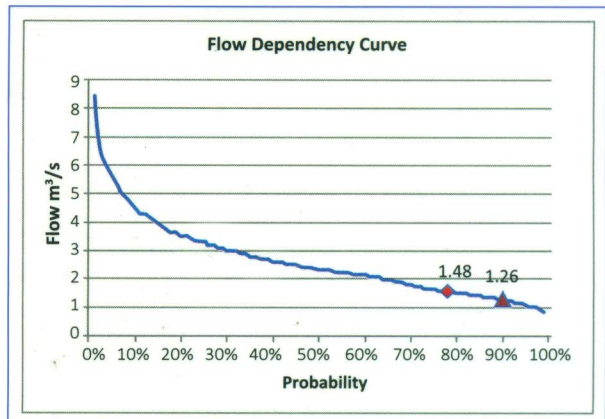
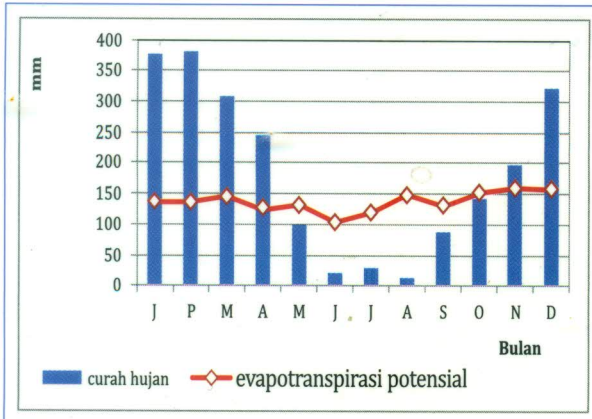
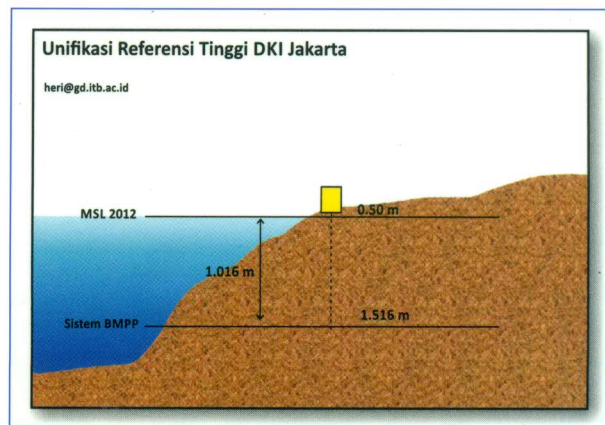
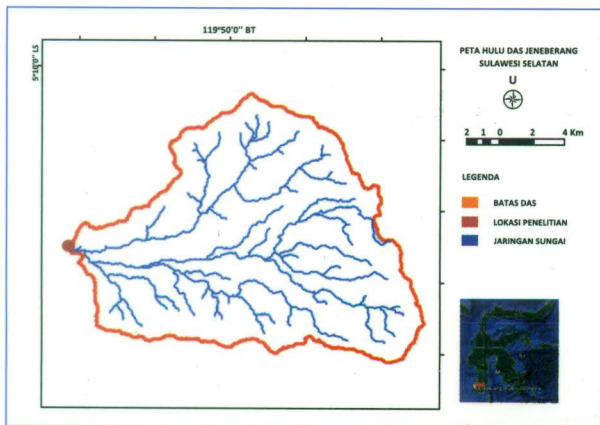


JURNAL

Teknik Hidraulik



JURNAL

Teknik Hidraulik

Jurnal Teknik Hidraulik kali terbit pada tahun 2010, Jurnal ini merupakan kelanjutan dari Buletin Pusair. Jurnal ini terbit 2 kali dalam satu tahun yaitu pada bulan Juni dan Desember. Naskah ilmiah berasal dari para pejabat fungsional peneliti baik di lingkungan Pusat Litbang Sumber Daya Air ataupun dari penulis yang berasal dari perguruan tinggi negeri/swasta serta instansi terkait di seluruh Indonesia yang mempunyai kegiatan di bidang sumber daya air. Jurnal Teknik Hidraulik mencakup berbagai bidang keilmuan antara lain: bidang teknik irigasi, teknik kualitas lingkungan dan tata air, teknik rawa, teknik pantai, teknik bangunan air, teknik persungai, bidang teknik hidraulika dan geoteknik keairan, bidang teknik hidrologi dan tata air, bidang teknik lingkungan keairan, bidang teknik pantai, bidang teknik persungai, dan bidang teknik sabo.

Pelindung

Ir. Grait Sutadi, M. Sc

Pembina

Ir. Bambang Hargono, Dipl. HE. M.Eng

Penanggung Jawab

Ir. Nur Fizili Kifli, MT

Redaktur

Dr. (Eng) Fitri Riandini, S.Si., MT.

Ketua Dewan Penyunting

Prof. (R). Drs. Erman Mawardi, Dipl. AIT. (Ahli Bidang Teknik Hidraulik)

Dewan Penyunting

Dr. Simon S. Brahmana, CES, DEA. (Ahli Bidang Lingkungan Keairan)
Dr. (Eng) Fitri Riandini, S.Si., MT. (Ahli Bidang Teknik Rawa dan Pantai)
Dr. Ir. Wanny K. Adidarma, M.Sc. (Ahli Bidang Teknik Hidrologi)
Ir. F. Yiniarti Eka Kumala, Dipl. HE. (Ahli Bidang Hidraulik dan Geoteknik Keairan)
Slamet Lestari ST., MT. (Ahli Bidang Hidraulik dan Geoteknik Keairan)

Mitra Bestari

Prof. Dr. Ir. Hadi Utoyo Moeno, M.Sc., MIHT. (Ahli Bidang Geoteknik – USB YPKP)
Dr. (Eng.) Ir. Priana Sudjono, M.Sc. (Ahli Bidang Teknik Lingkungan – ITB)
Dr. Ir. Sri Legowo, M.Sc. (Ahli Bidang Teknik Sipil – ITB)
Dr. (Eng) Totok Suprijo, M.Si. (Ahli Bidang Oceanografi – ITB)

Sekretariat Redaksi :

Nurul Nurjanah, ST.
Anjelita, S. Sos.
Muharyati, S. Sos.

Alamat Redaksi/Penerbit :

**PUSAT PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA AIR
BADAN PENELITIAN DAN PENGEMBANGAN
KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM**

Jl. Ir. H. Juanda No. 193 Bandung 40135
Tlp.: (022) 2501083, 2504053, Fax: (022) 2500163, PO BOX: 841
E-mail: jurnal_th@pusair-pu.go.id; jurnalpusair@gmail.com
<http://www.pusair-pu.go.id>

JURNAL

Teknik Hidraulik

DAFTAR ISI

Kumpulan Abstrak Jurnal Teknik Hidraulik Vol. 4 No. 1 dan 2, Juni dan Desember 2013

Daftar Isi

Pengantar Redaksi

Peningkatan Debit Saluran Banjir Sedayu Lawas Dengan Modifikasi Inlet
Sarwon; Kirno 91-104

Teknik Perhitungan Banjir Desain Untuk Bendungan Dengan Data Terbatas
Khususnya Di Indonesia
Wanny K. Adidarma 105-116

Analisis Kandungan Karbon Organik Dalam Sedimen Di Sungai Jeneberang Pada
Bagian Hulu Dengan Mempergunakan Model *Soil And Water Assessment Tool*
Ifah Latifah; M. Yanuar Purwanto; Nora H. Pandjaitan 117-128

Analisis Kelayakan Bendung Cipasauran Sebagai Sumber Air Baku Bagi PT
Krakatau Tirta Industri
Ririn Rimawan; Adi Prasetyo 129-142

Aplikasi Sobek Untuk Simulasi Kegagalan Tanggul Laut: Studi Kasus Pluit-Jakarta
Yudi Lasmana; Andojo Wurjanto; Hadi Kardhana 143-158

Karakteristik Hidraulik Dan Pengembangan Blok Beton Terkunci Tipe Kubus
Kaki Enam Berdasarkan Uji Model Fisik 2D
Nuryanto Sasmito Slamet; Marta Nugraha Hidayat 159-170

Revitalisasi Embung Loku Jangi Dan Alternatif Sumber Air Baku Kota Waibakul,
Kabupaten Sumba Tengah, NTT
Wawan Herawan; Deny Ramdhany; Maria Asunta Hana P 171-184

Index Pengarang

Pedoman Penulisan Artikel Bagi Penulis

ANALISIS KANDUNGAN KARBON ORGANIK DALAM SEDIMEN DI SUNGAI JENEBERANG PADA BAGIAN HULU DENGAN MEMPERGUNAKAN MODEL SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL

ANALYZING SEDIMENT AND ORGANIC CARBON YIELD IN THE UPSTREAM JENEBERANG USING SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOLS

Ifah Latifah¹⁾, M. Yanuar Purwanto²⁾, Nora H. Pandjaitan³⁾

¹⁾Mahasiswa Pascasarjana Program Studi Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB);

^{2,3)}Staf Pengajar Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor (IPB);

Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

e-mail: ifahlatifah87@gmail.com

Diterima: 09 September 2013; Disetujui: 21 November 2013

ABSTRAK

Pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) bagian hulu merupakan kunci keberhasilan untuk mencapai ketersediaan air yang berkelanjutan. Selain itu kesalahan dalam mengelola lahan akan menyebabkan erosi yang dapat meningkatkan sedimentasi di badan air. Akibat erosi tanah sisa-sisa tanaman yang telah melapuk menjadi humus juga ikut tererosi. Hal ini akan mengakibatkan hilangnya karbon di lahan yang tererosi dan masuk ke perairan. Model Soil Water Assessment Tool dapat diaplikasikan untuk mengevaluasi kondisi sedimen dan karbon organik di daerah tangkapan air dengan menggunakan data historis aliran dan meteorologi. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mengidentifikasi parameter-parameter model Soil Water Assessment Tool yang sesuai untuk menduga laju sedimen dan menganalisis fluktuasi sedimen di sungai Jeneberang bagian hulu serta mengkaji kandungan karbon organik dalam sedimen. Proses kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan 26 parameter dengan menggunakan Algoritma SUFI2. Dari hasil kalibrasi dapat diidentifikasi 19 parameter yang sensitif. Hasil simulasi sedimen pada bulan basah lebih tinggi dibandingkan pada bulan kering. Fluktuasi karbon organik sama dengan fluktuasi sedimen. Berdasarkan hubungan tersebut, karbon organik dalam jangka panjang dapat diduga dari hasil simulasi sedimen dengan menggunakan model Soil Water Assessment Tool.

Kata kunci: *Sedimentasi, sungai, DAS Jeneberang, karbon organik, model Soil Water Assessment Tool.*

ABSTRACT

Management of upstream watersheds is a key to get a sustainable availability of water. Moreover, failure in land managing will cause erosion which increase sedimentation in water bodies. Because of soil erosion the remnants of decaying plants on topsoil also were eroded. This case will cause carbon losses in the eroded land, which flowed into the water. The Soil Water Assessment Tool model can be applied to evaluate catchment hydrology, sediment and associated organic carbon yield using historical flow and meteorological data. Objectives of the study were to identify parameter-parameter of Soil Water Assessment Tool model for analysing sediment, to analyze fluctuation of sediment and organic carbon content in sediment. Calibration process was done by adjusting 26 parameters using Algoritma SUFI2. From the result it could be identified 19 sensitif parameters. Result for sediment simulation in wet seasons was higher than dry seasons. Fluctuation of organic carbon same as fluctuation of sediment. Based on the relationship, using Soil Water Assessment Tool model longterm organic carbon could be predicted from simulated sediment.

Keywords: *Sedimentation, stream, Jeneberang watershed, organic carbon, Soil Water Assessment Tool model.*

PENDAHULUAN

Pengelolaan daerah aliran sungai (DAS) bagian hulu merupakan salah satu kunci keberhasilan untuk memenuhi ketersediaan air yang berkelanjutan. Kesalahan dalam mengelola lahan

dapat menyebabkan erosi yang dapat meningkatkan sedimentasi di badan air. DAS Jeneberang merupakan salah satu DAS prioritas di Indonesia karena tingkat sedimentasinya sudah melebihi batas yang diizinkan. Hal ini disebabkan adanya perubahan tataguna lahan yang tidak sesuai dengan teknik konservasi dan

adanya longsor gunung Bawakaraeng. Secara tidak langsung berakibat juga pada penurunan fungsi layanan waduk Bili-Bili yang berada di bagian hilir DAS Jeneberang. Waduk Bili-Bili dibangun untuk tujuan mengendalikan banjir, memenuhi kebutuhan air irigasi, suplai air baku, dan pembangkit listrik tenaga air. Selain itu perubahan tataguna lahan juga berakibat pada kondisi hidrologi daerah tangkapan air. Perubahan tataguna lahan secara signifikan dapat mengakibatkan erosi dan akhirnya mempengaruhi kandungan karbon organik (Oeurng, 2011).

Karbon organik dari lapisan tanah yang ikut tererosi, terbawa oleh aliran permukaan sampai ke badan air. Erosi yang terjadi umumnya mempengaruhi laju *dissolved* dan *particulate organic carbon* (DOC dan POC) yang larut dan terbawa dari lahan ke jaringan sungai. Oleh karena itu pengukuran konsentrasi karbon organik dalam periode yang berbeda penting diketahui. Namun hubungan antara debit, sedimen, dan karbon organik di sungai masih sangat jarang diteliti.

Penelitian terhadap aliran permukaan dan sedimentasi memerlukan penggunaan alat analisis yang memadai agar penilaian terhadap proses hidrologi dan erosi tanah yang terjadi dapat akurat. Selain itu analisis prediksi dalam jangka panjang dapat dijadikan sebagai salah satu pertimbangan dalam membuat perencanaan dan pelaksanaan yang tepat. Alat analisis secara spasial seperti menggunakan sistem informasi geografi (SIG) merupakan analisis yang baik untuk penilaian penggunaan lahan yang bersifat kewilayahan. Salah satu alat untuk menganalisis aliran permukaan dan sedimen adalah *Soil and Water Assessment Tool* (model SWAT).

SWAT dikembangkan untuk mengetahui pengaruh dari manajemen lahan terhadap siklus hidrologi, sedimen yang ditimbulkan dan daur dari bahan kimia pertanian yang diperoleh berdasarkan data jangka waktu tertentu. Aplikasi SWAT ini di Indonesia masih sangat jarang terutama di wilayah timur Indonesia.

Perpaduan antara model SWAT dan SIG ini dapat menjadi metode yang komprehensif untuk menganalisis sedimen dalam skala DAS. SWAT belum dapat menilai karbon di perairan, maka pada penelitian ini diupayakan agar model ini dapat menganalisis karbon yang ikut terlarut dalam sedimen. Hal tersebut berguna sebagai bahan evaluasi konservasi di wilayah hulu DAS Jeneberang.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya maka tujuan dari kajian ini adalah untuk mengidentifikasi parameter-parameter model SWAT (*Soil Water Assessment Tool*) yang sesuai untuk menduga laju sedimen dan menganalisis fluktuasi sedimen di Hulu DAS

Jeneberang serta mengkaji kandungan karbon organik dalam sedimen.

KAJIAN PUSTAKA

Erosi Lahan dan Kandungan Karbon dalam Sedimen

Erosi merupakan pengangkutan tanah dari suatu tempat ke tempat lain yang disebabkan oleh aliran air alami dan angin, sedangkan sedimentasi merupakan dampak lanjutan dari terjadinya erosi. Erosi yang terjadi terus-menerus dapat menurunkan tingkat kesuburan tanah karena lapisan olah tanah (*top-soil*) terus tergerus dan terbawa oleh limpasan. Sedimentasi menyebabkan pendangkalan pada bangunan-bangunan hidrologi dan sempadan sungai, memperlambat aliran sungai dan mengurangi kinerja waduk, danau, reservoir, saluran-saluran irigasi, dan kolam-kolam ikan.

Erosi di DAS Jeneberang sebesar 2,57-5764,82 ton/ha/tahun sedangkan batas yang masih ditolerir adalah sebesar 13,5 ton/ha sampai 17,33 ton/ha (Saida, 2011). Erosivitas hujan berada pada kisaran 1398,6 - 1562,10, erodibilitas tanah berada pada kisaran 0,04 - 0,58, dan panjang kemiringan lereng berkisar antara 0,25 - 12,00. Selain itu nilai vegetasi penutupan tanah berkisar 0,1 - 0,8 dan faktor pengelolaan lahan berkisar 0,4 - 0,9 (Saida, 2011)

Karbon organik merupakan salah satu komponen penting sebagai penyusun kimiawi sedimen. Karbon organik dapat berasal dari berbagai materi alam maupun antropogenis khususnya sedimen di wilayah pesisir yang penuh dengan masukan limbah dari aktivitas manusia. Walaupun komponen organik dapat terdekomposisi dan dikembalikan sebagian ke komponen anorganik, sebagian masih terpreservasi dan menjadi komponen penting sebagai bagian dari penyusun partikel kimiawi sedimen dan berkemampuan menyerap senyawa kimiawi terlarut lain termasuk pestisida. Karbon organik juga mudah terakumulasi ke dalam partikel lebih halus seperti lanau dan lempung. Menurut Pratono, *et al.* (2009), secara umum karbon organik dalam sedimen menunjukkan variasi nilai antara 0,30% - 1,49% total sedimen dan dipengaruhi oleh tekstur sedimen.

Karbon organik sangat penting peranannya di dalam proses kimiawi di sedimen. Selain memiliki kemampuan menyerap materi kimiawi terlarut dalam kolom air, karbon organik juga mempengaruhi sistem kimiawi seperti proses reduksi-oksidasi (redoks). Karbon organik akan teroksidasi dengan cara mengkonsumsi oksigen dalam proses dekomposisi. Jika karbon organik berlebih, oksigen terlarut dalam air akan habis dan menyebabkan kondisi anaerobik.

Hal ini akan memberikan konsekuensi terhadap reaksi kimiawi yang terjadi dalam kolom air dan sedimen termasuk reaksi-reaksi pestisida (Pratono et al., 2009).

Terminologi siklus karbon menggambarkan bahwa karbon mengalami proses kompleks seperti perubahan dari bentuk karbon organik yang ditemukan dalam organisme hidup seperti tanaman dan pohon menjadi karbon anorganik dan kembali lagi. Hujan dan air tanah mentransfer karbon dari tanah, puing-puing kayu membusuk, sampah daun, dan bahan organik lain ke dalam air, kemudian dicerna oleh mikroorganisme, serangga, dan ikan. Karbondioksida yang dihasilkan dan karbon anorganik terlarut dari tanah dibawa ke sungai kemudian kembali ke atmosfer.

Menurut Libes (1971) dalam Nalendra (2006) distribusi partikulat karbon organik dipengaruhi oleh musim. Musim semi dan awal musim panas merupakan konsentrasi tertinggi, pada musim panas konsentrasi menurun, dan musim gugur sampai awal musim semi konsentrasi sedikit menurun. Hal ini disebabkan karena intensitas hujan yang berbeda pada setiap musim, Intensitas hujan tertinggi pada musim semi sampai awal musim panas.

Model Soil and Water Assesment Tools (SWAT)

SWAT (*Soil and Water Assessment Tool*) merupakan model kejadian kontinyu skala DAS yang beroperasi secara harian dan dirancang untuk memprediksi dampak pengelolaan terhadap debit, sedimen, dan kimia pertanian. Model SWAT berbasis fisik, efisien secara komputerisasi, dan mampu membuat simulasi untuk jangka waktu yang panjang. Keluaran dari SWAT adalah informasi-informasi mengenai respon hidrologi di DAS, sub-DAS, dan sungai utama.

SWAT membutuhkan data spesifik mengenai cuaca, karakteristik tanah, topografi, vegetasi, dan praktik pengelolaan lahan yang terjadi pada DAS. SWAT membagi DAS menjadi beberapa SubDAS yang kemudian dibagi lagi ke dalam unit respon hidrologi (*Hydrologic Response Units, HRU*) yang memiliki karakteristik penggunaan lahan dan tanah yang homogen.

Siklus hidrologi yang disimulasikan SWAT didasarkan pada perhitungan neraca air sebagai berikut (Neitsch, et al., 2002):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad 1)$$

Keterangan:

- SW_t kandungan akhir air tanah (mm H₂O);
- SW₀ kandungan air tanah awal pada hari ke-i (mm H₂O);

- R_{day}' jumlah presipitasi pada hari ke-i (mm H₂O);
- Q_{surf}' jumlah *surface runoff* pada hari ke-i (mm H₂O);
- E_a' jumlah evapotranspirasi pada hari ke-i (mm H₂O);
- W_{seep}' jumlah air yang memasuki *vadose zone* pada profil tanah hari ke-i (mm H₂O);
- Q_{gw}' jumlah air yang kembali pada hari ke-i (mm H₂O).

Perhitungan aliran permukaan menggunakan metode *SCS curve number* yaitu:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0,2S)^2}{(R_{day} + 0,8S)} \quad 2)$$

Keterangan:

- Q_{surf}' akumulasi aliran permukaan (mm);
- R_{day}' intensitas hujan harian (mm);
- S, parameter retensi (mm), yang dihitung dengan:

$$S = 25,4 \left(\frac{100}{CN} - 10 \right) \quad 3)$$

Puncak aliran permukaan dihitung menggunakan modifikasi dari metode Rasioanal:

$$q_{peak} = \frac{\alpha_{tc} \times Q_{surf} \times Area}{3,6 \times t_{conc}} \quad 4)$$

Keterangan :

- Q_{peak}' puncak laju aliran permukaan (m³det⁻¹);
- α_{tc}' fraksi dari curah hujan yang terjadi selama waktu konsentrasi;
- Q_{surf}' aliran permukaan (mm H₂O);
- Area, luasan subDAS (km²);
- t_{conc}' waktu konsentrasi per subDAS (jam);
- 3,6, faktor unit konversi

Potensial evapotranspirasi dihitung menggunakan metode Penman:

$$\lambda E = \frac{\Delta \cdot (H_{net} - G) + \rho_{air} \cdot c_p [e_z^0 - e_z] / r_a}{\Delta + \gamma \cdot (1 + r_c / r_a)} \quad 5)$$

Keterangan:

- λE, Densitas flux panas laten (MJ m⁻² hari⁻¹);
- E, laju evaporasi (mm hari⁻¹);
- D, kemiringan dari *saturation vapor pressure-temperature curve*, de/dT (KPa °C⁻¹);
- H_{net}' radiasi net (MJ m⁻² hari⁻¹);
- G, densitas fluks panas ke bumi (MJ m⁻² hari⁻¹);
- r, densitas udara (kg m⁻³);
- Cp, panas spesifik saat tekanan konstan (MJ kg⁻¹ °C⁻¹);
- e_z⁰, tekanan uap jenuh udara saat ketinggian z (kPa);
- e_z, tekanan uap air di udara saat ketinggian z (kPa);

g, konstanta psikometrik (kPa °C⁻¹);
 r_c, resistansi kanopi tanaman (s m⁻¹);
 r_a, resistensi difusi lapisan udara (*aerodynamic resistance*) (s m⁻¹)

Kesetimbangan air untuk akuifer dangkal dihitung berdasarkan persamaan:

$$aq_{sh,i} = aq_{sh,i-1} + W_{rchrg} - Q_{gw} - W_{revap} - W_{deep} - W_{pump,sh} \quad 6)$$

Keterangan:

aq_{sh,i}, jumlah air tersimpan di akuifer dangkal pada hari ke-i (mm);
 aq_{sh,i-1}, jumlah air tersimpan di akuifer pada hari ke-i-1 (mm);
 W_{rchrg}, jumlah pengisian (*recharge*) yang masuk ke akuifer pada hari ke-i (mm);
 Q_{gw}, aliran air bawah tanah, atau *baseflow* ke saluran utama pada hari ke-i (mm);
 W_{revap}, jumlah air yang bergerak ke zona tanah sebagai respon terhadap defisiensi air pada hari ke-i (mm);
 W_{deep}, jumlah air perkolasi dari akuifer dangkal sampai ke akuifer dalam pada hari ke-i (mm);
 W_{pump,sh}, jumlah air yang berpindah dari akuifer dangkal akibat pemompaan pada hari ke-i (mm).

Respon tetap dari aliran air tanah (*groundwater flow*) sampai pengisian diestimasi berdasarkan persamaan:

$$Q_{gw} = \frac{800 \times K_{sat}}{L_{gw}} \times h_{wtbl} \quad 7)$$

Keterangan:

Q_{gw}, aliran air tanah atau *baseflow* menuju saluran utama pada hari ke-i (mm);
 K_{sat}, konduktivitas hidrolik dari akuifer (mm/hari);
 L_{gw}, jarak antar subDAS terhadap sistem air tanah ke saluran utama (m);
 h_{wtbl}, tinggi muka air (m).

Erosi dan hasil sedimentasi dihitung untuk setiap unit respon hidrologi dengan menggunakan model MUSLE sebagai berikut (Neitsch, *et al.* 2002):

$$sed = 11,8 (Q_{surf} q_{peak} area_{HRU})^{0,56} \times K_{USLE} C_{USLE} P_{USLE} LS_{USLE} CFRG \quad 8)$$

Keterangan:

sed, beban sedimentasi (ton);
 Q_{surf}, volume aliran permukaan (mm H₂O /ha);
 q_{peak}, tingkat puncak aliran permukaan (m³det⁻¹);
 area_{HRU}, luas area dari unit respon hidrologi (ha);

K_{USLE}, faktor erodibilitas tanah USLE;
 C_{USLE}, faktor penutupan dan manajemen USLE;
 P_{USLE}, faktor konservasi lahan USLE;
 LS_{USLE}, faktor topografi USLE; dan
 CFRG, faktor pecahan batuan.

SWAT menghitung jumlah maksimum dari sedimen dapat ditransportasikan dari saluran sebagai fungsi dari kecepatan maksimum saluran:

$$conc_{sed,ch,mx} = SPCON \times v^{spexp} \quad 9)$$

Keterangan:

conc_{sed,ch,mx}, konsentrasi maksimum dari sedimen yang dapat ditransportasikan melalui aliran (*transport capacity*), (ton m⁻³);
 SPCON, koefisien yang didefinisikan oleh user;
 spexp, parameter eksponensial untuk menghitung sedimen yang kembali memasuki saluran yang didefinisikan oleh user (1 < spexp < 2);
 v, kecepatan maksimum di saluran, (m det⁻¹).

Kecepatan maksimum di saluran pada suatu bagian aliran sungai setiap waktunya dihitung dari:

$$v = \frac{PRF}{n} \times R_{ch}^{2/3} \times S_{ch}^{1/2} \quad 10)$$

Keterangan:

v, kecepatan maksimum saluran (m det⁻¹);
 PRF, faktor laju penyesuaian dengan sebuah nilai *default* dalam satuan;
 n, koefisien kekasaran manning;
 R_{ch}, radius hidrolik (m);
 S_{ch}, kemiringan saluran (m m⁻¹).

Konsentrasi maksimum (conc_{sed,ch,mx}) dibandingkan dengan konsentrasi sedimen pada saat awal, conc_{sed,ch,i} adalah

Jika conc_{sed,ch,i} > conc_{sed,ch,mx}, deposisi merupakan proses dominan pada bagian aliran sungai. Jumlah net dari deposisi sedimen dihitung berdasarkan:

$$Sed_{dep} = (conc_{sed,ch,i} - conc_{sed,ch,mx}) \times V_{ch} \quad 11)$$

Keterangan:

sed_{dep}, jumlah sedimen terdeposisi dalam bagian aliran sungai (ton);
 conc_{sed,ch,i}, sedimen awal yang dapat ditransportasikan oleh air (kg/l atau ton/m³);
 V_{ch}, volume air dalam bagian aliran sungai (m³).

Jika conc_{sed,ch,i} < conc_{sed,ch,mx}, degradasi merupakan proses yang dominan pada segmen aliran sungai.

Jumlah net dari sedimen yang kembali masuk dihitung berdasarkan:

$$sed_{deg} = (conc_{sed, ch, mx} - conc_{sed, ch, p}) \times V_{ch} \times K_{ch} \times C_{ch} \quad 12)$$

Keterangan:

- sed_{deg} , jumlah sedimen yang kembali masuk ke segmen aliran sungai (ton);
- $conc_{sed, ch, mx}$, konsentrasi maksimum sedimen yang dapat ditransportasikan oleh air ($kg\ l^{-1}$ atau $ton\ m^{-3}$);
- V_{ch} , volume air pada segmen aliran sungai (m^3);
- K_{ch} (CH_EROD), faktor erodibilitas saluran ($cm\ jam^{-1}\ Pa^{-1}$);
- C_{ch} (CH_COV), faktor tutupan saluran.

Jumlah akhir sedimen pada aliran sungai dihitung berdasarkan:

$$sed_{ch} = sed_{ch, i} - sed_{dep} + sed_{deg} \quad 13)$$

Keterangan:

- sed_{ch} , jumlah sedimen tersuspensi pada aliran sungai (ton);
- $sed_{ch, i}$, jumlah sedimen tersuspensi pada aliran sungai di awal periode (ton);
- sed_{dep} , jumlah sedimen yang kembali masuk pada segmen aliran sungai (ton).

Total jumlah sedimen yang ditransportasikan keluar dari bagian aliran sungai dihitung berdasarkan:

$$sed_{out} = sed_{ch} \times \frac{V_{out}}{V_{ch}} \quad 14)$$

Keterangan:

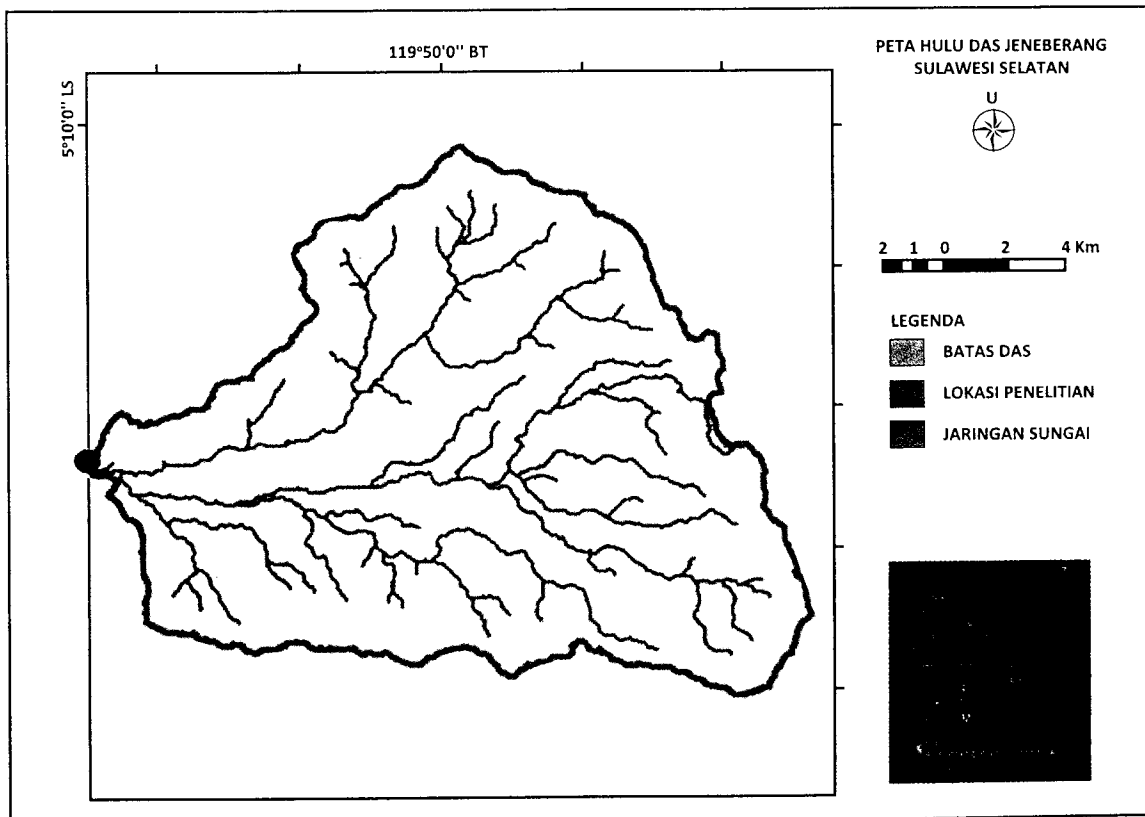
- sed_{out} , total jumlah sedimen yang ditransportasikan keluar (ton);
- sed_{ch} , jumlah sedimen tersuspensi pada aliran sungai (ton); V_{out} , volume air yang meninggalkan segmen aliran (m^3) setiap waktunya;
- V_{ch} , volume air pada segmen aliran sungai (m^3) setiap waktunya.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan dari bulan September 2012 – April 2013 di wilayah hulu DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan dengan Pos Duga Air Jonggoa sebagai outletnya (Gambar 1).

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan Secara umum tahapan-tahapan tersebut disajikan pada Gambar 2.

Pengumpulan data. Data penelitian terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer berupa data karbon organik yang diperoleh dari sampel sedimen yang diambil dari hulu DAS Jeneberang pada bulan Maret dan Agustus.



Gambar 1 Lokasi penelitian

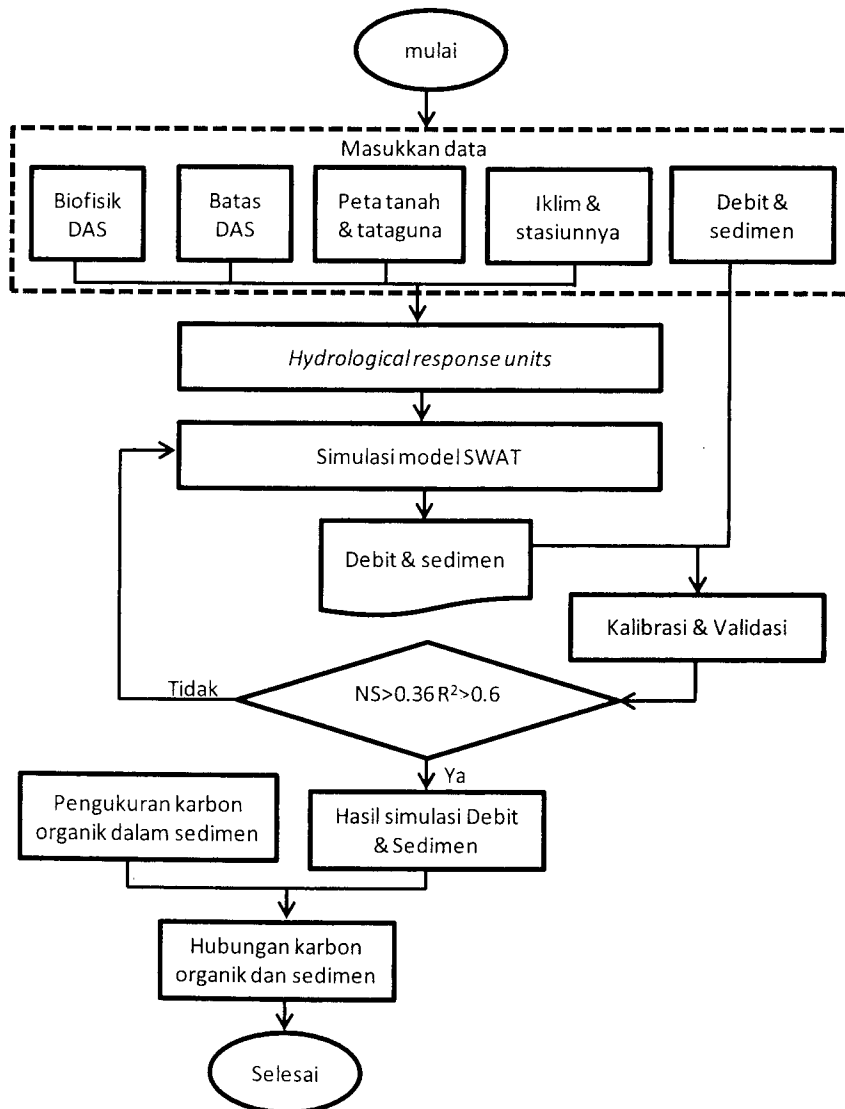
Pengambilan sampel dilakukan dengan menggunakan *Experimental Sediment Trap*. Sampel sedimen yang terkumpul di dalam toples kemudian diuji di laboratorium menggunakan metode Walkley-Black (1934).

Data sekunder meliputi data karakteristik tanah, data biofisik DAS, data debit sungai, data series curah hujan, data series iklim, dan data series angkutan sedimen yang dikumpulkan dari Balai Besar Wilayah Sungai Jeneberang-Pompeang, BPDAS Jeneberang dan beberapa data penelitian terdahulu.

Pengolahan data dasar. Tahapan ini merupakan proses pengaturan data-data spasial agar mempunyai kesamaan datum saat pengolahan di ArcGIS. Datum yang digunakan untuk hulu DAS Jeneberang adalah wgs84 zona 50S. Setelah itu data karakteristik tutupan lahan dan karakteristik tanah juga dimasukkan ke dalam *database* SWAT.

Selain itu dilakukan pengolahan data observasi yang disesuaikan dengan format yang dapat diterima oleh arcSWAT yaitu .dbf. Pengolahan data yang dilakukan adalah membuat file WGN (*weather generator*) yang berfungsi sebagai pembangkit iklim, membuat file presipitasi yang berisi data hujan harian, membuat file temperatur yang berisi temperatur harian maksimum dan minimum.

Pengaturan dan simulasi awal model SWAT. Pada tahapan ini ditentukan periode simulasi model untuk membandingkannya dengan data hasil pengukuran di lapangan. Pada tahapan ini juga dilakukan pemilihan parameter-parameter yang harus dikalibrasi untuk mendapatkan nilai korelasi yang baik antara model dengan pengukuran di lapangan. Adapun proses-proses yang ada di dalamnya antara lain: deliniasi DAS sehingga terbentuk beberapa subDAS dengan jaringan sungainya, pembentukan unit respon hidrologi yang merupakan kombinasi dari SubDAS, penggunaan lahan, tanah dan kelas lereng.



Gambar 2 Diagram alir proses penelitian

Delineasi atau pembentukan sub-DAS dilakukan secara otomatis (*Automatic Watershed Delineation-AWD*). Model SWAT menggunakan fitur AWD yang terdapat di arcGIS sebelum melakukan penentuan unit respon hidrologi. Delineasi terhadap peta DEM memberikan batas DAS beserta pembagian sub-DAS yang menyusunnya. Angka treshold (ambang batas) yang digunakan dalam penelitian ini adalah 100 ha disesuaikan dengan luasan suatu desa. Unit respon hidrologi diperoleh dari tumpang susun peta tanah dan peta penggunaan lahan dilengkapi dengan kelas lereng. Hasil keluaran model adalah berupa sedimen (ton) dan debit air (m³/det).

SWAT menggunakan modifikasi dari metode SCS *curve number* untuk menghitung volume aliran permukaan pada masing-masing unit respon hidrologi. Tingkat puncak aliran permukaan menggunakan modifikasi dari metode rasional dan data curah hujan harian. Arah aliran dalam saluran ditentukan dengan menggunakan metode Maskingum dan untuk menghitung evapotranspirasi potensial digunakan metode Penman.

Kalibrasi. Kalibrasi merupakan tahapan yang paling penting dalam analisis hidrologi dan sedimen menggunakan SWAT. Karena model SWAT pada

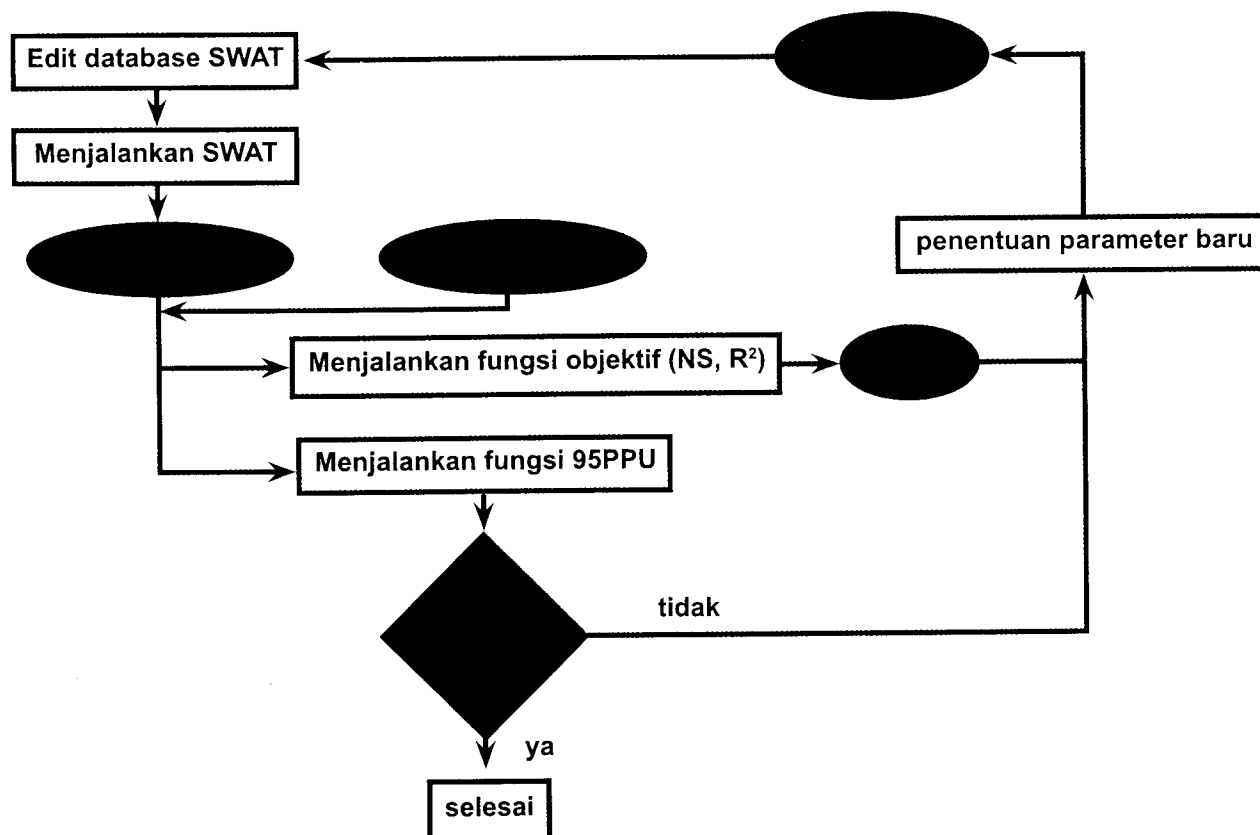
dasarnya tidak diperuntukkan untuk negara tropis seperti Indonesia sehingga parameter-parameter yang ada di dalamnya perlu disesuaikan dengan kondisi wilayah di hulu DAS Jeneberang. Ada 500 parameter yang membangun model SWAT, namun hanya parameter-parameter yang sensitif saja yang dikalibrasi.

Penentuan parameter sensitif ini menggunakan algoritma SUFI2 (*Sequential Uncertainty Fitting*) yang dibantu software SWAT-CUP (Gambar 3). Algoritma ini menggunakan metode inverse yang dapat mengestimasi parameter yang tidak dapat diukur secara langsung (Abbaspour *et al.*, 2004). Algoritma SUFI2 ini dipilih karena menunjukkan nilai statistik yang lebih baik bila dibandingkan dengan algoritma yang lainnya (Abbaspour *et al.*, 1999).

Sebuah ukuran yang wajar untuk d, dihitung oleh R-factor dinyatakan sebagai:

$$R_{factor} = \frac{d_x}{\sigma_x} \quad 15)$$

Dimana σ_x merupakan standar deviasi dari variabel X terukur. Jika p-factor = 1 dan R-factor = 0, artinya simulasi tepat dengan data terukur.



Gambar 3 Bagan alir proses penentuan parameter sensitif menggunakan algoritma SUFI2

Simulasi model SWAT terkalibrasi. Setelah dikalibrasi, model divalidasi dengan menggunakan periode tahun yang berbeda dari periode kalibrasi. Model dikatakan valid jika nilai Nash-Sutcliffe (NS) lebih besar sama dengan 0,36 dan koefisien determinasi (R²) lebih besar sama dengan 0,6 (Nash dan Sutcliffe, 1970). Perhitungan NS dan R² dihitung sebagai berikut:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad 16)$$

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(S_i - \bar{S})}{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]^{0,5} [\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2]^{0,5}} \right\} \quad 17)$$

Keterangan:

- O_i, data observasi hari ke-i,
- S_i, data simulasi hari ke-i,
- \bar{O} , rata-rata data observasi,
- \bar{S} , rata-rata data simulasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum Hulu DAS Jeneberang

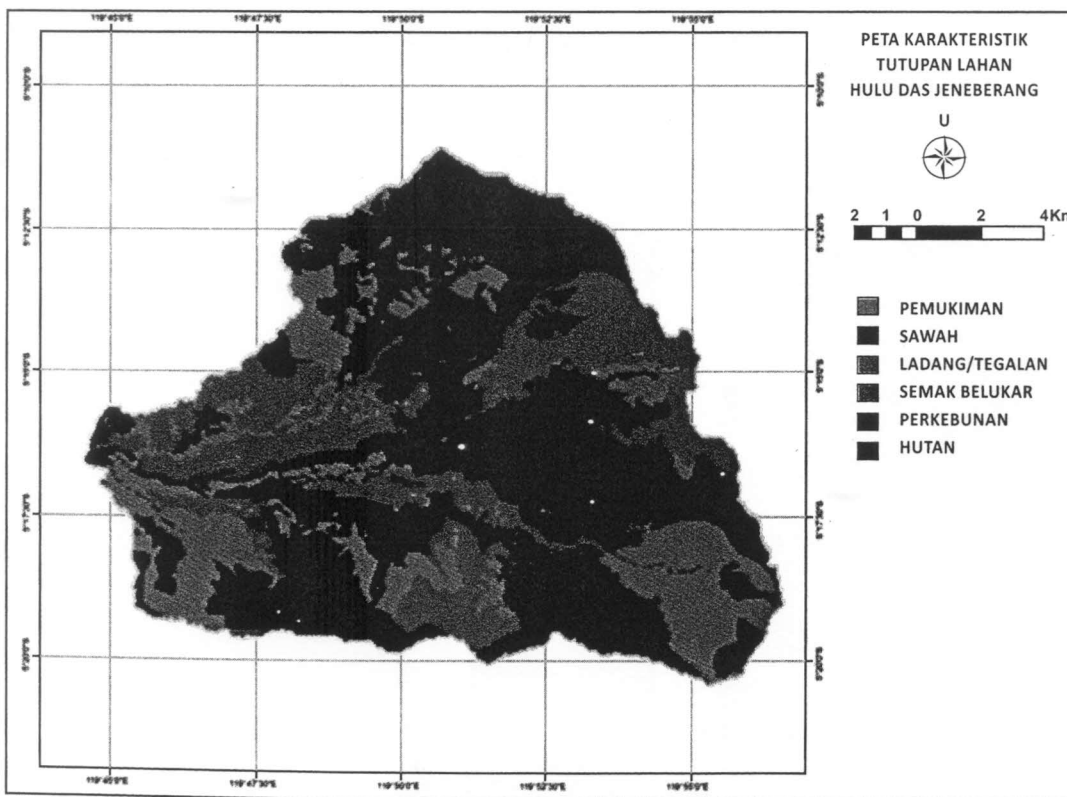
Sebaran keragaman penutupan lahan, sebaran jenis tanah ditunjukkan pada Tabel 1. Perhitungan luas tutupan lahan diperoleh dari peta penutupan lahan di hulu DAS Jeneberang. Jenis penutupan lahan dikelompokkan menjadi sawah, hutan, ladang/tegalan, semak belukar, perumahan, dan perkebunan

(Gambar 4). Tutupan lahan sawah, hutan, ladang/tegalan, dan semak belukar mendominasi wilayah ini.

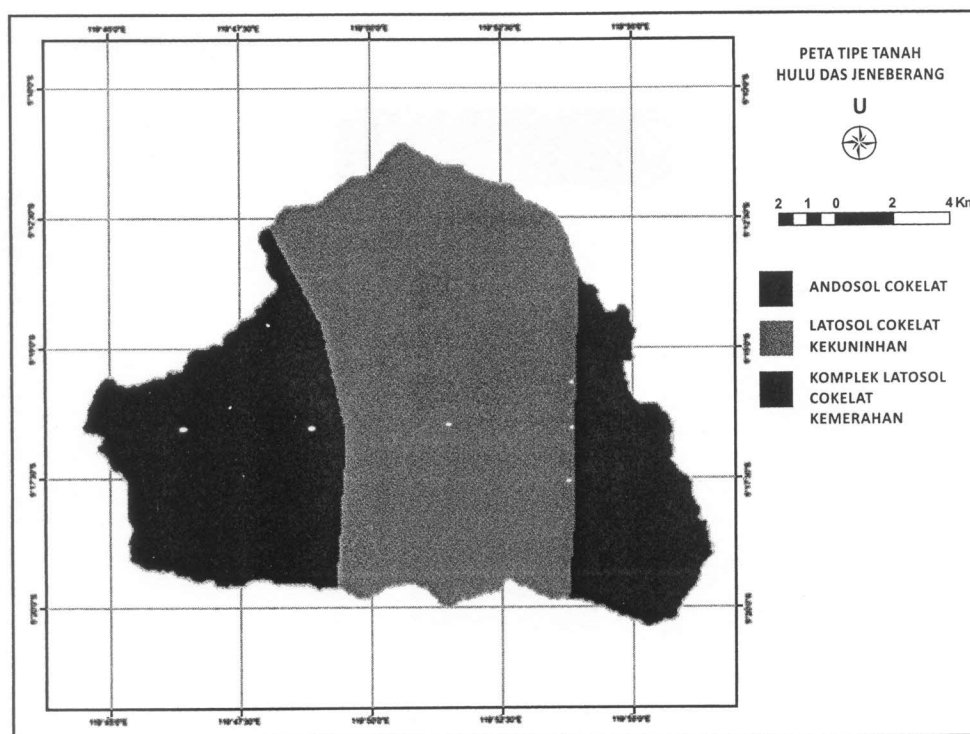
Tabel 1 Kondisi umum wilayah hulu DAS Jeneberang

	Luas (km ²)	%
Penutupan lahan		
Sawah	71,12	30,04
Hutan	59,68	25,21
Ladang/tegalan	54,25	22,92
Semak belukar	50,58	21,37
Perumahan	0,13	0,05
Perkebunan	0,96	0,41
Total	236,73	100,00
Tanah		
Latosol coklat kekuningan	131,04	55,36
Komplek latosol coklat kemerahan	68,81	29,07
Andosol coklat	36,87	15,58
TOTAL	236,73	100,00
Kemiringan lereng (%)		
0-15	46,33	19,57
15-25	55,97	23,64
25-30	25,97	10,97
30-45	59,60	25,18
>45	48,85	20,64
TOTAL	236,73	100,00

Sumber: Hasil tumpang susun Peta DEM SRTM 30x30 m, peta tata guna lahan, dan peta tanah



Gambar 4 Peta Karakteristik tutupan lahan hulu DAS Jeneberang



Gambar 5 Peta tipe tanah hulu DAS Jeneberang

Jenis tanah yang terdapat di wilayah hulu DAS Jeneberang berdasarkan Peta Tanah Tinjau (LPT Bogor, 1973) adalah Latosol Coklat Kekuningan dan Andosol Coklat. Di wilayah bagian tengah DAS Jeneberang ditemui jenis tanah Mediteran Coklat Kemerahan (Gambar 5). Karakteristik umum tanah di wilayah ini antara lain adalah kapasitas tukar kation sedang sampai tinggi, reaksi tanah agak masam sampai netral (5,5 sampai dengan 7,0), drainase baik sampai agak terhambat. Umumnya tanahnya bertekstur lempung, lempung berpasir, lempung berliat, liat berdebu, dan lempung berdebu dengan kedalaman solum tanah dari sedang sampai dalam.

Klasifikasi kelas kemiringan lereng diperoleh dari peta DEM (Digital Elevation Map) ukuran 30 x 30 m. Kemiringan lokasi hulu DAS Jeneberang bervariasi dari landai sampai dengan sangat curam. Lokasi ini didominasi kemiringan di atas 30% sehingga sangat peka terhadap erosi.

Berdasarkan pola curah hujan, lokasi penelitian termasuk ke dalam tipe Monsonal. Tipe hujan ini dicirikan oleh adanya perbedaan yang jelas antara periode musim hujan dan kemarau dalam setahun, dan hanya terjadi satu kali maksimum curah hujan bulanan dalam setahun (Tukidi, 2010). Berdasarkan klasifikasi iklim Schmith dan Ferguson, wilayah ini termasuk tipe iklim B dengan rata-rata jumlah bulan basah 9 bulan, bulan lembab 1 bulan dan bulan kering 2 bulan.

Curah hujan di wilayah hulu DAS Jeneberang berkisar antara 2500 - 4800 mm/tahun dengan rata-

rata sebesar 3775 mm/tahun. Curah hujan maksimum sebesar 1282 mm/bulan dan rata-rata bulanan sebesar 314 mm/bulan. Musim hujan terjadi pada bulan Oktober sampai bulan Mei, dan puncak hujan terjadi antara bulan Desember dan Januari. Musim kemarau berlangsung pada bulan Juni sampai Oktober.

Penetapan Parameter Model SWAT

Hasil simulasi awal model SWAT dengan data hasil pengukuran diperoleh nilai NS sebesar 0,397 dan nilai koefisien determinasinya (R^2) sebesar 0,55. Agar model dapat sesuai dengan data pengukuran, maka yang dilakukan adalah menentukan parameter-parameter dalam model SWAT yang memungkinkan untuk diubah. Dari 26 parameter yang dikalibrasi dapat diidentifikasi 19 parameter yang sensitif antara lain RCHRG_DP.gw (fraksi perkolasi akuifer dalam), GWQMN.gw (batas kedalaman air dalam *shallow aquifer* untuk terjadinya arus balik), SLSUBBSN.hru (panjang kemiringan aliran permukaan), CN2.mgt (SCS *curve number*), GW_REVAP.gw (koefisien revap air tanah), GW_DELAY.gw (Waktu penundaan air tanah), OV_N.hru (koefisien kekasaran manning), ESCO.hru (faktor penggantian evaporasi tanah), CANMX.hru (maksimum *canopy storage*), GW_SPYLD.gw (*specific yield of the shallow aquifer*), CH_N2.rte (nilai 'n' manning dari saluran utama), CH_K1.sub (konduktivitas hidrolis efektif pada saluran tributari), EPCO.hru (faktor penggantian serapan tanaman), CH_W1.sub (rata-rata lebar saluran tributari), TIMP.bsn (faktor temperatur lag), SLSOIL.hru (panjang

kemiringan aliran lateral bawah permukaan), CH_K2.rte (konduktivitas hidrolis efektif pada saluran utama), SOL_BD(1).sol (*moist bulk density*), CH_L1.sub (saluran cabang terpanjang dari subDAS). Penentuan parameter sensitif ini berdasarkan parameter yang mempunyai nilai t-Stat yang lebih besar dari p-Value. P-value yang mendekati 0 berarti lebih signifikan (Abbaspour 2011). Adapun 7 parameter lainnya yang tidak sensitif antara lain REVAPMN.gw (batas kedalaman air di shallow aquifer untuk revas atau perkolasi ke akuifer dalam), CO2.sub (konsentrasi karbondioksida), SOL_K(1) (konduktivitas hidrolis jenuh), ALPHA_BF.gw (faktor alpha *baseflow*), CH_S1.sub (rata-rata kemiringan pada saluran tributari), SMFMN.bsn (faktor pelelehan minimum), dan SFTMP.bsn (temperatur hujan es).

Kalibrasi dilakukan pada periode tahun 2001. Hal tersebut dikarenakan ketersediaan data debit dan curah hujan yang relatif lengkap. Dalam proses kalibrasi, dilakukan 1000 kali simulasi dengan kombinasi nilai parameter yang berbeda. Nilai p-factor dan r-factor menjadi indikator baik atau buruknya model yang dikalibrasi menggunakan algoritma SUFI2 (Abbaspour, 2011).

Simulasi ke-380 merupakan model yang paling baik dengan nilai p-factor sebesar 0,99 dan r-factor sebesar 1.66. Hal ini berarti sebanyak 99% data pengukuran masuk dalam kisaran 95PPU (selang kepercayaan 95%) dan terdapat sekitar 1% di luar selang kepercayaan 95%. Hasil kalibrasi diperoleh nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,68 dan nilai NS sebesar 0,42, sehingga model dianggap memuaskan (Nash dan Sutcliffe, 1970).

Validasi Model

Dalam proses validasi hanya dilakukan 1 (satu) kali simulasi dengan kombinasi nilai parameter terbaik pada saat kalibrasi. Validasi model SWAT

terkalibrasi dilakukan dengan menggunakan data debit sungai harian pada tahun 2003. Validasi model menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,82 dan nilai NS sebesar 0,64, sehingga model dikatakan memuaskan (Nash dan Sutcliffe, 1970).

Kajian Debit dan Sedimen

Hubungan antara sedimen dengan debit hasil simulasi model SWAT membentuk persamaan polinomial sebagai berikut:

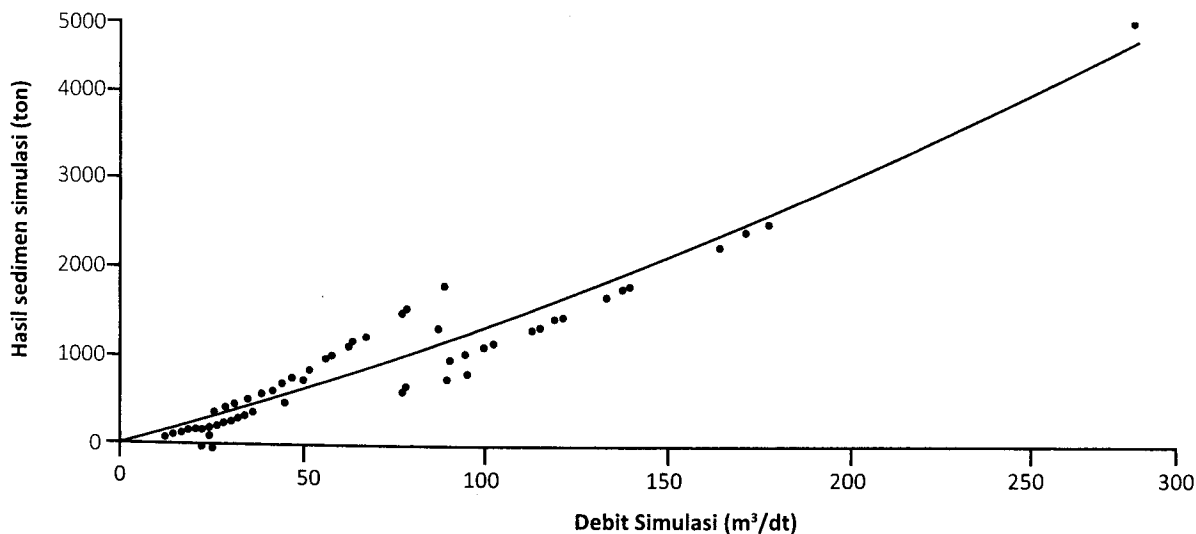
$$Y = 0,0157x^2 + 12,117x - 51,961$$

dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,95, dimana Y merupakan hasil sedimen (ton) dan x merupakan debit air (m^3det^{-1}) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.

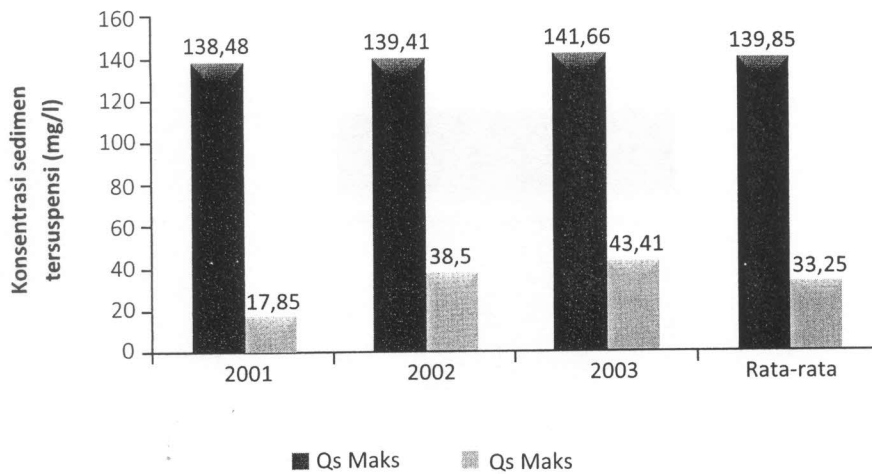
Fluktuasi sedimen berdasarkan konsentrasi sedimen tersuspensinya ditunjukkan pada Gambar 7. Konsentrasi sedimen tersuspensi di hulu DAS Jeneberang yang ditunjukkan pada Gambar 7 mempunyai kadar di bawah 400 mg/l. Maka, berdasarkan SK Dirjen RLPS Nomor P.04/V-SET/2009 nilai tersebut memenuhi mutu air kelas III untuk budidaya perikanan dan peternakan.

Kajian Sedimen dan Karbon

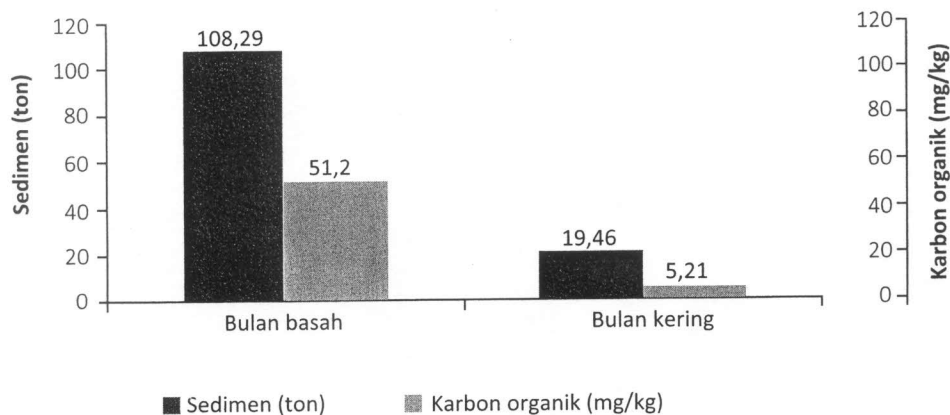
Kajian tentang sedimen dan karbon organik dilakukan pada periode bulan basah (bulan Maret) dan bulan kering (Agustus). Bulan basah dan bulan kering ini dibedakan dari curah hujannya. Jika curah hujan lebih dari 100 mm/hari maka dikatakan bulan basah. Jika curah hujan kurang dari 60 mm/hari maka disebut bulan kering. Berdasarkan hasil uji 12 sampel sedimen yang diujikan di laboratorium biologi tanah IPB, konsentrasi karbon organik dan sedimen mempunyai nilai yang lebih tinggi di bulan basah dan kemudian menurun konsentrasinya di bulan kering (Gambar 8).



Gambar 6 Hubungan antara debit air (m^3/dt) dengan hasil sedimen (ton)



Gambar 7 Fluktuasi sedimen tersuspensi di Hulu DAS Jeneberang



Gambar 8 Grafik perubahan sedimen dan karbon organik pada tiap musim

Konsentrasi karbon organik di bulan basah mencapai 51,2 mg/kg atau 0,005% dari total berat sedimen dan di bulan kering sebesar 5,21 mg/kg atau 0,0005% dari total sedimen. Hal ini dapat dikaitkan dengan lebih banyaknya sedimen dengan stabilitas agregat tanah yang lebih rendah sehingga pada bulan basah yang curah hujannya cukup tinggi, lapisan tanah menjadi lebih mudah tererosi. Peranan sediment storage di dalam sungai juga mengontrol dinamika sedimen tersuspensi selama periode inter-floods pada aliran stabil (Smith dan Dragovich, 2008). Oleh karena itu, setelah periode bulan basah yang transportasi sedimennya relatif tinggi (curah hujan tinggi), sedimen menjadi berkurang dan ketersediaannya di sungai berkurang, konsentrasi sedimen yang terukur pun menjadi lebih rendah (Oeurng et al., 2011).

Korelasi yang positif antara sedimen dengan karbon organik ditunjukkan dengan adanya kenaikan sedimen yang berakibat juga pada kenaikan karbon organiknya. Dapat disimpulkan bahwa dengan hasil simulasi SWAT juga dapat diprediksi besarnya karbon organik yang berada di perairan dengan persamaan

$Y=0.5177x - 4.865$, dimana Y adalah karbon organik (ppm) dan x adalah sedimen (ton). Pola tersebut juga menyerupai hasil penelitian Oeurng *et al.* (2011) pada kondisi tutupan lahan yang didominasi pertanian bahwa karbon organik mempunyai pola yang sama (linier) dengan sedimen.

KESIMPULAN

Model SWAT telah berhasil digunakan di hulu DAS Jeneberang. Dari 500 parameter, teridentifikasi 19 parameter yang sensitif dengan menggunakan algoritma SUFI2, yaitu: fraksi perkolasi akuifer dalam, batas kedalaman air dalam akuifer dangkal, *groundwater* ravap *coefficient*, waktu penundaan air tanah, *specific yield* dari akuifer dangkal, panjang kemiringan aliran permukaan, koefisien kekasaran manning, faktor penggantian evaporasi tanah, maksimum kapasitas tutupan, faktor penggantian serapan tanaman, panjang kemiringan aliran lateral bawah permukaan, SCS curve number, nilai manning dari saluran utama, konduktivitas hidrolis efektif pada saluran utama, konduktivitas hidrolis efektif saluran

tributari, rata-rata lebar saluran tributari, dan saluran cabang terpanjang dari subDAS, *lag temperature factor*, *moist bulk density*.

Dari analisis sedimen ternyata konsentrasi sedimen tersuspensi di hulu DAS Jeneberang berfluktuasi dan hasilnya menyatakan bahwa air di lokasi penelitian termasuk kelas 3 dan dapat dimanfaatkan untuk kegiatan budidaya perikanan dan peternakan. Besarnya kandungan karbon organik sangat berkorelasi dengan sedimen, sehingga peningkatan konsentrasi sedimen akan meningkatkan juga kandungan karbon organik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abbaspour KC. 2011. SWAT-CUP4: *SWAT Calibration and Uncertainty Programs – A User Manual*. Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology. Swiss
- Abbaspour KC, Johnson CA, Ganuchten. 2004. *Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure*. J Soil Sci Soc of Am. 3:1340-1352
- Abbaspour KC, Sonnleiter MA, Schulin R. 1999. *Uncertainty in Estimation of Soil Hydraulic Parameters by Inverse Modeling: Example Lysimeter Experiments*. J Soil Sci Soc of Am. 63:501-509
- Arnold JG, Kiniry JR, Srinivasan R, Williams JR, Haney EB, Neitsch SL. 2011. *Soil and Water Assessment Tools Input/Output File Documentation Version 2009*. Grassland, Soil and Water Research Laboratory – Agricultural Research Service, Blackland Research Centre – Texas Agrilife Research. Texas Water Research Institute Technical Report No. 365. Texas A&M University System. College Station. Texas
- [DJRLPS] Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial. 2009. *Peraturan Direktur Jenderal Rehabilitasi Lahan Dan Perhutanan Sosial Nomor P.04/V-SET/2009 tahun 2009 tentang Pedoman Monitoring Dan Evaluasi Daerah Aliran Sungai*. Jakarta (ID)
- Nalendra V. 2006. *Pendugaan Karbon Organik Partikulat di Perairan Selatan Jawa dengan Menggunakan Citra SeaWIFS pada Bulan Agustus 2000 [Skripsi]*. Bogor. Institut Pertanian Bogor
- Nash JE., Sutcliffe JV. 1970. River Flow Forecasting Through Conceptual Models Part I-a Discussion of Principles. *Journal of Hydrology*. 10(3): 282-290
- Neitsch SL., Arnold JG., Kiniry JR., Williams JR., King KW. 2002. *Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation, versi 2000*. Tersedia pada: <http://www.brc.tamus.edu/swatdownloads/doc/swat2000theory.pdf>
- Oeurng C., Sauvage S., Sánchez-Pérez JM. 2011. Assessment of Hydrology, Sediment and Particulate Organic Carbon Yield in a Large Agricultural Catchment using the SWAT Model. *Journal of Hydrology*, 401 (2011)145-153
- Pratono, Razak, Gunawan. 2009. Pestisida Organoklorine di Sedimen Pesisir Muara Citarum, Teluk Jakarta: Peran Penting Fraksi Halus Sedimen Sebagai Pentransport DDT dan Proses Diagenesanya. *E-Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, Vol. 1, No. 2, Hal. 11-21, Desember 2009
- Saida. 2011. *Pendugaan Pengembangan Tanaman Hortikultura Berbasis Agroekologi pada Lahan Berlereng di Hulu DAS Jeneberang, Sulawesi Selatan [Disertasi]*. Bogor. Institut Pertanian Bogor
- Smith HG, Drogovich D. 2008. *Sediment Budget Analysis of Slope-Channel Coupling and In-channel Sediment Storage in An Upland Catchment, South-Eastern Australia*. J. Geomorphology. 101: 643-654.
- Tukidi. 2010. Karakter Curah Hujan di Indonesia. *Jurnal Geografi*. 7(2):6-10
- Walkley A, Black IA. 1934. *An Examination of Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter and A Proposed Modification of The Chromic Acid Titration Method*. J. Soil Science. 37:29-37

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan Republik Indonesia khususnya Biro Perencanaan Kerjasama Luar Negeri atas dukungan materi yang diberikan melalui program Beasiswa Unggulan sehingga penelitian ini dapat berjalan dengan baik.