005	6/27/2005	12	7.650	0.132	0.8763	4.125	3.460	0.44897
33	7/14/2005	7/25/2005	11	4.770	0.103	0.9021	2.783	2.710	0.04528
34	8/16/2005	8/27/2005	11	4.800	0.160	0.8521	2.311	2.000	0.20811
35	9/14/2005	9/25/2005	11	3.810	0.069	0.9333	2.750	2.610	0.11203
36	10/12/2005	10/22/2005	10	6.690	0.109	0.8967	3.896	3.880	0.04045
37	11/16/2005	11/26/2005	10	9.990	0.166	0.8470	4.829	4.360	0.47978
38	2/3/2006	2/13/2006	10	19.990	0.066	0.9361	15.303	14.900	0.33240
39	4/18/2006	5/1/2006	13	9.720	0.099	0.9057	5.499	5.115	0.35366
40	6/6/2006	6/17/2006	11	6.550	0.144	0.8659	3.014	2.860	0.39406
41	7/9/2006	7/19/2006	10	4.220	0.083	0.9204	2.787	2.790	0.02169
42	8/20/2006	8/30/2006	10	4.070	0.108	0.8976	2.529	2.370	0.25791
43	9/8/2006	9/19/2006	11	3.210	0.121	0.8860	1.793	1.650	0.11828
44	10/18/2006	10/28/2006	10	5.610	0.119	0.8878	3.375	3.090	0.20840
45	4/7/2007	4/20/2007	13	8.880	0.099	0.9057	5.336	4.900	0.28482
46	6/8/2007	6/19/2007	11	5.660	0.169	0.8445	2.636	2.430	0.25222
47	7/15/2007	7/25/2007	10	3.900	0.113	0.8932	2.273	2.220	0.04620
48	8/10/2007	8/20/2007	10	3.750	0.109	0.8967	2.239	2.170	0.06891
49	10/10/2007	10/20/2007	10	4.900	0.120	0.8869	2.728	2.690	0.05748
50	4/5/2008	4/17/2008	12	6.770	0.139	0.8702	3.642	3.160	0.36811
51	5/12/2008	5/22/2008	10	9.590	0.139	0.8702	4.863	4.790	0.64913
52	6/15/2008	6/25/2008	10	4.770	0.145	0.8650	2.621	2.490	0.37756
53	7/20/2008	8/2/2008	13	3.650	0.087	0.9167	2.131	2.080	0.06435
54	8/6/2008	8/16/2008	10	3.590	0.073	0.9296	2.498	2.490	0.05334

**BOKIRAIYA LATUAMURY, SUDARMADJI DAN SLAMET SUPRAYOGI ❖ ANALISIS KURVA
RESESI ALIRAN DASAR MENGGUNAKAN MODEL RESERVOIR LINIER PERANGKAT...**

Lampiran 1 (Lanjutan)

RC	Awal	Akhir	Durasi (Hari)	Q ₀	α	Konstanta resesi	Q-Obs	Q-calculated	RMSE
55	9/11/2008	9/21/2008	10	3.740	0.138	0.8711	1.985	1.880	0.12853
56	10/4/2008	10/14/2008	10	3.910	0.090	0.9139	2.553	2.490	0.10327
57	11/8/2008	11/18/2008	10	7.690	0.133	0.8755	4.498	3.950	0.46786
58	12/8/2008	12/19/2008	11	6.650	0.106	0.8994	3.762	3.715	0.04686
59	1/9/2009	1/20/2009	11	9.890	0.167	0.8462	4.158	3.960	0.42493
60	2/19/2009	3/1/2009	10	9.890	0.174	0.8403	4.823	4.140	0.76880
61	3/16/2009	3/28/2009	12	9.500	0.088	0.9158	6.238	5.600	0.40199
62	4/2/2009	4/14/2009	12	7.910	0.113	0.8932	4.423	4.020	0.32153
63	5/22/2009	6/1/2009	10	9.690	0.183	0.8328	5.351	4.270	0.86259
64	6/21/2009	7/2/2009	11	3.390	0.123	0.8843	2.215	1.830	0.26051
65	7/10/2009	7/21/2009	11	3.250	0.087	0.9167	2.102	2.015	0.07698
66	8/12/2009	8/22/2009	10	3.000	0.069	0.9333	2.269	2.120	0.11342
67	9/20/2009	9/30/2009	10	3.150	0.124	0.8834	1.864	1.690	0.17204
68	10/15/2009	10/26/2009	11	3.790	0.041	0.9598	3.036	3.025	0.02344
69	11/15/2009	11/25/2009	10	5.980	0.191	0.8261	2.863	2.300	0.31082
70	12/5/2009	12/16/2009	11	5.490	0.132	0.8763	3.008	2.665	0.22211
71	1/3/2010	1/13/2010	10	9.550	0.133	0.8755	5.067	4.910	0.34157
72	2/14/2010	2/25/2010	11	9.860	0.191	0.8261	4.351	3.460	0.77815
73	4/15/2010	4/27/2010	12	5.710	0.155	0.8564	2.641	2.440	0.37937
74	5/9/2010	5/21/2010	12	9.730	0.145	0.8650	4.856	4.395	0.68797
75	6/10/2010	6/20/2010	10	3.950	0.133	0.8755	2.166	2.030	0.16195
76	7/7/2010	7/17/2010	10	3.730	0.045	0.9560	2.988	2.980	0.02238
77	8/16/2010	8/27/2010	11	2.710	0.045	0.9560	2.122	2.115	0.01406
78	9/9/2010	9/19/2010	10	3.150	0.099	0.9057	2.071	1.920	0.10663
79	10/17/2010	10/27/2010	10	4.550	0.081	0.9222	3.068	3.030	0.05168
80	11/7/2010	11/17/2010	10	5.850	0.082	0.9213	3.888	3.880	0.17789
81	12/14/2010	12/24/2010	10	3.610	0.109	0.8967	2.119	2.090	0.05960
		Min	10	2.710	0.041	0.8196	1.793	1.650	0.01406
		Max	14	37.710	0.199	0.9598	25.674	24.100	1.09571
		Median	10	6.690	0.113	0.8932	3.762	3.430	0.22653
		Average	11	9.185	0.118	0.8893	5.587	5.287	0.29126

Lampiran 2. Peta bentuklahan SubDAS Wuryantoro



SIMPULAN

Bentuk kurva resesi individu memiliki variabilitas yang tinggi dapat diselesaikan menggunakan kurva resesi master, baik analisis kurva resesi master secara manual, maupun analisis kurva resesi master melalui proses evolusi dan solusi terbaik dari metode algoritma genetika. Hasil analisis kurva resesi master memperoleh optimalisasi parameter dan koefisien resesi untuk kurva resesi master secara algoritma genetika yang lebih akurat dibandingkan dengan kurva resesi secara manual. Bentuk kemiringan kurva resesi master yang secara grafis berbeda di SubDAS Wuryantoro cenderung memiliki bentuk kurva resesi yang lebih landai. Kemiringan kurva resesi landai merepresentasikan karakteristik resesi aliran dasar terutama kapasitas simpanan air yang optimal, tetapi kondisi penyimpanan aliran tetap dikontrol juga karakteristik akuifer batuan DAS penelitian. Hal ini terkait dengan

suplai air ke tubuh sungai sebagai aliran dasar dipengaruhi oleh nilai porositas material penyusunnya. Porositas batuan sangat mempengaruhi imbunan suatu sistem air tanah, sehingga besarnya tampungan air tanah sangat dipengaruhi oleh kondisi porositas batuan. Dalam proses pergerakan air secara vertikal, porositas memegang peranan penting dalam *recharge* airtanah.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada pimpinan dan staf Balai Penelitian dan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai (BTPPDAS) Surakarta, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan atas kesempatan yang diberikan untuk mengumpulkan data sekunder berupa data debit harian selama kurun waktu penelitian untuk penyelesaian tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Biswal, B., Kumar, D. N., 2013. A general geomorphological recession flow model for river basins. *Water Resource Research*. 49 (8), 4900–4906.
- Biswal, B., Kumar, D.N., 2014. Study of dynamic behavior of recession curves. *Hydrology Process*. 28 (3), 784–792.
- Biswal, B., Marani, M., 2010. Geomorphological origin of recession curves. *Geography physics Research Lett*. 37 (24), L24403. <http://dx.doi.org/10.1029/2010gl045415>.
- Boussinesq, J., 1877. Essai sur la theorie des eaux courantes: du mouvement non permanent des eaux souterraines. *Academic Scientific Institute France*. 23, 252–260.
- Brutsaert, W., 2008. Long-term groundwater storage trends estimated from streamflow records: climatic perspective. *Water Resource Research*. 44 (2), W02409.
- Carrillo, G., Troch, P.A., Sivapalan, M., Wagener, T., Harman, C., Sawicz, K., 2011. Catchment classification: hydrological analysis of catchment behavior through process-based modeling along a climate gradient. *Hydrology Earth System Science Discussion* 8 (3).
- Dupuit, J., 1863. Etudes théoriques et pratiques sur le mouvement des eaux dans les
- Gregor, M. and Malik, P., 2012. Construction of master recession curve using genetic algorithms. *Journal of Hydrology Hydromech.*, 60(1), 3-15. Doi: 10.2478/v10098-012-0001-8
- Gregor, S. and Malik, 2012. HydrOffice user manual version 2012. <http://hydro-office.org>
- Maillet, E., 1905. *Essai d'hydraulique souterraine et fluviale*. Librairie Sci., A. Herman, Paris. (Cited by Hall (1968))
- Shaw, S.B., McHardy, T.M., Riha, S.J., 2013. Evaluating the influence of watershed moisture storage on variations in base flow recession rates during prolonged rain-free periods in medium-sized catchments in New York and Illinois, USA. *Water Resource Research*. 49 (9), 6022–6028.
- Smakhtin, VU., 2001. Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology*; 240:147–86, doi: 10.1016/S0022-1694(00)00340-1.
- Staudinger, M., Stahl, K., Seibert, J., Clark, M.P., Tallaksen, L.M., 2011. Comparison of hydrological model structures based on recession and low flow simulations. *Hydrology Earth System Science Discuss*. 8 (4).
- Stoelzle, M., Stahl, K., Weiler, M., 2012. Are streamflow recession characteristics really characteristic? *Hydrology Earth System Science*.
- Szilagyi, J., Gribovszki Z., Kalicz P., 2007. Estimation of catchment-scale evapotranspiration from base flow recession data: numerical model and practical application results. *Journal of hydrology*, 336:206–17, doi:10.1016/j.jhydrol.2007.01.004
- Tallaksen LM., 1995. A review of base flow recession analysis. *Journal of hydrology*, 165:349–70, doi:10.1016/0022-1694(94)02540-R.