

ANALISIS KONDISI HIDROLOGI DAERAH ALIRAN SUNGAI (DAS) WAY BESAI BAGIAN HULU DENGAN MENGGUNAKAN MODEL 'FLOW PERSISTENCE'¹

Oleh :

Lisa Tanika², Meine van Noordwijk³ dan Betha Lusiana⁴

²Watershed modeler, World Agroforestry Centre (ICRAF), l.tanika@cgiar.org

³Principal Scientist and Chief Science Advisor, ICRAF, M.vanNoordwijk@cgiar.org

⁴Ecological Modeling Unit Leader, ICRAF, b.lusiana@cgiar.org

ABSTRAK

Penilaian hidrologi melalui pendekatan yang sederhana seperti FlowPer, dapat mengatasi permasalahan terkait dengan *error* yang ditimbulkan akibat banyaknya data input yang dibangkitkan atau diduga dalam model hidrologi. Model *Flow Persistence* (FlowPer) merupakan suatu model yang didasarkan pada autokorelasi antara debit hari ini dengan hari berikutnya. Model ini menghitung nilai FlowPer (FP) yang menunjukkan kecenderungan atau perilaku debit sungai, dimana nilai FP=0 yang berarti debit sangat tidak beraturan dan FP=1 yang debit sangat stabil. Oleh karena itu, nilai FP dapat memberikan informasi mengenai kondisi fungsi Daerah Aliran Sungai (DAS). Data sub-DAS Way Besai bagian hulu (415 km²), Lampung digunakan untuk menguji kemampuan model FlowPer menggunakan tiga skenario perubahan tutupan lahan; aktual (kondisi yang sebenarnya), deforestasi (mewakili kondisi DAS yang mengalami kerusakan) dan reforestasi (mewakili kondisi DAS yang mengalami perbaikan). Terdapat tiga tahap utama dalam penelitian ini: (1) kalibrasi dan validasi model GenRiver, (2) simulasi debit menggunakan model GenRiver dan (3) menghitung nilai FP berdasarkan debit hasil simulasi menggunakan model FlowPer. Hasil simulasi model Flowper selama 31 tahun (1976-2006) pada kondisi aktual dan deforestasi memiliki rata-rata nilai FP yang sama, yaitu 0.85. Namun demikian, perubahan nilai FP pada kondisi deforestasi memiliki tren menurun, sedangkan kondisi aktual relatif stabil. Hasil simulasi model FlowPer pada kondisi reforestasi menunjukkan rata-rata nilai FP yang lebih tinggi dibandingkan dua kondisi yang lain, yaitu 0.88, yang berarti memiliki debit sungai yang lebih stabil. Jadi berdasarkan hasil analisis nilai FP pada ketiga kondisi, disimpulkan bahwa model FlowPer dapat digunakan sebagai alat untuk menilai kondisi hidrologi suatu DAS.

Kata kunci: fungsi hidrologi, GenRiver, FlowPer

¹Disampaikan dalam Seminar Nasional Pengelolaan DAS Terpadu untuk Kesejahteraan Masyarakat diselenggarakan oleh BPTKPDAS dan Fakultas Pertanian UNIBRAW di Malang, pada tanggal 30 September 2014.

I. PENDAHULUAN

Menjaga dan memperbaiki fungsi hidrologi suatu di Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi perhatian pamangku kepentingan daerah, khususnya pemerintah setempat. Untuk itu adanya alat dan indikator yang dapat digunakan untuk menilai baik tidaknya fungsi hidrologi suatu DAS sangatlah penting. Salah satu cara untuk menilai kondisi DAS adalah dengan menggunakan model hidrologi. suatu model hidrologi yang merupakan tiruan suatu sistem hidrologi menjadi sangat konplek karena terdapat banyak komponen dan proses yang terlibat. Knight *et al.* (2011) dalam tulisannya menyebutkan terdapat empat kelompok utama yang mempengaruhi respon fungsi hidrologi: iklim, bentuk fisik bentang lahan, indikator wilayah dan penggunaan lahan. Lebih lanjut, Knight juga menyebutkan dari keempat kelompok tersebut, indikator wilayah dan iklim merupakan paretmater yang paling berpengaruh. Oleh karena itu, sering kali penggunaan model hidrologi untuk mensimulasikan kondisi DAS terkendala oleh ketidaktersediaan data. Hal ini akan menyebabkan peningkatkan kesalahan (*error*) akibat digunakannya data yang diduga atau dibangkitkan (*generated*). Melalui tulisan ini, kami ingin memperkenalkan model sederhana yang tidak membutuhkan banyak input data namun bisa memberikan keluaran yang dapat digunakan sebagai indikator baik tidaknya fungsi hidrologi suatu DAS. Model ini kami namakan '*Flow Persistence*' (FlowPer)', yang dapat memberikan gambaran secara cepat mengenai kondisi DAS berdasarkan pola data debit harian Model ini diharapkan dapat membantu pemangku kepentingan, terutama mereka yang tinggal dibagian hilir, dalam melakukan pemantauan terhadap kondisi hidrologi wilayah mereka.

Terdapat dua tujuan dalam tulisan ini: (1) untuk melihat kemampuan model FlowPer dalam melakukan penilaian terhadap kondisi DAS dan (2) melihat dampak deforestasi dan reforestasi terhadap kondisi DASi yang digambarkan melalui nilai kestabilan aliran atau *Flow Persistence value* (FP).

Model hidrologi GenRiver digunakan untuk mensimulasikan debit pada tiga kondisi DAS yang berbeda, yakni kondisi terdegradasi (deforestasi), kondisi perbaikan (reforestasi) dan kondisi aktual sebagai pembanding.

II. METODOLOGI

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dalam tulisan ini adalah DAS Way Besai bagian hulu (Sub-DAS Way Besai) yang berada di Kecamatan Sumber Jaya, Kabupaten Lampung Barat, Propinsi Lampung. Berada di antara $4^{\circ}56'6''$ dan $5^{\circ} 11' 25''$ lintang selatan dan $104^{\circ} 17'52''$ dan $103^{\circ} 33'$ dan $51''$ bujur timur, dengan ketinggian antara 720-1831 meter diatas permukaan laut, Sub-DAS Way Besai mempunyai luas area 415 km². Jenis tanah yang mendominasi area ini adalah Inseptisols dan sebagian berupa Entisols dengan lebih dari 70% tipe tutupan lahan didominasi oleh perkebunan kopi.

B. Metode

Tahapan analisis penilaian kondisi hidrologi Sub-DAS Way Besai dengan menggunakan model FlowPer antara lain:

1. Pengumpulan data-data iklim, hidrologi dan spatial yang diperlukan untuk simulasi model Genriver
2. Kalibrasi dan validasi model GenRiver
3. Mensimulasikan model GenRiver untuk memperoleh debit dan neraca air pada kondisi aktual, deforestasi dan reforestasi
4. Mensimulasikan model FlowPer untuk memperoleh nilai FP pada kondisi aktual, deforestasi dan reforestasi
5. Analisis hasil model GenRiver dan FlowPer pada kondisi aktual, defoerstasi dan reforestasi

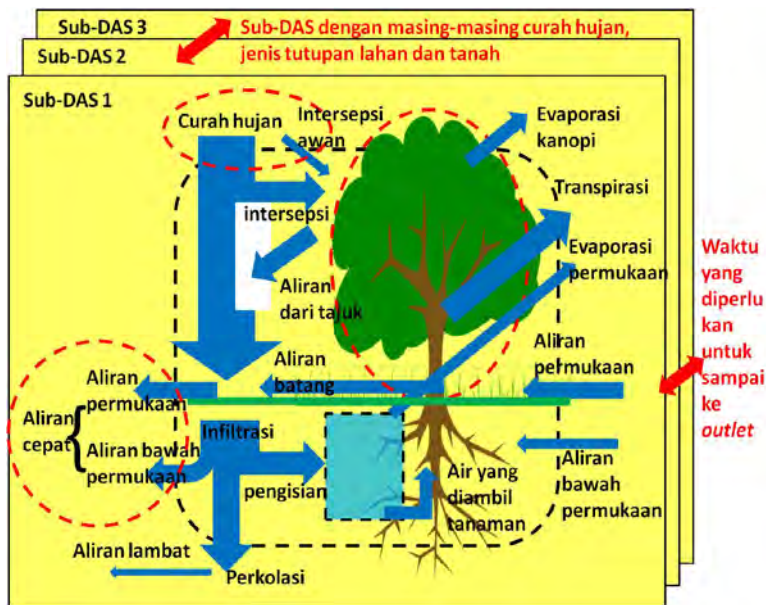
C. Model GenRiver

Model Generic Riverflow (GenRiver) merupakan suatu model sederhana yang mensimulasikan aliran sungai pada suatu DAS. Model ini dikembangkan oleh World Agroforestry Centre (ICRAF) untuk membantu menilai kondisi suatu DAS dari sisi pengetahuan ekologi ahli hidrologi.

GenRiver telah diaplikasikan pada berbagai kondisi DAS baik di Indonesia maupun di luar Indonesia dengan luasan antara 6.3 - 9,861 km² (Lusiana et al. 2008a; Lusiana et al. 2008b; Khasanah et al. 2010; Nugroho 2010; Van Noordwijk et al. 2011).

Inti model Genriver adalah neraca air yang ada pada tingkat plot, yang bersumber dari hujan tingkat lokal serta dimodifikasi berdasarkan tutupan lahan dan perubahannya serta karakter jenis tanah (Gambar 1). Hasil dari skala plot ini adalah aliran permukaan (*surface flow*), aliran cepat (*soil quick flow*) dan aliran lambat (*base flow*) (Van Noordwijk et al, 2011).

Selanjutnya, pemodelan aliran sungai diasumsikan sebagai penjumlahan dari ketiga aliran yang ada di permukaan dan dalam tanah (aliran permukaan, aliran cepat dan aliran lambat). Konversi dari aliran sungai di tingkat plot dan sub-DAS menjadi tingkat DAS adalah berdasarkan pada jaringan sungai dan jarak dari masing-masing sub-DAS ke outlet akhir (Van Noordwijk et al, 2011).



Gambar 1. Inti model GenRiver

D. Model FlowPer

Model *Flow Persistence* (FlowPer) merupakan model sederhana yang didasarkan pada korelasi antara debit hari ini dengan debit hari berikutnya yang ditunjukkan oleh Persamaan 1.

$$Q_{t+1} = FP Q_t + Q_{add} \quad (1)$$

Dimana Q_t and Q_{t+1} menunjukkan debit pada hari ke- t dan $t+1$, sedangkan FP merupakan nilai kesetimbangan aliran ($[0 < FP < 1]$) dan Q_{add} adalah nilai acak yang menggambarkan tambahan aliran yang berasal dari hujan saat itu.

Berdasarkan persamaan 1, nilai Q_{add} dan FP saling berhubungan. Jika $FP = 1$ dan $Q_{add} = 0$ maka debit sungai akan konstan. Sebaliknya, jika $FP=0$, maka tidak akan ada korelasi antara debit debit hari ini dan debit hari berikutnya, atau dengan kata lain, debit sungai tersebut sangat berfluktuasi bergantung pada distribusi Q_{add} atau curah hujan.

Berdasarkan persamaan kesetimbangan aliran dimana debit (Q) merupakan penjumlahan antara aliran permukaan (Q_s), aliran cepat (Q_i) dan aliran lambat (Q_b) (Persamaan 3). Maka nilai total FP bergantung pada nilai FP untuk masing-masing komponen aliran (Persamaan 3).

$$FP = (Q_{t+1} - Q_{add}) / Q_t \quad (2)$$

$$Q = Q_s + Q_i + Q_b \quad (3)$$

$$FP Q = FP_s Q_s + FP_i Q_i + FP_b Q_b \quad (4)$$

$$FP Q = FP_s Q_s + FP_i Q_i + Q_b \quad (5)$$

Dimana FP_s , FP_i , FP_b merupakan nilai FlowPer pada aliran permukaan, aliran cepat dan aliran lambat. Karena aliran lambat memiliki sifat yang cenderung lambat dan stabil maka FP_b mendekati 1 ($FP_b \approx 1$) sehingga Persamaan 4 menjadi Persamaan 5. Sedangkan aliran permukaan dan aliran cepat bergantung pada curah hujan maka FP_s dan FP_i dapat diwakili

oleh nilai ketahanan curah hujan (*rain persistence* atau RP). Gabungan antara persamaan 2,3 dan 5 menjadi Persamaan (6)

$$FP= RP (Q-Q_b)/Q + Q_b/Q \tag{6}$$

Jika input yang tersedia untuk model FlowPer hanya berupa nilai debit maka perhitungan nilai FP hanya menggunakan Persamaan 2. Nilai FP dihitung dengan menggunakan membuat grafik *scatter plot* antara Q_t and Q_{t+1} .

E. Input

Input yang digunakan dalam tulisan ini antara lain data iklim, debit, tutupan lahan, jenis tanah, dan DEM (Tabel 1). Input-input tersebut diperlukan untuk mensimulasikan neraca air sebagai dampak perubahan tutupan lahan dengan Model GenRiver.

Tabel 1. Input model GenRiver yang digunakan untuk mensimulasikan debit Sub-DAS Way Besai

Data		Tahun	Sumber
Iklim	Curah hujan harian	1976-2007	BMG ¹⁾ , PU ²⁾ , PLN ³⁾ ,
	Suhu harian	BMG (1976-2007)	BMG1
DEM	Peta DEM		ICRAF Indonesia ⁴⁾
Tutupan lahan	Landsat MSS & ETM	1976 dan 2007	ICRAF Indonesia
Geologi	Geologi 1:250000		ICRAF Indonesia
Tanah	Unit peta tanah 1:250.000	2003	CSAR
Hidrologi	Debit harian dari stasiun Petai	1976-1997, 1999, 2005, 2006	PU ²

Catatan: 1) Badan Meteorologi dan Geofisika, 2) Dinas Pekerjaan Umum, 3) Perusahaan Listrik Negara dan 4)World Agroforestry Centre

F. Kalibrasi dan validasi model

Tujuan dari kalibrasi adalah untuk menentukan nilai sekelompok parameter, sehingga hasil simulasi debit oleh model mendekati nilai debit yang sebenarnya (Kobold, 2008). Validasi model dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan model dalam mendekati kondisi DAS yang

sebenarnya. Kriteria yang digunakan untuk evaluasi kemampuan model, yaitu *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)* (reference) dan *relative error*. Proses kalibrasi dan validasi menggunakan 25 tahun data sesuai dengan data debit yang tersedia (1976-1997, 1999, 2005 dan 2006)..

G. Skenario

Skenario perubahan tutupan lahan dibuat dengan tujuan untuk mewakili berbagai kondisi DAS yang mungkin terjadi yaitu kondisi terdegradasi melalui deforestasi, kondisi DAS mengalami perbaikan melalui reforestasi dan kondisi aktual sebagai pembanding. Melalui ketiga kondisi tersebut akan dilihat bagaimana dampak perubahan lahan tersebut terhadap fluktuasi debit yang digambarkan dengan nilai FP.

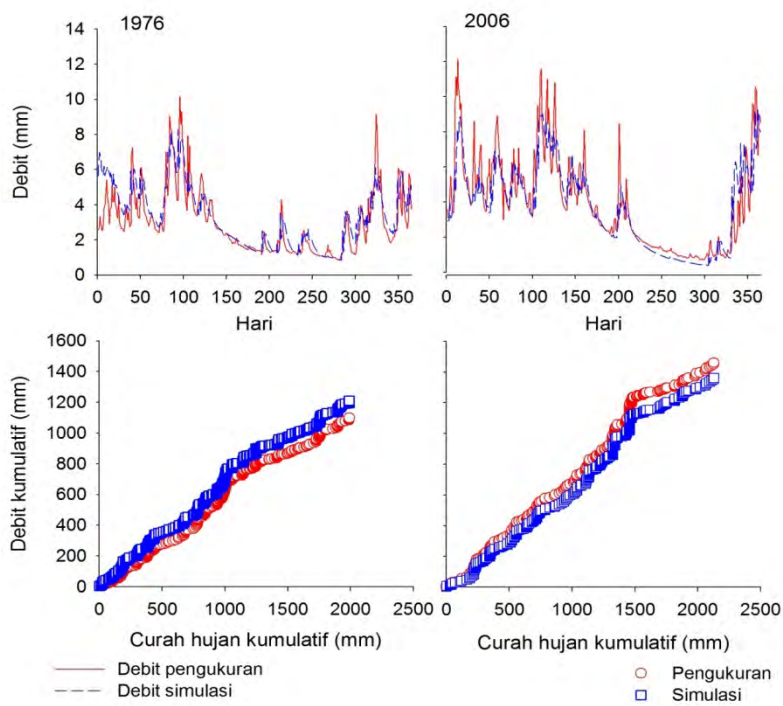
Skenario kondisi aktual kondisi adalah perubahan tutupan lahan sesuai dengan keadaan yang sebenarnya pada tahun 2007. Kondisi deforestasi yaitu jika pada tahun 2007, seluruh area hutan, belukar, padang rumput dan persawahan dibuka dan diganti menjadi perkebunan kopi terbuka, sedangkan pada skenario reforestasi seluruh area perkebunan kopi, padang rumput dan persawahan yang ada pada kondisi aktual dikembalikan menjadi area hutan. Besarnya perubahan lahan untuk masing-masing area pada kondisi aktual, deforestasi dan reforestasi ditunjukkan oleh Tabel 2.

Tabel 2. Skenario tutupan lahan yang digunakan dalam simulasi model GenRiver di Sub-DAS Way Besai

Land Cover Type	Area tutupan lahan (km ²)			
	1976	2007		
		Aktual	Deforestasi	Reforestasi
Kopi terbuka	37.59	16.18	137.40	0.00
Belukar dan padang rumput	16.84	54.89	0.00	0.00
Hutan	42.76	76.43	0.00	137.22
Kopi dengan naungan sederhana ¹	54.58	69.41	54.58	54.58
Kopi dengan naungan kompleks	200.24	149.68	200.24	200.24
Hortikultur	10.37	0.17	10.37	10.37
Sawah	40.22	33.72	0.00	0.00
Pemukiman	11.99	13.90	11.99	11.99
TOTAL	414.56	414.39	414.56	414.39

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses kalibrasi dan validasi model GenRiver untuk Sub-DAS Way Besai menggunakan 25 tahun data debit (1976-2007). Hasil kalibrasi dan validasi memperoleh 16 dari 25 tahun simulasi menunjukkan kriteria nilai Nash Suttcliffe (NSE) antara 0.5-0.75 dengan kriteria ‘cukup’ hingga ‘sangat baik’ (Moriassi et al., 2001) dan *relative error* kurang dari 20%. Hal ini berarti model GenRiver dengan nilai-nilai parameter yang telah dikalibrasi dapat digunakan untuk mensimulasikan kondisi Sub-DAS Way Besai. Gambar 2 merupakan contoh hasil kalibrasi dan validasi model GenRiver tahun 1976 dan 2006.

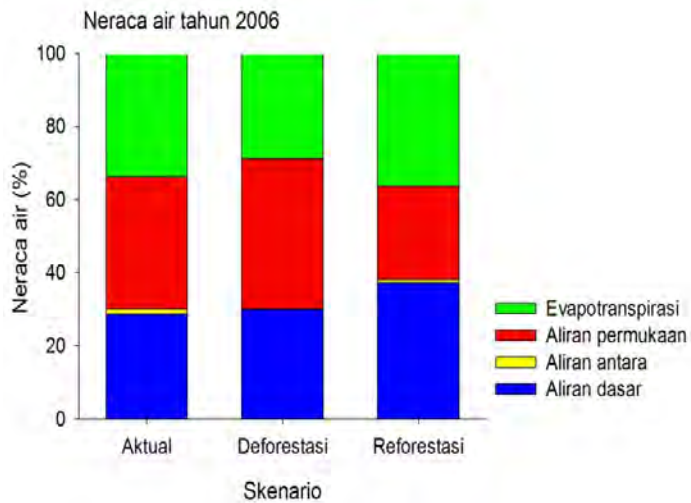


Gambar 2. Perbandingan hidrograf dan kurva massa ganda (*double mass-curve*) antara debit pengukuran dan hasil simulasi model GenRiver tahun 1976 dan 2006

Curah hujan yang digunakan dalam simulasi ini bervariasi antara 1434-3277 mm dengan rata-rata 2515 mm pertahun. Hasil simulasi neraca air dengan Model GenRiver pada kondisi aktual, deforestasi dan reforestasi dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 3. Neraca air hasil simulasi model Genriver selama 31 tahun simulasi (1976-2006) menunjukkan bahwa, kondisi reforestasi meningkatkan evapotranspirasi dan aliran lambat sebesar 2.6% dan 6.7% dari kondisi aktualnya serta menurunkan tingkat aliran permukaan sebesar 10% dari kondisi aktualnya. Sebaliknya kondisi deforestasi meningkatkan aliran permukaan sebesar 4.9% dan menurunkan evapotranspirasi dan aliran lambat sebesar 4.9% dan 1.2% dari kondisi aktualnya.

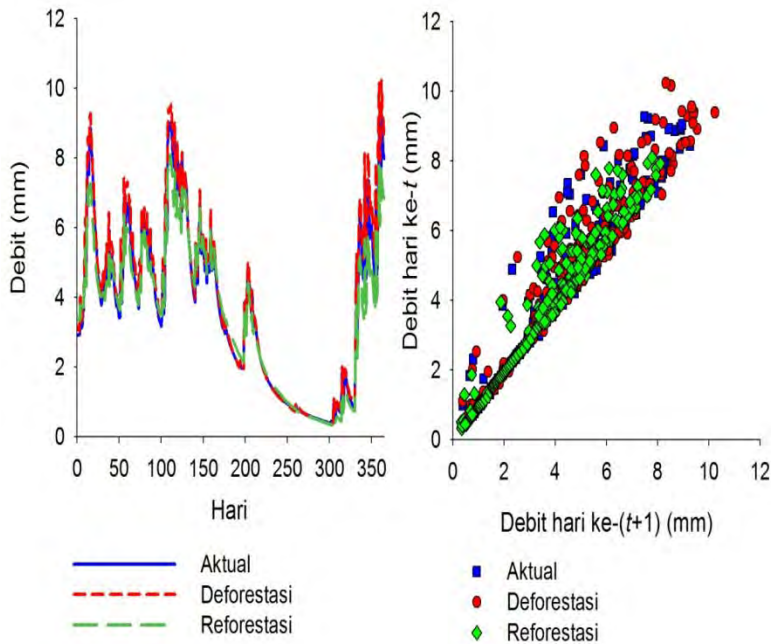
Tabel 3. Neraca air tahun 2006 pada kondisi Aktual, Deforestasi dan Reforestasi hasil simulasi model GenRiver

Komponen Neraca Air	Aktual		Deforestasi		Reforestasi	
	(mm)	(%)	(mm)	(%)	(mm)	(%)
Curah hujan	2129		2129		2129	
Evapotranspirasi	717	33.7	613	28.8	772	36.3
Aliran permukaan	773	36.3	877	41.2	546	25.7
Aliran cepat	29	1.3	3	0.1	19	0.9
Aliran lambat	598	28.1	606	28.5	740	34.8
Air yang disimpan dalam tanah	12	0.6	30	1.4	51	2.4



Gambar3. Grafik perbandingan neraca air tahun 2006 pada kondisi aktual, deforestasi dan reforestasi hasil simulasi model GenRiver.

Perbandingan hidrograf kondisi aktual, deforestasi dan reforestasi menunjukkan bahwa kondisi deforestasi mempunyai aliran permukaan yang lebih tinggi sehingga menyebabkan fluktuasi debit yang lebih besar dibandingkan kondisi aktual dan reforestasi (Gambar 4 kiri). Kondisi ini dipertegas melalui grafik antara debit hari ini dengan hari berikutnya (debit hari ke- t dan hari ke- $(t+1)$) yang menunjukkan bahwa grafik pada kondisi deforestasi lebih tersebar dibandingkan dua kondisi yang lain (Gambar 4, kanan). Hal ini menunjukkan adanya peningkatan aliran permukaan yang menyebabkan debit menjadi lebih fluktuatif yang disebabkan oleh deforestasi.



Gambar 4. Perbandingan hidrograf (kiri) dan plot debit hari ke- t dan hari ke- $(t+1)$ (kanan) pada kondisi aktual, deforestasi dan reforestasi hasil simulasi model GenRiver.

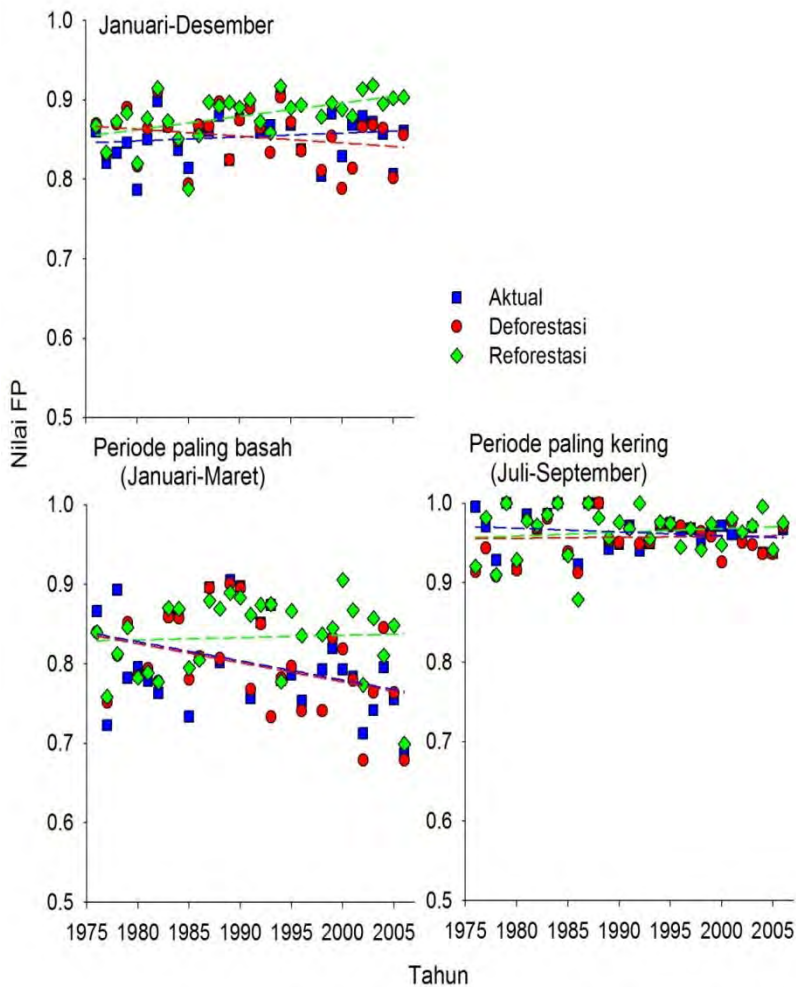
Rata-rata nilai FP hasil simulasi model FlowPer selama 31 tahun (1976-2006) menunjukan bahwa kondisi aktual mempunyai nilai rata-rata FP yang sama dengan kondisi deforestasi yaitu sebesar 0.85. Namun, perubahan

nilai FP selama 31 tahun pada kondisi deforestasi mempunyai kecenderungan menurun, sedangkan pada kondisi aktual mempunyai kecenderungan stabil (Gambar 5, atas). Nilai FP rata-rata kondisi reforestasi selama 31 tahun adalah sebesar 0.88 dengan kecenderungan meningkat. Hal ini berarti bahwa kondisi reforestasi dapat membuat debit menjadi lebih stabil.

Analisis lebih lanjut dilakukan dengan menghitung nilai FP pada periode paling basah yaitu bulan Januari-Maret dan periode paling kering pada bulan Juli-September. Pembagian kedua periode ini berdasarkan total curah hujan tri-wulan. Periode paling basah antara bulan Januari-Maret mempunyai total curah hujan antara 350-1159 mm dan rata-rata 848 mm. Sedangkan periode paling kering pada bulan Juli-September mempunyai total curah hujan antara 15-645 mm dan rata-rata 323 mm.

Kondisi reforestasi menyebabkan kecenderungan nilai FP yang meningkat selama 31 tahun simulasi dengan nilai FP rata-rata adalah 0.83. Sedangkan kondisi aktual dan deforestasi memiliki nilai FP yang cenderung turun selama 31 tahun simulasi dengan nilai rata-rata 0.80 dan 0.79 (Gambar 5, kiri bawah). Hal ini berarti bahwa kondisi reforestasi dapat menurunkan tingkat fluktuasi debit di Sub-DAS Way Besai dibandingkan dengan kondisi aktualnya pada periode paling basah.

Berbeda dengan periode paling basah, nilai FP pada periode paling kering (Juli-September) pada kondisi aktual, deforestasi dan reforestasi menunjukkan mempunyai nilai rata-rata yang sama yaitu sebesar 0.96 dengan kecenderungan yang tetap stabil selama 32 tahun (Gambar 5, kanan bawah).



Gambar 5. Nilai FP hasil simulasi model FlowPer untuk dalam 1 tahun data (Januari-Desember) (atas), periode bulan paling basah (Januari-Maret) (kiri bawah) dan periode bulan paling kering (Juli-September) (kanan bawah)

IV. KESIMPULAN

Nilai FP yang dihitung dengan menggunakan model FlowPer dapat digunakan untuk menilai fungsi hidrologi Daerah Aliran Sungai. Hal ini ditunjukkan dengan nilai FP rata-rata pada kondisi reforestasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan kondisi aktual dan deforestasi. Walaupun kondisi deforestasi dan kondisi aktual mempunyai nilai FP rata-rata yang sama, namun keduanya mempunyai kecenderungan perubahan yang berbeda selama 31 tahun simulasi. Perubahan nilai FP pada kondisi deforestasi mempunyai kecenderungan yang menurun.

Perbedaan nilai FP pada ketiga kondisi menjadi lebih jelas pada saat periode paling basah (Januari-Maret). Perubahan nilai FP pada kondisi reforestasi mempunyai kecenderungan tetap stabil jika dibandingkan kondisi deforestasi dan aktual.

DAFTAR PUSTAKA

- Khasanah K, Mulyoutami E, Ekadinata A, Asmawan T, Tanika L, Said Z, Van Noordwijk M, Leimona B. 2010. *A Study of Rapid Hydrological Appraisal in the Krueng Peusangan Watershed, NAD, Sumatra*. Working paper nr.123. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre.
- Knight, R.R., Gain, W.S., and Wolfe, W.J., 2011, Modelling ecological flow regime: An example from the Tennessee and Cumberland River Basins: *Ecohydrology*, DOI: 10.1002/eco.246.
- Kobold, M., Suselj, K., Polajnar, j. dan Pogacnik, N., 2008, Calibration Techniques Used For HBV Hydrological Model In Savinja Catchment, XXIVth Conference Of The Danubian Countries On The Hydrological Forecasting And Hydrological Bases Of Water Management
- Lusiana B, Widodo R, Mulyoutami E, Nugroho DA and Van Noordwijk M. 2008b. *Assessing Hydrological Situation of Talau Watershed, Belu*

Regency, East Nusa Tenggara. Working Paper No. 58. Bogor, Indonesia. World Agroforestry Centre.

Lusiana B, Widodo R, Mulyoutami E, Nugroho DA, Van Noordwijk M. 2008a. *Assessing Hydrological Situation of Kapuas Hulu Basin, Kapuas Hulu Regency, West Kalimantan*. Working Paper No. 57. Bogor, World Agroforestry Centre.

Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., dan Veith, T.L., 2001, Model Evaluation Guidelines, For, Systematic Quantification Of Accuracy In Watersshed Simulations, *American Society of Agricultural and Biological Engineers* 20(3):885-900.

Nugroho P. 2010. *Prediksi Perubahan Neraca Air Nengan Model GenRiver (Studi Kasus di Sub DAS Goseng Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah)* [tesis]. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.

Van Noordwijk, M., Widodo, R.H., Farida, A., Suyamto, D.A., Lusiana, B., Tanika, L. dan Khasanah, N., 2011. *GenRiver and FlowPer User Manual Version 2.0*. Bogor. Bogor Agroforstry Centre Southeast Asia Regional Program. hlm 117.