

Karakteristik Hidrologi pada Dua DAS Kecil di Wilayah UPT PSDA di Surabaya : Analisis Menggunakan *Indicators Of Hydrologic Alteration* (IHA)

Isfi Roni Rohman¹, Indarto Indarto¹, Idah Andriyani¹

¹Program Studi Teknik Pertanian – FTP, Universitas Jember, Jl. Kalimantan no. 37 Kampus Tegalboto Jember 68121; e-mail: rohmanisfironi@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi apakah telah terjadi perubahan karakteristik hidrologi pada suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Penelitian dilakukan pada wilayah administratif Unit Pelaksana Teknis Pengelolaan Sumberdaya Air atau UPT PSDA di Surabaya. DAS yang digunakan untuk uji yaitu DAS Surabaya-Perning dan DAS Lamong-Simoanggrok. Analisis dilakukan menggunakan *Indicator of Hydrologic Alteration* (IHA). Input utama adalah data rentang waktu berupa debit harian, dengan periode rekaman selama 20 tahun. Data rentang waktu dibagi menjadi dua interval yaitu periode awal (1996–2005) dan periode akhir (2006–2015). Sejumlah 33 parameter IHA yang terklasifikasi ke dalam 5 kategori digunakan untuk mengevaluasi perubahan tersebut. Hasil penilaian menggunakan 33 parameter tersebut selanjutnya digunakan untuk perhitungan RVA (*range of variability approach*). Perhitungan RVA digunakan untuk mengetahui perubahan yang terjadi dari periode awal ke periode akhir. Penelitian ini juga menggunakan *Environmental Flow Components* (EFC) dan *Flow Duration Curves* (FDC) untuk analisis debit pada kedua DAS. Hasil penelitian menunjukkan adanya perbedaan nilai parameter yang mengindikasikan perubahan hidrologi antara periode awal dan periode akhir. Hasil analisis RVA menunjukkan adanya peningkatan aliran di DAS Surabaya-Perning (pada bulan Januari sd September) dan di DAS Lamong-Simoanggrok (pada bulan Januari sd Juli). Hasil analisis EFC dapat memberikan informasi tentang aliran yang berpotensi menyebabkan kejadian banjir dan kekeringan. DAS Surabaya-Perning berpotensi mengalami banjir kecil sebesar 254,7 m³/detik yang berlangsung selama 9 hari dengan peluang terjadi 0,5 kali setiap 2 tahun.

Kata kunci: IHA, periodawal, periodakhir, perubahan, RVA, EFC, FDC,

ABSTRACT

This research proposes to evaluate whether there has been a change in hydrological regimes of the watershed. The research was conducted at the administrative area of UPT PSDA Surabaya. Furthermore, Surabaya-Perning and Lamong-Simoanggrok watersheds were used as a sample location for this study. The analysis was conducted using the Indicator of Hydrologic Alteration (IHA). The main input is the daily discharge data series from the two watersheds. The discharge data range from 1996 to 2015. Then, the time series data is divided into two periods, the pre-impact period (1996–2005) and the post-impact period (2006–2015). A total of 33 IHA parameters classified into 5 categories were used to evaluate the change. The results of the assessment are then used for RVA (Range of Variable approach) calculations. RVA calculations were used to discover changes occurring from the pre-impact period to the post-impact period. The data series from the two watersheds also analyzed by using Environmental Flow Components (EFC) and Flow Duration Curves (FDC). The result of the research shows the difference in parameter value indicating the hydrological change between the pre-impact period and the post-impact period. RVA analysis results show an increasing flow in the Surabaya-Perning watershed from January to September and December as well as in the Lamong-Simoanggrok watershed from January to July and December. The results of the EFC analysis can provide information about flows potentially to cause floods and droughts. The Surabaya-Perning watershed has the potential to encounter a small flood with a value 254.7 m³/s which last for 9 days with a chance of occurring 0.5 times every 2 years.

Keywords: IHA, change, RVA, EFC, FDC

Citation: Rohman, I.R., Indarto, I., dan Andriyani, I.(2019). Karakteristik Hidrologi pada Dua DAS Kecil di Wilayah UPT PSDA di Surabaya: Analisis Menggunakan *Indicator Of Hydrologic Alteration* (IHA). Jurnal Ilmu Lingkungan, 17 (1), 70-81, doi:10.14710/jil.17.1.70-81

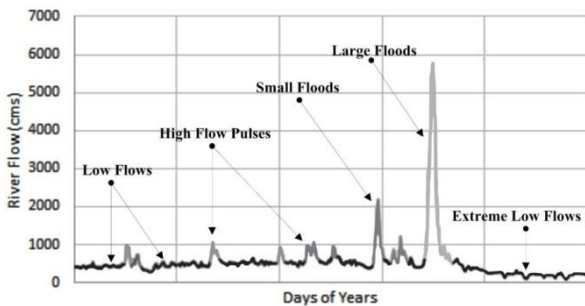
1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Proses hidrologi di dalam suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) dipengaruhi secara langsung oleh variabel masukan berupa hujan yang masuk ke dalam daerah aliran sungai (DAS) dan secara tidak langsung oleh variabel iklim lainnya (evaporasi, temperatur, kecepatan angin, kelembaban udara). Variabel iklim selain hujan akan mempengaruhi besarnya evapotranspirasi, kejadian hujan dan komponen siklus hidrologi lain di dalam DAS. Faktor lain yang secara tidak langsung dapat mempengaruhi proses hidrologi di dalam DAS adalah perubahan karakteristik fisik DAS. Perubahan tersebut dapat terjadi karena pengaruh dari aktivitas manusia (faktor antropometri) atau faktor alam. Perubahan karakteristik fisik DAS yang paling mencolok adalah perubahan peruntukan lahan (*land use*).

Pembangunan infrastruktur sumberdaya air di atas aliran sungai (misalnya: bendung, bendungan, DAM, dan rorak) juga dapat berpengaruh secara langsung terhadap perubahan aliran di sungai. Dampak dari itu semua, akan teramati dalam bentuk fluktuasi naik-turunnya debit di sungai, sebagai respon terhadap siklus hidrologi dan perubahan yang terjadi di dalam DAS (Indarto, 2016).

IHA atau (*Indicator of Hydrological Alteration*) merupakan salah satu metode statistik yang dapat digunakan untuk menganalisis terjadinya perubahan aliran di sungai (Gambar 1).

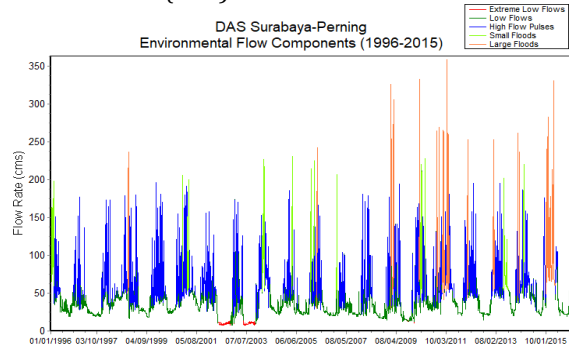


Gambar 1. Kelima komponen aliran dalam kategori EFC (Mathews and Richter, 2007).

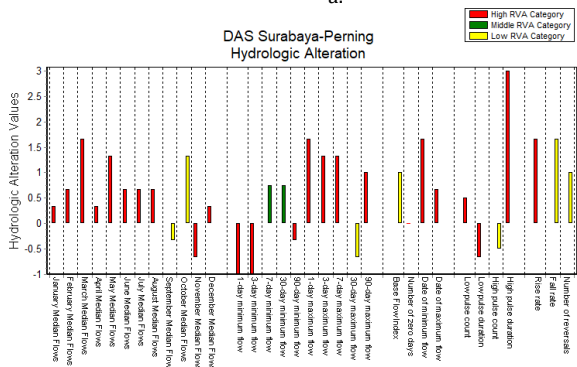
Metode IHA memiliki 33 parameter yang dikelompokkan menjadi 5 kategori untuk menyatakan kondisi aliran. Kelima (5) kategori mencakup: (1) kondisi aliran bulanan (nilai median dari 1 bulan, sebanyak 12 bulan), (2) kondisi aliran terkecil dan terbesar untuk periode (1, 3, 7,30 dan 90) hari serta kondisi base flow setiap 7 harian, (3) tanggal terjadinya aliran (tanggal terjadinya 1-hari terkecil dan 1-hari terbesar), (4) frekuensi dan durasi dari aliran tinggi dan aliran rendah (jumlah aliran rendah dan tinggi setiap tahun, nilai median durasi aliran rendah dan tinggi (hari), (5) rerata dan frekuensi dari perubahan aliran (kenaikan hidrograf dan penurunan hidrograf). Penjelasan terkait

metodologi analisis yang dilakukan di dalam IHA, secara detail dapat dijumpai dalam artikel (Mathews & Richter, 2007; Indarto et al., 2018).

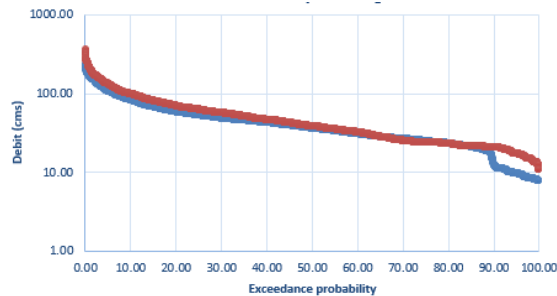
Analisis yang dapat dilakukan mencakup : regresi linear untuk mendeteksi adanya kecenderungan (*trend detection*), *environmental flow components (EFC)*, *range of variability approach (RVA)* (gambar 2a), dan *analisis flow duration curves (FDC)*.



a.



b.



c.

Gambar 2. Contoh hasil analisis di dalam IHA : (a) EFC, (b) RVA, dan (c) FDC

Gambar 2a. Menampilkan contoh hasil analisis EFC, selanjutnya gambar 2b menampilkan visualisasi hasil analisis RVA dan gambar 2c menampilkan visualisasi hasil analisis FDC, ke tiga gambar diambil dari hasil analisis pada DAS Surabaya Pening, sebagaimana akan dibahas pada point selanjutnya

Parameter IHA dapat digunakan untuk analisis statistik yang sifatnya parametrik dan non-parametrik. Pada umumnya statistik non-parametrik lebih banyak digunakan dibandingkan dengan statistik parametrik, hal ini dikarenakan

kebanyakan data hidrologi tidak terdistribusi normal (Richter et al., 1996).

Hasil analisis menggunakan metode IHA bermanfaat untuk mengetahui perkiraan besarnya aliran di setiap bulan, di saat musim hujan dan di saat musim kemarau (saat debit kecil). Manfaat lain dari analisis IHA yaitu dapat mengetahui besarnya debit satu hari terkecil dan terbesar, besarnya debit tiga hari terkecil dan terbesar, debit tujuh hari terkecil dan terbesar, 30 hari terkecil dan terbesar, debit 90 hari terkecil dan terbesar, besarnya *base flow indeks*, tanggal kejadian, frekuensi debit rendah dan tinggi, serta lama terjadinya debit rendah dan debit tinggi.

Perubahan aliran (debit) dapat berpengaruh positif atau negatif terhadap ketersediaan air di sungai. Ketersediaan air di sungai akan menentukan terpenuhinya kebutuhan akan air bagi keperluan: irigasi, air bersih untuk masyarakat, industri, perkebunan, wisata dan lingkungan. Keberlangsungan, mahluk hidup yang ada di habitat sungai (ikan, jazad renik dan biota tertentu) sangat tergantung pada fluktuasi besar kecil-nya dan kualitas air di sungai. Dalam perspektif lingkungan IHA dipakai untuk menganalisis hal semacam ini.

Oleh karena itu, analisis statistik terhadap hidrograf aliran sungai dapat membantu pengelola DAS untuk: (1) memahami karakteristik aliran di sungai sebagai fungsi waktu, (2) mengantisipasi kemungkinan terjadinya kekurangan air, karena ketidak-seimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan pada periode tertentu, (3) mengantisipasi potensi kejadian bencana banjir atau kekeringan, (4) mengantisipasi dampak bangunan (bendung atau struktur lain) di atas sungai terhadap ekologi sungai (Indarto et al., 2016).

Metode IHA umumnya membagi *seri data* menjadi dua (periode awal dan periode akhir) kemudian dihitung nilai di setiap parameternya, sehingga dapat menunjukkan perubahan nilai hidrologi yang dapat berupa nilai positif atau nilai negatif.

Nilai positif menyatakan adanya indikasi perubahan hidrologi yang meningkat dari periode awal ke periode akhir. Nilai negatif menunjukkan adanya indikasi perubahan yang menurun dari periode awal ke periode akhir. Penelitian menggunakan IHA telah banyak dilakukan, misalnya dapat dijumpai dalam tulisan: USGS (2003), Opperman (2006), Mathews dan Richter (2007), Tejan (2008), Poff et al., (2009), Sojka dan Jaskuła (2016), Zuo dan Liang (2008), Colburn (2008), Pfeiffer dan Ionita (2017).

Penelitian yang dilakukan Opperman (2006) bertujuan untuk mengetahui perubahan hidrologi yang terjadi pada DAS Patuca dengan menggunakan 33 parameter IHA. Hasil analisis menunjukkan bahwa faktor perubahan hidrologi terbesar pada DAS Patuca yaitu peningkatan *base*

flow, debit rendah dan debit bulanan dari Februari sd Mei. Kejadian debit sangat rendah diproyeksikan hampir tidak pernah terjadi dan besarnya debit terkecil tiga puluh harian diperkirakan akan meningkat.

Pfeiffer dan Ionita (2017), menggunakan IHA untuk memperkirakan dampak perubahan iklim pada dua sungai utama di Eropa (yaitu sungai Elbe dan Rhine) dengan menggunakan data debit harian. Debit satu, tiga, dan tujuh hari terkecil pada DAS Elbe telah meningkat secara signifikan di stasiun Decin. Pada DAS Rhine ditemukan 12 faktor IHA yang sangat berubah di stasiun Ems. Perilaku hidrologi DAS Elbe dan DAS Rhine telah berubah sejak pertengahan abad ke-20. Hasil yang disajikan di sini mencirikan efek perubahan iklim pada dua sungai utama Eropa tersebut, yang melintasi Jerman.

IHA dapat membantu mengidentifikasi parameter hidrologi yang terpengaruh sebagai akibat dari perubahan iklim. IHA juga dapat membantu para ilmuwan atau pengambil keputusan untuk mempertimbangkan parameter ekologi sungai yang penting. Sebagai penyangga utama dari suatu ekosistem, parameter hidrologi dapat menunjukkan efek yang ada atau yang diharapkan pada keanekaragaman hayati. Strategi manajemen sumber daya air untuk menjaga aliran air di masa yang akan datang, agar tetap sesuai dengan aliran alaminyamungkin diperlukan (Pfeiffer dan Ionita, 2017).

Penelitian tentang penerapan IHA di Indonesia dapat dijumpai dalam artikel yang ditulis oleh Indarto et al (2016); Indarto et al (2018). Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian sebelumnya, dengan mengambil sampel pada DAS kecil di wilayah urban.

1.2. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi terjadinya perubahan karakteristik hidrologi pada suatu DAS. Penelitian dilakukan pada wilayah administratif UPT PSDA di Surabaya. DAS yang digunakan untuk uji yaitu DAS Surabaya-Perning dan DAS Lamong-Simoanggrok. Perubahan karakteristik hidrologi dianalisis menggunakan *Range of Variability Approach* (RVA). Semua komponen aliran dianalisis menggunakan *Environmental Flow Component* (EFC). Penelitian ini juga menganalisis aliran menggunakan *Flow Duration Curves* (FDC).

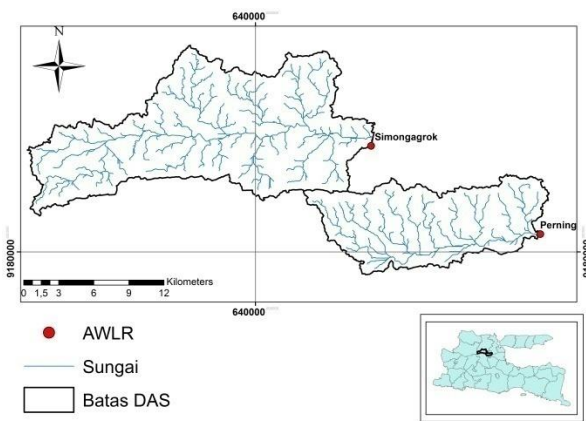
2. Metodologi

2.1. Lokasi dan waktu penelitian

Pengamatan dilakukan di dua DAS yang ada di wilayah UPT PSDA Surabaya, yaitu: DAS Surabaya-Perning dan DAS Lamong-Simoanggrok (Gambar 3).

Pengolahan dan analisis data dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan (TPKL), Program studi

Teknik Pertanian, FTP, Universitas Jember. Penelitian dilakukan dari April sampai Juli 2018.



Gambar 3. Lokasi Penelitian

2.2. Input Data

Data hidro-meteorologi (debit dan hujan) diperoleh dari pihak UPT PSDA di Surabaya melalui beberapa skema kerjasama (magang, skripsi, penelitian).

2.2.1. Data debit

Data debit diperoleh dari dua lokasi pengukuran debit (AWLR) yaitu: di DAS Surabaya-Perning dan DAS Lamong-Simoangrok (Tabel 1).

Tabel 1. Lokasi sumber data debit

Stasiun	Nama	Koord_X (°BT)	Koord_Y (°LS)	Periode (th)
Surabaya-Perning		07°31'593"	112°28'90"	20 Tahun
Lamong-Simoangrok		07°20' 50"	112°24'51"	20 Tahun

Periode rekaman data debit harian dari 01 Januari 1996 sampai dengan 31 Desember 2015 digunakan untuk analisis. Data debit diurutkan ke dalam dalam dua kolom. Kolom pertama berisi tanggal dan kolom kedua berisi data debit dengan satuan m³/detik. Selanjutnya, data disimpan ke dalam format file text (*.csv).

Selanjutnya, analisa statistik ringkasan dan distribusi data debit dilakukan dan menghasilkan nilai indikator statistik (Tabel 2).

Tabel 2. Statistitik debit (m³/detik)

Debit (m ³ /det)	DAS Surabaya-Perning	DAS Lamong-Simoangrok
(1)	(2)	(3)
Maximum	358,39	346,00
Mean	47,28	5,76
Median	37,10	1,78
Stdev	36,33	13,63
Skewness	1,27	3,24
Variance	0,77	2,37
P10	18,40	0,01
P20	22,80	0,09
P25	23,79	0,24
P30	25,95	0,41
P33	27,10	0,54
P50	37,10	1,78
P66	48,59	3,83
P70	52,00	4,37
P75	57,32	5,38
P80	64,42	7,01
P90	90,63	13,83
P100	358,39	346,00
V_Lane	0,29	0,47
S_log	0,31	0,43
Slop FDC	1,77	5,93

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 Analisis Package*) (Marsh 2004), dan HydrOffice (Gregor, 2012). Selanjutnya,

visualisasi hasil dilakukan menggunakan Excel/00 calc.

2.2.2 Data Fisik DAS

Data fisik DAS digunakan untuk mendapatkan gambaran ringkas tentang karakteristik fisik DAS. Data fisik DAS diturunkan dari ASTER GDEM2, peta RBI dan peta tanah dan layer sistem informasi geografis yang ada di Lab. TPPL, FTP, UNEJ. Selanjutnya, data **DEM (Digital Elevation Model)** di-download dari web site Aster GDEM2 (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>), dipotong sebatas wilayah sub-DAS dan digunakan sebagai input untuk menentukan batas sub-DAS, menentukan 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 Surabaya.

Bentuk kedua DAS cenderung memanjang. Luas DAS Surabaya-Perning = 114,43 km², luas DAS Lamong-Simoangrok = 235,69 km². Peruntukan lahan utama yang ada pada kedua DAS mencakup: lahan persawahan (43,39% dan 50,37%), hutan (12,40% dan 3,20%), pemukiman (7,85% dan 4,71%), kebun (28,33% dan 26,60%), perladangan (8,03% dan 15,08%). Semua angka tersebut adalah dalam prosentase per luas DAS. Lapisan tanah yang ada dari jenis aluvial (53,41% dan 0%), grumosol (42,59 dan 93,13), dan mediteran (4% dan 6,87%).

2.3. 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) Aplikasi statistik *Indicators of Hydrologic Alteration (IHA)* yang digunakan untuk menganalisis terjadinya perubahan aliran di sungai.

2.4. Tahap penelitian

Prosedur penelitian mencakup langkah-langkah sebagai berikut.

2.4.1. Analisis Parameter IHA

Data debit periode awal dan periode akhir dianalisis menggunakan 33 parameter IHA yang dibagi ke dalam lima kategori. Kelima kategori tersebut dirinci dalam Tabel 3.

Nilai *IHA* dihasilkan dan dihitung dalam periode harian, bulanan, dan tahunan. Analisis *IHA* mempunyai empat langkah sebagai berikut.

- a. Mendefinisikan periode awal (dari 1995–2005) dan periode akhir (dari 2006–2015).
- b. Menghitung nilai dari parameter IHA. *IHA* akan menghitung 33 parameter setiap tahun pada setiap data. Satu dari periode awal dan satu untuk periode akhir.

- c. Menghitung nilai tahunan untuk setiap parameter IHA, selanjutnya dihitung ukuran kecenderungan dan sebaran data.
- d. Membandingkan antara periode awal dan periode akhir, selanjutnya ditampilkan setiap hasil dengan titik persentil dan nilai penyimpangan dari setiap periode akhir yang berhubungan dengan periode awal.

Tabel 3. Parameter IHA

No	Kategori	Parameter Hidrologi
(1)	(2)	(3)
1.	Kondisi debit bulanan	nilai median debit dari setiap kalender bulan
2.	Besar dan durasi debit eksrem tahunan	nilai median 1 hari terkecil setiap tahun
		nilai median 3 hari terkecil setiap tahun
		nilai median 7 hari terkecil setiap tahun
		nilai median 30 hari terkecil setiap tahun
		nilai median 90 hari terkecil setiap tahun
		nilai median 1 hari terbesar setiap tahun
		nilai median 3 hari terbesar setiap tahun
		nilai median 7 hari terbesar setiap tahun
		nilai median 30 hari terbesar setiap tahun
		nilai median 90 hari terbesar setiap tahun
3.	Waktu terjadi debit ekstrem	aliran dasar (base flow) setiap tahun
		tanggal 1 hari terkecil tanggal 1 hari terbesar
4.	Frekuensi dan lamanya debit tinggi dan debit rendah	jumlah debit rendah setiap tahun
		nilai median lamanya debit rendah (hari)
		jumlah debit tinggi setiap tahun
5.	Tingkat dan frekuensi perubahan kondisi debit	nilai median lamanya debit tinggi (hari)
		kenaikan hidrograf penurunan hidrograf

Sumber : Rybicki (2009)

2.4.2. Analisis RVA

Perubahan nilai hidrologi dianalisis dengan RVA. RVA digunakan untuk menganalisis perubahan hidrologi yang terjadi pada dua rentang waktu yaitu pada periode awal (1996–

2005) dan periode akhir (2006–2016). RVA mendefinisikan aliran yang berubah menggunakan hasil analisis dari ke 33 parameter IHA. RVA menganalisis rentang waktu secara penuh dan membagi ke dalam tiga kategori yang berbeda. Ketiga kategori itu akan ditampilkan pada 0-33 persentil, 34-67 persentil, dan 68-100 persentil. Perhitungan dilakukan dengan nilai frekuensi dari periode awal dan periode akhir pada setiap kategori. Perhitungan frekuensi dari periode awal dan periode akhir dilakukan untuk ke 33 parameter IHA. Nilai *Hidrologic Alteration* (HA) dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$HA = \frac{(\text{Frekuensi periode akhir} - \text{Frekuensi periode awal})}{\text{Frekuensi periode awal}} \dots\dots(1)$$

2.4.3. Analisis EFC

Analisis kelima komponen aliran didasarkan pada semua data aliran selama satu rentang waktu (tidak menggunakan periode awal dan periode akhir). Algoritma *EFC* melakukan 3 fase penyaringan untuk memilah kejadian debit dan mengklasifikasikan ke dalam salah satu komponen aliran *EFC*. Fase pertama, setiap data harian diidentifikasi apakah termasuk *low flows* (kelas 1) atau *high flow* (kelas 2). Fase ke dua, setiap *high flow* dipisahkan ke dalam *high flow* (kelas 2), *small flood* (kelas 3), atau *large flood* (kelas 4). Fase ke 3, setiap *low flow* diklasifikasikan ke dalam salah satu komponen aliran yaitu *extreme low flow* (kelas 0) atau *low flow* (kelas 1).

Pada grafik kejadian banjir akan ditunjukkan ambang batas yang menunjukkan nilai banjir pada periode tersebut.

- a. Ambang batas aliran sangat rendah (*extreme low flow*) yaitu seluruh aliran di bawah persentil 10.
- b. Ambang batas aliran rendah (*low flow*) yaitu seluruh aliran lebih besar dari persentil 10 sampai dengan persentil 75.
- c. Ambang batas aliran tinggi (*high flow*) yaitu seluruh aliran antara persentil 76 sampai 89.
- d. Ambang batas banjir kecil (*small flood*) yaitu semua peristiwa aliran tinggi yang memiliki puncak aliran lebih besar dari aliran tinggi. Parameter ini terhitung jika nilai aliran sungai lebih dari atau sama dengan (>=) persentil 90 pada setiap 2 tahun.
- e. Ambang batas banjir besar (*large flood*) yaitu peristiwa aliran tinggi yang memiliki puncak aliran lebih besar dari banjir kecil. Aliran diklasifikasikan ke dalam *large flood* jika melebihi ambang batas dari (>) persentil 99 setiap 10 tahun sekali.

2.4.4. Analisis FDC

Flow Duration Curves (FDC) adalah metode sederhana untuk menyatakan frekuensi kejadian debit pada suatu seri rentang waktu. *FDC* dibuat dengan cara merangking semua data yang ada dalam rentang waktu tertentu dan memplotkan dalam persentase. Metode *FDC* ini menggunakan data debit diklasifikasikan menjadi harian, bulanan dan tahunan. *FDC* dihitung dengan menggunakan langkah-langkah berikut (Indarto, 2016).

- a. Mengurutkan nilai debit harian dari nilai terbesar ke nilai terkecil.
- b. Menetapkan posisi ranking dari data debit (M), dimulai dengan 1 untuk nilai debit harian terbesar.
- c. Menghitung persentase kejadian (P) sebagai berikut.

$$P = 100 \times \frac{M}{(n+1)} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

- P = persentase kejadian debit
- M = posisi rangking dari data debit
- n = Jumlah data.

- d. Membuat grafik dengan cara memplotkan data persentase kejadian pada sumbu (x) dan data debit harian pada sumbu (y).
- e. Mengatur sumbu (y) dengan menggunakan skala logaritmik.

3. Hasil dan Pembahasan

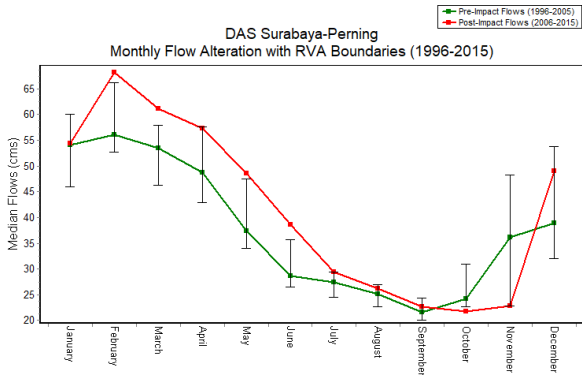
3.1 Hasil Analisis IHA

3.1.1 Kategori Aliran bulanan

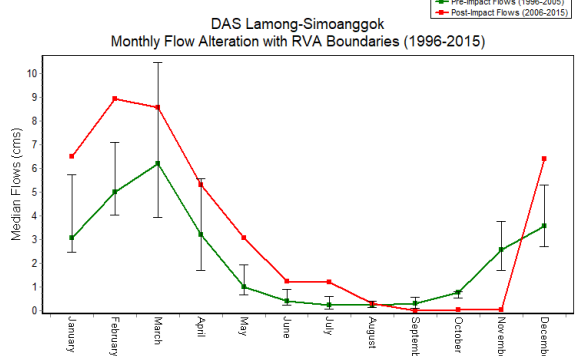
Grafik pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan perubahan debit bulanan pada periode awalan periode akhir.

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 terlihat bahwa sebagian besar bulan pada ke dua DAS mengalami peningkatan debit dari periode awal ke periode akhir. Hal ini berarti telah terjadi peningkatan kuantitas debit pada sebagian besar bulan. Bulan yang mengalami peningkatan pada DAS Surabaya-Perning yaitu: Januari sd September dan bulan Desember. Sedangkan pada bulan Oktober sd November debit cenderung turun. Selanjutnya, pada DAS Lamong-Simoanggrok, debit meningkat dari bulan Januari sd Juli, dan pada bulan Desember. Sebaliknya, pada bulan September sd November debit cenderung turun.

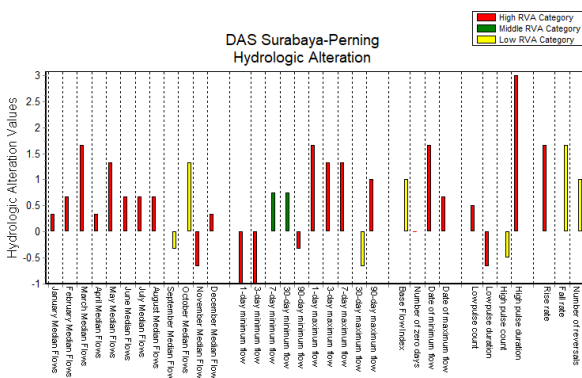
Grafik pada Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan perubahan nilai hidrologi pada DAS Surabaya-Perning dan DAS Lamong-Simoanggrok. Perubahan nilai hidrologi dihasilkan oleh perhitungan RVA yang menggunakan perbedaan nilai periode awal dengan periode akhir.



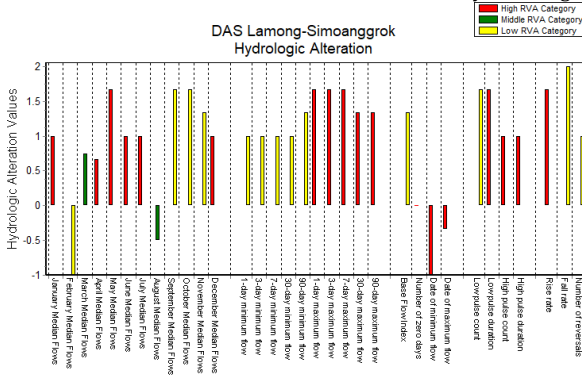
Gambar 4. Perubahan debit bulanan DAS Surabaya Perning



Gambar 5. Perubahan debit bulanan DAS Lamong-Simoanggok



Gambar 6. Perubahan debit bulanan DAS Surabaya Perning



Gambar 7. Perubahan debit bulanan DAS Lamong-Simoanggok

Pada Gambar 6 terlihat bahwa DAS Surabaya-Perning mengalami perubahan nilai hidrologi. Bulan-bulan yang perubahan nilai hidrologinya naik yaitu Januari sampai Agustus, Oktober, dan bulan Desember sebesar 0,33; 0,66; 1,66; 0,33; 1,33; 0,66; 0,66; 0,66; 1,33; dan 0,33. Pada bulan September dan November

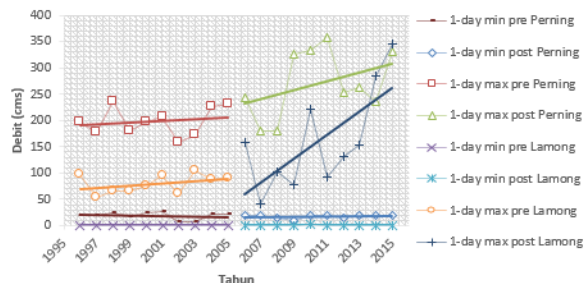
perubahan nilai hidrologi-nya menurun sebesar -0,33 dan -0,67.

Perubahan nilai hidrologi dapat naik atau turun. Jika nilai perubahan hidrologi menunjukkan 1, maka frekuensi aliran pada periode akhir telah meningkat sebanyak 2 kali lipat dari periode awal atau dapat dikatakan bertambah 100% dari periode awal. Jika nilai perubahan hidrologi menunjukkan 2, maka frekuensi aliran periode akhir telah meningkat sebanyak 3 kali lipat atau dapat dikatakan bertambah 200% dari periode awal. Sebaliknya jika nilai perubahan hidrologi menunjukkan angka -1, maka frekuensi aliran pada periode akhir telah menurun atau berkurang sebesar 100% dari periode awal.

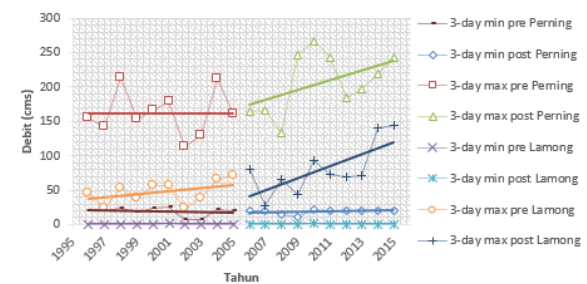
Gambar 7 menunjukkan bahwa perubahan nilai hidrologi pada DAS Lamong-Simoanggok lebih banyak mengalami kenaikan daripada penurunan. Pada gambar tersebut terlihat bahwa 10 bulan mengalami kenaikan dan dua bulan mengalami penurunan. Bulan Januari, Maret sampai Juli, September sampai Desember berubah menjadi naik sebesar 1; 0,75; 0,67; 1,67; 1; 1; 1,67; 1,67; 1,33; dan 1. Sedangkan perubahan nilai hidrologi bulan Februari dan Agustus menurun sebesar -1 dan -0,5.

3.1.2 Kategori Besar dan Lamanya Debit Ekstrem

Grafik pada Gambar 8, 9, dan 10 menunjukan perubahan debit ekstrem 1-harian, 3-harian dan 7-harian pada kedua DAS.



Gambar 8. Debit ekstrem satu harian

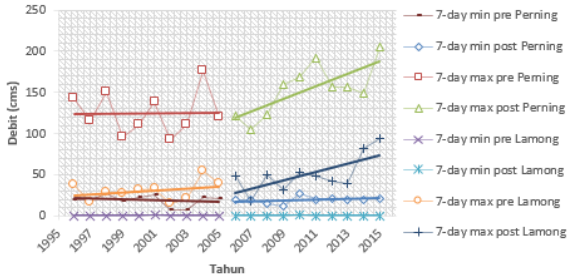


Gambar 9. Debit ekstrem tiga harian

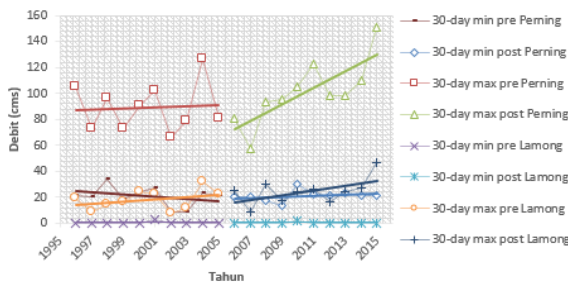
Secara umum DAS Lamong-Simoanggok mengalami peningkatan debit ekstrem 1-harian (terbesar dan terkecil), 3-harian (terbesar dan terkecil), dan 7-harian (terbesar dan terkecil) sebesar 1,67; 1; 1,67; 1; 1,67; 1. Pada DAS Surabaya-Perning, debit 1-harian terkecil dan 3-harian terkecil mengalami penurunan sebesar -1;

dan -1, sebaliknya debit 1-harian terbesar, debit 3-harian terbesar, debit 7-harian terbesar dan terkecil, mengalami peningkatan nilai hidrologi sebesar 1,67; 1,33; 1,33; 0,75.

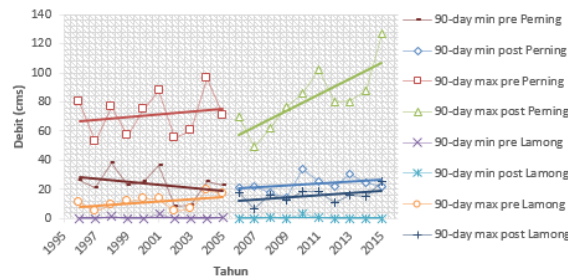
Grafik pada Gambar 11, 12, dan 13 menunjukkan perubahan debit ekstrem 30 harian, 90 harian, dan base flow indeks pada kedua DAS.



Gambar 10. Debit ekstrem tujuh harian



Gambar 11. Debit ekstrem 30 harian

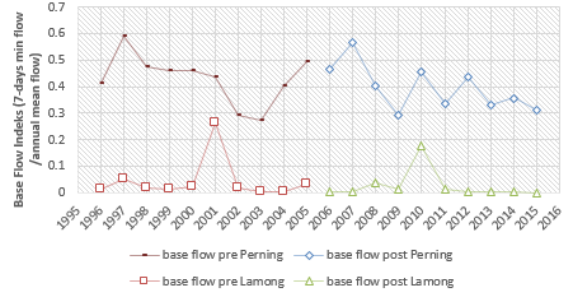


Gambar 12. Debit ekstrem 90 harian

Berdasarkan Gambar 6, 7, 11, dan 12, DAS Lamong-Simoanggrok mengalami peningkatan (nilai hidrologi) debit ekstrem 30-harian (terbesar dan terkecil) dan 90-harian (terbesar dan terkecil) sebesar 1,33; 1; 1,33; 1,33. Pada DAS Surabaya-Perning, debit ekstrem 30 hari terbesar dan 90 hari terkecil mengalami penurunan nilai hidrologi sebesar -0,67; dan -0,33; sebaliknya debit 30-harian terkecil dan 90-harian terbesar mengalami peningkatan nilai hidrologi dari periode awal ke periode akhir sebesar 0,75; dan 1.

Dari Gambar 6, 7, dan 13 dapat diketahui bahwa *base flow indeks* DAS Surabaya-Perning mengalami perubahan dari periode awal ke periode akhir sebesar 1. Nilai *Base flow indeks* DAS Lamong-Simoanggrok berubah sebesar 1,33. *Base flow indeks* merupakan perbandingan antara debit aliran dasar (base flow) dengan total debit aliran sungai. Nilai median dari *base flow indeks* DAS

Surabaya-Perning = 0,42, sedangkan Nilai median dari *base flow indeks* DAS Lamong-Simoanggrok = 0,01. Hal ini menunjukkan bahwa aliran dasar DAS Surabaya-Perning lebih besar daripada aliran dasar DAS Lamong-Simoanggrok dan dapat diketahui juga bahwa DAS Lamong-Simoanggrok sangat beresiko terjadi kekeringan pada saat musim kemarau.



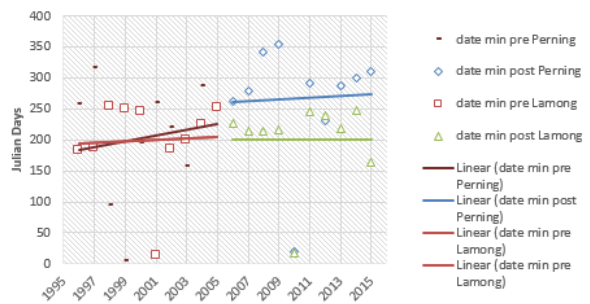
Gambar 13. Base flow indeks

3.1.3. Kategori Waktu Terjadinya Debit Ekstrem

Grafik pada Gambar 14 dan 15 menunjukkan perubahan tanggal terjadinya debit 1-harian terkecil dan 1-harian terbesar dari periode awal dan periode akhir pada kedua DAS.

Tanggal kejadian debit terkecil dan terbesar pada periode awal dan periode akhir ini digunakan untuk mengetahui kapan terjadinya debit terkecil dan terbesar.

Pada DAS Surabaya-Perning tanggal kejadian hari terkecil dengan median dari periode awal terjadi pada hari ke-236 dan median dari periode akhir terjadi pada hari ke-296 serta terjadi perubahan hidrologi sebesar 1,667. Hal ini menunjukkan bahwa tanggal kejadian pada debit 1-harian terkecil mengalami peningkatan nilai sehingga tanggal kejadiannya mundur.

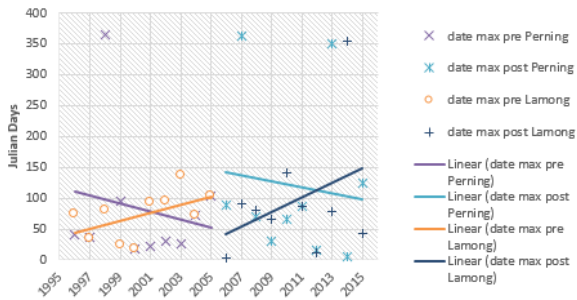


Gambar 14. Tanggal kejadian satu hari terkecil

Pada DAS Lamong-Simoanggrok tanggal kejadian hari terkecil dengan median dari periode awal terjadi pada hari ke-211 dan median dari periode akhir terjadi pada hari ke-218 serta terjadi perubahan sebesar 0,33. Hal ini menunjukkan bahwa tanggal kejadian debit 1-harian terkecil agak mundur.

Nilai median tanggal kejadian debit terbesar DAS Surabaya-Perning dari periode awal jatuh pada tanggal ke-33 dan nilai median dari

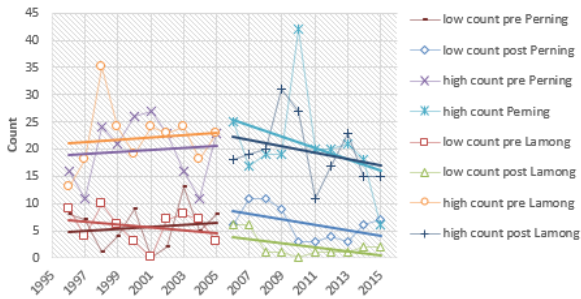
periode akhir jatuh pada tanggal ke-48 serta mengalami perubahan nilai hidrologi sebesar 0,66. Hal ini menunjukkan bahwa tanggal kejadian pada debit 1-harian terkecil mengalami peningkatan nilai sehingga tanggal kejadiannya mundur. Pada DAS Lamong-Simoanggrok, nilai median tanggal kejadian debit terkecil dari periode awalterjadi pada hari ke-77 dan nilai median dari periode awal jatuh pada hari ke-72 dengan perubahan nilai hidrologi sebesar -0,33. Hal ini menunjukkan bahwa tanggal kejadian pada debit satu hari terbesar DAS Lamong-Simoanggrok mengalami penurunan nilai sehingga tanggal kejadiannya sedikit maju kedepan dari periode awal ke periode akhir.



Gambar 15. Tanggal kejadian satu hari terbesar

3.1.4. Kategori Frekuensi dan Lamanya Debit Tinggi dan Debit Rendah

Grafik pada Gambar 16 dan 17 menunjukkan perubahan frekuensi debit rendah dan debit tinggi, dan lama kejadian debit rendah dan debit tinggi.

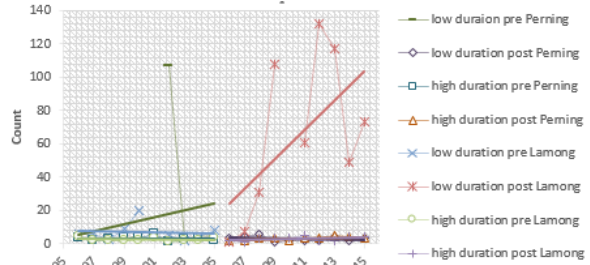


Gambar 16. Tanggal kejadian satu hari terbesar

Frekuensi debit rendah dan debit tinggi diperoleh dari ambang batas nilai median dengan asumsi nilai *high pulse count* di atas persentil 50 dan *low pulse count* di bawah persentil 25. Pada analisis ini, frekuensi debit rendah DAS Surabaya-Pening mengalami perubahan hidrologi dengan nilai 0,5, sedangkan pada DAS Lamong-Simoanggrok mengalami kenaikan juga dengan nilai sebesar 1,67. Frekuensi debit tinggi pada DAS Surabaya-Pening mengami perubahan nilai hidrologi dengan nilai -0,5 sedangkan pada DAS Lamong-Simoanggrok mengalami kenaikan perubahan nilai hidrologi dengan nilai 1.

Lama kejadian debit rendah DAS Surabaya-Pening mengalami perubahan hidrologi dengan

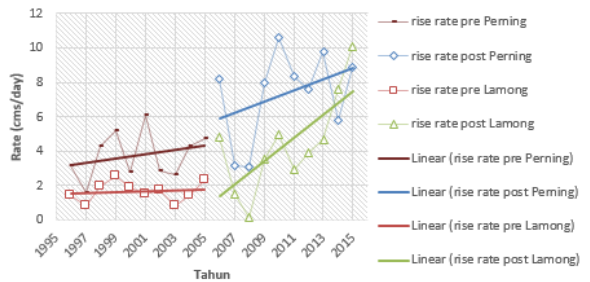
penurunan nilai -0,2, sedangkan pada DAS Lamong-Simoanggrok mengalami kenaikan dengan nilai sebesar 1,67. Lama kejadian debit tinggi pada DAS Surabaya-Pening mengalami perubahan nilai hidrologi dengan kenaikan sebesar 3 dan pada DAS Lamong-Simoanggrok mengalami kenaikan nilai hidrologi dengan nilai 1.



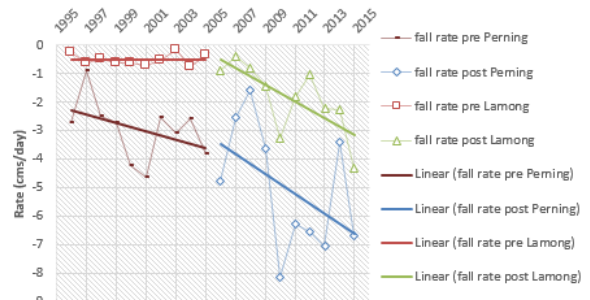
Gambar 17. Tanggal kejadian satu hari terbesar

3.1.5. Kategori Tingkat Perubahan Kondisi Debit

Grafik pada Gambar 18 dan 19 menunjukkan perubahan kenaikan dan penurunan hidrograf dari periode awal dan periode akhir pada kedua DAS.



Gambar 18. Kenaikan hidrograf



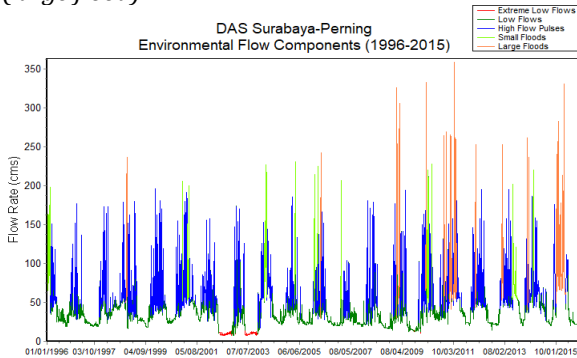
Gambar 19. Penurunan hidrograf

Tingkat kenaikan hidrograf yang terjadi pada DAS Surabaya-Pening dengan median periode awal yaitu 3,71 dan periode akhir yaitu 8,09 memiliki perubahan nilai hidrologi sebesar 1,67. Untuk kenaikan hidrograf DAS Lamong-Simoanggrok pada median periode awalyaitu 1,62 dan 4,27 dengan nilai perubahan sebesar 1,67. Penurunan hidrograf DAS Surabaya-Pening dengan nilai median periode awal yaitu -2,7 dan periode akhir yaitu -5,5 memiliki perubahan nilai hidrologi sebesar 1,67. Penurunan hidrograf DAS Lamong-Simoanggrok dengan nilai median

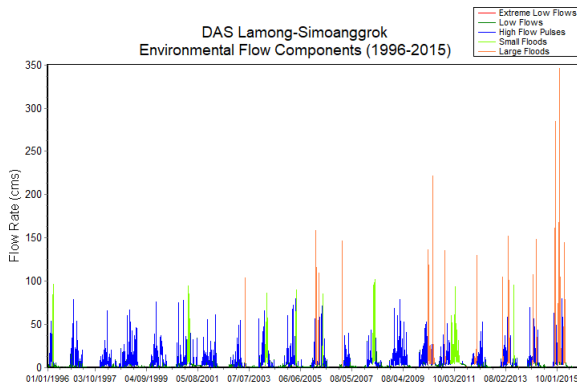
periode awal yaitu 0,58 dan periode akhir yaitu 1,64 memiliki perubahan nilai hidrologi sebesar 2.

3.2. Hasil Analisis Environmental Flow Component (EFC)

Ambang batas pada analisis Environmental Flow Component (EFC) dapat diartikan sebagai suatu nilai batas debit untuk menyatakan kelima jenis komponen aliran. Gambar 20 dan 21 menunjukkan hasil analisis EFC yang mengklasifikasikan aliran ke dalam lima kategori EFC yaitu: aliran rendah (low flow), aliran-sangat-rendah (extreme-low-flow), aliran tinggi (high-flow), banjir-kecil (small-flood) dan banjir-besar (large flood).



Gambar 20. EFC DAS Surabaya Perning



Gambar 21. EFC DAS Lamong-Simoanggrok

Tabel 4 dan 5 memperlihatkan hasil analisis komponen EFC untuk: (4) *extremelow-flow* dan (5) *high-flow*. Kondisi aliran-sangat-rendah (*extreme low-flow*) terjadi dengan ambang batas di bawah persentil 10 setiap tahun-nya, kemudian nilai median didapatkan dari nilai tengah semua tahun yang ada. Aliran-tinggi (*high-flow*) dihitung jika aliran melebihi ambang batas dari persentil 75% setiap tahun-nya.

Nilai *extreme low flow* pada DAS Lamong-Simoanggrok jauh lebih kecil dari pada DAS Surabaya-Perning. Nilai *extrem low flow* pada DAS Surabaya-Perning sebesar 17,55 m³/detik, berlangsung selama 4 hari, pada tanggal ke-299 dan frekuensi 0,5 kali setiap tahunnya. Hal ini sangat jauh berbeda dengan nilai *extrem low flow* DAS Lamong-Simoanggrok. Nilai *extrem low flow* DAS Lamong-Simoanggrok yaitu 0,01 m³/detik, berlangsung selama 71 hari, pada tanggal ke-224

dan frekuensi 0. Nilai 0 menunjukkan *extrem low flow* tidak terjadi setiap tahunnya.

Tabel 4. Hasil analisis debit sangat rendah

No	EFC Parameter	DAS Surabaya-Perning		DAS Lamong-Simoanggrok	
		Medians	CV	Medians	CV
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	Extreme low peak	17,55	0,328	0,01	1,00
2.	Extreme low duration	4	1,563	71,00	0,90
3.	Extreme low timing	299	0,172	224	0,090
4.	Extreme low freq.	0,5	9,5	0,0	0,0

Tabel 5. Hasil analisis debit tinggi

No	EFC Parameter	DAS Surabaya-Perning		DAS Lamong-Simoanggrok	
		Medians	CV	Medians	CV
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	High flow peak	94,05	0,212	13,80	0,36
2.	High flow duration	25	0,611	2,00	0,25
3.	High flow timing	48,25	0,083	38,75	0,179
4.	High flow frequency	18	0,430	20,00	0,39
5.	High rise rate	30,34	0,539	7,429	0,355
6.	High flow fall rate	-21	-0,68	-5,954	0,296

Berdasarkan Tabel 5 hasil, analisis komponen EFC yaitu *high flow* menghasilkan enam parameter. *High flow peak* merupakan keseluruhan nilai puncak yang telah terjadi dari seluruh aliran. Pada DAS Surabaya-Perning nilai *high flow peak* sebesar 94,05 m³/detik sedangkan pada DAS Lamong-Simoanggrok sebesar 13,8 m³/detik. *High flow duration* menyatakan durasi (lama kejadian) aliran tinggi setiap tahun. *High flow duration* pada kedua DAS relatif hampir sama dengan nilai 2,25 dan 2 hari setiap kali terjadi. Nilai *high flow timing* pada DAS Surabaya-Perning jatuh pada tanggal ke-48 dan pada DAS Lamong-Simoanggrok jatuh pada tanggal ke-39. *High flow frequency* pada DAS Surabaya-Perning sebanyak 18 kali dalam setahun dan pada DAS Lamong-Simoanggrok sebanyak 20 kali dalam setahun.

Hasil analisis untuk komponen EFC yang terkait dengan banjir kecil (*small-flood*) dan besar (*large flood*) tercantum pada tabel (6 dan 7). Banjir-kecil (Tabel 6) dihitung jika nilai debit aliran di sungai >= nilai ambang batas debit pada persentil 90 setiap 2 tahun-nya.

Nilai *small flood peak* (puncak banjir kecil) pada DAS Surabaya-Perning sebesar 254,7 m³/detik sedangkan pada DAS Lamong-Simoanggrok, nilai *small flood peak* sebesar

114,40 m³/detik. Nilai *small flood duration* pada kedua DAS relatif hampir sama dengan nilai 9,25 dan 9,5 hari setiap kali terjadi. Nilai *small flood timing* pada DAS Surabaya-Perning jatuh pada tanggal ke-29 dan pada DAS Lamong-Simoanggrok jatuh pada tanggal ke-78. *Small flood frequency* menunjukkan jumlah kejadian banjir kecil setiap tahun-nya. Nilai *small flood frequency* pada DAS Surabaya-Perning sebesar 0,5 dan pada DAS Lamong-Simoanggrok juga 0,5. Hal ini berarti, DAS Surabaya-Perning dan DAS Lamong-Simoanggrok sama-sama memiliki kemungkinan terjadi banjir kecil 50% setiap tahun.

Tabel 6. Hasil analisis banjir kecil

No	EFC Parameter	DAS Surabaya-Perning		DAS Lamong-Simoanggrok	
		Medians	CV	Medians	CV
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	Small Flood peak	254,7	0,165	114,40	0,26
2.	Small Flood duration	9,25	1,27	9,50	0,86
3.	Small Flood timing	29,5	0,255	78,25	0,218
4.	Small Flood freq.	0,5	2	0,50	3,50
5.	Small Flood riserate	42,94	1,885	42,63	1,669
6.	Small Flood fallrate	-49,44	-0,50	-22,38	-0,74

Tabel 7. Hasil analisis banjir besar

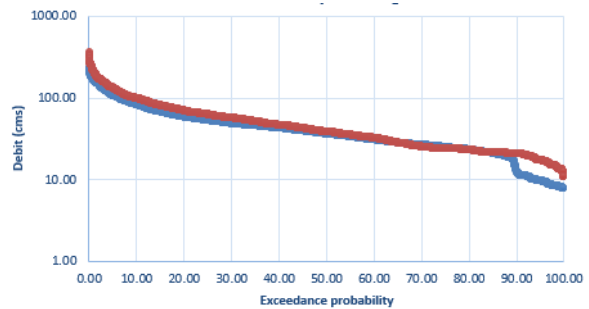
No	EFC Parameter	DAS Surabaya-Perning		DAS Lamong-Simoanggrok	
		Medians	CV	Medians	CV
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1.	Large flood peak	345,5	0,0749	300,30	0,10
2.	Large flood duration	12	0,5	13,25	0,19
3.	Large flood timing	76	0,0546	1,75	0,07
4.	Large flood freq.	0	0	0,00	0,00
5.	Large flood riserate	49,14	0,0742	79,97	0,35
6.	Large flood fallrate	-51,12	-0,818	-30,47	-0,16

Nilai *large flood peak* (puncak banjir besar) pada DAS Surabaya-Perning sebesar 345,5 m³/detik dan pada DAS Lamong-Simoanggrok nilai *small flood peak* sebesar 300,3 m³/detik. *Large flood duration* pada kedua DAS relatif hampir sama dengan nilai 12 dan 13,25 hari setiap kali terjadi. Nilai *large flood frequensi* pada kedua DAS adalah 0.

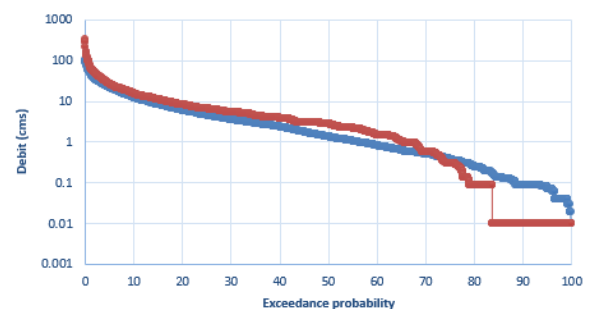
3.3. Hasil Analisis Flow Duration Curves (FDC)

Gambar 22 dan 23 menampilkan FDC dari data debit sungai, pada dua periode, yaitu: periode awal (dari 1996–2005) dan periode akhir (dari

2006 – 2015). FDC pada gambar tersebut dibuat dalam skala logaritmik. FDC untuk periode awal digambarkan sebagai kurva berwarna biru. FDC untuk periode akhir digambarkan dalam kurva berwarna merah.



Gambar 22.FDC DAS Surabaya-Perning



Gambar 23.FDC DAS Lamong-Simoanggrok

Analisis kurva durasi aliran (*KDA*) merupakan suatu analisis hidrologi untuk mengetahui karakteristik hidrologi DAS. *FDC/KDA* menunjukkan persentase kejadian nilai aliran debit selama kurun waktu tertentu dengan nilai kejadian 1 hingga 100 persen. Grafik pada Gambar 22 dan 23 menunjukkan adanya perbedaan antara periode awal dan periode akhir pada DAS Surabaya-Perning dan DAS Lamong-Simoanggrok. Pada persentil 1 sampai dengan Persentil 70, terlihat kurva *FDC* untuk periode akhir berada sedikit di atas kurva *FDC* periode awal. Hal ini menunjukkan peningkatan kuantitas aliran pada kedua DAS.

4. Kesimpulan

DAS Surabaya-Perning cenderung mengalami kenaikan nilai hidrologi pada parameter aliran bulan Januari sd Agustus, Desember, aliran 7-hari terkecil, 30-hari terkecil, 1-hari terbesar, 3-hari terbesar, 7-hari maksimal, 90-hari terbesar, *base flow index*, *date minimum flow*, *date maximum flow*, *low pulse count*, *high pulse duration*, *rise-rate* dan *fall-rate*. Sedangkan penurunan nilai hidrologi terjadi pada parameter aliran bulan September, November, 1-hari terkecil, 3-hari terkecil, 30-hari maskimal, *low-pulse duration*, dan *high-pulsecount*. DAS Lamong-Simoanggrok cenderung mengalami kenaikan nilai hidrologi pada parameter aliran bulan Januari sd Juli, Desember, 1-hari terkecil, 3-hari terkecil, 7-hari terkecil, 30-terkecil, 90-hari

terkecil, 1-hari terbesar, 3-hari terbesar, 7-hari terbesar, 30-hari terbesar, 90-hari terbesar, *base flow index*, *low-pulse count*, *low-pulse duration*, *high-pulse count*, *high-pulse duration*, *rise rate*, dan *fall rate*. Sedangkan penurunan nilai hidrologi terjadi pada parameter Februari, Agustus, *date minimum flow*, dan *date maximum flow*. DAS Surabaya-Perning berpotensi mengalami banjir kecil dengan debit sebesar 254,7 m³/detik yang berlangsung selama 9 hari dengan peluang terjadi 0,5 kali setiap 2 tahun. Mayoritas kurva FDC periode akhir berada di atas kurva FDC periode awal di DAS Surabaya-Perning dan DAS Lamong-Simoanggrok. Hal ini menunjukkan peningkatan kuantitas debit pada kedua DAS.

DAFTAR PUSTAKA

- Colburn K.R. 2008. Using the Indicators of Hydrologic Alteration Statistical Tool to Analyze the Prescribed Flow Regime for the Saranac River, New York [Diakses pada 14 April 2018].
- Gregor, M. 2012. Hydrooffice User Manual version 2012. <http://hydrooffice.org> [Diakses pada 15 Juli 2018].
- Indarto. 2016. Hidrologi – Metode analisis dan tool untuk interpretasi hidrograf aliran sungai. Penerbit Bumi Aksara. Jakarta
- Indarto, I. S. Wahyuningsih, E. Wiratama. 2016. Aplikasi Indikator Perubahan Hidrologi (IHA) Studi Kasus Di DAS Bedadung. Prosiding SEMNAS Perteta di Padang (Sumbar), 4 – 6 November 2016.
- Indarto, I.S. Wahyuningsih, E. Wiratama. 2018. Aplikasi Indikator Perubahan Hidrologi Di Das Wonorejo. Jurnal Teknik Pertanian (in review) <http://journal.ipb.ac.id/index.php/jtep/author>.
- Marsh, N., 2004. Time Series Analysis Module. River Analysis Package. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology. Monash University, Melbourne Australia.
- Mathews, R. dan B. Richter. 2007. Application of the Indicator of Hydrologic Alteration Software in Environmental Flow Setting. American Water Association. 43:(5) 1400-1413.
- Opperman, J. 2006. Indicators of Hydrologic Alteration Analysis for the Patuca River. <https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwjYy-W03brAhXNXisKHZziDicQFjAAegQIARAC&url=https://www.conservationgateway.org/2FDocuments/2FPatuca%2520IHA%2520report%2520v2.pdf&usq=A0vVaw05moxMo0AceSvrnbXeguN.pdf> [Diakses pada 14 April 2018].
- Pfeiffer, M dan M. Ionita, 2017. Assessment of Hydrologic Alterations in Elbe and Rhine Rivers, Germany. <http://www.mdpi.com/2073-4441/9/9/684> [Diakses pada 14 April 2018].
- Poff, N. L., Olden, J. D., dan Papiin, D. M. 2009. Homogenization of Regional River Dynamics by Dams and Global Biodiversity Implication. Journal Hydrology. 374:(56) 136-147.
- Richter, B.D., J.Powell, dan D. P. Braun. 1996. A Method for Assessin Hydrologic Alteration within Ecosystem. Conservation Biology. 30:(10) 1163-1174.
- Rybicki, T. 2009. Indicator of Hydrology Alteration Version 7.1 User Manual. United State of Amerika: The Nature Conservation. <http://www.researchgate.net/publication/247954759> [Diakses pada 13 April 2018].
- Sojka M., dan J. Jaskuła. 2016. The Impact Of The Kowalskie Reservoir On The Hydrological Regime Alteration Of The Główna River. https://www.researchgate.net/publication/308387697_The_impact_of_the_Kowalskie_reservoir_on_the_hydrological_regime_alteration_of_the_Glowna_river [Diakses pada 14 April 2018].
- Tejan E.C., dan C.S.Haase. 2007. Indicators of Hyrlogic Alteration (IHA) Analysis of Selected Stream on The Arbuckle-Simpson Aquifer, South Central Oklahoma. <http://digitalprairie.ok.gov/cdm/ref/collection/stgovpub/id/18602> [Diakses pada 14 April 2018].
- USGS. 2003. Applying Indicator of Hydrology Alteration to Texas Streams Overview of Methods with Examples from Trinity River Basin. Texas: The Nature Coservancy. http://pubs.usgs.gov/fs/fs12803/pdf/FS_128-03.pdf [Diakses pada 13 April 2018].
- Zuo Q., dan S. Liang. 2008. Effects Of Dams On River Flow Regime Based On IHA/RVA. https://www.researchgate.net/publication/276430948_Effects_of_dams_on_river_flow_regime_based_on_IHARVA [Diakses pada 14 April 2018].