

KUANTIFIKASI NERACA AIR DAS *WAY RATAI* SEBAGAI INFORMASI AWAL PENDUGAAN DISRIBUSI TEMPORAL BEBAN SEDIMEN

Apip*, Iwan Ridwansyah* & Hidayat*

ABSTRAK

Kondisi tutupan lahan DAS dan debit aliran sungai sangat menentukan beban material sedimen khususnya sedimen terlarut yang masuk ke badan air, oleh karena itu informasi hubungan debit aliran dan beban sedimen yang terangkut sangat diperlukan dalam usaha pengelolaan DAS. Kegiatan penelitian modelisasi neraca air DAS yang bertujuan menyediakan informasi awal pendugaan distribusi temporal beban sedimen terlarut telah diaplikasikan di DAS Way Ratai. Simulasi perhitungan neraca air memperhatikan proses fisik hidrologi. Hasil simulasi debit aliran sungai secara harian dapat digunakan untuk prakiraan dan perhitungan distribusi temporal beban sedimen terlarut, debit aliran sungai pada musim kemarau berada pada kisaran yang sama dengan hasil pengukuran debit aliran di lapangan. Potensi ketersediaan air DAS mempunyai masukan jumlah curah hujan 388,9 juta m³/tahun, luaran aliran permukaan 150,1 juta m³/tahun, luaran aliran lateral 71,6 juta m³/tahun. Total beban aliran air permukaan dari sungai Way Ratai sekitar 221,7 juta m³/tahun. Potensi pemakai air yang utama diantaranya sektor rumah tangga 1,6 juta m³/tahun, dan sektor pertanian khususnya padi sawah 25,6 juta m³/tahun. Proporsi distribusi beban sedimen terlarut harian pada musim penghujan (November-Maret) sekitar 0,2-1,2% per hari dari total sedimen terlarut dalam setahun. Pada musim kemarau (April-Oktober) proporsi harian tersebut menurun, berfluktuasi dibawah 0,2% per hari.

KATA KUNCI : DAS, sedimen terlarut, modelisasi, neraca air.

ABSTRACT

Land cover condition of watershed and river flow discharge determine sediment load, therefore, information of the relationship between flow discharge and transported sediment load is required in watershed management. Watershed water balance modeling is aimed to provide preliminary information for the estimation of temporal distribution of suspended sediment load entering a water body and it has conducted for the Ratai River Watershed. Computation of watershed water balance simulation is carried out by considering physical hydrology processes. Simulation result can be used for the prediction and computation of temporal distribution of dissolved sediment load, simulated discharge during the dry season are in the same range as field measurement result. Water availability potential of watershed i.e. sum of input from rainfall of 388.9 million m³/year, surface flow of 150.1 million m³/year, subsurface flow of 71.6 million m³/year. The total runoff load is about 221.7 million m³/year. The main water uses are domestic sector of 1.6 million m³/year, and agriculture, especially rice-fields, of 25.6 million m³/year. Proportion of daily suspended sediment load distribution during rainy season (November-March) is about 0.2-1.2% per day of total sediment resulting Ratai River annually. During dry season (April-October) the daily proportion is decreased and fluctuated less than 0,2% per day.

KEYWORDS : watershed, Ratai Bay, suspended sediment, modeling, water balance.

* Staf Peneliti Puslit Limnologi-LIPI

PENDAHULUAN

Proses pelumpuran (siltasi) yang besar pada suatu sungai terjadi ketika curah hujan tinggi diikuti naiknya debit aliran, yang membawa hasil erosi dari hulu yang mengalami kerusakan tutupan lahan. Kondisi tutupan lahan DAS (Daerah Aliran Sungai; *Daerah Tangkapan Air*) dan debit aliran sungai sangat menentukan beban material sedimen. Dengan demikian dalam pengelolaan suatu DAS diperlukan informasi perilaku hubungan debit aliran dan beban sedimen yang terangkut sungai.

Sebagai uji kasus hubungan perilaku debit aliran dan beban sedimen, telah dilakukan di DAS Way Ratai yang berada di Propinsi Lampung. Secara administratif DAS Way Ratai masuk ke dalam wilayah Kecamatan Padang Cermin, Kabupaten Lampung Selatan. Permasalahan di DAS Way Ratai adalah tidak terdapatnya infrastruktur pemantauan debit aliran dan laju material sedimen terangkut. Dengan demikian kegiatan penelitian ditujukan untuk menyediakan informasi awal pendugaan distribusi temporal beban sedimen yang terangkut aliran sungai, dengan menggunakan pendekatan modelisasi neraca air DAS. Dari modelisasi tersebut maka dihasilkan prakiraan fluktuasi temporal dan spasial debit aliran air yang berfungsi sebagai tenaga penggerak utama material hasil erosi yang berupa material sedimen terlarut. Dari studi ini diharapkan dapat diketahui dan dibuat model dampak penurunan kondisi daya dukung suatu lingkungan DAS terhadap proses siltasi di suatu perairan.

BAHAN DAN METODE

Deskripsi DAS Way Ratai

Kegiatan penelitian dilakukan pada bulan Oktober 2002. DAS Way Ratai secara geografis terletak pada posisi $5^{\circ}30'$ LS - $5^{\circ}45'$ LS dan 105° BT - $105^{\circ}15'$ BT, dengan luas sekitar $198,73 \text{ km}^2$. Jumlah

penduduk yang ada di Wilayah Administratif Padang Cermin pada tahun 2000 sekitar 72.154 jiwa. Ketinggian topografi berkisar antara kisaran 0,5 m dpl (di atas permukaan laut) sampai 1600 m dpl, menyebabkan kondisi ketererangan cukup bervariasi dari daerah datar (ketererangan < 8%) sampai sangat curam (ketererangan >75%). Pola penggunaan lahan cukup heterogen terdiri dari kawasan hutan primer, hutan terbuka, tegalan, kebun, semak belukar, sawah, dan pemukiman, yang didominasi penggunaan lahan untuk kebun campuran dengan komoditi utama tanaman kopi dan kakao.

Dari segi ketersediaan air, curah hujan merupakan masukan utama bagi sistem DAS. Seperti DAS yang berada di daerah pedesaan lainnya, sektor rumah tangga atau pemukiman dan lahan sawah merupakan pemakai utama dari jumlah air tersedia yang ada di DAS Way Ratai.

Deskripsi Model Neraca Air DAS

Model neraca air DAS yang dipakai mengacu kepada konsep/simulasi *Spatial Water Budget Model* yang dikembangkan Luitjen, *et al.*, (2000), dari International Center for Tropical (CIAT) and Agricultural and Biological Engineering University of Florida. Proses simulasi perhitungan neraca air DAS memperhatikan empat aspek di dalam sistem hidrologi, yaitu : (i) neraca air tiap unit penggunaan lahan; (ii) keseimbangan aliran; (iii) sistem aliran; dan (iv) simpanan air di dam atau situ; dan (v) pengambilan air dari badan air oleh rumah tangga, pertanian dan industri.

Neraca Air Unit Penggunaan Lahan

Skema kondisi tanah dari satu unit penggunaan lahan j dengan parameter neraca airnya, ditunjukkan pada Gambar 1a. Untuk satu unit penggunaan lahan j , perubahan harian kadar lengas tanah di sekitar daerah perakaran adalah :

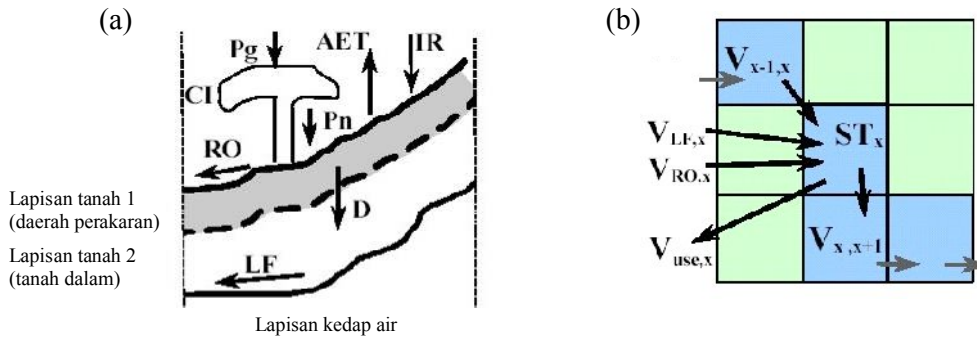
$$\Delta SW_j / \Delta t = (P_{N,j} + IR_j - CI_j - AET_j - RO_j - D_j) / RD_j,$$

- SW_j : kadar lengas tanah di sekitar daerah perakaran (m³m⁻³);
- P_{N,j} : curah hujan yang sampai permukaan tanah (mm/hari);
- IR_j : irigasi (mm/hari);
- CI_j : intersepsi curah hujan oleh tajuk tanaman (mm/hari);
- AET_j : evapotranspirasi aktual (mm/hari);
- RO_j : aliran permukaan (mm/hari);
- D_j : tebal lapisan tanah dalam (mm/hari);
- RD_j : kedalaman sistem perakaran (mm).
- Δt : perubahan waktu (harian).

Tiga parameter penting indikator pengaruh perubahan penggunaan lahan terhadap neraca air lahan dan ketersediaan air permukaan adalah intersepsi tajuk, evapotranspirasi, dan aliran permukaan (*surface runoff*).

evapotranspirasi, dan aliran permukaan (*surface runoff*).

Dengan A_{ref,j} dan B_{ref,j} menunjukkan kemampuan tajuk tanaman dalam mengintersepsi curah hujan (Tabel 1). A_{ref,j} menunjukkan distribusi curah hujan yang jatuh dari tajuk tanaman ke permukaan tanah (*throughfall*) dan B_{ref,j} menunjukkan distribusi curah hujan yang mengalir melalui batang tanaman ke permukaan tanah



Gambar 1. Skema neraca air untuk (a) Profil tanah dengan satu unit penggunaan lahan dan (b) sistem aliran antar unit penggunaan lahan dalam bentuk data raster GIS. Kedua gambar tersebut menunjukkan komponen neraca air.

Intersepsi Tajuk

Intersepsi tajuk (CI_j, mm/hari) diprediksi dari curah hujan harian (P_{G,j}, mm/hari). Persamaan yang digunakan dari Bruijnzeel & Wiersum (1987) :

$$CI_j = \text{Min}(P_{G,j}, A_j + B_j P_{G,j}), \text{ dengan}$$

$$A_j = A_{\text{ref},j} * CF_j \text{ dan } B_j = B_{\text{ref},j} * CF_j,$$

(*streamfall*). CF_j adalah koefisien tanaman sebagai faktor yang menunjukkan kebutuhan air tanaman.

Tabel 1. Koefisien tanaman (CF_j), koefisien intersepsi, rata-rata kedalaman akar, dan proporsi kadar lengas tanah tersedia untuk tanaman (PAW) di DAS Way Ratai.

| Unit Penggunaan Lahan | CF_j^a | Kedalaman Akar (m) | <i>Fraction of Plant Available Water (PAW)</i> ^b | Koefisien Intersepsi ($A_{ref,j}$) ^c | Koefisien Intersepsi ($B_{ref,j}$) ^c |
|-----------------------|----------|--------------------|---|---|---|
| Tegalan | 0.80 | 0.70 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| Sawah | 1.10 | 0.40 | 0.60 | 1.00 | 0.00 |
| Rawa | 1.00 | 0.15 | 0.60 | 0.00 | 0.00 |
| Perumahan | 0.40 | 0.15 | 0.90 | 0.00 | 0.00 |
| Kebun Campur | 0.90 | 1.00 | 0.60 | 1.00 | 0.02 |
| Hutan Terbuka | 0.80 | 1.25 | 0.60 | 2.00 | 0.02 |
| Hutan | 1.00 | 1.75 | 0.60 | 3.00 | 0.02 |

^a Berdasarkan Doorenbos & Pruitt (1977)

^b Prosentase kadar air dalam lapisan tanah yang tersedia bagi tanaman

^c Black (1996), Bosch & Hewlett (1982), Schulze & George (1987).

Evapotranspirasi

Evapotranspirasi harian (ET) tergantung kepada intensitas radiasi surya, suhu maksimum dan minimum, tingkat pertumbuhan tanaman, kondisi lengas tanah, dan kondisi kadar air di tajuk. ET maksimum dari sebuah unit penggunaan lahan :

$$MET_j = CF_j * RET_j,$$

Evapotranspirasi potensial (RET_j) dihitung menggunakan rumus Ritchie (1972).

Aliran Permukaan (*Surface Runoff*)

Aliran permukaan harian dari suatu unit penggunaan lahan dihitung dengan menggunakan metode SCS curve number (USDA-SCS, 1972). Laju aliran permukaan dari unit penggunaan lahan j (RO_j , mm/hari) adalah :

$$RO_j = (P_{N_j} - 0,2 * S_j)^2 / (P_{N_j} + 0,8 * S_j)$$

untuk $P_{N_j} > 0,2 * S_j$, dengan

$$S_j = (25400 / CN_j) - 254 * (SAT_j - SW_j) / (SAT_j - WP_j), \text{ dengan}$$

Dengan S_j adalah parameter simpanan DAS (mm), CN_j adalah *curve number* SCS, SW_j , SAT_j , dan WP_j menunjukkan kadar lengas tanah aktual, kadar lengas tanah pada kondisi kapasitas lapang dan kadar lengas tanah pada kondisi titik layu permanen.

Tabel 2. SCS *curve number* (CN_j) untuk beberapa unit penggunaan lahan di DAS Way Ratai

| Unit Penggunaan Lahan | Kelompok Tanah | | | |
|-----------------------|----------------|-----|-----|-----|
| | A | B | C | D |
| Tegalan | 67 | 78 | 85 | 89 |
| Sawah | 59 | 70 | 78 | 81 |
| Rawa | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Perumahan | 59 | 74 | 82 | 86 |
| Kebun Campur | 36 | 60 | 73 | 79 |
| Hutan Terbuka | 45 | 66 | 77 | 83 |
| Hutan | 25 | 55 | 70 | 77 |

Keseimbangan Aliran

Sistem aliran dalam perhitungan neraca air dalam keseimbangan aliran (*stream water flow balance*) berdasarkan hubungan nilai ketinggian antar sel dari data grid topografi yang menghasilkan arah aliran (*flow direction*) dan akumulasi aliran (*flow accumulation*) (Gambar 1b). Jumlah air di sel x (dengan $0 < x < N$), $V_{x,x+1}$ (m^3 /hari) adalah :

$$V_{x,x+1} = V_{x-1,x} + V_{RO,x} + V_{LF,x} - V_{USE,x} - \Delta ST_x,$$

Dengan $V_{x-1,x}$ volume air yang mengalir dari sel $x-1$, sel tetangga yang ada disebelah atasnya ke sel x ; $V_{RO,x}$ dan $V_{LF,x}$ akumulasi laju aliran permukaan dan aliran *lateral* (aliran antara ditambah aliran dasar) di sel x ; $V_{USE,x}$ pengambilan air di sel x untuk

pemenuhan kebutuhan air, dan ΔST_x perubahan simpanan air di sel x.

Sistem Aliran

Aliran permukaan dan aliran *lateral* diasumsikan mengalir menuju muara DAS. Infiltrasi sepanjang proses aliran diasumsikan tidak ada. Pergerakan air baik melalui aliran permukaan maupun aliran *lateral* di dalam proses perhitungan simulasi menggunakan metode kompartemen yaitu *two-compartment distributed delay model* (Luitjen, 1999). Arah aliran keduanya berdasarkan topografi permukaan. Aliran lateral secara horizontal perhitungannya didasarkan pada metode Hukum Darcy. Sedangkan untuk aliran permukaan, routing dan akumulasi jumlah air antar sel menggunakan ekstension spasial analisis

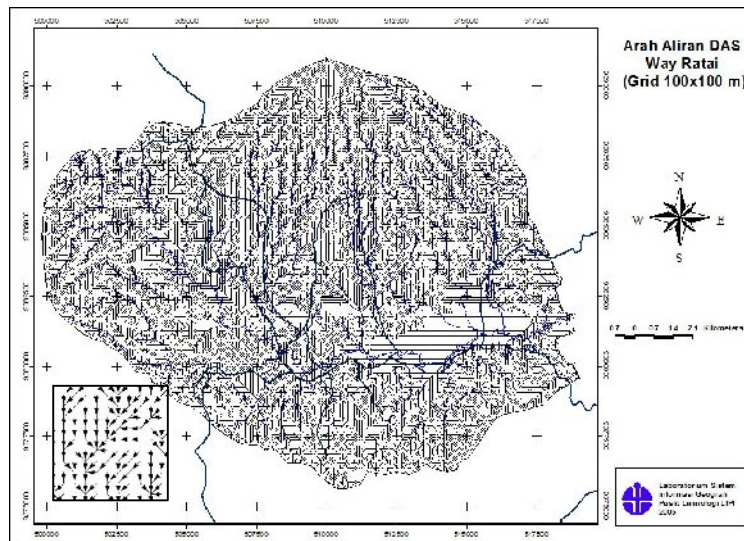
ArcView v3.1 software (ESRI, 1997) yaitu fungsi *Flow Direction* (Gambar 2) dan *Flow Accumulation*

Data

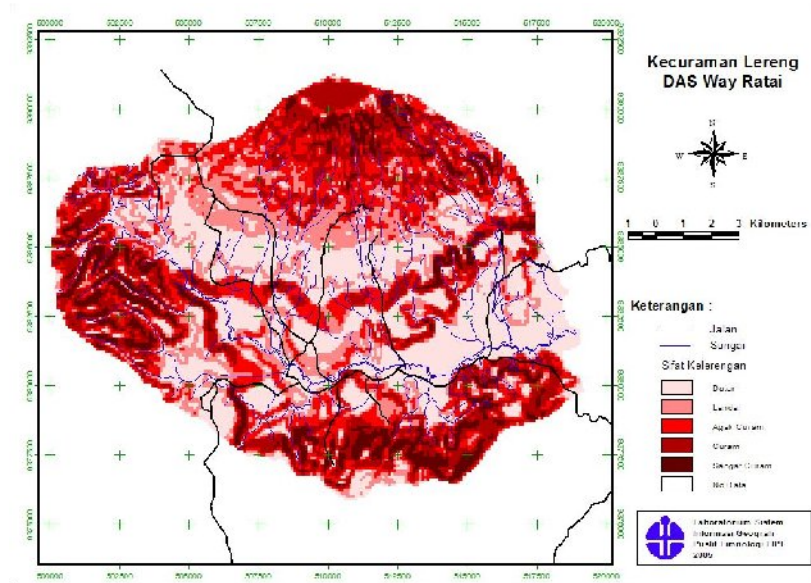
Secara umum data yang dibutuhkan adalah data topografi, cuaca, sifat fisika tanah, dan penggunaan lahan. Pengukuran debit aliran sungai di lapangan diperlukan untuk melihat validasi luaran model.

Topografi

DEM tersebut berasal dari Peta Topografi Padang Cermin, skala 1:50.000 (Sumber : DITOP TNI AD, 1997). Data DEM mempunyai resolusi spasial sel atau grid 100 x 100 m, dan digunakan untuk menentukan arah aliran, akumulasi aliran dan kemiringan lereng.



Gambar 2. Arah aliran air (*flow direction*) di DAS Way Ratai.



Gambar 3. Data grid tingkat kecuraman lereng DAS Way Ratai.

Penggunaan Lahan

Berdasarkan interpretasi citra Landsat TM7 Tahun 1997 menunjukkan bahwa penggunaan lahan di DAS Way Ratai diklasifikasikan kedalam tujuh penggunaan lahan (Tabel 3 dan Gambar 4).

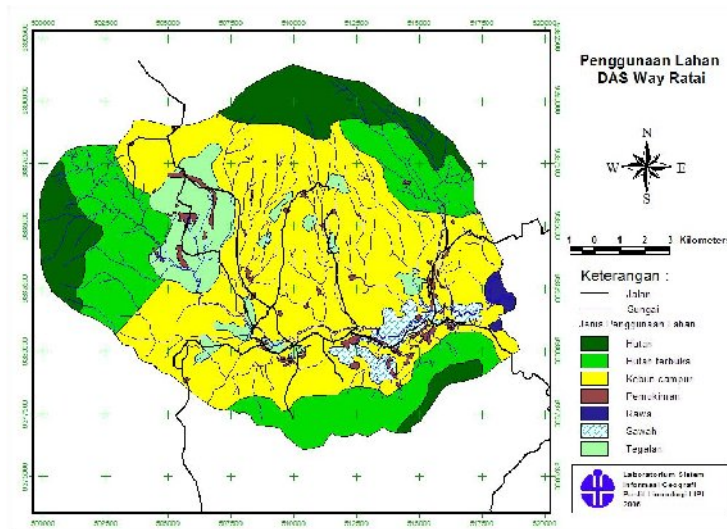
daerah imbuhan air hanya sekitar 12,6 %, yang tersebar terutama di lereng atas Gunung Ratai, tetapi sebaliknya luasan hutan terbuka mencapai sekitar 20% dari total lahan yang ada. Penggunaan lahan yang dominan adalah kebun campuran

Tabel 3. Penggunaan lahan di DAS Way Ratai

| No | Jenis Penggunaan Lahan | Luas (km ²) |
|----|------------------------|-------------------------|
| 1 | Hutan | 25,60 |
| 2 | Hutan terbuka | 44,25 |
| 3 | Kebun campuran | 101,92 |
| 4 | Pemukiman | 3,62 |
| 5 | Tegalan | 16,25 |
| 6 | Rawa | 1,58 |
| 7 | Sawah | 5,48 |
| | Jumlah | 198,73 |

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa luas hutan sebagai

dengan komoditi unggulan tanaman kopi dan kakao.



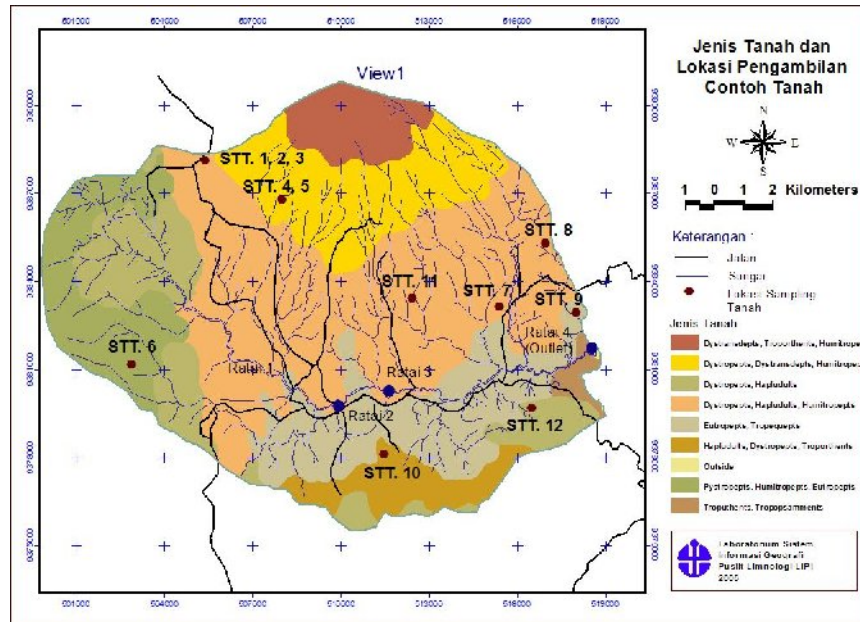
Gambar 4. Data grid penggunaan lahan DAS Way Ratai

Tanah

Berdasarkan Peta Satuan Lahan dan Tanah Lembar Tanjungkarang, Sumatera, yang dikeluarkan oleh Pusat Penelitian Tanah Bogor (1989) dan Buku Keterangan Peta Satuan Lahan dan Tanah Lembar Tanjungkarang, Sumatera (Junus, D, 1989). Daerah kajian terdiri dari lima grup satuan lahan, yaitu : (i) Grup Aluvial, jenis tanah utama di daerah ini adalah tanah yang relatif muda dan pada umumnya berasosiasi dengan lingkungan air atau basah. (ii) Grup Marin, jenis utama tanah di daerah ini adalah Hydraquents, Sulfaquents dan Fluvaquents. (iii) Grup Perbukitan, daerahnya terbentuk karena aktivitas tektonik, terletak di lereng pegunungan dan vulkan. Bahan pembentuknya berupa bahan vulkan (tuf dan batuan andesit), batuan sedimen, batuan plutonik masam (granit) dan batuan metamorf. (iv) Grup Pegunungan dan Plato, bahan pembentuknya berupa bahan vulkan Tersier. (v) Grup Vulkan, jenis tanah utama di lereng atas dan tengah Dystrandeps,

Dystropepts, dan Troporthent yang merupakan tanah-tanah muda. Jenis-jenis tanah yang ada di DAS Way Ratai berdasarkan pengelompokan tipe tanah metode USDA-SCS (1972) didominasi oleh kelompok tanah C dengan sifat-sifat tanah lempung berliat, lempung berpasir dangkal, tanah berkadar organik rendah dan tanah berkadar liat tinggi. Kelompok tanah C mempunyai daya infiltrasi sekitar 1-4 mm/jam.

Dalam perhitungan neraca air DAS diperlukan beberapa sifat fisika tanah diantaranya kadar lengas tanah pada kondisi kapasitas lapang (SAT), pada kondisi titik layu permanen (WP), lengas tanah tersedia (PAW), permeabilitas, berat jenis, tekstur dan struktur. Contoh tanah diambil di beberapa stasiun yang mewakili distribusi jenis tanah dan penggunaan lahan (Gambar 5). Pengambilan tanah dilakukan pada kedalaman $\pm 0,5$ m dari permukaan tanah dengan menggunakan alat *ring sample*.



Gambar 5. Distribusi spasial jenis tanah dan stasiun pengambilan contoh tanah.

Hasil analisis laboratorium menunjukkan, tanah DAS Way Ratai rata-rata mempunyai nilai SAT = 42,8%, WP = 27,4%, PAW = 15,4 %, porositas 56,9%,

berat jenis 1,1 gr/cc dan permeabilitas 5,9 cm/jam. Dilihat dari teksturnya, kondisi tanah didominasi oleh komposisi debu, liat, pasir kasar, dan pasir halus (Tabel 4).

Tabel 4. Hasil analisis terhadap parameter kandungan lengas tanah dan sifat fisika tanah dari contoh sampel tanah di DAS Way Ratai

| Lokasi | Kadar Air (% Volume) pada pF | | Air Tersedia (SAT-WP) (%) | Porositas (%) | Berat jenis (gr/cc) | Permeabilitas (cm/jam) |
|--------|------------------------------|----------|---------------------------|---------------|---------------------|------------------------|
| | 2.54 (SAT) | 4.2 (WP) | | | | |
| 1 | 45.57 | 33.29 | 12.28 | 55.47 | 1.18 | 2.51 |
| 2 | 35.41 | 17.46 | 17.95 | 62.26 | 1.00 | 29.98 |
| 3 | 41.54 | 24.72 | 16.82 | 58.87 | 1.09 | 9.33 |
| 4 | 43.48 | 25.86 | 17.62 | 64.53 | 0.94 | 1.84 |
| 5 | 43.76 | 29.62 | 14.14 | 59.25 | 1.08 | 4.47 |
| 6 | 45.81 | 34.05 | 11.76 | 60.38 | 1.05 | 1.33 |
| 7 | 39.21 | 21.22 | 17.99 | 53.96 | 1.22 | 2.43 |
| 8 | 45.06 | 29.09 | 15.97 | 56.98 | 1.14 | 7.01 |
| 9 | 44.95 | 25.41 | 19.54 | 54.34 | 1.21 | 7.58 |
| 10 | 39.81 | 23.69 | 16.12 | 56.23 | 1.16 | 2.47 |
| 11 | 44.81 | 34.66 | 10.15 | 51.70 | 1.28 | 2.28 |
| 12 | 44.28 | 29.71 | 14.57 | 49.06 | 1.35 | 0.44 |

| Lokasi | Tekstur (%) | | | | C-Organik (%) |
|-----------|-------------|-------------|-------|-------|---------------|
| | Pasir Kasar | Pasir Halus | Debu | Liat | |
| 1 | 4.01 | 1.31 | 39.02 | 55.66 | 1.23 |
| 2 | 27.44 | 7.13 | 47.63 | 17.80 | 1.15 |
| 3 | 11.86 | 2.94 | 38.79 | 46.41 | 2.38 |
| 4 | 17.65 | 3.85 | 38.64 | 39.86 | 2.46 |
| 5 | 14.53 | 1.85 | 42.57 | 41.05 | 1.54 |
| 6 | 4.11 | 0.94 | 25.22 | 69.73 | 1.15 |
| 7 | 42.59 | 8.62 | 31.63 | 17.16 | 1.69 |
| 8 | 32.51 | 7.19 | 36.91 | 23.39 | 0.92 |
| 9 | 26.61 | 5.30 | 49.44 | 18.65 | 2.85 |
| 10 | 25.50 | 4.18 | 42.52 | 27.80 | 1.92 |
| 11 | 20.09 | 2.97 | 61.39 | 15.55 | 2.23 |
| 12 | 33.37 | 4.58 | 40.84 | 21.21 | 2.30 |
| Rata-rata | 21.7 | 4.2 | 41.2 | 32.9 | 1.8 |

Iklm

Data iklim diperoleh dari stasiun terdekat dengan DAS Way Ratai yaitu stasiun iklim Badan Meteorologi dan Geofisika (BMG) Tanjung Karang. Jenis data iklim yang diperoleh diantaranya lama penyinaran dan intensitas radiasi, suhu udara maksimum dan minimum, kelembaban udara, kecepatan angin, dan curah hujan. Data tersebut adalah hasil pengamatan selama periode 1991-2002 dalam skala waktu harian.

Pengukuran Debit Aliran Sungai

Pengukuran debit aliran sungai dilakukan di beberapa lokasi yang mewakili kondisi debit aliran sungai DAS Way Ratai mulai dari Hulu sampai Hilir. Untuk mengetahui debit aliran sungai, ada beberapa parameter yang diukur di lapangan seperti lebar sungai, luas penampang sungai, dan kecepatan arus. Peralatan yang

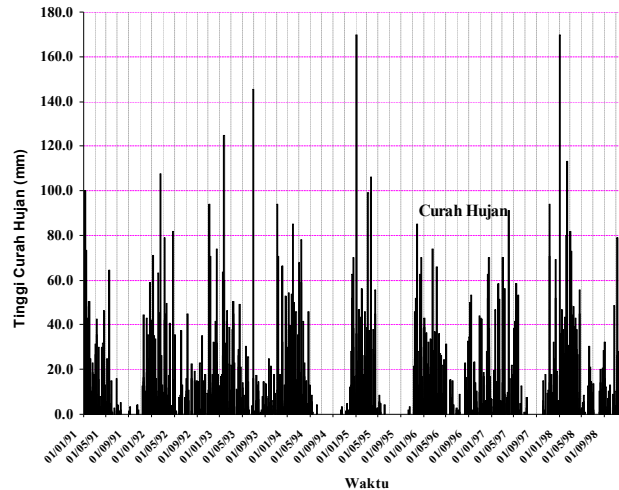
digunakan diantaranya *current meter*, *roll meter*, dan GPS. Pengukuran dilakukan pada akhir bulan Oktober 2002.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Variabel Input Neraca Air DAS

Curah Hujan

Gambar 6 menunjukkan variasi curah hujan harian selama sembilan tahun (1991-1999) di Stasiun Iklim Tanjung Karang, Dari variasi tersebut, DAS Way Ratai umumnya mempunyai puncak hujan pada bulan November-Maret, sedangkan pada bulan April-Oktober mengalami musim kemarau. Das Way Ratai berdasarkan klasifikasi iklim Schmidth-Ferguson memiliki tipe iklim C dengan nilai $Q = 40.7\%$. Daerah tersebut mempunyai jumlah bulan basah rata-rata 7,4 bulan/tahun (curah hujan bulanan > 100 mm) dan jumlah bulan kering rata-rata 3,0 bulan/tahun (curah hujan bulanan < 60 mm).

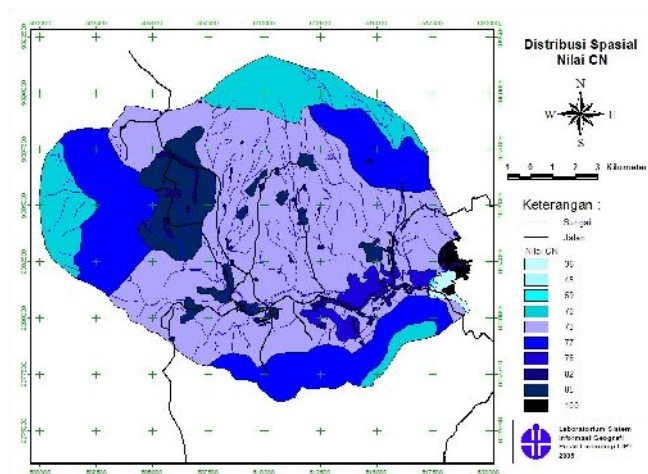


Gambar 6. Fluktuasi curah hujan harian selama periode 1991-1999 di St. Iklim Tanjung Karang.

Untuk mengetahui berapa potensi curah hujan yang masuk kedalam suatu sistem DAS maka harus diperhitungkan berapa rata-rata curah hujan wilayah yang masuk pada sistem DAS. Hasil perhitungan, didapat ketersediaan air hujan bulanan terendah pada bulan Agustus yaitu hanya 12,5 juta m³/bulan setara dengan 63,1 mm/bulan dan penerimaan tertinggi terjadi pada bulan Januari sebesar 65,8 juta m³/bulan setara dengan 331,3 mm/bulan. Sedangkan ketersediaan air hujan rata-rata tahunan adalah sebesar 388,9 juta m³/tahun setara dengan curah hujan 1956,8 mm/tahun.

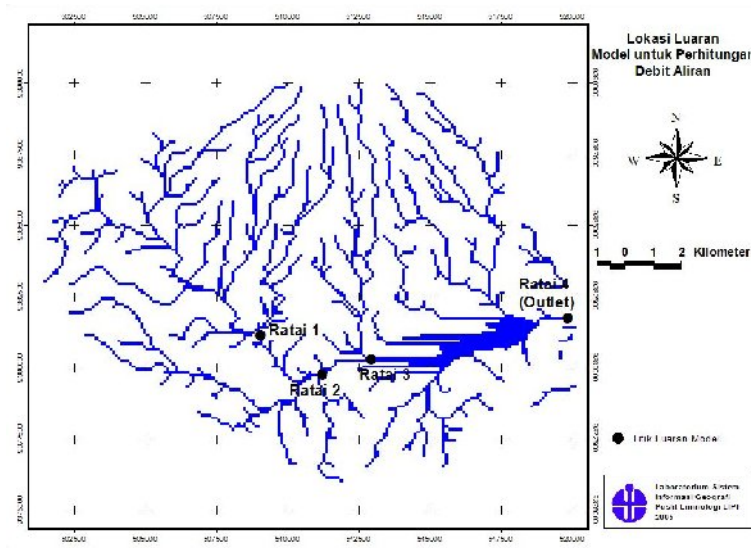
Kondisi Fisik Tanah dan Penggunaan Lahan

Dilihat dari peta distribusi spasial nilai CN pada pola penggunaan lahan tahun 1997 (Gambar 7), DAS Way Ratai mempunyai kisaran nilai CN antara 36-100. Daerah dengan tipe penggunaan lahan tegalan dan hutan terbuka (CN>77) mempunyai potensi untuk menghasilkan aliran permukaan yang cukup tinggi, sedangkan area dengan tipe penggunaan lahan hutan (CN<45) mempunyai peran yang sangat penting sebagai daerah imbuhan air, lebih banyak menyerap air pada saat kejadian hujan.



Gambar 7. Distribusi spasial nilai *Runoff Curve Number* (CN) di DAS Way Ratai pada tahun penggunaan lahan 1997.

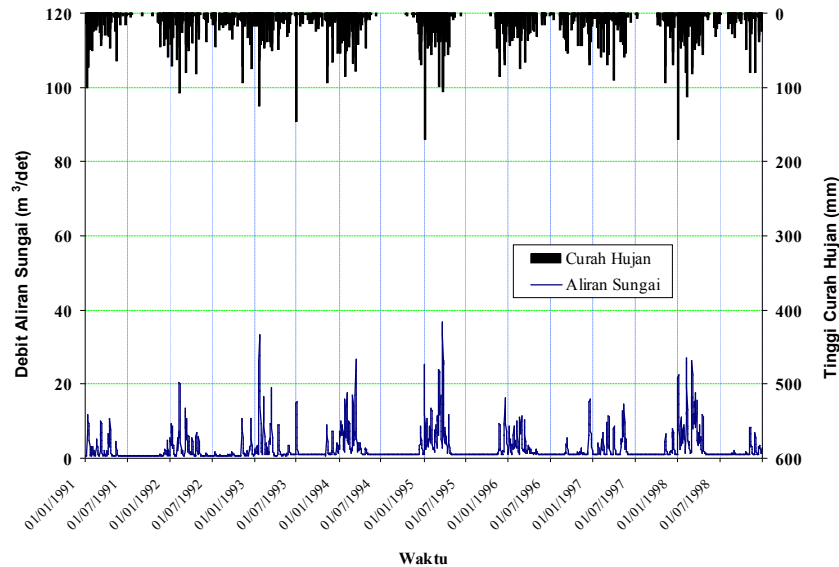
Debit Aliran Sungai (1991-1998)

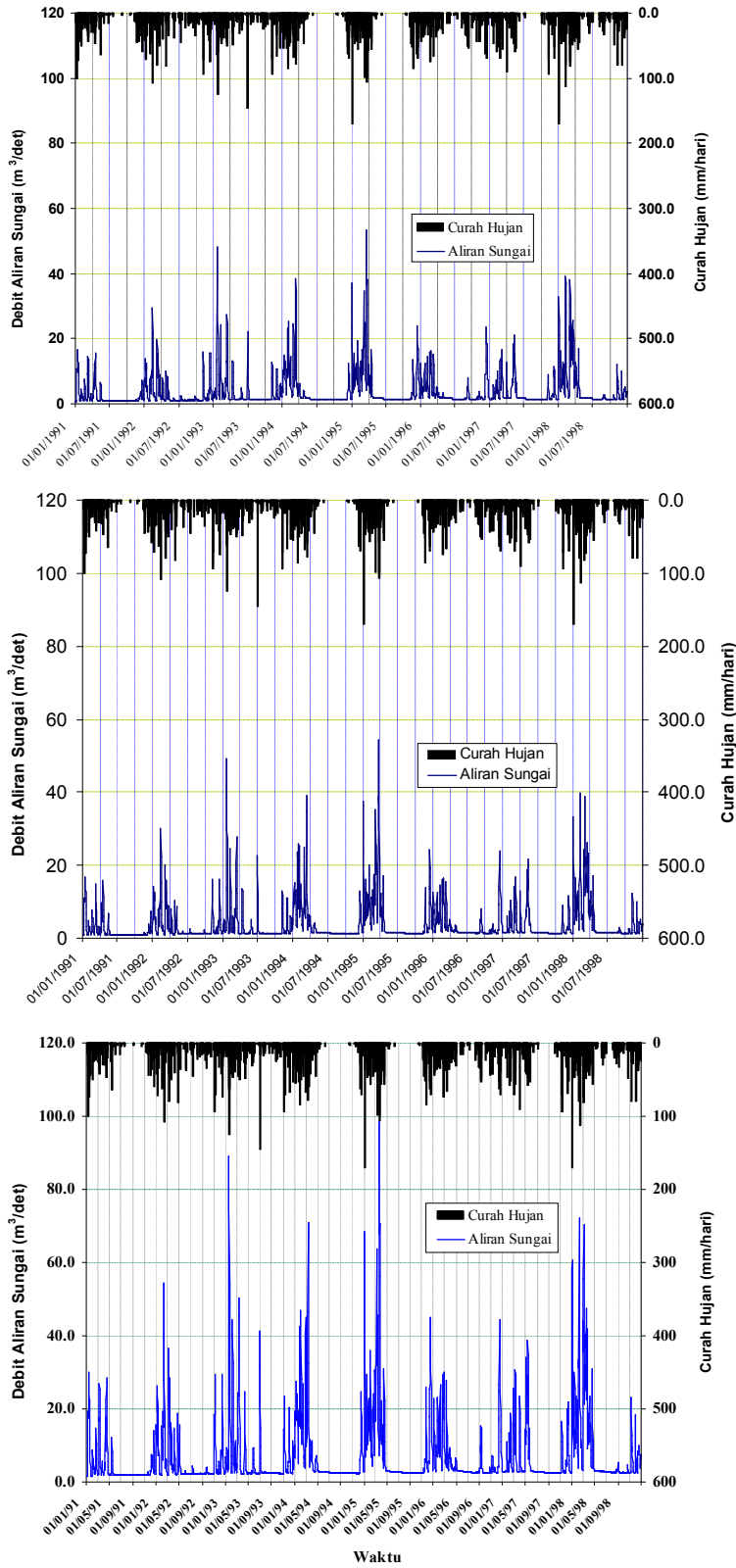


Gambar 8. Lokasi luaran model dalam simulasi debit aliran sungai

Simulasi debit aliran sungai di beberapa titik di alur sungai Way Ratai (Gambar 8), menghasilkan kondisi hidrograf aliran seperti pada Gambar 9. Sesuai dengan arah aliran dan akumulasi jumlah aliran, hasil simulasi debit aliran sungai

meningkat dari titik Ratai 1 sampai Ratai 4 (*outlet* atau muara). Kondisi debit aliran sungai sangat dipengaruhi oleh fluktuasi tinggi curah hujan dan kadar lengas tanah daerah tangkapan (DAS).





Gambar 9. Hidrograf debit aliran sungai hasil simulasi neraca air DAS (1991-1998) di beberapa titik di alur sungai Way Ratai.

Dari hidrograf diatas, debit aliran sungai yang sampai ke daerah muara DAS Way Ratai mempunyai nilai rata-rata 7,1 m³/det atau sekitar 221,7 juta m³/tahun. Selama periode 1991-1998, hasil simulasi menunjukkan debit aliran maksimum pernah mencapai 98,4 m³/det dan laju aliran minimum terendah 1,5 m³/det. Debit aliran sungai merupakan hasil akumulasi dari aliran permukaan, aliran *lateral* (aliran antara dan aliran dasar), dan aliran air tanah. Dalam perhitungan neraca air DAS faktor masukan air tanah tidak diperhitungkan. Dari hasil simulasi, jumlah aliran yang berasal dari aliran permukaan mencapai rata-rata 4,76 m³/det atau sekitar 150,1 juta m³/tahun. Nilai aliran permukaan terbesar yang pernah tercapai akibat adanya kejadian hujan deras atau karena kondisi lengas tanah DAS sudah jenuh mencapai 96,1 m³/det. Pada saat musim kemarau jumlah aliran permukaan yang masuk sebagai aliran air permukaan sungai 0 m³/det. Pasokan air sungai pada saat musim kemarau berasal dari mata air dan aliran *lateral*. Aliran *lateral* pada saat musim kemarau didominasi oleh jenis aliran dasar (*baseflow*), sedangkan pada saat musim penghujan aliran *lateral* meningkat akibat kenaikan aliran dalam (*interflow*). Besarnya aliran *lateral* rata-rata 2,27 m³/det atau sekitar 71,6 juta m³/tahun. Aliran *lateral* minimum yang pernah tercapai 1,50 m³/det, debit aliran tersebut dapat diinterpretasikan sebagai aliran dasar yang merupakan debit andalan sungai Way Ratai yang masuk ke perairan laut (Teluk Ratai).

Hasil simulasi variasi debit aliran sungai pada saat musim penghujan, musim peralihan, dan musim kemarau tahun 1995 menunjukkan beban dan distribusi aliran sungai cukup berbeda (Gambar 10). Tahun 1995 dijadikan dasar perhitungan dan simulasi karena pada tahun tersebut terjadi hujan maksimum yang mencapai 169,9 mm/hari (tgl 22-23 Maret 1995). Pada saat musim peralihan dari kemarau ke penghujan mulai terjadi pengisian air di alur-alur

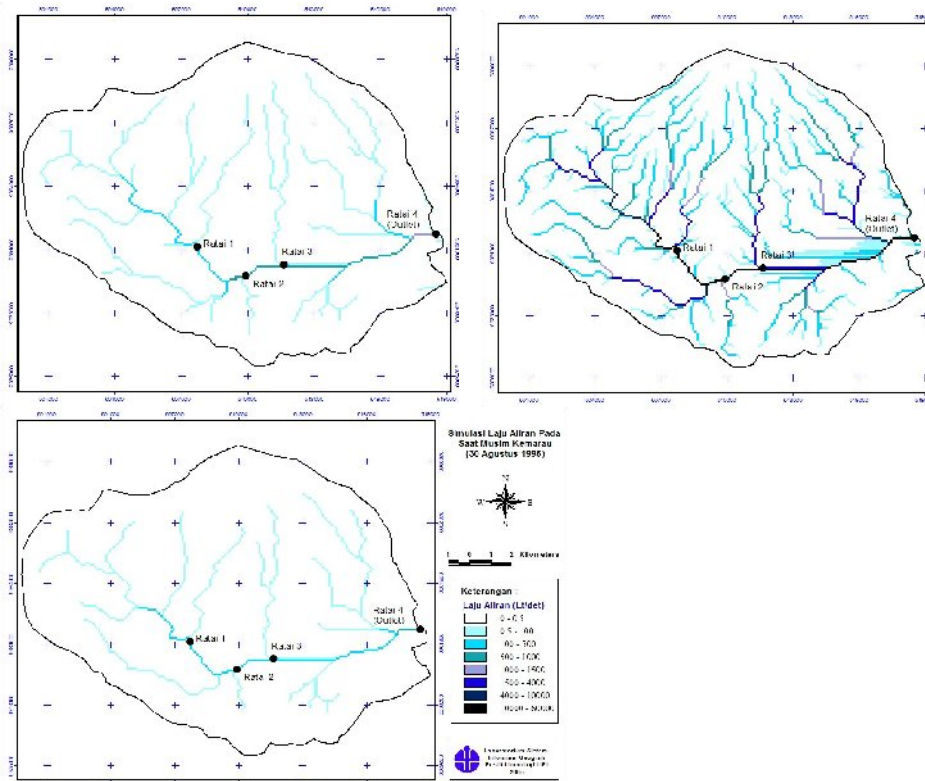
sungai *intermittent* (kering waktu kemarau), debit aliran sungai berkisar antara 0,5 lt/det di daerah Hulu sampai 1500 lt/det (1,5 m³/det) di Hilir. Pada saat musim penghujan, debit aliran sungai berkisar dari 0,5 lt/det di daerah Hulu sampai diatas 60.000 lt/detik (60 m³/det) di daerah Hilir. Pada saat musim penghujan sungai-sungai *intermittent* memberikan kontribusi aliran kembali kedalam aliran sungai utama Way Ratai. Pada saat musim kemarau, sungai-sungai *intermittent* kering kembali, beban aliran di daerah Hulu mencapai kisaran 0,5 lt/det sedangkan di daerah Hilir mencapai 1500 lt/det. Peningkatan debit aliran sungai di wilayah muara pada saat musim penghujan terhadap musim kemarau mencapai 10-40 kali lebih besar.

Debit Aliran Sungai Hasil Pengukuran Lapangan dan Simulasi

Kondisi fisik dan debit aliran sungai Way Ratai pada waktu dilakukan pengukuran di lapangan disajikan pada Tabel 5. Pengukuran dilakukan pada bulan Oktober (kemarau) pada beberapa titik atau stasiun yang mewakili kondisi fisik dan debit aliran jaringan sungai Way Ratai mulai dari Hulu sampai Hilir. Stasiun STS1 sampai STS3 mewakili jaringan sungai Way Ratai bagian Hulu, STS4 mewakili daerah Tengah, dan STS5 mewakili daerah Hilir. Hasil pengukuran di beberapa titik ruas jaringan sungai Way Ratai (STS1 sampai STS4) berada pada kisaran sesuai dengan hasil simulasi debit aliran sungai pada musim kemarau (Gambar 10). Hasil simulasi menunjukkan daerah Hulu DAS Way Ratai dan anak-anak sungai yang bukan *intermittent* pada musim kemarau mempunyai kisaran debit aliran 0-100 lt/det. Sedangkan debit aliran di sungai utama Way Ratai mulai Wilayah Tengah sampai Wilayah Hilir mempunyai kisaran debit aliran 100-1500 lt/det. Hal tersebut menunjukkan bahwa hasil simulasi debit aliran sungai pada musim kemarau berada pada kisaran yang sama dengan hasil

pengukuran di lapangan, dengan asumsi simulasi debit aliran sungai pada Tanggal 30 Agustus 1995 dapat mewakili kondisi debit

aliran sungai Way Ratai pada saat musim kemarau.



Gambar 10. Distribusi debit aliran sungai pada saat musim peralihan dari kemarau ke penghujan (7 November 1995), musim penghujan (23 Maret 1995), dan musim kemarau (30 Agustus 1995).

Tabel 5. Hasil pengukuran kondisi fisik dan debit aliran sungai Way Ratai

| Stasiun | d_{mak} (m) | W_s (m) | W_w (m) | V (m/dt) | Q (lt/dt) | Keterangan |
|---------|-------------------------|--------------|--------------|---------------|----------------|---|
| STS1 | 0,24 | 4,0 | 3,00 | 0,18 | 43 | Anak sungai Way Ratai (Hulu) berbatu-batu, agak keruh, dasar sungai pasir dan lumpur, berada di hilir area tambang emas |
| STS2 | 0,18 | 4,5 | 0,80 | 0,23 | 33 | Anak sungai Way Ratai (Hulu) berbatu-batu, jernih dan dasar sungai pasir |
| STS3 | 0,28 | 6,2 | 0,68 | 0,57 | 101 | Sungai Way Ratai (Hulu) berbatu-batu, jernih dan dasar sungai pasir |
| STS4 | 0,38 | 19,8 | 10,8 | 0,53 | 1087 | Sungai Way Ratai (Tengah) berbatu-batu, jernih dan dasar sungai pasir dan lumpur |
| STS5 | 0,77 | 13,0 | 12,4 | 0,275 | 875 | Sungai Way Ratai (Hilir) keruh, dasar sungai didominasi lumpur, aliran tertahan air pasang dan batas banjir tiga meter di atas kondisi sekarang |

Keterangan : d_{mak} = kedalaman maksimum; V = kecepatan aliran
 W_s = lebar sungai; Q = debit aliran sungai
 W_w = lebar sungai yang ada airnya;

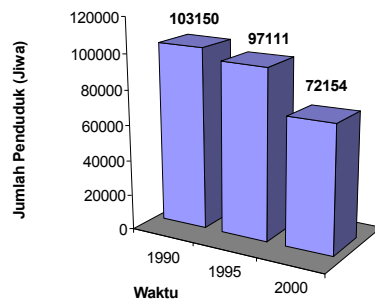
Potensi Kebutuhan Air
Sektor Rumah Tangga

Besarnya kebutuhan air untuk rumah tangga (domestik) tergantung pada jumlah penduduk dan kepadatannya. Data jumlah dan kepadatan penduduk yang digunakan dalam penelitian ini adalah data statistik tahun 1990, 1995, dan 2000. Perbandingan luas DAS Way Ratai terhadap luas administratif Kecamatan Padang Cermin (faktor pembobot luas) 0,33.

Di DAS Way Ratai jumlah penduduk cenderung menurun (Gambar 11). Hal ini diakibatkan oleh proses urbanisasi dan kemungkinan proses kembalinya penduduk yang ikut program transmigrasi ke daerah asalnya dari wilayah sekitar DAS Way Ratai. Dengan asumsi jumlah kebutuhan air penduduk desa 60 lt/hari, kecenderungan kebutuhan air sektor rumah tangga di DAS Way Ratai pada tahun 1990, 1995, dan 2000 disajikan pada Tabel 6.

kembali karena adanya alih fungsi menjadi kawasan pemukiman, tegalan, dan lahan kosong (diberakan). Data Biro Pusat Statistik Kecamatan Padang Cermin menunjukkan pada tahun 1990 luas sawah hampir mencapai 2.897 ha, kemudian pada tahun 1995 meningkat menjadi sekitar 4.763 ha dan pada tahun 2000 menyusut menjadi sekitar 4.446 ha (Gambar 12). Dengan asumsi kebutuhan air padi sawah 5750-6000 m³/masa tanam/ha, maka akibat hal tersebut kebutuhan air padi sawah juga berfluktuasi dari sekitar 16,7 juta m³/tahun pada tahun 1990 menjadi sekitar 27,4 juta m³/tahun pada tahun 1995 dan mengalami penurunan menjadi sekitar 25,6 m³/tahun (Tabel 6).

Secara umum, prakiraan ketersediaan air dan potensi kebutuhan air di DAS Way Ratai terdapat pada Gambar 13. Dari perhitungan antara selisih jumlah masukan dan keluaran air yaitu curah hujan yang turun dikurangi jumlah air yang



Gambar 11. Jumlah penduduk Kecamatan Padang Cermin (Sumber : BPS Kabupaten Lampung Selatan Tahun 1990, 1995, dan 2000).

Tabel 6. Prakiraan potensi kebutuhan air untuk sektor rumah tangga dan padi sawah.

| Sektor Kebutuhan | Kebutuhan Air (juta m ³ /tahun) | | |
|------------------|--|------|------|
| | 1990 | 1995 | 2000 |
| Rumah Tangga | 2.3 | 2.1 | 1.6 |
| Padi Sawah | 16.7 | 27.4 | 25.6 |

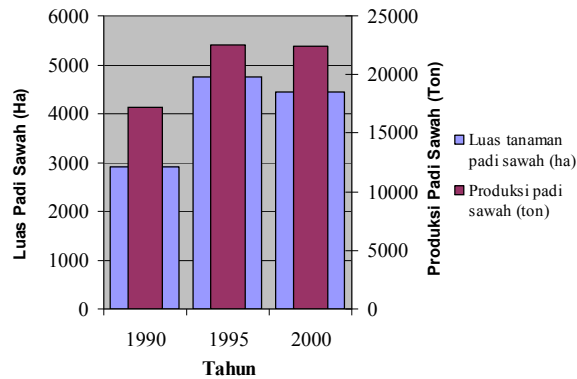
Kebutuhan Air Untuk Padi Sawah

Luas area sawah di DAS Way Ratai cenderung mengalami fluktuasi, pada periode 1990-1995 terjadi kenaikan, tetapi pada periode 1995-2000 terjadi penurunan

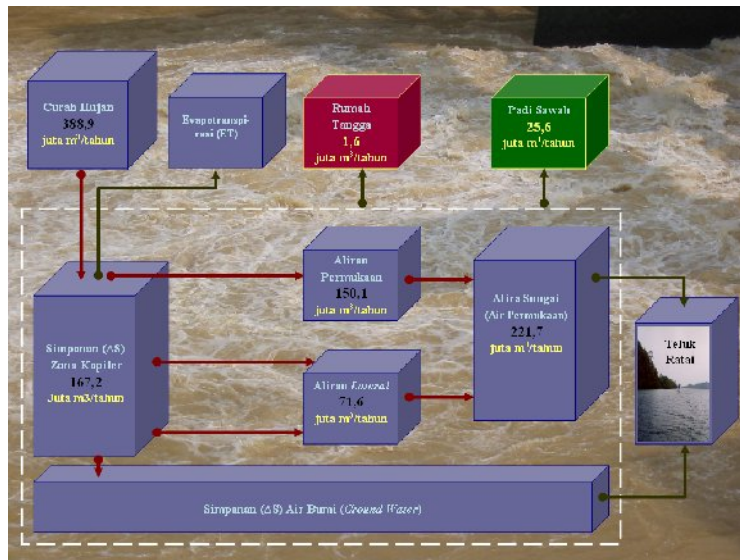
menjadi air permukaan melalui aliran permukaan dan aliran lateral terdapat sisa untuk simpanan di Zona Kapiler. Sisa air yang ada di Zona Kapiler akan mengisi kebutuhan evapotranspirasi, sumber

imbunan untuk air bumi. Kebutuhan air rumah tangga dan padi sawah mempunyai potensi pengambilan dari sumber air yang ada di Zona Kapiler, air permukaan (air sungai), dan air bumi.

sedimen terlarut dari suatu DAS. Karena besar kecilnya hasil sedimen terlarut menggambarkan tingkat erosi yang terjadi di DAS. Salah satu cara yang paling banyak dipakai untuk mengestimasi besarnya beban



Gambar 12. Luas area tanam dan produksi padi sawah Kecamatan Padang Cermin (Sumber : BPS Kabupaten Lampung Selatan Tahun 1990, 1995, dan 2000).



Gambar 13. Prakiraan ketersediaan dan kebutuhan air di DAS Way Ratai.

Debit Aliran Sungai dan Prakiraan Distribusi Temporal Beban Sedimen Terlarut (Sedimen Layang)

Salah satu tolok ukur keberhasilan suatu program konservasi tanah dan air dapat dilihat dari seberapa besar hasil

hasil sedimen terlarut adalah teknik lengkung sedimen dikombinasi dengan debit harian. Sehingga untuk kepentingan tersebut informasi data debit aliran harus tersedia. Seperti telah disebutkan dibagian latar belakang, di DAS Ratai tidak terdapat

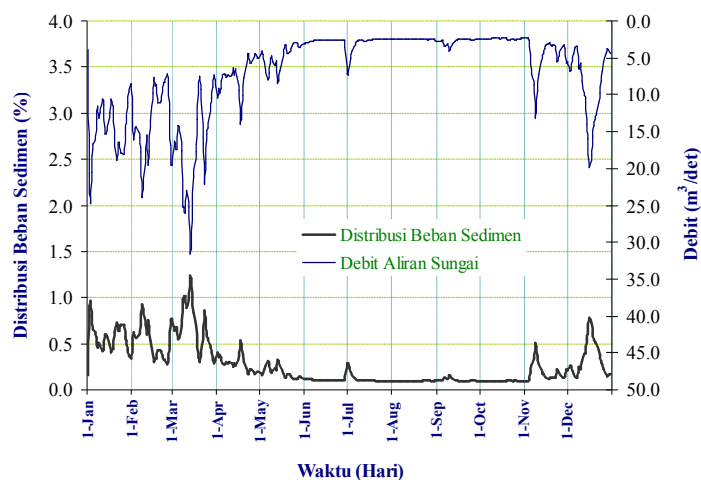
infrastruktur seperti AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) untuk pencatatan tinggi muka air dan debit aliran sungai. Hasil simulasi debit aliran sungai khususnya yang ada di Ratai 4 (Muara), *pertama* dapat digunakan sebagai input dalam pendugaan beban hasil sedimen terlarut misalnya dengan teknik lengkung sedimen. *Kedua* hasil simulasi tersebut dapat digunakan sebagai informasi awal dalam prakiraan proporsi distribusi temporal beban sedimen terlarut yang mengalir ke perairan laut (Teluk Ratai) dengan asumsi bahwa pola distribusi debit aliran sungai sama dengan pola distribusi sedimen terlarut, artinya konsentrasi sedimen terlarut maksimum atau minimum bersamaan waktunya dengan kejadian debit aliran maksimum atau minimum. Gambar 14 menunjukkan kondisi debit aliran rata-rata harian di Muara Sungai Ratai sebagai hasil simulasi dari tahun 1991-1998. Sesuai dengan asumsi dan data debit rata-rata harian, proporsi distribusi beban sedimen terlarut harian pada musim penghujan sekitar 0,2-1,2% dari total sedimen terlarut yang masuk ke perairan laut dalam setahun. Pada musim kemarau proporsi harian tersebut menurun, berfluktuasi disekitar 0,2%.

KESIMPULAN

Hasil simulasi debit aliran sungai Way Ratai secara harian berdasarkan konsep neraca air DAS dapat digunakan untuk prakiraan dan perhitungan distribusi temporal beban sedimen terlarut dari aspek jumlah maupun proporsi masukan. Hasil simulasi debit aliran sungai pada musim kemarau berada pada kisaran yang sama dengan hasil pengukuran debit aliran di lapangan.

Dilihat dari potensi ketersediaan air, DAS Way Ratai mempunyai masukan jumlah curah hujan 388,9 juta m³/tahun, luaran aliran permukaan 150,1 juta m³/tahun, luaran aliran lateral 71,6 juta m³/tahun. Total beban aliran air permukaan dari sungai Way Ratai sekitar 221,7 juta m³/tahun. Potensi pemakai air yang utama berdasarkan data kependudukan diantaranya sektor rumah tangga 1,6 juta m³/tahun, dan sektor pertanian khususnya padi sawah 25,6 juta m³/tahun.

Debit aliran sungai harian hasil simulasi dapat digunakan dalam perhitungan beban sedimen terlarut dengan teknik lengkung sedimen jika konsentrasi harian beban sedimen terlarut diketahui. Sesuai



Gambar 14. Hasil simulasi debit aliran sungai rata-rata harian (1991-1998) di Muara Way Ratai dan prakiraan proporsi distribusi beban sedimen terlarut harian dari total sedimen terlarut yang masuk ke perairan laut dalam setahun.

dengan asumsi dan hasil simulasi debit rata-rata harian, proporsi distribusi beban sedimen terlarut harian pada musim penghujan (November-Maret) sekitar 0,2-1,2% per hari dari total sedimen terlarut yang masuk ke perairan laut (Teluk Ratai) dalam setahun. Pada musim kemarau (April-Oktober) proporsi harian tersebut menurun, berfluktuasi dibawah 0,2% per hari.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Selatan, 1990, Lampung Selatan Dalam Angka 1990, BPS dan BAPPEDA Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 180 p.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Selatan, 1995, Lampung Selatan Dalam Angka 1995, BPS dan BAPPEDA Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 219 p.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Lampung Selatan, 2000, Lampung Selatan Dalam Angka 2000, BPS dan BAPPEDA Kabupaten Lampung Selatan, Lampung, 219 p.
- Luitjen, J.C., 1999, A Tool For Community-Based Water Resources Management in a Hillside Watershed, PhD. Dissertation, University of Florida, Gainesville, FL. 303 p.
- Luitjen, J.C, Jones, J.W., E.B. Knapp, 2000, Spatial Water Budget Model and Hydrological Tools: an ArcView GIS Extension, User's Manual. ABE report 00-1, Agricultural and Biological Engineering Department, University of Florida, Gainesville, FL, and International Center for Tropical Agriculture, Cali, Colombia. 78 pp.
- Luitjen, J.C., E.B. Knapp, and J.W. Jones, 1999, A Tool for Community-Based Water Resources Management in Hillside Watershed, Paper Presented at The Third International Conference on System Approaches for Agricultural Development (SAAD3), November 8-10, Lima, Peru. *In* : Proceedings on CD-ROM.
- Ritchie, J.T., 1972, Model for Predicting ET from a Row Crop With Incomplete Cover, *Wat. Res. Res.* 8: 1204-1213.
- USDA-SCS, 1972, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, U.S. Department of Agriculture, Soil Conservation Service (USDA-SCS). Washington, DC.