

ANALISIS PENGARUH KONVERSI HUTAN TERHADAP LARIAN PERMUKAAN DAN DEBIT SUNGAI BULILI, KABUPATEN SIGI

Oleh :
Sance Lipu¹⁾

ABSTRAK

Tidak dapat dipungkiri bahwa kebutuhan lahan untuk bidang pertanian dan perkebunan semakin mendesak seiring bertambahnya penduduk suatu wilayah dan juga akibat migrasi dari wilayah lain. Konsekuensinya adalah perambahan dan konversi hutan yang tidak dapat dielakkan, termasuk di daerah studi.

Konversi hutan berakibat langsung dan tidak langsung pada perilaku hidrologis suatu kawasan atau Daerah Aliran Sungai (DAS) seperti menurunnya kemampuan air hujan terinfiltrasi ke dalam tanah akibat pemadatan tanah secara sistemik yang secara simultan meningkatkan larian permukaan (surface runoff) dan meningkatkan risiko banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis dan mendapatkan besaran dan rasio limpasan langsung dan debit aliran sungai saat banjir dan saat air normal dengan membandingkan sub-DAS yang masih tertutup hutan asli dengan sub-DAS yang sudah beralih fungsi menjadi lahan terbuka dan pertanian/perkebunan.

Dari hasil analisis dan simulasi data dapat disimpulkan bahwa konversi hutan berakibat pada meningkatnya volume larian permukaan dan debit aliran di Sungai Bulili sebesar 219.8 mm; dengan membandingkan total limpasan pada tahun 2002 dan 2004 pada bendung 2 (sub-DAS terkonversi) dan bendung 3 (sub-DAS hutan asli), walaupun curah hujan tercatat lebih kecil pada tahun 2002 dibandingkan dengan tahun 2004. Disamping itu, analisis terhadap beberapa kejadian banjir di daerah studi menunjukkan pola hidrograf dengan kenaikan debit yang tajam dan besar (koefisien kepencengan rerata 6.0) dengan waktu tiba banjir menjadi lebih pendek di sub-DAS terkonversi dengan waktu tiba banjir berkisar 25 – 30 menit pada bendung 1 dan berkisar 40 – 55 menit pada bendung 2. Rasio debit antara bendung 2 dan bendung 1 pada tahun 2002 adalah 2.33 meningkat menjadi 4.57 pada tahun 2004 dengan rasio banjir maksimum tercatat tahun 2002 sebesar 1.41 dan meningkat tahun 2004 sebesar 3.13.

Kata kunci: Debit, hidrograf, konversi hutan, larian permukaan, rasio

I. PENDAHULUAN

Indonesia adalah salah satu negara yang memiliki hutan hujan tropis terbesar ketiga di dunia setelah Brazil dan Republik Demokratik Kongo. Akan tetapi saat ini laju pembukaan hutan tropis di Indonesia selama 6 tahun (data tahun 2000-2005) adalah yang terbesar diantara negara-negara lain di dunia, dengan tingkat pembukaan hutan setara dengan 300 luas lapangan sepak bola tiap jam (<http://www.indonesiamatters.com/1252/rajinforest-deforestation/>). Penyebabnya terutama karena kebutuhan lahan untuk pertanian/perkebunan beragam skala dan juga untuk lahan permukiman.

Konversi hutan dapat mempengaruhi proses hidrologis khususnya di sungai sebagai system drainase alami. Dampak buruk dari konversi hutan terhadap respon hidrologis dan keseimbangan air penting untuk dipahami khususnya di DAS dengan topografi berbukit seperti di daerah studi.

¹⁾ Staf Pengajar pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako Palu.

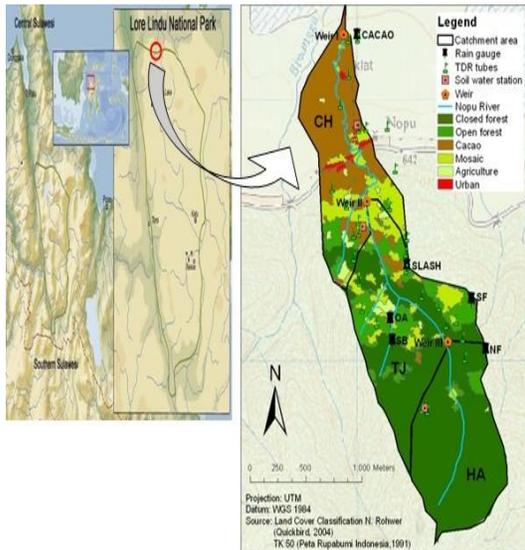
Beberapa isu sehubungan dengan dampak negatif tersebut adalah menurunnya kualitas air sungai yang dimanfaatkan masyarakat setempat sebagai sumber air bersih akibat erosi dan sedimentasi dan fluktuasi debit yang semakin besar (Bruinjeel, 1990). Selain itu, kandungan unsur hara di dalam tanah akan menurun akibat terkikis dan larut bersama larian permukaan air selama proses erosi permukaan berlangsung.

Khusus di daerah studi, pembukaan lahan dalam bentuk konversi hutan tropis sudah berlangsung sejak akhir tahun 1990-an. Konversi dilakukan oleh masyarakat setempat yang membutuhkan lahan untuk perluasan areal perkebunan kakao atau untuk tujuan kepemilikan baru, karena lahan yang lama sudah dijual ke pembeli yang umumnya berasal dari daerah lain seperti dari Sulawesi Selatan. Dengan meningkatnya harga biji kakao, keinginan untuk melakukan ekstensifikasi lahan perkebunan juga meningkat dan mendorong penduduk untuk membuka lahan baru, terutama di batas areal Taman Nasional Lore Lindu.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Daerah Studi

DAS Bulili (dulunya disebut Nopu), terletak tepat di batas Taman Nasional Lore Lindu (TNLL) di Desa Bulili, Kecamatan Palolo Kabupaten Sigi. Luas DAS Bulili adalah 2.35 km² dengan posisi geografi 1° 11' LS dan 120° 05' BT kondisi topografi yang bervariasi mulai dari berbukit di daerah hulu (900 – 1420 m d.p.l.), landai hingga berbukit di daerah tengah (750 – 900 m d.p.l.) hingga landai di hilir (600 – 750 m d.p.l.), menjadikan DAS Bulili memenuhi kriteria bagi penelitian hidrologis di daerah tropis. Curah hujan tahunan mencapai 2500 mm terdistribusi hampir merata sepanjang tahun kecuali pada bulan Agustus sampai Nopember curah hujan sedikit lebih rendah dari bulan-bulan lainnya. Temperatur rerata antara 24 dan 26°C dengan kelembaban yang tinggi. Klasifikasi menurut Köppen menyatakan bahwa lokasi study termasuk daerah hutan hujan tropis (Chang dan Lau, 1993).



Gambar 1. Lokasi Studi
Sumber Peta: Rohwer, 2004

2.2. Metode Penelitian

Untuk memudahkan dalam penelitian dan pengambilan data terutama untuk membandingkan karakteristik hidrologis sub-DAS hutan asli dengan sub-DAS lahan konversi, dilakukan deliniasi DAS Bulili

menjadi tiga sub-DAS. Sub-DAS hulu adalah sub-DAS dengan vegetasi berupa hutan asli, sub-DAS tengah adalah sub-DAS terkonversi dan sub-DAS hilir merupakan sub-DAS campuran kebun kakao, vanili dan permukiman penduduk. Akan tetapi dalam studi ini hanya sub-DAS hutan asli (sub-DAS 1) dan sub-DAS terkonversi (sub-DAS 2) yang datanya digunakan dalam analisis dan perbandingan untuk memahami pengaruh konversi hutan terhadap aspek hidrologis larian permukaan dan debit Sungai Bulili. Di hilir (*outlet*) ketiga sub-DAS tersebut dibangun bendung (bendung 1, 2 dan 3) dengan profil komposit (segi empat, segi empat dan trapesium) yang ditempatkan peralatan hidrometri (SEBA hydrometrie GmbH Kaufbeuren, Jerman) guna mengamati dinamika permukaan air dan tingkat kekeruhan serta faktor-faktor lain yang perlu dengan interval waktu tiap 10 menit dan telah beroperasi sejak September 2001.

Untuk perhitungan curah hujan beserta input meteorologi, terdapat 4 buah penakar hujan otomatis (*tilting bucket type*) dan 1 stasiun pengamat cuaca (*automatic weather station*, Theodor Friedrichs GmbH Jerman) yang juga dipasang di DAS Nopu, dengan interval data tiap 10 menit.

Tabel 1. Luas dan Karakter Fisik DAS Bulili

Parameter	Total DAS	Sub-DAS 1	Sub-DAS 2	Sub-DAS 3
Luas (ha)	245	82	116	47
Posisi geografis	51 M 0175405	51 M 0175405	51 M 0175405	51 M 0175405
outlet (bendung)	UTM 9869412	UTM 9867344	UTM 9868365	UTM 9869412
Elevasi (m dpl)	600 – 1420	900 – 1420	750 – 900	600 – 750
Tata guna lahan dominan	hutan asli, cacao, tanaman tahunan	hutan asli	lahan terbuka, tanaman tahunan, hutan sekunder, semak belukar	cacao, vanili, semak belukar dan permukiman

Sumber: Kleinhans dkk, 2003

Perhitungan volume limpasan digunakan metoda SCS dengan memperhitungkan besaran curah hujan netto per unit area setelah dikurangi dengan elemen-elemen lainnya (evaporasi, infiltrasi dan transpirasi) pada tiap-tiap sub-DAS, kemudian dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Kleinhans, 2003):

$$Q_{bendung} * A_{bendung} = Q_{zonall} * A_{zonall} + Q_{bendung} * A_{bendung} \quad (1)$$

Untuk perhitungan debit pada masing-masing bendung dilakukan dengan menggunakan persamaan konservasi massa:

$$Q_{total} = Q_{profil1} + Q_{profil2} + Q_{profil3} \quad (2)$$

dimana untuk perhitungan debit pada profil 1 dilakukan dengan menggunakan persamaan modifikasi Rehbock:

$$Q_{Rehbock} = 2,95.b \left[0,578 + 0,037 \left(\frac{b}{B} \right)^2 + \frac{3,615 - 3 \left(\frac{b}{B} \right)^2}{1000.h + 1,6} \right] \left[1 + 0,5 \left(\frac{b}{B} \right)^4 \cdot \left(\frac{h}{H} \right)^2 \right] . h \quad (3)$$

dengan h = tinggi muka air (m) dihitung dari puncak bendung ke permukaan air pada jarak min. 1.5 h, H = tinggi total muka air dihitung dari dasar bendung (m), B adalah lebar keseluruhan profil bendung (m), b = lebar net profil bendung (m).

Sedangkan untuk profil ke-2 dapat digunakan persamaan berikut ini (Wendehorst, 1991):

$$Q_{profil2} = \left[\frac{1,782 + 0,24.h_{profil2}}{W} \right] . b . h_{profil2}^{1,5} \quad (4)$$

dengan h adalah tinggi muka air pada profil 2 (m), b adalah lebar profil ke dua (m), dan W adalah tinggi ambang ke-2 dari dasar bendung (m), dan profil rectangular dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$Q_{profil2} = \frac{2}{3} . 0,51 . \sqrt{2.g} . h_{trapez}^{1,5} \left(B + 4.m \frac{h}{5} \right) ; m=0,5(m1+m2) \quad (5)$$

dengan g = percepatan gravitasi (9.8 m/det²), h = tinggi permukaan air pada bidang trapesium (m), dan m = sisi datar trapesium (m).

Untuk menghitung rasio perbandingan besaran limpasan dan debit pada masing-masing sub-DAS, digunakan persamaan berikut:

$$R_Q = \frac{Q_{tot} - Q_1}{Q_1} = \frac{Q_2}{Q_1} \quad (6)$$

dimana Q_{tot} adalah debit total yang terekam di bendung 2 (m³/detik), Q₁ adalah debit dari sub-DAS 1 (m³/detik) dan Q₂ adalah debit dari sub-DAS 2 (m³/detik), dan R_Q adalah rasio perbandingan (tak berdimensi). Adalah penting untuk mengurangi nilai total debit pada bendung 2 dengan debit di bendung 1 untuk mendapatkan debit bersih yang datang dari sub-DAS 2.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Validasi Data

Dari hasil uji statistik, data debit dari hasil perhitungan tinggi muka air (m), menunjukkan nilai kesalahan standar lebih kecil dari 0.05 (p < 0.05) dari tahun 2002 hingga 2005. Hal ini menunjukkan bahwa dataset yang tersedia sudah memenuhi syarat konsistensi untuk analisis lanjutan. Disamping itu, analisis terhadap data debit secara keseluruhan dan juga pada beberapa contoh kejadian banjir menunjukkan koefisien kepercengaan semuanya positif dengan nilai rerata untuk total data debit pada bendung 1 dan 2 adalah 6. Hal ini mengindikasikan karakteristik hidrograf DAS dengan sistem drainase alamiah yang sederhana (2 orde) berdasarkan klasifikasi Horton (Viessman dkk,2003) dan dengan topografi agak curam hingga curam baik sub-DAS hutan asli maupun sub-DAS terkonversi (Grabow dkk,1998).

Debit, khususnya pada saat banjir memperlihatkan fungsi yang berarti oleh intensitas dan lamanya curah hujan, kondisi vegetasi dan lahan penutup serta kemiringan lereng. Waktu tiba banjir berbeda antara sub-DAS 1 dan sub-DAS 2. Hal ini disebabkan oleh perbedaan luas sub-DAS yang bersangkutan. Umumnya, waktu tiba banjir pada sub-DAS 1 adalah 25 – 30 menit sementara pada sub-DAS 2 berkisar 40 – 55 menit, dimana rambatan puncak banjir dari bendung 1 ke bendung 2 hanya berkisar 15 hingga 25 menit.

Pada kasus curah hujan yang tidak merata turun di DAS, lokasi turunnya hujan ditinjau dari outlet akan ikut berpengaruh pada pembentukan hidrograf banjir di daerah studi. Hujan dengan intensitas tinggi namun dengan durasi singkat memberikan hidrograf

dengan puncak banjir yang lebih cepat (kemiringan besar pada sisi naik kurva) dan turun secara perlahan hingga kembali ke aliran dasar. Akan tetapi pada saat distribusi hujan merata dengan intensitas rendah – sedang namun dengan durasi yang agak lama, maka hidrograf yang terjadi akan sedikit lebih landai pada sisi naik dengan puncak yang lebih lama dan sisi turun yang juga lebih lama. Untuk jelasnya dapat dilihat pada lampiran gambar 1 dan 2.

Tabel 2. Data Statistik Debit di Bendung 1 dan 2 [m³/det]

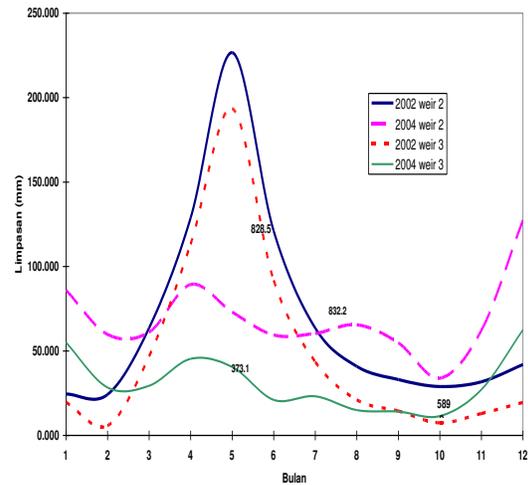
Q (m ³ /det)	Tahun							
	2002		2003		2004		2005	
	Bend. 1	Bend. 2						
Total	784.975	2515.78	22.3305	2293.33	482.618	1484.2	1263	2150.9
Minimum	0.00013	0.00129	0.00067	0.01254	0.00151	0.01868	0.0030	0.01739
Maksimum	1.921	4.639	dt	2.897	0.440	1.821	1.240	3.263
Retata	0.01657	0.05496	0.0034	0.04364	0.00916	0.04821	0.03061	0.0614
Median	0.00068	0.0308	0.00248	0.03553	0.00642	0.04391	0.0196	0.04742
Standard error	0.00015	0.00037	4.3E-05	0.00024	4.8E-05	0.00016	0.00016	0.00028
Varians	0.00101	0.00643	1.2E-05	0.00308	0.00012	0.00083	0.00103	0.00281
Deviasi rerata	0.01672	0.04105	0.00174	0.03277	0.00517	0.01602	0.02067	0.03093
Standar deviasi	0.03186	0.08017	0.00346	0.05552	0.01108	0.02873	0.03216	0.05305
Koefisien variansi	1.92237	1.45883	1.01852	1.27229	1.20976	0.59597	1.05041	0.86409
Kepencengan (Skew.)	4.823	5.357	6.189	5.113	11.47	6.159	3.827	5.712

Catatan: dt = data tidak tersedia

Sumber: Hasil analisis, 2007

3.2. Larian Permukaan

Total larian permukaan tahun 2002 dan 2004 yang dianalisis memperlihatkan perbedaan yang berarti antara sub-DAS 1 dan sub-DAS 2. Pada tahun 2002, perbedaan jumlah larian permukaan antara kedua sub-DAS adalah sebesar 239.3 mm, akan tetapi pada tahun 2004 jumlah ini meningkat menjadi 459.1 mm. Sehingga terjadi kenaikan perbandingan larian permukaan sebesar 219.8 mm antara tahun 2004 terhadap tahun 2002 sebagai akibat konversi hutan di sub-DAS 2, meskipun curah hujan tahun 2004 (tercatat sebesar 2297 mm) lebih kecil dibandingkan curah hujan tahun 2002 (sebesar 2460 mm). Hal ini mengindikasikan pengaruh dari konversi hutan menjadi lahan terbuka dan peruntukan lain, mengakibatkan pemadatan tanah secara sistemik yang mengurangi kapasitas infiltrasi tanah yang sekaligus hilangnya fungsi penahan larian air di permukaan yang biasanya dilakukan oleh kanopi, akar dan serasah dari pohon yang tumbuh di DAS tersebut. Gambar 2 memperlihatkan perbandingan tahunan total larian permukaan pada pencatatan tinggi muka air di bendung 1 dan 2, tahun 2002 dan 2004.



Gambar 2. Perbandingan total limpasan permukaan (dalam mm) pada bendung 1 dan 2, tahun 2002 dan 2004.

Sumber: Hasil perhitungan dan analisis, 2010

3.3. Karakteristik Banjir

Seperti telah dijelaskan, dengan system orde sungai sederhana (2 orde), dengan kondisi topografi yang agak hingga curam mulai dari bendung 2 ke arah hulu dan terpenting adalah konversi hutan yang terjadi pada sub-DAS 2 selama periode studi, membuat respon banjir menjadi lebih besar dan cepat dari biasanya. Contohnya pada tahun 2002, nilai absolut banjir terjadi pada tanggal 20 Maret pukul 17:50 yang disebabkan oleh curah hujan 65 mm selama 1.5 jam dengan puncak hujan 13 mm selama 10 menit adalah 4.64 m³/detik, sementara pada bendung 1 debit puncak adalah 1.921 m³/detik yang terjadi pukul 17:30. Dengan membandingkan nilai pada bendung 2 terhadap bendung 1 didapat rasio sebesar 1.41 kali. Namun pada tahun 2004, rasio perbandingan tersebut naik menjadi 3.13 kali, sebagai akibat dari pembukaan dan konversi hutan di sub-DAS 2. Tabel 3 memperlihatkan nilai-nilai debit banjir absolut pada bendung 2 dan 1 tahun 2002 hingga 2004.

Tabel 3. Perbandingan nilai maksimum Q pada bendung 2 dan 1 tahun 2002 hingga tahun 2004

Tahun	Bendung 2			Bendung 1		Rasio [R ₀]
	h (m)	Q _{tot} (m ³ /det)	Q ₂ (m ³ /det)	h (m)	Q ₁ (m ³ /det)	
2002	0.819	4.639	2.718	0.561	1.921	1.41
2003	0.683	2.897	2.105	0.44 ^{b)}	0.792	2.66
2004	0.529	1.821	1.380	0.384	0.441	3.13

Sumber: Hasil analisis, 2010

Tabel 4. Perbandingan nilai rerata Q pada bendung 2 dan 1 tahun 2002 hingga tahun 2004

Tahun	Bendung 2			Bendung 1		Rasio [R ₀]
	h (m)	Q ₀₂ (m ³ /det)	Q ₂ (m ³ /det)	h (m)	Q ₁ (m ³ /det)	
2002	0.0759	0.0550	0.0385	0.0414	0.0165	2.33
2003	0.0835	0.0583	0.0329	0.0614	0.0254	1.30
2004	0.0771	0.0490	0.0402	0.0289	0.0088	4.57

Sumber: Hasil analisis, 2010

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa rasio perbandingan debit terbesar antara sub-DAS terkonversi terhadap sub-DAS hutan asli terjadi di tahun 2004 baik banjir maksimum maupun debit rerata tahunan. Hal ini terjadi sebagai akibat dari konversi hutan secara intensif mulai dari tahun 2002 hingga tahun 2004 di sub-DAS 2.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil yang didapat memperlihatkan bahwa konversi hutan dan perubahan tata guna lahan membawa konsekwensi pada degradasi lahan berupa hilangnya kemampuan tanah menahan air hujan. Dengan membandingkan total limpasan pada tahun 2002 dengan 2004, pada bendung 2 terhadap bendung 1, didapat penambahan limpasan 219.8 mm, sebagai akibatnya.

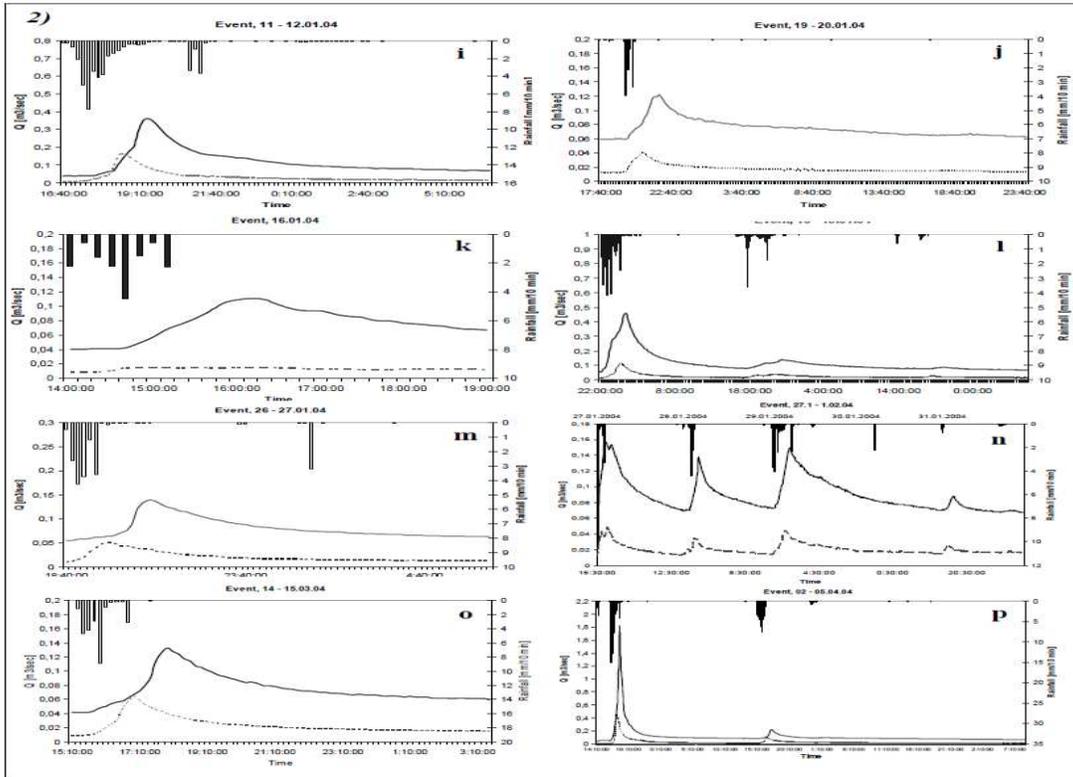
Analisis terhadap debit banjir maksimum yang berasal dari larian permukaan dari sub-DAS terkonversi terhadap sub-DAS hutan asli menunjukkan angka yang lebih tinggi terjadi pada sub-DAS terkonversi dibandingkan sub-DAS hutan asli dengan

rasio 1.41 pada tahun 2002 dan meningkat menjadi 3.13 pada tahun 2004. Di samping itu, perbandingan terhadap debit rerata tahunan untuk sub-DAS yang sama dan dengan tahun yang sama menunjukkan peningkatan dari 2.33 menjadi 4.57. Hal ini mengindikasikan hilangnya fungsi hutan sebagai penahan energi hujan dan penyangga limpasan yang secara langsung masuk ke sungai utama, ditambah dengan hilangnya kemampuan tanah menyerap hujan secara optimal. Untuk itu perlunya menghentikan upaya pembukaan hutan tropis dengan alasan apapun, terutama yang masuk dalam daerah konservasi seperti di Taman Nasional Lore Lindu. Walaupun demikian, pengaruh dari konversi hutan terhadap sifat dan karakteristik limpasan dan banjir beserta dampak yang menyertainya, haruslah dikaji lebih dalam lagi. Persoalan hidrologis seperti keseimbangan air, pengaruh perubahan lahan terhadap pola hujan dalam skala mikro dan aspek cuaca yang mempengaruhi, hidraulik dan transportasi sedimen di sungai membutuhkan waktu yang lebih lama dan skala yang lebih bervariasi untuk dipelajari untuk sampai pada kesimpulan yang betul-betul meyakinkan.

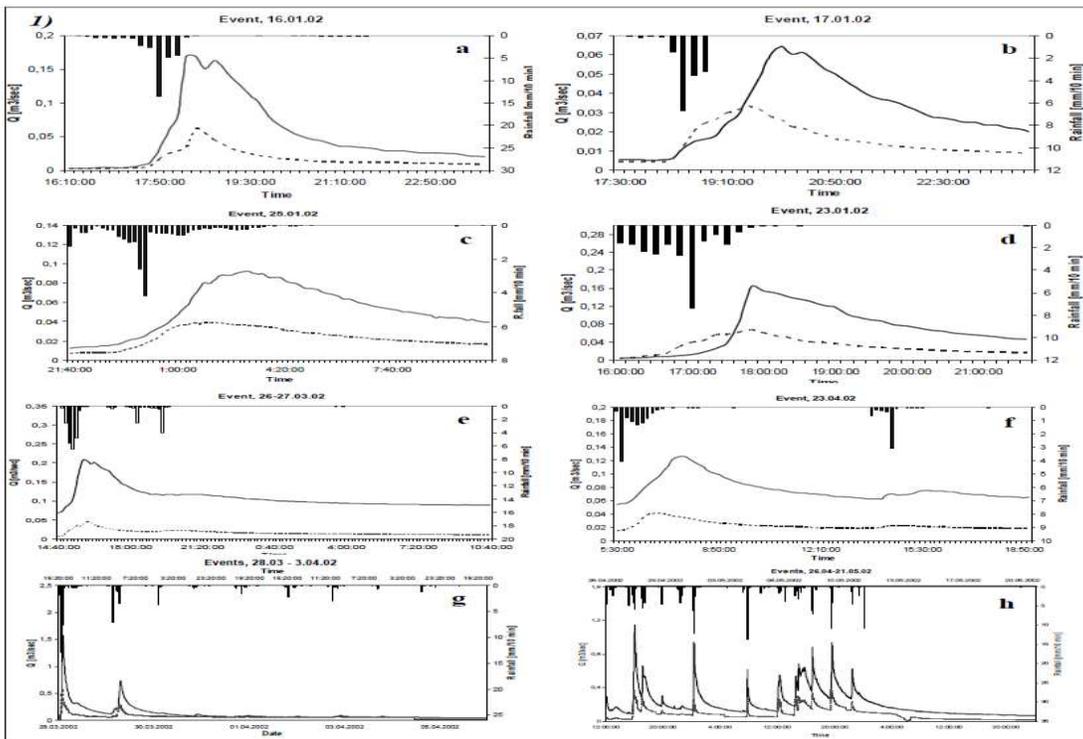
Perubahan tata guna lahan di lokasi studi masih berlangsung, sehingga penelitian dapat dilanjutkan dengan mengkaji aspek-aspek lainnya, sehingga proses komplit dari konversi hutan menurut waktu dan ruang dalam mencapai keseimbangan baru dapat di-modelkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bruijnzeel, L.A., 1990. Hydrology of Moist Forests and the Effects of Conversion: A State of Knowledge Review, Free University, Amsterdam: Netherland Committee of the International Hydrological Programme of UNESCO
- Chang,J.H., Lau,L.S., 1993. Definition of humid tropics. Dalam: Hydrology and water management in the humid tropics – Hydrological Research Issue and Strategies for Water Management, Appendix A editor: Bonel, M., Hufschmidt,M.M., Gladwell,J.S. UNESCO dan Cambridge University Press, Oxford, hal. 527 – 545
- Gerold, G., 2003. The influence of pedo-hydrological changes on the water and nutrient cycle in catchment areas. Forsetzungsantrag 2003 – 2006, SFB 552 – Stability of Rainforest Margins (STORMA) – DFG, Tail-Project B2
- Keil, A., Kleinhans, A., Schwarze, S., Birner., Gerold, G., Lipu, S., 2003. Forest conversion, water availability and water use in Central Sulawesi, Indonesia. *Jurnal DIE ERDE* 134 (4) Beitrag zur Physischen Geographie, Jerman; halaman 411-427
- Kleinhans, A. and Gerold, G., 2003. The effect of rainforest conversion on water balance, water yield and seasonal flows in a small tropical catchment in Central Sulawesi, Indonseia. In: Gerold, G., Fremerey, M. and Guhardja, E (Eds.): Land Use, Nature Conservation and the Stability of Rainforest Margins in Southeast Asia. Springer, Berlin
- Lal, R., 2000. Watershed characteristics and management effects on dissolved load in water runoff: Case study from Western Nigeria. In: Lal, R., (eds.), *Integrated Watershed Management in the Global Ecosystem*, chapter 7. Soil and Water Conservation Society, U.S.A.: pp. 95 - 107
- Lipu, S., 2007. Rainforest Conversion Consequences on the Suspended Material Load and Output in the Nopu Catchment in Central Sulawesi, Indonesia. *EcoRegio Band 22*, Shaker Verlag, Aachen, Germany. 129p.



Lampiran Gambar 1. Karakteristik hidrograf banjir sub-DAS 1 (garis putus-putus) dan sub-DAS 2 (garis tebal) pada beberapa kejadian banjir tahun 2002.
Sumber: Hasil Analisis, 2007.



Lampiran Gambar 2. Karakteristik hidrograf banjir sub-DAS 1 (garis putus-putus) dan sub-DAS 2 (garis tebal) pada beberapa kejadian banjir tahun 2004.
Sumber: Hasil Analisis, 2007.