

**APLIKASI SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG)
DAN PENGINDERAAN JAUH UNTUK MODEL HIDROLOGI ANSWERS
DALAM MEMPREDIKSI EROSI DAN SEDIMENTASI
Studi Kasus : DTA Cipopokol Sub DAS Cisadane Hulu Kabupaten Bogor**

*(Application of Geographical Information System (GIS) and Remote Sensing
for ANSWERS Hydrological Model in Predicting Erosion and Sedimentation.
Case Study: Cipopokol Water Cathment Area, Cisadane Hulu Sub Watershed,
Bogor District)*

DIAH IRAWATI DWI ARINI¹⁾, LILIK BUDI PRASETYO¹⁾ DAN OMO RUSDIANA²⁾

¹⁾Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata IPB Bogor 16680

²⁾Departemen Manajemen Hutan IPB Bogor 16680

Diterima 22 Januari 2007 / Disetujui 28 Mei 2007

ABSTRACT

Forest conversion in watershed may lead to erosion, sedimentation, and water quantity fluctuation. Prediction of erosion and sedimentation quantity is one way to describe condition of a watershed. ANSWERS is one of good hydrological model since it can be linked with map. It can formulated the best land use composition and distribution based on simulation. However, most of steps in ANSWERS are conducted manually, especially during thematic map development. The objective of research are (1) to combine the GIS and Remote Sensing in order to reduce technical error during thematic map development, (2) to predict the value of erosion and sedimentation to map the class of erosion and sedimentation range. Research is done in Cipopokol water cathment, Cisadane Hulu sub watershed, Bogor district at June untill October 2005.

Keywords: Sedimentation, erosion, water catchment area, GIS, Spatial data

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai (DAS) merupakan suatu wilayah daratan yang menerima air hujan untuk kemudian mengalirkannya kembali melalui satu sungai utama menuju ke hilir. DAS bagian hulu seringkali menjadi fokus perencanaan pengelolaan DAS karena selain fungsinya yang sangat penting sebagai daerah tangkapan air (*Water Catchment Area*) juga adanya keterkaitan biofisik dengan daerah tengah dan hilir. Segala bentuk kerusakan yang terjadi di daerah hulu pada akhirnya tidak hanya akan membawa dampak bagi daerah hulu saja namun akhirnya juga berdampak pada daerah tengah dan terutama daerah hilir.

DAS Cisadane berhulu di Gunung Gede Pangrango dan Gunung Halimun. Saat ini kondisi peruntukan lahan di kawasan hulu ini telah mengalami banyak perubahan akibat pemanfaatan lahan yang kurang sesuai dengan fungsinya. Luas lahan kritis yang telah dipetakan oleh Balai Pengelolaan DAS Citarum-Ciliwiung pada tahun 2003 mencapai angka 12.723,20 Ha atau sekitar 8% dari luas keseluruhan DAS Cisadane (156.043 Ha).

Daerah Tangkapan Air Cipopokol merupakan bagian dari DAS Cisadane bagian hulu yang saat ini telah mengalami banyak perubahan penutupan lahan menjadi pemukiman, perkebunan, lahan pertanian dan sebagainya. Perubahan ini tentunya akan membawa pengaruh yang cukup besar bagi kemampuan lahan untuk menangkap air hujan yang jatuh untuk kemudian menyerap dan menyimpannya di dalam tanah (BAPEDA Prop. Jawa Barat 2004).

Prediksi tingkat bahaya erosi akibat perubahan penutupan lahan telah banyak dilakukan melalui pendekatan model hidrologi diantaranya USLE (*Universal Soil Loss Equation*). Dalam permodelan hidrologi metode USLE termasuk ke dalam model empiris yang bersifat *lumped* dimana parameter dan variabel masukan, keluaran dan besaran yang mewakilinya tidak memiliki variabilitas keruangan atau *spatial* (Harto, 1993). Namun sesuai dengan perkembangannya, saat ini model USLE telah dapat diaplikasikan dengan menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). Model hidrologi lain yang banyak digunakan selain USLE yaitu ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*). Model hidrologi yang diperkenalkan oleh Beasley dan

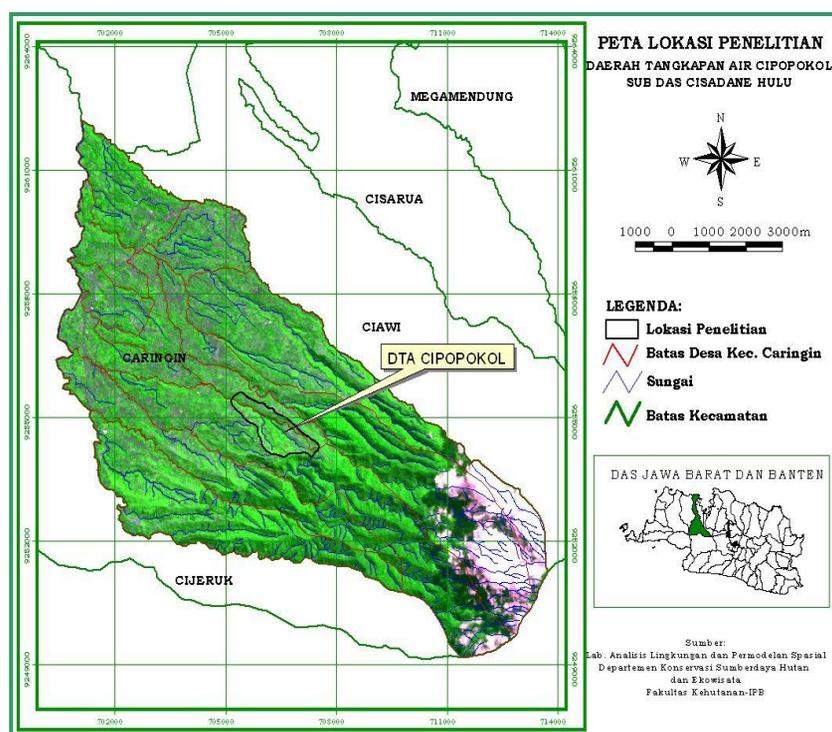
Huggins (1991) kemudian dikembangkan kembali oleh *Environmental Protection Agency* (EPA) di bawah *Purdue Agricultural Experiment Station*. ANSWERS merupakan model simulasi karakteristik DAS yang biasanya digunakan untuk mengevaluasi kondisi DAS khususnya di daerah pertanian. Keunggulan utama model ini adalah dapat digunakan untuk kegiatan simulasi perencanaan dan mengevaluasi strategi dalam mengendalikan erosi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkombinasikan aplikasi SIG dan Inderaja dengan model hidrologi ANSWERS. Kombinasi dari metode ini diharapkan dapat memprediksi besarnya nilai erosi dan sedimentasi di DTA Cipopokol untuk selanjutnya dapat dipetakan tingkat

penyebaran erosi dan sedimentasi. Informasi yang dihasilkan diharapkan dapat menjadi pertimbangan bagi kegiatan rehabilitasi DTA Cipopokol Sub DAS Cisadane Hulu.

METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan di Daerah Tangkapan Air Cipopokol yang merupakan bagian dari hulu DAS Cisadane di Kabupaten Bogor (Gambar 1). Waktu kegiatan dilaksanakan selama 4 bulan dari bulan Juli sampai Oktober 2005.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian.

Metode penelitian di bagi ke dalam beberapa tahapan :

1. Tahap pengumpulan data.

Data yang dikumpulkan digunakan sebagai masukan atau input data untuk model hidrologi ANSWERS. Data yang dikumpulkan terdiri dari :

- a. Data peta, meliputi Citra ASTER/TERRA tahun 2004, peta batas daerah tangkapan air Cipopokol, peta jenis tanah, peta topografi, peta sungai,

- b. Data atribut, meliputi data curah hujan, tinggi muka air, sedimen, data parameter tanah, penggunaan lahan dan parameter karakteristik sungai.
- c. Data lapangan, meliputi data titik-titik koordinat penutupan lahan di daerah tangkapan air Cipopokol.

Lo (1995) menjelaskan bahwa hasil pengamatan penutupan lahan, diharapkan dapat menduga kegiatan manusia serta penggunaan lahan. Data mengenai penutupan lahan DTA Cipopokol diperoleh dengan melakukan klasifikasi citra ASTER (*Advanced Space Borne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) tahun 2004.

Klasifikasi dilakukan berdasarkan pada kenampakan bentuk penutupan lahan yang dapat dilihat secara jelas dari perbedaan warna piksel pada citra ASTER dengan menggunakan kombinasi band 2-3-1. Subsystem yang digunakan adalah VNIR (*Visible and Near Infrared*) yang memiliki resolusi 15x15 meter. Fungsi utama dari VNIR adalah mendeskripsikan sumberdaya air, tanah serta kerapatan tanaman.

2. Tahap Pembangunan Basis Data

- a. *Pembuatan Peta Digital*. Pembuatan peta digital dilakukan dengan melakukan konversi peta-peta analog menjadi bentuk digital. Peralatan yang digunakan adalah *scanner* dan *software* ArcView GIS 3.3.
- b. *Pembuatan peta penutupan lahan*. Pemetaan penutupan lahan (*land cover*) merupakan suatu upaya dalam menyajikan informasi tentang pola penggunaan atau penutupan lahan di suatu wilayah secara spasial. Informasi penutupan lahan diperoleh dengan melakukan klasifikasi atau penafsiran citra satelit ASTER tahun 2004 dengan menggunakan *software* ERDAS Imagine 8.5 (ERSDAC, 2001).
- c. *Pembuatan Peta DEM (Digital Elevation Model) dan Arah Aliran (Flow Direction)*. DEM merupakan gambaran citra yang mampu memetakan ketinggian tempat dari permukaan bumi atau elevasi. Turunan dari peta DEM adalah peta ketinggian dan peta kelas lereng. Arah aliran merupakan arah dimana air hujan yang jatuh ke bumi mengalir menuju suatu outlet. Peta arah aliran diperoleh dari peta kontur yang selanjutnya dilakukan analisis secara spasial (*Spatial Analyst*).
- d. *Pembangunan Data model hidrologi ANSWERS*. Dalam model hidrologi ANSWERS suatu DAS diekspresikan sebagai kumpulan elemen bujursangkar yang diasumsikan homogen atau setiap areal mempunyai parameter hidrologi dan erosi yang sama. Masukan

model hidrologi ANSWERS terdiri dari lima bagian yaitu data intensitas hujan, data jenis dan parameter tanah, data jenis dan parameter penggunaan lahan, data nomor saluran (*channel*) dan parameter sungai serta data elemen (baris dan kolom, kemiringan lereng, arah aliran, jenis tanah, jenis penutupan lahan, sungai/saluran dan parameternya, nomor stasiun penakar hujan dan data elevasi/ketinggian tempat). Penentuan luasan grid atau elemen dilakukan berdasarkan jumlah maksimum elemen yang diijinkan di dalam model yaitu sebanyak 1000 elemen. Jika luasan daerah tangkapan air Cipopokol mencapai 159,20 Ha maka jumlah elemennya adalah 995 elemen dengan ukuran gridnya 40 x 40 meter atau seluas 0,16 Ha.

- e. *Konversi peta vektor ke dalam format raster*. Peta-peta dalam format vektor untuk selanjutnya dirubah ke dalam format raster (piksel).
- f. *Konversi raster ke dalam bentuk text*. Pembangunan data untuk masukan input ke dalam model dilakukan dengan merubah data raster ke dalam bentuk **txt (text file)* untuk selanjutnya data tersebut diinput ke dalam *software* ANSWER_PLUS V1.01.

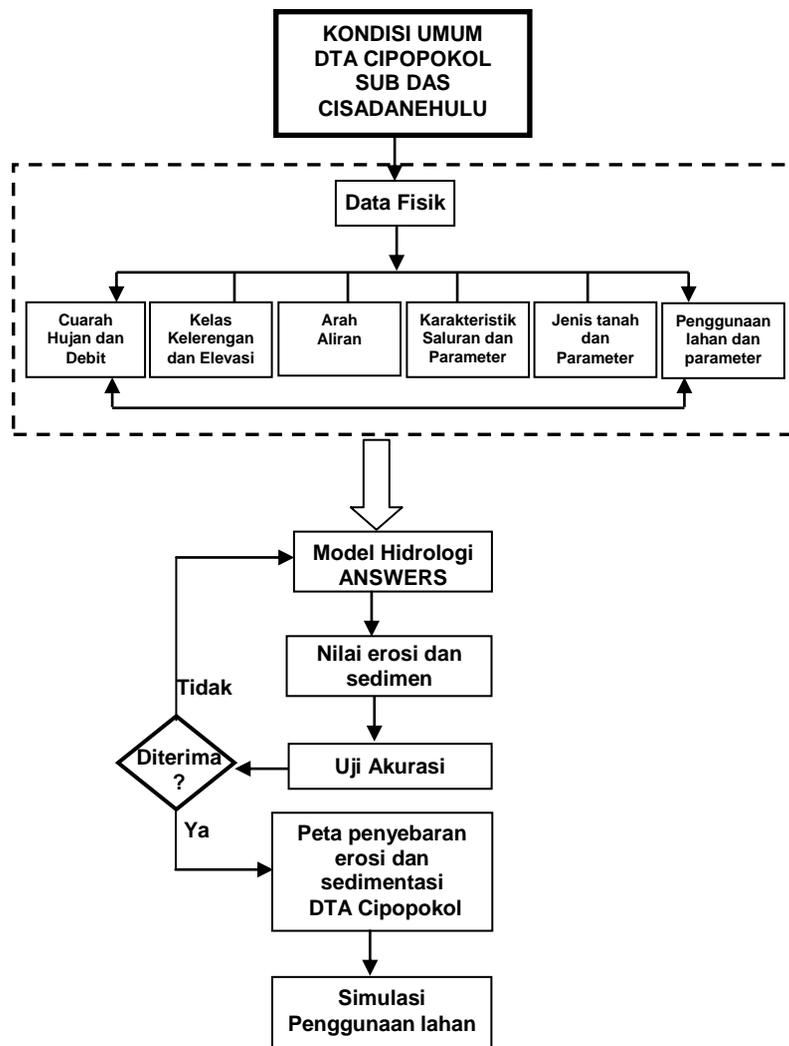
3. Pemetaan penyebaran nilai erosi dan sedimentasi

Peta penyebaran nilai erosi dan sedimentasi dilakukan dengan cara merubah angka yang diperoleh dari hasil keluaran model ANSWERS menjadi bentuk raster dan diolah kembali menjadi bentuk peta.

4. Simulasi penggunaan lahan

Simulasi penggunaan lahan dilakukan dengan tujuan untuk menentukan besarnya nilai erosi dan sedimentasi yang dihasilkan pada tutupan lahan yang berbeda.

Secara keseluruhan alur penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Masukan ANSWERS

a. Penutupan Lahan

Hasil interpretasi tutupan lahan daerah penelitian dapat dikelompokkan ke dalam 6 kelas penutupan lahan terdiri dari hutan seluas 8,80 Ha, perkebunan 41,12 Ha, pertanian lahan kering 75,20 Ha, pemukiman 4,48 Ha, sawah 3,84 Ha dan semak belukar 25,76 Ha. Nilai akurasi hasil klasifikasi citra ASTER sebesar 81,82% untuk *overall classification accuracy* dan 72,45% untuk *overall kappa statistic*.

b. Jenis Tanah

Secara umum, Sub DAS Cisadane hulu didominasi oleh dua jenis tanah yaitu latosol coklat dan latosol coklat kemerahan. DTA Cipopokol termasuk ke dalam jenis tanah latosol coklat dengan sifat agak peka erosi, memiliki permeabilitas sedang sampai lambat, kandungan bahan organiknya berkisar 1,24 – 6,93%, tekstur liat dan struktur gumpal.

c. Kondisi Saluran (Channel)

Daerah Tangkapan Air Cipopokol memiliki 3 saluran atau aliran sungai, terdiri dari satu sungai utama yaitu Sungai Cipopokol dengan lebar mencapai 1,80 meter dan 2 anak sungai dengan lebar masing-masing 1,30 meter dan

0,80 meter. Tipe sungainya adalah sungai alami dan terdapat sejumlah batu, rumput atau gulma. Karakteristik Sungai Cipopokol memiliki bentuk paralel dimana dua jalur pengaliran bersatu di bagian hilir dan banjir kadang-kadang terjadi pada pertemuan sungai. Sungai bagian hulu suatu DAS memiliki ukuran yang tidak terlalu besar jika dibandingkan dengan sungai di bagian tengah dan hilir yang dapat mencapai puluhan meter. Kedalaman sungainya pun dapat dikatakan dangkal.

d. Kemiringan lereng dan Ketinggian tempat

Pengolahan data kontur/topografi menghasilkan nilai ketinggian tempat. Kelas ketinggian tempat di DTA Cipopokol dibagi ke dalam 4 kelas, terdiri dari ketinggian 500 – 600 mdpl dengan luas 1,60 Ha, ketinggian 600 – 700 mdpl seluas 56,32 Ha, ketinggian 700 – 800 mdpl seluas 79,36 Ha dan ketinggian di atas 800 mdpl seluas 21,92 Ha.

DTA Cipopokol memiliki kelas kelerangan (*slope*) yang bervariasi, mulai dari datar sampai dengan sangat curam. Didominasi oleh kelas lereng agak curam (15-25%) dengan luas 59,52 Ha, kelas lereng landai (8-15%) seluas 40,32 Ha, kelas lereng curam (25-40%) seluas 38,72 Ha, kelas lereng sangat curam (>40%) seluas 10,88 Ha dan datar (0-8%) seluas 9,76 Ha.

e. Arah Aliran (*flow direction*)

Aliran air mengalir dari tempat yang tinggi menuju ke tempat yang rendah, dan menuju ke arah sungai serta berlawanan dengan garis kontur. Sungai di kawasan Cipopokol mengalir dari arah timur menuju ke barat sehingga tidak ditemukan arah aliran yang menuju ke arah tenggara. Arah aliran terluas pada arah aliran utara atau 270° dengan luas 44,5 Ha selanjutnya arah barat atau 180° seluas 42,4 Ha (Tabel 1).

Tabel 1. Arah Aliran (*flow direction*)

Arah aliran	Keterangan	Jumlah elemen	Luas (Ha)
0°	Timur	1	0,16
45°	Tenggara	0	0,00
90°	Selatan	15	2,40
135°	Barat Daya	165	26,40
180°	Barat	265	42,40
225°	Barat Laut	157	25,12
270°	Utara	278	44,48
315°	Timur Laut	114	18,24
Luas / Jumlah		995	159,20

f. Curah Hujan

Data curah hujan diperoleh dari hasil pembacaan kertas pias ARR (*Automatic Rainfall Recorder*) tahun 2005 yang telah dikumpulkan. Dari data yang dikumpulkan, terpilih satu data yaitu kejadian hujan pada tanggal 8 Januari 2005 dengan intensitas hujan sebesar 46,70 mm. Berikut ini data curah hujan, tinggi muka air dan debit setiap 30 menit (Tabel 2).

Tabel 2. Data Curah Hujan Tanggal 8 Januari 2005

Waktu (jam)	Curah hujan (mm)	Tinggi muka air (m)	Debit (liter/detik)
15.30 – 16.00	0,00	0,18	88,80
16.00 – 16.30	8,00	0,23	188,00
16.30 – 17.00	9,00	0,32	399,00
17.00 – 17.30	9,00	0,34	467,00
17.30 – 18.00	11,00	0,46	1028,00
18.00 – 18.30	9,70	0,51	1345
Jumlah	46,70	-	3515,80

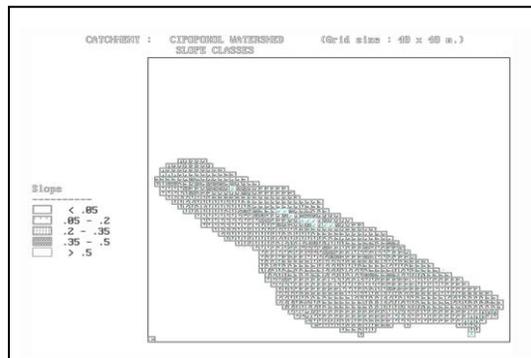
Keluaran Data ANSWERS

Keluaran data yang dihasilkan dari model terdiri dari tiga bagian yaitu ringkasan (*summary report*) (Gambar 3), data spasial (Gambar 4) dan grafik hydrograph (Gambar 5). Hasil output menjelaskan bahwa dari kejadian hujan pada tanggal 8 Januari 2005 dengan intensitas 46,70 mm mampu menghasilkan runoff sebesar 4041 mm, rata-rata kehilangan tanah 0,398 ton/ha. Kehilangan tanah maksimum adalah sebesar 29,88 ton/ha dan laju pengendapan maksimum yang terjadi adalah 4,624 ton/ha.

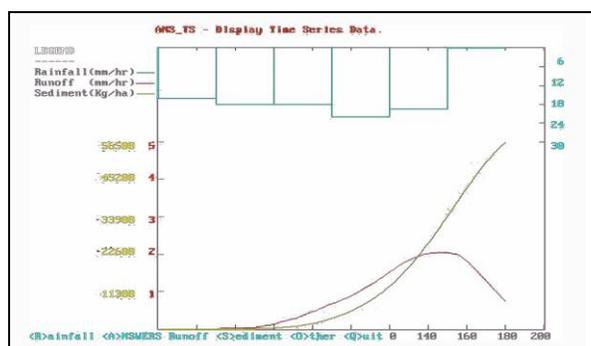
Grafik hydrograph (Gambar 5) menunjukkan bahwa puncak runoff dihasilkan oleh model sebesar 30471 mm/jam yang terjadi pada menit ke 152. Seiring dengan menurunnya intensitas hujan, maka aliran permukaan berangsur-angsur mulai turun.



Gambar 3. Summary Report ANSWERS



Gambar 4. Spasial data



Gambar 5. Grafik hydrograph

Prediksi Erosi dan Sedimentasi DTA Cipopokol

Prediksi nilai erosi dan sedimen bertujuan untuk memberikan gambaran secara menyeluruh terhadap erosi tanah yang terjadi, untuk DTA Cipopokol yang merupakan bagian hulu dari DAS Cisadane. Berdasarkan hasil perhitungan dengan menggunakan model hidrologi ANSWERS dapat diketahui bahwa jumlah elemen yang

mengalami erosi atau kehilangan tanah sebanyak 852 elemen atau sebesar 136,32 Ha dan sisanya sebanyak 103 elemen atau seluas 22,88 Ha mengalami sedimentasi atau pengendapan. Hasil prediksi nilai erosi dan sedimentasi pada setiap kelas penutupan lahan dapat dilihat dalam Tabel 3.

Tabel 3. Prediksi nilai erosi dan sedimentasi

Kelas tutupan lahan	Kelas Sedimentasi (Ton/Ha)			Kelas Erosi (Ton/Ha)				
	0-0,5	0,5 – 1	>1	0-0,5	0,5 – 1	5-1	10-May	>10
Hutan	0.32	0	0	1.12	3.68	3.68	0	0
Perkebunan	0	0	0	4.8	16.8	18.24	0.96	0.32
Pertanian Lahan								
Kering	0.16	0	0.16	0.64	24.8	47.36	2.08	0
Pemukiman	0	0	0	0.16	0.8	3.52	0	0
Sawah	2.56	0	0	1.28	0	0	0	0
Semak Belukar								
	16.8	2.24	0.8	6.08	0	0	0	0
Total	19.84	2.24	0.96	14.08	46.08	72.8	3.04	0.32

Erosi dan sedimentasi dapat dipengaruhi oleh berbagai macam faktor diantaranya iklim, vegetasi penutup tanah, topografi, dan jenis tanah. Daerah Tangkapan Air Cipopokol merupakan wilayah yang memiliki intensitas hujan bulanan yang cukup tinggi. Berdasarkan data yang diperoleh dari Balai Pengelolaan DAS Citarum-Ciliwung tahun 2003 sampai 2004, bulan basah terjadi selama 11 bulan (bulan September sampai dengan bulan Juli) dan bulan lembab terjadi selama satu bulan.

Selain iklim, vegetasi penutup tanah juga memberikan pengaruh terhadap terjadinya erosi dan sedimentasi. Pengaruh penutupan lahan terhadap terjadinya erosi dan sedimentasi di DTA Cipopokol. Sebagian besar elemen pada kelas penutupan lahan berupa pertanian lahan kering dan perkebunan, hampir seluruhnya mengalami kehilangan tanah yaitu masing-masing sebanyak 468 elemen atau sebesar 74,88 Ha dan 257 elemen atau sebesar 41,12 Ha. Kelas penutupan lahan berupa hutan menghasilkan erosi seluas 8,38 Ha, kelas penutupan lahan berupa sawah menghasilkan erosi seluas 1,28 Ha dan kelas penutupan lahan berupa semak/belukar menghasilkan erosi seluas 6,08 Ha.

Kisaran nilai erosi antara 1-5 Ton/Ha merupakan kisaran nilai erosi paling luas di wilayah DTA Cipopokol yaitu sebesar 72,80 Ha, dengan kelas penutupan lahan berupa pertanian lahan kering merupakan penyumbang erosi terbesar yaitu 47,36 Ha. Diikuti dengan kisaran kelas erosi 0,5 – 1 Ton/Ha seluas 46,08 Ha.

Kisaran nilai erosi terbesar yaitu lebih dari 10 Ton/Ha terjadi pada kelas penutupan lahan berupa perkebunan seluas 0,32 Ha yang berarti bahwa hanya dua elemen berada pada nilai kisaran kelas erosi tersebut. Kisaran kelas sedimentasi atau pengendapan yang paling luas terjadi pada 0 sampai dengan 0,5 Ton/Ha. Berdasarkan kelas penutupan lahannya, sedimen yang paling banyak terjadi adalah kelas penutupan semak/belukar seluas 19,68 Ha.

Kelas penutupan lahan berupa hutan dan semak belukar menghasilkan nilai erosi yang lebih kecil dibandingkan perkebunan dan pertanian lahan kering. Jenis vegetasi hutan yang ditemukan di DTA Cipopokol adalah hutan pinus dengan struktur penutupan tajuk jarang, namun kerapatan tumbuhan bawah yang ada di sekitar hutan pinus mampu menciptakan suatu stratifikasi tajuk yang berlapis sehingga dapat menurunkan kecepatan terminal air hujan serta memperkecil diameter tetesan air. Tumbuhan bawah merupakan stratum vegetasi terakhir yang menentukan besar kecilnya nilai erosi percikan. Hal yang sama

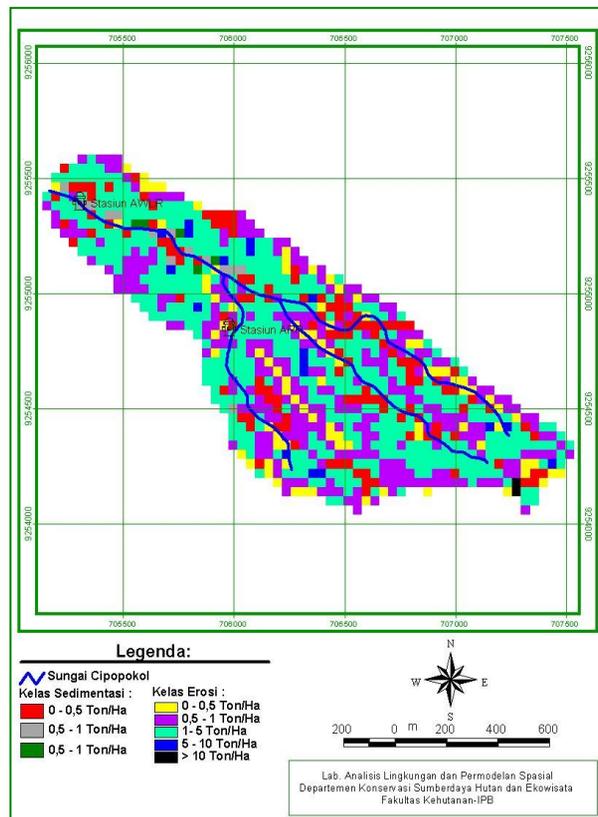
dikemukakan oleh Suwardjo *et al.* dalam Purnama (2005) yang menyatakan bahwa alang-alang yang bercampur semak akan lebih efektif dalam mencegah tanah longsor daripada alang-alang murni. Campuran antara *Albizia* sp dengan semak belukar akan sama efektifnya dengan alang-alang murni namun apabila semaknya dibersihkan maka erosi akan meningkat menjadi 114 kali lipat. Sedangkan alang-alang yang dicangkul bersih setiap tahun akan meningkatkan erosi sebesar 84 kali lipat dibandingkan dengan erosi pada alang-alang murni.

Sedimen atau pengendapan yang terjadi sebagai akibat dari proses erosi di Daerah Tangkapan Air Cipopokol, sebagian besar terjadi pada kelas penutupan lahan berupa semak belukar. Keberadaan semak/belukar yang sebagian besar merupakan tumbuhan bawah di sepanjang sungai Cipopokol mampu memberikan perlindungan terhadap erosi dan aliran permukaan serta mampu menahan pengangkutan tanah yang tererosi untuk masuk ke dalam sungai. Sedimen yang mengendap akibat pengangkutan tanah oleh air memiliki kecenderungan berada tersebar di sepanjang sungai Cipopokol.

Selain disebabkan oleh jenis penutupan lahan, terjadinya erosi juga dipengaruhi oleh faktor topografi yakni kemiringan lereng dan panjang lereng. Kedua faktor tersebut akan sangat menentukan besarnya kecepatan air larian dan volume air larian. Lahan pertanian dan perkebunan di DTA Cipopokol sebagian besar berada pada lereng dengan kelas kemiringan curam (25 – 40%) dan agak curam (15 – 25%). Nilai sedimen banyak terjadi pada kelas kemiringan agak curam yaitu 15 – 25% dengan luas mencapai 8,16 Ha diikuti dengan kelas kemiringan landai seluas 4,80 Ha. Sedangkan nilai erosi lebih banyak terjadi pada kelas kemiringan 15 – 25% dengan luas mencapai 52,60 Ha.

Hasil overlay antara kemiringan lereng dengan kelas penutupan lahan diperoleh bahwa sedimentasi terjadi pada kelas penutupan lahan berupa semak belukar yang berada pada kelas kemiringan antara 15 – 25% dengan kriteria agak curam seluas 7,84 Ha. Sedangkan nilai erosi terjadi pada kelas penutupan lahan pertanian lahan kering seluas 29,12 Ha dengan kelas kemiringan 15 – 25% diikuti dengan kelas kemiringan 18,56 Ha pada kelas kemiringan 8 – 15%. Hal ini mengindikasikan bahwa sebagian besar dari penggarap lahan belum menerapkan teknik konservasi tanah dan air secara tepat.

Penyebaran erosi dan sedimentasi seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Penyebaran Erosi dan Sedimentasi.

Simulasi Penggunaan Lahan

Simulasi penggunaan lahan dilakukan dengan melakukan penyusunan luas penggunaan lahan melalui beberapa skenario. Skenario yang disusun berdasarkan pada RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Kabupaten Bogor dan berdasarkan UU No 32 tahun 1990 yang mengatur tentang kawasan lindung.

Hasil overlay dengan peta Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bogor, Daerah Tangkapan Air

Cipipokol merupakan kawasan yang diperuntukkan bagi budidaya tanaman tahunan atau perkebunan.

Menurut UU No.32 Tahun 1990 dijelaskan mengenai kriteria-kriteria tentang kawasan lindung. Beberapa point yang digunakan sebagai dasar simulasi penggunaan lahan diantaranya kawasan pada kelereng > 40% dan buffer 50 meter untuk sungai dengan lebar kurang dari 30 meter. Simulasi penggunaan lahan berikut nilai sedimen, erosi dan runoff yang dihasilkan dapat dilihat dalam Tabel 4.

Tabel 4. Simulasi penggunaan lahan

Skenario	Tutupan Lahan	Luas	Runoff (mm)	Rata-rata kehilangan tanah (kg/Ha)	Erosi maksimum (kg/Ha)	Pengendapan maksimum (kg/ha)
Kondisi Aktual	Hutan	8,80				
	Perkebunan	41,12				
	Pertanian lahan kering	75,20	4014	398	29088	4624
	Pemukiman	4,48				
	Sawah	3,84				
Skenario 1	Semak belukar	25,71				
	Perkebunan	154.72	4194	432	30503	1941
	Pemukiman	4.48				

Tabel 4. (Lanjutan)

Skenario 2	Pertanian Lahan Kering	154.72	3864	546	27609	5298
	Pemukiman	4.48				
Skenario 3	Hutan (lereng >40%)	37.92	3972	383	29088	2017
	Perkebunan	30.88				
	Pertanian Lahan Kering	63.84				
	Pemukiman	3.68				
	Sawah	3.84				
	Semak Belukar	19.04				

Hasil simulasi dari skenario satu menunjukkan bahwa perubahan penutupan lahan menjadi kawasan perkebunan akan meningkatkan nilai runoff, nilai rata-rata kehilangan tanah dan erosi maksimum. Penurunan yang cukup signifikan terjadi pada pengendapan maksimum sebesar 1,941 Ton/Ha dibandingkan pada kondisi aktual sebesar 4,624 Ton/Ha. Hal yang sama terjadi pada skenario ketiga yaitu perubahan penutupan lahan menjadi kawasan budidaya dalam bentuk pertanian lahan kering. Peningkatan terjadi pada parameter rata-rata kehilangan tanah dan laju pengendapan maksimum, sedangkan nilai runoff, laju erosi maksimum mengalami penurunan dibandingkan pada kondisi aktual dan hasil skenario satu.

Perbandingan nilai runoff antara penutupan lahan berupa perkebunan dan pertanian lahan kering menunjukkan bahwa perkebunan menghasilkan nilai runoff yang lebih besar dibandingkan pertanian lahan kering. Hal ini lebih disebabkan oleh adanya perbedaan nilai parameter-parameter penggunaan lahan. Besar kecilnya nilai runoff dipengaruhi oleh faktor pengelolaan lahan. Penutupan lahan pertanian lahan kering di daerah tangkapan air lebih banyak menerapkan teknik-teknik konservasi tanah diantaranya sistem teras dan guludan, berbeda dengan kelas perkebunan yang kurang menerapkan teknik konservasi (Arsyad, 1989).

Sesuai dengan Undang-Undang No. 32 tahun 1990, penetapan lokasi kawasan perlindungan setempat dilakukan dengan tujuan menjaga sempadan sungai dari kegiatan manusia yang dapat mengganggu dan merusak kualitas air sungai, kondisi fisik pinggir dan dasar sungai serta mengamankan aliran sungai. Simulasi ketiga dilakukan dengan melakukan revegetasi pada kawasan dengan kelerengan > 40% dan sepanjang kanan-kiri sungai. Hasil yang diperoleh menunjukkan penurunan terjadi pada nilai parameter runoff, rata-rata kehilangan tanah, dan laju pengendapan maksimum, namun laju erosi maksimum tidak mengalami perubahan dari kondisi aktual.

Dari hasil simulasi di atas, maka dapat disimpulkan bahwa tindakan revegetasi untuk Daerah Tangkapan Air Cipopokol sangat diperlukan, terutama untuk kawasan yang telah ditetapkan menjadi kawasan perlindungan setempat (lahan pada kelerengan >40% dan kawasan sempadan sungai) yang pada kondisi aktual saat ini telah berubah fungsi menjadi lahan pertanian. Perlindungan terhadap

kawasan resapan air dilakukan dengan tujuan untuk memberikan ruang yang cukup bagi peresapan air hujan pada suatu daerah tertentu guna keperluan penyediaan kebutuhan air tanah serta penanggulangan banjir, baik kawasan bawahnya maupun kawasan yang bersangkutan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa kawasan budidaya berupa pertanian lahan kering dan perkebunan menghasilkan nilai rata-rata kehilangan tanah yang cukup tinggi dibandingkan pada kondisi aktual. Hasil indeks sensitifitas terhadap parameter tanah maupun penggunaan/ penutupan lahan diperoleh bahwa parameter FC atau laju infiltrasi merupakan parameter yang memiliki tingkat sensitifitas tertinggi sehingga dalam hal ini pengolahan atau pemadatan tanah yang dilakukan akan meningkatkan rata-rata kehilangan tanah, sehingga perlu adanya upaya teknik konservasi yang dapat meningkatkan laju infiltrasi. Teknik konservasi yang sangat efektif diterapkan adalah tanaman penutup tanah atau *cover crop* khususnya pada kawasan perkebunan dan pemberian mulsa atau bahan organik pada kawasan pertanian lahan kering. Penggunaan tanaman penutup tanah/*cover crop* akan sangat berperan dalam melindungi tanah dari ancaman kerusakan oleh erosi. Hal ini akan menyebabkan berkurangnya dispersi air hujan dan mengurangi jumlah serta kecepatan aliran permukaan sehingga mampu mengurangi erosi dan memperbesar infiltrasi ke dalam tanah. Bahan organik dan mulsa akan berperan dalam peningkatan ketahanan struktur tanah, memperbesar kemampuan tanah untuk menyerap dan menahan air hujan serta mampu menambah unsur hara.

Daerah Tangkapan Air Cipopokol yang merupakan bagian dari Sub DAS Cisadane Hulu, selain berfungsi sebagai kawasan resapan air, juga memiliki potensi sebagai kawasan budidaya untuk pertanian dan merupakan salah satu penyangga sektor perekonomian Kabupaten Bogor. Berkaitan dengan hal tersebut, maka perlu diadakannya koordinasi dan kerjasama antar pihak-pihak terkait dalam hal kegiatan penataan ruang yang hendaknya disesuaikan dengan kondisi atau karakteristik wilayah daerah yang bersangkutan baik secara fisik maupun kondisi sosial masyarakatnya.

KESIMPULAN

1. Aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Penginderaan Jauh dapat digunakan dan diaplikasikan ke dalam model hidrologi ANSWERS sebagai sebuah *tools* untuk memudahkan dalam memperoleh masukan data ke dalam model.
2. Hasil prediksi nilai erosi dan sedimentasi DTA Cipopokol dengan menggunakan model hidrologi ANSWERS dari kejadian hujan tanggal 8 Januari 2005 dengan intensitas 46,70 mm adalah sebesar 0,398 ton/Ha untuk rata-rata kehilangan tanah, pengendapan atau sedimen yang terbentuk sebesar 4,624 ton/Ha dan menghasilkan runoff sebesar 2428 mm/jam.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 1989. Konservasi Tanah dan Air. Bogor: IPB Press.
- [BAPEDA Propinsi Jawa Barat] Badan Perencanaan Daerah Propinsi Jawa Barat. 2004. Kebijakan Pengelolaan Sumberdaya Air di SWS Ciliwung-Cisadane untuk Mengatasi Krisis Air Jakarta. Di dalam: *Seminar Krisis Air Jakarta: Tinjauan Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu Ciliwung Cisadane*; Jakarta, 29 Juni 2004. Jakarta: BAPEDA Propinsi Jawa Barat.
- Beasley, D.B dan L.F. Huggins. 1991. ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Respon Simulation*) *User's Manual: 2th Edition*. Chicago: US EPA Region V.
- [BPDAS Citarum-Ciliwung] Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Citarum-Ciliwung. 2003. Rencana Teknik Lapangan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah DAS Cisadane. Bogor: BPDAS Citarum-Ciliwung.
- [ERSDAC] Earth Remote Sensing Data and Analysis Center. 2001. ASTER User's Guide Part I General Ver.3.1. Japan. ERSDAC.
- Harto Br, S. 1993. Analisis Hidrologi. Jakarta. PT Gramedia Pustaka Utama.
- Lillesand, T.M & F.W. Kiefer. 1990. Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra. R. Dubahri, penerjemah; Yogyakarta; Gadjah Mada University Press.
- Lo, C.P. 1995. Penginderaan Jauh Terapan. B. Purbowaseso, penerjemah. Jakarta. Universitas Indonesia.
- Purnama, A. 2005. Analisis Perubahan Penggunaan Lahan Menggunakan Citra Satelit dan Perencanaan Penggunaan Lahan yang Berkelanjutan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum Hulu [tesis]. Bogor. Program Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Setiyanto. 2005. Analisis Karakteristik Biofisik dan Hidrograf Aliran di Daerah Tangkapan Air Cipopokol Sub DAS Cisadane Hulu [skripsi]. Bogor. Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan, Institut Pertanian Bogor.