

Pengaruh Tekstur Tanah Terhadap Karakteristik Unit Hidrograf dan Model Pendugaan Banjir (Studi Kasus di DAS Separi, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur)

Effects of Soil Texture on Characteristics of Hydrograph Unit and Modelling Flood Prediction (Case Study in Separi Watershed, Kutai Kartanegara, East Kalimantan)

M. LUTHFUL HAKIM¹, O. HARIDJAJA², SUDARSONO³, DAN G. IRIANTO⁴

ABSTRAK

Penelitian mengenai pengaruh tekstur tanah terhadap karakteristik unit hidrograf dan model pendugaan banjir pada daerah aliran sungai (DAS) di Kalimantan Timur perlu dilakukan karena intensitas dan luasan daerah banjir semakin meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk: 1) mengetahui pengaruh tekstur tanah terhadap karakteristik unit hidrograf, 2) menyusun model pendugaan banjir (debit puncak dan waktu menuju debit puncak) di DAS Separi, dan 3) menentukan komposisi luas penggunaan lahan secara optimal dalam rangka penanggulangan banjir, serta pengelolaan DAS Separi. Lokasi penelitian adalah DAS Separi, Kabupaten Kutai Kartanegara, Provinsi Kalimantan Timur pada koordinat 00°03'-00°38' LS dan 117°08'-117°31' BT. Waktu penelitian lapangan adalah bulan Januari-Juni 2006. Metode penelitian didasarkan pada beberapa tahapan, yaitu : 1) pengumpulan data, 2) pengembangan model pendugaan banjir, 3) uji akurasi model, dan 4) penerapan model. Model pendugaan banjir didasarkan pada: 1) pemodelan fungsi produksi dan 2) pemodelan fungsi transfer. Hasil analisis menunjukkan tekstur tanah berpengaruh terhadap debit puncak dan waktu menuju debit puncak, dimana tanah bertekstur lempung memiliki debit puncak yang lebih tinggi dibandingkan pada tanah bertekstur pasir dan liat, sedangkan untuk waktu menuju debit puncak dimana tanah bertekstur liat memiliki waktu menuju debit puncak yang lebih cepat dibandingkan dengan tanah bertekstur lempung dan pasir. Pendugaan banjir (debit puncak dan waktu menuju debit puncak) berbasis karakteristik lahan dan geomorfologi DAS mampu mensimulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak dengan hasil tidak berbeda dengan pengukuran. Analisis optimasi luas penggunaan lahan berkenaan dengan menurunnya debit puncak dan memperlambat waktu menuju debit puncak menunjukkan bahwa luas penggunaan lahan di DAS Separi adalah 54% hutan, 1,9% kebun/ladang, 0,12% pemukiman, 0,5% persawahan, 42% semak belukar, dan 1,99% tambang batubara.

Kata kunci : Tekstur tanah, Unit hidrograf, Pendugaan banjir, Daerah aliran sungai

ABSTRACT

A Research on effects of soil texture on hydrograph unit characteristic and flood prediction modelling in East Kalimantan need to be developed, because intensity and area of flood progressively increased. The objectives of this research are : 1) to study the effects of soil texture on the characteristic of hydrograph unit, 2) to develop flood prediction models (peak discharge and time to peak discharge) of Separi watershed, and 3) to determine an optimal landuse area composition in line with flood and Separi watershed management. The location of

research site is on Separi watershed in Kutai Kartanegara, East Kalimantan at 00°03'-00°38' S and 117°08'-117°31' E coordinate position. Field research has been conducted from January to June 2006. The methodology of the research based on several steps, e.i. : 1) data collecting, 2) flood prediction models development, 3) model accuration testing, and 4) model application. The model of flood prediction based on: 1) modelling of production function and 2) modelling of transfer function. The result showed that soil texture has an effect towards peak discharge and time to peak discharge. Soil with loam texture has peak discharge higher than soil with sand and clay texture, whereas time to peak discharge of soil with clay texture is higher than soil with loam and sand texture. Flood prediction (peak discharge and time to peak discharge) based on land characteristics and watershed geomorphology was able to simulate peak discharge and time to peak discharge, which has no different result compared with result from measurement. Analysis of optimum composition landuse with decreasing peak discharge and time to peak discharge indicated that compositions of landuse in Separi watershed are 54% for forest area, 1,9% for farm/garden, 0,12% for urban, 0,5% for paddy field, 42% for shrubs/underbrush, and 1,99% for coal-mining.

Keywords : Soil texture, Hydrograph unit, Flood prediction, Watershed

PENDAHULUAN

Pemanfaatan sumberdaya lahan yang melebihi daya dukungnya menjadi penyebab utama terjadinya degradasi lahan, kerusakan DAS dan lingkungan. Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan (RRL) (2001), menyatakan bahwa kerusakan DAS di Indonesia semakin lama semakin meningkat setiap tahunnya, dimana indikatornya adalah pada tahun 1984 terdapat 22 DAS dalam keadaan kritis dengan luas sekitar 9,69 juta ha dan kemudian meningkat

1. Peneliti pada Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Kalimantan Timur, Samarinda.
2. Pengajar pada Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.
3. Guru Besar pada Departemen Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, IPB, Bogor.
4. Ditjen Pengelolaan Lahan dan Air, Departemen Pertanian, Jakarta.

pada tahun 1994 menjadi 39 DAS kritis dengan luas sekitar 12,52 juta ha, dan tahun 2000 meningkat lagi menjadi 42 DAS kritis dengan luas sekitar 23,71 juta ha. Selanjutnya pada tahun 2004 kerusakan DAS di Indonesia semakin bertambah, yakni menjadi 65 DAS dari total seluruh DAS (470) yang tersebar di pulau Sumatra (13), Jawa (26), Kalimantan (10), Sulawesi (10), Bali dan Nusa Tenggara (4), serta Maluku dan Papua (4) (Ditjen Penataan Ruang, 2005; Ditjen RRL, 2001).

Daerah aliran sungai Separi yang merupakan anak DAS Mahakam masuk dalam wilayah administratif Kabupaten Kutai Kartanegara, Propinsi Kalimantan Timur merupakan salah satu DAS prioritas yang perlu segera diperbaiki oleh pemerintah daerah Kalimantan Timur, karena DAS ini menjadi pemasok utama sumber air bersih dan air irigasi untuk kawasan sentra produksi pertanian di Kecamatan Tenggarong Seberang, Kabupaten Kutai Kartanegara. Berkenaan dengan kerusakan DAS Separi sebagai dampak dari terjadinya alih fungsi lahan menyebabkan DAS tersebut tidak mampu mensuplai air pada saat musim kemarau dan menimbulkan banjir di musim penghujan.

Berkenaan dengan meningkatnya debit aliran di DAS Separi yang menyebabkan terjadinya banjir besar di daerah Separi pada pertengahan tahun 1998 (27 Juni 1998) dan kemudian berulang kembali kejadian banjir tersebut pada tahun 2002 (9 Januari 2002), 2003 (15 Oktober 2003), 2004 (14 Maret 2004), 2005 (24 Oktober, 19 November, 20 Desember 2005), dan 2006 (3 Mei 2006), maka diperlukan penelitian tentang model pendugaan banjir di DAS Separi. Hal ini karena kajian maupun penelitian yang berkaitan dengan pengelolaan lahan di DAS Separi relatif kurang. Sebenarnya perkembangan teknik komputasi untuk menduga besaran debit puncak dan waktu menuju debit puncak (unit hidrograf) sudah banyak dilakukan, seperti : model TOPMODEL (Beven dan Kirkby, 1979), ANSWERS (Beasley and Huggins, 1991), HEC HMS (USACE, 2000), dan SWAT (Neitsch *et al.*, 2000). Namun demikian model-model tersebut membutuhkan kelengkapan seri data yang tinggi,

baik data iklim, tanah, topografi, maupun jenis penggunaan lahan. Padahal kelengkapan data inilah yang sering menjadi kendala dalam penggunaan model-model tersebut di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk: 1) mengetahui pengaruh tekstur tanah terhadap karakteristik unit hidrograf, 2) menyusun model pendugaan banjir (debit puncak dan waktu menuju debit puncak) di DAS Separi, dan 3) menentukan komposisi luas penggunaan lahan secara optimal dalam rangka penanggulangan banjir, serta pengelolaan DAS Separi.

BAHAN DAN METODE

Tempat dan waktu penelitian

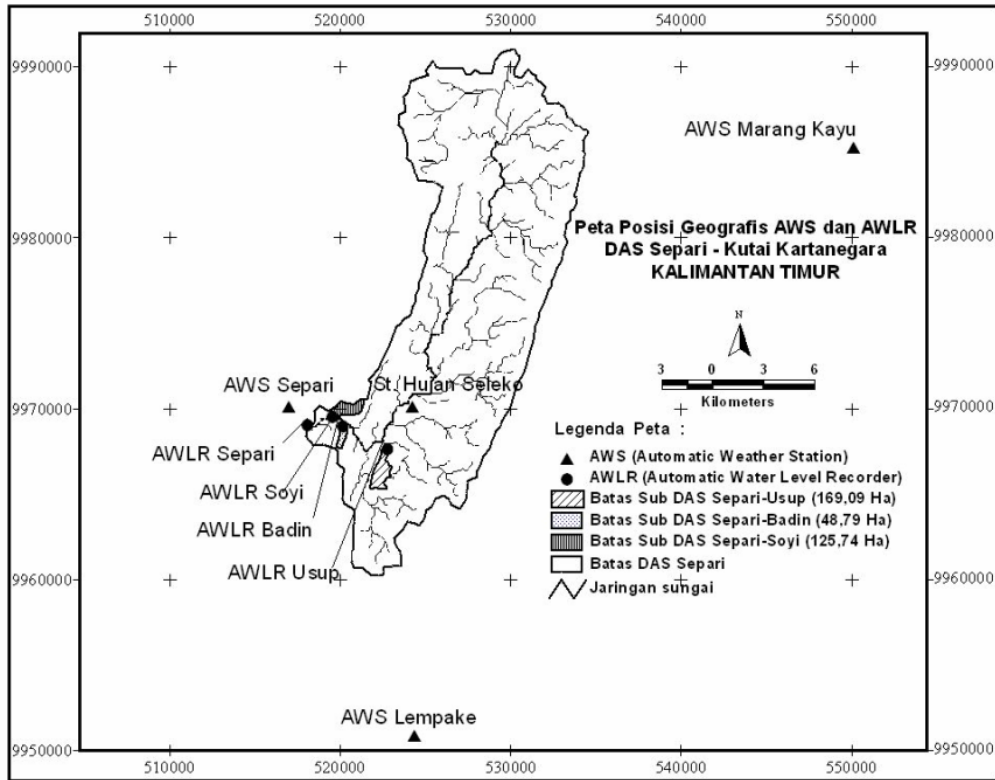
Penelitian dilaksanakan di DAS Separi, Kutai Kartanegara, Kalimantan Timur yang memiliki luas 23.366,26 ha (233,66 km²) dan terletak pada koordinat 00°03'-00°38' LS dan 117°08'-117°31' BT. Penelitian lapangan dilaksanakan pada bulan Januari sampai dengan Juni 2006.

Metode penelitian

Beberapa tahapan dilaksanakan dalam penelitian ini, yaitu : 1) pengumpulan data, 2) penyusunan dan pengembangan model pendugaan banjir (parameterisasi variabel-variabel model), 3) uji akurasi, dan 4) penerapan/simulasi model.

1. Pengumpulan data

Untuk mengetahui pengaruh tekstur tanah terhadap karakteristik unit hidrograf, maka dilakukan pengamatan tinggi muka air (TMA) pada tiga Sub DAS Separi yang didasarkan pada 3 kelas tekstur tanah, yakni : 1) Sub DAS Separi-Usup didominasi tanah bertekstur liat, 2) Sub DAS Separi-Soyi didominasi tanah bertekstur pasir, dan 3) Sub DAS Separi-Badin didominasi tanah bertekstur liat. Selain itu untuk meningkatkan tingkat homogenitas data curah hujan, maka dilakukan pemasangan alat penakar hujan semi-otomatis di tengah DAS Separi (Gambar 1).



Gambar 1. Peta posisi geografis stasiun iklim (AWS) dan pengamat tinggi muka air (AWLR) di DAS Separi

Figure 1. Map of geographical position climate station (AWS) and automatic water level station (AWLR) in Separi watershed

2. Penyusunan model

Pengembangan model pendugaan banjir berbasis karakteristik lahan dan geomorfologi DAS didasarkan pada pemodelan fungsi produksi (perhitungan curah hujan *netto* dari perubahan curah hujan *bruto*) dan pemodelan fungsi transfer (perhitungan debit aliran permukaan dari perubahan curah hujan *netto* melalui jaringan drainase) (Gambar 2).

Perhitungan intersepsi dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Aston (1979) dalam De Roo et al. (1999) adalah sebagai berikut :

$$INTCP = SMAX \left[1 - e^{-\left(1-p\right) \frac{PCUM}{SMAX}} \right] \dots\dots\dots (1)$$

dimana INTCP adalah intersepsi kumulatif (mm), PCUM adalah curah hujan (mm), SMAX adalah kapasitas simpanan maksimum (mm), p adalah

faktor koreksi (1-0,046.LAI). Perhitungan kapasitas intersepsi maksimum dengan menggunakan persamaan yang dikembangkan oleh Von Hoyningen-Huene (1981) dalam De Roo et al. (1999) :

$$SMAX = 0,935 + 0,498.LAI - 0,00575.LAI^2 \dots (2)$$

dimana SMAX adalah kapasitas simpanan maksimum (mm), LAI adalah indeks luas daun.

Perhitungan infiltrasi dengan menggunakan persamaan Horton (1940) dalam Bedient dan Huber (1992) adalah sebagai berikut :

$$f(t) = fc + (fo - fc)e^{-Kt} \dots\dots\dots (3)$$

dimana f(t) adalah kapasitas infiltrasi pada waktu t (mm menit⁻¹), fo adalah kapasitas infiltrasi awal (mm menit⁻¹), fc adalah kapasitas infiltrasi konstan (mm

menit⁻¹), t adalah waktu (menit), k adalah konstanta yang dipengaruhi oleh tanah dan tanaman.

Perhitungan fungsi kerapatan peluang (pdf) dengan menggunakan metode Duchesne dan Cudennec (1998) dalam Irianto *et al.* (2001), dan persamaan matematisnya adalah sebagai berikut :

$$\rho(L) = \left(\frac{n}{2\bar{L}}\right)^{n/2} \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} L^{(n/2-1)} \exp\left(-\frac{nL}{2\bar{L}}\right) \dots\dots\dots (4)$$

dimana $\rho(L)$ adalah fungsi panjang lintasan air (panjang saluran drainase), n adalah order maksimum DAS menurut kriteria Strahler, \bar{L} adalah panjang rata-rata lintasan air di DAS pada order 1, Γ adalah fungsi gamma, L adalah panjang maksimum lintasan air di DAS. Fungsi kerapatan peluang (pdf) merupakan fungsi dari panjang jaringan drainase/hidrologi DAS berorde-1 (L), dimana rekonstruksi jaringan drainase/hidrologi didasarkan pada data DEM SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*). Selanjutnya ditetapkan isokron dan kemudian membuat kurva kerapatan jaringan drainase DAS orde-1 yang didasarkan pada selang isokron. Penentuan selang isokron didasarkan pada persamaan sebagai berikut :

$$\Delta l(L) = \bar{V} \times t \dots\dots\dots (5)$$

dimana, $\Delta l(L)$ adalah interval isokron sebagai fungsi jarak tempuh (m), \bar{V} adalah kecepatan rata-rata aliran (m detik⁻¹), dan t adalah selang waktu pengamatan (360 detik). Perhitungan kecepatan

rata-rata aliran permukaan (\bar{V}) adalah sebagai berikut:

$$\bar{V} = \left(\frac{\bar{L}}{t_r}\right) \dots\dots\dots (6)$$

dimana \bar{L} adalah panjang rata-rata jaringan sungai (m) dan t_r adalah waktu respon (detik).

3. Uji akurasi

Uji akurasi model debit simulasi dengan menggunakan kriteria Nash dan Sutcliffe (1970) dalam Irianto *et al.* (1999), seperti berikut :

$$F = 1 - \frac{\sum_{1}^N (Q_s - Q_p)^2}{\sum_{1}^N (Q_s - Q_{pr})^2} \dots\dots\dots (7)$$

dimana Q_{pr} adalah debit rata-rata pengukuran, Q_s adalah debit simulasi dan Q_p adalah debit pengukuran. Semakin tinggi nilai F akan semakin tinggi tingkat akurasi model dan sebaliknya.

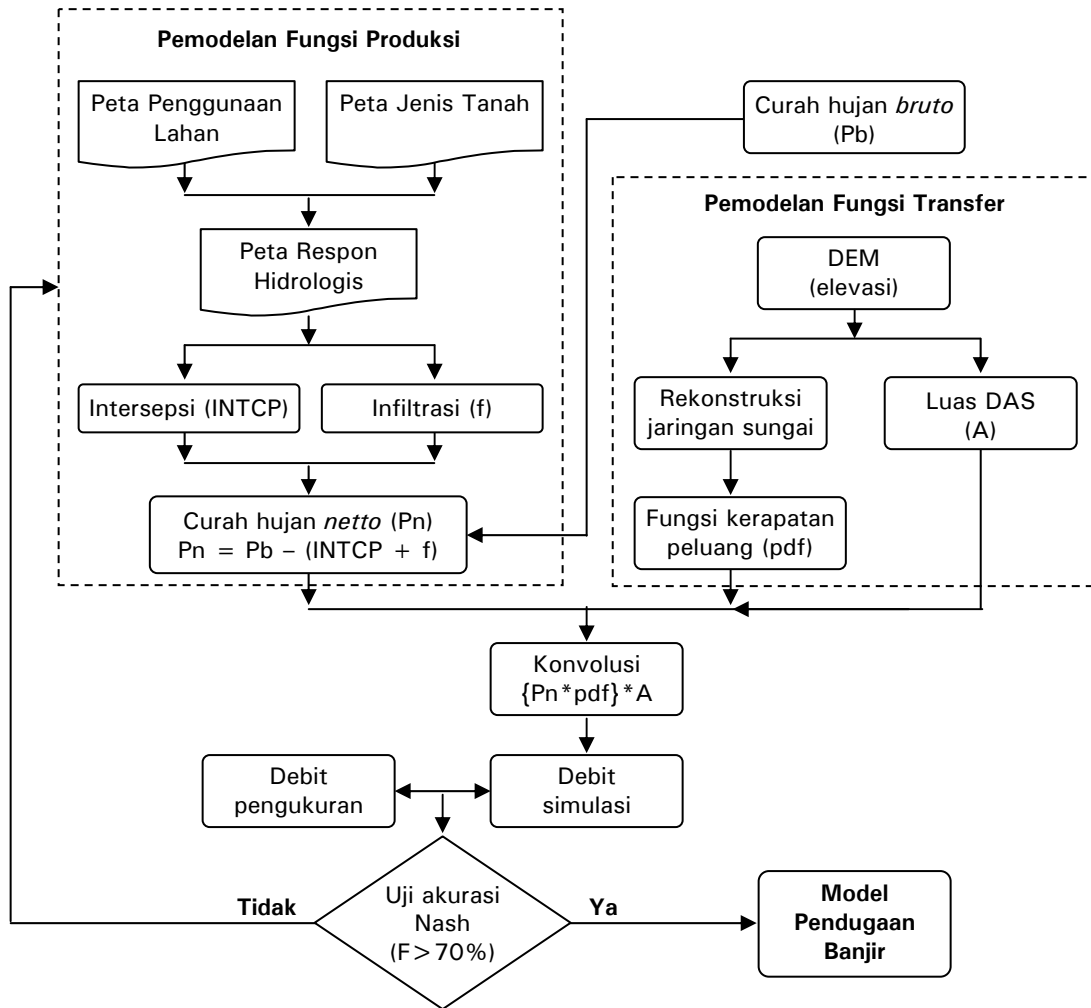
4. Penerapan model

Penerapan model dilakukan apabila model telah diuji akurasinya dan bila terbukti akurat ($F > 70\%$) maka dilakukan simulasi berdasarkan beberapa skenario, baik itu perubahan luas dan lokasi penggunaan lahan terhadap unit hidrograf (Tabel 1).

Tabel 1. Skenario perubahan penggunaan lahan di DAS Separi

Table 1. Scenario of landuse change in Separi watershed

No.	Jenis penggunaan lahan	Luas				
		Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
..... ha						
1.	Hutan	261,49	21.313,95	11.280,01	12.574,77	107,88
2.	Kebun/ladang	490,21	443,64	490,21	443,64	943,39
3.	Lahan terbuka	31,16	-	-	13,25	31,16
4.	Pemukiman	28,38	28,38	28,38	28,38	56,76
5.	Persawahan	116,47	116,47	116,47	116,47	116,47
6.	Semak belukar	21.974,74	1.000,00	10.987,37	9.725,93	21.646,79
7.	Tambang batubara	463,92	463,92	463,92	463,92	463,92



Gambar 2. Pemodelan fungsi produksi dan fungsi transfer
 Figure 2. Modelling of production and transfer functions

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh tekstur tanah terhadap unit hidrograf

Hasil analisis variasi (Anova) menunjukkan terdapat perbedaan yang nyata ($\alpha = 5\%$) antara besarnya debit puncak (Q_p /luas DAS) antara Sub DAS Separi-Usup (tanah bertekstur liat) dan Sub DAS Separi-Soyi (tanah bertekstur pasir) dengan Sub DAS Separi-Badin (tanah bertekstur lempung), kecuali debit puncak (Q_p /Luas DAS) antara Sub DAS Separi-Usup (tanah bertekstur liat) dengan Sub DAS

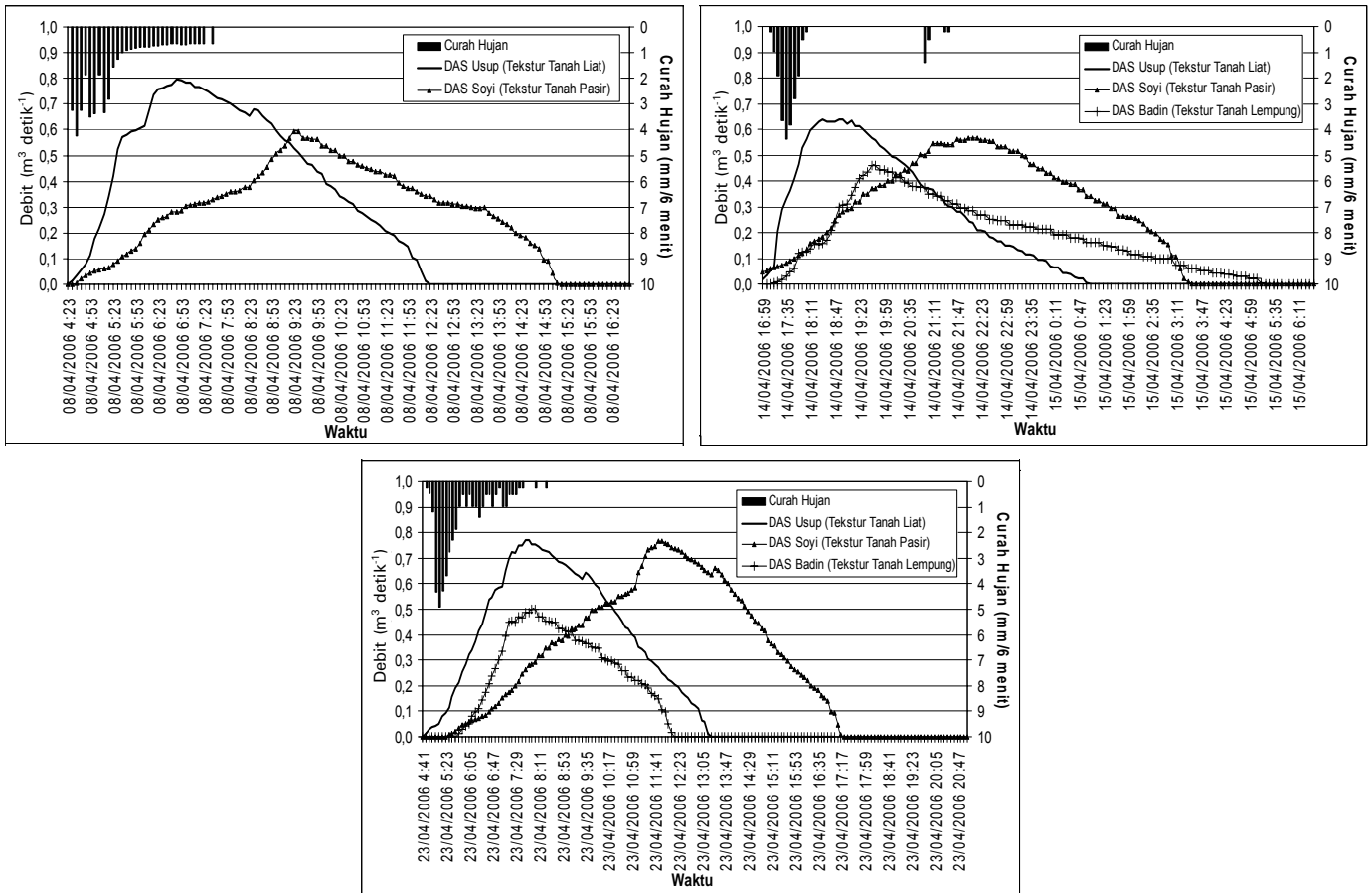
Separi-Soyi (tanah bertekstur pasir). Hal ini menunjukkan Sub DAS yang didominasi oleh tanah bertekstur lempung memiliki debit puncak yang lebih tinggi dibandingkan dengan Sub DAS yang didominasi oleh tanah bertekstur pasir dan liat (Tabel 2 dan Gambar 3). Untuk waktu menuju debit puncak antara Sub DAS Separi-Usup (tanah bertekstur liat) dan Sub DAS Separi-Badin (tanah bertekstur lempung) berbeda dengan waktu menuju debit puncak pada Sub DAS Separi-Soyi (tanah bertekstur pasir) (Tabel 2 dan Gambar 3).

Tabel 2. Pengaruh tekstur tanah terhadap debit puncak (Qp) dan waktu menuju debit puncak (tp)

Table 2. Effect of soil texture to peak discharge (Qp) and time to peak discharge (tp)

Waktu	Sub DAS Separi-Usup			Sub DAS Separi-Soyi			Sub DAS Separi-Badin		
	Qp	Rasio	tp	Qp	Rasio	tp	Qp	Rasio	tp
	m ³ detik ⁻¹	Qp luas ⁻¹	jam	m ³ detik ⁻¹	Qp luas ⁻¹	jam	m ³ detik ⁻¹	Qp luas ⁻¹	jam
08/04/2006	0,79	0,0047	2,5	0,59	0,0047	5,0	tad	tad	tad
14/04/2006	0,64	0,0038	2,3	0,57	0,0045	5,9	0,46	0,0094	3,5
23/04/2006	0,77	0,0046	3,1	0,77	0,0061	7,1	0,50	0,0102	3,3
Rata-rata		0,0043 ^a	2,6 ^a		0,0051 ^a	6,0 ^b		0,0098 ^b	3,4 ^a

Keterangan : tad (tidak ada data). Huruf yang sama menunjukkan kesamaan ($\alpha = 5\%$)



Gambar 3. Pengaruh tekstur tanah terhadap unit hidrograf

Figure 3. Effect of soil texture on hydrographs unit

Model pendugaan banjir

Hasil analisis simulasi pendugaan banjir (debit puncak dan waktu menuju debit puncak) menunjukkan tingkat kemiripan yang cukup tinggi atau tidak berbeda nyata ($\alpha=5\%$) antara debit puncak dan

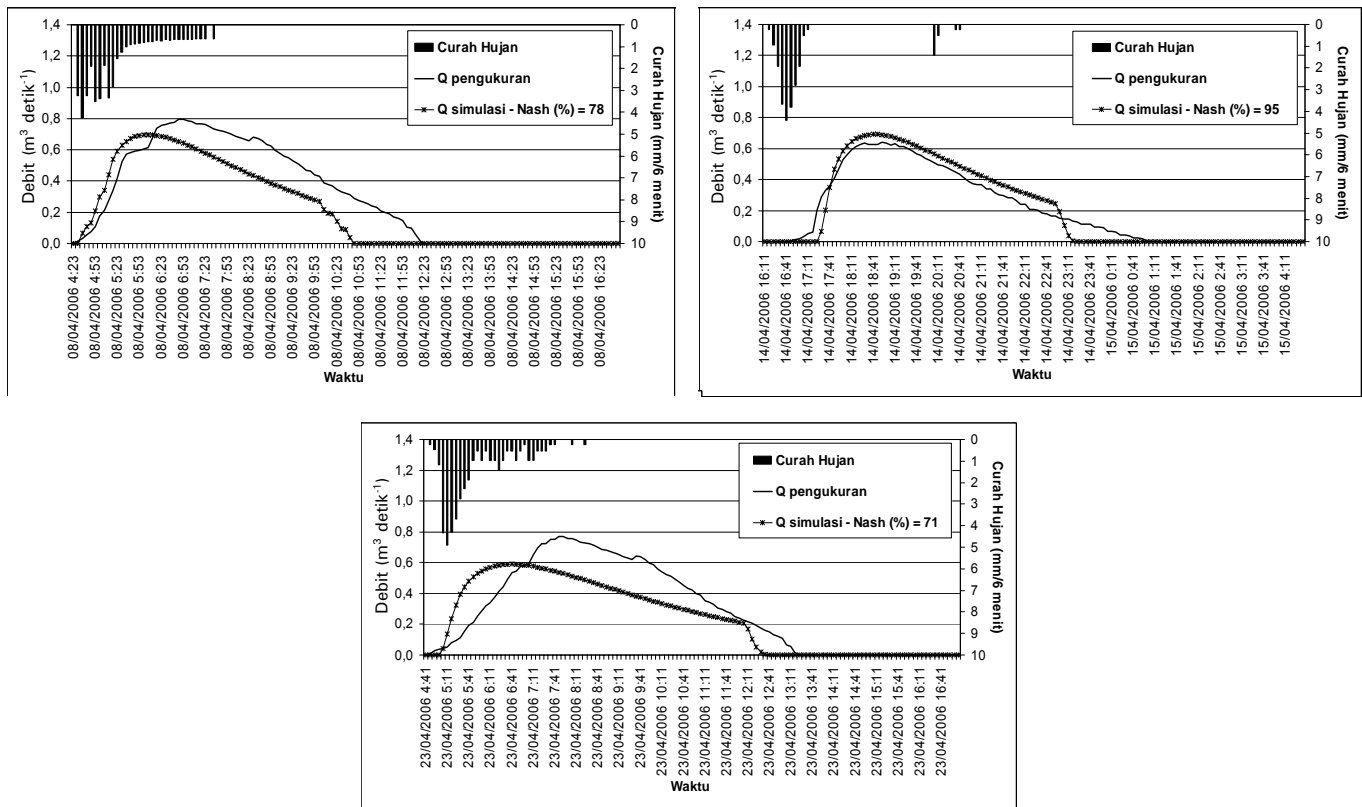
waktu menuju debit puncak hasil pengukuran dengan simulasi (Tabel 3). Selain itu, hasil analisis simulasi debit aliran permukaan (unit hidrograf) dari ketiga Sub DAS tersebut memiliki rata-rata tingkat akurasi menurut kriteria Nash dan Sutcliffe yang tinggi ($F > 85\%$) (Gambar 4, 5, dan 6).

Tabel 3. Uji beda (Anova) antara debit puncak (Qp) dan waktu menuju debit puncak (tp) hasil simulasi dengan pengukuran di tiga Sub DAS Separi

Table 3. Different test (Anova) between peak discharge (Qp) and time to peak discharge (tp) simulation and measurement in three Separi sub watersheds

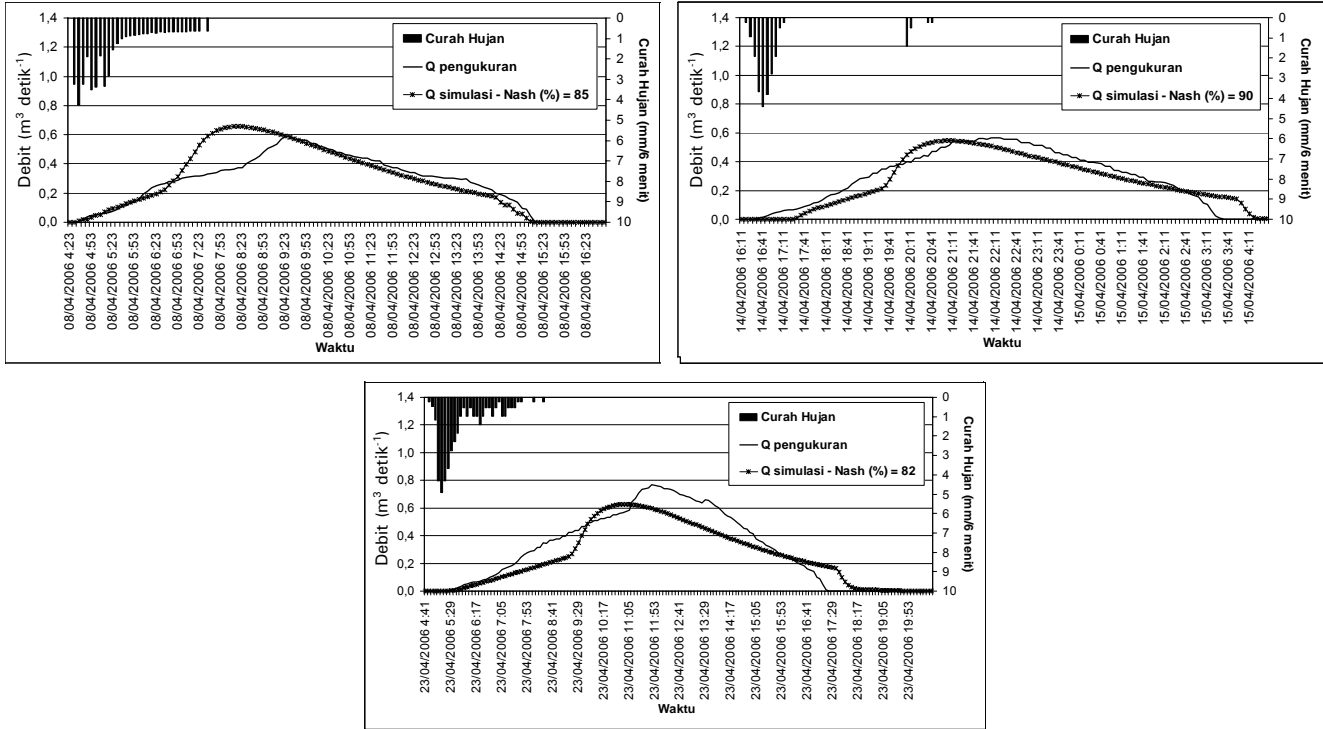
Episode hujan	Sub DAS Separi-Usup				Sub DAS Separi-Soyi				Sub DAS Separi-Badin			
	Pengukuran		Simulasi		Pengukuran		Simulasi		Pengukuran		Simulasi	
	Qp	tp	Qp	tp	Qp	tp	Qp	tp	Qp	tp	Qp	tp
08/04/06	0,79	2,5	0,70	1,7	0,59	5,0	0,66	3,9	tad	tad	tad	tad
14/04/06	0,64	2,3	0,69	2,5	0,57	5,9	0,55	5,0	0,46	2,1	0,38	2,4
23/04/06	0,77	3,1	0,59	2,0	0,77	7,1	0,63	6,2	0,50	2,8	0,47	3,0
Rata-rata	0,74 ^a	2,6 ^a	0,66 ^a	2,1 ^a	0,64 ^a	6,0 ^a	0,61 ^a	5,0 ^a	0,48 ^a	3,4 ^a	0,42 ^a	3,7 ^a

Keterangan : tad (tidak ada data). Huruf yang sama menunjukkan kesamaan ($\alpha = 5\%$)



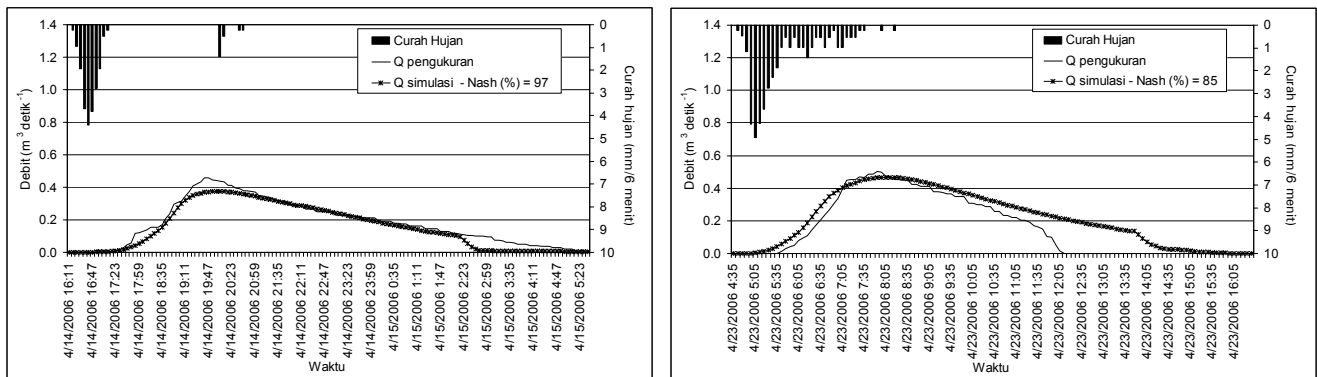
Gambar 4. Perbandingan antara hidrograf simulasi dan pengukuran untuk tiga kejadian hujan di Sub DAS Separi-Usup

Figure 4. Comparison between simulation and measurement hydrographs for three rainfall events in Separi-Usup Sub watershed



Gambar 5. Perbandingan antara hidrograf simulasi dan pengukuran untuk tiga kejadian hujan di Sub DAS Separi-Soyi

Figure 5. Comparison between simulation and measurement hydrographs for three rainfall events in Separi-Soyi Sub watershed



Gambar 6. Perbandingan antara hidrograf simulasi dan pengukuran untuk dua kejadian hujan di Sub DAS Separi-Usup

Figure 6. Comparison between simulation and measurement hydrographs for two rainfall events in Separi-Usup Sub watershed

Berdasarkan Gambar 4 menunjukkan hasil analisis simulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak aliran permukaan untuk Sub DAS yang didominasi tanah bertekstur liat (Sub DAS Separi-Usup) pada tiga kejadian hujan memiliki rata-rata tingkat akurasi yang tinggi ($F > 81\%$). Hasil analisis simulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak aliran permukaan pada kejadian hujan tanggal 8 April 2006 (curah hujan maksimum 4,25 mm) dan 23 April 2006 (curah hujan maksimum 4,91 mm) memiliki debit puncak aliran permukaan lebih rendah (*under estimate*) 12-24% dan waktu menuju debit puncak yang lebih cepat (48-66 menit) dibandingkan dengan hasil pengukuran. Selain itu, hasil simulasi debit puncak aliran permukaan dan waktu menuju debit puncak pada kejadian hujan tanggal 14 April 2006 (curah hujan maksimum 4,40 mm) memiliki debit puncak aliran permukaan yang lebih tinggi (*over estimate*) 8% dan waktu menuju debit puncak hasil simulasi lebih lambat (12 menit) dibandingkan dengan hasil pengukuran. Perbandingan debit aliran permukaan antara hasil simulasi dengan pengukuran di Sub DAS Separi-Usup disajikan pada Gambar 4.

Gambar 5 menunjukkan hasil analisis simulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak aliran permukaan untuk Sub DAS yang didominasi tanah bertekstur pasir (Sub DAS Separi-Soyi) pada tiga kejadian hujan memiliki rata-rata tingkat akurasi yang tinggi ($F > 85\%$). Hasil analisis simulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak aliran permukaan pada kejadian hujan tanggal 8 April 2006 (curah hujan maksimum 4,25 mm) memiliki nilai lebih tinggi 11% dan waktu menuju debit puncak yang lebih cepat (66 menit) dibandingkan dengan hasil pengukuran.

Hasil analisis simulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak aliran permukaan hasil simulasi pada kejadian hujan tanggal 14 April 2006 (curah hujan maksimum 4,40 mm) dan 23 April 2006 (curah hujan maksimum 4,91 mm) memiliki debit puncak aliran permukaan yang lebih rendah 3-18% dan waktu menuju debit puncak hasil simulasi lebih cepat (54 menit) dibandingkan dengan hasil

pengukuran. Perbandingan debit aliran permukaan antara hasil simulasi dengan pengukuran di Sub DAS Separi-Soyi disajikan pada Gambar 5.

Gambar 6 menunjukkan hasil analisis simulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak aliran permukaan untuk Sub DAS yang didominasi tanah bertekstur lempung (Sub DAS Separi-Badin) pada tiga kejadian hujan memiliki rata-rata tingkat akurasi yang tinggi ($F > 90\%$). Hasil analisis simulasi debit puncak dan waktu menuju debit puncak aliran permukaan pada kejadian hujan tanggal 14 April 2006 (curah hujan maksimum 4,40 mm) dan 23 April 2006 (curah hujan maksimum 4,91 mm) memiliki debit puncak aliran permukaan yang lebih rendah 7-18% dan waktu menuju debit puncak hasil simulasi lebih lambat (12-18 menit) dibandingkan dengan hasil pengukuran (Gambar 6).

Hasil analisis simulasi pendugaan banjir (debit puncak dan waktu menuju debit puncak) di DAS Separi pada beberapa episode hujan menghasilkan tingkat kemiripan yang cukup tinggi atau tidak berbeda nyata ($\alpha = 5\%$) antara debit puncak hasil pengukuran dengan hasil simulasi (Tabel 4). Berdasarkan Tabel 5, rata-rata debit puncak aliran permukaan hasil simulasi memiliki debit puncak aliran permukaan yang lebih rendah 9% dibandingkan dengan hasil pengukuran ($57,15 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$) dan memiliki waktu menuju debit puncak yang lebih lama (143 menit) dibandingkan dengan hasil pengukuran. Namun demikian, ada beberapa kejadian banjir yang tidak dapat yang tidak dapat disimulasi atau diduga secara akurat oleh ketiga metode tersebut (Gambar 7). Hal ini dikarenakan oleh dua faktor, yaitu: 1) distribusi curah hujan yang tidak merata di DAS Separi, dan 2) tinggi muka air di Sungai Mahakam. Distribusi curah hujan yang tidak merata di DAS Separi ditunjukkan dari hasil analisis uji homogenitas di tiga stasiun iklim (Tabel 5), yang memiliki tingkat homogenitas yang rendah. Untuk pengaruh tinggi muka air di Sungai Mahakam ditunjukkan dari karakteristik unit hidrograf pada Gambar 7. Dua faktor ini mempunyai pengaruh yang cukup besar dalam keakuratan pendugaan banjir di DAS Separi.

Tabel 4. Uji beda (Anova) antara debit puncak (Qp) dan waktu menuju debit puncak (tp) hasil simulasi dan pengukuran di DAS Separi

Table 4. Different test (Anova) between peak discharge (Qp) and time to peak discharge (tp) simulation and measurement result in Separi watershed

Episodeh hujan	Pengukuran		Simulasi	
	Q p	tp	Q p	tp
	m ³ detik ⁻¹	jam	m ³ detik ⁻¹	Jam
09/01/02	65,61	18,0	33,50	23,2
15/10/03	71,62	18,0	93,72	22,3
14/03/04	56,41	16,0	76,83	15,8
29/01/05	52,09	11,7	21,12	10,9
26/03/06	40,04	24,9	34,45	28,3
Rata-rata	57,15 ^a	17,8 ^a	51,92 ^a	20,0 ^a

Tabel 5. Analisis regresi curah hujan antara tiga stasiun iklim Separi, Lempake, dan Marang Kayu (2001-2005)

Table 5. Regression analysis of rainfall between three weather station in Separi, Lempake, and Marang Kayu (2001-2005)

Keterangan	SPI vs LMP	SPI vs MKY	LMP vs MKY
Curah hujan harian			
r ²	0,06	0,12	0,06
b	0,23	0,29	0,22
Curah hujan mingguan			
r ²	0,09	0,22	0,07
b	0,29	0,42	0,24
Curah hujan bulanan			
r ²	0,10	0,22	0,07
b	0,29	0,42	0,24

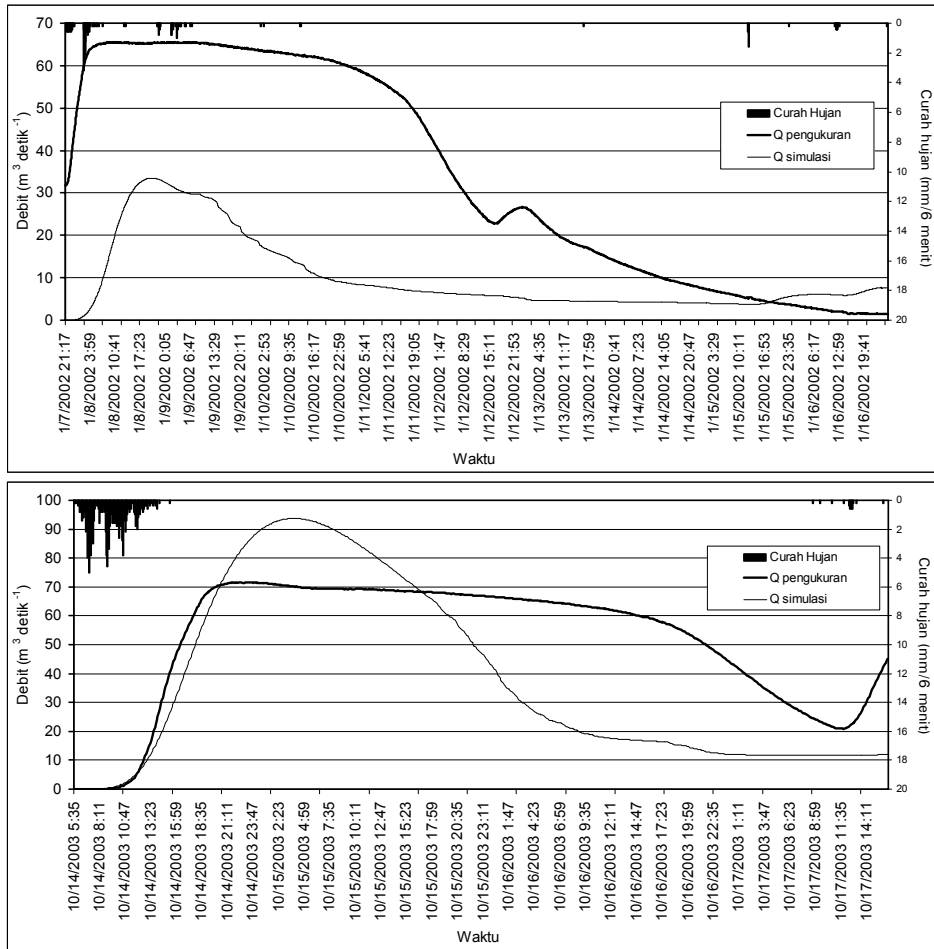
Keterangan : SPI = AWS Separi, LMP = AWS Lempake, MKY = AWS Marang Kayu, r² = koefisien korelasi, b = kemiringan garis (slope)

Berdasarkan Tabel 5, distribusi curah hujan di DAS Separi yang digambarkan oleh tiga stasiun iklim (AWS) tidak menyebar secara merata atau memiliki tingkat heterogenitas yang tinggi. Hal ini didukung hasil analisis regresi di antara ketiga stasiun iklim yang menunjukkan koefisien korelasi (r²) antara ketiga stasiun iklim memiliki nilai yang lebih kecil dari 0,10 dan memiliki kemiringan garis (b) lebih kecil dari 0,43 (Tabel 5). Teixeira (2005) menyatakan data curah hujan antar stasiun hujan memiliki tingkat homogenitas yang tinggi, jika hasil analisis regresi di antara stasiun hujan tersebut memiliki nilai koefisien korelasi (r²) lebih besar atau

sama dengan 0,70 (r² ≥ 0,70), dan memiliki nilai kemiringan garis (b) lebih besar atau sama dengan 0,70 dan atau lebih kecil sama dengan 1,30 (0,70 ≤ b ≤ 1,30).

Penerapan model banjir

Untuk pengelolaan DAS Separi dalam kaitannya dengan perencanaan tata guna lahan, maka dilakukan berbagai skenario perubahan penggunaan lahan dengan menggunakan model pendugaan banjir berbasis karakteristik lahan dan geomorfologi DAS. Hal ini didasarkan pada model



Gambar 7. Perbandingan antara hidrograf simulasi dan pengukuran di DAS Separi

Figure 7. Comparison between simulation and measurement hydrographs in Separi watershed

pendugaan banjir tersebut yang memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi baik di tiga Sub DAS Separi maupun DAS Separi, sehingga dapat digunakan untuk membuat analisis simulasi hidrologi untuk model pengelolaan DAS Separi.

Berdasarkan hasil analisis simulasi pada skenario 1, 2, dan 3 dengan peningkatan luas hutan dan penurunan luas lahan terbuka dan semak belukar berdampak terhadap meningkatnya kapasitas intersepsi dan infiltrasi tanah, dan menurunkan aliran permukaan (curah hujan *netto*), sehingga berdampak lanjutan terhadap menurunnya debit puncak dan memperlambat waktu menuju debit puncak dibandingkan pada skenario 0. Hasil analisis simulasi pada skenario 4 dengan penurunan

luas hutan dan meningkatnya areal pemukiman dan kebun/ladang berdampak terhadap menurunnya kapasitas intersepsi dan infiltrasi tanah, dan meningkatkan aliran permukaan, sehingga berdampak lanjutan terhadap meningkatnya debit puncak dan mempercepat waktu menuju debit puncak dibandingkan pada skenario 0 (Tabel 6).

Pada skenario 1 terjadinya peningkatan luas hutan sebesar 99% dan pengurangan luas lahan terbuka dan semak belukar yang masing-masing sebesar 100% dan 96% pada seluruh DAS (seperti penggunaan lahan tahun 1991) berdampak terhadap meningkatnya kapasitas intersepsi dan infiltrasi tanah yang masing-masing sebesar 27% dan 10-16%, dan menurunkan aliran permukaan (curah

Tabel 6. Skenario perubahan luas penggunaan lahan dan proses hidrologi di DAS Separi

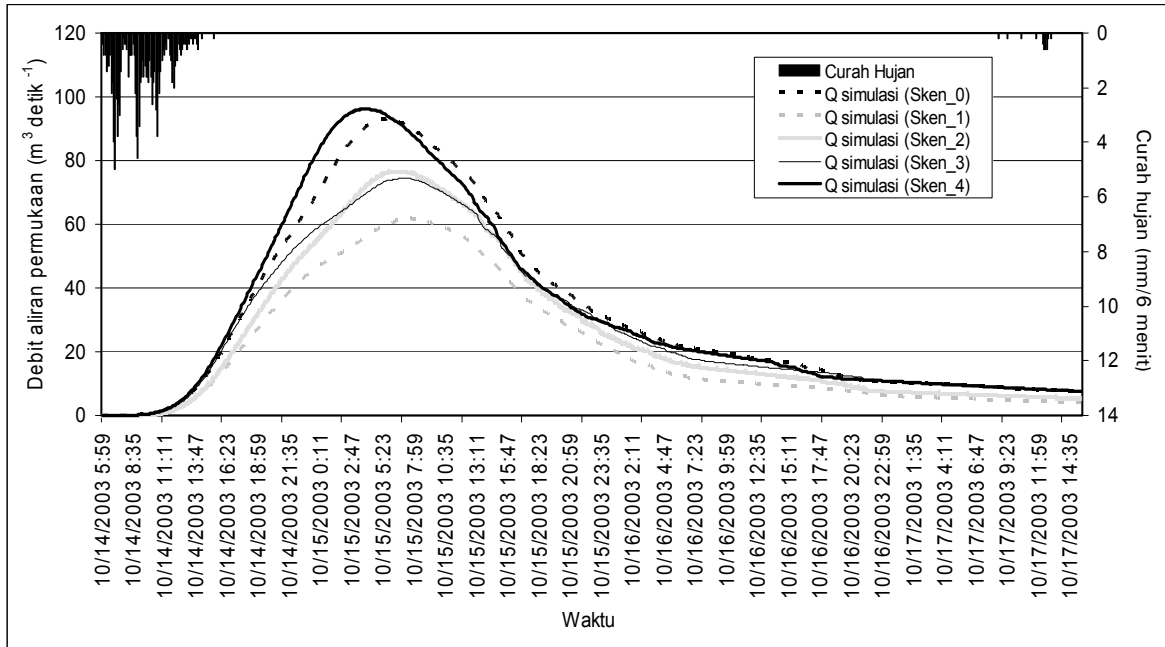
Table 6. Scenario of landuse change and hydrological process in Separi watershed

No.	Jenis penggunaan lahan	Luas				
		Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
..... ha						
1.	Hutan	261,49	21.313,95	11.280,01	12.574,77	107,88
2.	Kebun/ladang	490,21	443,64	490,21	443,64	943,39
3.	Lahan terbuka	31,16	-	-	13,25	31,16
4.	Pemukiman	28,38	28,38	28,38	28,38	56,76
5.	Persawahan	116,47	116,47	116,47	116,47	116,47
6.	Semak belukar	21.974,74	1.000,00	10.987,37	9.725,93	21.646,79
7.	Tambang batubara	463,92	463,92	463,92	463,92	463,92

Proses hidrologi						
<i>Episode hujan 14-17 Oktober 2003</i>						
	Curah hujan <i>bruto</i> (mm)	110,00	110,00	110,00	110,00	110,00
	Intersepsi (mm)	3,96	5,44	4,71	4,84	3,95
	Infiltrasi (mm)	59,73	71,44	66,00	65,28	59,57
	Curah hujan <i>netto</i> (mm)	46,31	33,11	39,28	39,88	46,48
	Debit puncak (m ³ detik ⁻¹)	92,95	61,81	76,56	74,61	96,14
	Waktu puncak (jam)	23,8	25,6	24,4	25,5	22,0
<i>Episode hujan 25-28 Maret 2006</i>						
	Curah hujan <i>bruto</i> (mm)	56,48	56,48	56,48	56,48	56,48
	Intersepsi (mm)	1,98	2,71	2,35	2,41	1,97
	Infiltrasi (mm)	35,18	38,91	37,14	37,41	35,13
	Curah hujan <i>netto</i> (mm)	19,32	14,85	16,99	16,66	19,37
	Debit puncak (m ³ detik ⁻¹)	34,45	27,30	31,20	29,89	36,37
	Waktu puncak (jam)	28,3	29,3	28,5	28,7	25,3

hujan *netto*) sebesar 30-40%, sehingga berdampak lanjutan terhadap menurunnya debit puncak sebesar 26-50% dan memperlambat waktu menuju debit puncak sebesar 1-1,8 jam dibandingkan debit puncak pada skenario 0 (Gambar 8). Peningkatan luas hutan sebesar 98% dan penurunan luas semak belukar sebesar 50% pada bagian tengah dan hilir dari DAS Separi (skenario 2) hanya dapat menurunkan debit puncak sebesar 10-21% dan memperlambat waktu menuju debit puncak sebesar 0,2-0,6 jam. Pada skenario 3 terjadinya peningkatan luas hutan sebesar 98% dan pengurangan luas lahan terbuka dan semak belukar masing-masing sebesar 58 dan 56% pada bagian hulu dan tengah dari DAS Separi berdampak terhadap meningkatnya kapasitas intersepsi dan infiltrasi tanah yang masing-masing sebesar 18% dan 6-9%, dan menurunkan aliran permukaan (curah hujan *netto*) sebesar 16%, sehingga berdampak lanjutan terhadap menurunnya

debit puncak sebesar 15-25% dan memperlambat waktu menuju debit puncak sebesar 0,4-1,7 jam dibandingkan debit puncak pada skenario 0. Pada skenario 4, peningkatan luas kebun/ladang dan pemukiman yang masing-masing adalah sebesar 48% dan 50%, dan terjadinya pengurangan areal hutan sebesar 59% berdampak terhadap peningkatan debit puncak sebesar 3-5% dan mempercepat waktu menuju debit puncak sebesar 1,8-3 jam dibandingkan debit puncak pada skenario 0. Hal ini dikarenakan curah hujan total sebesar 110 mm (episode hujan tanggal 14-17 Oktober 2003) hanya dapat diintersepsi oleh tanaman dan terinfiltrasi ke dalam tanah masing-masing sebesar 3,95 mm dan 59,57 mm, serta dapat meningkatkan aliran permukaan (curah hujan *netto*) sebesar 0,36% dibandingkan pada skenario 0 (Tabel 6 dan Gambar 8). Hal ini didukung hasil penelitian Kartiwa *et al.* (1997), peningkatan luas hutan sebesar 2 dan 4 kali



Gambar 8. Perbandingan debit puncak dan waktu menuju debit puncak pada lima skenario perubahan luas penggunaan lahan di DAS Separi

Figure 8. Comparison of peak discharge and time to peak discharge for five scenario of landuse change area in Separi watershed

dari keadaan semula berdampak terhadap penurunan debit puncak masing-masing sebesar 29 dan 54%. Sedangkan pengurangan luas hutan 0,2 dan 0,5 kali dari keadaan semula berdampak terhadap peningkatan debit puncak masing-masing sebesar 6 dan 10% dibandingkan kontrol.

Komposisi luas penggunaan lahan yang optimal di DAS Separi adalah skenario 3 dengan luas penggunaan lahan hutan sebesar 54% (12.574,77 ha), kebun/ladang 1,9% (443,64 ha), lahan terbuka 0,06% (13,25 ha), pemukiman 0,12% (28,38 ha), persawahan 0,5% (116,47 ha), semak belukar 42% (9.725,93 ha), dan tambang batubara 1,99% (463,92 ha). Pemilihan skenario 3 ini didasarkan pada pertimbangan bahwa skenario 3 dapat menurunkan debit puncak (Q_p) dan memperlambat waktu menuju debit puncak (t_p), sehingga berdampak pada biaya, waktu, dan tenaga yang digunakan dalam pelaksanaan kegiatan lebih murah, dan peluang keberhasilan lebih tinggi dibandingkan dengan skenario 1 dan 2.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Debit puncak (rasio Q_p /luas DAS) pada DAS yang didominasi tanah bertekstur lempung lebih tinggi 48% dibandingkan DAS yang didominasi tekstur tanah pasir dan 54% dibandingkan DAS yang didominasi tekstur tanah liat. Untuk waktu menuju debit puncak DAS yang didominasi oleh tekstur tanah liat memiliki waktu menuju debit puncak yang lebih cepat 46 menit dibandingkan dengan DAS yang didominasi oleh tekstur tanah lempung dan 202 menit dibandingkan dengan DAS yang didominasi tekstur tanah pasir.
2. Model pendugaan banjir berbasis karakteristik lahan (jenis penggunaan lahan dan tanah) dan geomorfologi DAS dapat digunakan untuk memprediksi debit puncak (Q_p) dan waktu menuju debit puncak (t_p) dengan hasil mendekati pengukuran di lapangan dan memiliki tingkat akurasi tinggi ($F > 85\%$).

3. Hasil analisis sensitivitas perubahan penggunaan lahan hutan 1% dan semak belukar 94% menjadi 54% untuk hutan dan 42% semak belukar berdampak terhadap penurunan debit puncak (Q_p) 23% dan memperlambat waktu menuju debit puncak (t_p) 1,8 jam. Luas jenis penggunaan lahan optimal di DAS Separi adalah skenario 3 dengan luas hutan 54%, kebun/ladang 1,9%, pemukiman 0,12%, persawahan 0,5%, semak belukar 42%, dan tambang batubara 1,99% dari total luas DAS Separi, dan pemilihan skenario 3 ini didasarkan pada pertimbangan bahwa skenario 3 dapat menurunkan debit puncak (Q_p) dan memperlambat waktu menuju debit puncak (t_p), sehingga dapat menurunkan biaya, waktu, dan tenaga, serta berpotensi keberhasilan yang lebih tinggi.

Saran

1. Penerapan model pendugaan banjir (debit puncak dan waktu menuju debit puncak) berbasis karakteristik lahan dan geomorfologi DAS untuk DAS/Sub DAS yang lainnya, sebaiknya dilakukan penyesuaian dalam pemodelan fungsi produksi (perhitungan kapasitas intersepsi tanaman dan infiltrasi tanah), dan untuk pemodelan fungsi transfer sebaiknya digunakan analisis geospasial baik dalam membatasi luas DAS maupun merekonstruksi jaringan sungai karena sangat terkait dengan tingkat akurasi model.
2. Untuk pengelolaan DAS Separi secara berkelanjutan dalam kaitannya dengan penurunan debit puncak aliran permukaan dan memperlambat waktu menuju debit puncak, serta meningkatkan aliran bawah permukaan (*base flow*), maka rehabilitasi hutan sebaiknya dilakukan di bagian hulu dan tengah dari DAS Separi.

DAFTAR PUSTAKA

- Beasley, D.B. and D L.F. Huggins. 1991.** ANSWERS (Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation) : User's Manual. Second Edition. Agricultural Engineering Departement Publication No. 5. US Environmental Protection Agency.
- Bedient, P.B. dan W.C. Huber. 1992.** Hydrology and Floodplain Analisis. Addison-Wesley Publishing Company. Pp 44-67.
- Beven, K.J. and M.J. Kirkby. 1979.** A physically based variable contributing area model of basin hydrology. Hydrological Sciences Bulletin 24(1):43-69.
- De Roo, A.P.J., C.G. Wesseling, N.H.D.T. Cremers, R.J.E. Offermans, and K. Van Dostindic. 1999.** LISEM : A new physically based hydrological and soil erosion model in a 615-environment. IAHS Publication No. 224 (Proceeding of the Canberra Conference). Pp 439-448.
- Direktorat Jenderal Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan, 2001.** Luas lahan kritis akhir pelita VI, serta rencana dan realisasi rehabilitasi lahan tahun 1999/2001. <http://www.dephut.go.id/INFORMASI/STATISTIK/2001.RLPS.htm>. (26 Agustus 2007).
- Direktorat Jenderal Penataan Ruang. 2005.** Perencanaan tata ruang wilayah dalam era otonomi dan desentralisasi. Depkimpraswil. http://www.kimmpraswil.go.id/ditjen_ruang/Makalah.htm. (26 Agustus 2007).
- Irianto, G., P. Perez, and J. Duchesne. 2001.** Modelling the influence of irrigated terraces on the hydrological response of a small basin. Environmental Modelling and Software. 16:31-36.
- Irianto, G., J. Duchesne, and P. Perez. 1999.** Influence of irrigated terraces on the hydrological response of small basin 1: Calibration of the hydraulic model. Pp.189-193. *In* L. Oxley and F. Scrimgeour (Eds.). Part I, Proceeding of International Congress

on Modelling and Simulation. MODSIM 99 Proceedings. Hamilton New Zealand. 6th-9th December 1999.

Kartiwa, B., P. Redjekiningrum, dan Nasrullah. 1997. Pengkajian model simulasi hidrologi SWM IV untuk melihat pengaruh perubahan tata guna lahan terhadap debit sungai: Studi kasus di Sub DAS Cisadane Hulu. *Jurnal Tanah dan Iklim* 15:27-38.

Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniry, and J.R. Williams. 2001. Soil and water assessment tool theoretical documentation: Version 2000.

Grassland, Soil and Water Research Lab. ARS and Blackland Research Center, Pp. 68-69.

Teixeira, J.L. 2005. Statistical analysis of weather data sets 1. Instituto Superior de Agro., Lisbon, Portugal. www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e01.htm.

USACE. 2000. Hydrologic Engineering Center: Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Technical Reference Manual. March 2000. www.usace.army.mil.