

Model Hidrologi DAS Aih Tripe Hulu untuk Prediksi Banjir dan Kekeringan

Hydrological Model of Upstream Aih Tripe Watershed for Drought and Flood Prediction

NASRULLAH DAN B. KARTIWA¹

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik biofisik DAS Aih Tripe Hulu serta memprediksi karakteristik debit Sungai Aih Tripe berdasarkan aplikasi model hidrologi. Model yang digunakan adalah model H2U yang dimodifikasi untuk mensimulasi model debit sesaat dan model GR4J yang digunakan untuk mensimulasi debit harian. DAS Aih Tripe Hulu memiliki karakteristik luas 1.115,2 km², bentuk DAS sangat memanjang (Indeks Gravelius 4,31), panjang ekuivalen (L) 252,40 dan lebar ekuivalen (l) 4,42, pola aliran paralel, memiliki order sungai maksimum 5 dan kerapatan jaringan 1,37 m m⁻², indeks kemiringan global (lg) 2,0 dan beda tinggi spesifik (Hg) sebesar 0,06. Hasil simulasi debit sesaat pada musim kemarau menunjukkan: debit maksimum sesaat 364,8 m³ detik⁻¹ dengan *time to peak* (waktu debit puncak) 4 jam dan intensitas hujan maksimum 29 mm jam⁻¹, curah hujan 45,9 mm, durasi 5 jam. Pada musim hujan, debit maksimum 605,2 m³ detik⁻¹ dengan *time to peak* 2 jam, dan intensitas maksimum 40,8 mm jam⁻¹, curah hujan 73,2 mm dengan durasi selama 7 jam. Simulasi Debit Harian, debit maksimum absolut harian pada saat El Nino mencapai 131,4 m³ detik⁻¹ (30 September) dan debit minimum absolut harian mencapai 8,2 m³ detik⁻¹ (31 Maret). Simulasi debit harian saat La Nina dengan intensitas lemah (Januari-Maret 1996), debit maksimum absolut harian mencapai 328,3 m³ detik⁻¹ (11 Desember) dan debit minimum absolut harian sebesar 8,5 m³ detik⁻¹ (5 Oktober).

Kata kunci : *Model hidrologi, DAS Aih Tripe Hulu, Pendugaan risiko banjir dan kekeringan*

ABSTRACT

The objectives of this research is to analyze biophysical characteristics of Upstream Aih Tripe Watershed and to predict discharge characteristic of Aih Tripe River based on hydrological models application. Modified H2U model is applied to predict instantaneous discharge, meanwhile GR4J model is applied to predict daily discharge. Upstream Aih Tripe characteristics are, 1,115.2 km² wide, stretch watershed type (Gravelius index 4.31), equivalent length (L) 252.40 and equivalent width (l) 4.42, parallel drainage pattern, maximum river order is 5 and drainage density 1.37 m m⁻², global slope index (lg) 2.0 and specific high different (Hg) 0.06. Instantaneous discharge simulation results at dry season are: instantaneous maximum discharge is 364.8 m³ s⁻¹ and time to peak 4 hours, rainfall maximum intensity is 29 mm hour⁻¹, rainfall is 45.9 mm with duration 5 hours. In rainy season, maximum discharge is 605.2 m³ s⁻¹ and time to peak 2 hours, rainfall maximum intensity is 40.8 mm hour⁻¹, rainfall is 73.2 mm with duration 7 hours. Maximum discharge during El Nino condition is 131.4 m³ s⁻¹ (30 September) and minimum discharge is 8.2 m³ s⁻¹ (31 March). Discharge simulation during La Nina,

maximum discharge is 328.3 m³ s⁻¹ (11 December) and minimum discharge is 8.5 m³ s⁻¹ (5 October).

Keywords : Hydrological model, Upstream Aih Tripe Watershed, Drought and flood prediction.

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggungan gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama (Asdak, 2002). Pemanfaatan sumberdaya alam pada suatu DAS secara garis besar dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu pemanfaatan sumberdaya tanah (lahan) dan pemanfaatan sumberdaya air. Pemanfaatan sumberdaya lahan dalam suatu DAS meliputi pertanian, hutan, perkebunan, perikanan, pertambangan, dan lain-lain. Sedangkan pemanfaatan sumberdaya air diperuntukkan bagi suplai air irigasi, suplai air minum, PLTA, suplai air industri, dan lain-lain. Agar dapat dimanfaatkan berkelanjutan, maka sumberdaya dalam suatu DAS harus dikelola secara optimal.

Secara alamiah, air akan terdistribusi secara merata dalam suatu DAS. Adanya gangguan manusia berupa pembangunan fisik yang mengubah penggunaan lahan menyebabkan perubahan dalam pendistribusian air. Perubahan penggunaan lahan di suatu DAS dapat berdampak positif maupun negatif terhadap lingkungan. Penggunaan lahan dari hutan menjadi lahan pertanian dan dari lahan yang berpenutup vegetasi (*vegetated land*) menjadi berpenutup non vegetasi (*non vegetated land*) pada DAS cenderung meningkat intensitasnya menurut

1. Peneliti pada Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor.

ruang dan waktu sebagai konsekuensi logis dari aktifitas pembangunan. Pengaruh negatif dari peningkatan intensitas alih fungsi lahan tersebut adalah buruknya kondisi hidrologis DAS, yang antara lain meningkatnya debit puncak, fluktuasi debit antar musim, koefisien aliran permukaan, yang pada akhirnya terjadi banjir dan kekeringan. Adanya aliran permukaan yang meningkat, mencirikan adanya perubahan respon hidrologis DAS. Respon hidrologis sebagai indikator dari kondisi kerusakan suatu DAS, yang selanjutnya menjadi dasar untuk mengantisipasinya. Bila kondisi demikian dapat diketahui secara cepat, maka antisipasi kerusakan yang lebih parah dan solusi perbaikannya dapat segera diketahui dan dilakukan. Dengan melakukan pemantauan dan evaluasi perubahan tipe penutupan lahan serta mempelajari dampak yang ditimbulkannya terhadap karakteristik debit, maka masalah kerusakan DAS dapat dideteksi dan diantisipasi secara dini, sehingga risiko yang mungkin terjadi dapat diminimalkan.

Aliran sungai pada sistem keluaran/titik pelepasan (*outlet*) sangat dipengaruhi oleh karakteristik curah hujan dan kondisi biofisik DAS. Menurut Llamas (1993), karakteristik biofisik mencakup geometri (ukuran, bentuk, kemiringan DAS), morfometri (ordo sungai, kerapatan jaringan sungai, rasio percabangan, rasio panjang), pedologi dan geologi, serta tutupan lahan. Dari kelima penciri biofisik tersebut, tipe penutupan lahan merupakan satu-satunya parameter yang dapat mengalami perubahan secara cepat dan memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik debit. Dengan demikian masukan ke dalam suatu DAS dapat dioptimalkan menjadi suatu keluaran yang baik dengan mengatur kondisi biofisik dari DAS tersebut.

Untuk mengetahui perubahan penutupan lahan yang terjadi secara cepat, dilakukan dengan cara memanfaatkan aplikasi teknologi penginderaan jauh berdasarkan data spasial citra satelit yang runut waktu. Penggunaan citra satelit, dapat mendelineasi penggunaan lahan secara cepat dan lebih akurat, serta dapat dilakukan dalam periode waktu yang teratur.

Pemasangan alat duga muka air otomatis di *outlet* Aih Tripe dapat digunakan untuk mengkuantifikasi aliran permukaan/debit sesaat dalam satu episode hujan. Data debit tersebut dapat digunakan untuk memvalidasi model prediksi aliran permukaan yang dibangun berdasarkan karakteristik biofisik DAS. Sementara itu dengan analisis citra satelit dapat dipantau terjadinya perubahan penutupan lahan secara cepat. Model prediksi debit yang dihasilkan dan penggunaan lahan yang dapat terpantau dengan cepat, dapat digunakan sebagai dasar acuan pengelolaan DAS untuk mitigasi banjir dan kekeringan yang dapat dilakukan melalui modifikasi parameter biofisik DAS.

Penyebab utama gangguan pada ekosistem DAS adalah manusia dan bencana alam. Apabila fungsi dari suatu DAS terganggu, maka sistem hidrologis akan terganggu, penangkapan curah hujan, resapan dan penyimpanan airnya menjadi sangat berkurang atau sistem penyalurannya menjadi sangat boros. Kondisi ini akan menyebabkan melimpahnya air di musim hujan dan kekurangan air di musim kemarau, kondisi yang sama juga akan menyebabkan perbedaan yang tajam antara debit sungai saat musim hujan dan kemarau sebagai indikator rusaknya suatu DAS.

Untuk menanggulangi masalah tersebut, pada tahun 2000, pemerintah telah menetapkan 58 DAS kritis yang memerlukan prioritas penanganan pertama (Soenarno, 2001 *dalam* Suripin, 2002) dimana kriteria kritis ditetapkan atas dasar:

1. DAS yang hidro-orologisnya kritis, ditandai oleh rendahnya prosentase penutupan lahan, tingginya laju erosi tahunan, dan besarnya nisbah debit sungai maksimum (musim hujan) dan debit minimum (musim kemarau) serta kandungan lumpur yang berlebihan.
2. Urgensi perlindungan investasi yang telah, sedang atau akan dibangun secara vital dengan investasi besar di daerah hilirnya, antara lain waduk, bendung, dan bangunan pengairan lainnya.

3. Daerah yang rawan terhadap banjir dan kekeringan.
4. Daerah perladangan berpindah atau daerah dengan penggarapan tanah yang merusak tanah dan lingkungan.
5. Daerah dimana tingkat pendapatan penduduk rendah, tingkat kesadaran masyarakat terhadap pelestarian sumberdaya alam rendah.
6. Daerah dengan kepadatan penduduk tinggi.

Tujuan jangka pendek dari penelitian ini adalah: (1) Menganalisis karakteristik biofisik DAS Aih Tripe Hulu, dan (2) Memprediksi karakteristik debit Sungai Aih Tripe berdasarkan aplikasi model hidrologi. Sedangkan tujuan jangka panjang adalah mengembangkan suatu sistem informasi hidrologi DAS Aih Tripe Hulu untuk pengelolaan DAS yang berkelanjutan.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan lokasi pelaksanaan

Waktu pelaksanaan pada bulan April sampai Maret 2005 di DAS Aih Tripe Hulu, Kecamatan Terangun, Bukit Gaib, Blangjerango, Kutapanjang, dan Blangkejeren, Kabupaten Gayo Luwes, Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam.

Bahan dan peralatan

Bahan yang digunakan meliputi:

1. Peta Digital Rupa Bumi Indonesia (RBI) skala 1:50.000 wilayah DAS Aih Tripe Hulu.
2. Citra Satelit landsat TM tahun 2000 dan 2003.
3. Data hujan/iklim harian 10 tahun terakhir kalau tersedia.
4. Stasiun *Automatic Water Level Recorder* (AWLR) tipe ENERCO buatan CIMEL.
5. Konstruksi tiang penyangga sensor AWLR dan pagar pelindung *data logger*.

Peralatan yang digunakan terdiri atas:

1. Perangkat pengukur kecepatan aliran sungai (*Current Meter*).
2. Digital Theodolit.
3. Perangkat sistem informasi geografi (SIG), untuk membuat peta dalam format digital.

Metode penelitian

Pengukuran tinggi muka air

Pengukuran tinggi muka air secara otomatis dilakukan dengan memasang alat pengukur permukaan air otomatis AWLR untuk memperoleh data debit kontinyu (interval 6 menit atau jam-jaman), dengan melakukan pra survei lokasi terlebih dahulu dengan mempertimbangkan hal-hal sebagai berikut:

1. Titik lokasi alat tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut ataupun fluktuasi tinggi muka air yang terjadi pada depresi alami (danau).
2. Bentuk sungai pada titik lokasi alat relatif lurus sehingga ideal untuk pengukuran kecepatan aliran.
3. Lokasi mudah dijangkau dan secara teknis memungkinkan dibangun konstruksi penyangga sensor AWLR.

Lalu dilakukan pengukuran topografi (penampang profil sungai) dengan theodolit, pengukuran kecepatan aliran (arus) sungai dengan *current meter* guna mengetahui kurva lengkung debit (*rating curve*) yang digunakan untuk mentransformasi data tinggi muka air hasil pengukuran stasiun AWLR dalam satuan meter, menjadi data debit dalam satuan $m^3 \text{ detik}^{-1}$. Karakteristik biofisik DAS diidentifikasi berdasarkan pengukuran dan perhitungan peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:50.000. Hasil berupa informasi tentang karakteristik geometrik, morfometrik, dan pedologi DAS.

a. *Karakteristik geometrik*

1. Luas dan keliling DAS.
2. Bentuk DAS yang dideskripsikan dengan koefisien gravelius (K_c). Jika nilai K_c kurang dari sampai dengan 1 maka bentuk DAS adalah bulat, nilai K_c 1,15-1,2, bentuk DAS adalah persegi sedangkan nilai K_c 1,8 sangat memanjang.

$$K_c = P/2 \sqrt{(\pi S)}$$

dimana:

P = Keliling DAS, S = Luas DAS

3. Persegi Ekuivalen/persegi Gravelius (Roche, 1963) untuk membandingkan karakteristik aliran dari dua DAS yang berbeda. Menurut Roche sebuah DAS dapat dianggap merepresentasikan bentuk persegi disebut persegi ekuivalen. Titik keluaran DAS ada pada sisi lebar persegi ekuivalen dan garis kontur sejajar terhadap sisi tersebut.

Jika L dan I masing-masing adalah panjang dan lebar persegi ekuivalen, maka korelasi antara keliling P , luas S dan Indeks Gravelius K_G berupa persamaan berikut:

$$L = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \cdot \left[1 + \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right]$$

$$I = \frac{K_G \sqrt{S}}{1,12} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{1,12}{K_G} \right)^2} \right]$$

dimana:

L = Panjang persegi ekuivalen (km)

I = Lebar persegi ekuivalen (km)

K_G = Indeks Gravelius

S = Luas DAS (km^2)

4. Indeks kemiringan global, indeks yang mengkarakterisasi relief suatu DAS.

$$I_g = \frac{[H_{(95\%)} - H_{(5\%)}]}{L}$$

dimana:

I_g = Indeks kemiringan global (m km^{-1}).

$H_{(95\%)}$ = Ketinggian pada daerah yang merepresentasikan 95% luas DAS (m).

$H_{(5\%)}$ = Ketinggian pada daerah yang merepresentasikan 5% luas DAS (m).

L = Panjang persegi ekuivalen (km).

5. Beda tinggi spesifik, merupakan nilai indeks kemiringan global dengan mempertimbangkan luas DAS:

$$H_s = \frac{I_g}{\sqrt{S}}$$

b. *Karakteristik morfometrik*

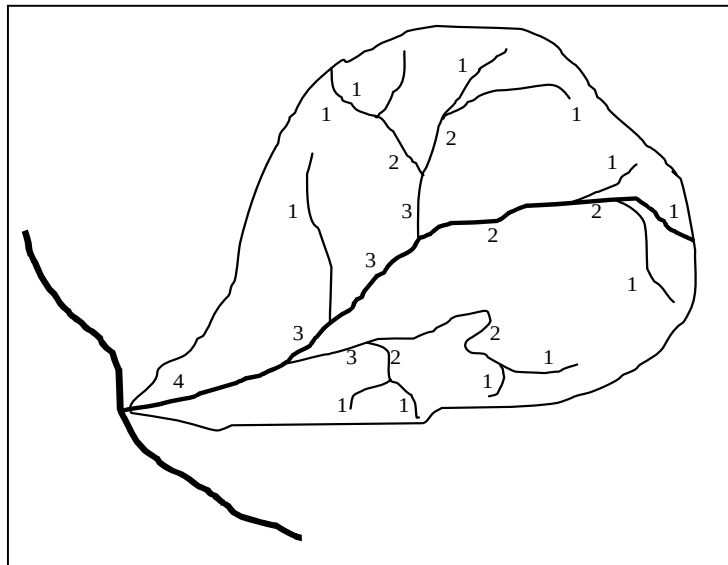
1. Identifikasi tipe jaringan sungai terdiri atas: dendritik, paralel, atau radial.
2. Klasifikasi order sungai (Strahler, 1964). Order sungai merupakan tingkat kerapatan jaringan sungai suatu DAS. Penentuan order menurut kaidah berikut:
 - Order pertama adalah awal aliran yang tidak memiliki cabang sungai.
 - Apabila dua aliran dari order ω bergabung akan terbentuk order $\omega + 1$.
 - Apabila dua aliran dari order yang berbeda bergabung akan membentuk aliran sama dengan order yang lebih besar (Gambar 1).
3. Kerapatan jaringan sungai, merepresentasikan kerapatan jaringan:

$$D = \frac{L}{S}$$

dimana:

L = Panjang total jaringan sungai (m)

S = Luas (km^2)



Gambar 1. Sistem order sungai menurut Strahler (1964)

Figure 1. River order system by Strahler (1964)

Analisis citra satelit dan perubahan penutup lahan

Analisis citra satelit dilakukan oleh Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, dan Pusdata LAPAN. Analisis perubahan penutup lahan melalui analisis multi temporal, yang diamati pada tahun 2000 dan 2003, serta perubahan yang terjadi. Tahapan analisis citra satelit untuk menentukan perubahan lahan disajikan pada Gambar 2.

Klasifikasi penutup lahan menggunakan klasifikasi menurut Tom Balsem dan Buurman (1989) dalam Ditjen RRL (1998). Menurut klasifikasi tersebut, terdapat 12 kelas utama yaitu tegalan, sawah, perladangan perpindahan, padang rumput, perkebunan, semak, wanatani, reboisasi, hutan, air, tandus, dan pemukiman.

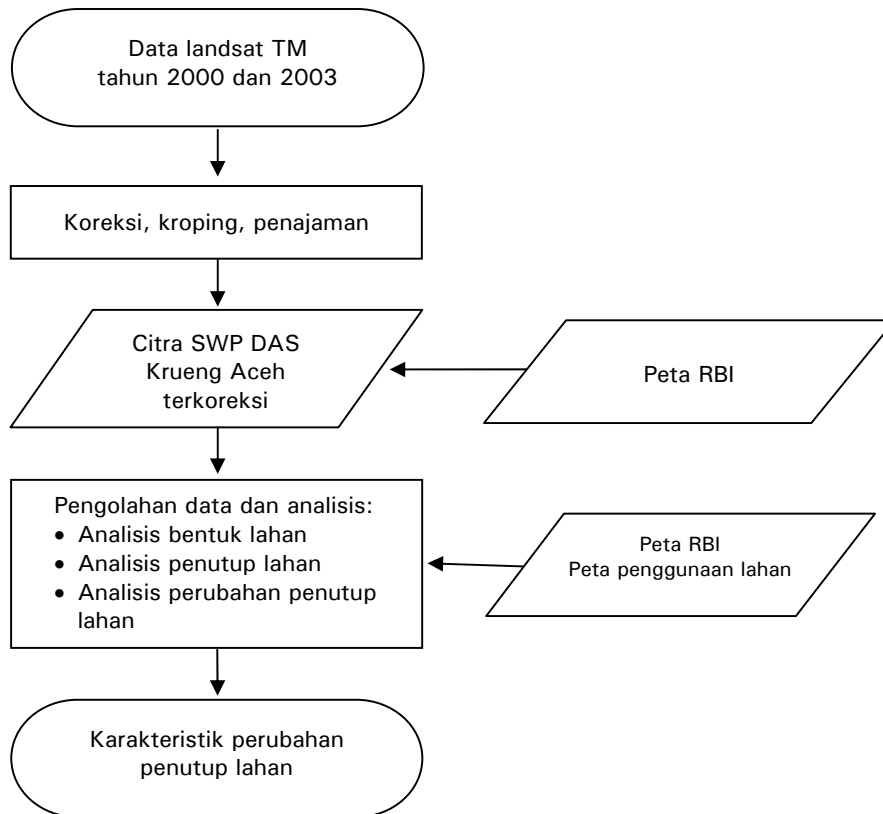
Prediksi karakteristik hidrologis DAS berdasarkan aplikasi model hidrologi

Karakteristik hidrologis suatu DAS digambarkan oleh fluktuasi debit, baik menurut interval sesaat dalam (menit atau jam) maupun interval harian. Gambaran kondisi hidrologi suatu DAS yang tidak memiliki stasiun pengamat debit dapat diidentifikasi berdasarkan aplikasi suatu model hidrologi.

a. Fluktuasi debit sesaat

Fluktuasi debit sesaat direpresentasikan oleh kurva hidrograf debit yang merupakan gambaran respon dari suatu kejadian hujan sesaat dengan interval waktu t . Untuk mensimulasi debit sesaat, digunakan aplikasi model H2U (Kartiwa, 2004). Model ini dikembangkan laboratorium hidrologi, *Ecole Nationale Supérieure Agronomique* (ENSA) Rennes (Duchesne and Cudennec, 1998) berdasarkan teori hidrograf satuan (Sherman, 1932) dan merupakan pengembangan lebih lanjut konsep HUIG menurut Rodriguez-Iturbe dan Valdes (1979) yang menyatakan bahwa hidrograf satuan dapat diturunkan dari fungsi kerapatan probabilitas (*Probability Density Function*/PDF) waktu tempuh setiap butir hujan dari titik jatuhnya di permukaan DAS sampai titik pelepasan (*outlet*).

Model H2U menghitung kurva PDF butir hujan berdasarkan dua parameter yang dapat dihitung secara mudah pada peta jaringan sungai yaitu n , order sungai maksimum menurut Strahler (1964) dan L rata-rata, yaitu panjang rata-rata jalur aliran air. Pada versi terbarunya (Kartiwa, 2004), proses hidrologi dibagi dalam jaringan sungai (*drainage network*) dan lereng (*hill slope*), dan dengan demikian perhitungan PDF ditentukan dengan model berikut:



Gambar 2. Analisis citra multi temporal untuk karakterisasi perubahan penutup lahan

Figure 2. Multi temporal citra analysis for characterization of land use change

$$\rho_{RH}(t) = \left(\frac{n \cdot \overline{V_{RH}}}{2 \cdot \overline{L}} \right)^{\frac{n}{2}} \cdot \frac{1}{\Gamma\left(\frac{n}{2}\right)} \cdot t^{\frac{n}{2}-1} \cdot e^{-\frac{n \cdot \overline{V_{RH}} \cdot t}{2 \cdot \overline{L}}}$$

$$\rho_v(t) = \frac{\overline{V_v}}{\overline{I_o}} \cdot e^{-\frac{\overline{V_v} \cdot t}{\overline{I_o}}}$$

$\overline{V_v}$ = Kecepatan aliran rata-rata pada lereng
 $\overline{I_o}$ = Panjang rata-rata jalur hidraulik pada lereng
 t = Interval waktu

b. Fluktuasi debit harian

Fluktuasi debit harian Sungai Aih Tripe akan disimulasi menggunakan model GR4J. Model ini merupakan model debit yang sederhana, dapat diandalkan, serta merupakan model global dengan interval waktu harian yang hanya membutuhkan empat parameter (Perrin, 2002). Struktur model GR4J dikembangkan berdasarkan pendekatan empiris dan telah melalui pengujian pada DAS dengan

$\rho_{RH}(t)$ = PDF jaringan sungai sebagai fungsi waktu t
 n = Order maksimum DAS
 $\overline{V_{RH}}$ = Kecepatan aliran rata-rata pada jaringan sungai
 $\overline{L}$ = Panjang rata-rata jalur hidraulik pada jaringan sungai
 Γ = Fungsi gamma
 $\rho_v(t)$ = PDF lereng sebagai fungsi waktu t

berbagai kondisi beragam. Studi perbandingan dengan model sejenis yang dilakukan Perrin *et al.* (2003), menunjukkan bahwa model GR4J memiliki kualitas simulasi relatif lebih baik, sekalipun hanya membutuhkan empat parameter untuk dioptimasi.

Untuk mensimulasi debit harian, model GR4J membutuhkan input data hujan harian dan evapotranspirasi potensial (ETP) harian, serta empat parameter model yang dibangkitkan saat validasi. Keempat parameter tersebut meliputi:

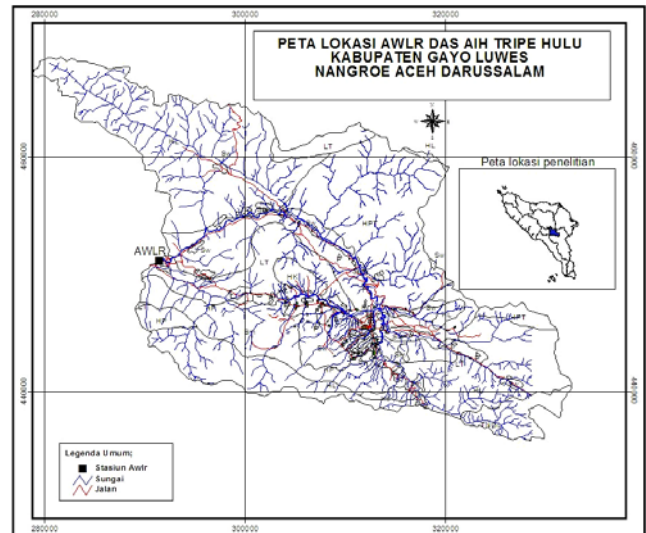
- X_1 = Kapasitas maksimum simpanan produksi (*maximum capacity of the production store*).
- X_2 = Koefisien tukar air (*water exchange coefficient*).
- X_3 = Kapasitas maximum simpanan pengalihan (*maximum capacity of the routing store*).
- X_4 = Waktu dasar hidrograf satuan (*time base of unit hydrograf*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi wilayah DAS Aih Tripe Hulu

Secara administratif, DAS Aih Tripe Hulu termasuk ke dalam wilayah Kecamatan Terangun, Bukit Gaib, Blangjerango, Kutapanjang, dan Blangkejeren, Kabupaten Gayo Luwes, Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam. Letak geografis pada 03°52'50"-04°15'40" LU dan 97°1'30"-97°31'40" BT (Gambar 3).

Air Sungai Aih Tripe berasal dari gunung-gunung di sekitar Blangkejeren yang merupakan hulu sungainya, dan mengalir melewati Kecamatan Kuta Panjang, Blangjerango, dan Terangun, dan terus menuju daerah yang lebih rendah. Hulu anak sungai lainnya yang cukup besar, berasal dari dataran tinggi Linge dan Rikip Gaib yang berupa kawasan hutan lindung. Di bagian lembah dari gunung-gunung yang memanjang dari Linge sampai Rikip Gaib mengalir anak Sungai Aih Tripe yang bersatu dengan aliran Sungai Aih Tripe yang berasal dari gunung-gunung di sekitar Blangkejeren di Rikip Gaib.



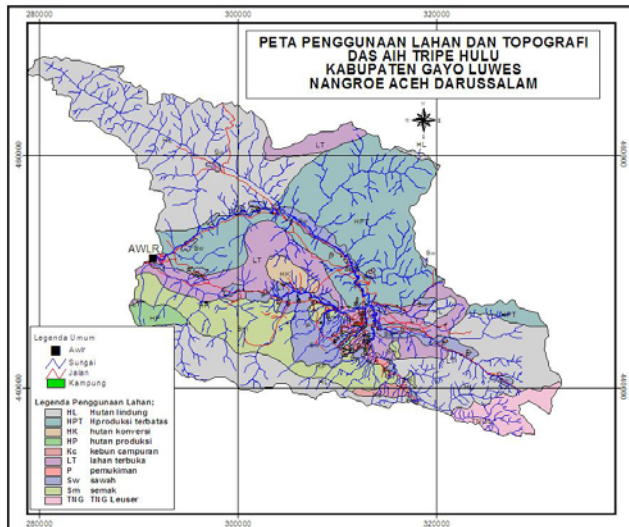
Gambar 3. Peta lokasi penelitian sub DAS Aih Tripe Hulu dan lokasi AWLR

Figure 3. Location map of Upstream Aih Tripe Watershed and AWLR

Penggunaan lahan sub DAS Aih Tripe Hulu

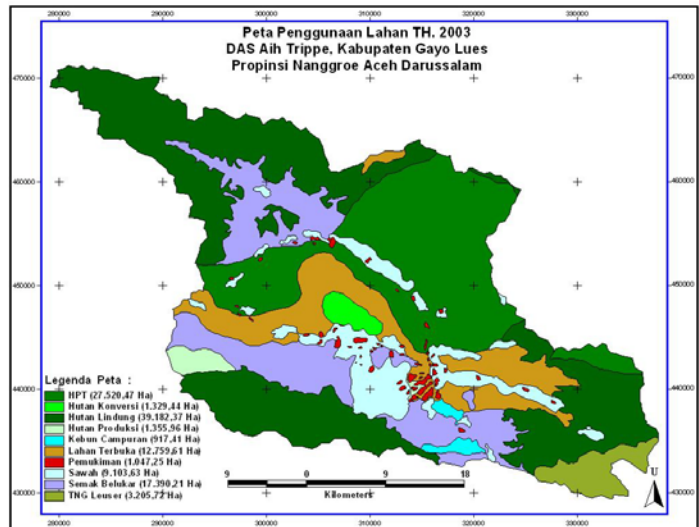
Berdasarkan hasil interpretasi Citra Satelit Landsat TM tahun 2000, penggunaan lahan di DAS Aih Tripe didominasi kawasan hutan, meliputi hutan lindung, hutan produksi terbatas, hutan konversi, dan hutan produksi. Penggunaan lahan lainnya berupa kebun campuran dengan luasan sempit (0,82%), sawah (8,38%), semak belukar (9,59%), lahan terbuka (9,95%), dan pemukiman (0,86%) serta termasuk Taman Nasional Gunung Leuser (2,87%).

Berdasarkan kondisi penggunaan lahan tahun 2000, luasan hutan mencapai 67,56 ha, maka secara teoritis DAS Aih Tripe Hulu dikategorikan masih cukup baik. Hutan yang dipertahankan > 60% dari seluruh kawasan DAS, ini dapat menyangga kondisi tata air yang ada. Karakteristik aliran permukaan lebih terjamin, maka kondisi debit puncak tidak akan terlalu berbeda dengan debit minimum. Selain itu, waktu respon yang akan terjadi menunjukkan semakin lama. Kondisi sebaliknya akan terjadi untuk wilayah yang didominasi oleh wilayah urban, nilai tersebut akan meningkat berturut-turut pada lahan yang didominasi oleh lahan padang rumput, pertanian, dan urban.



Gambar 4. Peta penggunaan lahan sub DAS Aih Tripe Hulu tahun 2000

Figure 4. Land use map of Upstream Aih Tripe Watershed in 2000



Gambar 5. Peta penggunaan lahan sub DAS Aih Tripe Hulu tahun 2003

Figure 5. Land use map of Upstream Aih Tripe Watershed in 2003

Tabel 1. Perubahan penggunaan lahan di sub DAS Aih Tripe Hulu

Table 1. Land use change in Upstream Aih Tripe Watershed

Penggunaan lahan	Luas tahun 2000	Luas tahun 2003	Penurunan/ peningkatan luas*	Penurunan/ peningkatan luas terhadap DAS	Penurunan/peningkatan luas terhadap luas sebelumnya
	ha			%	
Hutan produksi terbatas	46.004	27.520	- 18.484	16,24	40,18
Hutan konversi	28.099	1.329	- 26.770	23,52	95,27
Hutan lindung	1.356	39.182	37.826	33,24	2.789,53
Hutan produksi	1.386	1.356	- 30	0,03	2,16
Kebun campuran	936	917	- 19	0,02	2,03
Lahan terbuka	11.329	12.760	1.431	1,26	12,63
Pemukiman	979	1.048	69	0,06	7,05
Persawahan	9.541	9.104	- 438	0,38	4,59
Semak belukar	10.910	17.390	6.480	5,69	59,40
Taman Nasional G. Leuser	3.272	3.206	- 66	0,06	2,02
Jumlah	113.812	113.812			

Keterangan *) : - = penurunan luas; + = peningkatan luas 2789.53

Kondisi alih fungsi lahan yang terjadi di sub DAS Aih Tripe Hulu, dapat diketahui melalui analisis penggunaan lahan berdasarkan Citra Landsat tahun 2003. Hasil analisis citra menunjukkan terjadi alih fungsi lahan yang cukup mengkhawatirkan. Gambaran yang terjadi, dapat dilihat pada Gambar 5 dan Tabel 1.

Berdasarkan Tabel 1, hutan produksi terbatas menurun seluas 18.484 ha atau 16,24% dari luas

sub DAS (40,18% luas hutan produksi ada pada tahun 2000). Hutan konversi menurun seluas 26.770 ha (23,52% luas sub DAS) atau (95,27% luas hutan konversi pada tahun 2000). Berbeda dengan penurunan hutan produksi terbatas dan hutan konversi, luas hutan lindung meningkat sangat luas yaitu seluas 37.826 ha (33,24% luas sub DAS) atau (2.789,53%) luas hutan lindung pada tahun 2000). Hutan produksi menurun seluas 30 ha

(0,03% luas sub DAS) atau (2,16% luas hutan produksi pada tahun 2000). Luas kebun campuran menurun seluas 19 ha (0,02% luas sub DAS) atau (2,03% luas kebun campuran pada tahun 2000). Keadaan lahan terbuka yang terjadi pada tahun 2003 cukup mengkhawatirkan, terjadi perluasan lahan terbuka seluas 1.431 ha (1,26% luas lahan terbuka pada tahun 2000) atau (12,63% luas lahan terbuka tahun 2000). Pemukiman terjadi peningkatan seluas 69 ha (0,06% luas sub DAS dan 7,05% dari luas tahun 2000). Sawah yang ada pada tahun 2003 menurun luasnya seluas 438 ha (0,38% luas sub DAS) atau (4,59% luas tahun 2000). Peningkatan luas semak belukar cukup mengkhawatirkan, terjadi penambahan luas sebesar 6.480 ha (5,69% luas sub DAS) atau (59,40% luas semak belukar tahun 2000). Demikian juga untuk Taman Nasional Gunung Leuser, terjadi penurunan seluas 66 ha (0,06% luas sub DAS) atau (2,02 ha luas pada tahun 2000).

Untuk validasi hasil interpretasi Citra Landsat dan ketinggian tempat dari peta Topografi, pada beberapa tempat dilakukan *ground check* penggunaan lahan. Hasilnya menunjukkan bahwa pada posisi geografi 4°3'33,7" LU dan 97°8'25,6" BT terdapat sawah, berdekatan dengan kebun campuran dan hutan. Pada posisi 4°3'13,4" LU dan 97°9'26,9" BT pada ketinggian 950 m di atas permukaan laut (dpl) terdapat padang rumput dan lahan terbuka yang setempat-setempat terdapat pohon pinus, dan pada posisi 4°3'06,0" LU dan 97°10'34" BT dengan ketinggian 1.013 m dpl terdapat hutan pinus terbakar cukup luas.

Karakteristik biofisik DAS Aih Tripe Hulu

Luas DAS Aih Tripe Hulu dengan posisi *outlet* di Desa Ketukah, Kecamatan Blangjerango adalah 1.115,2 km². Berdasarkan karakterisasi geometrik, DAS Aih Tripe termasuk berukuran besar (>1.000 km²) berbentuk sangat memanjang yang dicirikan oleh Indeks Gravelius 4,31 dengan panjang ekuivalennya (L) 252,40 serta lebar ekuivalennya (l) 4,42.

valennya (L) 252,40 serta lebar ekuivalennya (l) 4,42.

Dalam ukuran yang sama, antara DAS berbentuk bulat dengan dengan DAS berbentuk memanjang, debit yang dihasilkan dari kejadian hujan pada DAS berbentuk memanjang akan menghasilkan hidrograf dengan debit puncak lebih rendah dan waktu resesi lebih lama. Hal ini terjadi karena akumulasi volume air di titik keluaran DAS saat hujan, tidak terjadi pada waktu yang relatif bersamaan akan tetapi terbagi sepanjang jarak dari titik terjauh DAS sampai dengan *outlet*. Dengan demikian, risiko banjir DAS berbentuk memanjang lebih kecil dibandingkan dengan DAS berbentuk bulat.

Berdasarkan karakterisasi morfometrik, DAS Aih Tripe memiliki pola aliran paralel, memiliki order sungai maksimum 5 (Strahler, 1964) dan kerapatan jaringan 1,37 m m⁻². Pola drainase demikian lebih baik dibandingkan pola dendritik ditinjau dari kecepatan besarnya puncak banjir akan terjadi. Air yang mengalir dari titik terjauh dalam DAS akan lebih lama mencapai *outlet* pada pola drainase paralel. Demikian juga besarnya, air terkumpul lebih sedikit dibandingkan pada pola dendritik.

Daerah aliran sungai Aih Tripe rata-rata berada pada ketinggian 900 m dpl yang mencakup 5% luasan, mulai dari *outlet* atau AWLR yang terpasang. Sementara ketinggian rata-rata DAS Aih Tripe pada wilayah luasan 95% adalah 1.400 m dpl. Berdasarkan data ini, diketahui bahwa DAS Aih Tripe memiliki indeks kemiringan global (Ig) 2,0, dan beda tinggi spesifik (Hg) sebesar 0,06. Dari karakteristik kelerengan juga diketahui bahwa di wilayah ini relatif curam dengan panjang lereng >150 m. Pada umumnya kelerengan yang curam akan menghasilkan volume aliran permukaan dan debit puncak yang besar, kondisi ini disebabkan karena kecepatan aliran permukaan lebih tinggi yang menyebabkan air tidak banyak terinfiltrasi sehingga menambah jumlah aliran permukaan yang terjadi.

Karakteristik kelerengannya di saluran (sungai) akan mempengaruhi besar dan lamanya aliran permukaan. Saluran yang curam akan menghasilkan kecepatan aliran yang lebih tinggi, sehingga menghasilkan waktu debit puncak (*time to peak*) lebih singkat. Sebaliknya, jika kelerengannya saluran relatif landai, maka kecepatan aliran lebih kecil, waktu respon lebih panjang, sehingga periode terjadinya aliran permukaan lebih lama.

Curah hujan

Curah hujan di DAS Aih Tripe memiliki pola III C dengan jumlah rata-rata curah hujan setahun 2.409 mm dan termasuk tipe iklim basah (Tabel 2). Data hujan yang digunakan adalah data stasiun Blangkejeren. Pola hujan III C, memiliki curah hujan antara 2.000-3.000 mm tahun⁻¹ dengan pola ganda. Pola ini terjadi di hampir sepanjang pantai timur Sumatera terutama di Sumatera Utara, Riau, Jambi dan Sumatera Selatan. Pola III C memiliki bulan kering berturut-turut < 4 bulan dengan bulan basah antara 6-8 bulan (Balitklimat dan PJT II, 2003).

Pada daerah berlereng datar sampai berombak, pola hujan III C cocok untuk tanaman pangan, dapat bertanam padi satu kali dan dilanjutkan dengan palawija satu kali. Tetapi seandainya diterapkan pengelolaan air yang tepat, penanaman palawija dapat dilakukan sampai dua kali dengan syarat tanaman yang ditanam tahan kering (tidak terlalu memerlukan banyak air).

Pemasangan automatic water level recorder

Instalasi stasiun pencatat tinggi muka air otomatis AWLR telah dipasang di Sungai Aih Tripe Hulu pada posisi geografis 4°3'33,7" LU dan 97°8'25,6" BT (Gambar 6), dengan ketinggian 726 m dpl. Secara administratif termasuk wilayah Desa Ketukah, Kecamatan Blangjerango, Kabupaten Gayo Luwes.

Tabel 2. Curah hujan bulanan di DAS Aih Tripe Hulu tahun 1995, 1996, dan 1999

Table 2. Monthly of rainfall in Upstream Aih Tripe watershed in 1995, 1996, and 1999

Bulan	Curah hujan		
	1995	1996	1999
	 mm		
Januari	162,0	80,8	404,6
Februari	32,8	275,7	70,4
Maret	150,7	68,5	71,7
April	345,5	425,0	142,1
Mei	186,8	84,5	86,1
Juni	29,4	186,5	207,7
Juli	116,5	40,0	99,3
Agustus	252,0	125,5	184,6
September	584,7	436,5	577,7
Oktober	277,5	184,2	72,1
November	240,6	326,0	-
Desember	209,0	373,4	116,5
Jumlah	2.587,5	2.606,6	2.032,8
Rata-rata	215,6	217,2	169,4



Gambar 6. AWLR di Sungai Aih Tripe Hulu di Desa Ketukah, Kecamatan Langjerango, Kabupaten Gayo Luwes, Nanggroe Aceh Darussalam (NAD)

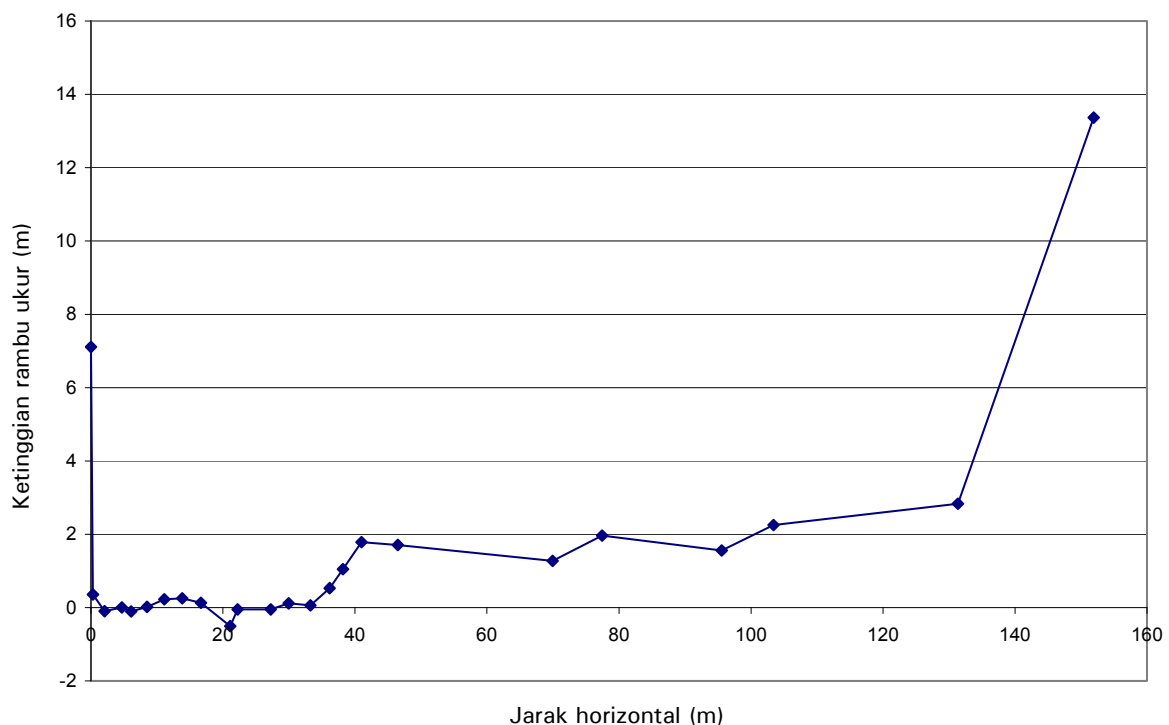
Figure 6. Automatic Water Level Recorder in Upstream Aih Tripe Watershed, Ketukah Village, Langjerango Sub District, Gayo Luwes District, Nanggroe Aceh Darussalam (NAD)

Kurva debit dapat ditentukan melalui pengukuran profil sungai, setelah diketahui arus sungai dan tinggi muka airnya. Pengukuran dimulai dari pinggir sungai (tanggul sungai) bagian kiri, mengukur dasar sungai secara melintang yang diukur setiap 1 m. Arus sungai juga diukur secara melintang yang dilakukan setiap 1 m, prinsipnya, pengukuran arus sungai dilakukan pada beberapa segmen. Dimana pada setiap titik pengamatan dilakukan pada beberapa kedalaman untuk mencari rata-ratanya. Berdasarkan profil melintang sungai, AWLR dipasang di sebelah kiri sungai pada ketinggian sekitar 7 m dari dasar sungai. Sebelah kanan sungai dengan titik tertinggi sekitar 13,5 m adalah kaki bukit. Posisi AWLR yang tinggi (lebih dari 5 m dari dasar sungai) akan aman dari arus sungai yang dapat merusak bila terjadi banjir besar. Hasil pengukuran profil sungai dan kecepatan arus sungai disajikan pada Gambar 7.

Simulasi debit sesaat

Analisis simulasi debit sesaat dilakukan untuk mempelajari karakteristik hidrograf banjir sungai saat terjadi hujan dengan intensitas tinggi. Model yang digunakan dalam simulasi debit sesaat adalah model H2U modifikasi, yang merupakan model debit berbasis teori hidrograf satuan geomorfologi (*geomorphological instantaneous unit hydrograph*). Menurut teori ini, hidrograf satuan dapat diturunkan dari fungsi kerapatan probabilitas (*probability density function*) waktu tempuh butir hujan yang jatuh di permukaan DAS untuk mencapai *outlet*.

Transformasi hujan-aliran permukaan menurut model H2U dibagi menjadi dua proses yang berbeda yaitu fungsi produksi dan fungsi alihan. Fungsi produksi adalah transformasi hujan bruto menjadi hujan neto, sedangkan fungsi alihan mentransformasi curah hujan neto menjadi hidrograf debit pada *outlet* DAS. Untuk menentukan parameter model alihan,



Gambar 7. Profil melintang Sungai Aih Tripe Hulu pada lokasi AWLR

Figure 7. Profile of Upstream Aih Tripe Watershed at AWLR location

telah dilakukan karakterisasi jaringan hidrografik Sungai Aih Tripe, berdasarkan analisis peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:50.000. Analisis meliputi spasialisasi DAS menjadi beberapa unit luasan berbentuk bujur sangkar (grid), pengukuran panjang alur hidrolik serta identifikasi orde sungai maksimum (Strahler, 1964).

Alur hidrolik adalah jalur aliran air yang mengarahkan perjalanan butir hujan dari titik jatuhnya menuju *outlet*. Alur hidrolik pada lereng (disimbolkan l_o) adalah panjang jalur aliran air dari titik pusat grid, tegak lurus garis kontur hingga menuju jaringan hidrografik (sungai), sedangkan alur hidrolik pada jaringan hidrografik (disimbolkan L) adalah panjang jalur aliran air dari titik pertemuan garis l_o dengan sungai hingga menuju *outlet*. Kecepatan aliran pada jaringan hidrografik (V_{RH}) dan pada lereng (V_v) ditetapkan berdasarkan hasil studi literatur serta berdasarkan beberapa data hasil pengukuran di lapangan. Untuk lebih jelasnya parameter-parameter fungsi alihan Model H2U berdasarkan karakterisasi jaringan hidrografik pada Peta Rupa Bumi Indonesia DAS Aih Tripe skala 1:50.000, dirinci pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter fungsi alihan model H2U berdasarkan karakterisasi jaringan hidrografik DAS Aih Tripe

Table 3. Change function parameter of H2U base on hidrographic net characterization of Upstream Aih Tripe Watershed

Parameter model	Simbol	Satuan	Nilai
Panjang alur hidrolik rata-rata pada jaringan hidrografik.	L	m	29.855,4
Panjang alur hidrolik maksimum pada jaringan hidrografik.	L_{maks}	m	64.000,0
Panjang alur hidrolik rata-rata pada lereng.	l_o	m	367,5
Panjang alur hidrolik maksimum pada lereng.	$l_o \text{ maks}$	m	2.250,0
Orde sungai maksimum menurut Strahler.	n	-	5
Luas DAS.	S	ha	111.516,1
Kecepatan aliran pada jaringan hidrografik.	V_{RH}	m detik ⁻¹	1,6
Kecepatan aliran pada lereng.	V_v	m detik ⁻¹	0,5

Penetapan parameter fungsi produksi, dilakukan dengan aplikasi metode sederhana menggunakan aplikasi koefisien aliran permukaan (*runoff coefficient*). Perkalian antara koefisien aliran permukaan dengan curah hujan bruto, menghasilkan curah hujan neto sebagai satu-satunya input model. Nilai koefisien aliran permukaan ditetapkan berdasarkan klasifikasi yang dilakukan oleh SCS-USA (*Soil Conservation Service, United State Department of Agriculture*) (1972). SCS-USA menetapkan nilai koefisien aliran permukaan berdasarkan kemiringan lereng dan karakteristik Kelompok Hidrologi Tanah (*Soil Hydrologic Group*) (Tabel 4).

Tabel 4. Nilai koefisien aliran permukaan (pada berbagai karakteristik kelompok hidrologi tanah (*soil hydrologic group*) dan kemiringan

Table 4. Run off value for many kind of soil hidrological characteristic and sloping

Kode	Karakteristik kelompok hidrologi tanah	Kemiringan		
		0-1	1-6	> 6
		 %		
A	Aliran permukaan potensial rendah, laju infiltrasi tinggi, tanah mengandung pasir atau kerikil, laju transmisi air tinggi.	0,065	0,115	0,155
B	Laju infiltrasi sedang, laju drainase sedang, tanah bertekstur halus hingga kasar, laju transmisi air sedang.	0,095	0,145	0,205
C	Laju infiltrasi rendah, memiliki lapisan penghambat pergerakan air ke bawah, memiliki tekstur halus-sedang hingga halus.	0,135	0,185	0,270
D	Aliran permukaan potensial tinggi, laju infiltrasi sangat rendah, tanah mengandung tekstur liat, memiliki ketebalan air tanah tinggi, memiliki laju transmisi air sangat rendah.	0,175	0,225	0,330

Berdasarkan identifikasi di lapangan, nilai koefisien aliran permukaan DAS Aih Tripe Hulu ditetapkan sebesar 0,205 yang dicirikan kemiringan lereng di atas 6%, laju infiltrasi sedang, laju drainase

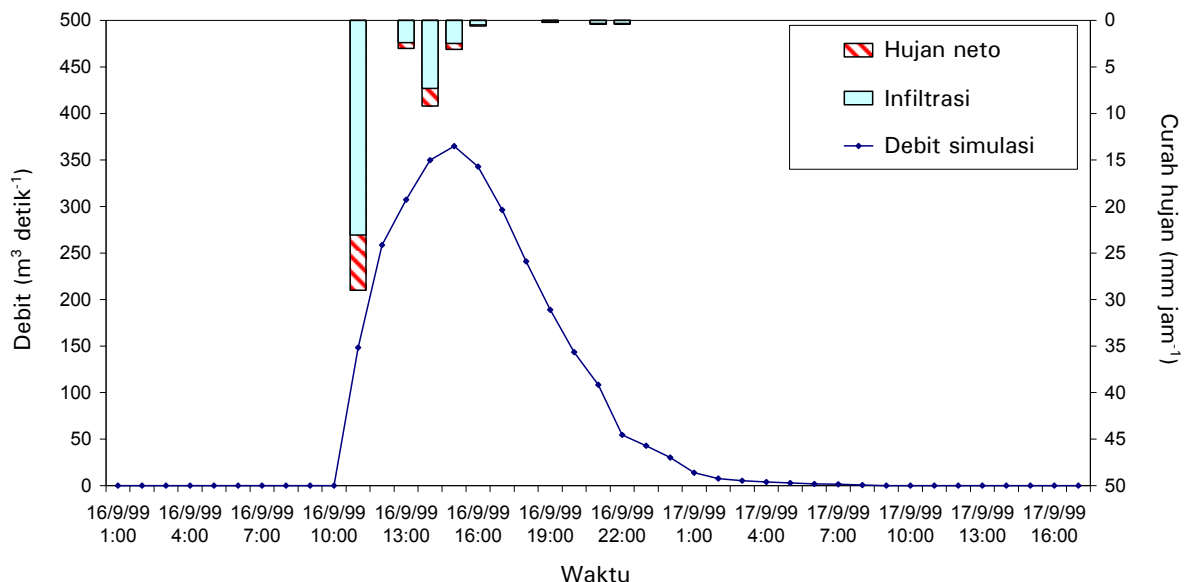
sedang, tanah bertekstur halus hingga kasar, serta laju transmisi air sedang. Hidrograf debit banjir simulasi pada kejadian hujan di musim kemarau (September 1999) dan musim penghujan (Desember 1999), disajikan pada Gambar 8 dan 9. Berdasarkan Gambar 8, debit maksimum akan mencapai $364,8 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ dan akan terjadi setelah 4 jam (*time to peak*) tercapainya intensitas hujan maksimum sebesar 29 mm jam^{-1} . Kondisi demikian terjadi pada kejadian hujan tanggal 16-17 September 1999 dengan curah hujan total sebesar 45,9 mm. Hujan yang terjadi pada tanggal 16 September berdurasi 5 jam, serta membangkitkan produksi aliran permukaan selama 22 jam.

Pada tipe hujan demikian yaitu pada awal hujan terjadi dengan intensitas tinggi (deras) atau puncaknya pada awal hujan akan menyebabkan pencapaian debit puncak (*time to peak*) yang agak lama (4 jam) dengan jarak tempuh terjauh 64 km. Pada kondisi demikian akan sangat membantu dalam mempersiapkan terjadinya debit puncak. Artinya kalau sampai terjadi banjir besar, penduduk mempunyai kesempatan untuk mempersiapkan diri

(mengungsi). Puncak hujan ke dua terjadi setelah hujan berhenti dulu atau sangat kecil, kemudian terjadi hujan lagi dan membentuk puncak hujan ke dua yang lebih rendah dari puncak hujan pertama. Kondisi demikian tidak membahayakan, karena tidak terjadi peningkatan debit puncak lagi yang kedua. Infiltrasi hasil simulasi di DAS menunjukkan kejadian yang bagus, sebanyak 23 mm hujan (79%) meresap ke dalam tanah dan sebanyak 6 mm (21%) mengalir sebagai aliran permukaan yang selanjutnya akan menjadi debit puncak.

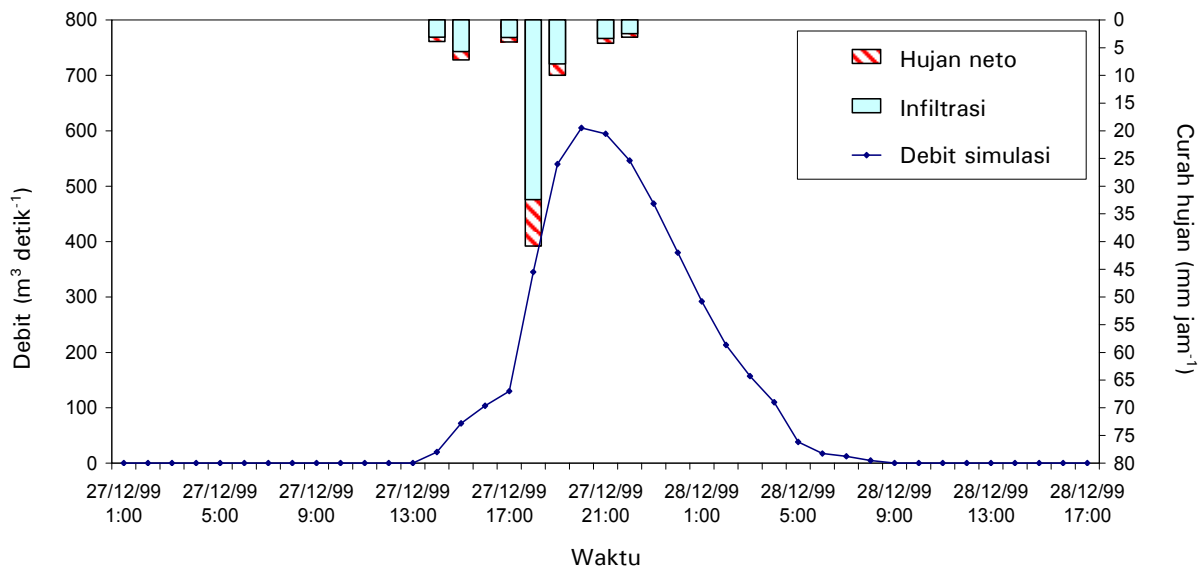
Berdasarkan Gambar 8, hasil simulasi debit maksimum pada musim hujan mencapai $605,2 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ yang ditunjukkan oleh hidrograf debit banjir simulasi. Debit banjir yang besar ini terjadi pada kondisi hujan dengan intensitas maksimum sebesar $40,8 \text{ mm jam}^{-1}$, total curah hujan 73,2 mm dengan durasi hujan selama 7 jam. Kejadian hujan demikian menghasilkan durasi debit selama 20 jam dan menyebabkan waktu debit puncak (*time to peak*) yang cepat yaitu 2 jam.

Tipe hujan dengan puncak hujan di tengah atau pada awal hujan tidak terlalu lebat tetapi kemudian bertambah lebat dan membentuk



Gambar 8. Hidrograf debit banjir simulasi berdasarkan *input* kejadian hujan tanggal 16-17 September 1999, curah hujan 45,9 mm, intensitas maksimum 29 mm jam^{-1}

Figure 8. Simulation of flood debit hydrograph base on rainfall input on 16-17 September 1999, rainfall 45,9 mm, maximum intensity 29 mm hour^{-1}



Gambar 9. Hidrograf debit banjir simulasi berdasarkan *input* kejadian hujan tanggal 27-28 Desember 1999, curah hujan 73,2 mm, intensitas maksimum 40,8 mm jam⁻¹

Figure 9. Simulation of flood debit hydrograph base on rainfall input ont 27-28 December 1999, rainfall 73.2 mm, maximum intensity 40.8 mm hour⁻¹

puncaknya pada posisi di tengah, dapat menyebabkan waktu pencapaian debit puncak (*time to peak*) menjadi lebih cepat. Tipe hujan demikian akan membahayakan bila terjadi hujan yang lebih deras, karena debit puncak (banjir) akan tercapai dalam waktu yang singkat. Sehingga penduduk yang berada di sekitar sungai sedikit berkesempatan untuk menyelamatkan diri (mengungsi). Hasil simulasi lainnya yaitu terhadap terjadinya infiltrasi di DAS, infiltrasi yang terjadi menunjukkan kurang dari 50% curah hujan yang terinfiltrasikan, lebih rendah dari musim kemarau. Infiltrasi yang terjadi hanya 12 mm atau hanya sebanyak 29% hujan yang meresap ke dalam tanah dan sebanyak 29 mm mengalir sebagai aliran permukaan atau 71% dari hujan.

Simulasi debit harian

Untuk menggambarkan fluktuasi debit harian Sungai Aih Tripe selama satu siklus hidrologi, dilakukan simulasi debit menggunakan model GR4J, yang merupakan model sederhana dengan empat parameter yaitu X₁: Kapasitas maksimum simpanan produksi; X₂: Parameter tukar air; X₃: Kapasitas maksimum simpanan alihan; serta X₄: Waktu dasar

hidrograf satuan. Keempat parameter ini divalidasi, yang berbeda untuk setiap DAS, diperlukan data debit pengukuran harian. Oleh karena data debit harian di DAS Aih Tripe belum tersedia, maka validasi parameter model tidak dapat dilakukan sehingga digunakan nilai parameter baku model sebagai berikut:

X₁ = Kapasitas maksimum simpanan produksi (365,04 mm).

X₂ = Parameter tukar air (3,63 mm).

X₃ = Kapasitas maksimum simpanan alihan (90,02 mm).

X₄ = Waktu dasar hidrograf satuan (1,72 hari).

Untuk menjalankan model, dibutuhkan data luas DAS, curah hujan harian serta evapotranspirasi (ETP) harian. Data yang digunakan merupakan data rekaman stasiun iklim Kecamatan Blangkejeran pada posisi: 3° 57' 07" LU; 97° 119' 31" BT.

Simulasi dilakukan terhadap dua siklus hidrologi dengan kondisi sangat berbeda yaitu saat terjadi kekeringan panjang selama El Nino tahun

1992 serta saat kondisi iklim basah selama La Nina tahun 1996. Hasil simulasi debit pada kondisi El Nino selama bulan Januari-Maret 1992 disajikan pada Gambar 10 dan kondisi La Nina selama bulan Januari-Maret 1996 disajikan pada Gambar 11.

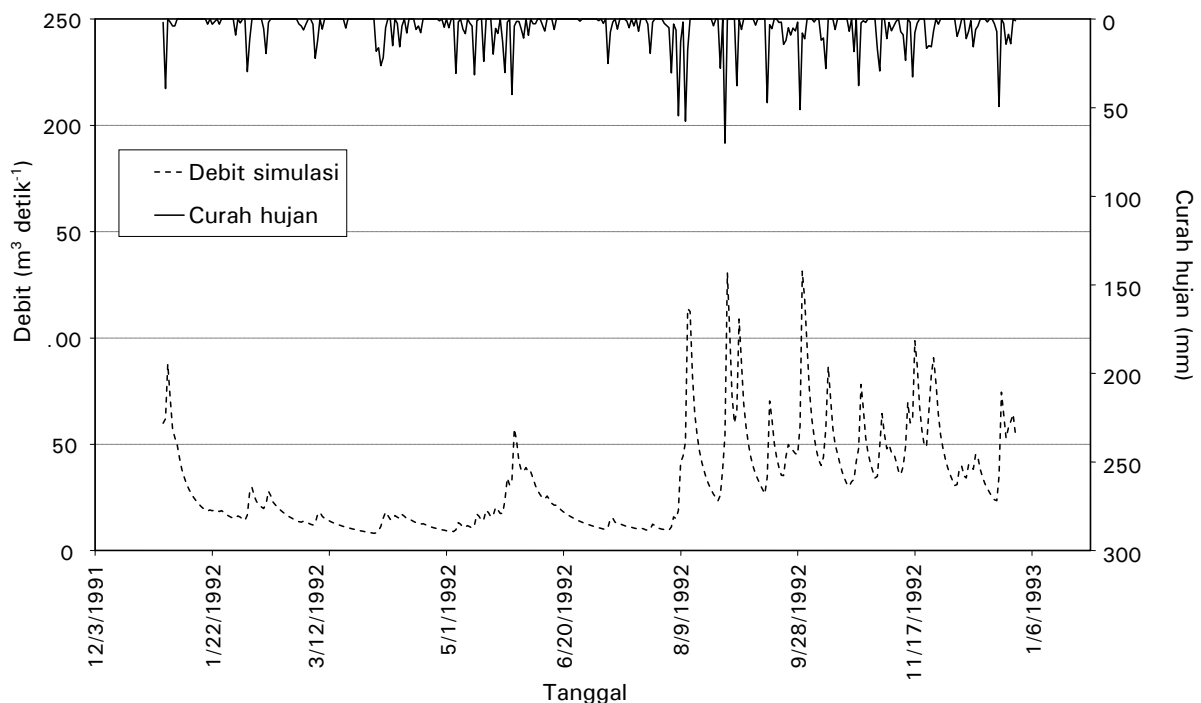
Berdasarkan Gambar 11, debit maksimum absolut harian mencapai $131,4 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ terjadi pada tanggal 30 September, sedangkan debit minimum absolut harian sebesar $8,2 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ terjadi pada tanggal 31 Maret. Bila dibandingkan antara debit maksimum absolut dan minimumnya pada kondisi El Nino, sangat berbeda. Debit maksimum absolut mencapai 15 kali lebih tinggi. Kondisi demikian merupakan peringatan harus mulai menerapkan pengelolaan DAS secara tepat. Bila dibiarkan alih fungsi secara tidak terkendali, akan menyebabkan terjadinya kerusakan DAS yang salah satu indikatornya adalah perbedaan debit maksimum absolut dan minimum absolut mencapai 30 kali.

Gambar 11 menunjukkan hasil simulasi debit harian saat terjadi kejadian La Nina dengan

intensitas lemah yang terjadi selama bulan Januari-Maret 1996. Debit maksimum absolut harian yang terjadi pada tanggal 11 Desember, mencapai $328,3 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$, sedangkan debit minimum absolut harian sebesar $8,5 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ yang terjadi pada tanggal 5 Oktober.

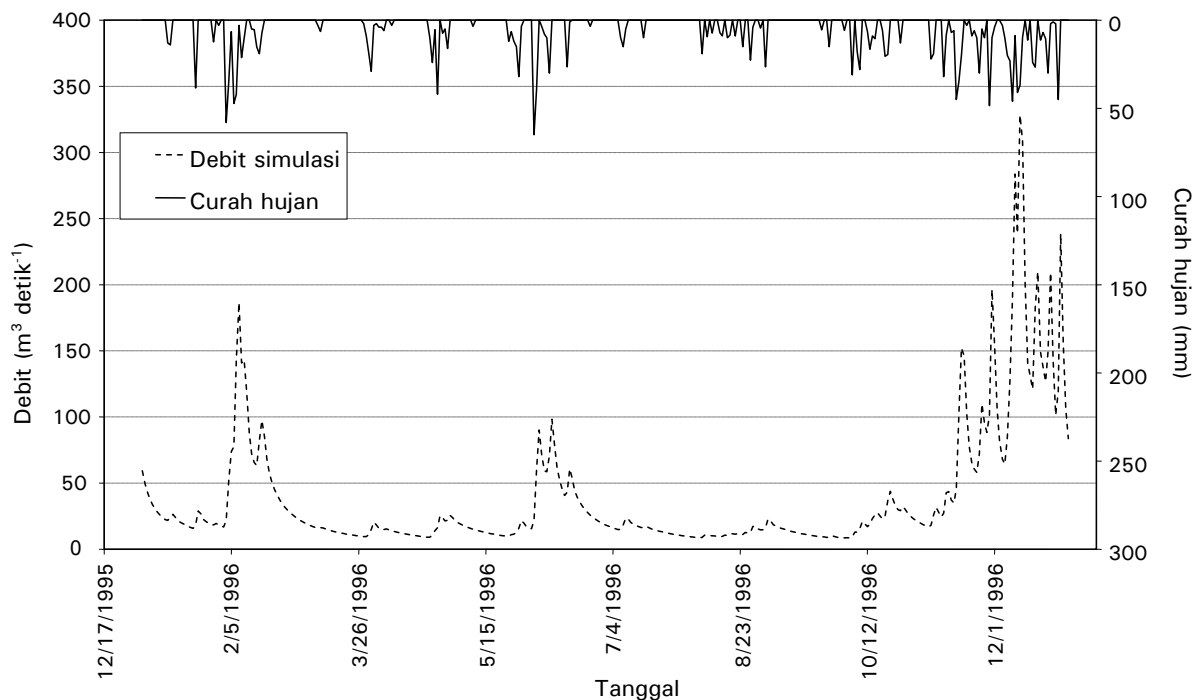
Bila dibandingkan antara debit maksimum absolut dengan debit minimum absolut pada saat La Nina tahun 1996, sangat berbeda lebih dari 30 kali. Kondisi demikian merupakan indikator bahwa DAS Aih Tripe kritis. Sementara perbedaan pada saat El Nino 1992, antara debit maksimum absolut dengan debit minimum absolut sampai mencapai dua kali, terjadi peningkatan kekritisan DAS. Terjadinya kondisi demikian diduga karena adanya alih fungsi lahan yang tidak terkendali sehingga pada saat musim hujan aliran permukaan meningkat.

Analisis neraca air bulanan yang dilakukan terhadap data harian curah hujan, evapotranspirasi dan debit tahun 1992 menunjukkan bahwa rasio antara curah hujan bulanan dengan debit bulanan



Gambar 10. Simulasi debit harian Sungai Aih Tripe saat terjadi El Nino tahun 1992

Figure 10. Simulation of daily debit in Aih Tripe River during El Nino 1992



Gambar 11. Simulasi debit harian Sungai Aih Tripe saat terjadi La Nina tahun 1996

Figure 11. Simulation of daily debit in Aih Tripe River during La Nina 1992

relatif fluktuatif yaitu antara 18,5 hingga 124,3% (Tabel 5). Sedangkan di tahun 1996, rasio tersebut relatif konstan di bawah 100% berkisar antara 21,5 hingga 99,9% (Tabel 6).

Tabel 5. Neraca air bulanan DAS Aih Tripe saat terjadi El Nino 1992

Table 5. Monthly water balance of Upstream Aih Tripe during El Nino 1992

Bulan	Curah hujan, P	ETP	Debit, Q	Rasio Q/P
	mm			%
Januari	61,6	35,6	76,6	124,3
Februari	86,2	132,0	43,2	50,2
Maret	57,6	172,9	28,5	49,5
April	156,5	144,8	30,5	19,5
Mei	240,6	131,6	44,5	18,5
Juni	50,2	119,5	55,5	110,5
Juli	85,1	122,6	27,2	31,9
Agustus	296,7	120,5	107,1	36,1
September	220,1	120,5	122,4	55,6
Oktober	137,6	128,5	126,6	92,0
November	212,5	112,3	133,4	62,8
Desember	163,5	145,0	98,1	60,0
Tahunan	1.768,2	1.485,8	893,6	50,5

Tabel 6. Neraca air bulanan DAS Aih Tripe saat terjadi La Nina 1996

Table 6. Water balance monthly of upstream Aih Tripe in La Nina 1996

Bulan	Curah hujan, P	ETP	Debit, Q	Rasio Q/P
	mm			%
Januari	80,8	122,4	61,5	76,1
Februari	275,7	120,8	154,6	56,1
Maret	68,5	144,2	35,4	51,7
April	131,8	123,3	33,0	25,1
Mei	84,5	133,7	36,3	43,0
Juni	186,5	113,7	104,0	55,8
Juli	40,0	127,9	37,5	93,7
Agustus	125,5	112,6	26,9	21,5
September	47,0	129,6	30,4	64,6
Oktober	184,2	95,9	53,4	29,0
November	326,0	107,2	145,7	44,7
Desember	373,4	119,0	372,9	99,9
Tahunan	1.923,9	1.450,3	1.091,7	56,7

Perbandingan total curah hujan tahun 1992 dengan 1996 tidak menunjukkan perbedaan yang menyolok yaitu hanya sebesar 155,5 mm. Perbedaan ini relatif sebanding dengan perbedaan total debit tahunan sebesar 198,1 mm. Perbedaan

yang tidak begitu menyolok ini dapat dipahami karena kejadian El Nino pada tahun 1992 dan La Nina tahun 1996. Intensitas keduanya hanya berlangsung selama tiga bulan di awal tahun, yang selanjutnya diikuti oleh sembilan bulan kondisi Normal.

Pemodelan debit

Daerah aliran sungai merupakan satu sistem dalam hidrologi, sehingga terdapat sistem masukan (*input*) dan sistem keluaran (*output*). Curah hujan dan energi merupakan *input*, sedangkan air, sedimen, dan unsur hara merupakan *output* (Asdak, 2002). Dalam hal ini DAS berfungsi dan berperan sebagai pengatur proses. Maka dapat diambil suatu penalaran, bahwa *output* dalam bentuk debit aliran sungai identik dengan kelakuan curah hujan yang jatuh di atas permukaan DAS (Hariyadi, 1988). Dari debit aliran inilah secara kuantitas dan kualitas dapat dijadikan sebagai petunjuk mampu tidaknya DAS berfungsi dan berperan sebagai pengatur proses tersebut, khususnya dari segi hidrologis.

Dari segi tata air, DAS dapat dikatakan dalam kondisi yang baik apabila parameter-parameter hidrologi yang diamati pada *outlet* dari suatu DAS menunjukkan kecenderungan berikut:

1. Perbandingan antara debit maksimum bulanan (Q_{max}) dengan debit minimum bulanan (Q_{min}) dalam satu tahun, menunjukkan kecenderungan menurun (Asdak, 2002).
2. Unsur utama hidrograf satuan menunjukkan waktu respon (*time to peak discharge*) semakin lama dan debit puncak (*peak discharge*) semakin menurun.
3. Volume *base flow* dan koefisien resesi semakin meningkat (Purwanto, 1992).
4. Koefisien *runoff* sesaat dan tahunan menurun (Asdak, 2002; Purwanto, 1992).

Selanjutnya debit aliran sungai akan informatif bila disajikan dalam bentuk hidrograf. Namun demikian tidak semua DAS mempunyai data pengukuran debit, hanya sungai-sungai yang DAS-

nya telah dikembangkan mempunyai data pengukuran debit yang memadai. Dengan demikian pemodelan debit dan aliran permukaan yang disusun berdasarkan karakteristik fisik dari suatu DAS, akan sangat membantu untuk mengetahui karakteristik hidrologis DAS tersebut.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Penggunaan lahan di DAS Aih Tripe didominasi oleh hutan yang terdiri atas hutan lindung, hutan produksi terbatas, hutan konversi, hutan produksi, dan lainnya yaitu kebun campuran, sawah, semak belukar, lahan terbuka, dan pemukiman serta Taman Nasional Gunung Leuser. Terjadi alih fungsi lahan yang mengkhawatirkan, sebagai contoh, alih fungsi lahan yang terjadi antara tahun 2000 sampai 2003 adalah hutan produksi terbatas, hutan konversi, dan hutan produksi luasnya menurun, tetapi hutan lindung luasnya meningkat.
2. Luas DAS Aih Tripe Hulu adalah 1.115,2 km², berbentuk sangat memanjang (Indeks Gravelius 4,31), panjang ekuivalen (L) 252,40 dan lebar ekuivalen (l) 4,42, pola aliran paralel, memiliki order sungai maksimum 5 dan kerapatan jaringan 1,37 m m⁻², indeks kemiringan global (lg) 2,0 dan beda tinggi spesifik (Hg) sebesar 0,06.
3. Berdasarkan simulasi debit sesaat, debit maksimum sesaat pada musim kemarau mencapai 364,8 m³ detik⁻¹ dengan *time to peak* (waktu debit puncak) 4 jam dan intensitas hujan maksimum 29 mm jam⁻¹, curah hujan 45,9 mm, durasi 5 jam. Pada musim hujan, debit maksimum mencapai 605,2 m³ detik⁻¹ dengan *time to peak* 2 jam, dan intensitas maksimum 40,8 mm jam⁻¹, curah hujan 73,2 mm dengan durasi selama 7 jam.
4. Berdasarkan simulasi Debit Harian, debit maksimum absolut harian pada saat El Nino mencapai 131,4 m³ detik⁻¹ (30 September) dan

debit minimum absolut harian mencapai $8,2 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ (31 Maret). Simulasi debit harian saat La Nina dengan intensitas lemah (Januari-Maret 1996), debit maksimum absolut harian mencapai $328,3 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ (11 Desember) dan debit minimum absolut harian sebesar $8,5 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ (5 Oktober).

Saran

Kegiatan ini merupakan tahap awal studi untuk mengetahui kemampuan produksi air di DAS Aih Tripe. Untuk mengetahui kondisi surplus ataupun defisit air di wilayah DAS Aih Tripe hulu maupun hilir, perlu ditelusuri sejauh mana distribusi air di wilayah ini dengan menggunakan model-model hidrologi. Kemudian dilakukan kuantifikasi kebutuhan air di wilayah tersebut, baik untuk keperluan penduduk (*municipal*), pertanian yang memanfaatkan aliran air permukaan Sungai Aih Tripe, maupun kuantifikasi untuk pemeliharaan sungai tersebut. Dengan demikian penelitian perlu dilanjutkan dan diarahkan untuk validasi model hidrologi yang telah diterapkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 2002.** Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- Balitklimat dan PJT II. 2003.** Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan Terhadap Aliran Permukaan, Sedimen, dan Produksi Air Daerah Aliran Sungai. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi dan Perum Jasa Tirta II.
- Ditjen Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan. 1998.** Keputusan Ditjen RRL tentang Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai. Departemen Kehutanan, Jakarta.
- Duchesne, J. et Cudennec, C. 1998.** H2U: Une fonction de transfert pluie-débit déterministe et polyvalente, vers des applications multiples. Chambéry, Journées de la société Hydrotechnique de France, Sept. 98.
- Hariyadi, R. 1988.** Model pengukuran keberhasilan pengelolaan DAS ditinjau dari pendekatan hidro ekologis. Makalah Simposium Model Hidrologi Rekayasa dan Lingkungan untuk Perencanaan Regional dan Perancangan. Bandung, 17-18 Maret 1988.
- Kartiwa, B. 2004.** Modelisation du Fonctionnement Hydrologique des Bassins Versants. Application sur des Bassins Versants de Java et Sumatra (Indonesie). These de Doctorat. Universite d'Angers. France.
- Llamas, J. 1993.** Hydrologie Generale-Principes et Application. Gaetan Morin Editeur. Boucherville. Quebec. Canada. 527p.
- Perrin, C. 2002.** Vers une amélioration d'un modèle global pluie-débit au travers d'une approche comparative. La Houille Blanche, (6/7):84-91.
- Perrin, C., C. Michel, et V. Andreassian. 2003.** Improvement of parsimonious model for streamflow simulation. Journal of Hydrology 279(1-4):279-289.
- Purwanto, E. 1992.** Pemanfaatan dan evaluasi Daerah Aliran Sungai dengan menggunakan parameter hidrologi. (Majalah Kehutanan Indonesia No. 10 tahun 1991/1992). Departemen Kehutanan. Jakarta.
- Roche, M. 1963.** Hydrologie de surface. ORSTOM. Gauthier-Vilars. Paris. P 430.
- Rodriguez-Iturbe, I. and J.B. Valdés. 1979.** The geomorphologic structure of hydrologic response. Water Resour. Res. 15(5):1409-1420.
- Soil Conservation Service. 1972.** National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology. US Department of Agriculture, Washington DC.
- Sherman, L.K. 1932.** Streamflow from rainfall by the unit hydrograph method. Eng. News-Record, 108:501-505.
- Strahler A.N. 1964.** Quantitative geomorphology of drainage basins and channel network P. 38. In Chow V.T. Handbook of applied hydrology-a compendium of water-resources technology. McGraw-Hill, New York Section 4-II.
- Suripin. 2002.** Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Andi Offset. Yogyakarta.