

ANALISIS DEBIT SUNGAI AKIBAT ALIH GUNA LAHAN DAN APLIKASI MODEL GENRIVER PADA DAS WAY BESAI, SUMBERJAYA

Farida dan Meine van Noordwijk

World Agroforestry Centre- ICRAF SE Asia, P.O.Box 161, Bogor 16001

ABSTRACT

Forest conversion into coffee gardens in Sumberjaya over the last three decades has led to concerns over the hydrological functions of the upper watershed. Forests generally are associated with positive watershed functions and all land use change is expected to negatively affect the quantity and quality of river flow from the perspective of people living downstream. A recently developed set of criteria for watershed functions aims at a focus on the impacts of land use change, given the climate and inherent properties of a site. We analyzed data for the Sumberjaya benchmark area to derive a set of quantitative indicators for the criteria ‘transmit water’, ‘buffer peak rain events’ and ‘release of water gradually’.

The conversion of forest to coffee gardens with declining forest area from 60% to 12% from 1970 to 2000. Based on the 23 years (from 1975 to 1998) of hydrological data, annual river flow as a fraction of rainfall has increased. The data show a decline in the ‘buffering indicator’ that relates peak flows to peak rainfall events, but this decline does not exceed the increase in average water yield. There was no negative impact on dry season flows. This implies that the distribution of daily flows is shifted upwards, but without specific breakdown of buffering for peak rainfall events. A simulation model (GenRiver) was used to explore our understanding of historical changes in river flow due to land use change and use it as a basis for exploring plausible future scenarios. GenRiver is a distributed process-based model that extends a plot-level water balance to subcatchment level. Our GenRiver application for Sumberjaya compares three different land use changes scenarios (all forest, current land use and degraded land). An acceptable agreement was obtained between the measured and simulated values of the watershed function indicators for the current land use mosaic. Watershed function indicators derived by the model can thus be used to explore the ‘degradation’ scenarios where the positive impact of forest conversion on total water yield would become associated with negative impacts such as flooding risk and declines in river flow during the dry season. In the model the key factor for such change is the condition of the soil, and current evidence suggests that coffee-based agroforestry does not pose a threat to watershed functions in Sumberjaya.

Keywords : *land use change, criteria and indicators of watershed functions, buffering indicator, GenRiver*

ABSTRAK

Dalam tiga dasawarsa terakhir alih guna lahan hutan menjadi perkebunan kopi dan lahan pertanian lainnya di daerah Sumberjaya, merupakan kegiatan yang disoroti karena pengaruhnya terhadap fungsi hidrologi daerah aliran sungai (DAS) di daerah hulu. Hutan umumnya dikaitkan dengan fungsi positif tata air dalam suatu ekosistem DAS dan semua alih guna lahan dianggap akan berdampak negatif terhadap kuantitas dan kualitas air bagi masyarakat di daerah hilir. Akhir-akhir ini telah dikembangkan sekumpulan kriteria fungsi DAS yang difokuskan pada dampak alih guna lahan terhadap fungsi DAS pada kondisi lokal spesifik (iklim dan kondisi alamnya). Data-data dari Sumberjaya telah dianalisis sehingga diperoleh sekumpulan indikator kuantitatif untuk tiga kriteria fungsi hidrologi DAS yaitu transmisi air (*transmit water*), fungsi penyangga (*buffering*) dan fungsi pelepasan air secara bertahap (*gradually release water*).

Konversi hutan menjadi kebun kopi menyebabkan jumlah luasan hutan di Sumberjaya, berkurang dari 60 % (pada tahun 1970-an) menjadi 12 % (tahun 2000) dari total luas lahan. Pengolahan data empiris dalam kurun waktu 23 tahun (tahun 1975 - 1998) menunjukkan adanya peningkatan debit sungai tahunan relatif terhadap besarnya curah hujan. Hasil tersebut menunjukkan adanya penurunan ‘indikator penyangga’ yang berhubungan dengan aliran puncak pada puncak kejadian hujan (*peak flows to peak rainfall events*), tetapi penurunan tersebut tidak melebihi peningkatan rata-rata hasil air. Penurunan ‘indikator penyangga’ tidak berpengaruh negatif terhadap aliran sungai pada musim kemarau. Hal tersebut menunjukkan bahwa distribusi aliran harian telah bergeser ke atas (meningkat), tetapi tanpa penghambatan yang spesifik pada penyanggaan terhadap kejadian puncak hujan. Model simulasi (GenRiver) telah digunakan untuk mempelajari perubahan aliran sungai sebagai akibat adanya alih guna lahan, dan selanjutnya dipakai sebagai dasar untuk mempelajari beberapa skenario alih guna lahan yang mungkin terjadi di masa yang akan datang. GenRiver adalah sebuah model yang berbasis pada proses neraca air pada skala plot dan dikembangkan menjadi skala sub-DAS. Aplikasi simulasi model GenRiver untuk daerah Sumberjaya menggunakan tiga skenario alih guna lahan yaitu ‘semuanya hutan’, ‘kondisi lahan saat ini’ dan ‘lahan terdegradasi’. Hasilnya menunjukkan bahwa pengukuran di lapangan terhadap indikator fungsi hidrologi DAS cukup sesuai dengan hasil simulasi skenario ‘kondisi lahan saat ini’. Dengan demikian indikator fungsi hidrologi DAS yang diturunkan dari model simulasi dapat digunakan untuk mempelajari skenario ‘terdegradasi’, dimana dampak

positif konversi hutan terhadap peningkatan total hasil air akan berhubungan dengan dampak negatifnya seperti resiko terjadinya banjir dan kekeringan pada musim kemarau. Di dalam model tersebut disimpulkan bahwa perubahan kondisi tanah adalah faktor utama yang menyebabkan terjadinya perubahan fungsi DAS. Hasil penelitian saat ini membuktikan bahwa sistem agroforestri berbasis kopi tidak membahayakan kelestarian fungsi DAS di Sumberjaya.

Kata kunci : *alih guna lahan, kriteria dan indikator fungsi hidrologi DAS, indikator penyangga, GenRiver*

PENDAHULUAN

Salah satu fungsi utama dari DAS adalah sebagai pemasok air dengan kuantitas dan kualitas yang baik terutama bagi orang di daerah hilir. Alih guna lahan hutan menjadi lahan pertanian akan mempengaruhi kuantitas dan kualitas tata air pada daerah aliran sungai (DAS) yang akan lebih dirasakan oleh masyarakat di daerah hilir. Persepsi umum yang berkembang pada saat ini, konversi hutan menjadi lahan pertanian mengakibatkan penurunan fungsi hutan dalam mengatur tata air, mencegah banjir, longsor dan erosi pada DAS tersebut.

Hutan selalu dikaitkan dengan fungsi positif terhadap tata air dalam ekosistem DAS (van Noordwijk *et al.*, 2003). Fungsi hutan dalam ekosistem DAS perlu dipandang dari tiga aspek berbeda, yaitu pohon, tanah dan lansekap (*landscape*). Vegetasi hutan berfungsi mengintersepsi air hujan, namun laju transpirasi yang tinggi mengakibatkan penggunaan air yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis vegetasi non-irigasi lainnya. Tanah hutan memiliki lapisan seresah yang tebal, kandungan bahan organik tanah, dan jumlah makroporositas yang cukup tinggi sehingga laju infiltrasi air lebih tinggi dibandingkan dengan lahan pertanian (Hairiah *et al.*, 2004). Dari sisi lansekap, hutan tidak peka terhadap erosi karena memiliki *filter* berupa seresah pada lapisan tanahnya.

Hutan dengan karakteristik tersebut di atas sering disebut mampu meredam tingginya debit sungai pada saat musim hujan dan menjaga kestabilan aliran air pada musim kemarau. Namun prasyarat penting untuk memiliki sifat tersebut adalah jika tanah hutan cukup dalam ($e \geq 3m$). Dalam kondisi ini hutan akan mampu berpengaruh secara efektif terhadap berbagai aspek tata air (Agus *et al.*, 2002).

Dalam tiga dasawarsa terakhir di daerah Sumberjaya banyak terjadi konversi hutan menjadi perkebunan kopi dan lahan pertanian lainnya. Pada kurun waktu tersebut terjadi penurunan luasan tutupan hutan dari 58% menjadi 15% (Ekadinata, 2001). Alih guna lahan ini mempengaruhi fungsi hidrologi DAS terutama fungsi tata air dalam ekosistem DAS.

Pengukuran fungsi hidrologi DAS di lapangan memerlukan pemahaman tentang banyak proses yang terlibat sehingga membutuhkan tenaga, waktu dan biaya yang banyak. Dengan demikian ketersediaan model hidrologi sangat diperlukan untuk membantu kita dalam mempelajari proses perubahan debit sungai akibat alih guna lahan dan neraca air pada tingkat DAS. GenRiver adalah model simulasi sederhana yang berbasis pada proses hidrologi digunakan untuk mempelajari proses perubahan debit sungai dan neraca air pada tingkat DAS Way Besai, Sumberjaya, Lampung.

METHODOLOGI

Deskripsi DAS Way Besai

Berdasarkan klasifikasi Oldeman, iklim di daerah Sumberjaya termasuk dalam zona B1 dengan 7 bulan basah ($CH > 200$ mm) dan 1 bulan kering ($CH < 100$ mm). Curah hujan rata-rata tahunan 2614 mm/tahun dengan kisaran rata-rata suhu udara harian 21.2 °C.

Curah hujan pada daerah ini memiliki intensitas yang tinggi dengan durasi hujan yang singkat dan tidak merata penyebarannya (Sinukaban *et al.*, 2000). Curah hujan tertinggi pada DAS Way Besai berdasarkan data empiris selama 23 tahun mencapai 160 mm/hari (Gambar 2 a). Musim hujan yang ditandai dengan tingginya curah hujan terjadi mulai bulan November hingga Mei. Curah hujan terendah terjadi pada periode Juni – September setiap tahunnya dengan rata – rata curah hujan mencapai 2500 mm/tahun.

Kriteria dan Indikator Kuantitatif

Fungsi Hidrologi

Kriteria dan indikator kuantitatif diperlukan dalam mempelajari fungsi hidrologi DAS. Kriteria dan indikator yang ditetapkan berdasarkan pemahaman kuantitatif hujan yang terbagi menjadi evapotranspirasi, aliran sungai dan perubahan penutupan serta pola penggunaan lahan sesuai dengan karakteristik lokal. Fluktuasi debit sungai dan curah hujan dijadikan parameter utama untuk menilai indikator penyangga (*buffering indicator*) akibat alih guna lahan. Kriteria dan indikator fungsi hidrologi DAS telah dibicarakan dengan rinci dalam Van Noordwijk *et al.* (2004), secara kuantitatif disajikan pada Tabel 1.

Deskripsi Singkat dan Proses Komponen Model GenRiver

Model Aliran Sungai Generik (GenRiver) merupakan model yang dikembangkan berdasarkan proses hidrologi (*process based model*). Simulasi model GenRiver menggunakan *Stella* sebagai *software* yang dihubungkan dengan file *microsoft excel*. Input utama dari model ini adalah curah hujan, tingkat penutupan

Tabel 1. Kriteria dan indikator kuantitatif fungsi hidrologi DAS.

Kriteria	Indikator
1. Transmisi air	<p><i>Total debit sungai per unit hujan(TWY)</i></p> $TWY = \Sigma Q / (A * \Sigma P)$ <p>Q = aliran sungai P = curah hujan A = luas DAS</p>
2. Penyangga pada puncak kejadian hujan	<p>2.1 a) <i>Buffering indicator (BI)</i> Indikator penyangga</p> $BI = (P_{abAvg} - (Q_{abAvg} / A)) / P_{abAvg}$ $= 1 - Q_{abAvg} / (A P_{abAvg})$ <p>dimana :</p> $P_{abAvg} = \Sigma \max(P - P_{mean}, 0)$ $Q_{abAvg} = \Sigma \max(Q - Q_{mean}, 0)$ <p>2.1 b) <i>Relative buffering indicator(RBI)</i> Indikator penyangga relatif terhadap total debit</p> $RBI = 1 - (Q_{abAvg} / Q_{tot}) / (P_{abAvg} / P_{tot})$ <p>2.1 c) <i>Buffering peak event (BPE)</i></p> <p>Indikator penyangga puncak kejadian hujan</p> $BPE = 1 - \text{Max}(\text{daily_}Q - Q_{mean}) / (A * \text{Max}(\text{daily_}P - P_{mean}))$ <p>2.2 Total maksimum debit terhadap rata-rata curah hujan bulanan</p> <p>2.3 a) Total aliran permukaan (<i>surface quick flow</i>) terhadap debit total b) Total aliran cepat air tanah (<i>soil quick flow</i>) terhadap debit total</p>
3. Pelepasan air secara bertahap	<p>3.1 Total minimum debit terhadap rata-rata curah hujan bulanan</p> <p>3.2 Total aliran lambat (<i>slow flow</i>) terhadap total debit</p> $\Sigma Q_{slow} / (\Sigma Q) = (\Sigma P_{infiltr} - \Sigma ES + V) / \Sigma Q \text{ with}$ <p>$P_{infiltr}$ = jumlah air yang terinfiltrasi $ES + V$ = evaporasi oleh tanah dan vegetasi</p>

Catatan :

Q (mm/day) = $\{ [Q(m^3/dt) \times 24 \text{ jam/hari} \times 3600 \text{ dt/jam}] / [A(km^2) \times 10^6 \text{ m}^2/km^2] \} \times 10^3$ (mm/m)

P_{mean} = curah hujan rata – rata P_{abAvg} = curah hujan diatas nilai rata-rata

Q_{mean} = debit rata – rata Q_{abAvg} = debit diatas nilai rata – rata

Surface quick flow = aliran permukaan pada saat kejadian hujan

Soil quick flow = aliran air dalam lapisan tanah setelah satu hari kejadian hujan = aliran cepat air tanah

Slow flow = aliran air dalam lapisan tanah setelah lebih dari satu hari kejadian hujan = aliran lambat

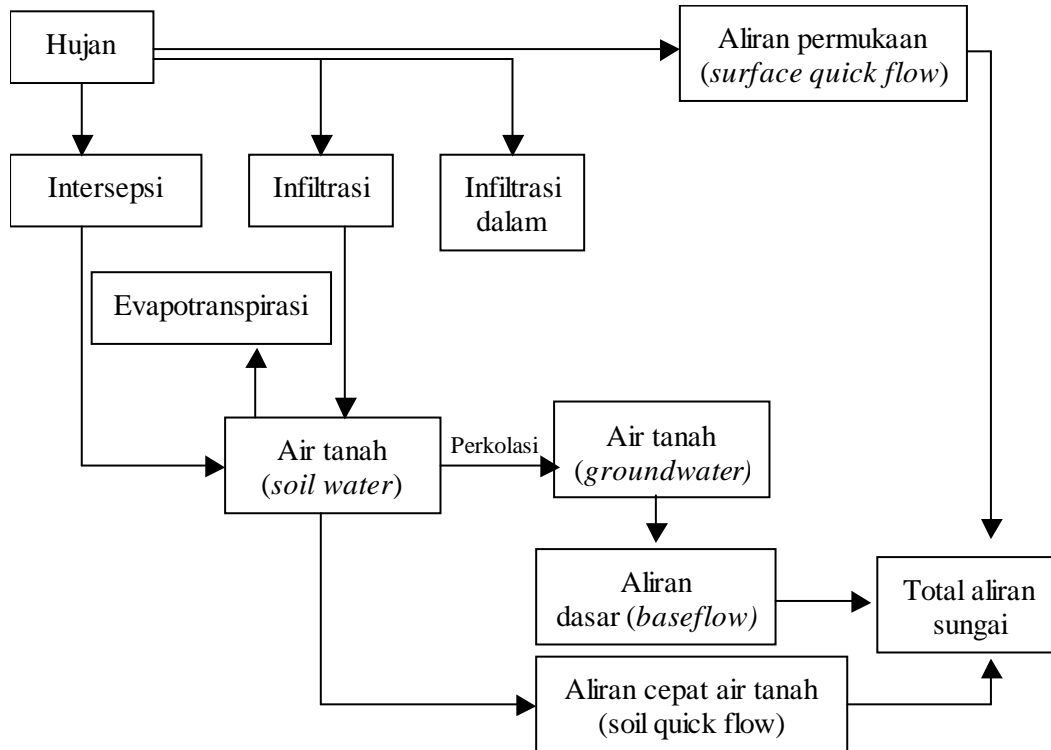
lahan dan sifat fisik tanah dengan keluaran utama berupa aliran sungai dan neraca air untuk skala DAS (Gambar 1).

Bagian utama dari GenRiver meliputi neraca air pada skala plot (*patch level water balance*) berdasarkan curah hujan dan modifikasi sifat fisik tanah dan penutupan lahan. Plot – plot ini memiliki kontribusi terhadap aliran sungai melalui aliran permukaan pada saat terjadinya hujan (*surface quick flow*), aliran air dalam tanah yang terjadi setelah hujan (*soil quick flow*) dan aliran dasar (*base flow*) yang berasal dari

pelepasan air tanah secara bertahap menuju sungai (*gradual release of groundwater*).

Komponen utama model GenRiver dan proses-proses yang terlibat sebagai berikut :

- *Curah hujan harian.* Curah hujan untuk skala sub-DAS dapat diambil dari data empiris atau menggunakan data bangkitan dari pembangkit data acak (*random generator*) yang mempertimbangkan pola temporal (seperti model rantai Markov) atau model yang mempertimbangkan korelasi ruang



Gambar 1. Diagram alur proses hidrologi pada GenRiver. Komponen utama pembentuk aliran sungai meliputi aliran permukaan (*surface flow*), air tanah (*ground water*), aliran dasar (*base flow*) dan aliran air dalam tanah yang terjadi setelah kejadian hujan (*soil quick flow*).

(*spatial correlation*) dari hujan pada waktu tertentu.

- *Intensitas hujan dan waktu untuk infiltrasi.* Intensitas hujan dihitung dari rata-rata data empiris intensitas hujan (mm/jam) dengan mempertimbangkan koefisien variasi dari kumpulan data tersebut. Lamanya hujan menentukan waktu yang tersedia untuk proses infiltrasi. Namun parameter ini dapat dimodifikasi dengan mempertimbangkan intersepsi oleh kanopi dan lamanya penetasan air dari kanopi (*dripping phase*) dengan penetapan awal (*default*) 30 menit.
- *Intersepsi.* Kapasitas penyimpanan air terintersepsi merupakan fungsi linier dari luas area daun dan ranting dari berbagai tipe penutupan lahan. Evaporasi dari air yang terintersepsi (*interception-evaporation*) mempunyai prioritas sesuai dengan kebutuhan transpirasi tanaman.
- *Infiltrasi dan aliran permukaan.* Proses infiltrasi dihitung berdasarkan nilai minimum dari : (a) kapasitas infiltrasi harian dan waktu yang tersedia untuk infiltrasi (ditentukan oleh intensitas hujan dan kapasitas penyimpanan lapisan permukaan tanah), (b) jumlah air yang dapat disimpan oleh tanah pada kondisi jenuh dan jumlah air yang dapat memasuki zona air tanah pada rentang waktu satu hari. Apabila kondisi pertama yang terjadi maka model akan menghasilkan aliran permukaan yang dibatasi oleh

infiltrasi (*infiltration limited runoff*), sedangkan pada kondisi kedua aliran permukaan yang terjadi merupakan aliran jenuh permukaan (*saturation overland flow*).

- *Evapotranspirasi.* Total evapotranspirasi yang digunakan pada model ini mengikuti evapotranspirasi potensial Penman – Monteith dengan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh: (a) air yang terintersepsi oleh kanopi, (b) kondisi tutupan lahan yang terkait dengan sensitivitas setiap jenis penutupan lahan terhadap kekeringan, (c) faktor pembobot pada evapotranspirasi potensial harian yang mengikuti fenologi dan pola tanam, (d) relatif potensial evapotranspirasi (bulanan) untuk setiap tipe penutupan lahan.
- *Redistribusi air tanah.* Selama kejadian hujan, tanah dapat mencapai kondisi jenuh air, namun sehari setelah hujan kondisi akan kembali pada kapasitas lapang (kondisi air tanah setelah 24 jam dari kejadian hujan lebat). Perbedaan antara kondisi jenuh dan kapasitas lapang dipengaruhi oleh: (a) transpirasi, (b) adanya aliran air ke zona bawah, (c) adanya aliran air ke sungai sebagai aliran cepat air tanah (*soil quick flow*) apabila air yang ada melebihi kapasitas lapang
- Pelepasan air tanah menuju sungai (melalui aliran dasar)

- Jarak (*routing distance*). Jarak titik pengamatan atau *outlet* DAS ditentukan dari titik pusat masing–masing sub-DAS. Waktu tempuh (*routing time*) dari masing–masing sub-DAS dapat diturunkan dari data jarak dan asumsi rata-rata kecepatan aliran air.

Keluaran dari model ini berupa debit sungai harian dan kumulatif neraca air tahunan. Pengolahan lebih lanjut dari output model ini dapat digunakan sebagai indikator dalam mempelajari fungsi DAS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis debit sungai Way Besai, 1975-1998

Peningkatan debit sungai Way Besai terjadi pada musim hujan dengan maksimum $110 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$. Penurunan debit sungai pada musim kemarau terjadi hingga mencapai $5 - 20 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$. Perbandingan debit rata – rata selama 23 tahun antar musim berkisar antara $35 - 10 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$ (Gambar 2 b).

Hubungan antara curah hujan dan distribusi debit sungai dibagi atas tiga periode waktu yaitu pertama (1975 – 1981), kedua (1982 – 1988), ketiga (1990 – 1998) (Gambar 3). Antara periode pertama dan kedua pada rentang curah hujan $0 - 80 \text{ mm/hari}$ tidak terdapat perbedaan yang besar pada debit sungai. Pada tingkat curah hujan $>80 \text{ mm/hari}$ terjadi peningkatan debit sungai yang lebih tinggi pada periode kedua apabila dibandingkan dengan rentang tingkat curah yang sama pada periode pertama. Pada periode ketiga ada kecenderungan peningkatan debit yang lebih besar jika dibandingkan dengan dua periode lainnya. Peningkatan ini berhubungan dengan peningkatan aliran permukaan akibat perubahan struktur tanah setelah terjadinya alih guna lahan pada akhir dekade 80-an.

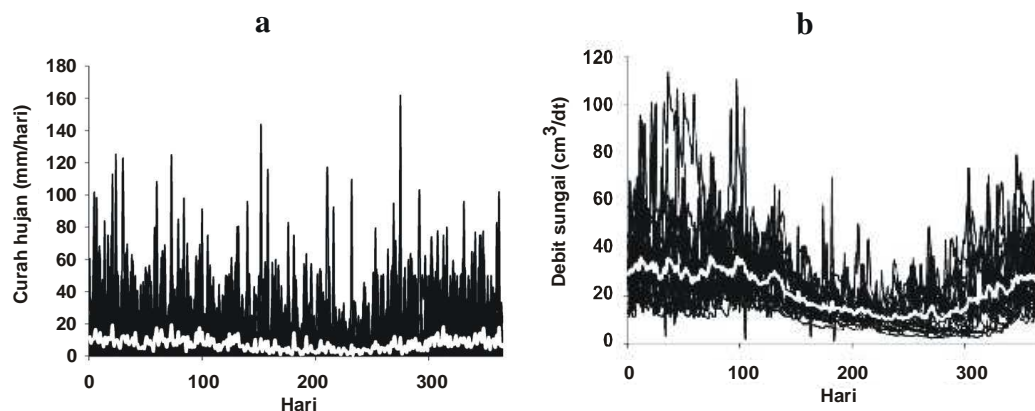
Secara umum peningkatan debit sungai seiring dengan peningkatan curah hujan. Peningkatan debit sungai tertinggi terjadi pada rentang curah hujan $0 - 80 \text{ mm/hari}$. Laju peningkatan debit di atas rentang tersebut relatif kecil terhadap peningkatan curah hujan. Kondisi ini digambarkan sebagai fungsi penyangga (*buffering*) terhadap kenaikan debit sungai.

Analisis lain yang dilakukan dengan menggunakan data empiris curah hujan dan debit sungai Way Besai adalah aplikasi perhitungan kuantitatif dari beberapa indikator seperti tercantum pada Tabel 1. Hasil aplikasi perhitungan kuantitatif dari beberapa indikator fungsi hidrologi DAS disajikan pada Gambar 4. Indikator penyangga (*buffering indicator*) cenderung berkorelasi negatif dengan total debit sungai sehingga peningkatan debit akan menurunkan kapasitas menyangga dari sungai. Indikator penyangga menunjukkan tingkat penurunan yang relatif rendah pada kondisi puncak kejadian hujan (*buffering peak events*). Peningkatan total debit tidak selalu diikuti dengan peningkatan debit terendah (bulanan) akibat adanya variabilitas hujan antar tahun (*inter-annual*).

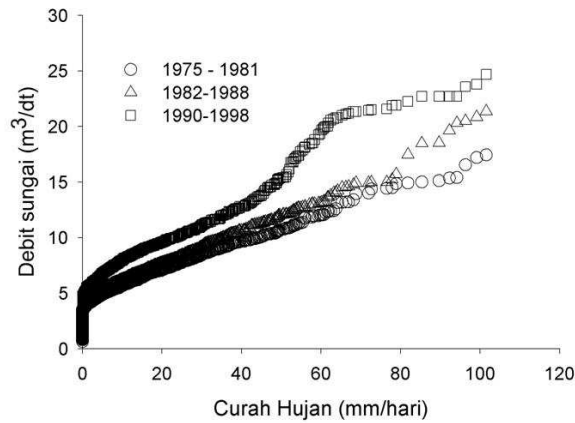
Simulasi GenRiver - Neraca air tahunan DAS Way Besai

Salah satu hasil simulasi GenRiver adalah neraca air tahunan (Gambar 5). Pada neraca air ini, kumulatif debit sungai merupakan penjumlahan aliran dasar (*baseflow*), aliran permukaan (*surface quick flow*) dan aliran cepat air tanah (*soil quick flow*). Selain itu, kumulatif debit sungai juga merupakan pengurangan antara kumulatif hujan dan evapotranspirasi. Besarnya evapotranspirasi, debit sungai dan curah hujan berfluktuasi sepanjang tahun dan digambarkan sebagai perubahan simpanan air pada DAS (*delta catchment storage*).

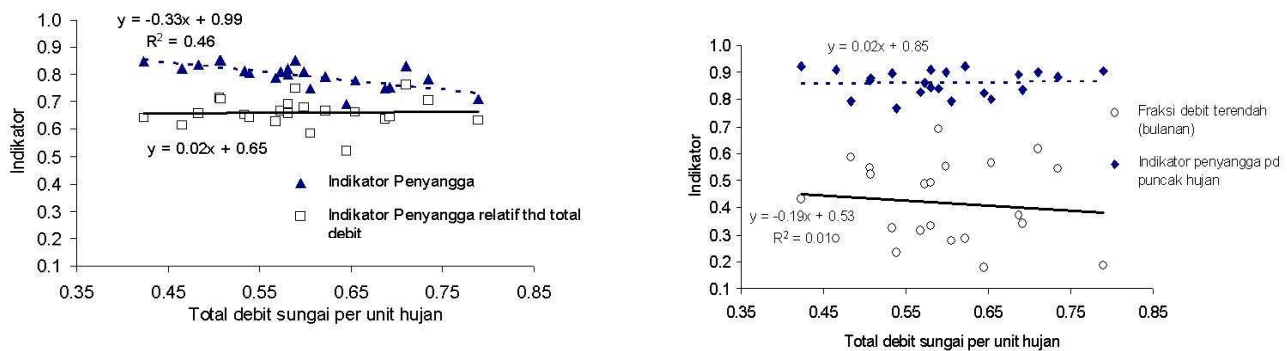
Curah hujan kumulatif mencapai 2500 mm/tahun dengan jumlah evapotranspirasi 1250 mm/tahun . Kumulatif aliran dasar (*base flow*) memberikan kontribusi terbesar pada debit sungai (40%) dengan jumlah aliran cepat air tanah (*soil quick flow*) dan aliran permukaan (*surface quick flow*) yang relatif stabil sepanjang tahun. Perubahan parameter neraca air tahunan pada DAS Way Besai lebih terkait dengan adanya perubahan pada kondisi tanah dibandingkan jumlah air yang digunakan oleh vegetasi pada berbagai tipe penggunaan lahan.



Gambar 2. Curah hujan (a) dan debit sungai (b) Way Besai 1975 -1998. Rata – rata curah hujan dan debit harian sebesar 7 mm dan $22 \text{ m}^3/\text{detik}$ (garis putih pada grafik).



Gambar 3. Hubungan antara curah hujan dengan distribusi debit sungai dalam tiga periode pengukuran 1975 – 1998. Curah hujan dan debit harian telah dipilah berdasarkan kesamaan *exceedance probability* (peluang kejadian suatu nilai melebihi suatu nilai tertentu).



Gambar 4. Hubungan indikator kuantitatif fungsi hidrologi DAS relatif terhadap total debit sungai per unit hujan menggunakan data empiris DAS Way Besai, Lampung.



Gambar 5. Neraca air kumulatif DAS Way Besai hasil simulasi GenRiver dalam periode satu tahun.

Simulasi GenRiver – Kriteria dan Indikator Fungsi Hidrologi DAS

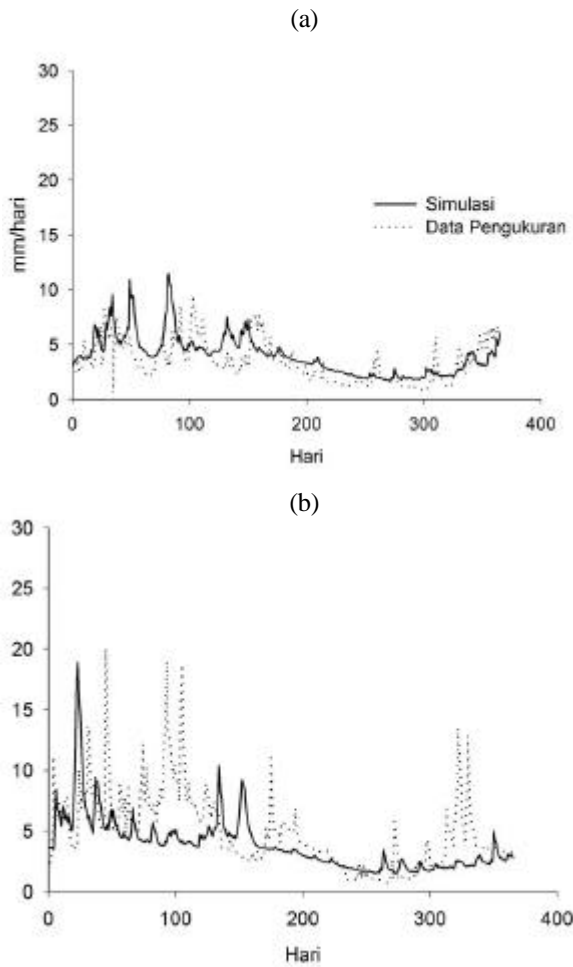
Untuk mempelajari hubungan curah hujan, debit sungai dan alih guna lahan dilakukan simulasi model GenRiver menggunakan data-data daerah Sumberjaya. Untuk itu dilakukan simulasi model dengan komposisi 58% hutan pada awal simulasi dengan penurunan hingga 14% pada akhir simulasi (Ekadinata,2001) dalam

periode 20 tahun. Peningkatan luasan kebun kopi dari 12% hingga 70% dengan penurunan luas areal pertanian (tidak termasuk kopi) dari 22% hingga 11%.

Perbandingan debit dari data empiris (data pengukuran) dengan hasil simulasi model GenRiver untuk tahun ke -3 dan 20 disajikan pada Gambar 6. Tahun ke - 3 mewakili kondisi awal simulasi (58% areal hutan) dan tahun ke -20 mewakili kondisi akhir simulasi dengan 14% areal hutan.

Perbandingan hasil simulasi dengan data pengukuran tidak dapat dilakukan dengan melihat kedekatan setiap titik hasil simulasi dengan data pengukuran. Hasil tersebut secara umum berarti simulasi model dapat menghasilkan pola debit yang sama dengan data pengukuran walaupun masih belum bisa mendekati beberapa titik puncak dan aliran dasar.

Debit sungai pada tahun ke-20 relatif lebih tinggi dibandingkan debit pada tahun ke-3 (Gambar 6). Peningkatan puncak debit pada tahun ke-20 mencapai dua kali lebih tinggi daripada tahun ke-3.



Gambar 6. Hasil simulasi GenRiver pada tahun ke 3 (a) dan ke 20 (b). Kesesuaian antara hasil simulasi dengan data pengukuran dilihat dari kesamaan pola debit hasil simulasi dengan data pengukuran.

Hal ini berkaitan dengan penurunan luasan hutan pada tahun ke-20 yang menyebabkan berkurangnya intersepsi tajuk oleh pohon sehingga meningkatkan aliran permukaan. Selain itu penurunan jumlah evapotranspirasi dan laju infiltrasi akibat rusaknya struktur tanah pada lahan bekas hutan menyebabkan peningkatan jumlah air yang masuk ke dalam sungai.

Simulasi alih guna lahan dengan beberapa skenario dilakukan untuk mempelajari hubungan antara alih guna lahan terhadap perubahan aliran (debit) sungai. Total curah hujan dan nilai parameter masukan model ini ditetapkan sama untuk setiap skenario simulasi. Ada 3 skenario alih guna lahan yang disimulasikan yaitu :

Skenario 1. Seluruhnya hutan, artinya seluruh DAS tertutup oleh hutan (*all forest*)

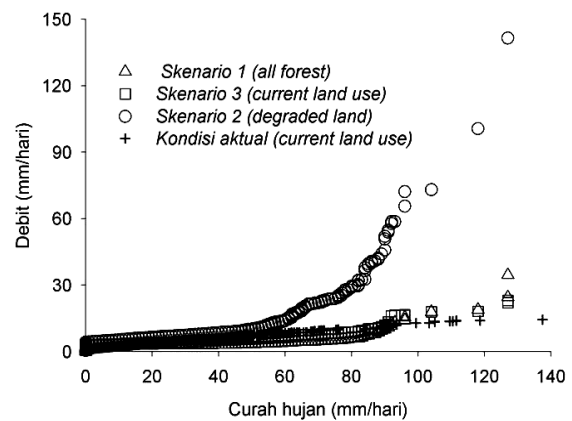
Skenario 2. Lahan terdegradasi, seluruh DAS berupa lahan terdegradasi atau padang alang-alang (*degraded lands/grassland*)

Skenario 3. Kondisi saat ini, adalah kondisi penutupan lahan di Sumberjaya saat ini (*current land use*) dengan komposisi sebagai berikut:

No	Kelas Penutupan Lahan	Tingkat penutupan lahan (%)
1	Hutan	13
2	Semak belukar	1
3	Padang rumput	9
4	Pemukiman	2
5	Lahan kosong	1
6	Kopi monokultur	18
7	Kopi multistrata	35
8	Kopi muda	18

Sumber : Ekadinata, 2001

Hasil simulasi dari ketiga skenario ini disajikan pada Gambar 7. Sebagai pembandingan (kontrol) disajikan juga data pengukuran dengan kondisi penutupan lahan sama dengan skenario 3 (*current land use*). Tingkat debit terendah dihasilkan dari skenario 1 (*all forest*) dan debit tertinggi dari hasil skenario 2 (*degraded lands/grassland*). Debit maksimum yang dihasilkan pada skenario 1 mencapai 20 mm/hari sedangkan pada skenario 3 bisa mencapai 200 mm/hari. Pada skenario 3 (*current land use*) didapatkan hasil yang mendekati hasil simulasi skenario 1 (*all forest*).



Gambar 7. Perbandingan debit sungai hasil simulasi debit dengan beberapa skenario alih guna lahan dengan data hasil pengukuran. Total curah hujan dan parameter masukan model ditetapkan sama untuk setiap skenario simulasi.

Perbandingan indikator fungsi hidrologi DAS pada beberapa skenario simulasi alih guna lahan disajikan pada Tabel 2. Skenario 1 (*all forest*) menghasilkan total debit sungai terendah (44%) diantara skenario lainnya, sedangkan skenario 2 (*degraded lands/grassland*) dan 3 (*current land use*) menghasilkan

62% dan 53%. Bila hasil simulasi ini dibandingkan dengan hasil pengukuran, ternyata hasil simulasi debit sungai sekitar 14 % lebih tinggi dari pada hasil pengukuran. Hal ini berkaitan dengan nilai evapotranspirasi pada GenRiver yang masih memerlukan parameterisasi lebih lanjut.

Hasil indikator penyangga (*buffering indikator*) tertinggi diperoleh dari simulasi skenario 3 (*current land use*) diikuti oleh skenario 1 (*all forest*) dan 2 (*degraded lands/grassland*). Nilai indikator penyangga dengan kondisi penutupan lahan saat ini

(Tabel 2) masih cukup tinggi dan mendekati nilai indikator penyangga dengan skenario 1 (*all forest*).

Perbandingan indikator – indikator yang dihasilkan dari hasil simulasi model untuk kondisi *current land use* secara umum dapat diterima tingkat kesesuaiannya dengan pengolahan indikator menggunakan data pengukuran. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan model GenRiver dengan parameterisasi model yang menggunakan data dan kondisi lokal dapat dipakai untuk mempelajari fungsi hidrologi DAS dengan berbagai skenario alih guna lahan.

Tabel 2. Beberapa indikator fungsi hidrologi DAS Way Besai dengan beberapa skenario alih guna lahan.

Indikator	Simulasi GenRiver			Data Pengukuran (<i>current LU</i>)
	Skenario 1 (<i>all forest</i>)	Skenario 2 (<i>degraded land</i>)	Skenario 3 (<i>current LU</i>)	
Total debit sungai per unit hujan	0.44	0.62	0.53	0.61
Indikator penyangga (<i>buffering indikator</i>)	0.80	0.68	0.82	0.79
Indikator penyangga relatif terhadap total debit	0.55	0.49	0.66	0.66
Indikator penyangga pada puncak kejadian hujan	0.76	0.78	0.81	0.86
Total debit maksimum terhadap rata-rata curah hujan bulanan	1.65	1.58	2.19	1.92
Total debit minimum terhadap rata-rata curah hujan bulanan	0.50	0.46	0.54	0.39
Total aliran permukaan terhadap debit total	0.00	0.36	0.11	*
Total aliran cepat air tanah terhadap debit total	0.02	0.00	0.10	*
Total aliran lambat terhadap debit total	0.29	0.25	0.30	*

KESIMPULAN

1. Hubungan antara curah hujan dan debit sungai pada DAS Way Besai selama 23 tahun (tahun 1975 - 1998) pengamatan menunjukkan adanya peningkatan debit pada periode 1990 – 1998. Peningkatan ini berkaitan dengan pengurangan luasan hutan dari 60% menjadi 12% dari tahun 1970-an sampai 2000.
2. Pengolahan data empiris debit menunjukkan perubahan indikator penyangga (*buffering indikator*). Perubahan ini memiliki kecenderungan menurunnya indikator penyangga dengan meningkatnya total debit sungai.
3. Model GenRiver dapat digunakan untuk mempelajari fungsi hidrologi DAS dan hubungannya dengan alih guna lahan. Beberapa hasil utama dari simulasi GenRiver:
 - Aliran dasar (*base flow*) memberikan kontribusi terbesar (40%) pada debit sungai

dengan jumlah aliran cepat air tanah (*soil quick flow*) dan aliran permukaan (*surface quick flow*) yang relatif stabil sepanjang tahun.

- Debit sungai hasil simulasi mendekati pola debit hasil pengukuran, walaupun titik puncak dan aliran dasar yang diperoleh masih perlu parameterisasi lebih lanjut.
 - Skenario seluruh DAS tertutup hutan menghasilkan jumlah debit sungai paling kecil dibandingkan skenario kondisi terdegradasi dan skenario kondisi saat ini. Indikator fungsi hidrologi menunjukkan peningkatan hasil air sungai dan peningkatan resiko banjir karena alih fungsi hutan..
4. Perubahan kondisi tanah sesudah alih fungsi hutan adalah penyebab utama terjadinya perubahan fungsi DAS. Sistem agroforestri berbasis kopi dapat mengembalikan kelestarian fungsi hidrologi DAS.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih atas saran dan kritik yang diberikan oleh Prof. Dr. S.M. Sitompul, Prof. Dr. Kurniatun Hairiah dan editor tamu pada edisi khusus ini Dr. Fahmuddin Agus.

DAFTAR PUSTAKA

- Agus, F.; Gintings, A.N. dan M. Van Noordwijk. 2002. Pilihan Teknologi Agroforestri/Konservasi Tanah Untuk Areal Pertanian Berbasis Kopi di Sumberjaya, Lampung Barat. International Center for Research in Agroforestry (ICRAF). Bogor, Indonesia. 60 p.
- Ekadinata, A. 2001. Deteksi Perubahan Lahan dengan Citra Satelit Multisensor di Sumberjaya, Lampung. Skripsi S1. Institut Pertanian Bogor. Bogor, Indonesia.
- Hairiah, K.; Suprayogo, D.; Widiyanto; Berlian; Suhara, E.; Mardiasuning, A.; Widodo, H. R.; Prayogo, C. dan S. Rahayu. 2004. Alih Guna Lahan Hutan Menjadi Lahan Agroforestri Berbasis Kopi: ketebalan seresah, populasi cacing tanah dan makroporositas tanah. *Agrivita* 26 (1):75-88.
- Sinukaban, N. 2000. Analysis of Watershed Function Sediment Transfer Across Various Type of Filter Strips. South East Asia Policy Research Working Paper No 7. World Agroforestry Centre (ICRAF-SEA), Bogor, Indonesia
- Van Noordwijk, M.; Farida, A.; Verbist, B. dan T. Tomich. 2003. Agroforestry and Watershed Functions of Tropical Land Use Mosaics. In Proceeding 2nd Asia Pacific Training Workshop on Ecohydrology. Cibinong, July 21-26 July, 2003.
- Van Noordwijk, M.; Richey, J. dan D. Thomas. 2003. Landscape and (Sub) Catchment Scale Modeling of Effect of Forest Conversion on Watershed Functions and Biodiversity in SouthEast Asia. Functional Value of Biodiversity – Phase II Report. ICRAF, Bogor.