

KAJIAN PENDUGAAN EROSI SUB DAERAH ALIRAN SUNGAI TUGU UTARA (CILIWUNG HULU)

Erosion Prediction Study of Tugu Utara (Ciliwung Hulu) Sub Watershed

Nono Sutrisno Sa'ad

Staf Peneliti Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat
Jl. Tentara Pelajar No. 1A, Bogor 16111

ABSTRACT

The research of erosion prediction method at watershed scale was carried out at Tugu Utara (Upper Ciliwung) sub watershed in Puncak, West Java, Indonesia from August 2000 to February 2001. The objectives of this study were: (1) to predict erosion at watershed scale through approximation of sediment yield measurement at outlet of sub watershed, and (2) multiple regression equation and Sediment Delivery Ratio (SDR) prediction. The experiment at Tugu Utara (upper Ciliwung) sub watershed measured the discharge, surface erosion by soilpan method, sediment yield by sampling at the outlet and SDR. The result showed that the multiple regression equation and SDR Stiff Diagram can be used to predict the erosion at Tugu Utara (upper Ciliwung) sub watershed.

Key words: *Erosion prediction, multiple regression equation, sediment delivery ratio.*

PENDAHULUAN

Pengelolaan sumberdaya alam daerah aliran sungai (DAS) memerlukan analisis spesifik berdasarkan kondisi biofisik yang ada. Untuk keberhasilan pengelolaan, dapat dilakukan pendekatan teoritis dan praktis.

Erosi dan sedimentasi yang terjadi merupakan masalah utama pada daerah pertanian lahan kering yang berlereng. Erosi yang besar pada lahan pertanian di suatu DAS akan terbawa oleh aliran permukaan ke sungai dan dapat menjadi masalah lain yang sangat merugikan. Kerusakan tanah di tempat terjadinya erosi berupa kerusakan sifat-sifat fisik, kimia dan biologi tanah yang mengakibatkan turunnya produktivitas lahan (Arsyad, 2000; Hashim *et al.*, 1998; Suwardjo, 1981). Kerusakan-kerusakan ditempat pengendapan adalah tertimbunnya lahan pertanian, pelumpuran dan pendangkalan waduk yang menyebabkan umur guna waduk berkurang dan terjadi pendangkalan sungai. Akibat lanjutnya adalah banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau (Arsyad, 2000; Lal, 1998).

Metode pengukuran erosi pada lahan pertanian yang digunakan didasarkan pada tujuan yang ingin dicapai. Petak kecil yang banyak dilakukan merupakan salah satu metode pengukuran erosi dengan petak standar dari Wischmeier dan Smith (1978) yang bertujuan untuk membandingkan erosi yang terjadi pada berbagai penggunaan lahan. Erosi dan aliran permukaan yang terukur hanya menggambarkan skala petak. Menurut van Noordwijk *et al.* (1998), hasil pengukuran erosi dan aliran permukaan pada skala petak belum dapat menggambarkan keadaan yang sebenarnya terjadi pada skala DAS. Demikian juga pendapat Dickinson dan Collins (1998), bahwa hasil pengukuran erosi dan aliran permukaan pada skala petak tidak dapat di *scale up* untuk mengevaluasi erosi seluruh daerah tangkapan

(*catchment*) yang luas karena terdapat faktor-faktor yang tidak dapat ditentukan pada petak kecil seperti erosi parit, erosi tebing sungai dan pengendapan sementara pada lahan. Sehubungan dengan permasalahan tersebut, harus diupayakan cara pengukuran erosi yang mendekati keadaan sebenarnya serta metode pendugaannya bagi suatu daerah tangkapan atau daerah aliran sungai yang lebih luas agar dapat mencerminkan keadaan erosi dan aliran permukaan yang sebenarnya. Alternatif pengukuran erosi pada lahan pertanian yang lebih mendekati keadaan sebenarnya dikemukakan oleh Brown *et al.* (1996), Morgan (1990) dan Hudson (1993) menggunakan *gerlach troughs* atau *soilpan* dapat dilakukan pada berbagai kondisi panjang dan kemiringan lereng, serta sistem pertanian yang berbeda.

Tanah yang tererosi pada lahan pertanian tidak seluruhnya masuk ke sungai. Hal ini disebabkan oleh keadaan kondisi fisik lahan yang dapat menghambat dan mengurangi erosi yang hanyut terbawa aliran permukaan (Carson, 1989; Verbist, 2001). Menurut Arsyad (2000); Morris dan Fan (1998) dan Shen dan Julien (1992) erosi yang terbawa oleh aliran sungai pada muara DAS lebih kecil dari erosi yang terjadi pada lahan pertanian, dan sedimen yang terukur di muara DAS tergantung kepada jumlah dan kecepatan aliran permukaan, penggunaan lahan, kemiringan lereng, panjang lereng dan luas DAS. Untuk menentukan metode pendugaan erosi sub DAS atau sedimen sungai, dapat dilakukan dengan pendekatan pengamatan erosi lahan di areal sub DAS dan pengukuran sedimen di *outlet* sub DAS (Dingzhong dan Ying, 1996; Sukresno, 1996; Carson, 1989). Untuk menentukan besarnya sedimen DAS atau sub DAS, dapat dilakukan dengan mengukur sedimen yang terbawa di sungai (Carson, 1989). Selain pengukuran langsung, penentuan sedimen DAS dapat dilakukan dengan pendugaan. Pendugaan sedimen sungai dapat dilakukan dengan memanfaatkan

persamaan regresi dengan variabel yang terdiri dari sumber sedimen (erosi) dan kondisi fisik DAS yang mempengaruhi sedimen sungai. Pendugaan lainnya dapat dilakukan dengan prediksi *sediment delivery ratio* (SDR) atau nisbah pelepasan sedimen (U.S. Forest Service, 1980 dalam Morris dan Fan, 1998) bila data erosi hasil penelitian petak kecil atau erosi pada lahan tersedia.

Sehubungan dengan kerugian-kerugian yang terjadi karena erosi dan alternatif-alternatif pendugaan erosi skala sub DAS, diperlukan penelitian erosi pada skala DAS, serta pendugaannya dalam skala DAS agar perencanaan pengelolaan sumberdaya lahan suatu DAS dapat dilakukan dengan tepat dan sederhana.

Penelitian ini bertujuan untuk (1) mendapatkan variabel-variabel utama kondisi fisik sub DAS yang menyebabkan terjadinya sedimen sungai dan pendugaannya dan (2) mengembangkan model penduga sedimen sungai atau erosi skala sub DAS berdasarkan erosi pada lahan.

BAHAN DAN METODE

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian erosi dan hasil sedimen skala sub DAS dilaksanakan di sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) yang secara geografis terletak pada $6^{\circ} 41' 55''$ LS – $6^{\circ} 41' 30''$ LS dan $106^{\circ} 58' 10''$ BT – $107^{\circ} 0' 0''$ BT. Secara administrasi pemerintahan termasuk ke dalam Desa Tugu Utara, Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor, Jawa Barat.

Penelitian erosi dan hasil sedimen di sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) dilakukan mulai Agustus 2000 sampai Februari 2001.

Bahan dan Peralatan

Bahan-bahan yang digunakan terdiri dari:

1. Peta Topografi lembar Cisarua, skala 1 : 25 000 (BAKOSURTANAL, 1995) untuk mengetahui topografi dan situasi sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu).
2. Landsat TM, tahun 2000 untuk membatasi penggunaan lahan yang ada di sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu).
3. Potret udara tahun 1993 skala 1 : 20 000, untuk membuat peta kontur skala 1 : 10 000.

Peralatan yang digunakan meliputi:

1. Komputer dan perlengkapan digitasi
2. *Analog plotter* tipe *planimate* untuk menentukan titik-titik yang mempunyai ketinggian sama (kontur) dari potret udara.
3. EM Current meter ES. 7603, tipe kampak, untuk mengukur arus sungai.

Metode dan Analisis Data Hasil Penelitian

Kondisi fisik Sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu)

Pengamatan sifat-sifat tanah dan penyebarannya dilakukan dengan tujuan untuk menentukan macam tanah,

erodibilitas tanah dan penyebarannya. Pengamatan sifat-sifat tanah dan penyebarannya dilakukan dengan cara mengikuti jalur yang memotong satuan bentuk lahan (*landform*) dan batasnya sebanyak-banyaknya, misalnya dengan mengikuti toposekuen. Pengamatan tanah dilakukan melalui pembuatan profil mini (*minipit*), pemboran dan pembuatan profil tanah (Soekardi *et al.*, 1996).

Pengamatan erosi untuk pendugaan erosi skala sub DAS

Penelitian erosi permukaan dan sedimen di muara sub DAS atau erosi skala sub DAS dilakukan secara berpasangan. Metodenya, pada waktu hujan dilakukan pengambilan contoh sedimen di muara sub DAS, dan pagi harinya dilakukan pengamatan erosi permukaan dengan *soilpan* (panci tanah) dari lahan pertanian (yang ditanami tanaman sayuran dan pangan), perkebunan, hutan dan pemukiman. Selanjutnya, menentukan persamaan prediksi sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) (erosi skala sub DAS) dengan persamaan regresi berganda dan prediksi nisbah pelepasan sedimen atau *sediment delivery ratio* (SDR) (U.S. Forest Service, 1980 dalam Morris dan Fan, 1998).

Pengukuran debit dan sedimen di muara DAS

Pengukuran kecepatan arus sungai dilakukan dengan pengukur arus (EM Current Meter ES.7603), tipe kampak. Pengukuran arus secara horizontal atau penampang sungai dilakukan dengan *mid section method* (Seyhan, 1977).

Menentukan lengkung kalibrasi (*rating curve*) debit sungai dimana debit hasil pengukuran sebagai *dependent variable* dan tinggi muka air hasil pengukuran sebagai *independent variable*. Pemilihan persamaan regresi dilakukan berdasarkan nilai R^2 yang tertinggi atau cukup tinggi, hasil uji F yang nyata dan kewajaran dari kejadian yang terlihat di lapangan (Gaspersz, 1996).

Pengamatan hasil sedimen dilakukan dengan cara melakukan pengambilan contoh sedimen dari sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) dan beberapa anak sungainya pada waktu hujan. Pada awal terjadinya hujan, dilakukan pengambilan contoh sedimen. Selanjutnya setiap kenaikan muka air sungai beberapa cm dilakukan pengambilan contoh sedimen, sampai mencapai puncak banjir. Pada waktu muka air sungai mulai menurun dilakukan lagi pengambilan contoh sedimen. Dilanjutkan pengambilan contoh sedimen setiap terjadi penurunan muka air beberapa cm sampai mencapai ketinggian muka air seperti semula.

Pengamatan erosi pada setiap penggunaan lahan

Soilpan ditempatkan pada setiap penggunaan lahan yang dianggap mewakili. Penggunaan lahan utama di sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) sebanyak 14 macam. *Soilpan* dengan ukuran lebar 50 cm dan panjang 20 cm dipasang pada permukaan tanah tanpa pembatas petak (Hudson, 1993; Morgan, 1990).

Pendugaan erosi Sub DAS dengan persamaan regresi

Persamaan regresi yang digunakan untuk memprediksi sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) adalah:

$$Y = b_0 \cdot E_p^{b_1} \cdot S^{b_2} \cdot L^{b_3} \cdot CP^{b_4} \cdot K^{b_5} \cdot R^{b_6} \cdot Ro^{b_7} \cdot n^{b_8} \cdot Q^{b_9} \cdot Dd^{b_{10}} \cdot A^{b_{11}}$$

Keterangan:

- Y = sedimen sungai (ton ha⁻¹mm HD⁻¹)
- Ep = erosi permukaan dari *soilpan* (ton ha⁻¹mm HD⁻¹)
- S = kemiringan lereng sub DAS (%)
- L = panjang lereng sub DAS (m)
- CP = faktor tanaman dan tindakan konservasi tanah
- K = faktor erodibilitas tanah
- R = EI₃₀ = erosivitas hujan (Ek = ton m ha⁻¹ cm⁻¹)
- Ro = volume aliran permukaan satu periode hujan (m³)
- n = kekasaran permukaan tanah
- Q = debit sungai (m³ detik⁻¹)
- Dd = kerapatan drainase (m m⁻²)
- A = luas sub DAS (ha)

Untuk memudahkan dalam penyelesaiannya, persamaan tersebut di-log-kan sebagai berikut:

$$\log Y = \log b_0 + b_1 \log E_p + b_2 \log S + b_3 \log L + b_4 \log CP + b_5 \log K + b_6 \log R + b_7 \log Ro + b_8 \log n + b_9 \log Q + b_{10} \log Dd + b_{11} \log A$$

Tahap selanjutnya adalah melakukan seleksi dengan *Best Subsets Regression* yaitu memilih variabel-variabel yang sangat mempengaruhi sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu).

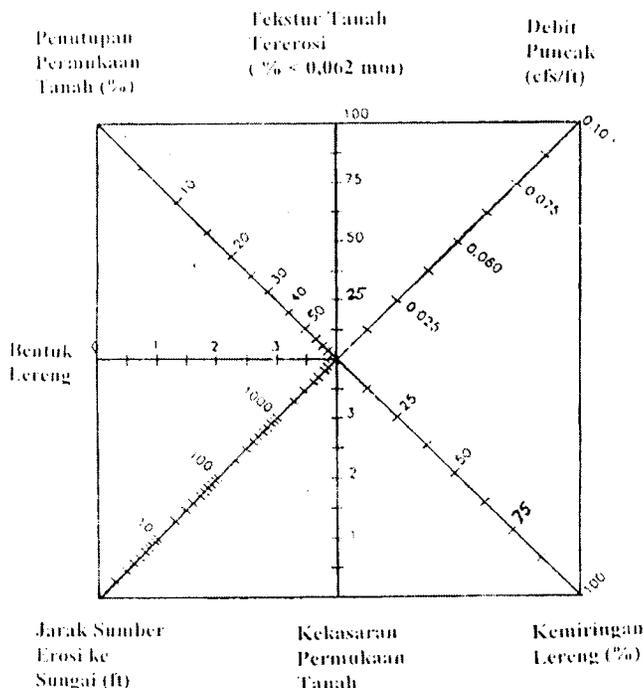
Pendugaan erosi sub DAS dengan prediksi SDR

Penelitian dilaksanakan dengan memodifikasi prediksi SDR *Stiff Diagram* dari U.S. Forest Service (1980 dalam Morris dan Fan, 1998):

$$Y_{(t)} = SDR_{(prediksi)} \cdot A_{(percobaan)}$$

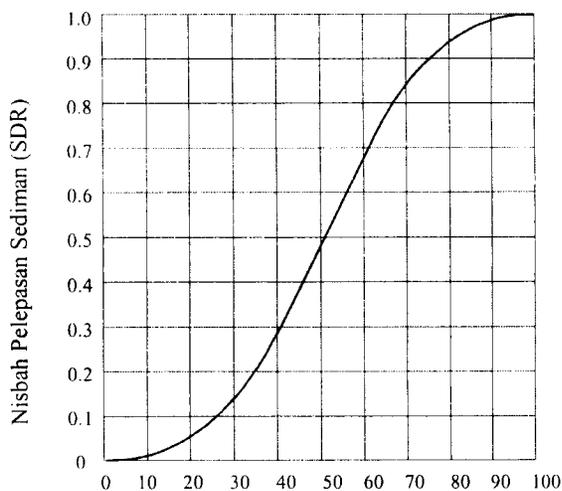
Keterangan:

- Y_(t) = hasil sedimen di muara
- SDR_(prediksi) = SDR hasil prediksi dengan *Stiff Diagram*
- A_(percobaan) = erosi pada lahan pertanian hasil pengamatan *soilpan*



Gambar 1. Absis dan Ordinat *Stiff Diagram* untuk Prediksi SDR

Data yang diperlukan untuk menentukan SDR (*Stiff Diagram*) dari sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) adalah: aliran permukaan (cfs/ft), kemiringan lereng (%), kekasaran permukaan, *delivery distance* (feet), bentuk lereng, persentase penutupan permukaan tanah (%), tekstur yang tererosi (% < 0.062 mm).



Persentase area dari *Stiff Diagram*

Gambar 2. Absis dan Ordinat Persen *Stiff Diagram* untuk Prediksi SDR

Data yang telah tersedia diplotkan pada absis *Stiff Diagram* (Gambar 1), kemudian satu sama lain dihibungkan, maka akan terbentuk suatu poligon. Selanjutnya dihitung persentase luas segi empat yang dibuat di dalam poligon terhadap total luas poligon. Setelah diperoleh persentasenya, kemudian diplotkan pada Persentase Area dari *Stiff Diagram* (Gambar 2), lalu ditarik garis lurus ke arah ordinat (Y), maka akan didapat nilai SDR.

Pengujian kecocokan model regresi dan prediksi SDR

Untuk menentukan kecocokan model prediksi sedimen di sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu), dilakukan pengujian secara statistik antara sedimen hasil prediksi dengan sedimen yang terukur di muara sub DAS. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan prediksi sedimen sungai hasil persamaan regresi dan prediksi SDR dengan hasil pengukuran sedimen sungai di muara berdasarkan uji t (Dayan, 1984). Bila hasil pengujian menunjukkan terjadi perbedaan yang nyata, maka model prediksi tidak baik untuk prediksi sedimen di muara sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu). Bila tidak berbeda nyata, maka model prediksi tersebut cocok untuk digunakan memprediksi sedimen dan dapat dilanjutkan dengan simulasi model.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Debit Sungai

Debit sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) dan anak-anak sungainya menunjukkan perbedaan satu sama lain. Berdasarkan hasil pengamatan pada saat musim kemarau

sampai puncak musim hujan, terjadi perbedaan-perbedaan kecepatan arus dan tinggi muka air (TMA) yang menyebabkan debit sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 berbeda. Debit sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1 tertinggi terjadi pada saat puncak musim hujan sebesar $1.379 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ dengan tinggi muka air sungai 0.66 m, debit terendah terjadi pada saat musim kemarau sebesar $0.040 \text{ m}^3 \text{ detik}^{-1}$ dengan tinggi muka air sungai 0.140 m. Penelusuran debit sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 ditentukan berdasarkan variabel debit dan tinggi muka air (Tabel 1)

Erosi dari Panci Erosi

Erosi lahan dari panci erosi di sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 menunjukkan perbedaan. Hasil pengamatan erosi lahan disajikan pada Tabel 2.

Berdasarkan sepuluh kali pengamatan, erosi lahan tertinggi terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 4 sebesar $1285.57 \text{ kg ha}^{-1}$. Tingginya erosi lahan yang

terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 4 disebabkan adanya penggunaan lahan yang sebagian besar terdiri dari tanaman pangan, sayuran dan diberakan seluas 11.875 ha (88 %) dengan penerapan tindakan konservasi tanah yang jelek, areal hutan yang menempati bagian puncak gunung hanya seluas 1.375 ha (10%) dan kebun campuran dengan teras yang baik hanya seluas 0.25 ha (2%). Selain itu, koefisien aliran permukaan yang terjadi yaitu sebesar 0.20 diduga cukup untuk mengangkut erosi lahan yang terjadi. Perbedaan-perbedaan kondisi fisik sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) lainnya dapat menyebabkan perbedaan erosi lahan atau erosi yang terukur pada panci erosi. Perbedaan-perbedaan kemiringan lereng, panjang lereng, penggunaan lahan, tindakan konservasi tanah yang diterapkan dan erodibilitas tanah, menyebabkan perbedaan erosi. Seperti yang dikemukakan oleh Thompson (1957, dalam Arsyad, 1989) bahwa semakin panjang lereng akan menyebabkan semakin bertambah tanah yang tererosi. Ditambahkan oleh Arsyad (2000) dan Bonsu (1985) bahwa sifat-sifat fisik dan kimia tanah dari masing-masing sub DAS mempengaruhi jumlah tanah yang tererosi.

Tabel 1. Lengkung Debit (*rating curve*) Sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 (10 Hari Hujan, Bulan Januari 2001)

Lokasi Sub DAS	Persamaan Regresi	Keterangan
Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1	$Y = 0.3477 X^{0.5015}$	$R^2 = 0.95$
Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 2	$Y = 0.4919 X^{0.5356}$	$R^2 = 0.95$
Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 3	$Y = 1.6897 X + 0.0825$	$R^2 = 0.92$
Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 4	$Y = 1.2106 X^{1.65}$	CIRAD (2000)
Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 5	$Y = 0.2651 X^{0.2676}$	$R^2 = 0.98$
Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 6	$Y = 0.4273 X^{0.605}$	$R^2 = 0.98$
Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 7	$Y = 0.5468 X^{0.3759}$	$R^2 = 0.92$

Tabel 2. Hasil Pengamatan Erosi Lahan, Sedimen Sungai dan Nisbah Pelepasan Sedimen Sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7.

Sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu)	Luas (ha)	Erosi kg ha^{-1} per 10 hujan	Sedimen kg ha^{-1} per 10 hujan	SDR
Sub DAS Tugu Utara 1	42.87	71.14	24.59	0.35
Sub DAS Tugu Utara 2	6.12	786.75	502.67	0.64
Sub DAS Tugu Utara 3	5.25	618.17	186.39	0.30
Sub DAS Tugu Utara 4	13.50	1285.57	671.88	0.52
Sub DAS Tugu Utara 5	91.00	262.50	60.28	0.23
Sub DAS Tugu Utara 6	104.75	244.48	47.48	0.19
Sub DAS Tugu Utara 7	158.89	444.78	212.92	0.48

Sedimen Sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu)

Sedimen di muara sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 sangat bervariasi. Hasil pengamatan sedimen sungai disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan sepuluh kejadian hujan, sedimen sungai tertinggi terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 4 sebesar 671.88 kg ha⁻¹. Perbedaan kondisi fisik dan erosi lahan sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 menyebabkan perbedaan sedimen sungai yang terukur di muara sub DAS. Perbedaan-perbedaan kemiringan lereng, panjang lereng, sistem pertanian seperti perkebunan teh atau tanaman sayuran atau hutan, tindakan konservasi tanah yang diterapkan dan sifat-sifat tanah atau erodibilitas tanah, jumlah dan kecepatan aliran permukaan, kekasaran permukaan atau *n Manning's*, seluruhnya mempengaruhi sedimen sungai. Beberapa hasil penelitian yang menunjang dikemukakan oleh Kuhnle *et al.* (1996) dan Frangipane dan Paris (1994), bahwa perbedaan penggunaan lahan menyebabkan perbedaan hasil sedimen di muara DAS. Ditambahkan oleh Takken *et al.* (1998), bila lereng semakin miring akan menyebabkan debit semakin besar. Menurut Verbist (2001), Morris dan Fan (1998) dan Shen dan Julien (1992), jumlah sedimen yang masuk ke sungai akan berkurang bila dipinggir sungai terdapat banyak hambatan-hambatan seperti adanya pemukiman, adanya penterasan dengan teras bangku atau cekungan atau kolam-kolam seperti di sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu).

Nisbah Pelepasan Sedimen atau *Sediment Delivery Ratio* (SDR)

Nisbah pelepasan sedimen atau SDR dari sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 menunjukkan perbedaan nilai. Hasil pengamatan nisbah pelepasan sedimen disajikan pada Tabel 2. Berdasarkan sepuluh kali kejadian erosi dan sedimen, SDR tertinggi terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 6 yaitu sebesar 0.64.

Perbedaan-perbedaan SDR yang terjadi disebabkan adanya perbedaan kondisi fisik lahan seperti penggunaan lahan, kemiringan lereng, panjang lereng, luas sub DAS, sifat-sifat fisik dan kimia tanah serta banyaknya hambatan di pinggir sungai seperti pemukiman, penterasan dengan teras bangku, cekungan-cekungan atau kolam-kolam (Morris dan Fan 1998; Shen dan Julien 1992). Tingginya SDR sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 6 antara lain karena luasnya yang hanya 6.125 ha dan tidak adanya hambatan yang berarti di pinggir sungai, sehingga sebagian besar erosi masuk ke dalam sungai. Demikian juga sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 2, tingginya SDR disebabkan luas sub DAS yang tidak terlalu luas yaitu hanya 13.5 ha dan tidak ada hambatan yang berarti di pinggir sungai atau secara umum menurut Arsyad (2000) tidak memiliki sifat-sifat yang cenderung menghambat pengendapan sedimen di dalam daerah aliran. Berbeda dengan dua sub DAS tersebut, sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 3 menunjukkan SDR paling rendah, penyebabnya antara lain luas sub DAS yang cukup luas bila dibandingkan dengan luas sub DAS lainnya yaitu seluas

104.75 ha dan banyak hambatan di pinggir sungai berupa penterasan dengan teras bangku, perumahan (vila) dengan taman yang tertutup rumput dan campuran belukar dengan pohon yang tumbuh dan ditanam di pinggir sungai. Secara khusus pengaruh luas DAS terhadap SDR dijelaskan oleh Robinson (1979, dalam Arsyad, 2000) bahwa semakin luas suatu DAS akan semakin menurun SDR, tetapi penurunannya tidak linier.

Prediksi Sedimen Sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) dengan Persamaan Regresi

Persamaan regresi berganda dengan variabel bebas erosi lahan yang merupakan sumber sedimen, kondisi fisik sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) dan erosivitas hujan, dapat digunakan untuk memprediksi sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu), dengan persamaan regresi sebagai berikut:

$$Y = b_0.Ep^{b_1}.S^{b_2}.L^{b_3}.CP^{b_4}.K^{b_5}.R^{b_6}.Ro^{b_7}.n^{b_8}.Q^{b_9}.Dd^{b_{10}}.A^{b_{11}}$$

Selanjutnya menyeleksi variabel bebas dengan *Best Subsets Regression*, dan terpilih 4 variabel bebas yang dapat memprediksi sedimen sungai dengan koefisien determinasi yang tinggi ($R^2 = 86.4\%$), persamaannya adalah:

$$\log Y = 1.84 + 0.704 \log Ep + 0.646 \log Ro + 0.005 \log CP - 0.747 \log A$$

$$Y = 1.445 \times 10^{-2} . Ep^{0.704} . Ro^{0.646} . CP^{0.005} . A^{-0.747}$$

Hasil prediksi sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 dengan persamaan regresi berganda menunjukkan perbedaan (Tabel 3), dimana prediksi sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 4 paling tinggi dibandingkan dengan sub DAS lainnya, yaitu sebesar 27.61 kg ha⁻¹ mm HM⁻¹. Kondisi hasil prediksi demikian antara lain disebabkan adanya sumber sedimen atau erosi lahan hasil pengamatan selama 10 kejadian hujan dari panci erosi sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 4 yang menunjukkan paling tinggi (1 285.57 kg ha⁻¹), dan sistem pertanian yang didominasi oleh tanaman pangan (58.33%) yang dicirikan dengan nilai faktor CP yang paling tinggi yaitu 0.26. Kondisi fisik sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1 berbeda, erosi lahan hanya 71.14 kg ha⁻¹ mm HM⁻¹, sistem pertanian didominasi oleh perkebunan teh (69.39 persen) dan hutan (23.32%) dengan tutupan permukaan tanah yang baik, dicirikan oleh nilai faktor CP yang paling rendah yaitu 0.01. Kondisi fisik sub DAS demikian menyebabkan sedimen sungai yang terukur di muara sub DAS rendah.

Untuk mengetahui secara statistik kecocokan model prediksi sedimen dengan persamaan regresi berganda, dilakukan uji berpasangan antara sedimen hasil prediksi dengan sedimen hasil pengamatan di muara sub DAS, yaitu uji *t student* (Dayan, 1984) (Tabel 4).

Tabel 3. Hasil Prediksi Sedimen Sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7 dengan Persamaan Regresi Berganda

Lokasi Sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu)	Sedimen Sungai		
	Prediksi Regresi	Pengamatan	Perbedaan (%)
	(kg ha ⁻¹ mm HM ⁻¹)*		
Tugu Utara 1	1.10	1.30	15.41
Tugu Utara 2	14.90	23.92	37.73
Tugu Utara 3	17.38	8.51	51.03
Tugu Utara 4	27.61	42.97	35.75
Tugu Utara 5	3.06	2.77	9.63
Tugu Utara 6	2.76	2.26	18.18
Tugu Utara 7	7.84	9.14	14.18

Keterangan: *HM⁻¹ = Hujan deras minimum yang menyebabkan erosi lahan dan sedimen sungai

Tabel 4. Hasil Pengujian Prediksi Sedimen dengan Persamaan Regresi (t.hitung dan koefisien korelasi hasil pengujian)

Sub DAS	t. tabel	t. hitung	Koefisien korelasi
Tugu Utara 1	2.10	0.03	0.80
Tugu Utara 2	2.10	-1.21	0.97
Tugu Utara 3	2.10	1.19	0.72
Tugu Utara 4	2.10	-1.04	0.92
Tugu Utara 5	2.10	0.04	0.66
Tugu Utara 6	2.10	0.07	0.82
Tugu Utara 7	2.10	-0.44	0.89

Uji berpasangan dilakukan berdasarkan 10 kejadian hujan yang menyebabkan erosi lahan dan sedimen sungai. Hasil pengujian menunjukkan tidak berbeda nyata antara prediksi sedimen sungai berdasarkan persamaan regresi dengan sedimen sungai hasil pengukuran pada muara sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu). Artinya, prediksi sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) sama dengan hasil pengukuran erosi pada muara sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu).

Prediksi Sedimen Sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) Berdasarkan Prediksi SDR

Pendugaan sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) dilakukan juga melalui prediksi nisbah pelepasan sedimen atau SDR dengan mengikuti aturan U.S. Forest Service (1980, dalam Morris dan Fan, 1998) dan menggunakan *Stiff Diagram*. Hasil penetapan prediksi SDR *Stiff Diagram* disajikan pada Tabel 5. Berdasarkan Tabel 5 prediksi SDR tertinggi terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 2 dan 4 yaitu sebesar 0.86 dan terendah terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 5 yaitu sebesar 0.11.

Untuk mengetahui secara statistik kecocokan prediksi SDR *Stiff Diagram* sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu), dilakukan uji berpasangan antara prediksi SDR dengan SDR hasil pengamatan yaitu uji *t student* (Dayan, 1984). Hasil pengujian prediksi SDR dengan SDR pengamatan menunjukkan tidak berbeda nyata, nilai t. hitung Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 4, 6 dan 7 lebih kecil dari pada t. tabel, artinya prediksi SDR sama dengan SDR hasil pengamatan sehingga SDR *Stiff Diagram* cocok untuk memprediksi SDR sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 4, 6 dan 7. Setelah model cocok, dilanjutkan dengan menghitung prediksi sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu). Berbeda dengan itu, t. hitung sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 3 dan 5 berbeda nyata (-4.02 dan -8.83) dengan t. tabel, artinya prediksi SDR *Stiff Diagram* tidak cocok untuk sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 3 dan 5.

Tabel 5. Hasil Prediksi SDR *Stiff Diagram* sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) Berdasarkan 10 Kejadian Hujan

Lokasi Sub DAS	SDR Pengamatan		Prediksi SDR <i>Stiff Diagram</i>		Perbedaan (%)	
	Terendah	Tertinggi	Terendah	Tertinggi	Terendah	Tertinggi
Tugu Utara 1	0.16	0.57	0.37	0.41	56.76	28.07
Tugu Utara 2	0.12	0.86	0.67	0.72	82.09	16.28
Tugu Utara 3	0.14	0.40	0.49	0.56	71.43	28.57
Tugu Utara 4	0.37	0.86	0.34	0.78	8.11	9.30
Tugu Utara 5	0.11	0.36	0.33	0.48	66.67	25.00
Tugu Utara 6	0.12	0.25	0.33	0.39	63.64	35.90
Tugu Utara 7	0.20	0.69	0.54	0.56	62.96	18.84

Hasil prediksi sedimen sungai tertinggi berdasarkan prediksi SDR terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 4 yaitu sebesar 36.01 kg ha⁻¹mm HM⁻¹ (Tabel 6) dan yang terendah terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 7 yaitu sebesar 1.49 kg ha⁻¹mm HM⁻¹. Hasil prediksi sedimen demikian disebabkan adanya perbedaan erosi lahan hasil pengamatan dari *soilpan*, dimana erosi lahan yang terjadi pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 4 paling tinggi yaitu 60.66 kg ha⁻¹mm HM⁻¹ dan pada sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1 menunjukkan paling rendah yaitu 3.74 kg ha⁻¹mm HM⁻¹.

Untuk mengetahui perbedaan hasil prediksi sedimen berdasarkan prediksi SDR *Stiff Diagram*, dilakukan pengujian berpasangan antara prediksi sedimen dengan sedimen hasil pengamatan dengan uji *t student* (Dayan, 1984), berdasarkan 10 kejadian hujan. Hasil pengujian prediksi sedimen sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) dengan sedimen pengamatan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata. Nilai *t*. hitung lebih kecil dari *t*. tabel, artinya prediksi sedimen berdasarkan prediksi SDR *Stiff Diagram* tidak berbeda atau sama dengan sedimen hasil pengukuran. Tetapi hasil pengujian prediksi sedimen pada masing-masing sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) selama 10 kali hujan penyebab sedimen, menunjukkan adanya perbedaan dan persamaan. Sub DAS Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 4 dan 7 tidak menunjukkan perbedaan yang nyata, artinya prediksi sedimen berdasarkan prediksi SDR *Stiff Diagram* tidak berbeda dengan hasil pengamatan sedimen sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 1, 2, 4 dan 7. Sub DAS Tugu Utara 3, 5 dan 6 menunjukkan perbedaan yang nyata, *t*. hitung sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 3, 5 dan 6 lebih besar dari *t*. tabel, hal ini menunjukkan bahwa prediksi sedimen berdasarkan prediksi SDR *Stiff Diagram* di sub DAS sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) 3, 5 dan 6 tidak cocok.

Tabel 6. Prediksi Sedimen Sungai Tugu Utara (Ciliwung Hulu) Berdasarkan Prediksi SDR *Stiff Diagram*

Lokasi sub DAS	Prediksi Sedimen <i>Stiff Diagram</i>	Pengamatan Sedimen	Perbedaan (%)
	(kg ha ⁻¹ mm HM ⁻¹)*		
Tugu Utara 1	1.49	1.30	12.75
Tugu Utara 2	29.70	23.92	19.46
Tugu Utara 3	18.18	8.51	53.19
Tugu Utara 4	36.01	42.97	16.20
Tugu Utara 5	4.56	2.77	39.25
Tugu Utara 6	5.03	2.26	55.07
Tugu Utara 7	11.64	9.14	21.48

Keterangan: *HM⁻¹ = Hujan deras minimum yang menyebabkan erosi lahan dan sedimen sungai

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dikemukakan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Persamaan regresi berganda dengan empat variabel bebas yaitu erosi lahan, volume aliran permukaan, faktor tanaman dan konservasi tanah, dan luas sub DAS, dapat digunakan untuk memprediksi sedimen sungai dengan akurasi 86.40 %.
2. Modifikasi prediksi SDR metode *Stiff Diagram* dengan variabel debit puncak, kemiringan lereng, kekasaran permukaan tanah, jarak sumber erosi ke sungai, bentuk lereng, penutupan permukaan tanah dan tekstur tanah, dapat digunakan untuk memprediksi sedimen sungai.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, S. 2000. Konservasi Tanah dan Air. Cetakan kedua. IPB Press, Bogor.
- Bingner, R.L. 1990. Comparison of the components used in several sediment yield models. Soil and Water Div. of ASAE. 33 (4):1229-1239.
- Bonsu, M. 1985. Organic residues for less erosion and more grain in Ghana. In S.A. El-Swaify, W.C. Moldenhauer, and A. Lo (eds.), Soil Erosion and Conservation. Soil Conservation Society of America. p. 615-621.
- Brown, T., H. Schneider, and D. Harper. 1996. Multi-scale estimates of erosion and sediment yields in the Upper Tana basin, Kenya. In D.E. Walling and B.W. Webb (eds.), Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives. IAHS Publication no. 236. p. 49-54.
- Carson, B. 1989. Soil conservation for upland areas of Indonesia. East-West Environment and Policy Institute Occasional Paper No.9.
- Dayan, A. 1984. Pengantar Metode Statistika. Jilid II. LP3ES.
- Dickinson, A. and R. Collins. 1998. Predicting erosion and sediment yield at the catchment scale. In P. D.Vries, F. Agus, J. Kerr (eds.), Soil Erosion at Multiple Scales. Principles and Methodes for Assesing Causes and Impacts. CABI. Publishing. p. 317-342.
- Dingzhong, D. and T. Ying. 1996. Soil erosion and sediment yield in the Upper Yangtze River Basin. In D.E. Walling and B.W. Webb (eds.), Erosion and Sediment Yield: Global and Regional Perspectives. IAHS Publication no. 236. p. 191-203.
- Frangipane, A. and E. Paris. 1994. Long term variability of sediment transport in the Ombrone River Basin (Italy). In L. J. Olive, R. J. Loughran, J. A. Kesby, (eds.), Variability in Stream Erosion and Sediment Transport. IAHS Publication No. 224. p. 317-324.
- Gaspersz, V. 1996. Metode Perancangan Percobaan. Penerbit ARMICO.
- Hashim, G.M., K.J. Coughlan and J.K. Syers. 1998. On-sit nutrient depletion: an effect and a cause of soil erosion. In P. D.Vries, F. Agus, J. Kerr (eds.), Soil Erosion at Multiple Scales. Principles and Methodes for Assesing Causes and Impacts. CABI. Publishing. p. 207-221.

- Hudson, N. 1973. Soil Conservation B.T. Batsford Limited. 4 Fitzhardings Street London W 1.
- _____ 1993. Field measurement of soil erosion and runoff. FAO Soil Bulletin 68. Rome.
- Kinnell, P.I.A. and L.M. Risse. 1998. USLE-M: Empirical modeling rainfall erosion through runoff and sediment concentration. Soil Sci. Soc. Am. J., 62(6):1667-1671.
- Kuhnle, R.A., R.L. Binger, G.R. Foster and E.H. Grissinger. 1996. Effect of land use changes on sediment transport in Goodwin Creek. Water Resources Research, 32(10):3189-3196.
- Lal, R. 1998. Agronomic consequences of soil erosion. In P. D.Vries, F. Agus, J. Kerr (eds.), Soil Erosion at Multiple Scales. Principles and Methodes for Assesing Causes and Impacts. CABI. Publishing. p. 149-160.
- Morgan, R.P.C. 1990. Soil Erosion and Conservation. Longman Scientific and Technical. Copublished in the United States with John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Morris, G.L and J. Fan. 1998. Reservoir sedimentation handbook. Design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. McGraw-Hill. New York.
- Seyhan, E. 1977. Fundamental of Hydrology. In Subagyo S, (penerjemah), Dasar Dasar Hidrologi Gadjah Mada University Press.
- Shen, H.W and P.Y. Julien. 1992. Erosion and sediment transport. In D. R. Maidment (ed.), Handbook of Hydrology. McGraw Hill. INC. New York. p. 12.1-12.61.
- Soekardi, M., D. Djaenudin, K. Nugroho dan Lukman. 1996. Kerangka Acuan Survei Tanah Semi Detail Daerah Prioritas. Versi 4,0. In Sarwono, Ulrike, Wood, Sichra (eds.). Second Land Resource Evaluation and Planning Project. ARCADIS Euroconsult, PT. Andal Agrikarya Prima.
- Sukresno. 1996. Evaluasi hidrologi DAS berhutan dan tidak berhutan di DAS Solo Hulu. Buletin Pengelolaan DAS, 3 (1): 31-38.
- Suwardjo. 1981. Peranan sisa sisa tanaman dalam konservasi tanah dan air pada usahatani tanaman semusim. Disertasi, Fakultas Pasca Sarjana, Institut Pertanian Bogor,
- Takken, I, G. Govers, C.A.A. Ciesiolka, D.M. Silburn and R.J. Loch. 1998. Factors influencing the velocity discharge relationship in rills. In W. Summer, E. Klaghofer, W. Zhang (eds), Modelling Soil Erosion, Sediment Transport and Closely Related Hydrological Processes. IAHS Publication no 249. p. 63-69.
- van Noordwijk, M., M.V. Roode, E.L. McCallie and B. Lusiana. 1998. Erosion and sedimentation as multiple scale, fractal processes: Implication for Models, Experiments and Real World. In P. D.Vries, F. Agus, J. Kerr (eds.), Soil Erosion at Multiple Scales. Principles and Methodes for Assesing Causes and Impacts. CABI. Publishing. p. 223-253.
- Verbist, B. 2001. Watershed management, GIS and environmental indicators. case study of Sumberjaya, Lampung, Sumatera (tidak dipublikasi). Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion loses. A Guide to Conservation Planning. U. S. Department of Agriculture. Agriculture Handbook No. 537.
-