

SEDIMENTASI DAN DAMPAKNYA PADA DPS CITARUM HULU

Oleh: Muhamad Arief Ilyas^{*)}

Abstrak

Pemanfaatan air dan lahan dan pengembangan suatu daerah aliran sungai selalu menyebabkan berbagai masalah teknis dan lingkungan. Begitu pula dengan lebih mendalam masalah proses erosi dan sedimentasi yang terjadi, merupakan hal yang sangat penting dalam memecahkan masalah dasar yang berkaitan dengan tingginya tingkat erosi dan sedimentasi dalam suatu daerah aliran sungai. Proses sedimentasi yang kompleks agar dapat dipecahkan, untuk itu sungai harus dipandang dari berbagai unit kelompok yang terintegrasi dalam suatu ekosistem. Dengan pendekatan pengukuran dan monitoring, serta penggabungan dengan pendekatan sistem model spasial dapat dipecahkan masalah yang timbul di per sungaian dan waduk, ehinggaantisipasi terhadap berkurangnya umur waduk dapat diatasi. Dengan prediksi erosi dan sedimentasi secara spasial dapat diperoleh gambaran yang lebih jelas daerah-daerah mana saja yang terkena tingkat erosi-sedimentasi yang tinggi, sehingga daerah mana saja dalam DAS yang perlu konservasi dan prioritas penanggulangannya. Dan konservasi yang tepat pada DAS Citarum hulu dapat menurunkan laju sedimentasi, sehingga diharapkan umur waduk Saguling akan lebih panjang.

Katakunci : Erosi dan Sedimentasi DAS, konservasi dan penanggulangan DAS Citarum.

1. PENDAHULUAN

Intervensi manusia terhadap alam terus meningkat, khususnya di pulau Jawa. Menurut laporan Bank Dunia 1985, bahwa DAS-DAS di pulau Jawa mengalami tingkat erosi yang tinggi. Diperkirakan 1,9 juta ha lahan telah menjadi kritis, laju erosi rata-rata sekitar 20-60 ton/ha/tahun, sedangkan erosi yang ditolerir sekitar 12,5 ton/ha/tahun atau setebal rata-rata 0,8 – 1 mm/tahun (Arsyad, 1989). Akibat dari dampak tingginyatingkat erosi dan sedimentasi yang terjadi akan mengakibatkan umur pemakaian (*useful life*) waduk menjadi lebih pendek dari yang direncanakan. Perkiraan angkutan sedimentasi di sungai dan pengendapannya di waduk dibutuhkan pengetahuan sedimentasi yang lebih mendalam, berkaitan dengan berbagai disiplin ilmu, seperti Fisika Hidrolika, Hidrologi, ilmu tanah dan lain-lainnya. Hal yang penting dalam pendukung alisa sifat-sifat gerakan sedimentasi di sungai, juga distribusi sedimen pada profil memanjang waduk.

2. MEKANISME ANGKUTAN SEDIMEN DI SUNGAI

Secara umum ada 3 tipe gerakan dari sedimentasi, yaitu angkutan dasar (*bed load*),

angkutan suspensi (*suspended load*), dan angkutan kuras (*wash load*). Overbeek (1979) menjelaskan bahwa muatan dasar adalah partikel yang terangkut dengan cara bergeser, bergelinding atau ber lompat-lompat, dan selalu dekat atau hampir mengendap pada dasar sungai. Angkutan dasar (*bed load*) terdiri dari partikel kasar, seperti krikil atau pasir yang bergerak teratur atau acak dan selalu menyentuh dasar sungai.

Angkutan sususpensi (*suspended load*) bergerak melayang tanpa menyentuh dasar sungai, atau se tidak-tidaknya mempunyai lintasan yang panjang sebelum menyentuh dasar sungai. Menurut Breusers dan Overbeek (1979), muatan material angkutan dasar (*bed load*) maupun dari angkutan melayang (*suspended load*) dan ditentukan oleh kondisi dari dasar gerakan aliran.

3. PERHITUNGAN ANGKUTAN SEDIMEN DI SUNGAI

Angkutan sedimen dibedakan antara angkutan dasar (*bed load*) dan angkutan sedimen suspensi (*suspended load*),:

Ada 2 parameter dalam menghitung angkutan dasar, yaitu:

$$(1) \text{ Parameter transport } (\Phi): \Phi = \frac{S}{\sqrt{(\Delta g D^3)}}$$

$$(2) \text{ Parameter aliran } (\Psi), \text{ yaitu: } \Psi = \frac{U^{*2}}{\Lambda g D} \\ = \frac{h \cdot i}{\Lambda D}$$

dimana : S = laju angkutan sedimen per unit lebar m³/det/m

$$\Lambda = \frac{f_s - f_w}{f_w}$$

D = diameter butir, V = *shear velocity*, h = *water depth*, f_s = kerapatan partikel sedimen, f_w = kerapatan air, l = *bed slope*

Semua rumus-rumus dari sedimen transport berdasarkan dari anggapan bahwa aliran seragam (*steady uniform*), ialah $\Phi = f(\Psi)$.

Dengan memasukkan faktor pengurang diadakan koreksi pada parameter aliran. Hanya sebagian saja dari tegangan geser dasar sungai (*bed shear stress*) yang mempengaruhi angkutan sedimen, maka harga baru Ψ menjadi : $\Psi = \mu (h \cdot i) / (\Lambda D)$, dimana $\mu = f(C/C')$ disebut *ripple factor* Untuk menentukan C dihitung berdasarkan K_s =

$$D_{90} \text{ dan } C = 18 \log \left(\frac{12 h}{K_s} \right)$$

Formula Meyer – Peter dan Muller (MPM) telah digunakan secara luas dan dipakai terutama untuk sungai yang berpasir kasar dengan diameter : 0,4 mm < D, 30 mm

$$\Phi = \frac{S}{(\Lambda g D^3)} = B^{-3/2} \left[\frac{\mu h \cdot i}{\Lambda D m} A \right]^{3/2}$$

$$A = 0,047 \} \text{-----} \rightarrow \Phi = 8 (\Psi - 0,0047)^{3/2}$$

Sebagai pencocokan, jika tidak ada muatan angkutan sedimen, maka $\Phi = 0$, $C = C'$, $\mu = 1$

Perhitungan Sedimen Suspensi

Muatan sedimen suspensi dapat dihitung dengan pengukuran kecepatan aliran U(z) dan konsentrasi sedimen C(z), dan merupakan persamaan integrasi:

$$S = \int_0^h C(z) \cdot U(z) dz.$$

$$Q_{si} = Q_i C_i k;$$

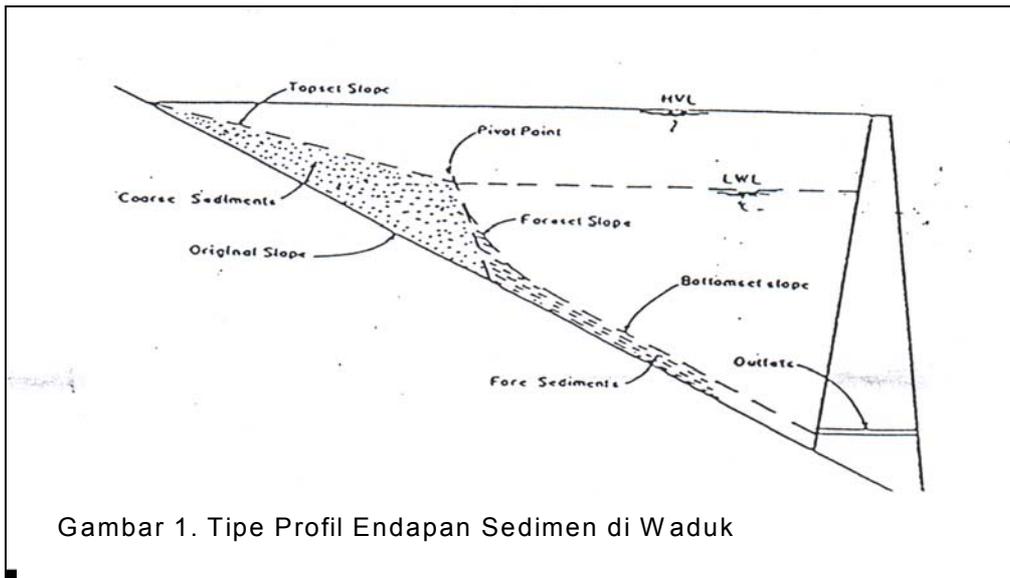
Dimana Q_{si} = debit sedimen (ton/hari), Q_i = debit air (m³/det), C_i = konsentrasi (mg/l), k = konvensi satuan dimensi 0,0864

Dengan persamaan power regression dapat dicari persamaan dari lengkung aliran sedimen dikombinasikan dengan data debit harian untuk menentukan sedimen rata-rata tahunan.

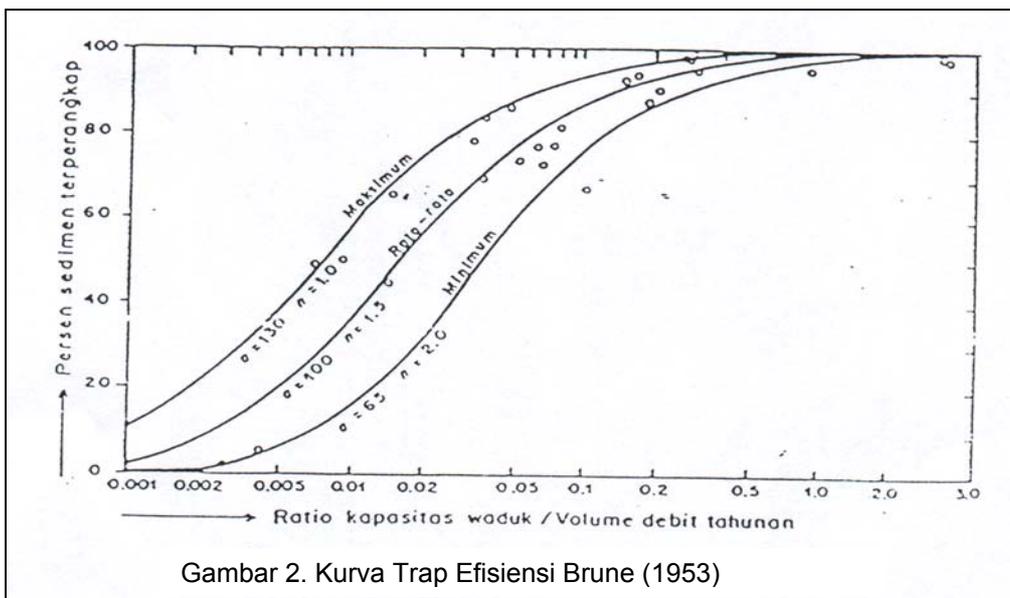
4. Dampak Sedimentasi di Waduk

Adanya sedimentasi di waduk, mengakibatkan kapasitas tampungan berkurang dan sedimen akan tersebar ke setiap bagian dari kedalaman waduk, yang berarti material sedimen tidak langsung mengendap pada bagian waduk yang paling rendah (*dead storage*). Hal-hal yang harus diperhatikan adalah rata-rata debit sedimen tahunan, efisiensi tangkapan waduk, kerapatan bongkahan, sedimen deposit dan distribusi sedimen di dalam waduk.

Efisiensi tangkapan. Brune (1953, di dalam Vanoni, 1977) menyatakan hubungan dari efisiensi tangkapan (*trap efficiency*) dengan ratio perbandingan antara kapasitas waduk dengan rata-rata debit air tahunan yang masuk (C/l), seperti tertera pada gambar 2 dibawah.



Gambar 1. Tipe Profil Endapan Sedimen di Waduk



Gambar 2. Kurva Trap Efisiensi Brune (1953)

5. Perkiraan Distribusi Sedimen di Waduk

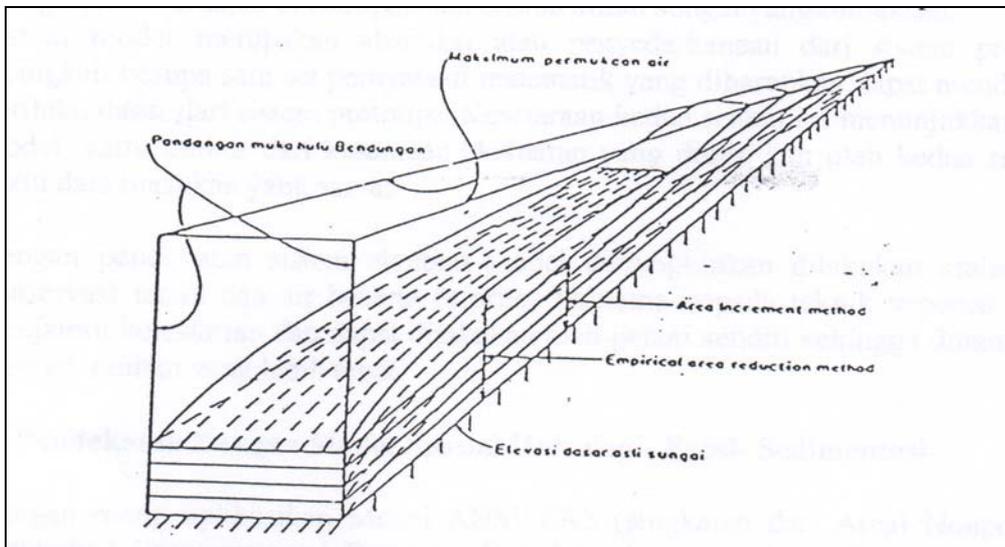
Varshney (1974) menyatakan ada 2 metode yang digunakan untuk menduga distribusi sedimen dalam waduk, yaitu : "Metode Penambahan Luas" (*Area Increment Methode*) dan "Metode Empirik Reduksi Luas" (*Empirical Area Reduction Methode*)

Kedua prosedur yang didalamnya mengandung perkiraan perubahan dari permukaan asli dasar waduk yang direfleksikan dengan berkurangnya luas permukaan akibat sedimentasi.

Metode Empirik Reduksi Luas dilakukan dengan dua langkah yaitu pertama dengan mengklasifikasikan reservoir dalam 4 tipe dan selanjutnya melakukan perhitungan secara coba dan salah (*trial and error*) dari luas dan volume prisma sedimen sehingga seimbang dengan volume sedimen yang masuk untuk suatu periode tertentu.

Sedangkan luas dan kapasitas (volume) waduk yang direvisi dari elevasi nol baru sampai elevasi maksimum waduk, dihitung dengan mengurangi luas dan kapasitas waduk mula-mula dengan luas dan volume sedimen yang mengendap sampai elevasi nol

baru. Perbandingan diagramatis kedua metode diatas, seperti tertera pada gambar dibawah :



Gambar 3. Perbandingan Diagram Metode Penambahan Luas Dengan Metode Empirik Reduksi Luas (*Empirical Area Reduction Method*)

5.1 Pendugaan Umur Efektif Waduk

Menurut Jansen (1980) : umur waduk sebaiknya mencapai 5000 tahun. Sedangkan menurut USBR, sedimentasi 100 tahun pada waduk dibandingkan dengan tampungan total waduk tidak melebihi 5%, maka kondisi waduk itu tidak merupakan masalah serius (minimal umur waduk mencapai 2000 tahun). Jika sedimentasi di waduk mengisi lebih besar dari 5% dalam 100 tahun operasi, maka pengelolaan perlu melihat efek sedimentasi secara menyeluruh yaitu melihat laju pengendapan sedimentasi pada sepanjang profil pemanjangan waduk.

Menurut Pitt dan Thompson (1984), perkiraan umur layan waduk yang layak ialah ditentukan oleh lamanya sedimentasi mencapai setengah dari tampungan total waduk. Berdasarkan hal tersebut diklasifikasikannya sebagai berikut :

Umur layan waduk melebihi 100 tahun, sedimentasi tidak menyebabkan masalah.

Umur layan berkisar 20 sampai 100 tahun, dalam hal ini perlu dipertimbangkan bagaimana caranya mengurangi sedimentasi yang masuk ke waduk, diantaranya dengan pengaturan tataguna tanah, pembangunan pengendali sedimen, dan cara pengurusan (*flushing*).

Umur layannya kurang dari 20 tahun, sedimentasi akan memberikan masalah

serius, sehingga perlu diusahakan tampungan efektif tetap berfungsi.

6. PEMECAHAN DENGAN PENDEKATAN SISTEM MODEL

Representasi sistem hidrologi selalu melibatkan dua sistem, yaitu pertama sistem prototipe adalah sistem alam sesungguhnya sebagaimana terdapat di alam, adalah daerah aliran sungai yang dimaksud.

Sistem model merupakan abstraksi atau penyederhanaan dari sistem prototipe, yang seringkali berupa satu set pernyataan matematik yang diharapkan dapat menduplikasikan perilaku dasar dari sistem prototipe. Kesetaraan kedua sistem ini menunjukkan kelayakan model, yaitu diukur dari kesamaan keluaran yang dihasilkan oleh kedua sistem untuk suatu data masukan yang sama

Dengan pendekatan sistem atau model dimungkinkan dilakukan arahan tindakan konservasi tanah dan air beserta prioritas terutama pada tehnik vegetasi yang dapat menjamin kelestarian dan dapat dilakukan oleh petani sendiri sehingga diharapkan dapat menjadi arahan yang lebih tepat.

6.1. Pendekatan dengan Model spasial Hidrologi-Erosi-sedimentasi

Dengan mengaplikasikan model ANSWERS (*Areal Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*) merupakan sebuah model hidrologi dengan parameter terdistribusi yang mensimulasi hubungan hujan-limpasan dan juga memberikan dugaan dari hasil sedimen. Model ini pertama kali dikembangkan oleh D.B. Beasley pada tahun 1977 untuk mensimulasikan pengaruh tataguna dan pengelolaan lahan terhadap air limpasan. (dan kini yang terbaru versi 2000 dilengkapi analisa kualitas air)

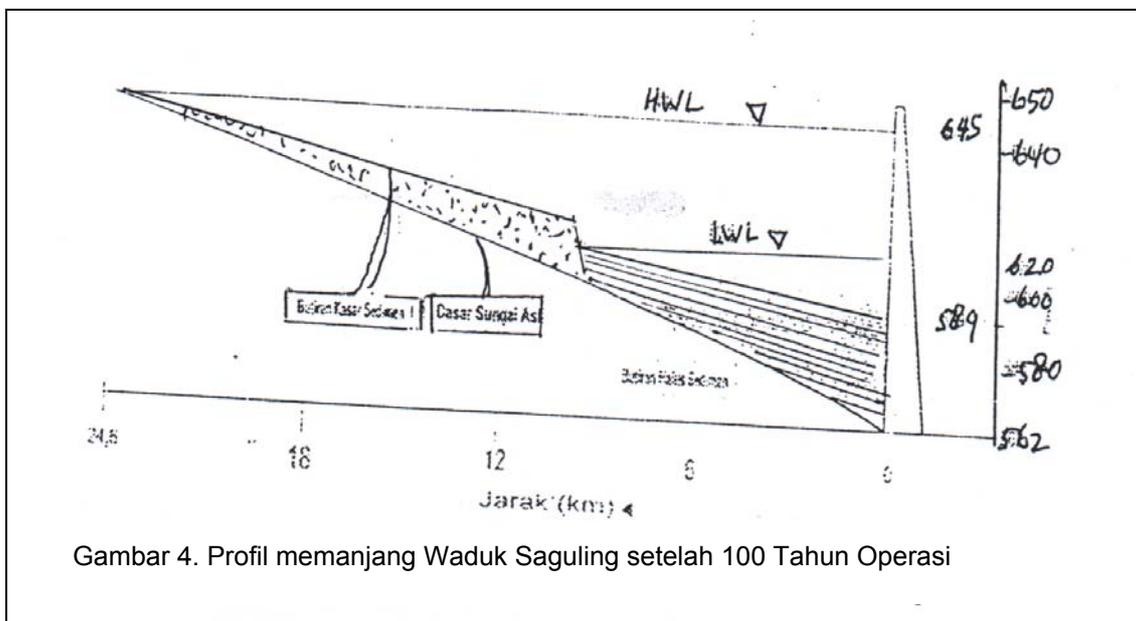
ANSWERS sebagai model deterministik didasarkan pada hipotesis "...Bahwa pada sembarang titik dalam suatu DAS, akan berlaku hubungan fungsional antara laju aliran air dan parameter-parameter hidrologi kendali seperti intensitas hujan, infiltrasi, topografi, jenis tanah, dsb. Lebih lanjut, laju aliran dapat digunakan sebagai dasar untuk memodelkan gejala pindah massa seperti erosi dan polusi dalam wilayah DAS.

7. APLIKASI SISTEM MODEL PADA DAS CITARUM HULU-SAGULING

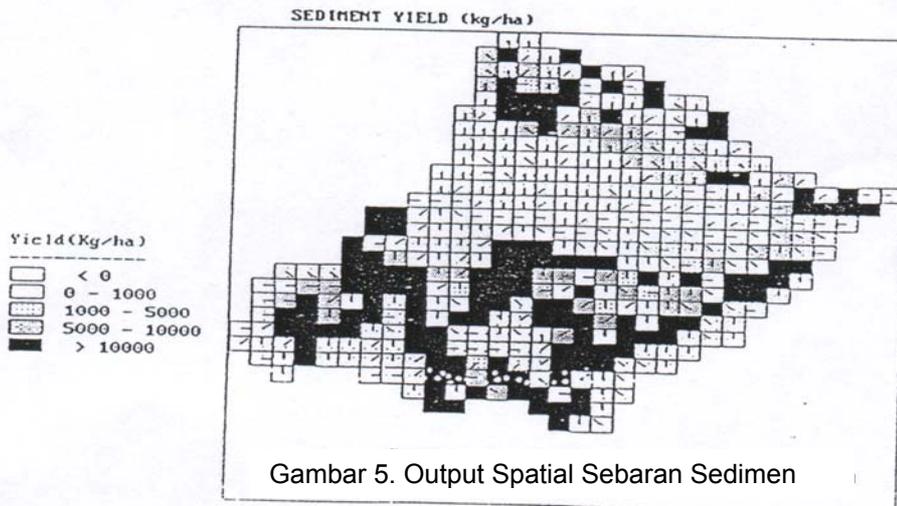
Perkiraan besarnya angkutan debit sedimen rata-rata tahunan dari S.Citarum-

Nanjung ialah sebesar 2.566.388 m³/tahun. Hasil prediksi distribusi sedimen diperoleh elevasi nol baru dasar waduk pada bendungan setelah 100 tahun operasi akan mengalami peningkatan dari awalnya 562,0 m dpl. Untuk operasional waduk 100 tahun kapasitas waduk akan berkurang sebesar 21% dari kapasitas awal. Dimana volume kapasitas awal waduk 881 juta m³ akan berkurang menjadi 688,1 juta m³. Walaupun tingkat sedimentasi yang tinggi masuk ke waduk Saguling melebihi 5% dari persyaratan USBR untuk 100 tahun operasi, tapi mengingat *dead storage* nya cukup besar dimana elevasi *intake* berada 618 m dpl yang berarti masih 19 meter dibawah *intake*. Dengan demikian sebenarnya waduk saguling secara ekonomis walaupun mengalami tingkat erosi dan sedimentasi yang tinggi tapi masih tetap aman dan operasional waduk belum terganggu.

Dari hasil analisa selanjutnya untuk waduk Saguling telah beroperasi selama 250 tahun, maka pada saat itu elevasi dasar nol baru diperkirakan akan mencapai 617 dpl (mendekati elevasi *intake* 618 m dpl) dan berarti akan mulai mengganggu tampungan efektif waduk.



Gambar 4. Profil memanjang Waduk Saguling setelah 100 Tahun Operasi



Selanjutnya tingkat erosi yang terjadi pada peta DAS Citarum Hulu-Saguling dapat dilihat pada gambar dibawah

8. KESIMPULAN

- Tingkat erosi memberikan dampak terhadap tingkat laju sedimentasi di sungai dan waduk. Laju sedimentasi yang tinggi akan memberikan dampak berkurangnya kapasitas waduk, sehingga umur pakai waduk secara ekonomis akan lebih pendek dari disain awalnya.
- Dengan menggunakan model prediksi erosi dan sedimentasi secara spasial dapat memberikan gambaran yang menyeluruh dalam mengantisipasi tingkat erosi dan sedimentasi pada sungai dan waduk di dalam DAS.
- Tingkat erosi yang terjadi pada DAS Citarum Hulu-Saguling dihitung dengan sistem model spasial ialah sebesar 22 ton/ha/tahun.
- Dengan menggunakan peta spasial, tingkat erosi dapat diketahui di daerah mana saja dalam DAS yang perlu konservasi dan diprioritaskan penanggulangannya.
- Dari analisa sensitif diketahui bahwa parameter tanaman (C) dan parameter infiltrasi kanstan (FC) merupakan faktor utama dalam melakukan usaha konservasi.
- Konservasi penghutan (C) merupakan parameter yang paling sensitif dalam menurunkan tingkat erosi yang terjadi.

DAFTAR PUSTAKA

1. *Arsyad, Sitanala, 1989, Konservasi Tanah dan Air, Penerbit IPB, Bogor.*
2. *Beasley, D.B.,L.F. Huggins, and E.J. Monke, 1980, Anwers : a model for watershed planning Trans ASAE, Vol. 23(4) : 988-944.*
3. *Pusat Litbang Teknologi SDA, 2000, Memodelkan Perubahan Lahan dan Dampaknya Pada DAS Serang Untuk Menjaga Umur Waduk Kedung Ombo Tetap Ekonomis.*
4. *Pusat Litbang Teknologi SDA, 1996, Penelitian pendangkalan Waduk Akibat Sedimentasi Dengan Kasus di Waduk Sempor.*
5. *Pusat Litbang Telnologi SDA, 2000, Konservasi Air dan Tanah Pada DAS Citarum Hulu. Untuk Menjaga USEFUL LIFE Waduk Saguling agar Tetap efektif.*
6. *Pusat Litbang Pengairan, 1999, Kaji Ulang dan Identifikasi Kondisi Sedimen Waduk-Waduk di P. Jawa Sebagai Usaha Untuk Menunjang Efisiensi Dari Operasional dan Pemeliharaan Bangunan Pengairan.*
7. *Pawitan Hidayat, 1995, Distributed Hydrologic Modeling to Study Effects of Tropical*
8. *Forest Conversion and Management. Presented at Third Int'l Conference on Forest Soil (ISSS-AIOSS-IBGB), Balikpapan/Indonesia*