

Analisis Alih Fungsi Lahan dan Keterkaitannya dengan Karakteristik Hidrologi DAS Krueng Aceh

Landuse Change Analysis in Relation to Hydrological Characteristic of Krueng Aceh Watershed

NASRULLAH DAN B. KARTIWA¹

ABSTRAK

Alih fungsi lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS) cenderung meningkat intensitasnya menurut ruang dan waktu dan berpengaruh negatif terhadap kondisi hidrologis DAS, diantaranya meningkatnya debit puncak, fluktuasi debit antar musim, koefisien aliran permukaan, serta banjir dan kekeringan. Untuk memantau alih fungsi lahan yang terjadi secara cepat, digunakan teknologi penginderaan jauh (*remote sensing technology*) berdasarkan data spasial citra satelit yang runtut waktu. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi dan mengkarakterisasi titik keluaran DAS Krueng Aceh, mengevaluasi alih fungsi lahan, serta menyusun model simulasi debit berdasarkan beberapa skenario alih fungsi. Penelitian dilakukan pada Januari - Desember 2005 di lokasi DAS Krueng Aceh, Provinsi Nangroe Aceh Darussalam. Simulasi debit harian dilakukan dengan menggunakan model debit berbasis SIG, berdasarkan beberapa skenario perubahan tutupan lahan. Simulasi debit berdasarkan skenario 3 (hutan menyempit 50%, kebun campuran dan lahan terbuka menyempit 25%, sawah dan pemukiman meningkat 400%) menunjukkan bahwa kejadian hujan sebesar 29,4 mm pada tanggal 31 Juli 2002 dan curah hujan sebesar 64 mm pada tanggal 29 Oktober 2002 menimbulkan debit puncak sebesar 66,3 dan 161,9 m³ det⁻¹, atau naik masing-masing sebesar 21,6 dan 38,0 m³ det⁻¹ dibandingkan dengan kondisi tutupan lahan semula sebelum perubahan.

Kata kunci : *Alih fungsi lahan, Karakteristik hidrologi, DAS Krueng Aceh*

ABSTRACT

Landuse change at watershed area tend to increase its intensity according to space and time, as logical consequence of development activity and high resident growth rate. The increase of this intensity can bring negative influence to hydrological conditions i.e: the increasing of peak discharge, discharge fluctuation between dry and wet season, run off coefficient and also drought and flooding. Remote sensing, technology based on time and series of spatial satellite image, is the best methodology for observing landuse change. This method is more accurate, faster and cheaper than classic method through aerial photograph analysis. The aims of this research are to identify and characterize watershed outlet, to evaluate land cover change and to establish the discharge model as function of land cover change scenarios. This research was conducted from January to December 2005 at Krueng Aceh watershed, Nangroe Aceh Darussalam Province. This activity was covered identification and characterization of watershed outlet, including determination of the AWLR installation point, measurement of river cross section, and also measurement of waterflow velocity. Other activities are image satellite and landuse change analysis. Meanwhile daily discharge simulation was conducted using a model base on GIS that correlated with land cover change scenarios. Discharge simulation according to scenario 3 (forest is decreasing 50%,

mixed garden and bare soil are decreasing 25%, paddy field and settlement is increasing 400%) shows that rainfall event about 29.4 mm on July 31, 2002 and 64 mm on October 29, 2002 stimulate peak discharge of 66.3 and 161.9 m³ s⁻¹, or increasing 21.6 and 38.0 m³ s⁻¹ compared with initial condition before change.

Keywords : *Analysis, landuse change, Hydrological characteristic, Krueng Aceh watershed*

PENDAHULUAN

Musibah gempa dan gelombang tsunami yang melanda Aceh dan wilayah Sumatera Utara pada tanggal 26 Desember 2004, masih menyisakan kepedihan dan kepahitan hidup hingga saat ini, khususnya bagi masyarakat Aceh, umumnya bagi seluruh masyarakat Indonesia. Kedahsyatan gempa dan gelombang tsunami yang terjadi telah merenggut lebih dari 220 ribu jiwa dan telah menghancurkan sarana-prasarana yang ada. Selain itu, bencana yang terjadi telah merubah tipe tutupan lahan khususnya di daerah pantai hingga beberapa kilometer ke wilayah daratan. Hal ini diduga telah merubah karakteristik hidrologis sungai di bagian hilir.

Intensitas alih fungsi lahan dari tutupan vegetasi (*vegetated land*) menjadi tutupan non vegetasi (*non vegetated land*) pada Daerah Aliran Sungai (DAS) cenderung meningkat menurut ruang dan waktu, sebagai akibat dari aktivitas pembangunan dan laju pertumbuhan penduduk yang tinggi. Peningkatan intensitas perubahan alih fungsi lahan tersebut berpengaruh negatif terhadap kondisi hidrologis DAS yaitu meningkatkan debit puncak, fluktuasi debit antar musim, koefisien aliran permukaan, serta meningkatkan sedimentasi, banjir, dan kekeringan. Berkaitan dengan itu, pada tahun 2000, pemerintah telah menetapkan 58 DAS kritis

¹ Peneliti pada Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Bogor.

yang memerlukan prioritas penanganan pertama (Soenarno *dalam* Suripin, 2002).

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah suatu wilayah daratan yang secara topografik dibatasi oleh punggung-punggung gunung yang menampung dan menyimpan air hujan untuk kemudian menyalurkannya ke laut melalui sungai utama (Asdak, 1995). 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 pemanfaatannya dapat berkelanjutan, pengelolaan dan pemantauan kondisi suatu DAS harus dilakukan secara optimal serta kontinyu.

Untuk memantau alih fungsi lahan yang terjadi secara cepat, teknologi penginderaan jauh (*remote sensing technology*) dapat diaplikasikan berdasarkan data spasial citra satelit yang runut waktu. Selain lebih cepat dan akurat, metode ini lebih murah dibandingkan dengan metode klasik melalui pemotretan udara. Citra satelit Landsat TM dengan resolusi 30 X 30 m dengan interval perekaman 16 hari sekali, memungkinkan untuk analisis alih fungsi lahan dalam interval waktu yang pendek, sehingga arah kecenderungan perubahan luas dan tipe penggunaan lahan dapat diketahui secara cepat.

Informasi alih fungsi lahan dan keterkaitannya dengan perubahan karakteristik hidrologi DAS akan membantu para pengambil kebijakan dalam merumuskan strategi dan perencanaan pengelolaan DAS yang tepat, sehingga risiko yang mungkin terjadi dapat diminimalkan. Agar analisis perubahan karakteristik hidrologis suatu DAS dapat memberikan informasi yang tepat dan akurat, data dengan kualitas yang baik diperlukan yang diperoleh dari hasil pengukuran menggunakan instrument yang memadai serta merepresentasikan kondisi DAS yang aktual.

Berdasarkan aplikasi model debit menggunakan *input* data dengan kualitas memadai, dapat dibuat beberapa skenario alih fungsi lahan dan dampaknya terhadap karakteristik debit. Berdasarkan informasi yang diperoleh, dapat dibuat suatu rekomendasi pengelolaan DAS Krueng Aceh yang mempertimbangkan komposisi tutupan lahan yang seimbang. Hal ini dapat membantu Pemerintah Daerah Provinsi Nangroe Aceh Darussalam dalam memanfaatkan sumberdaya alam di DAS Krueng Aceh secara bijaksana.

Laju pembangunan dan laju pertumbuhan penduduk yang relatif tinggi ($2,03\%$ tahun⁻¹), akan berdampak pada perubahan tipe dan komposisi tutupan lahan di DAS. Adanya alih fungsi lahan dari hutan menjadi lahan pertanian atau dari lahan pertanian menjadi non pertanian tentunya akan mempengaruhi respon hidrologis DAS yang bersangkutan.

Dengan pemantauan dan evaluasi perubahan tipe tutupan lahan serta mempelajari dampak yang ditimbulkannya terhadap kualitas, kuantitas serta kelestarian aliran sungai, maka masalah kerusakan DAS dapat dideteksi dan diantisipasi secara dini, sehingga risiko yang mungkin terjadi dapat diminimalkan. Tujuan penelitian ini adalah : 1) mengidentifikasi dan mengkarakterisasi titik keluaran DAS Krueng Aceh, 2) menyusun model simulasi perubahan tutupan lahan DAS Krueng Aceh, 3) menyusun model simulasi debit berdasarkan skenario perubahan tutupan lahan DAS Krueng Aceh.

BAHAN DAN METODE

Waktu dan lokasi penelitian

Penelitian dilakukan dari Januari-Desember 2005 di DAS Krueng Aceh, pada posisi *outlet* 05°-24'-42,4" LU dan 95°-26'-47,5" BT berada di Kampung Darang, Kecamatan Indrapuri, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Nangroe Aceh Darussalam.

Bahan dan alat

Bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah : 1) data iklim (curah hujan, evapotranspirasi potensial, suhu maksimum-minimum, kelembaban relatif, kecepatan angin, dan radiasi matahari), dan data debit yang dipakai sebagai masukan model (terpilih tahun 1995); 2) *Digital elevation model* (DEM) yang dibuat dari peta kontur atau dari citra satelit; 3) peta Tanah hasil digitasi Peta Satuan Lahan dan Tanah Skala 1:250.000 (lembar Banda Aceh) dari Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat (1990); 4) peta Land Use (DAS Krueng Aceh) hasil interpretasi Citra Satelit LANDSAT tahun 1994 dan 2002; 5) data Demografi Wilayah Banda Aceh dan Aceh Besar periode 10 tahun terakhir; dan 6) teodolit, alat pengukur profil penampang sungai, dan *current meter* alat pengukur kecepatan aliran sungai sesaat.

Metode penelitian

Identifikasi dan karakterisasi outlet DAS

Identifikasi dan karakterisasi *outlet* DAS meliputi : penentuan letak lokasi alat pantau tinggi muka air otomatis (AWLR), pengukuran debit sesaat dengan *current meter* untuk mengetahui kurva lengkung debitnya (*rating curve*) yang dipakai untuk mentransformasi data tinggi muka air dalam (satuan meter) dari AWLR menjadi data debit dalam (satuan $m^3 \text{ detik}^{-1}$), dan pembuatan profil sungai dengan teodolit. Penentuan *outlet* DAS melalui peta rekonstruksi jaringan hidrologi.

Letak lokasi alat AWLR ditentukan melalui survei lokasi dengan mempertimbangkan beberapa hal : 1) lokasi tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut, dan badan sungai relatif lurus agar pengukuran kecepatan aliran sungai bisa ideal; 2) mudah dijangkau dan secara teknis memungkinkan dibangun bangunan sensor AWLR. Agar efisiensi dan efektif, AWLR dipasang di bangunan bekas pemasangan alat pengukur tinggi muka air tipe pelampung milik Dinas Pengelolaan Sumberdaya Air (Gambar 1). Selain itu, lokasi harus mudah dijangkau dan keamanan alat terjaga dari gangguan kehilangan dan kerusakan.

Topografi diukur dengan teodolit untuk menggambarkan profil sungai, yang dilakukan pada 65 titik pengamatan atau rata-rata 4,5 m antar titik pengamatan. Sementara itu, kecepatan aliran sungai diukur dengan *current meter* pada kedalaman yang berbeda, dengan interval 1 m tiap titik pengamatan. Pengukuran kecepatan aliran sungai bertujuan untuk mengetahui keadaan debit sesaat, Fluktuasi debit sesaat direpresentasikan oleh kurva hidrograf debit yang merupakan gambaran respon dari suatu kejadian hujan sesaat dengan interval waktu t . Stimulasi debit sesaat menggunakan aplikasi model H2U (Kartiwa, 2004). Aktivitas pengukuran topografi dan aliran sungai dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Bangunan tempat pemasangan alat pengamat tinggi muka air tipe pelampung milik Dinas PSDA NAD

Figure 1. The building for water level observer standed



Gambar 2. Pengukuran profil Sungai Krueng Aceh

Figure 2. Measurement of Krueng Aceh Profile

Penyusunan model simulasi alih fungsi lahan

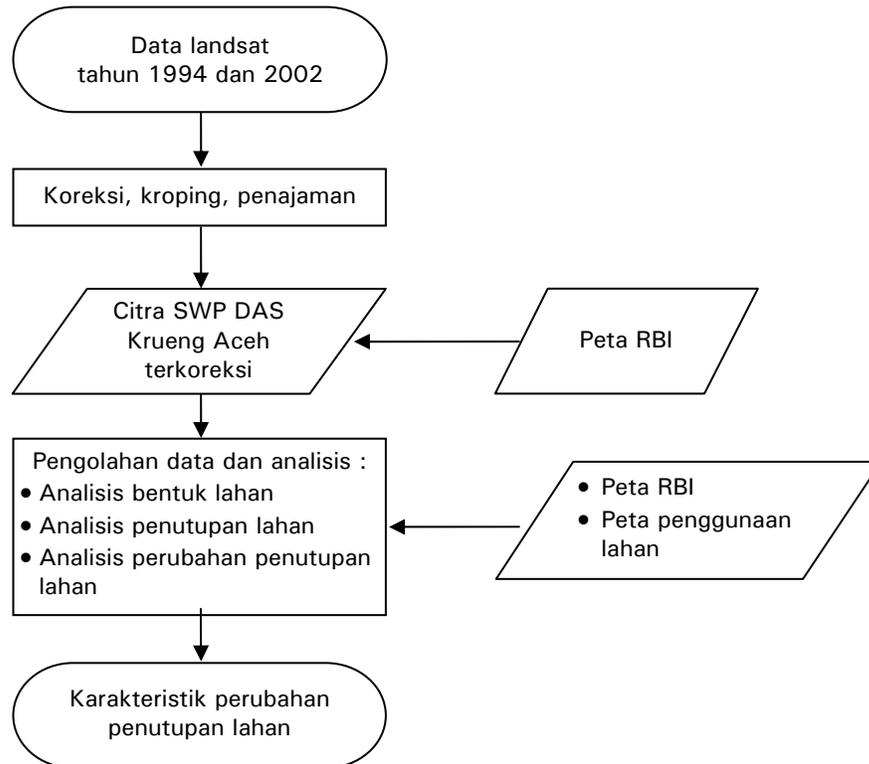
Model simulasi alih fungsi lahan dikembangkan dari hasil analisis perubahan penutupan lahan tahun 1994 dan 2002. Analisis ini mengamati jenis penutup lahan, komposisi, serta distribusi spasialnya. Tahapan analisis citra satelit untuk menentukan perubahan lahan disajikan pada Gambar 3. Klasifikasi penutup lahan mengikuti sistem Balsem dan Buurman tahun 1989 (Ditjen RRL, 1998). Sistem klasifikasi ini membagi 12 kelas utama penutupan lahan yaitu tegalan, sawah, perladangan berpindah, padang rumput, perkebunan, semak, wanatani, reboisasi, hutan, air, lahan tandus, dan pemukiman.

Penyusunan model simulasi debit pada berbagai skenario alih fungsi lahan

Model simulasi debit dibuat untuk memprediksi debit harian dalam beberapa skenario perubahan

penutupan lahan, agar penyusunan rekomendasi pengelolaan DAS bisa tepat. Simulasi debit harian memakai aplikasi model SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*), yang merupakan model debit skala DAS yang dikembangkan oleh Dr. Jeff Arnold untuk USDA *Agricultural Research Service* (ARS).

SWAT dikembangkan untuk memprediksi pengaruh pengelolaan lahan terhadap kondisi air tanah, sedimen dan hasil sampingan kimia pertanian pada DAS yang memiliki keragaman jenis tanah, tipe penggunaan lahan dan kondisi pengelolaan dalam jangka waktu lama. Model ini memakai pendekatan fisik (*physically based*) dengan informasi spesifik berupa data cuaca, sifat tanah, topografi, vegetasi dan praktek pengelolaan lahan. Setiap proses fisik yang terkait dengan pergerakan air, pergerakan sedimen, pertumbuhan tanaman, daur unsur hara dan lain-lain diprediksi secara langsung menggunakan data masukan tersebut.



Gambar 3. Analisis citra multitemporal untuk karakterisasi perubahan penutupan lahan

Figure 3. Multitemporal citra analysis to characterize of land cover change

Komponen hidrologi SWAT didasarkan pada perhitungan neraca air. Nilai *curve number* terdistribusi dibangkitkan untuk menghitung volume aliran permukaan, berdasarkan metode SCS (*Soil Conservation Service*) (SCS, 1972). Menurut metode ini, aliran permukaan dihitung menurut persamaan :

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

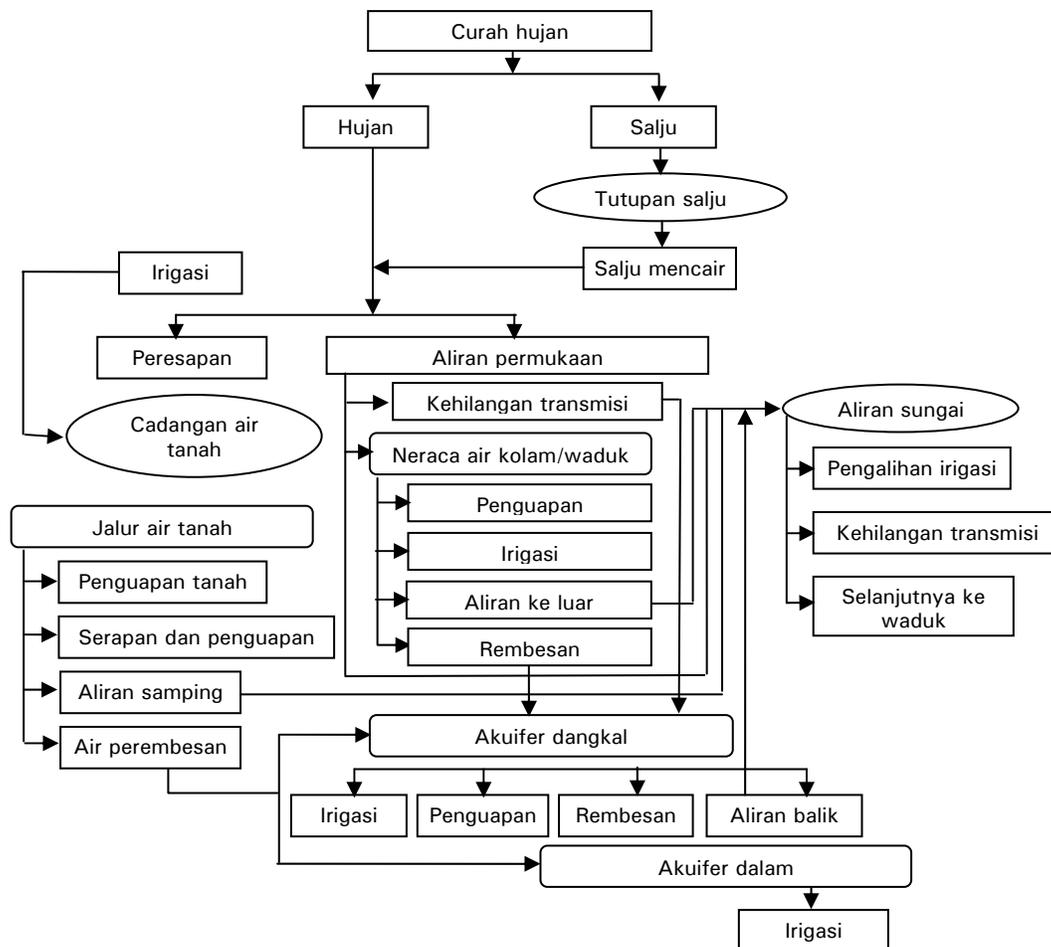
$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

dimana :

- Q = debit aliran permukaan (mm)
- P = curah hujan (mm)
- Ia = kehilangan inisial (mm)
- S = retensi potensial maksimum (mm)
- CN = *curve number* (tidak berdimensi, ditentukan berdasarkan tabel)

Setelah volume aliran permukaan dihitung, dilakukan simulasi debit pada *outlet*, dengan prosedur perhitungan mengikuti tahapan seperti pada Gambar 4.

Setelah parameter model diperoleh, simulasi debit dilakukan berdasarkan beberapa skenario perubahan penggunaan lahan. Skenario yang memberikan pengaruh terbaik pada debit dalam hal kuantitas dan distribusi temporalnya, dijadikan sebagai dasar acuan dalam memberikan rekomendasi pengelolaan DAS Krueng Aceh.



Gambar 4. Diagram alir simulasi debit model SWAT

Figure 4. Flowchart of SWAT model discharge simulation

HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi dan karakterisasi outlet DAS

Hasil survei lapangan menunjukkan bahwa titik keluaran (*outlet*) DAS Krueng Aceh berada di Kampung Darang, Kecamatan Indrapuri, Kabupaten Aceh Besar pada posisi 05°-24'- 42,4" LU dan 95°-26'- 47,5" BT. Luas daerah tangkapan air DAS Krueng Aceh pada titik tersebut adalah 1.494,4 km² (Gambar 5).

Profil sungai dan kecepatan aliran

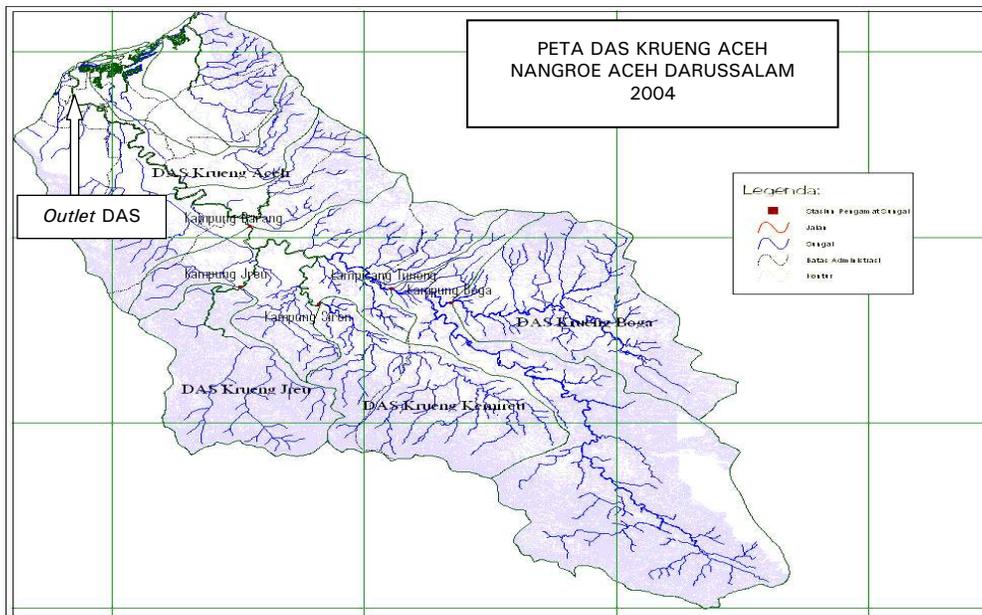
Profil sungai dan kecepatan aliran diperlukan untuk menghitung debit. Kurva profil sungai diperlukan untuk mengetahui luas penampang basah sungai pada beberapa ketinggian muka air, sehingga bila kecepatan aliran sudah diidentifikasi, debit dapat ditetapkan untuk setiap ketinggian muka air yang berbeda. Analisis lanjutan tentang hubungan antara tinggi muka air dengan debit, menghasilkan kurva lengkung debit (*rating curve*), yang digunakan untuk

mentransformasi data tinggi muka air dalam satuan meter (m) dari alat AWLR ke dalam data debit dalam satuan meter kubik per detik (m³ det⁻¹). Gambar 6 menunjukkan karakteristik Sungai Krueng Aceh, pada titik *outlet* liki lebar sungsi 300 m dan dalam antara 1-5 m.



Gambar 6. Karakteristik Sungai Krueng Aceh pada titik keluaran

Figure 6. Characteristic of Krueng Aceh watershed at outlet point



Gambar 5. Titik keluaran DAS Krueng Aceh, Provinsi Nangroe Aceh Darussalam

Figure 5. Outlet of Krueng Aceh Watershed, Nangroe Aceh Darussalam Province

Tampilan profil melintang Sungai Krueng Aceh di lokasi dimana alat AWLR dipasang dapat dilihat pada Gambar 7. Tinggi muka air sungai yang terbaca pada rambu ukur (*staff gauge*) adalah 200 cm. Pada ketinggian air tersebut, luas penampang basah sungai adalah 199,2 m², sementara debit yang terukur adalah 15,7 m³ det⁻¹.

Berdasarkan karakteristik geometriknnya, DAS Krueng Aceh memiliki bentuk memanjang yang dicirikan oleh Indeks Gravelius antara 1,2-1,8, serta panjang dan lebar ekuivalen masing-masing 75,6 km dan 17,1 km. Debit yang dihasilkan dari suatu kejadian hujan pada DAS berbentuk memanjang akan menghasilkan hidrograf dengan debit puncak lebih rendah dan waktu resesi lebih lama daripada DAS berbentuk bulat pada ukuran yang sama. Dengan demikian, risiko banjir pada DAS yang berbentuk memanjang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk bulat (Balitklimat, 2004).

Hasil interpretasi citra Landsat tahun 2002 menunjukkan penutup lahan DAS Krueng Aceh masih didominasi oleh hutan (± 47,6%) dari luas

total). Secara proporsi, luas hutan menurun sebesar 0,9% dari luas lahan dengan nominal perubahan ini seluas 1.837 ha selama periode 8 tahun, atau rata-rata laju perubahan sebesar 229,6 ha tahun⁻¹.

Hasil analisis neraca air bulanan DAS Krueng Boga, salah satu dari tiga sub DAS Krueng Aceh, menunjukkan bahwa antara 1996 dan 2003, terjadi penurunan volume aliran sungai sebesar 417,4 mm tahun⁻¹, dan penurunan curah hujan tahunan sebesar 24,6 mm. Uji lanjutan dengan aplikasi model simulasi debit GR4J, menunjukkan bahwa volume aliran sungai, antara tahun 1996 dan 2003 untuk DAS Krueng Boga menurun 32,1% (Balitklimat, 2004).

Model simulasi debit harian DAS Krueng Aceh

Menurut Andreasian *et al.* (2003), beberapa cara tersedia untuk mempelajari modifikasi kondisi biofisik DAS terhadap perubahan debit, antara lain berdasarkan pendekatan DAS berpasangan yang identik, yang dipantau terus-menerus selama waktu tertentu untuk mendapatkan hubungan antara



Gambar 7. Profil melintang sungai Krueng Aceh

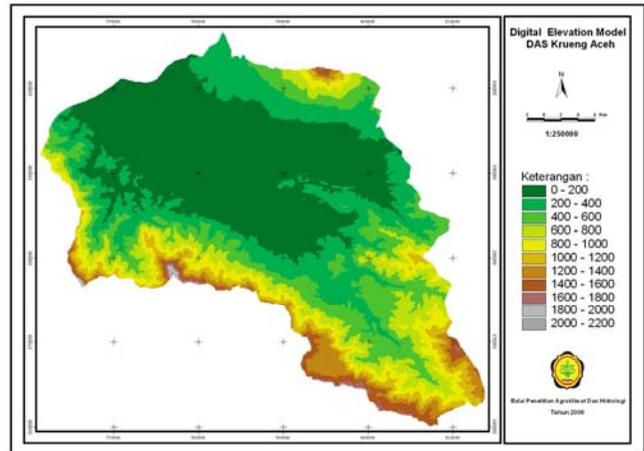
Figure 7. Latitude profile of Krueng Aceh

perilaku kedua DAS tersebut. Selanjutnya suatu model perlakuan diaplikasikan terhadap salah satu DAS, sementara yang lain dibiarkan dalam kondisi aslinya (Hewlett, 1982). Hasil korelasi yang diperoleh berdasarkan hubungan kedua DAS sebelum perlakuan, digunakan untuk merekonstruksi perilaku DAS yang dimodifikasi. Perbandingan antara aliran aktual (diukur) dengan aliran hasil rekonstruksi dapat dipakai sebagai prakiraan dampak hidrologis dari modifikasi DAS. Lorup *et al.* (1998), menjelaskan bahwa untuk mendeteksi perubahan karakteristik hidrologis sebuah DAS dapat ditempuh melalui tiga langkah metodologis menggunakan model curah hujan-debit.

Model hidrologi merupakan representasi dari keseluruhan atau sebagian proses siklus hidrologi berdasarkan konsep hidrologi, melalui persamaan matematik yang menghubungkan antar proses hidrologi tersebut dalam sekuen secara temporal dan spasial yang sesuai dengan observasi di alam (UNESCO-WMO, 1992). Model transformasi hujan-debit, atau secara umum disebut model hujan debit, adalah suatu alat bantu matematik yang memungkinkan mendapatkan suatu seri data debit simulasi yang paling mendekati data hasil pengukuran dari sebuah DAS yang diteliti yang diperoleh dari masukan data curah hujan (Roche,1963). Menurut Llamas (1993), sebuah model hujan-debit tersusun dari persamaan matematik yang mengkarakterisasi sistem ril (sistem fisik DAS), dengan ketentuan bahwa ada hubungan keterkaitan yang memadai antara *input* (hujan) dengan responnya (debit/banjir). 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 (Haryadi, 1988).

Model debit harian DAS Krueng Aceh dibangun berdasarkan aplikasi model SWAT yang terintegrasi dalam Modul GIS ArcView. Untuk melakukan simulasi, beberapa informasi dasar telah dikumpulkan diantaranya data iklim dan data debit harian DAS Krueng Aceh, peta penggunaan lahan berdasarkan analisis citra satelit, peta tanah serta peta topografi.

Masukan untuk menjalankan model SWAT meliputi data tabular berupa iklim dan debit, data spasial berupa Peta DEM (*Digital Elevation Model*) (Gambar 8), Peta Tanah, serta Peta Penutupan Lahan menurut hasil analisis Citra Satelit.



Gambar 8. Peta DEM DAS Krueng Aceh

Figure 8. Map of Krueng Aceh watershed (from DEM)

Iklim dan debit

Keadaan curah hujan di wilayah DAS Krueng Aceh menunjukkan bahwa bulan-bulan dengan curah hujan rendah adalah bulan Juni sampai September dan bulan-bulan basah mulai dari Oktober sampai Mei. Jumlah hujan rata-rata tahunan sebesar 1.559,0 mm dengan evapotranspirasi potensial tahunan sebesar 1.389,9 mm, terendah pada bulan Oktober dan tertinggi pada bulan Januari. Curah hujan di DAS Krueng Aceh berpola III C termasuk tipe iklim basah. Pola demikian terjadi hampir di sepanjang pantai timur Sumatera, seperti : Sumatera Utara, Riau, Jambi, dan Sumatera Selatan (Balitklimat dan PJT II, 2003).

Suhu rata-rata maksimum 28,6°C, dan rata-rata minimum 24,3°C. Rata-rata kelembaban relatif tahunan 78,2% terendah pada bulan Juli sampai September. Kecepatan angin rata-rata tahunan 1,7 m det⁻¹, radiasi matahari tahunan 9,2 mega joule/hari. Debit sungai rata-rata tahunan sebesar 736,6 mm det⁻¹. Data selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 1.

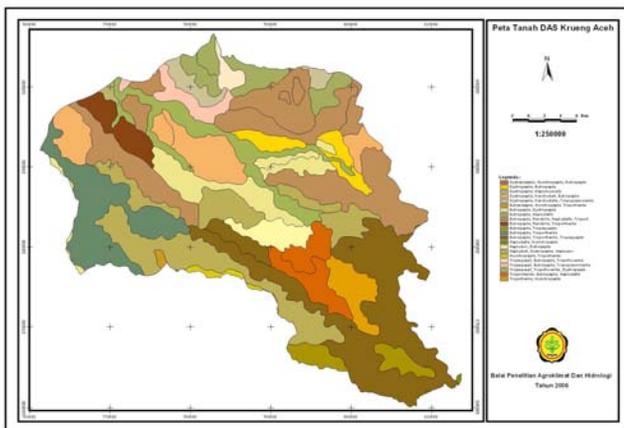
Tabel 1. Data iklim stasiun Blang Bintang serta data hujan dan debit stasiun Kampung Darang, periode 1995

Table 1. Climate data of Blang Bintang Station, rainfall, and debit data of Kampung Darang Station in 1995 period

Curah hujan	ETP	Suhu maksimum	Suhu minimum	Kelembaban relatif	Kec. angin	Radiasi matahari	Debit
..... mm .....		..... °C		%	m det ⁻¹	MJ/hari	mm
155,3	140,0	27,7	23,1	81,8	2,3	10,6	56,2
198,9	127,4	26,8	25,1	80,3	2,4	11,5	52,6
201,6	136,1	28,3	24,5	81,2	1,4	11,4	120,7
135,5	125,4	28,8	25,0	80,2	1,3	12,2	80,7
125,7	109,4	28,9	25,7	78,1	1,3	12,8	100,2
41,4	114,1	28,7	25,9	74,4	1,5	11,8	50,0
54,6	120,4	28,3	26,1	72,0	1,7	9,1	36,2
89,5	101,3	29,2	24,3	75,6	1,8	5,4	49,7
72,8	114,3	29,6	23,9	72,4	1,7	5,2	43,8
186,4	87,0	30,3	22,4	78,8	1,3	5,5	44,7
165,2	107,4	28,2	23,8	82,5	0,9	6,5	46,7
132,1	107,1	28,1	22,4	81,3	2,2	8,4	55,1
1.559,0	1.389,9	28,6	24,3	78,2	1,7	9,2	736,6

Jenis tanah dalam DAS

Hasil interpretasi gabungan dari digitasi Peta Satuan Lahan dan Tanah Lembar Banda Aceh skala 1:250.000 (Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, 1990) pada Gambar 9 menunjukkan wilayah DAS terbagi ke dalam enam grup landform yaitu : Grup Aluvial (ketinggian 1-1.000 m), Perbukitan (50-600 m), Karst (1-1.800 m), Pegunungan dan Plato (100-2.200 m), Teras Marin (1-150 m) serta Grup Volkan (10-1.700 m).



Gambar 9. Peta tanah DAS Krueng Aceh
Figure 9. Soil map of Krueng Aceh watershed

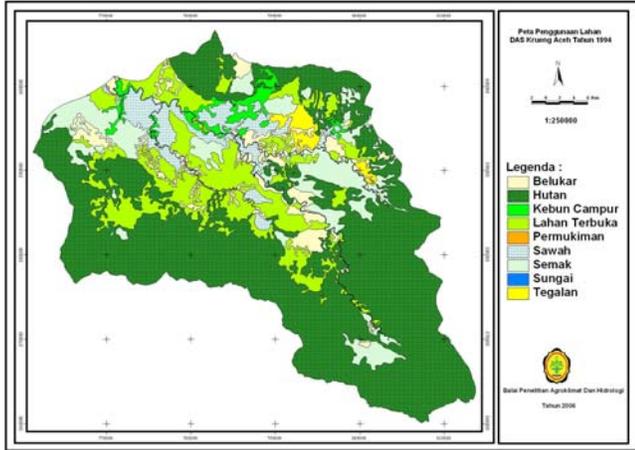
Jenis tanah yang sangat dominan menurut klasifikasi USDA (Soil Survey Staff, 1993) meliputi Tropaquepts, Eutropepts, Dystropepts, dan Hapludalfs. Jenis tanah lainnya adalah Hapludox, Hapludult, Hapludalfs, Troporthents, Humitropepts, Eutrandedpts, dan Dystrandeps.

Penutupan lahan dalam DAS

Data spasial penutupan lahan DAS Krueng Aceh diperoleh dari hasil intepretasi Citra Satelit LANDSAT tahun 1994 dan 2002. Hasil interpretasi citra Landsat tahun 1994 menunjukkan penutupan lahan terluas berupa hutan (sekitar 57% dari luas total), dengan distribusi hampir merata di daerah pinggiran. Sebagai kawasan DAS, proporsi ini masih tergolong bagus. Kelas penutup lahan terbuka berada di urutan kedua dengan persentase sekitar 14%, diikuti oleh semak (11%), sawah (8%), belukar (5%), kebun campuran (2%), tegalan (1%), dan pemukiman (0,02%). Peta Penggunaan Lahan DAS Krueng Aceh tahun 1994 dan 2002 disajikan pada Gambar 10 dan 11.

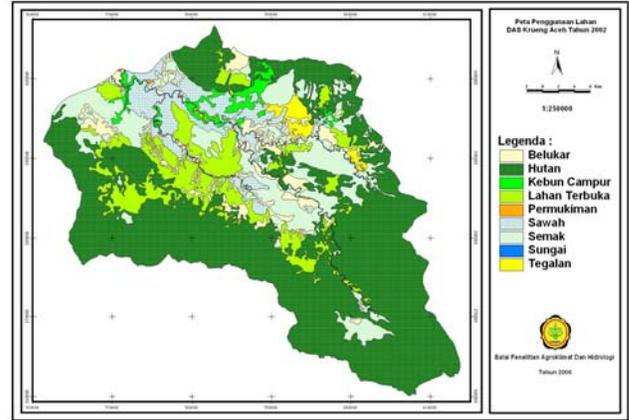
Luas perkampungan di Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh cenderung menurun pada

periode 2000-2003 (Tabel 2). Artinya, luas penggunaan lahan menyusut selama periode tersebut dengan laju rata-rata penyusutan sekitar 11,8% tahun⁻¹.



Gambar 10. Peta penutup lahan DAS Krueng Aceh tahun 1994

Figure 10. Land cover map of Krueng Aceh watershed in 1994



Gambar 11. Peta penutup lahan DAS Krueng Aceh tahun 2002

Figure 11. Land cover map of Krueng Aceh watershed in 2002

Luas sawah berfluktuasi dengan dua *trend* yang berbeda. Pada periode 1995-1999 luas sawah cenderung meningkat dengan rata-rata laju peningkatan sebesar 1,2% tahun⁻¹, kemudian menurun selama periode 1999-2003 dengan rata-

Tabel 2. Fluktuasi luasan beberapa pola penggunaan lahan, jumlah penduduk, curah hujan tahunan, dan PDRB di Kabupaten Aceh Besar dan Kota Banda Aceh tahun 1990-2003

Table 2. Fluctuation of some landuse types, population, annual rainfall, and income in Aceh Besar Regency and Banda Aceh during 1990-2003

Tahun	Luasan penggunaan lahan					Jumlah penduduk	Curah hujan tahunan	PDRB
	Perkampungan	Sawah	Kebun campuran	Padang rumput	Hutan			
	..... ha					jiwa	mm tahun ⁻¹	juta rupiah
1990						425,099	1.490	256,417
1991						431,269	1.440	272,918
1992						438,975	1.174	293,908
1993						453,602	1.598	684,172
1994							1.714	743,907
1995		30.461				474,030	1.533	813,710
1996		30.737				484,971	2.107	876,415
1997	27.501	30.862	57.448	11.913	11.0946	489,614	1.357	917,723
1998		30.988				494,257	1.212	882,946
1999		31.912				539,578	1.138	892,353
2000	9.021		10.456	77.608	169.700	506,662	1.156	901,280
2001	9.021	31.391	10.456	77.608		508,721	1.156	922,508
2002	8.259	30.830	10.255	61.099		511,632	1.278	949,769
2003	8.006	30.944	10.336	34.243	145.071	537,269	1.243	985,634

rata laju penyusutan sebesar 0,8% tahun⁻¹. Selama periode 1995-2003 luas sawah cenderung meningkat dengan rata-rata laju peningkatan luas 0,2% tahun⁻¹.

Luas kebun campuran menunjukkan *trend* menurun pada periode 2000-2003 dengan rata-rata laju penyusutan sekitar 0,4% tahun⁻¹. Luas padang rumput menunjukkan *trend* menurun pada periode 2000-2003 dengan rata-rata laju penyusutan sekitar 18,6% tahun⁻¹.

Luas hutan berfluktuasi dengan dua *trend* yang berbeda. Pada periode 1997-2000 memperlihatkan *trend* meningkat dengan rata-rata laju peningkatan sebesar 17,7% tahun⁻¹, kemudian menurun selama periode 2000-2003 dengan rata-rata laju penyusutan sebesar 4,8% tahun⁻¹. Namun demikian selama periode 1997-2003 kecenderungan yang terjadi adalah meningkat dengan rata-rata laju peningkatan 5,1% tahun⁻¹.

Hasil interpretasi citra Landsat tahun 2002 menunjukkan penutup lahan DAS Krueng Aceh masih didominasi oleh hutan ($\pm 47,6\%$) dari luas total). Secara proporsi, luas hutan menurun sebesar 0,9% dari luas lahan dengan nominal perubahan ini seluas 1.837 ha selama periode delapan tahun, atau rata-rata laju perubahan sebesar 229,6 ha tahun⁻¹.

Hasil analisis neraca air bulanan DAS Krueng Boga, salah satu dari tiga sub DAS Krueng Aceh, menunjukkan bahwa antara 1996 dan 2003, terjadi penurunan volume aliran sungai sebesar 417,4 mm tahun⁻¹, dan penurunan curah hujan tahunan sebesar 24,6 mm. Uji lanjutan dengan aplikasi model simulasi debit GR4J, menunjukkan bahwa volume aliran sungai, antara tahun 1996 dan 2003 untuk DAS Krueng Boga menurun 32,1% (Balitklimat, 2004).

Sementara itu, hasil interpretasi citra Landsat tahun 2002 menunjukkan penutup lahan terluas berupa hutan (sekitar 56%). Proporsi ini masih tergolong tinggi, walaupun bila dibandingkan dengan tahun 1994, luas hutan telah mengalami penurunan sebesar 1,04% atau setara dengan luas sebesar 1.559,8 ha. Penurunan luas hutan yang terjadi

selama jangka waktu delapan tahun ini setara dengan laju penurunan rata-rata 194,9 ha tahun⁻¹. Laju perubahan ini jauh di bawah angka laju perubahan luas hutan secara nasional, baik hasil temuan Pemerintah maupun lembaga swadaya masyarakat.

Sebagai perbandingan, luas hutan di Propinsi DI Aceh pada tahun 1985 (RePPPOT) adalah 3.882.300 ha, kemudian tahun 1991 (Dephut) menjadi 3.775.140 ha dan tahun 1997 (Dephut) seluas 3.611.953 ha. Dari data ini laju penurunan luas hutan antara 17.860 ha tahun⁻¹ dan 27.198 ha tahun⁻¹. Data dari *Forest Watch Indonesia dan Washington DC Global Forest Watch (FWI/GFW, 2001)* menyebutkan pada tahun 1980-an laju kehilangan hutan di Indonesia rata-rata sekitar 1 juta ha tahun⁻¹, kemudian menjadi sekitar 1,7 juta ha tahun⁻¹ pada tahun pertama 1990-an. Selanjutnya disebutkan pula sejak tahun 1996 laju deforesasi tampaknya meningkat menjadi rata-rata 2 juta ha tahun⁻¹.

Selain hutan, penurunan penutupan lahan terjadi pula pada kebun campuran serta lahan terbuka. Kebun campuran mengalami pengurangan luas sebesar 0,04% setara dengan luas 53,1 ha, sedangkan lahan terbuka mengalami penurunan luas sebesar 4,3% atau setara dengan 6.369 ha. Sementara tipe penutupan lahan seperti pemukiman, sawah, belukar, dan semak mengalami kenaikan luas masing-masing sebesar 137,7; 3.093,3; 358,6; dan 4.392,7 ha (berturut turut setara dengan perubahan sebesar 0,09; 2,07; 0,24; dan 2,94%). Data perubahan tutupan lahan tahun 1994 dan 2002 disajikan pada Tabel 3.

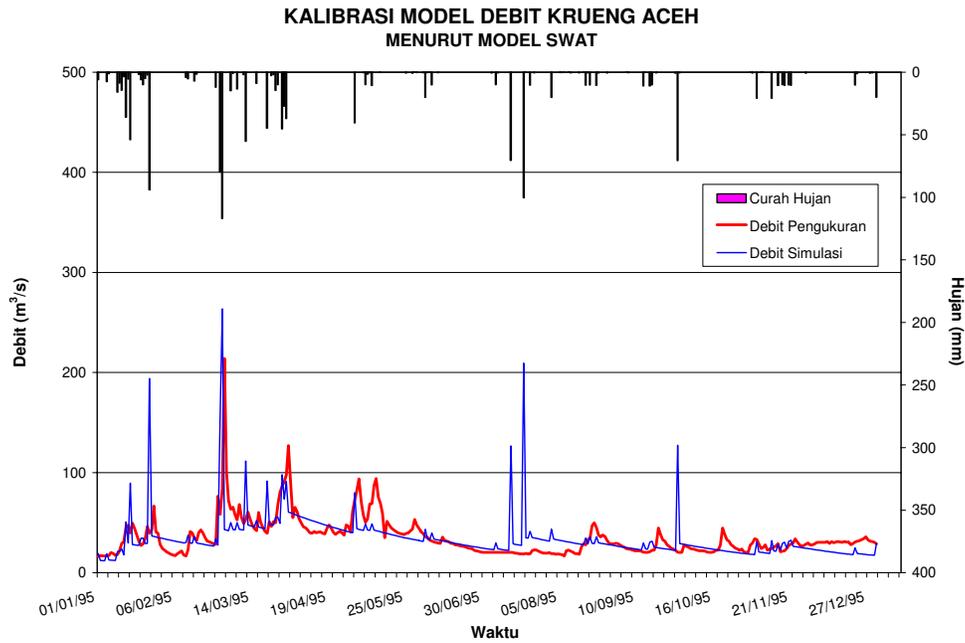
Keluaran model

Model SWAT memungkinkan beberapa pilihan keluaran simulasi sesuai dengan kelengkapan data masukan yang tersedia. Karena data terbatas, analisis hanya mencakup simulasi aliran sungai total serta repartisinya. Pada tahap awal, simulasi debit ditujukan untuk mengkalibrasi model. Gambar 12 menunjukkan hasil kalibrasi model SWAT untuk debit Sungai Krueng Hulu periode 1995.

Tabel 3. Perubahan luas penutup lahan antara tahun 1994 dan 2002

Table 3. Change of land cover wide in 1994 and 2002 periods

Penutupan lahan	1994		2002		% perubahan
	ha	%	ha	%	
Belukar	7.884,85	5,28	8.243,45	5,52	0,24
Hutan	85.463,51	57,19	83.903,67	56,14	-1,04
Kebun campuran	3.086,59	2,07	3.033,51	2,03	-0,04
Lahan terbuka	21.558,82	14,43	15.189,85	10,16	-4,26
Pemukiman	31,27	0,02	168,53	0,11	0,09
Sawah	12.020,71	8,04	15.114,05	10,11	2,07
Semak	16.444,56	11,00	20.837,28	13,94	2,94
Sungai	1.255,52	0,84	1.255,50	0,84	0,00
Tegalan	1.697,03	1,14	1.697,03	1,14	0,00
Total	149.442,88	100,00	149.442,88	100,00	



Gambar 12. Kalibrasi model SWAT untuk debit Krueng Hulu periode 1995

Figure 12. SWAT calibration model for upstream discharge of Krueng in period 1995

Analisis koefisien efisiensi dilakukan untuk menentukan kualitas simulasi. Koefisien ini merupakan selisih antara nilai 1 dengan rasio jumlah simpangan baku data simulasi dan pengukuran, dengan jumlah simpangan baku data pengukuran dan nilai rata-ratanya. Nilai koefisien efisiensi mendekati 1 menunjukkan bahwa kualitas simulasi sempurna, sebaliknya jika semakin menurun maka kualitas simulasi makin memburuk (Nash and Sutcliffe, 1970).

Hasil kalibrasi model SWAT untuk DAS Krueng menunjukkan nilai koefisien $-0,60$. Angka ini tergolong tidak ideal, karena keterbatasan data yang tersedia terutama ketersediaan data hujan spasial dan data debit temporal. Keterbatasan data hujan spasial menyebabkan keragaman hujan di lokasi penelitian tidak dapat digambarkan secara proporsional. Sementara, keterbatasan data debit temporal menyebabkan kalibrasi model tidak dapat dilakukan untuk beberapa tahun yang berbeda, sehingga gambaran variasi debit antar tahun tidak dapat dipelajari.

Data curah hujan simulasi berasal dari stasiun hujan Kampung Darang, Kecamatan Indrapuri ($5^{\circ}25'14''$ LU dan $95^{\circ}27'18''$ BT). Lokasi ini hanya bisa mewakili kondisi hujan di daerah hilir, dan tidak dapat menggambarkan rata-rata curah hujan wilayah DAS Krueng Aceh. Indikasinya seperti terlihat dari pola hubungan yang tidak logis antara curah hujan dengan debit yang terukur pada titik keluaran selama periode Juli dan September 1995 (Gambar 12). Pada tanggal 13 Juli, 19 Juli, dan 29 September, tercatat curah hujan tinggi berturut turut sebesar 70,5; 100,3; dan 70,7 mm. Akan tetapi kejadian hujan ini tidak menunjukkan kenaikan debit sama sekali, bahkan cenderung menurun. Sementara itu, simulasi pada tiga kejadian hujan tersebut direspon dengan tiga kali kenaikan kurva debit simulasi yang signifikan. Ketiga anomali inilah yang menyebabkan nilai koefisien efisiensi antara pengukuran dengan simulasi menjadi rendah.

Hasil kalibrasi model dapat digunakan untuk simulasi debit dengan berbagai skenario perubahan

penutupan lahan, karena walaupun nilai koefisien efisiensi yang diperoleh rendah, namun secara keseluruhan model yang dikembangkan relatif dapat mensimulasi debit dengan baik di musim hujan (curah hujan wilayah relatif homogen) serta terjadi resesi kurva debit di musim kemarau.

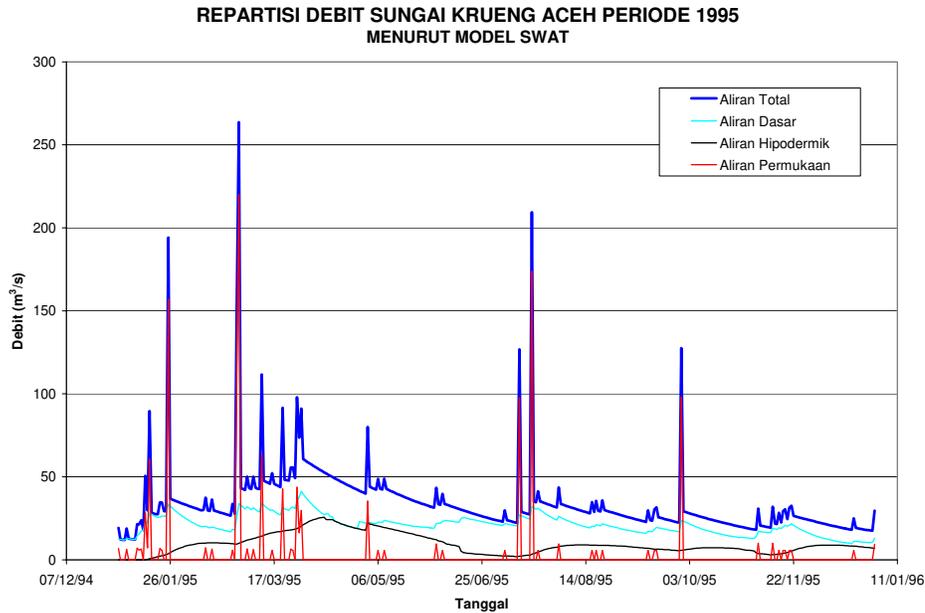
Gambar 13 menunjukkan repartisi harian komponen penyumbang aliran Sungai Krueng Aceh menurut model SWAT. Gambar tersebut mengilustrasikan bahwa aliran dasar (*groundwater-flow/baseflow*) merupakan komponen terbesar penyumbang aliran sungai, diikuti sumbangan aliran hipodermik (*interflow*) dan aliran permukaan (*runoff*). Variasi bulanan sumbangan masing-masing komponen aliran disajikan pada Tabel 4.

Simulasi debit pada berbagai skenario perubahan penutupan lahan

Gambar 14 menyajikan simulasi debit harian Krueng Aceh periode 2002. Hasil simulasi menunjukkan bahwa debit rata-rata harian mencapai $30,6 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$, debit maksimum $247,6 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$, debit minimum $11,6 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$, dan rasio debit maksimum-minimum 21,4. Nilai ini masih berada di bawah angka 30, yaitu nilai kritis menurut Puslitbang Air yang digunakan sebagai salah satu parameter penilaian kekritisitas DAS.

Tabel 5 menyajikan komposisi luasan penutupan lahan pada berbagai skenario dibandingkan dengan kondisi penutupan lahan tahun 2002. Skenario perubahan lahan dilakukan pada tiga kondisi yang berbeda, ditekankan pada penurunan luas hutan, kebun campuran dan lahan terbuka, serta peningkatan luas areal pemukiman dan sawah.

Hasil simulasi debit pada berbagai skenario perubahan penutupan lahan pada Tabel 5 dapat dilihat pada Gambar 15. Secara umum luas hutan menurun dan luas areal pemukiman meningkat yang menyebabkan terjadinya peningkatan debit puncak (saat hujan ekstrim) serta penurunan debit aliran dasar (saat tidak terjadi hujan).



Gambar 13. Repartisi debit Krueng Aceh periode 1995 menurut model SWAT

Figure 13. Repartition of Krueng Aceh discharge in period 1995 base on SWAT model

Tabel 4. Repartisi bulanan komponen aliran penyumbang debit total periode 1995 menurut simulasi model SWAT

Table 4. Monthly repartition of total input discharge in periode 1995 base on SWAT model

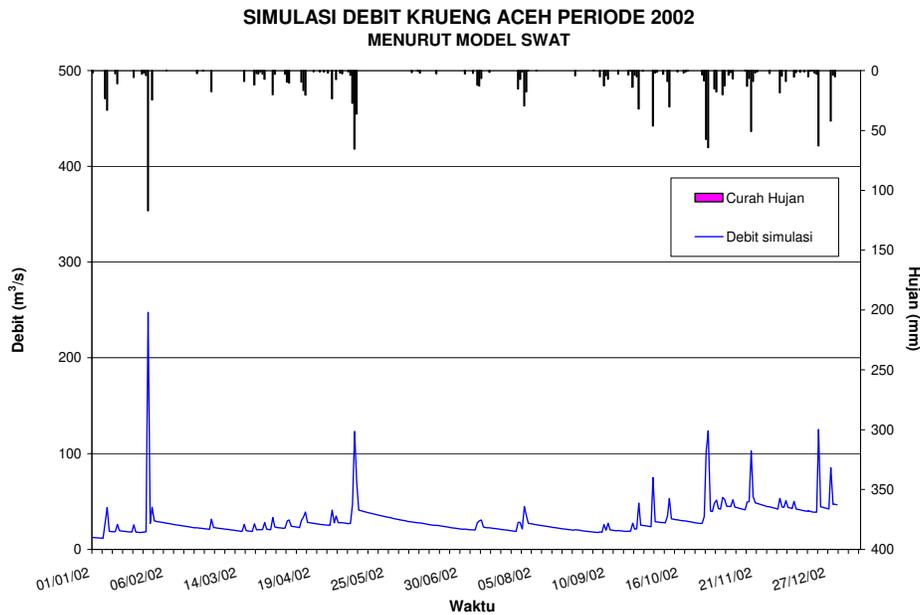
Bulan	Aliran dasar	Aliran hipodermik	Aliran permukaan	Total debit
	..... mm			
Januari	38,8	3,2	17,2	59,2
Februari	33,8	15,6	20,8	70,2
Maret	56,7	28,1	13,1	97,8
April	47,1	38,2	0,0	85,3
Mei	38,4	31,3	2,7	72,3
Juni	40,0	11,5	0,9	52,4
Juli	44,7	6,8	16,3	67,8
Agustus	38,1	15,5	1,5	55,1
September	31,1	11,6	6,6	49,4
Oktober	29,9	12,3	0,0	42,1
November	30,6	8,5	2,8	41,9
Desember	20,8	14,9	0,9	36,5
Total	450,0	197,4	82,7	730,1

Hasil simulasi berdasarkan skenario 1 (hutan dan perkebunan menyempit 25%, belukar, semak, pemukiman, dan sawah meluas 58%) menunjukkan

bahwa kejadian hujan sebesar 29,4 mm pada tanggal 31 Juli 2002 menimbulkan debit puncak sebesar 48,6 m³ det⁻¹, lebih tinggi sebesar 3,9 m³ det⁻¹ dibandingkan kondisi pada skenario 0. Pada tanggal 29 Oktober 2002, curahan hujan sebesar 64 mm merespon terjadinya debit sebesar 130,9 m³ det⁻¹, naik kurang lebih 7 m³ det⁻¹ dibandingkan kondisi sebelum adanya perubahan tutupan lahan.

Pada skenario 3 (hutan menyempit 50%, kebun campuran dan lahan terbuka menyempit 25%, sawah dan pemukiman meningkat 400%), debit puncak yang terjadi pada tanggal 31 juli dan 29 Oktober 2002 adalah 66,3 dan 161,9 m³ det⁻¹, atau naik masing-masing sebesar 21,6 dan 38,0 m³ det⁻¹ dibandingkan dengan kondisi sebelum adanya perubahan tutupan lahan.

Penurunan luas hutan dan peningkatan areal pemukiman menyebabkan penurunan debit dasar seperti ditunjukkan dari hasil simulasi debit tanggal 1 Juli 2002. Pada skenario 0, debit simulasi yang terjadi sebesar 28,9 m³ det⁻¹, menurun menjadi masing-masing sebesar 19,9 dan 14,9 m³ det⁻¹ pada skenario 1 dan 3.



Gambar 14. Simulasi debit harian Krueng Aceh periode 2002 menurut model SWAT

Figure 14. Daily discharge simulation of Krueng Aceh in period 2002 base on SWAT model

Tabel 5. Skenario perubahan penutupan lahan DAS Krueng Aceh tahun 2002

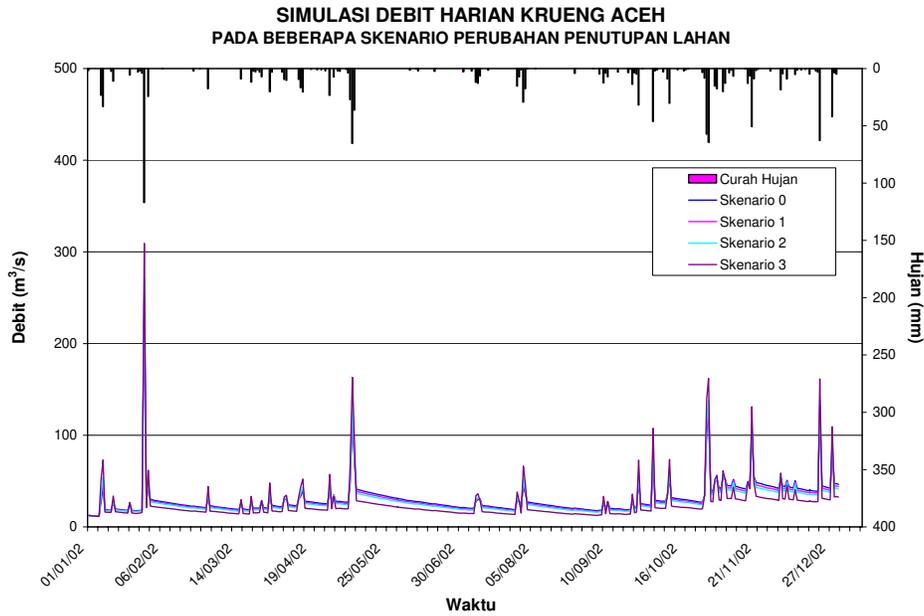
Table 5. The scenario of land cover change Krueng Aceh in periode 2002

Penutupan lahan	Luas				Perubahan		
	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	ha				%		
Kebun campuran	3.033,5	2.275,1	2.275,1	2.275,1	-25*	-25	-25
Belukar	8.243,5	12.987,7	16.885,4	8.243,5	+58	+100	0
Hutan	83.903,7	62.927,8	41.951,8	41.951,8	-25	-50	-50
Tegalan	1.697,0	1.697,0	1.697,0	1.697,0	0	0	0
Pemukiman	168,5	265,5	345,2	681,4	+58	+100	+400
Lahan terbuka	15.189,9	11.392,4	11.392,4	11.392,4	-25	-25	-25
Semak	20.837,3	32.829,5	42.681,8	20.837,3	+58	+100	0
Sawah	15.114,1	23.812,4	30.958,7	61.108,9	+58	+100	+400
Sungai	1.255,5	1.255,5	1.255,5	1.255,5	0	0	0

Keterangan : *) - = penurunan, + = kenaikan, 0 = tetap

Hasil analisis bulanan menunjukkan bahwa penurunan luas hutan dan peningkatan luas pemukiman akan menyebabkan penurunan produksi air tahunan dan debit rata-rata, serta peningkatan debit maksimum dan rasio debit maksimum-minimum (Tabel 6).

Total aliran sungai tahunan menurun dari 645,1 mm pada skenario 0 menjadi masing-masing sebesar 626,9 mm (skenario 1), 609,8 mm (skenario 2), dan 543,5 mm pada (skenario 3). Hal ini berkorelasi positif dengan penurunan debit rata-rata dari 30,6 m³ det⁻¹ pada skenario 0 menjadi 29,7



Gambar 15. Simulasi debit harian Krueng Aceh pada beberapa skenario perubahan penutupan lahan

Figure 15. Daily discharge simulation of Krueng Aceh according to some scenarios of land cover change

$m^3 \text{ det}^{-1}$ pada (skenario 1), $28,9 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$ (skenario 2), dan $25,8 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$ (skenario 3).

Sebaliknya berkorelasi negatif dengan peningkatan debit maksimumnya dari $247, \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$ pada skenario 0 menjadi $259,1 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$, $271,4 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$ dan $309,1 \text{ m}^3 \text{ det}^{-1}$ masing-masing pada skenario 1, 2, dan 3. Akibatnya rasio antara debit maksimum dan debit minimumnya menjadi meningkat dari 21,4 (skenario 0) menjadi 22,4 (skenario 1), 23,5 (skenario 2), dan 26,8 (skenario 3).

Walaupun skenario perubahan tutupan lahan telah merubah perilaku hidrologis DAS Krueng Aceh ke arah yang kurang menguntungkan dari sisi ketersediaan air, namun dampak yang ditimbulkannya masih dapat ditolerir, seperti ditunjukkan oleh nilai rasio debit maksimum-minimum masih di bawah angka 30.

Tabel 6. Aliran sungai simulasi bulanan pada berbagai skenario perubahan penutupan lahan DAS Krueng Aceh

Table 6. Monthly discharge simulation according to some scenarios of cover change in Krueng Aceh watershed

Bulan	Aliran sungai			
	Skenario 0	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3
	..... mm			
Januari	49,5	50,3	51,2	54,0
Februari	40,5	38,9	37,4	32,0
Maret	38,7	37,6	36,4	32,3
April	47,1	46,0	44,9	40,9
Mei	68,5	66,4	64,6	57,0
Juni	44,7	42,3	40,1	31,6
Juli	41,2	40,1	39,0	35,0
Agustus	41,2	39,2	37,3	29,9
September	37,9	36,8	35,8	31,8
Oktober	67,3	66,5	65,8	62,6
November	83,8	80,9	78,2	68,0
Desember	84,8	81,9	79,1	68,4
Tahunan	645,1	626,9	609,8	543,5
$Q_{rataan} (\text{m}^3 \text{ det}^{-1})$	30,6	29,7	28,9	25,8
$Q_{maks} (\text{m}^3 \text{ det}^{-1})$	247,6	259,1	271,4	309,1
$Q_{min} (\text{m}^3 \text{ det}^{-1})$	11,6	11,6	11,6	11,6
Rasio Q_{maks}/Q_{min}	21,4	22,4	23,5	26,8

KESIMPULAN

1. DAS Krueng Aceh dengan profil lebar 300 m dan kedalaman mulai 1-5 m, pada letak posisi tersebut memiliki daerah tangkapan sebesar 1.494,4 km² yang ditetapkan berdasarkan hasil survei lapangan.
2. Dari hasil pengukuran tinggi muka air sungai 200 cm (terlihat pada rambu *staff gauge*), dapat diketahui luas penampang basah sungai 199,2 m², dengan debit yang terukur mencapai 15,7 m³ det⁻¹.
3. Hasil interpretasi citra Landsat tahun 2002 menunjukkan penutupan lahan DAS Krueng Aceh didominasi oleh hutan (47,6%). Terjadi penurunan luas hutan sebesar 0,9% dari luas lahan. Perubahan seluas 1.837 ha selama 8 tahun setara dengan rata-rata laju perubahan 229,6 ha tahun⁻¹. Dimana setiap pertambahan 1.000 jiwa penduduk, berakibat pada pertambahan luas sawah sebesar 14 ha.
4. Dari karakteristik geometriaknya, DAS Krueng Aceh memiliki bentuk memanjang yang dicirikan oleh Indeks Gravelius antara 1,2-1,8 serta panjang dan lebar ekuivalen masing-masing 75,6 dan 17,1 km. Bila dibandingkan dengan DAS berbentuk bulat dengan ukuran sama, maka debit yang dihasilkan dari suatu kejadian hujan pada DAS berbentuk memanjang menghasilkan debit puncak lebih rendah dan waktu resesi lebih lama. Maka, risiko banjir DAS berbentuk memanjang lebih kecil dibanding DAS berbentuk bulat.
5. Hasil kalibrasi model SWAT menunjukkan bahwa koefisien efisiensi yang memiliki tingkat kemiripan antara hidrograf simulasi dengan pengukuran, bernilai rendah akibat keragaman spasial curah hujan wilayah DAS Krueng Aceh. Walaupun demikian, secara umum model ini mampu menggambarkan simulasi debit secara baik selama musim hujan maupun saat tidak terjadi hujan untuk jangka waktu relatif lama.
6. Walaupun skenario perubahan tutupan lahan yang dibangkitkan dalam analisis ini telah merubah perilaku hidrologis DAS Krueng Aceh ke arah yang kurang menguntungkan dari sisi ketersediaan air, namun dampak yang ditimbulkannya masih dapat ditolerir, seperti ditunjukkan oleh nilai rasio debit maksimum-minimum masih di bawah angka 30.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreassian, V., E. Parent, and C. Michel. 2003.** Using a parsimonious rainfall-run off model to detect non-stationarities in the hydrological behaviour of watersheds. *Journal of Hydrology* 279(1-4):458-463.
- Asdak, C. 1995.** Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Cetakan Pertama. Gadjah 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.
- Balitklimat. 2004.** Pengembangan Database Hidrologi Berbasis Daerah Aliran Sungai (DAS). Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Laporan Akhir Kegiatan Penelitian
- Ditjen Reboisasi dan Rehabilitasi Lahan-Dephut, 1998.** Keputusan Ditjen RRL tentang Pedoman Penyusunan Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah Daerah Aliran Sungai. Dephut. Jakarta.
- FWI/GFW.2001.** Keadaan Hutan Indonesia. Bogor, Indonesia : Forest Watch Indonesia dan Washington DC Global Forest Watch.
- Haryadi, 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.
- Hewlett, J.D. 1982.** Principles of Forest Hydrology. The University of Georgia Press, Athens.

- Horton R.E. 1933.** The role of infiltration in the hydrologic cycle. *EOS Trans A.G.U.* 14:446-460.
- Kartiwa, B. 2004.** Modelisation du Fonctionnement Hydrologique 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. P 527.
- Lørup, J.K., J.C. Refsgaard, and D. Mazvimavi. 1998.** Assessing the effect of land use change on catchment runoff by combined use of statistical tests and hydrological modelling: case studies from Zimbabwe. *Journal of Hydrology* 205:147-163.
- Nash, J.E. and J.V. Sutcliffe. 1970.** River flow forecasting through conceptual models, 1, a discussion of principles. *J. Hydrol* 10(1): 282-290.
- Perrin, C., C. Michel, and V. Andréassian. 2003.** Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology* 279(1-4):275-289.
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat tahun 1990.** Peta Tanah hasil digitasi Peta Satuan Lahan dan Tanah Skala 1 : 250.000 (lembar Banda Aceh).
- Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. 1994.** Peta Land Use (DAS Kruaeng Aceh) hasil interpretasi Citra Sateli LANDSAT tahun 1994.
- Roche, M. 1963.** Hydrologie de surface. ORSTOM. Gauthier-Villars, Paris. P 430.
- Strahler, A.N. 1952.** Hypsometric analysis of erosional topography. *Bull. Geol. Soc. Am.* 63:117-142.
- Soil Conservation Service. 1972.** National Engineering Handbook : Section 4. Hydrology, 2nd ed., US Departement of Agriculture. Washington.
- Soil Survey Staff. 1993.** Soil Survey Manual. USDA Handbook No. 18. US Departement of Agriculture. Washington.
- Suripin. 2002.** Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air. Andi Offset. Yogyakarta.
- UNESCO-WMO. 1992.** Glossaire international d'hydrologie. P 413.