

**KAJIAN PENGARUH LIMPASAN / ALIRAN PERMUKAAN
TERHADAP SEDIMEN MELAYANG DENGAN MODEL
TANK SUNGAI LUSI DI BANJAREJO BLORA
JAWA TENGAH**

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat
untuk Memperoleh Gelar Magister
Program Studi Teknik Sipil
Universitas Diponegoro



Oleh :

TJOKRO HADI

I4A 001022

**MAGISTER TEKNIK SIPIL
PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2004**

LEMBAR PENGESAHAN

**KAJIAN PENGARUH LIMPASAN / ALIRAN PERMUKAAN TERHADAP
SEDIMEN MELAYANG DENGAN MODEL TANK SUNGAI LUSI
DI BANJAREJO BLORA JAWA TENGAH**

Diajukan oleh :

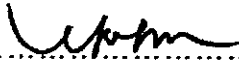



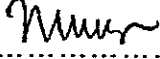
**TJOKRO HADI
NIM : L 4A 001.022**

Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :
23 Juni 2004

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
Memperoleh gelar Magister Teknik Sipil

Tim Penguji :

1. Ketua : Ir. Sri Eko Wahyuni, MS
2. Sekretaris : Ir. Sugiyanto, M.Eng
3. Anggota 1 : Dr. Ir. Suripin, M.Eng
4. Anggota 2 : Ir. Pranoto SA, MT
5. Anggota 3 : Ir. Hari Budienny, MT


.....

.....

.....

.....

.....

Semarang, Juni 2004
Universitas Diponegoro
Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil



KATA PENGANTAR

Puji syukur dan terima kasih penulis haturkan ke Hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat KaruniaNya, penulis telah berhasil menyelesaikan tesis dengan judul "KAJIAN PENGARUH LIMPASAN / ALIRAN PERMUKAAN TERHADAP SEDIMEN MELAYANG DENGAN MODEL TANK SUNGAI LUSI DI BANJAREJO BLORA JAWA TENGAH". Tesis ini merupakan hasil penelitian sebagai salah satu syarat untuk mencapai derajat Sarjana S-2 di Program Studi Teknik Sipil Jurusan Ilmu-ilmu Teknik Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Suripin, M. Eng, selaku Pengelola Program Pasca Sarjana Program Studi Teknik Sipil.
2. Ibu Ir. Sri Eko Wahyuni, Ms, selaku Pembimbing Utama yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tesis ini.
3. Bapak Ir. Sugiyanto M. Eng, selaku Pembimbing Pendamping dan Tim Penguji dalam ujian tesis yang telah banyak memberikan saran dan kritik.
4. Ibu dan bapak(almarhum) tercinta atas do'a restunya dan telah memberikan semangat dan dorongan baik spiritual maupun material.
5. Ratna Kumalasari, Angela Mariska, Alfons Kurniawan yang telah memberikan pengertian dan dorongan sejak permulaan hingga berakhirnya penyusunan tesis ini.

6. Kakak-kakak yang telah memberi semangat dan dorongan dalam penyelesaian tesis ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa S-2 dan juga saudara-saudara yang telah banyak memberikan dorongan untuk menyelesaikan tesis ini.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan adanya saran dan kritik dari pembaca untuk penyempurnaan maupun kelanjutan dari penelitian ini mudah-mudahan Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak.

Semarang,

TJOKRO HADI
NIM. L 4A 001.022

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR NOTASI	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
ABSTRAK	xi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Permasalahan	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Lokasi Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Angkutan Sedimen	7
2.2. Pendekatan Sistem	31
2.3. Model	33
2.4. Optimasi Parameter Kalibrasi	37
2.5. Koefisien Korelasi, Kesalahan Relatif dan Kesalahan Volume	47
2.6. Penentuan Nilai Awal Parameter	50

BAB III	CARA PENELITIAN	
3.1.	Hipotesa	52
3.2.	Diskripsi Daerah Penelitian	52
3.3.	Pendekatan Masalah dan Asumsi	53
3.4.	Pengumpulan Data	54
3.5.	Jalannya Penelitian	56
3.6.	Parametarisasi Model	58
3.7.	Proses Simulasi Model	60
BAB IV	ANALISIS KALIBRASI	
4.1.	Kalibrasi	63
4.2.	Ferivikasi	75
BAB V	PEMBAHASAN	
	Pembahasan.....	83
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	
6.1.	Kesimpulan	92
6.2.	Saran	93
	DAFTAR PUSTAKA	
	LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1. Klasifikasi Intensitas Hujan	14
Tabel 2.2. Nilai Erodibilitas (K) untuk Beberapa Jenis Tanah di Indonesia	17
Tabel 2.3. Pengaruh Kemiringan Tanah terhadap Erosi	17
Tabel 2.4 Kode Struktur Tanah (S) Menghitung Nilai K dengan Nomograf	27
Tabel 2.5 Kode Permeabilitas Tanah (P) untuk Menghitung Nilai K dengan Nomograf	27
Tabel 2.6 Nilai M untuk Berbagai Tekstur Tanah	27
Tabel 2.7. Nilai Faktor C untuk Pengelolaan Tanaman	29
Tabel 2.8. Nilai P untuk Berbagai Tindakan Konservasi Tanah	31
Tabel 2.9. Patokan Nilai Awal Konstanta Model Tangki	51
Tabel 3.1. Daftar Parameter Model Tangki Untuk Angkutan Sedimen Melayang	59

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Gambar Peta Situasi	6
Gambar 2.1. Proses Terjadinya Erosi Air oleh Meyer dan Wischmeier	9
Gambar 2.2 Bentuk-bentuk Erosi oleh Morgan	10
Gambar 2.3 Penjelasan Parameter Persamaan USLE	21
Gambar 2.4 Nomograf Erodibilitas Tanah (K) untuk Satuan Metrik	26
Gambar 2.5 Nomograf Faktor Panjang Kemiringan Lereng (LS)	28
Gambar 2.6 Representasi Sistem	32
Gambar 2.7 Model tangki	33
Gambar 2.8 Mekanisme Model Tangki Limpasan Angkutan Sedimen Melayang	34
Gambar 2.9. Struktur Model Tangki Untuk Angkutan Sedimen Melayang	36
Gambar 2.10. Hasil Minimum dan Maximum Fungsi	37
Gambar 2.11. Arah Konyugasi pada $n = 2$	38
Gambar 2.12. Metode Powell	39
Gambar 2.13. $J_a < J_b, J_c > J_a, J_c = J_b$	43
Gambar 2.14. $J_c < J_b < J_a$	44
Gambar 2.15. $J_a > J_b$ dan $J_b > J_m$	44
Gambar 2.16. $J_m > J_b$ & $J_a > J_b$	45
Gambar 3.1. Struktur Model Tangki untuk Angkutan Sedimen Melayang .	57
Gambar 3.2. Parameter Model Tangki untuk Konsentrasi Sedimen	59
Gambar 3.3. Bagan Alir Program Utama Model Tangki	60
Gambar 3.4. Bagan Alir Subprogram Fungsi Tujuan	61
Gambar 3.5. Bagan Alir Subprogram Tank	62

DAFTAR NOTASI

y_1	=	limpasan angkutan sedimen melayang permukaan di tinggi lobang atas	(mg/lt)
y_2	=	limpasan angkutan sedimen yang mengendap	(mg/lt)
y_0	=	limpasan angkutan sedimen melayang yang mengendap di cekungan-cekungan	(mg/lt)
R	=	data curah hujan	(mm/hr)
T_a	=	tinggi tampungan pada waktu "t"	(mm)
T_{h_1}	=	tinggi lobang atas	(mm)
T_{h_2}	=	tinggi lobang bawah	(mm)
c_1	=	koefisien lobang atas sisi kanan tank	tanpa dimensi
c_2	=	koefisien lobang bawah sisi kanan tank	tanpa dimensi
c_0	=	koefisien lobang bawah tank	tanpa dimensi

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 1. Data Hujan Rerata Harian di DAS Lusi Daerah Banjarejo Bulan September 1984 – Januari 1985.....	L-1
Lampiran 2. Data Konsentrasi Sedimen Rerata Harian di DAS Lusi Daerah Banjarejo Bulan September 1984 – Januari 1985.....	L-2
Lampiran 3. Data Konsentrasi Sedimen dan Data Hujan Rerata Harian di DAS Lusi Daerah Banjarejo Bulan September, Oktober, Nopember 1984.....	L-3
Lampiran 4. Data Konsentrasi Sedimen dan Data Hujan Rerata Harian di DAS Lusi Daerah Banjarejo Bulan Desember 1984 – Januari 1985.....	L-4
Lampiran 5. Grafik Curah Hujan Untuk Kalibrasi Bulan September, Oktober, Nopember 1984	L-5
Lampiran 6. Grafik Curah Hujan Untuk Verifikasi Bulan Desember 1984 dan Januari 1985	L-6
Lampiran 7. Grafik Konsentrasi Sedimen Untuk Kalibrasi Bulan September, Oktober, Nopember 1984.....	L-7
Lampiran 8. Grafik Konsentrasi Sedimen Untuk Verifikasi Bulan Desember 1984 dan Januari 1985	L-8
Lampiran 9. List Program Utama Model Tank Untuk Proses Optimasi	L-9
Lampiran 17. Sub Program Fungsi Tujuan	L-17
Lampiran 24. Sub Program Model Tank	L-24

ABSTRACT

Sediment transport, particularly suspended load in the river is mainly derived from sheet erosion that takes place in Catchments Area, the most influential factor is precipitation; hence there is a relationship between the suspended sediment and precipitation rates which can be otherwise stated that the latter relationship is a transformation of rainfall relative to suspended sediment transport phenomenon.

Hydrologic model took form of a tank which was applied analysis of suspended sediment transport. Parameter of the model was determined using Powell's optimization approach method. The model was applied for Catchments Area of Lusi river in Banjarejo, Central Java.

Analysis results show that accuracy values from calibration were : Relative Error (RE) of 0,97 %, Correlation Coefficient (r) of 0,97, and Volume Error (VE) of 0,99 %. The outcome of model parameter optimization for suspended sediment transport was pretty close with experimental values, except for some discrepancies. Model modification.

Keyword : Suspended sediment transport, Precipitation, Tank Model, Sheet Erosion, Time travel, Catchments Area.

INTISARI

Angkutan sedimen, utamanya angkutan sedimen layang yang ada di aliran sungai sebagian besar berasal oleh erosi permukaan yang terjadi di DAS dengan faktor pengaruh utama adalah debit aliran sungai, sehingga ada hubungan antara angkutan sedimen layang dengan debit limpasan/aliran permukaan.

Model hidrologi berupa model tank diaplikasikan untuk angkutan sedimen layang. Parameter model ditentukan dengan menggunakan pendekatan optimal metode Powell. Model ini diaplikasikan untuk daerah aliran sungai Lusi di Banjarejo, Jawa Tengah.

Hasil analisis model menunjukkan bahwa nilai ketelitian hasil kalibrasi, yaitu nilai kesalahan relatif (RE) adalah sebesar 0,97 %; nilai koefisiensi korelasi (r) sebesar 0,97 dan untuk kesalahan volume (VE) sebesar 0,99 %. Hasil optimasi parameter model berupa nilai angkutan sedimen melayang mempunyai kemiripan cukup baik dengan nilai observasi, akan tetapi masih terjadi rentang selisih. Sehingga diperlukan penyempumaan model tangki.

Kata kunci : Angkutan Sedimen Melayang, Curah Hujan, Model Tangki, Erosi, DAS.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pengetahuan mengenai angkutan sedimen (*sediment transport*) yang terbawa oleh aliran sungai dalam kaitannya dengan debit sungai akan mempunyai arti penting bagi para teknisi yang terlibat langsung maupun tidak langsung dalam kegiatan pengembangan dan pengelolaan dari sumber daya air, konservasi tanah dan air serta perencanaan bangunan pengamanan sungai. Hal ini, antara lain untuk : menentukan umur waduk, perencanaan tanggul banjir sungai, perencanaan lebar dan kemiringan saluran irigasi; tingkat erosi dari suatu daerah pengaliran sungai, perencanaan jembatan.

Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (*deposition*). Proses sedimentasi berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan pemulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu terbawa bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen. Bentuk, ukuran dan beratnya partikel tanah tersebut akan menentukan jumlah besarnya angkutan sedimen. Kemampuan tanah itu untuk terkikis tidak hanya tergantung pada ukuran partikel-partikelnya tetapi juga pada sifat fisik bahan organik dan anorganik yang terikat bersama-sama partikel tersebut.

Pengukuran angkutan sedimen dilakukan dengan cara mengambil sampel dari seluruh daerah aliran sungai (DAS). Karena sangat kompleksnya perilaku sedimen maka pengambilan sampel sedimen yang teliti dan benar juga sangat sulit.

Angkutan sedimen dapat bergerak, bergeser, di sepanjang dasar sungai atau bergerak melayang pada aliran sungai, terpengaruh daripada :

- 1) Komposisi (ukuran dan berat jenis,
- 2) Kondisi aliran kecepatan aliran, kedalaman aliran

Berikut ini disajikan pembagian angkutan sedimen. Menurut sumber asalnya angkutan sedimen dibedakan menjadi :

- 1) Muatan material dasar (*bed material load*), dan
- 2) Muatan bilas (*wash load*)

Sedangkan menurut mekanisme pengangkutannya dibedakan menjadi :

- 1) Muatan sedimen melayang (*suspended load*), dan
- 2) Muatan sedimen dasar (*bed load*)

❖ Muatan Bilas

Muatan bilas (*wash load*) adalah angkutan partikel-partikel halus berupa lempung (*silt*) dan debu (*dust*), yang terbawa oleh aliran sungai.

❖ Muatan Sedimen Melayang

Muatan sedimen melayang (*suspended load*) adalah material dasar (*bed material*) yang melayang di dalam aliran sungai terdiri partikel-partikel halus yang senantiasa terbawa oleh air dan hanya sedikit sekali interaksinya dengan dasar sungai, karena selalu didorong ke atas oleh turbulensi aliran.

❖ Muatan Sedimen Dasar

Partikel-partikel dasar yang bergerak sepanjang dasar sungai secara keseluruhan disebut dengan muatan sedimen dasar (*bed load*).

Selama periode banjir pengukuran angkutan sedimen harus lebih banyak jumlahnya, oleh karena itu pemilihan lokasi pengukuran angkutan sedimen harus juga dipertimbangkan kemudahan-kemudahan untuk mencapai lokasi, keselamatan team pengukur, sarana pembantu untuk melaksanakan pengukuran pada pos duga air tempat pengukuran angkutan sedimen itu, lebih-lebih apabila banjir terjadi pada waktu malam hari.

1.2. Permasalahan

Sedimen melayang (*suspended load*) di daerah aliran sungai (DAS) dapat dihitung dengan persamaan :

$$Q_s = 0,0864 * C_s * q$$

di mana : Q_s = debit sedimen (ton/hari)

C_s = konsentrasi sedimen

q = debit sungai (m^3/det)

Data yang diperlukan tersebut di atas berasal dari pengukuran lapangan, biasanya terbatas/sulit didapat bahkan sering tidak ada di lokasi. Untuk itu, akan dikembangkan suatu model limpasan permukaan yang sangat erat hubungannya dengan angkutan sedimen melayang di sungai.

Angkutan sedimen melayang yang ada di aliran sungai bersumber dari erosi lahan (DAS), penyebab yang dominan adalah limpasan/aliran permukaan, sehingga ada hubungan antara angkutan sedimen melayang dengan limpasan/aliran permukaan. Hubungan tersebut perlu dikaji atau dianalisis dengan model tangki untuk di lokasi penelitian.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah mengkaji parameter model tank terhadap sedimen melayang sungai, yang berupa model tank. Dengan asumsi yang digunakan bahwa angkutan sedimen dari erosi lahan mempunyai korelasi dengan limpasan/aliran permukaan sebagai output, sedang input adalah curah hujan.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian yang akan dilaksanakan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Model tangki yang digunakan dalam penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dalam analisis menghitung angkutan sedimen dari erosi lahan.
2. Dengan mengetahui besarnya angkutan sedimen melayang, yang bersumber dari erosi lahan (DAS), dapat memberi informasi penunjang untuk pengembangan wilayah sungai, seperti misalnya dalam pembuatan bangunan waduk, jaringan irigasi dan pengoperasian pintu air dan konservasi lahan.

1.5. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah DAS sungai Lusi di Banjarejo Kabupaten Blora Propinsi Jawa Tengah. Sungai Lusi terletak di sebelah timur kota Semarang, pantai Utara Jawa Tengah.

Sungai ini melintasi dari arah Timur ke Barat dan bermuara di laut Jawa. Hulu sungai ini di daerah pegunungan yang terletak di tengah-tengah daerah perbukitan propinsi Jawa Tengah yang memanjang dari barat ke Timur, dan melintasi lembah antara Gunung Muria dan pegunungan kapur di sekitarnya. Sebagaimana lazimnya sungai-sungai yang bermuara di laut Jawa sekarang ini, maka problem yang umum adalah sedimentasi yang cukup berat.

Lokasi pengukuran sedimen terletak di station AWLR Banjarejo yang sudah ada "*cable way*". Lokasi ini dapat ditempuh dari Blora yang berjarak \pm 12 Km arah Barat Daya atau \pm 5 Km arah tenggara dari Ngawen dapat dilihat Gambar 1.1.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Angkutan Sedimen

Sungai adalah jalur aliran air di atas permukaan bumi yang di samping mengalirkan air juga mengangkut sedimen yang terkandung dalam air sungai tersebut. Jadi sedimen terbawa hanyut oleh aliran air, yang dapat dibedakan sebagai muatan dasar (*bed load*) dan muatan melayang (*suspended load*). Sedang muatan melayang terdiri dari butiran halus, senantiasa melayang di dalam aliran air. Untuk butiran yang sangat halus, walaupun air tidak lagi mengalir, tetapi butiran tersebut tetap tidak mengendap serta airnya tetap saja keruh dan sedimen semacam ini disebut muatan kikisan (*wash load*).

2.1.1. Asal dan Proses Pembentukan Sedimen

Proses sedimentasi meliputi proses erosi, transportasi (angkutan), pengendapan (*deposition*). Proses tersebut berjalan sangat kompleks, dimulai dari jatuhnya hujan yang menghasilkan energi kinetik yang merupakan permulaan dari proses erosi. Begitu tanah menjadi partikel halus, lalu menggelinding bersama aliran, sebagian akan tertinggal di atas tanah sedangkan bagian lainnya masuk ke sungai terbawa aliran menjadi angkutan sedimen. Bentuk, ukuran dan beratnya partikel tanah tersebut akan menentukan jumlah dan besarnya angkutan sedimen. Kemampuan tanah itu untuk terkikis tidak hanya tergantung pada ukuran partikel-partikelnya tetapi juga pada sifat fisik bahan organik dan anorganik yang terikat bersama-sama partikel tersebut. Apabila partikel tanah tersebut terkikis dari

permukaan bumi atau dari dasar maupun tebing sungai maka endapan yang dihasilkan akan bergerak atau berpindah secara kontinyu menurut arah aliran yang membawanya menjadi angkutan sedimen dari suatu daerah aliran sungai (DAS).

Material sedimen yang terbawa oleh aliran sungai berasal dari berbagai sumber atau tempat, yaitu dari longsor tanah, erosi permukaan tanah dan erosi pada tebing-tebing serta dasar sungai.

Dari beberapa sumber sedimen yang disebutkan di atas, sebagian besar material sedimen yang terangkut sungai berasal dari erosi permukaan tanah pada daerah aliran sungai (DAS), dan hanya sebagian kecil saja yang berasal dari erosi pada tebing-tebing dan dasar sungai.

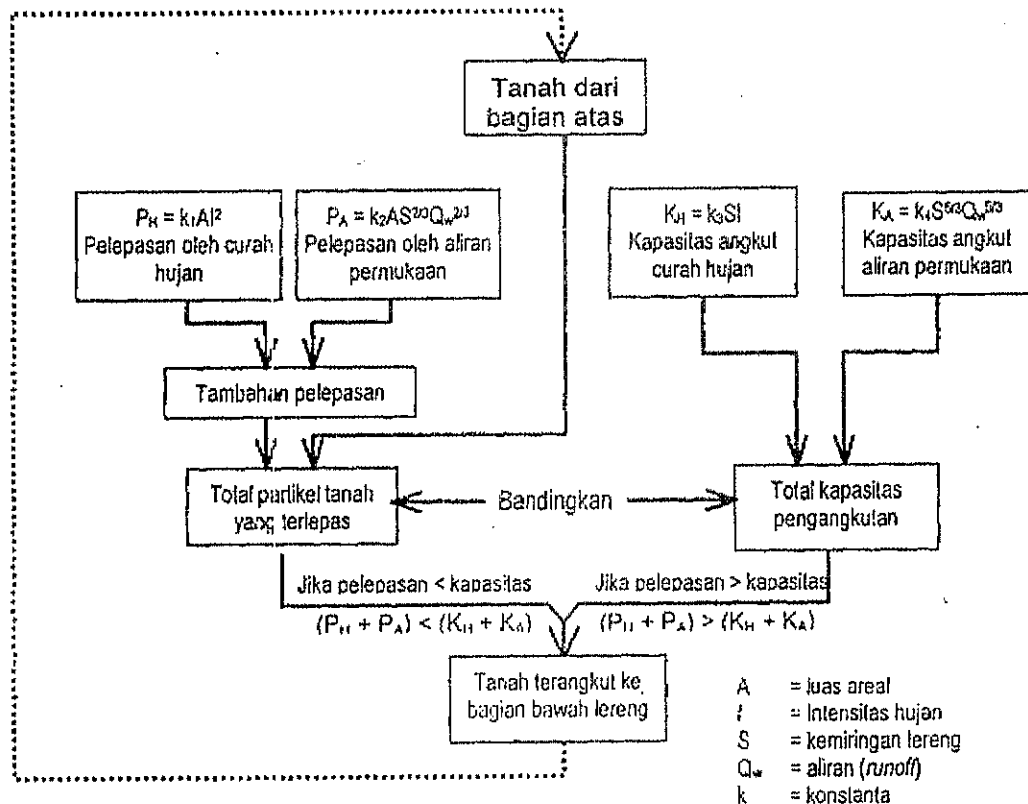
Bilamana debit aliran sungai berkurang atau kemiringan dasar sungai mengecil, kemampuan sungai untuk mengangkut sedimen biasanya berkurang, sehingga sebagian dari material sedimen yang terangkut akan mengendap.

2.1.2. Terjadinya Erosi

Erosi tanah terjadi melalui tiga tahap, yaitu tahap (1) pelepasan partikel tunggal dari massa tanah dan tahap (2) pengangkutan oleh media yang erosif seperti aliran air dan angin. Pada kondisi dimana energi yang tersedia tidak lagi cukup untuk mengangkut partikel, maka akan terjadi tahap (3) yaitu pengendapan, (Suripin,2001).

Berat ringannya erosi tergantung pada kuantitas suplai material yang terlepas dan kapasitas media pengangkut. Jika media pengangkut mempunyai kapasitas lebih besar dari suplai material yang terlepas, proses erosi dibatasi

oleh pelepasan (*detachment limited*). Sebaliknya jika kuantitas suplai material melebihi kapasitas, proses erosi dibatasi oleh kapasitas (*capacity limited*) (Gambar 2.1)



Gambar 2.1
Bagan alir model proses erosi air (Sumber : Suripin, 2001)

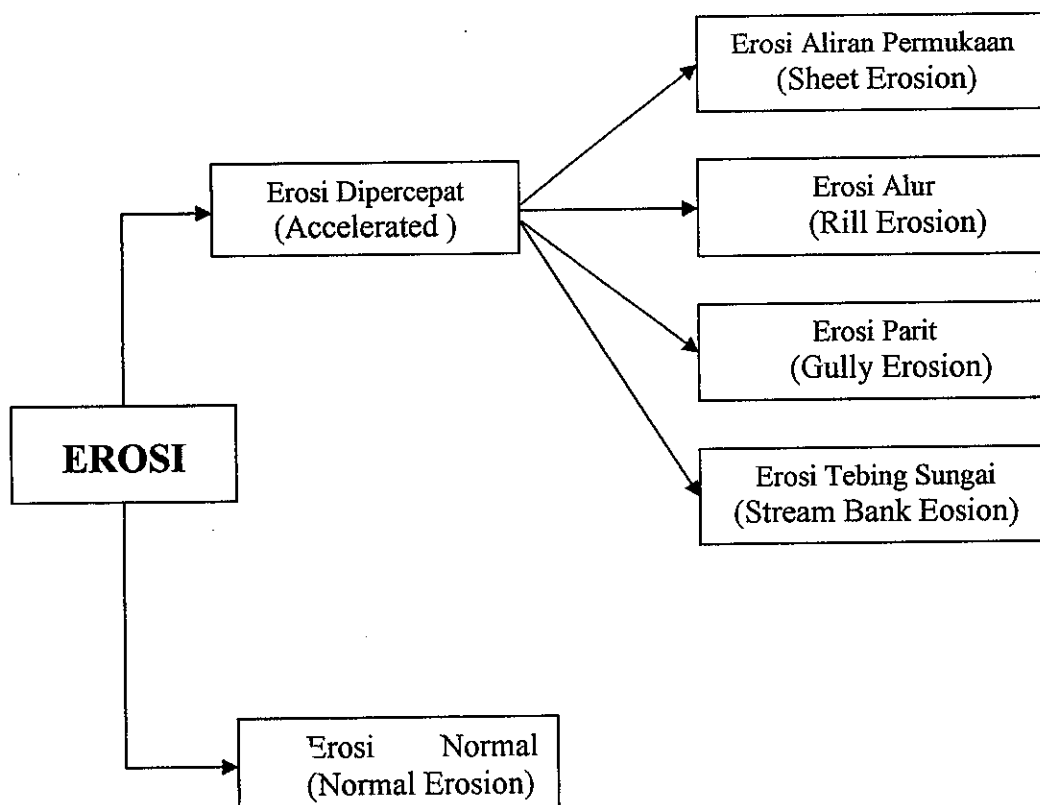
Menurut Baver terjadinya erosi tanah sangat tergantung pada (a) sifat-sifat hujan, (b) kemiringan lereng, (c) vegetasi, dan (d) kemampuan tanah untuk menahan air, serta menginfiltrasikan ke lapisan-lapisan tanah bagian dalam.

Banuwa (2001), dalam penelitiannya menjelaskan, intensitas hujan dan kemiringan lereng sangat nyata mempengaruhi dinamika aliran permukaan dan

erosi. Semakin besar intensitas hujan maka energi tumbuk butir-butir hujan semakin besar, sehingga kemampuan untuk memecah agregat tanah semakin besar. Begitu juga kedalaman aliran (volume hujan) dan kecepatan aliran yang diakibatkan oleh kemiringan lereng juga mempercepat aliran permukaan, sehingga kapasitas transportasinya untuk membawa bahan-bahan tanah semakin besar yang gilirannya juga akan memperbesar erosi.

2.1.3. Bentuk – Bentuk Erosi

Bentuk – bentuk erosi yang dikemukakan oleh Morgan (1985), adalah seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.2.



Gambar 2.2

Bentuk – bentuk Erosi oleh Morgan, dalam Sutedjo dan Kartasapoetra, (1991).

Penjelasan gambar 2.2 :

- Erosi aliran permukaan

Erosi aliran permukaan yaitu terjadi jika intensitas dan/atau lamanya hujan melebihi kapasitas infiltrasi atau kapasitas simpanan air tanah, sehingga air mengalir dan mengerosi permukaan tanah.

- Erosi alur

Erosi alur yaitu terbentuk pada jarak tertentu ke arah bawah lereng sebagai akibat terkonsentrasi aliran permukaan sehingga membentuk alur-alur kecil.

- Erosi parit

Erosi parit yaitu sama dengan erosi alur, sehingga pada mulanya erosi parit dianggap sebagai perkembangan lanjut dari erosi alur.

- Erosi tebing sungai

Erosi tebing sungai adalah erosi yang terjadi akibat pengikisan tebing oleh air yang mengalir dari bagian atas tebing atau oleh terjangan arus air sungai yang kuat terutama pada tikungan.

Hardjowigena (1995), juga menyatakan erosi dibedakan menjadi dua macam yaitu erosi normal (*normal erosion*) dan erosi dipercepat (*accelerated erosion*), erosi normal merupakan erosi yang berjalan sangat lambat dimana jumlah tanah yang tererosi sama dengan jumlah tanah yang terbentuk dan tidak berbahaya karena terjadi dalam keseimbangan alami, sedangkan erosi dipercepat merupakan erosi yang dipercepat, hal ini disebabkan oleh kegiatan manusia yang mengganggu keseimbangan alam, jumlah tanah yang tererosi lebih banyak dari pada tanah yang terbentuk sehingga tanah dipermukaan (*top soil*) menjadi hilang.

Menurut Hardjowigeno (1995), bentuk erosi atau jenis-jenis erosi dipaparkan sebagai berikut:

1. Pelarutan, terjadi pada tanah kapur yang mudah dilarutkan air sehingga didaerah kapur sering ditemukan sungai – sungai di bawah tanah.
2. Erosi percikan (*splash erosion*), curah hujan yang jatuh langsung ketanah dapat melempar butir – butir tanah ke udara sampai beberapa cm tergantung dari diameter butiran hujan dan kondisi lahan daerah yang berlereng tanah yang terlempar tersebut jatuh ke lereng di bawahnya.
3. Erosi lembar (*sheet erosion*), pemindahan tanah terjadi lapis demi lapis mulai dari lapisan yang paling atas. Erosi ini sepiantas tidak terlihat, karena kehilangan lapisan – lapisan tanah seragam, tetapi dapat berbahaya karena pada suatu saat seluruh *top soil* akan habis.
4. Erosi alur (*riil erosion*), erosi ini dimulai dengan genangan – genangan kecil setempat disuatu lereng, maka bila air dalam genangan tersebut mengalir, terbentuklah alur–alur. Alur–alur tersebut mudah dihilangkan dengan pengolahan tanah biasa.
5. Erosi gully (*gully erosion*), erosi ini merupakan lanjutan dari erosi alur, karena alur yang terus – menerus digerus oleh aliran air terutama daerah – daerah yang banyak hujan, maka alur – alur tersebut menjadi dalam dan lebar yang diakibatkan oleh aliran air yang kuat. Alur – alur tersebut tidak dapat hilang dengan pengolahan tanah biasa.
6. Erosi parit (*channel erosion*), parit – parit yang besar sering masih terus mengalir lama setelah hujan berhenti, aliran air dalam parit ini dapat mengikis

dasar parit atau dinding – dinding (tebing) parit di bawah permukaan air, sehingga tebing di atasnya dapat runtuh ke dasar parit.

7. Longsor, tanah longsor terjadi karena gaya gravitasi, biasanya dibagian bawah tanah terdapat lapisan licin dan kedap air (sukar ditembus air) seperti batuan liat. Saat musim hujan tanah di atasnya menjadi jenuh air, sehingga tanah menjadi lebih berat dan akan bergeser kebawah melalui lapisan yang licin tersebut sebagai tanah longsor.

Curah hujan yang lama dengan intensitas yang besar dapat memberikan efek erosi yang besar, dalam kondisi ini tanah yang telah jenuh air dan akan mengalirkan air melalui permukaan tanah.

2.1.4. Faktor – faktor yang Mempengaruhi Erosi

Banyak faktor yang mempengaruhi besarnya erosi, menurut Hardjowigeno(1995), ada 5 faktor yang mempengaruhi besarnya erosi tersebut antara lain: (a) curah hujan, (b) kepekaan tanah, (c) lereng, (d) vegetasi, dan (e) manusia.

a. Curah Hujan

Sifat – sifat hujan yang perlu diperhatikan dalam hal ini adalah butiran hujan, intensitas hujan, jumlah hujan, dan distribusi hujan. Butiran hujan sangat bervariasi, dalam penelitian ini butiran hujan akan diambil diameter 1mm sampai dengan 6 mm. Menurut Arsyad (1982), butiran hujan yang jatuh akan mendapat tahanan udara sehingga butiran akan pecah menjadi lebih kecil, inilah sebabnya mengapa butiran hujan pada umumnya diameternya

tidak lebih dari 7 mm, yang jelas butiran hujan akan berpengaruh terhadap kecepatan jatuhnya, semakin besar diameter butiran hujan berarti kecepatan jatuh butiran meningkat. Besarnya curah hujan adalah volume air yang jatuh pada suatu areal tertentu, oleh karena itu besarnya curah hujan dapat dinyatakan dalam tinggi air yaitu milimeter (mm).

Intensitas hujan akan menunjukkan tingginya curah hujan per satuan waktu, yang mana dinyatakan dalam mm/jam atau cm/jam. Jumlah hujan akan menunjukkan banyaknya air hujan selama terjadi hujan dalam kurun waktu tertentu, sedangkan distribusi hujan akan menunjukkan penyebaran waktu terjadinya hujan. Sifat-sifat hujan tersebut yang besar pengaruhnya terhadap erosi adalah intensitas hujan. Menurut Arsyad (1982), intensitas hujan dapat diklasifikasikan seperti Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Klasifikasi Intensitas Hujan

Intensitas (mm/jam)	Klasifikasi
0 - 5	Sangat kecil
6 - 10	Kecil
11 - 25	Sedang
26 - 50	Agak besar
51 - 75	Besar
> 75	Sangat besar

Sedikit disinggung di muka, bahwa tanah yang tererosi pada umumnya tanah dihancurkan lebih dahulu sampai butir – butir tanah terpisah satu sama lain. Penghancuran tanah ini disamping menjadi mudah untuk diangkut ke tempat lain, juga partikel tanah akan menyumbat pori - pori tanah

dan berakibat resapan air kedalam tanah akan berkurang. Akibatnya aliran permukaan menjadi lebih besar dan kemungkinan terjadi erosi akan meningkat. Pada umumnya erosi terbesar akan terjadi apabila volume jumlah hujan yang jatuh besar dan dengan intensitas yang besar pula.

b. Kepekaan Tanah

Bennet, dalam Arsyad (1982), adalah merupakan orang pertama yang mengemukakan adanya perbedaan kepekaan untuk tanah tererosi, dari berbagai jenis tanah yang berbeda. Kepekaan erosi tanah disebut "*soil erodibility*". Middleton (1930) merupakan orang pertama yang menyajikan indek erodibilitas tanah berdasarkan data analisa laboratorium. Tanah di lapangan dibedakan menjadi tanah peka terhadap erosi dan tanah tahan terhadap erosi, sifat – sifat tanah yang mempengaruhi kepekaan tanah terhadap erosi antara lain: tekstur tanah, bentuk dan kemantapan struktur tanah, kapasitas infiltrasi atau permeabilitas tanah, dan kandungan bahan organik.

Tekstur tanah, tanah dengan tekstur kasar akan tahan terhadap erosi karena butiran tanahnya besar sehingga memerlukan tenaga yang besar pula dalam pengangkutannya. Tanah dengan tekstur halus seperti liat juga tahan terhadap erosi karena daya kohesinya kuat, sehingga gumpalannya sukar dihancurkan. Sedangkan tekstur tanah yang paling peka terhadap erosi adalah debu (0,002-0.05mm) dan pasir yang sangat halus (0.05-0.1mm), makin tinggi kandungan debu dalam tanah maka makin peka tanah itu terhadap erosi.

Bentuk struktur tanah yang membulat seperti : granuler, remah, dan gumpal membulat akan menghasilkan tanah dengan porositas tinggi sehingga

air mudah meresap ke dalam tanah dan aliran permukaan menjadi kecil. Untuk struktur tanah yang tidak mantap maka akan mudah hancur menjadi butiran halus jika terkena pukulan air hujan, yang akhirnya menyumbat pori – pori tanah, akibatnya aliran permukaan meningkat, sehingga erosi juga meningkat.

Kapasitas infiltrasi tanah yang besar, menunjukkan air mudah meresap ke dalam tanah sehingga aliran permukaan kecil, akibatnya erosi juga kecil. Kapasitas infiltrasi tanah ini dipengaruhi oleh porositas dan kemantapan struktur tanahnya. Sedang kandungan bahan organik tanah akan menentukan kepekaan tanah terhadap erosi, Tanah yang cukup mengandung bahan organik umumnya struktur tanahnya menjadi mantap, sehingga tahan terhadap erosi.

Bahan organik pada umumnya banyak ditemukan di lapisan tanah bagian atas (*top soil*). Menurut Suripin (2001), jumlah bahan organik ini tidak besar kurang lebih berkisar 3% sampai dengan 5%, namun hal ini sangat memegang peranan penting dalam menentukan sifat – sifat tanah.

Coster, dalam Arsyad (1982), dalam penelitiannya di berbagai tempat di pulau Jawa menunjukkan bahwa tanah regosol dari bahan volkan dan tanah grumosol dibandingkan dengan tanah andosol atau latosol yang terbentuk dari batuan volkan. Penetapan kepekaan erosi berbagai tanah secara nisbi dari hasil pengamatan lapangan adalah sulit. Suatu tanah yang mempunyai kepekaan rendah mungkin akan mengalami erosi yang berat jika tanah tersebut terletak pada lereng yang curam dan panjang serta curah hujan dengan intensitas yang selalu tinggi. Sebaliknya suatu tanah yang mempunyai kepekaan erosi yang tinggi, mungkin memperlihatkan gejala erosi yang ringan atau tidak

memperlihatkan adanya erosi jika terdapat pada lereng yang landai, dengan tanaman penutup tanah yang baik dan hujan yang tidak berintensitas tinggi.

Menurut Hardjowigeno (1995), makin tinggi nilai faktor erodibilitas tanah (K), tanah makin peka terhadap erosi. Di bawah disajikan tabel nilai faktor erodibilitas tanah (K) untuk beberapa jenis tanah di Indonesia.

Tabel 2.2 Nilai Erodibilitas (K) untuk Beberapa Jenis Tanah di Indonesia

No	Jenis tanah	Nilai K
1	Latosol (Oxic sub group)	0,02
2	Mediteran merah kuning (Alfisol)	0,05
3	Regosol (inceptisol, entisol)	0,11
4	Grimosol (vertisol)	0,24

c. Lereng

Lereng yang semakin curam dan semakin panjang akan meningkatkan besarnya erosi, jika lereng semakin curam maka kecepatan aliran permukaan meningkat sehingga daya angkutnya juga meningkat. Lereng yang semakin panjang, berarti volume air yang mengalir semakin besar. Sehingga kecepatan aliran juga semakin besar dan benda yang bisa diangkut akan lebih banyak.

Tabel 2.3 di bawah menunjukkan besarnya erosi dari kemiringan tanah yang ada dengan curah hujan 500 mm dan lamanya 164 jam.

Tabel 2.3 Pengaruh Kemiringan Tanah Terhadap Erosi (Curah hujan 500 mm, lamanya 164 jam)

Kemiringan tanah (%)	Erosi ekuivalen (ton/ha)	Pertambahan Erosi (%)
5	33,25	0,00
10	100,25	201,5
15	167,75	67,33
20	228,25	36,06

d. Vegetasi

Pengaruh vegetasi terhadap erosi adalah menghalangi air hujan agar tidak langsung jatuh di permukaan tanah sehingga kekuatan untuk menghancurkan tanah berkurang, menghambat aliran permukaan dan memperbanyak air meresap ke dalam tanah.

e. Manusia

Kepekaan tanah terhadap erosi dapat diubah oleh manusia menjadi lebih baik atau menjadi lebih buruk, pengaruh baik akan terjadi apabila manusia melakukan pembuatan teras – teras pada tanah yang berlereng curam karena bisa mengurangi erosi, sebaliknya perbuatan manusia yang melakukan penggundulan hutan di daerah pegunungan merupakan hal yang tidak terpuji, karena bisa menyebabkan erosi.

Tanah yang tanpa adanya konservasi disimbulkan dengan nilai $P = 1,0$ (petak baku). Dalam hal ini, manusia berpengaruh tidak langsung terhadap erosi, hal ini meliputi tindakan manusia dalam cara mengelola pemanfaatan tanah, baik lahan pertanian maupun perkebunan. Penggunaan tanah yang tidak bijak akan mengganggu keseimbangan alam dalam faktor mempercepat terjadinya erosi. Besarnya pengaruh manusia ditentukan oleh kegiatan manusia seperti dalam pengolahan tanah, tanaman, tindakan pengawetan atau konservasi tanah.

2.1.5 Pendugaan Erosi

Persamaan Umum Kehilangan Tanah (PUKT) atau USLE dikembangkan di USDA-SCS (*United State Departement of Agriculture-Soil Conservation*

Services) bekerja sama dengan Universitas Purdue oleh Wischmeier and Smith, 1965. Berdasarkan analisis statistik terhadap lebih dari 10.000 tahun data erosi dan aliran permukaan, parameter fisik dan pengelolaan dikelompokkan menjadi lima variabel utama.

Para ahli dalam menelaah dan memperhitungkan terjadinya erosi selalu memanfaatkan lima faktor, *Soil Conservation Service* USDA (*United States Department of Agriculture*) dan memperhitungkan kelima faktor tersebut dalam menentukan metode pendugaan besar erosi tanah, dengan rumus USLE (*Universal Soil Loss Equation*) yang dikemukakan oleh Wischmeier dan Smith dalam Suresh (1997), dimana rumus ini banyak digunakan di negara – negara lain termasuk Indonesia. Rumus tersebut adalah :

$$A = R . K . LS . C . P \dots\dots\dots(2.1)$$

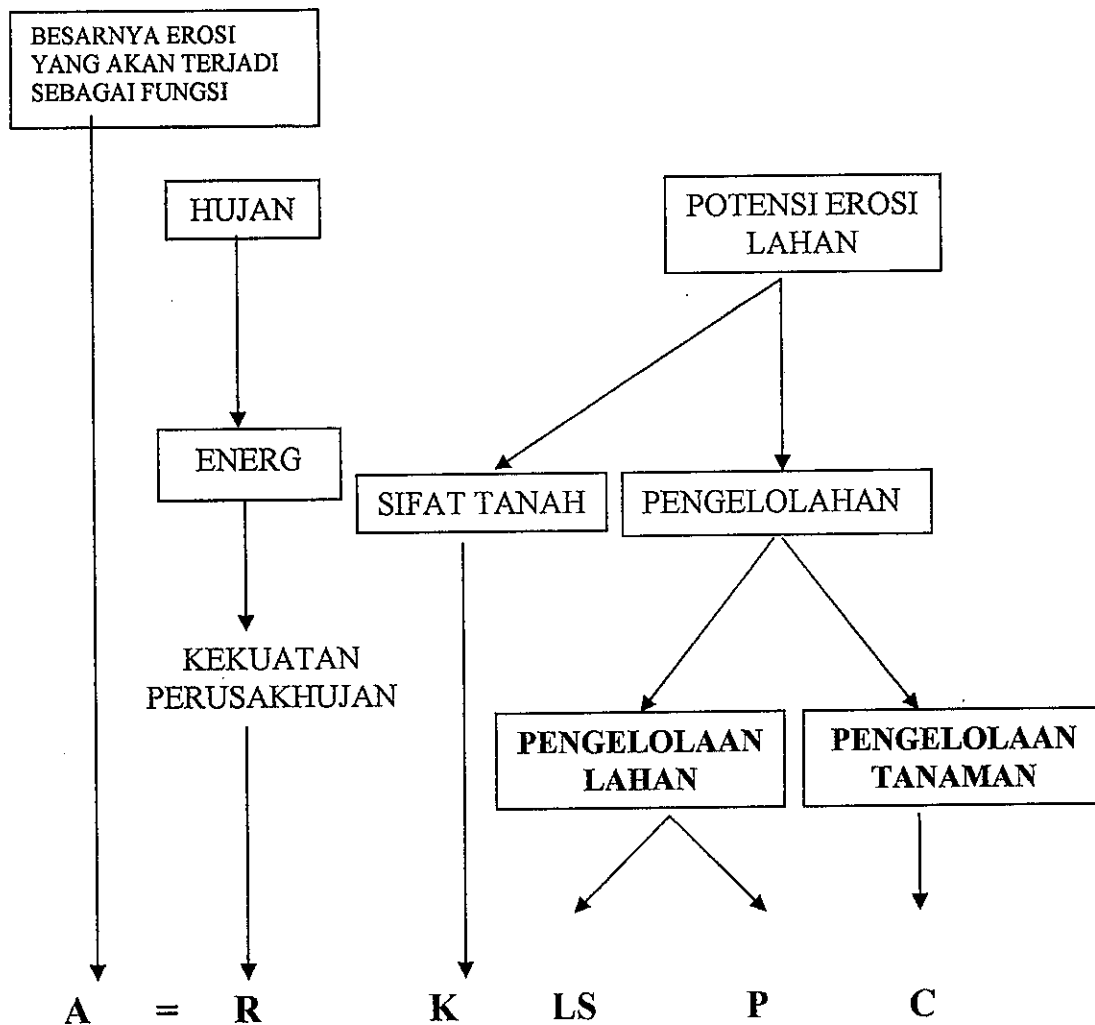
Keterangan :

- A = Banyaknya tanah tererosi per satuan luas per satuan waktu, yang dinyatakan dalam praktek dipakai satuan ton/ha/tahun.
- R = Faktor erosivitas hujan dan aliran permukaan, yaitu jumlah satuan indeks erosi hujan, yang merupakan perkalian antara energi hujan total (E) dan intensitas hujan maksimum 30 menit (I_{30}), tahunan dalam KJ/ha).
- K = Faktor erodibilitas tanah, yaitu laju erosi per indek erosivitas hujan (R) dalam satuan ton/KJ.
- LS = Faktor panjang – kemiringan lereng, yaitu nisbah antara besarnya erosi per indeks erosi dari suatu lahan dengan panjang dan kemiringan lahan tertentu terhadap besarnya erosi dari plot lahan dengan panjang 22,13 m dan kemiringan 9% dibawah keadaan yang identik, tidak berdimensi.

C = Faktor tanaman penutup lahan dan manajemen tanaman, yaitu nisbah antara besarnya erosi dari suatu lahan dengan penutup tanaman dan manajemen tanaman tertentu terhadap lahan yang identik tanpa tanaman, tidak berdimensi.

P = Faktor tindakan konservasi praktis, yaitu nisbah antara besarnya nilai lahan dengan tindakan konservasi praktis dengan besarnya erosi dari tanah yang diolah searah lereng dalam keadaan yang identik, tidak berdimensi.

Model USLE persamaan tersebut diatas dapat digambarkan secara skematis seperti pada Gambar 2.3. Adapun penjelasan parameter USLE adalah sebagai berikut:



Gambar 2.3. Penjelasan Parameter Persamaan USLE (Suripin,2001)

2.1.5.1. Faktor Erosivitas hujan,(R)

Di daerah beriklim basah faktor yang mempengaruhi erosi adalah hujan. Besarnya curah hujan, intensitas hujan, dan distribusi hujan menentukan kekuatan dispersi hujan terhadap tanah, jumlah dan kecepatan aliran permukaan dan kerusakan erosi.

Di muka telah dinyatakan bahwa, besarnya curah hujan adalah volume air yang jatuh pada suatu areal tertentu, dan dapat dinyatakan dalam m^3 /satuan luas atau secara umum dinyatakan dalam satuan tinggi air yaitu milimeter (mm).

Indeks daya erosi (erosivitas) curah hujan (R) merupakan rata-rata daya erosi curah hujan. Menurut Suresh (1997) nilai R dinyatakan sebagai berikut:

$$R = E_k \times h_{\text{Total}} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

R = Erosivitas KJ/ha, J/m^2 .

E_k = Energi kinetik KJ/ha/mm, $J/m^2/mm$.

h_{Total} = total kedalaman air hujan (mm)

Energi kinetik hujan merupakan faktor yang paling utama dalam erosi akibat air hujan. Energi kinetik hujan adalah nilai energi total yang terjadi akibat transformasi jatuh butiran hujan menjadi energi mekanik yang memberikan nilai pada suatu intensitas tertentu dan merupakan estimasi dari distribusi ukuran butir hujan untuk intensitas tersebut.

Energi kinetik hujan dapat menyebabkan hancurnya agregat permukaan tanah sehingga mempermudah pengangkutan bila terjadi aliran permukaan. Hudson (1985), menyatakan bahwa energi kinetik dapat dihitung dengan menggunakan rumus dasar sebagai berikut :

$$E_k = \frac{1}{2} m v^2 \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

E_k = energi kinetik ($J/m^2/mm$)

m = massa butiran hujan (kg)

v = kecepatan jatuh butiran hujan (m/detik)

Bertambahnya jumlah butiran hujan akan diikuti dengan peningkatan energi kinetik hujan. Karena kejadian hujan pada *rainfall simulator* terdapat berbagai ukuran, maka energi kinetik dihitung juga dengan persamaan 2.4 (*Instruction manual*,1998).

$$E_k = \Sigma 11,87 + 8,73 \log I \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan :

E_k = energi kinetik (joule/m²/mm)

I = Intensitas hujan (mm/jam).

Wischmeier dan Smith (1978), menyatakan bahwa dari analisis regresi ternyata besarnya erosi pada tanah tanpa tanaman berkorelasi dengan hasil kali dua macam sifat hujan, yaitu total energi kinetik (E_k) dan intensitas hujan maksimum selama 30 menit (I_{30}), oleh sebab itu hasil kali kedua sifat hujan tersebut diambilnya untuk menilai erosivitas hujan, yang kemudian disebut indeks erosivitas hujan, EI_{30} . Begitu juga Arsyad (1982), menyimpulkan bahwa, kemampuan hujan untuk menimbulkan atau menyebabkan erosi itu dinamai daya erosi hujan atau erosivitas hujan. Dalam hal ini daya erosi hujan ditentukan oleh intensitas hujan, diameter butir-butir hujan, kecepatan jatuh butir-butir hujan dan kecepatan angin.

Arsyad (1982), berpendapat bahwa kemampuan hujan di daerah tropika untuk menimbulkan erosi lebih besar dari pada hujan di daerah beriklim sedang.

2.1.5.2 Faktor Erodibilitas Tanah, (K)

Arsyad (1982), mendefinisikan faktor kepekaan erosi tanah adalah sebagai laju erosi per satuan indek erosi untuk suatu tanah dalam keadaan

standar. Keadaan standar yang dimaksud adalah tanah yang terbuka tidak ada vegetasi sama sekali, pada lereng 9% dengan bentuk lereng yang rata, dengan panjang lereng 72,6 kaki atau 22,6 m. Nilai faktor kepekaan erosi tanah yang ditandai dengan huruf K, dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$K = \frac{A}{EI_{30}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

K = nilai faktor kepekaan erosi

A = besarnya erosi dari tanah dalam keadaan standar (ton/ha)

EI_{30} = indeks erosi hujan KJ/ha, J/m^2 .

Menurut Suresh (2000), nilai K dinyatakan dalam persamaan:

$$K = \frac{A}{LS \times \Sigma EI} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

A = besarnya laju kehilangan tanah (ton/ha)

LS = factor panjang dan kemiringan lereng (%)

ΣEI = total erosivitas hujan KJ/ha, J/m^2 .

Makin besar nilai K, makin besar pula tingkat kepekaan tanah tersebut terhadap erosi.

Suripin (2001), menyatakan bahwa erodibilitas tanah merupakan sifat tanah yang dinamis, yang bervariasi terhadap waktu, kelengasan tanah, suhu tanah, pengolahan tanah, gangguan manusia atau binatang, serta faktor biologi dan kimia. Faktor yang mempunyai pengaruh besar terhadap variasi

erodibilitas tanah tersebut adalah suhu tanah, tekstur tanah, dan kelengasan tanah.

Menurut Bayer (1976), faktor terpenting yang mempengaruhi kepekaan erosi tanah adalah sifat fisik tanah. Dua sifat fisik tanah dalam mempengaruhi erosi dan air limpasan adalah: (1) kapasitas infiltrasi dan (2) daya tahan tanah terhadap dispersi. Untuk kepentingan praktis maka nilai K dapat diestimasi dengan nomografi yang dikembangkan oleh Wischmeier, et.al.dalam Morgan (1985). Sebagaimana diperlihatkan dalam Gambar 2 - 4, atau dengan menggunakan rumus:

$$K = [2,713 \times 10^{-4} (12-O) M^{1,14} + 3,25 (S-2) + 2, \frac{(p-3)}{100}] \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan :

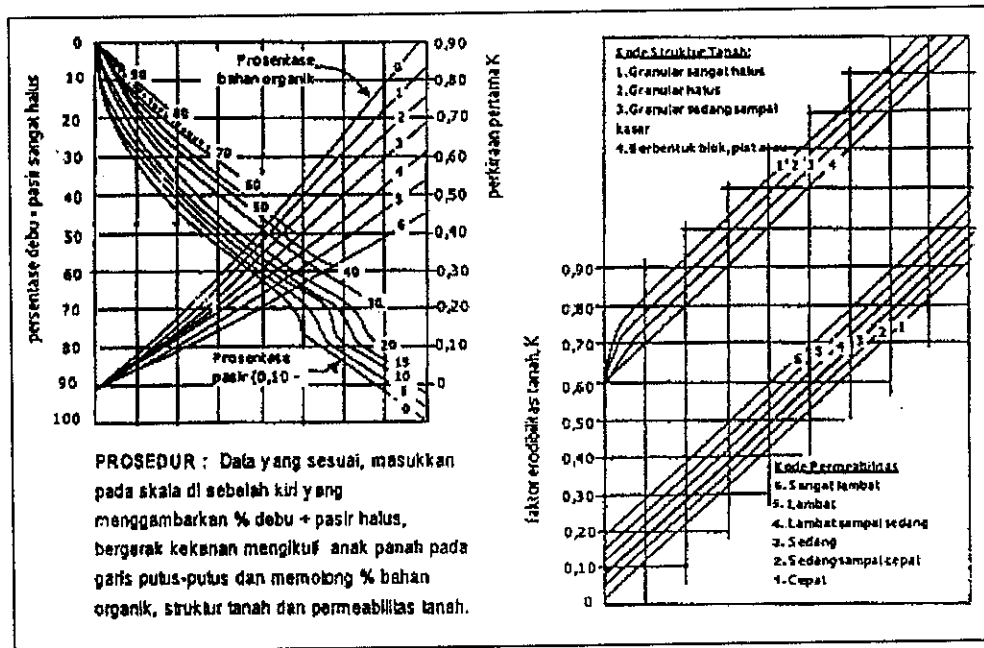
K = Faktor erodibilitas tanah,

O = Prosentase bahan organik (%).

M = Klas tekstur tanah,

S = Kode struktur tanah yang digunakan dalam klasifikasi tanah (mm).

P = Klas permeabilitas tanah (cm/jam).



Gambar 2.4 Nomograf erodibilitas tanah (K) untuk satuan metrik
(Sumber: Wischmeier dalam Morgan, 1985)

Dalam mendapatkan nilai faktor erodibilitas tanah (K), perlu besarnya prosentase debu + pasir sangat halus, Prosentase pasir, prosentase bahan organik, mengetahui struktur tanah dan mengetahui angka permeabilitas tanah, semua ini bisa dilakukan pengujian di laboratorium. Dalam hal ini debu mempunyai ukuran diameter butiran (0,002 – 0,05)mm, pasir sangat halus mempunyai ukuran butiran (0,05 – 0,1)mm, Pasir mempunyai ukuran butiran (0,1–2,0) mm. Untuk struktur tanah dan permeabilitas diperlukan analisa lebih lanjut untuk mendapatkan kode, sesuai dengan jenis tanah yang digunakan dalam pengujian.

Tabel 2.4 Kode Struktur Tanah (S) untuk Menghitung Nilai K Dengan Nomograf

Kelas struktur tanah (ukuran diameter)	Kode
Granuler sangat halus (< 1mm)	1
Granuler halus (1 sampai 2 mm)	2
Granuler sedang sampai kasar (2 sampai 10 mm)	3
Berbentuk blok, blocky, liat, pasif	4

Tabel 2.5 Kode Permeabilitas Tanah (P) untuk Menghitung nilai K Dengan Nomograf

Kelas permeabilitas	Kecepatan (cm/jam)	Kode
Sangat lambat	< 0,5	1
Lambat	0,5 – 2,0	2
Lambat sampai sedang	2,0 – 6,3	3
Sedang	6,3 – 12,7	4
Sedang sampai cepat	12,7 – 25,4	5
Cepat	> 25.4	6

Tabel 2.6 Nilai M untuk Beberapa Tektur Tanah

Kelas Tektur Tanah	Nilai M
Lempung berat	210
Lempung sedang	750
Lempung pasiran	1213
Lempung ringan	1685
Geluh lempung	2160
Pasir lempung liatan	830
Geluh lempungan	2830
Pasir	3035
Pasir geluhan	1245
Geluh lempungan	3770
Geluh pasiran	4005
Geluh	1390
Geluh liatan	6330
Liat	8245
Campuran merata	4000

2.1.5.3. Faktor Panjang dan Kemiringan Lereng,(LS)

Faktor LS, merupakan kombinasi antara faktor panjang lereng (L) dan kemiringan lereng (S) yang mana merupakan nisbah besarnya erosi dari suatu lereng dengan panjang dan kemiringan tertentu terhadap besarnya erosi dari plot

lahan dengan panjang 22,13 m dan kemiringan 9%. Nilai LS untuk sembarang panjang dan kemiringan lereng dapat dihitung dengan persamaan yang dipaparkan oleh Wischmeier dan Smith, dalam Morgan, (1985).berikut ini:

$$LS = [(L/22)^Z (0,065 + 0,0456S + 0,006541S^2)] \dots\dots\dots(2.8)$$

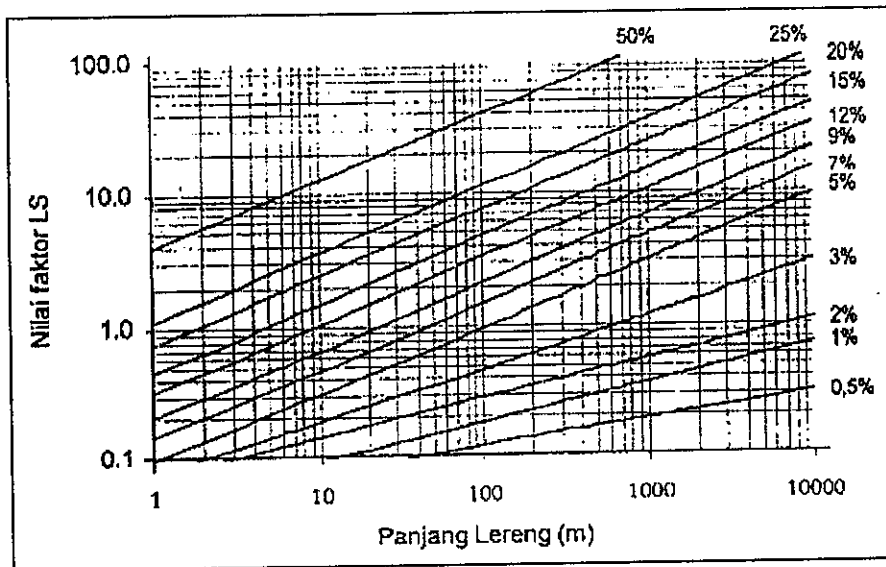
Keterangan :

- L = Panjang lereng (m)
- S = Kemiringan lereng (derajat)
- Z = Konstanta, besarnya bervariasi tergantung besarnya S
- Z = 0,5 jika S > 5%; Z = 0,4 jika 5% > S > 3%;
- Z = 0,3% jika 3% > S > 1%; dan Z = 0,2 jika S , 1%.

Jika S dinyatakan dalam derajat, maka persamaan yang digunakan adalah:

$$LS = (L/22)^Z (65,41 \text{ Sin}^2 S + 4,56 \text{ Sin S} + 0,065) \dots\dots\dots(2.9)$$

Nilai LS juga dapat diperoleh dengan menggunakan nomograf yang diperlihatkan dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5. Nomograf Faktor Panjang-Kemiringan Lereng (LS)

2.1.5.4. Faktor Tanaman Penutup dan Manajemen Tanaman, (C)

Faktor tanaman merupakan rasio dari tanah yang hilang pada tanaman tertentu dengan tanah gundul (tanpa adanya tanaman). Pada tanah gundul (petak baku) nilai C = 1,0. Tanah yang terbuka tanpa adanya vegetasi akan banyak menimbulkan erosi sedang tanah yang tertutup rapat oleh tanaman penutup tanah yang baik, seperti rumput dan lain sebagainya akan terhindar dari erosi.

Nilai faktor C untuk berbagai tanaman dan pengelolaan tanaman yang bersumber dari berbagai penelitian, disajikan pada Tabel berikut ini.

Tabel 2.7 Nilai Faktor C (pengelolaan tanaman)

No.	Macam penggunaan lahan	Nilai faktor C
1	Tanah terbuka tanpa tanaman	1,0
2	Hutan atau semak belukar	0,001
3	Savannah dan prairie dalam kondisi baik	0,01
4	Savannah dan prairie yang rusak untuk penggembalaan	0,1
5	Sawah	0,01
6	Tegalan tidak dispesifikasi	0,7
7	Ubi kayu	0,8
8	Jagung	0,7
9	Kedelai	0,399
10	Kentang	0,4
11	Kacang tanah	0,2
12	Padi gogo	0,561
13	Tebu	0,2
14	Pisang	0,6
15	Akar wangi (sereh wangi)	0,4
16	Rumput bede (tahun pertama)	0,287
17	Rumput bede (tahun kedua)	0,002
18	7Kopi dengan penutup tanah buruk	0,2
19	Talas	0,85
20	Kebun Campuran:	
	Kerapatan tinggi	0,1
	Kerapatan sedang	0,2
	Kerapatan rendah	0,5
21	Perladangan	0,4

No.	Macam penggunaan lahan	Nilai faktor C
22	Hutan alam:	
	Seresah banyak	0,001
	seresah sedikit	0,005
23	Hutan produksi:	
	Tebang habis	0,5
	Tebang pilih	0,2
24	Semak belukar, padang rumput	0,3
25	Ubi kayu + kedelai	0,181
26	Ubi kayu + kacang tanah	0,195
27	Padi – sorghum	0,345
28	Padai – kedelai	0,417
29	Kacang tanah - gude	0,495
30	Kacang tanah + kacang tunggak	0,571
31	Kacang tanah + mulsa jerami 4t/ha	0,049
32	Padi - mulsa jerami 4t/ha	0,096
33	Kacang tanah - mulsa jagung 4t/ha	0,128
34	Kacang tanah - mulsa Crotalaria 3t/ha	0,136
35	Kacang tanah - mulsa kacang tunggak	0,259
36	Kacang tanah mulsa jerami 2t/ha	0,377
37	Padi - mulsa Crotalaria 3t/ha	0,387
38	Pola tanaman tumpang gilir- mulsa jerami	0,079
39	Pola tanaman berurutan + mulsa sisa tanaman	0,357
40	Alang - alang murni subur	0,001
41	Padang rumput (stepa) dan savana	0,001
42	Rumput Brachiaria	0,002

Sumber : Arsyad dalam Suripin (2001)

2.1.5.5. Faktor Konservasi Praktis, (P)

Nilai faktor tindakan manusia dalam konservasi tanah (P) adalah nisbah antara besarnya erosi dari lahan dengan suatu tindakan konservasi tertentu terhadap besarnya erosi pada lahan tanpa tindakan konservasi, (Suripin, 2001). Nilai P adalah 1,0 yang diberikan untuk lahan tanpa adanya tindakan pengendalian erosi.

Tabel 2.8 Nilai P Untuk Berbagai Tindakan Konservasi Tanah

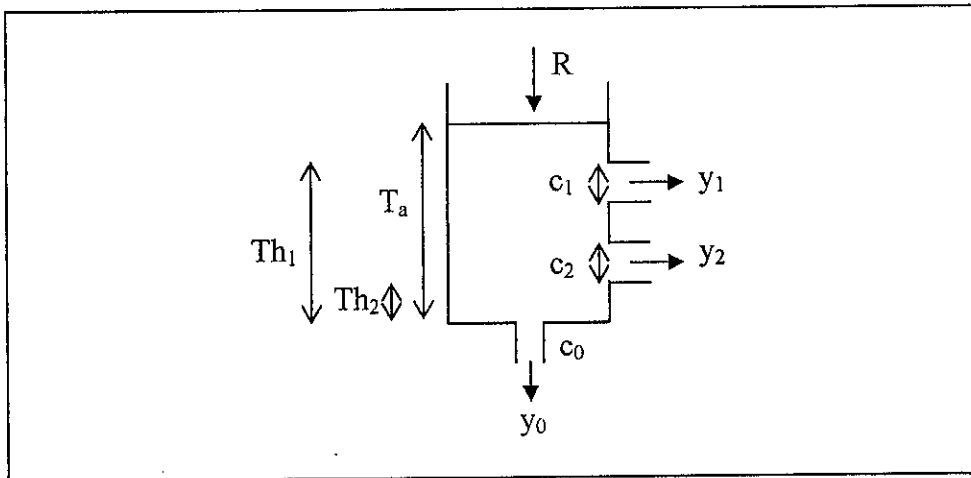
No.	Tindakan khusus konservasi tanah		Nilai P
1	Tanpa tindakan pengendalian erosi		1,00
2	Teras bangku	Konstruksi baik	0,04
		Konstruksi sedang	0,15
		Konstruksi kurang baik	0,35
		Teras tradisional	0,40
3	Strip tanaman	Rumput Bahia	0,40
		Clotaria	0,64
		Dengan kontur	0,20
4	Pengolahan tanah dan Penanaman menurut garis kontur	Kemiringan 0 - 8%	0,50
		Kemiringan 8 - 20%	0,75
		Kemiringan > 20%	0,90

Sumber : Arsyad, Seto, dalam Suripin (2001)

2.2. Dasar Teori Model Tank

Dalam analisis debit, air yang keluar dari lubang samping tank diumpamakan sebagai aliran permukaan, dan air yang keluar dari lobang bawah diumpamakan sebagai infiltrasi yang merupakan base flow. Namun dalam penelitian yang akan dilaksanakan ini, limpasan yang keluar dari lobang samping tank diumpamakan sebagai limpasan/aliran permukaan (*surface flow*) dan limpasan yang keluar dari lubang dasar tank diumpamakan sebagai infiltrasi di cekungan-cekungan atau tertahan oleh rintangan-rintangan baik yang alami maupun buatan.

Untuk analisis *angkutan* sedimen melayang, struktur model dalam model tank dapat dilihat pada Gambar 2.6, sedangkan rumusan model angkutan sedimen melayang adalah sebagai berikut :



Gambar 2.6. Struktur model tank untuk angkutan sedimen melayang

$$y_1 = [(Ta+R) - Th_1] * C_1 \quad (2.10)$$

$$y_2 = [(Ta+R) - Th_2] * C_2 \quad (2.11)$$

$$y_0 = [(Ta+R) * C_0] \quad (2.12)$$

di mana :

y_1 = limpasan angkutan sedimen melayang permukaan di tinggi lobang atas (mg/lt)

y_2 = limpasan / aliran permukaan

y_0 = limpasan angkutan sedimen melayang yang mengendap di cekungan-cekungan (mg/lt)

R = data curah hujan

T_a = tinggi tampungan pada waktu "t" (mm)

Th_1 = tinggi lobang atas (mm)

Th_2 = tinggi lobang bawah (mm)

c_1 = koefisien lobang atas sisi kanan tank

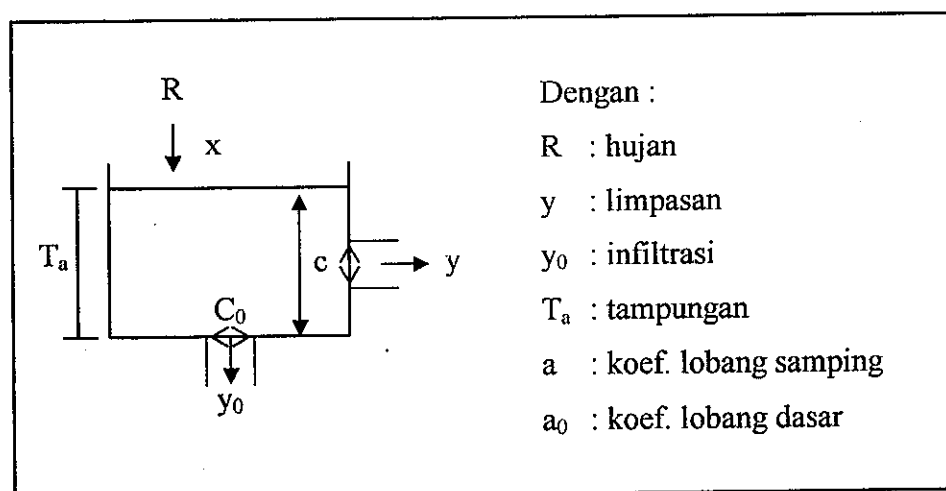
c_2 = koefisien lobang bawah sisi kanan tank

c_0 = koefisien lobang bawah tank

2.3. Model

a. Mekanisme Model Tank

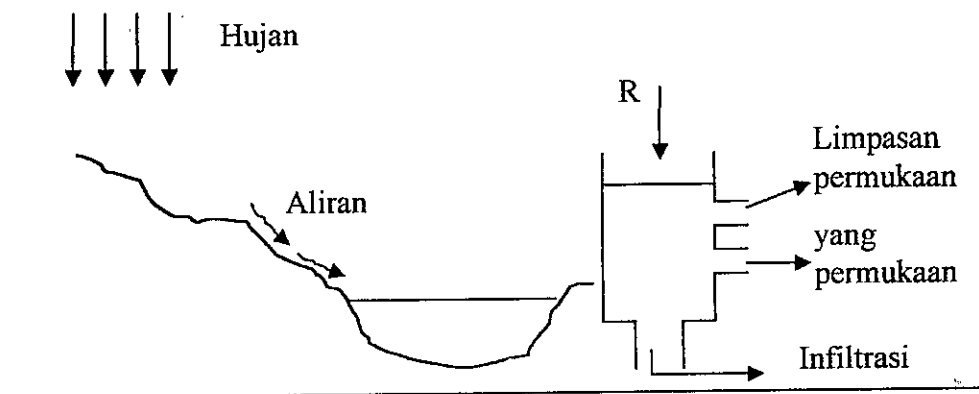
Pemilihan dasar metode model tank adalah untuk meniru (simulasi) daerah aliran sungai dengan menggantinya menjadi sejumlah tampungan yang digambarkan sebagai sederet tank. Model tersebut dikembangkan oleh DR.M Sugawara dari Jepang. Model tank merupakan model hidrologi yang dibuat untuk keperluan simulasi dari data hujan menjadi limpasan/aliran di sungai pada DAS yang ditinjau. Tank tersebut mempunyai saluran pengeluaran di sisi bagian kanan yang menggambarkan aliran limpasan air hujan sedangkan saluran di bagian bawah menggambarkan infiltrasi. Beberapa tank serupa dapat disusun secara paralel atau seri untuk menggambarkan suatu daerah aliran yang lebih besar disesuaikan dengan karakteristik DAS terutama struktur geologinya.



Gambar 2.7 Model Tank

Model tank dalam penelitian ini digambarkan sebagai suatu mekanisme limpasan angkutan sedimen melayang atau konsentrasi sedimen melayang di daerah tangkapan yang akan disubstitusikan dengan rangkaian 1 buah tank (lihat Gambar 2.7).

Hujan tersebut disamping membasahi lapisan permukaan, juga menghasilkan partikel-partikel tanah akibat hempasan percikan air hujan dan membawa partikel-partikel tanah yang disebut limpasan angkutan sedimen melayang permukaan. Bila air yang terkandung pada permukaan dasar telah mencapai optimum ditambah dengan kemiringan lereng lebih besar, maka air tersebut akan menambah limpasan permukaan yang berupa limpasan angkutan sedimen melayang melalui outlet-outlet di sisi kanan tank. Sedangkan saluran di bagian bawah dari tank menggambarkan infiltrasi. (lihat Gambar 2.8)



Gambar 2.8. Mekanisme model tank limpasan angkutan sedimen melayang

b. Definisi Sistem

Definisi sistem yang dapat dibaca dalam pustaka jumlahnya amat banyak. Secara intuisi sebuah sistem dapat difikirkan sebagai kumpulan komponen-

komponen yang saling mempengaruhi dan mendapat berbagai masukan untuk menghasilkan keluaran. Chow, 1964 (dalam Sudjarwadi, 1993) mendefinisikan sistem sebagai kumpulan bagian-bagian yang terdiri dari benda atau konsep yang disatukan dengan keteraturan saling hubungan atau saling ketergantungan.

Dalam konteks hidrologi perkotaan, dipilih definisi sistem yang dikemukakan Dooge, 1976 (dalam Sudjarwadi, 1993) yaitu sistem adalah, “sembarang struktur, alat, kerangka, atau prosedur, nyata atau abstrak, yang membentuk saling berhubungan pada suatu saat, antara masukan, sebab, atau stimulan, berasal dari benda, enersi, atau informasi, dengan keluaran, akibat, atau tanggapan, berupa informasi.

Satu istilah dalam pendekatan sistem yang terkenal adalah model. Model adalah representasi sistem dengan penyederhanaan, digunakan untuk mensimulasikan beberapa sifat penting sistem namun bukan keseluruhan sifat sistem.

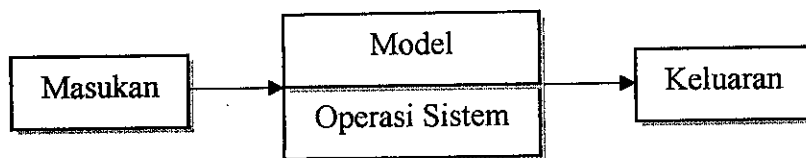
a. Alasan dan Tujuan Pendekatan Sistem

Kebutuhan pendekatan sistem adalah suatu hal yang mendorong adanya kenyataan bahwa beberapa persoalan memiliki kompleksitas (kerumitan) fisik, adanya keyakinan bahwa karakteristik sistem dapat didekati dengan beberapa parameter pokok. Dengan adanya beberapa parameter pokok, maka parameter-parameter berpengaruh kecil dapat diabaikan, dan agihan ruang secara rinci dari parameter pokok dapat juga diabaikan.

Pendekatan sistem mempunyai tujuan spesifik yaitu membangun hubungan masukan-keluaran, yang selanjutnya dapat dimanfaatkan untuk

rekonstruksi kejadian masa lalu untuk perkiraan kejadian yang akan datang. Dalam konteks ini yang menjadi perhatian utama bukanlah bentuk sistem melainkan operasi sistem yang sedang digunakan. Contoh bentuk sistem yaitu komponen, hubungan antar komponen, perilaku masing-masing komponen dan proses fisik.

Pendekatan sistem bermaksud memberikan penyelesaian operasional terhadap kesulitan-kesulitan yang bersumber dari kompleksitas hukum-hukum fisika atau pernyataan singkatnya adalah pendekatan sistem bertujuan memberikan penyelesaian operasionalnya terhadap kesulitan-kesulitan yang melekat pada pendekatan fisik. Langkah penting dalam pendekatan sistem adalah menggabungkan antara hukum-hukum fisik yang rumit dan hakikat sistem ke dalam satu konsep (tunggal) operasi sistem. Dalam konsep inilah terkandung suatu pengertian yang diilustrasikan dengan sebutan kotak hitam (*black box*).



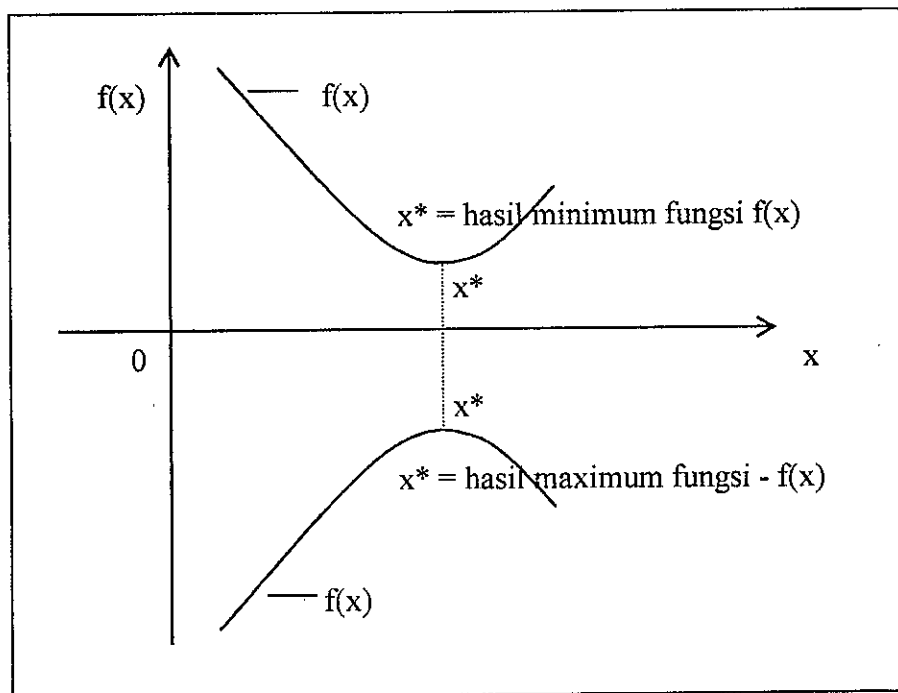
Gambar 2.9 Representasi Sistem

Gambar di atas adalah menggambarkan konsep sistem yang memberikan penyelesaian operasional terhadap kesulitan-kesulitan yang melekat pada pendekatan sistem.

2.4. Optimasi Parameter

a. Umum

Optimasi adalah suatu kegiatan untuk mendapatkan hasil terbaik yang dilakukan berulang-ulang dan saling mempengaruhi. Hasil terbaik yang akan didapat berupa nilai minimum atau nilai maksimum. Jika dinyatakan sebagai suatu proses adalah untuk mendapatkan suatu kondisi yang memberikan hasil minimum atau hasil maksimum dari fungsi tersebut (lihat Gambar 2.10).



Gambar 2.10. Hasil minimum dan maximum fungsi

b. Dasar Optimasi dengan Metode Powell

Metode Powell, pada prinsipnya merupakan nilai pendekatan untuk memecahkan solusi optimasi dari optimasi nilai yang tergantung dari banyak parameter. Penelusuran nilai optimal ditentukan oleh rumusan fungsi tersebut yang dalam penerapannya dinyatakan sebagai fungsi tujuan dengan beberapa

pembatas atau rumusan kendala yang disebut dengan fungsi Penalti (*Penalty Function*).

c. Rumusan Dasar Optimasi dengan Metode Powell

Dalam metode Powell (paket program) nilai optimum suatu tujuan didekati dengan persamaan kuadrat sebagai berikut (Rochana. K, 1996) :

$$J(X) = X^T GX + b^T X + c \dots\dots\dots (2.13)$$

dengan :

$J(X)$ = fungsi tujuan

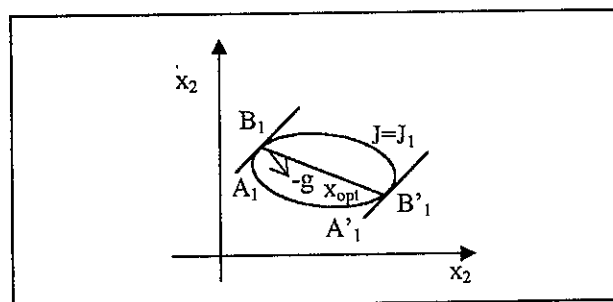
X = $[X_1, X_2, \dots, X_n]^T$, dengan n adalah parameter model

G = matrik $n \times n$

B = parameter (vektor berdimensi n)

C = parameter (skalar)

Untuk mencapai nilai optimum, persamaan (2.13) di atas diturunkan berturut-turut sejumlah nilai n kali. Jika dilakukan penurunan untuk n berderajat 2 ($n = 2$), salah satu sisi elips (lihat gambar 2.11) adalah $J = J_1$.



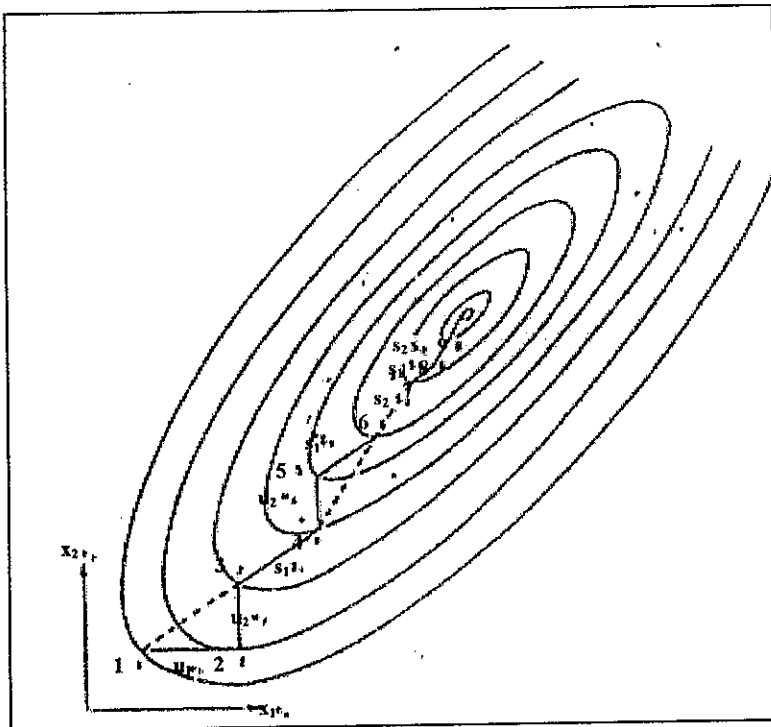
Gambar 2.11. Arah konyugasi pada $n = 2$

Untuk mencari titik optimum dari dua titik yang berlainan (dalam Gambar 2.12 adalah titik A_1 dan A'_1), dari kedua titik tersebut ditarik garis berarah sama yaitu garis A_1B_1 yang sejajar $A'_1B'_1$, dengan menggunakan

hubungan konyugasi antara vektor A_1B_1 dengan $B_1B'_1$. Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa terdapat hubungan konyugasi antara vektor A_1B_1 (yang mempunyai garis singgung pada titik B_1) dengan vektor $B_1B'_1$ (yaitu garis yang menghubungkan titik optimum (X_{opt}) dengan titik B_1). Pada titik B_1 juga terdapat

$$\text{Kemiringan arah yaitu } -g = - \left[\frac{\partial J}{\partial X_1} \quad \frac{\partial J}{\partial X_2} \right]^T$$

Untuk n berderajat banyak, penurunan fungsi tujuan ini sangat sulit dilakukan, sehingga untuk keperluan penyederhanaan pengoptimalan dilakukan pada bidang datar (Rochana. K, 1996)



Gambar 2.12. Metode Powell

Pada gambar tersebut terdapat dua fungsi u_1 dan u_2 . Masing-masing fungsi sejajar sumbu koordinat x_1 dan x_2 . Kedua arah tadi dihubungkan satu

sama lain dari titik 1 menuju titik 2. Garis penghubung tersebut kemudian diperpanjang hingga titik 4. Perpanjangan garis itu disebut S_1 . Untuk siklus optimasi selanjutnya, salah satu arah koordinat dibuang misalnya arah x_1 . Kemudian dibuat garis yang menghubungkan u_2 dan S_1 (membentuk garis dengan gradien baru) sehingga didapat titik 6 dan perpanjangan garis tersebut S_2 sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.12.

Siklus selanjutnya kembali salah satu arah harus dibuang (yaitu arah x_2) untuk membentuk satu arah baru. Dari titik 7 kemudian arah S_1 dan S_2 diminimumkan dan mendapatkan titik 8 dan titik 9. Pada siklus-siklus selanjutnya jika tidak ada lagi arah koordinat yang dibuang, maka dimulai lagi keseluruhan prosedur dengan meminimumkan sepanjang arah yang paralel dengan sumbu koordinat. Prosedur ini dilakukan berulang hingga didapat titik yang diinginkan.

Menurut (Rochana, 1996) langkah pengoptimalan fungsi tujuan hingga tercapai nilai optimal adalah sebagai berikut :

1. Langkah pertama adalah mencari panjang minimisasi λ^*_i dengan $I = 1, 2, \dots, n$ sehingga $J(X_i + \lambda^*_i S_i)$ adalah minimum melalui arah S_i , dan didefinisikan sebagai : $X_{i+1} = X_i + \lambda^*_i S_i$
2. Mencari integer m , $1 \leq m \leq n + I$, sehingga $\Delta = J(X_{m-1}) - J(X_m)$ maximum.
3. Menghitung $J_3 = J((2X - Z)_{n+1} - X_1) = J(X_{n+1} + S_{n+1})$ dan menentukan $J_1 = J(Z) = J(X_1)$ dan $J_2 = J(X) = J(X_{n+1})$.

4. Jika $J_3 \leq J_1$ dan atau $(J_1 - 2J_2 + J_3) (J_1 - J_2 - \Delta)^2 \geq \frac{1}{2} \Delta (J_1 - J_2)^2$ maka untuk siklus selanjutnya digunakan arah S_1, S_2, \dots, S_n sebelumnya dan X_{n+1} untuk X_1 selanjutnya. Jika $J_3 > J_2$ maka proses dilanjutkan ke langkah kelima.
5. Menentukan arah baru $S = (X-Z) = (X_{n+1} - X_1)$ dan menghitung λ^* sehingga $J(X_{n+1} + \lambda^* S)$ minimum pada arah S . Kemudian memulai siklus selanjutnya dengan mengambil $X_{n+1} + \lambda^* S$ sebagai titik awal dan $S_1, S_2, \dots, S_{m-1}, S_{m+1}, S_{m+2}, \dots, S_n, S$ sebagai arah selanjutnya.

Pada prosedur ini langkah kedua biasanya untuk menentukan arah, sedangkan langkah ketiga dan keempat untuk menentukan arah yang baru.

Langkah-langkah Hitungan Optimasi

Proses perhitungan optimasi untuk mendapatkan nilai parameter kalibrasi yang dianggap cukup mewakili kondisi DAS dalam program bantu metode Powell mengikuti langkah-langkah sebagai berikut ini :

1. Pembacaan serta pemrosesan data
2. Penetapan arah ($d = \text{direction}$)
3. Penetapan nilai awal atau koefisien baru yang telah mengalami parameterisasi.
4. Perhitungan limpasan dan total limpasan dengan model tank
5. Perhitungan total fungsi tujuan dan rerata kesalahan volume
6. Penerapan fungsi penalti pada hasil hitungan dan koefisien model tank.
7. Penetapan nilai J_a yaitu besar fungsi tujuan di titik A

Jika keseluruhan fungsi penalti terpenuhi maka nilai J_a dinyatakan sebagai jumlah dari total fungsi tujuan dibagi jumlah data. Jika fungsi penalti tidak

terpenuhi, maka nilai J_a dinyatakan sebagai total penyimpangan fungsi tujuan.

8. Perhitungan nilai J_b yaitu besar fungsi tujuan di titik B

Proses penghitungan nilai J_b dilakukan dari point 3 hingga point 7 di atas. Perbedaan terletak pada penentuan nilai J_b , jika fungsi penalti tidak terpenuhi, maka nilai J_b dinyatakan sebagai total penyimpangan fungsi penalti ditambah besar nilai J_a . Sebelum nilai J_b dihitung, dilakukan penetapan jarak J_b dari J_a . Letak J_b adalah sebesar α_s

$$\alpha_s = \beta * \Delta$$

$$0.001 > \alpha_s > 5, \text{ jika } \alpha_s > 5 \text{ atau } \alpha_s < 0.001 \text{ maka } \alpha_s = 0.1.$$

dengan

β : Panjang peminimuman (untuk langkah I, $\beta = 0,05$)

Δ : Selisih J^* (lihat point 13, untuk langkah I, $\Delta = 1$)

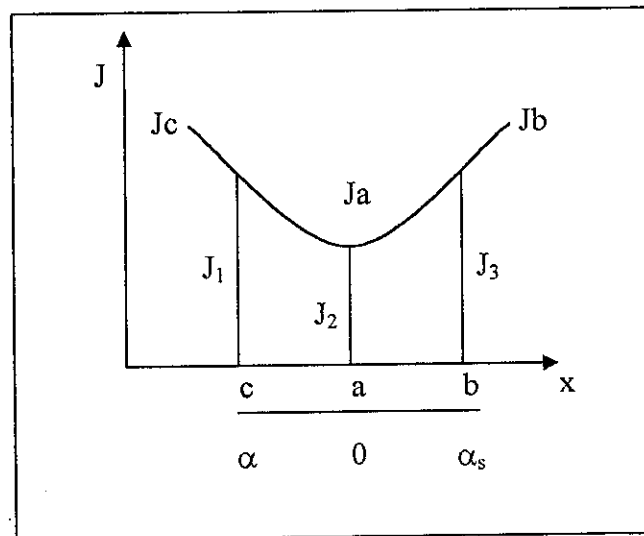
9. Perbandingan nilai J_a dan J_b

Jika nilai $J_a < J_b$ maka dihitung nilai J_c yaitu besar fungsi tujuan di titik C yang bergerak sebesar α yaitu negatif α_s dan nilai J_c dinyatakan dengan prosedur yang sama dengan J_b , namun jika terjadi penyimpangan fungsi penalti maka nilai J_c dinyatakan sebagai penjumlahan nilai J_b dengan total penyimpangan fungsi penalti.

- Jika nilai $J_c > J_a$ (Gambar 2.13), maka proses hitungan akan berlanjut ke langkah 10 dan menyatakan :

$$J_1 = J_c, J_2 = J_a, J_3 = J_b$$

$$\alpha_s = \alpha, \alpha_2 = 0, \alpha_3 = \alpha_s$$



Gambar 2.13. $J_a < J_b$, $J_c > J_a$, $J_c = J_b$

- Jika nilai $J_c < J_b$ (Gambar 2.14) maka $\alpha = \alpha_s$ dan J_b dibuat sama dengan J_c sehingga $J_a > J_b$ dan dihitung nilai J_c baru berjarak α dari J_b . Nilai α dapat dihitung sebagai berikut :

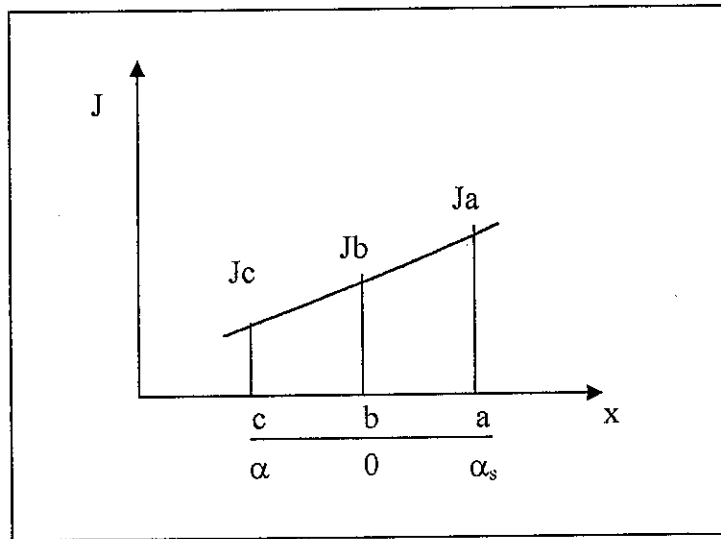
$$\alpha = ((\exp(nl+1) * (\ln 2)) - 1) * \alpha_s$$

Dengan $nl + 1$ adalah proses penghitungan nilai J_c hingga besar nilai J_c mencapai atau lebih besar dari J_b .

Kemudian mencari nilai fungsi tujuan minimum atau J_m . J_m berjarak α_m dari J_b (Gambar 2.15) dan dihitung sebagai berikut :

$$\alpha_m = ((\exp(\ln 3) + (nl 2)) - 1) * \alpha_s$$

Nilai J_m dihitung sebagaimana menghitung nilai J_c

Gambar 2.14. $J_c < J_b < J_a$

- Jika nilai $J_b > J_m$ (Gambar 2.15) maka

$$J_1 = J_b, J_2 = J_m, J_3 = J_c$$

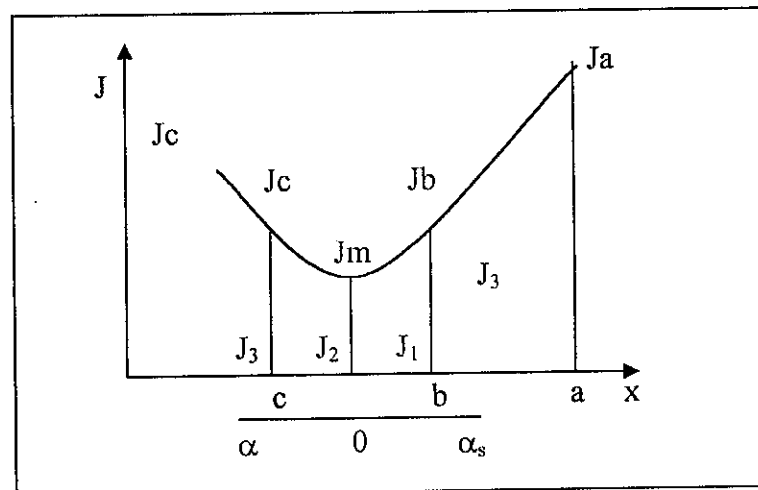
$$\alpha_1 = ((\exp(nl + 1) + (\ln 2)) - 1) * \alpha_s, \alpha_2 = \alpha_m, \alpha_3 = \alpha$$

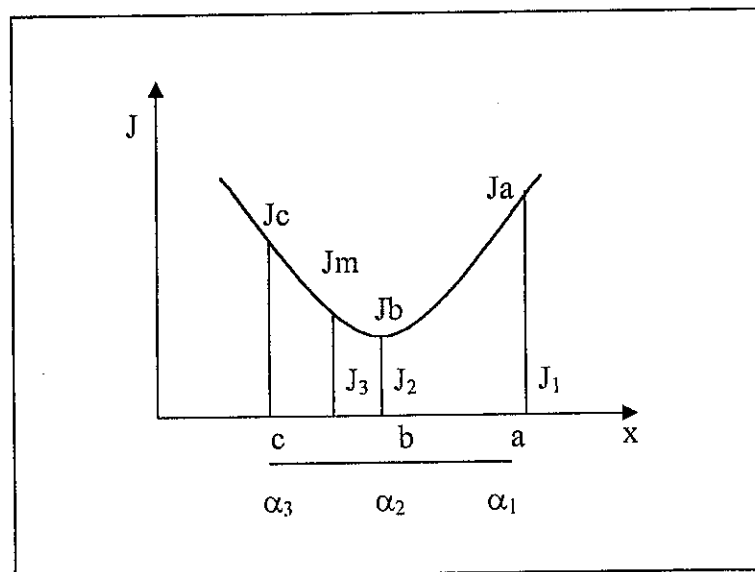
- Jika nilai $J_b < J_m$ (lihat Gambar 2.16) maka :

$$J_1 = J_a, J_2 = J_b, J_3 = J_m$$

$$\alpha_1 = ((\exp(nl - 1) * (\ln 2)) - 1) * \alpha_s, \alpha_2 = ((\exp(nl + 1) * (\ln 2)) - 1) *$$

$$\alpha_s, \alpha_3 = \alpha_m$$

Gambar 2.15. $J_a > J_b$ dan $J_b > J_m$



Gambar 2.16. $J_m > J_b$ & $J_a > J_b$

10. Kemudian dilakukan perbandingan antara

$$\left(\frac{J_3 - J_2}{\alpha_3 - \alpha_2} \right) \text{ dan } \left(\frac{J_1 - J_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \right)$$

- Jika $\left(\frac{J_3 - J_2}{\alpha_3 - \alpha_2} \right)$ tidak sama dengan $\left(\frac{J_1 - J_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \right)$ maka dihitung jarak J^* sebesar α^* .

J^* dihitung dengan prosedur sama dengan penghitungan fungsi tujuan lainnya, hanya saja jika tidak memenuhi syarat pada fungsi penalti, maka besar J^* ditentukan dari penjumlahan antara J_2 dengan jumlah total penyimpangan fungsi penalti.

- Jika $J^* > J_2$ maka $J^* = J_2$ dan dihitung J_{out} . Penghitungan J_{out} sama dengan penghitungan J_2 .

- Jika $\left(\frac{J_3 - J_2}{\alpha_3 - \alpha_2} \right)$ sama dengan $\left(\frac{J_1 - J_2}{\alpha_1 - \alpha_2} \right)$ maka $\alpha^* = \alpha_2$

Dan dihitung Jout dengan jarak $\alpha^* = \alpha_2$. Penghitungan Jout sama dengan penghitungan J_2 .

11. Penghitungan β yaitu panjang arah peminimuman yang baru dan menetapkan J^* sebagai J_a . J_a digunakan sebagai titik awal untuk optimasi selanjutnya ($J^*(0) = J_a$).

12. Dihitung panjang arah β yang baru yaitu :

$$\beta(i) = \beta(i) * \exp((1-1) * \ln(2))$$

13. Penghitung $\Delta(i) = J^*(i-1) - J^*(i)$

$\Delta(1)$ akan disebut sebagai Δ_{big} , jika $\Delta_{big} < \Delta(i)$ maka $\Delta_{big} = \Delta(i)$

14. Penghitungan J^* e sebagaimana menghitung J_a dan jika terjadi penyimpangan fungsi penalti, nilai J^* e merupakan penambahan dari nilai J^* yang didapatkan sebelumnya (pad point ke 10, selanjutnya disebut $J^*(c)$) dan jumlah penyimpangan fungsi penalti. Menetapkan J_a sebagai $J^*(0)$

15. Penghitungan transpon gradien

16. Penghitungan gradien arah yang baru yaitu :

- $grad_1 = (J^*[0] - 2 * J^*[c] + J^*e) * (J(0) - J^*(c) \Delta_{big})^2$
- $grad_2 = \Delta_{big} * 0,5 * (J^*e < J^*(0) J^*e)^2$

17. Jika $grad_1 < grad_2$ dan $J^*e < J^*(0)$ maka ditentukan β dan arah (d) yang baru dan $J^*(c)$ menjadi J_a dan kembali melakukan proses perhitungan dari point ke 7 hingga ke 12 dan menentukan J^* baru sebagai fungsi tujuan optimum (J^*o).

18. Penghitungan Δ (sebelumnya Δ dinolkan), jika $\Delta < 0,01$ atau $\Delta > 1$ maka $\Delta = 1$.

19. Penentuan arah (d) dan panjang arah (β) yang baru serta penetapan J^* sebagai J_a , dan J_a sebagai $J^*(0)$ kemudian ke langkah 21.
20. Jika point 17 tidak memenuhi syarat, maka kembali ke langkah 14.
21. Jika Nilai rerata kesalahan volume lebih dari 5%, maka dilakukan menjadi proses penghitungan dari langkah ke 12.

2.5. Koefisien Korelasi, Kesalahan Relatif dan Kesalahan Volume

Untuk melihat sejauh mana hasil pendekatan optimasi maka nilai keluaran hasil perhitungan kalibrasi perlu dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dengan cara terukur di lapangan.

Ketelitian hasil optimasi tergantung pada faktor yaitu ketelitian data masukan, yang ada di lapangan.

Dengan menggunakan koefisien korelasi (R), untuk kesalahan volume (VE) dan kesalahan relatif (RE) dan koefisien korelasi dihitung dalam program bantu metode Powell.

Koefisien korelasi (R) adalah harga yang menunjukkan besarnya keterikatan antara nilai terukur dengan nilai simulasi. Jika harga R bernilai 1, maka dapat dikatakan bahwa korelasi antara keduanya sangat erat, namun jika R bernilai nol maka kedua nilai dikatakan tidak mempunyai hubungan sama sekali. Koefisien korelasi dirumuskan sebagai berikut :

$$R = \sqrt{\frac{Dt - D}{Dt}} \dots\dots\dots (2.14)$$

$$Dt = \sum_{i=1}^N (C_{obs}^i - \bar{C}_{sim})^2$$

$$D = \sum_{i=1}^N (C_{obs}^i - C_{sim}^i)^2$$

R = Koefisien korelasi

D_t = Total kwadrat kesalahan terukur

D = Total kwadrat kesalahan simulasi

dengan :

C_{sim}^i = konsentrasi sedimen simulasi periode ke-i (mg/l)

C_{obs}^i = konsentrasi sediment terukur periode ke-i (mg/l)

N = jumlah data

Kesalahan volume (volume error, VE) adalah nilai yang menunjukkan perbedaan volume hasil simulasi dan terukur selama periode simulasi. Jika VE sangat besar maka terjadi penyimpangan hasil simulasi dan terukur. Kesalahan volume dirumuskan sebagai berikut :

$$VE = \frac{\sum_{i=1}^N C_{sim}^i - \sum_{i=1}^N C_{obs}^i}{\sum_{i=1}^N C_{obs}^i} \dots\dots\dots (2.15)$$

dengan :

VE = selisih volume konsentrasi sedimen

C_{sim}^i = konsentrasi sedimen simulasi periode ke-i (mg/l)

C_{obs}^i = konsentrasi sedimen terukur periode ke-i (mg/l)

N = jumlah data

Kesalahan relatif rerata (Relatif Error, RE) berfungsi untuk mengetahui penyimpangan relatif dari hasil kalibrasi terhadap konsentrasi sedimen terukur. Keuntungan menggunakan RE adalah kemudahan dalam

pengecekan hasil kalibrasi, karena jika nilainya mendekati nol berarti hasil nilai konsentrasi sedimen kalibrasi terhadap konsentrasi sedimen terukur penyimpangannya sangat kecil. Kesalahan relatif rerata dirumuskan sebagai berikut :

$$RE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|C_{sim}^i - C_{obs}^i|}{C_{obs}^i} \dots\dots\dots (2.16)$$

dengan :

RE = kesalahan relatif

C_{sim}^i = konsentrasi sedimen simulasi periode ke-i (mg/l)

C_{obs}^i = konsentrasi sedimen terukur periode ke-i (mg/l)

N = jumlah data

Dalam hal ini batasan ketelitian ditetapkan sebagai berikut ini :

1. Nilai kesalahan volume (VE) tidak boleh lebih dari 5% ($VE < 5\%$).
2. Koefisien korelasi (R) tidka boleh kurang dari 0,7
3. Nilai kesalahan relatif (RE) harus terletak antara -10 % dan 10 %.
($-10\% < RE < 10\%$).

Batasan tersebut ditetapkan sesuai dengan toleransi yang umum digunakan dalam hitungan hidrologi.

Dalam proses simulasi selalu terdapat penyimpangan hasil dan hal ini tidak dapat dihindari karena model merupakan suatu proses pendekatan terhadap proses yang sesungguhnya terjadi. Namun begitu bukan berarti penyimpangan hasil adalah sesuatu yang wajar apalagi jika terjadi penyimpangan yang cukup besar.

Kalibrasi didefinisikan sebagai proses coba-coba nilai parameter model, besar nilai parameter tidak dapat ditentukan dengan pasti. Sehingga proses kalibrasi dikatakan berhasil jika nilai kesalahan volume, kesalahan relatif dan koefisien korelasi mencapai standar ketelitian yang ditentukan.

Dalam praktek kalibrasi terdapat 3 cara yang dapat ditempuh yaitu :

1. Coba ulang dan pengaturan parameter secara manual berdasarkan pengamatan.
2. Pengaturan parameter secara otomatis yang dilakukan oleh program komputer dengan kontrol ketelitian yang dikehendaki dengan cara-cara yang telah ditetapkan.

2.6. Penentuan Nilai Awal Parameter

Penetapan nilai awal merupakan bagian penting dalam proses kalibrasi karena berdasarkan nilai ini akan berlangsung proses iterasi secara otomatis dan banyak sedikitnya proses iterasi serta besar kecilnya penyimpangan yang terjadi dipengaruhi oleh penetapan nilai awal parameter. Oleh karena itu penetapan nilai awal tidak dapat dilakukan secara sembarang atau rancu melainkan dilakukan dengan cara-cara tertentu.

Penetapan nilai awal parameter model tank dapat dilakukan dengan menggunakan patokan nilai awal pada tabel 2.9 di bawah ini.

Tabel 2.9. Patokan nilai awal konstanta model tank

(Sumber : Ministry of Construction Japan International Cooperation Agency)

	Tank I	Tank II	Tank III
Konstanta outlet limpasan	0,01 – 0,5	0,03 – 0,5	0.005 – 0,05
Tinggi outlet (mm)	Tank = 30 – 60	0 - 50	0 - 30

Selain konstanta outlet dan tinggi outlet, nilai tampungan awal juga harus ditentukan. Perkiraan besar tampungan lebih baik ditentukan pada saat musim kemarau karena tampungan pada musim hujan cenderung bervariasi.

BAB III

CARA PENELITIAN

3.1. Hipotesa

Angkutan sedimen melayang di alur sungai sebagian besar disebabkan oleh erosi permukaan (*sheet erosion*) yang terjadi dalam daerah aliran sungai tersebut. Erosi permukaan tersebut faktor pengaruh utamanya disebabkan oleh debit aliran sungai. Dengan mempertimbangkan faktor utama tersebut, terdapat hubungan antara limpasan/aliran permukaan sungai dengan angkutan sedimen melayang.

Berdasarkan data curah hujan, model hidrologi berupa model tangki dengan optimasi parameter DAS, dapat digunakan untuk menentukan angkutan sedimen melayang (konsentrasi sedimen).

3.2. Diskripsi Daerah Penelitian

- a. Luas Daerah Aliran Sungai (DAS) Lusi di Banjarejo pada penelitian ini adalah 506 km² yang terletak di kabupaten Blora.
- b. Daerah Aliran Sungai Lusi di Banjarejo mempunyai iklim tropis yang dipengaruhi oleh angin musim. Musim hujan terjadi pada bulan Nopember hingga Mei dan musim kemarau dari mulai Juni hingga Oktober. Curah hujan rata-rata harian yang tercatat di lima pos stasiun curah hujan dapat dilihat di lampiran halaman 3 dan 4.

- c. Secara morfologi DAS Lusi di Banjarejo dapat dibedakan menjadi 2 (dua) satuan morfologi, yaitu morfologi perbukitan dan morfologi dataran.
- d. Morfologi perbukitan, yaitu daerah Tunjungan, Bogorejo (utara) dan daerah Jiken (selatan) mempunyai kondisi tanah berupa tanah napal (lempung) dan sebagian oleh batu gamping. Sedangkan morfologi dataran, yaitu daerah Banjarejo dan Blora, tanahnya berupa endapan alluvial.
- e. Kemiringan topografi adalah $\pm 10^{\circ} - 20^{\circ}$.
- f. Vegetasi secara umum jarang dan tanaman untuk morfologi perbukitan berupa hutan jati dan ladang penduduk sedangkan morfologi dataran berupa sawah tadah hujan dan ladang penduduk.

3.3. Pendekatan Masalah dan Asumsi

- a. Konsentrasi sedimen melayang di daerah aliran sungai Lusi di Banjarejo dihitung dengan metode model Tangki dengan optimasi parameter program bantu metode Powell (Rochana, 1996).
- b. Faktor yang mempengaruhi terjadinya erosi permukaan hanya ditentukan oleh curah hujan, yang selanjutnya hasil erosi akan menjadi angkutan sedimen melayang di alur sungai.
- c. Besarnya konsentrasi sedimen melayang merata pada seluruh penampang.

3.4. Pengumpulan Data

Sebagai langkah awal dalam menunjang penelitian ini diperlukan adanya ketersediaan data yang cukup dan dapat diandalkan, sehingga diperlukan adanya kegiatan pengumpulan data. Data dengan validitas tinggi merupakan sumbangan yang sangat besar dalam setiap upaya pemecahan masalah. Data yang diperlukan terutama sekali dari data primer maupun data sekunder.

Dalam penelitian ini data yang digunakan adalah data sekunder. Data sekunder tersebut diperoleh dari hasil studi yang dilaksanakan oleh Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dan Departemen Pekerjaan Umum Pengairan Proyek Pengembangan Wilayah Sungai Jratunseluna.

a. Data konsentrasi Sedimen

Data konsentrasi sedimen observasi dibutuhkan untuk kepentingan kalibrasi limpasan sedimen model tangki. Pada penelitian ini digunakan data Pengukuran konsentrasi sedimen yang dilakukan oleh Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada Yogyakarta dengan menggunakan US DH 48 di sungai Lusi pada lokasi '*cable way*' di Sendang Agung kecamatan Ngawen, kabupaten Blora. Data konsentrasi sedimen yang digunakan adalah data konsentrasi sedimen rerata harian dari bulan September 1984 s/d bulan Januari 1985 sesuai dengan data di lapangan.

b. Data hujan

Karena data konsentrasi sedimen observasi bulan September 1984 sampai dengan Desember 1984 dan Januari 1985 yang dipakai untuk kepentingan kalibrasi, verifikasi, sehingga data hujan yang relevan dibutuhkan adalah data hujan harian bulan September 1984 sampai dengan Desember 1984 dan Januari 1985 (mm/hari) yang nantinya digunakan sebagai input data.

c. Peta Lokasi stasiun pengukur curah hujan

Dari peta ini dapat diketahui letak stasiun pengukur curah hujan.

Stasiun hujan :

- Banjarejo
- Tunjungan
- Blora
- Bogorejo
- Jiken

d. Data tidak ada

Data-data tidak ada adalah sebagai berikut :

1. Data topografi, yaitu mengenai faktor kemiringan dan panjang lereng
2. Data vegetasi penutup tanah, yaitu meliputi pengelolaan lahan dan konservasi tanah

Karena alat pengukur hujan pada stasiun hujan di DAS Lusi daerah Banjarejo masih manual (tidak otomatis) sehingga pada penelitian ini digunakan data hujan harian rerata (mm/hari).

3.5. Jalannya Penelitian

Langkah-langkah dalam pelaksanaan penelitian ini adalah :

1. Membuat struktur model dan rumusan model konsentrasi angkutan sedimen melayang dengan metode model tangki.
2. Sesuai dengan tujuan penelitian yaitu untuk mendapatkan nilai parameter model tangki untuk angkutan sedimen melayang pada DAS yang ditinjau, maka pada penelitian awal ini dicoba dengan pendekatan optimasi parameter menurut metode Powell (Rochana, 1996). Penelusuran nilai optimal ditentukan oleh rumusan fungsi tujuan dengan beberapa pembatas atau rumusan kendala. Sebagai fungsi tujuan untuk mencari nilai standar parameter model tangki akan dipilih salah satu fungsi tujuan dengan nilai fungsi tujuan terkecil minimum

$$1. J(x) = \text{Min} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |C_{obs}^i - C_{hit}^i| \right]$$

$$2. J(x) = \text{Min} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{C_{obs}^i - C_{hit}^i}{C_{obs}^i} \right| \right]$$

$$3. J(x) = \text{Min} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{C_{obs}^i - C_{hit}^i}{\sqrt{C_{obs}^i}} \right| \right]$$

$$4. J(x) = \text{Min} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{obs}^i - C_{hit}^i)^2 \right]$$

$$5. J(x) = \text{Min} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{C_{obs}^i - C_{hit}^i}{C_{obs}^i} \right)^2 \right]$$

$$6. J(x) = \text{Min} \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{C_{obs}^i - C_{hit}^i}{\sqrt{C_{obs}^i}} \right)^2 \right]$$

di mana :

J = Fungsi tujuan

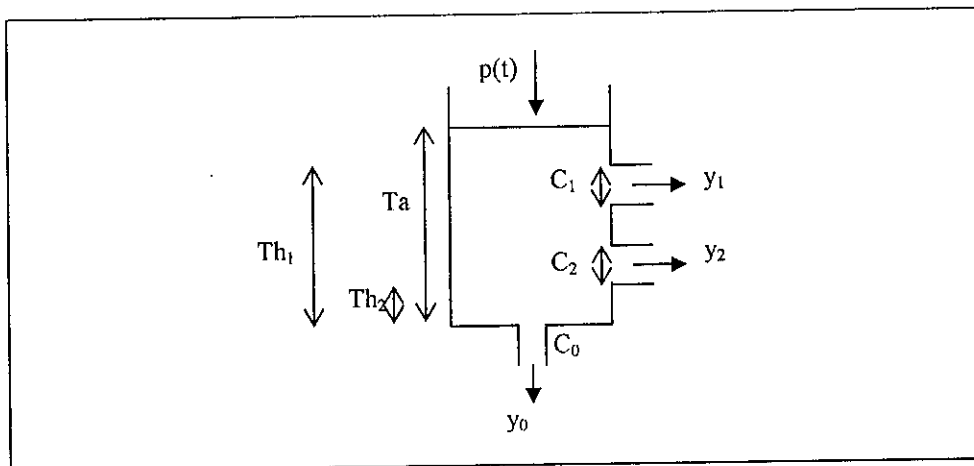
C_{ob}^i = Konsentrasi sedimen terukur

C_{sim}^i = Konsentrasi sedimen model tangki

$X = [X_1, X_2, \dots, X_n]^T$, dengan n adalah jumlah parameter model

N = Jumlah data

Agar proses trial dan error atau iterasi dalam pengoptimalan koefisien model tangki dapat berjalan dan konvergen, maka perlu adanya batasan-batasan. Batasan-batasan yang disebut dengan Fungsi Penalty (*Penalty Function*) itu adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Struktur model tangki untuk angkutan sedimen melayang

- Semua parameter non negatif atau $X_i \geq 0$
- Jika $c_2 > c_1$ maka diasumsikan $c_2 = c_1$
- Jika $Th_2 > Th_1$ maka diasumsikan $Th_2 = Th_1$

di mana :

c_1 = koefisien lobang atas sisi kanan tangki

c_2 = koefisien lobang bawah sisi kanan tangki

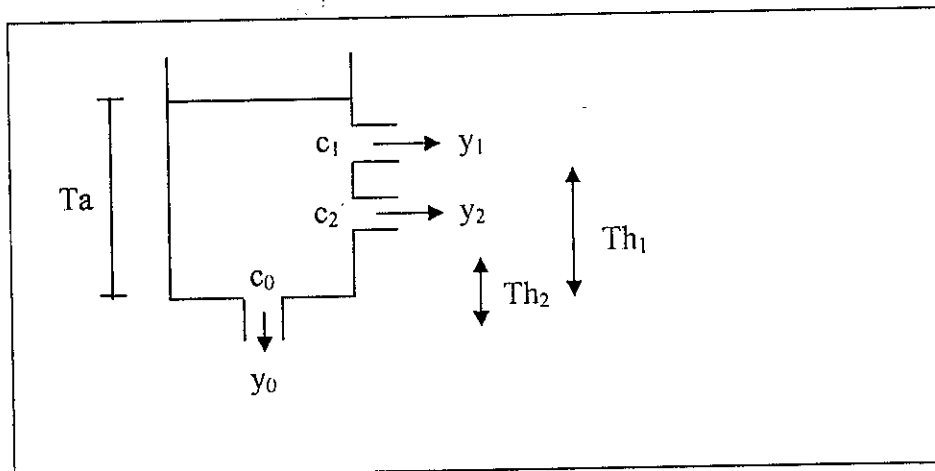
c_0 = koefisien lobang dasar tangki

Th_1 = tinggi lobang atas

Th_2 = tinggi lobang bawah

3.6. Parameterisasi Model

Penentuan jumlah dan jenis parameter yang akan digunakan untuk menyusun model harus dilakukan dengan teliti dan cermat, karena hal ini akan menentukan keandalan dari model yang dibuat. Penentuan parameter model dapat dilakukan dengan dua cara yaitu diperkirakan atau diukur. Parameter yang diperkirakan didasarkan pada data yang telah dikumpulkan, yang nilainya dapat ditentukan, sedangkan yang diukur nilainya tidak dapat ditentukan dari data yang tersedia. Dalam penelitian ini digunakan penentuan parameter yang diukur parameter yang nilainya tidak dapat ditentukan dari data yang tersedia, kemudian dilakukan dengan cara kalibrasi, yaitu dengan cara memberi nilai awal kemudian secara berulang kali nilai tersebut diperbaiki untuk mendapatkan nilai yang baik, dengan cara membandingkan keluaran model dengan data terukur parameter model tangki untuk konsentrasi sedimen melayang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. Parameter Model Tangki untuk Konsentrasi sedimen

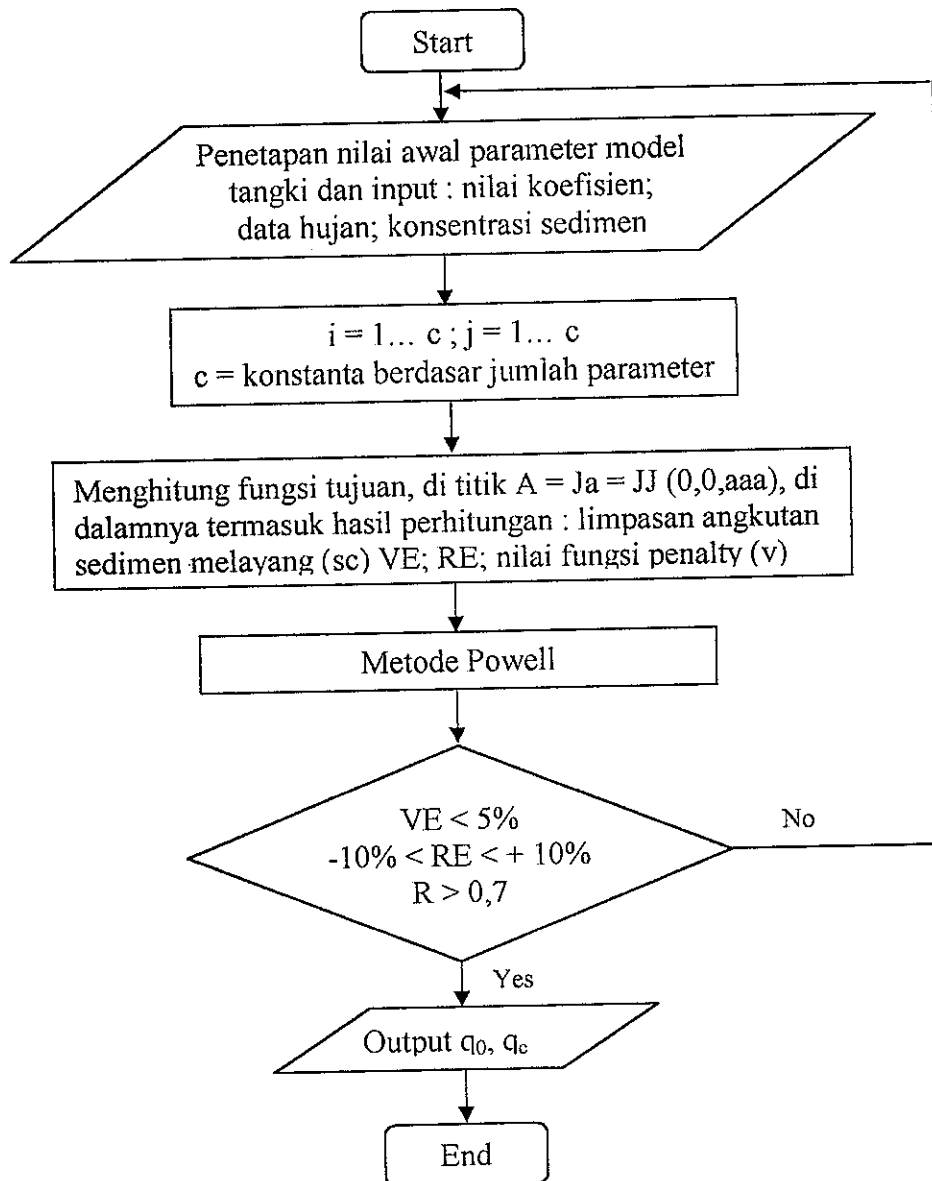
Tabel 3.1. Daftar parameter model tangki untuk angkutan sedimen melayang

No	Parameter Model Tangki	Definisi
1	c_1	Koefisien lobang atas sisi kanan tangki
2	c_2	Koefisien lobang bawah sisi kanan tangki
3	c_0	Koefisien lobang bawah tangki
4	Th_1	Tinggi lobang atas
5	Th_2	Tinggi lobang bawah
6	Ta	Tinggi tampungan tangki
7	K	Faktor erodibilitas tanah

3.7. Bagan Alir (Flow Chart)

3.7.1. Bagan Alir Program Utama Model Tangki

Bagan alir program utama model tangki dibagi menjadi program utama dan beberapa sub program dan program utama yaitu sebagai berikut



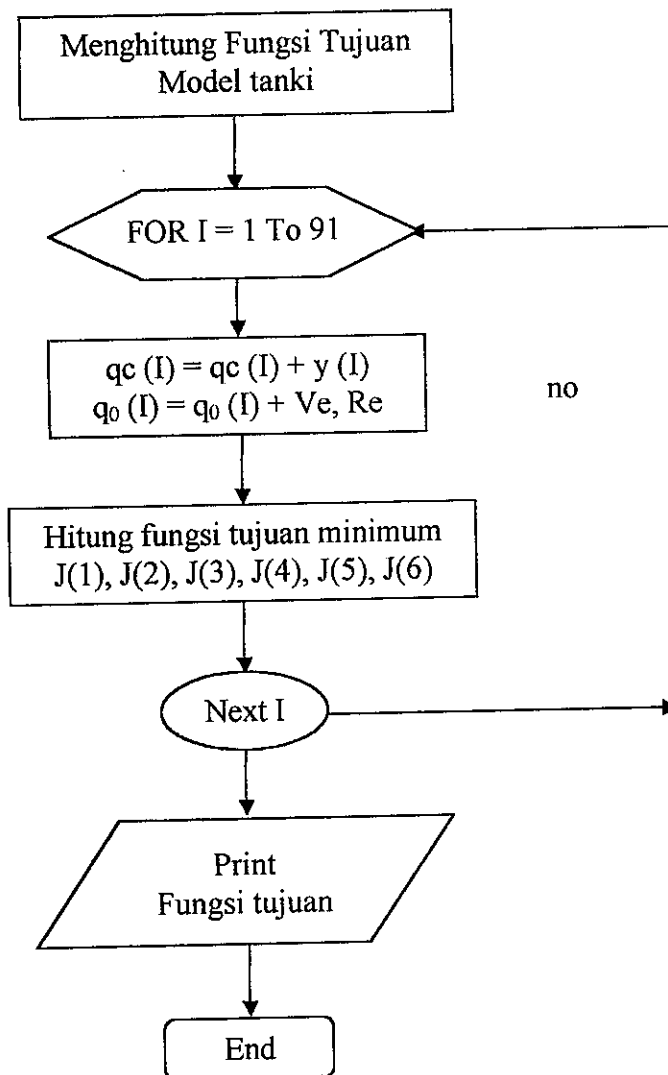
Gambar 3.3. Bagan Alir Program Utama Model Tangki

di mana :

- q_0 = konsentrasi sedimen observasi (terukur di lapangan)
- q_c = konsentrasi sedimen simulasi (model tangki)

3.7.2. Sub Rprogram Fungsi Tujuan

Sub program fungsi tujuan untuk mencari nilai standar parameter model tangki, dengan pembatas nilai fungsi tujuan terkecil.



di mana :

q_0 = jumlah kumulatif sedimen observasi

q_c = jumlah kumulatif limpasan sedimen melayang perhitungan

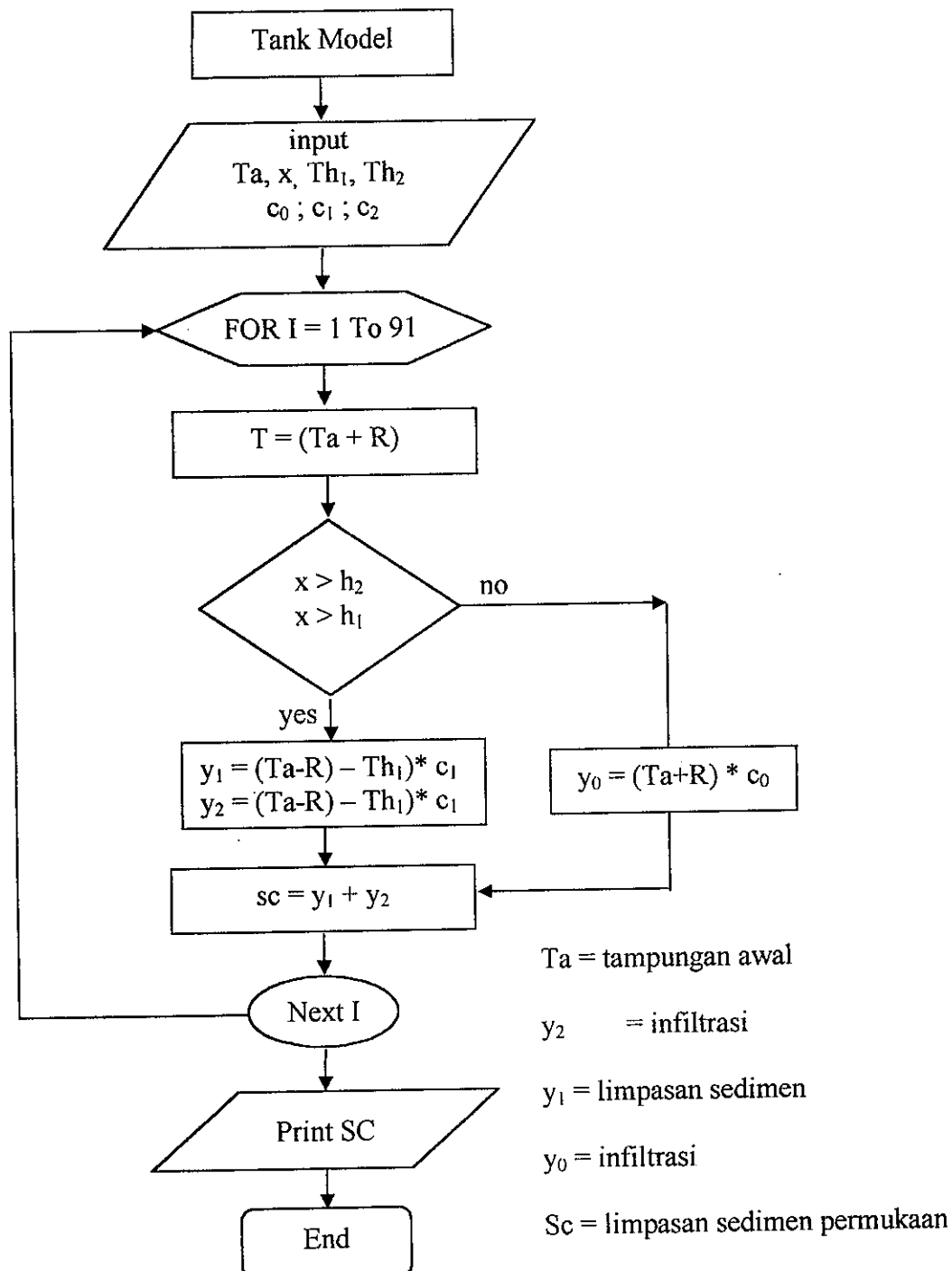
VE = kesalahan volume

RE = kesalahan relatif

I = jumlah hari

3.7.3. Sub Program Model Tangki

Pada sub program model tangki dengan input nilai awal parameter, dan data hujan diperoleh jumlah limpasan sedimen melayang perhitungan.



Gambar 3.4. Bagan Alir Subprogram Tangki

BAB IV

ANALISIS

4.1. Kalibrasi

Kegiatan simulasi dilakukan pada masing-masing fungsi tujuan pada model dengan menggunakan data konsentrasi angkutan sedimen melayang yang tersedia. Dalam melakukan kalibrasi pertama-tama yang harus dilakukan adalah penetapan nilai awal parameter.

Sebelum mendapatkan nilai awal parameter, perlu dijelaskan bahwa model tangki yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari satu buah tangki. Dasar pertimbangan pemakaian satu buah tangki adalah bahan erosi akibat curah hujan yang terjadi dari sumber hingga sungai (titik control) berupa sedimen melayang di permukaan. Pada sisi kanan tangki terdapat dua buah outlet limpasan. Sedangkan pada sisi bawah tangki terdapat satu buah lobang yang menggambarkan partikel-partikel tanah yang mengendap di cekungan-cekungan atau tertahan oleh rintangan-rintangan baik yang alami maupun buatan. Pada tangki ini juga diberikan nilai tampungan dasar dengan pertimbangan bahwa sebelum melimpah, air hujan akan membasahi lapisan permukaan dan menghasilkan partikel-partikel tanah yang nantinya terbawa tererosi oleh curah hujan.

Parameterisasi koefisien model tangki dilakukan dengan coba ulang untuk beberapa parameter yang meliputi : koefisien outlet limpasan angkutan sedimen melayang (c_1 & c_2), koefisien outlet limpasan angkutan sedimen melayang yang mengendap di cekungan atau tertahan oleh

rintangan-rintangan (c_o), tinggi outlet limpasan angkutan sedimen melayang (Th_1 & Th_2) serta tinggi tampungan (Ta). Sedangkan kriteria hasil ketelitian model yang digunakan adalah koefisien korelasi (R), kesalahan relatif (RE), dan kesalahan volume (VE) antara angkutan sedimen melayang simulasi dengan angkutan sedimen melayang observasi.

Proses optimasi parameter mengacu pada fungsi tujuan yang digunakan. Program Bantu akan menentukan besarnya parameter model tangki secara iterasi dengan pembatas nilai fungsi tujuan terkecil dan hasil ketelitian yang diharapkan. Pada penelitian ini fungsi tujuan ditetapkan dengan memilih diantara ke enam fungsi tujuan yang sesuai. Masing-masing fungsi tujuan dicobakan pada program bantu dan dipilih yang paling sesuai dengan data konsentrasi sedimen observasi.

Nilai fungsi tujuan ini akan berubah jika parameter model juga berubah. Perubahan ini akan terus berkurang dan akan membesar lagi, setelah mencapai minimum atau telah mencapai ketelitian yang disyaratkan, program akan berhenti.

4.1.1. Persyaratan-persyaratan Ketelitian Untuk Optimasi sebagai berikut :

1. Nilai kesalahan volume (VE) - + 5%
2. Nilai kesalahan relatif (RE) = -10% < RE < + 10%
3. Nilai koefisien korelasi (r) = 0,7

4.1.2. Proses Perhitungan

Tabel 4.1. Nilai parameter model tangki percobaan I untuk kalibrasi

No	Parameter Model Tangki	Nilai
1	Koefisien lobang atas sisi kanan tangki (c_1)	0,03
2	Koefisien lobang bawah sisi kanan tangki (c_2)	0,04
3	Koefisien lobang bawah tangki (c_0)	0,02
4	Tinggi lobang atas (Th_1)	50 mm
5	Tinggi lobang bawah (Th_2)	10 mm
6	Tinggi tampungan (Ta)	500 mm
7	Koefisien erodibilitas tanah (K)	0,24

TABEL 4.2.

**PERHITUNGAN MODEL TANKI UNTUK KALIBRASI
(BULAN SEPTEMBER, OKTOBER, NOPEMBER 1984)**

No	Bulan	Tgl	D. Sedimen (Di Lapangan) (%)	D. Hujan (Di Lapangan) (R)	T aw	Tn =(Taw+R)	Y ₀ =Tn*c ₀	Y ₁ =(Tn-Th ₁)*c ₁	Y ₂ =(Tn-Th ₂)*c ₂	T akhir =(Tn-y ₀ -y ₁ -y ₂)	s _c = y ₁ +y ₂	Optimasi qc = sc*K*A	q _b
1	SEPTEMBER 1984	1	876	20	500	520	16	19	10	475	29	857	876
2		38	40	475	515	15	19	19	10	471	29	31	38
3		49	80	471	551	17	20	20	11	504	31	30	49
4		219	30	504	534	16	19	19	10	488	30	212	219
5		1378	17	488	505	15	18	18	10	462	28	1359	1378
6		614	18	462	480	14	17	17	9	439	27	608	614
7		1450	18	439	457	14	16	16	9	418	25	1431	1450
8		1436	50	418	468	14	17	17	9	428	26	1430	1436
9		361	50	428	478	14	17	17	9	437	26	342	361
10		407	19	437	456	14	16	16	9	417	25	401	407
11		1255	40	417	457	14	16	16	9	418	25	1236	1255
12		1905	11	418	429	13	15	15	8	393	24	899	1905
13		1039	15	393	408	12	14	14	8	373	22	1020	1039
14		491	27	373	400	12	14	14	8	367	22	486	491
15		1893	11	367	378	11	13	13	7	346	20	1874	1893
16		1318	16	346	362	11	12	12	7	331	20	1313	1318
17		1666	10	331	341	10	12	12	7	313	18	1647	1666
18		1492	20	313	333	10	11	11	6	305	18	1488	1492
19		286	11	305	316	9	11	11	6	290	17	267	286
20		362	15	290	305	9	10	10	6	280	16	358	362
21		1536	17	280	297	9	10	10	6	272	16	1517	1536
22		1768	40	272	312	9	10	10	6	286	17	764	1768
23		1423	50	286	336	10	11	11	7	308	18	1404	1423
24		302	40	308	348	10	12	12	7	319	19	298	302
25		385	40	319	359	11	12	12	7	329	19	366	385
26		362	30	329	359	11	12	12	7	329	19	357	362
27		324	30	329	359	11	12	12	7	329	19	305	324
28		255	50	329	379	11	13	13	7	347	21	250	255
29		341	80	347	427	13	15	15	8	391	23	322	341
30		168	11	391	402	12	14	14	8	368	22	163	168

**PERHITUNGAN MODEL TANKI UNTUK KALIBRASI
(BULAN SEPTEMBER, OKTOBER, NOPEMBER 1984)**

No	Bulan	Tgl	D. Sedimen (Di Lapangan) (q_0)	D. Hujan (Di Lapangan) (R)	T aw	Tn =(Taw+R)	y_0 =Tn*c ₀	y_1 =(Tn-Th ₁)c ₁	y_2 =(Tn-Th ₂)c ₂	T akhir =(Tn-y ₀ -y ₁ -y ₂)	s _c = y ₁ +y ₂	Optimasi qc = sc*k*A	q ₀
31		1	288	35	368	403	12	14	8	369	22	269	288
32		2	218	70	369	439	13	16	9	401	24	212	218
33		3	306	45	401	446	13	16	9	408	25	287	306
34		4	303	35	408	443	13	16	9	406	24	297	303
35		5	1238	37	406	443	13	16	9	405	24	1219	1238
36		6	1947	65	405	470	14	17	9	430	26	941	1947
37		7	482	67	430	497	15	18	10	455	28	463	482
38		8	163	64	455	519	16	19	10	474	29	156	163
39		9	159	57	474	531	16	19	10	485	30	140	159
40		10	287	14	485	499	15	18	10	457	28	280	287
41		11	247	11	457	468	14	17	9	428	26	228	247
42		12	161	25	428	453	14	16	9	414	25	155	161
43		13	142	29	414	443	13	16	9	406	24	123	142
44		14	161	40	406	446	13	16	9	408	25	155	161
45		15	178	35	408	443	13	16	9	405	24	159	178
46		16	202	60	405	455	14	17	9	425	26	196	202
47		17	222	80	425	505	15	18	10	462	28	203	222
48		18	158	73	462	535	16	19	11	489	30	151	158
49		19	160	55	489	544	16	20	11	497	30	141	160
50		20	140	47	497	544	16	20	11	498	30	133	140
51		21	212	46	498	544	16	20	11	497	30	193	212
52		22	1518	39	497	536	16	19	11	490	30	1511	1518
53		23	187	11	490	501	15	18	10	458	28	168	187
54		24	356	25	458	483	15	17	9	442	27	350	356
55		25	168	38	442	480	14	17	9	439	27	149	168
56		26	1205	57	439	496	15	18	10	454	28	1198	1205
57		27	207	59	454	513	15	19	10	469	29	188	207
58		28	163	82	469	551	17	20	11	503	31	156	163
59		29	146	59	503	562	17	20	11	514	32	127	146
60		30	154	11	514	525	16	19	10	480	29	147	154
61		31	193	48	480	528	16	19	10	483	29	174	193

OKTOBR 1984

TABEL 4.4.
 PERHITUNGAN MODEL TANKI UNTUK KALIBRASI
 (BULAN SEPTEMBER, OKTOBER, NOPEMBER 1984)

No	Bulan	Tgl	D. Sedimen (Di Lapangan) (q ₀)	D. Hujan (Di Lapangan) (R)	T aw	T _n =(T _{aw} +R)	y ₀ =T _n *c ₀	y ₁ =(T _n -Th ₁)c ₁	y ₂ =(T _n -Th ₂)c ₂	T akhir =(T _n -y ₀ -y ₁ -y ₂)	s _c = y ₁ +y ₂	Optimasi q _c = s _c *K*A	q ₀
62		1	241	62	483	545	16	20	11	498	30	234	241
63		2	282	53	498	551	17	20	11	503	31	263	282
64		3	251	74	503	577	17	21	11	528	32	243	251
65		4	277	65	528	593	18	22	12	541	33	258	277
66		5	373	55	541	596	18	22	12	545	34	365	373
67		6	306	63	545	608	18	22	12	555	34	287	306
68		7	331	43	555	598	18	22	12	547	34	323	331
69		8	38	11	547	558	17	20	11	510	31	19	38
70		9	49	61	510	571	17	21	11	522	32	41	49
71		10	58	39	522	561	17	20	11	512	31	39	58
72		11	67	46	512	558	17	20	11	510	31	59	67
73		12	60	53	510	563	17	21	11	515	32	41	60
74		13	62	47	515	562	17	20	11	513	32	54	62
75		14	63	51	513	564	17	21	11	516	32	44	63
76		15	69	45	516	561	17	20	11	513	31	61	69
77		16	248	32	513	545	16	20	11	498	30	229	248
78		17	341	34	498	532	16	19	10	486	30	334	341
79		18	225	54	486	540	16	20	11	494	30	206	225
80		19	319	34	494	528	16	19	10	482	29	312	319
81		20	248	44	482	526	16	19	10	481	29	229	248
82		21	252	57	481	538	16	20	11	492	30	245	252
83		22	229	38	492	530	16	19	10	484	30	210	229
84		23	1853	35	484	519	16	19	10	475	29	846	1853
85		24	1558	46	475	521	16	19	10	476	29	539	1558
86		25	535	51	476	527	16	19	10	482	29	528	535
87		26	517	42	482	524	16	19	10	479	29	498	517
88		27	1000	48	479	527	16	19	10	482	29	993	1000
89		28	560	53	482	535	16	19	10	489	30	541	560
90		29	480	43	489	532	16	19	10	486	30	473	480
91		30	366	58	486	544	16	20	11	497	30	358	366

4.1.3. Proses Perhitungan

Tabel 4.4. Nilai parameter model tangki percobaan II untuk kalibrasi

No	Parameter Model Tangki	Nilai
1	Koefisien lobang atas sisi kanan tangki (c_1)	0,03
2	Koefisien lobang bawah sisi kanan tangki (c_2)	0,03
3	Koefisien lobang bawah tangki (c_0)	0,02
4	Tinggi lobang atas (Th_1)	50 mm
5	Tinggi lobang bawah (Th_2)	10 mm
6	Tinggi tampungan (Ta)	500 mm
7	Koefisien erodibilitas tanah (K)	0,24

TABEL 4.5.
 PERHITUNGAN MODEL TANKI UNTUK KALIBRASI
 (BULAN SEPTEMBER, OKTOBER, NOPEMBER 1984)

No	Bulan	Tgl	D. Sedimen (Di Lapangan) (q_0)	D. Hujan (Di Lapangan) (R)	T aw	Tn =(Taw+R)	y_0 =Tn*c ₀	y_1 =(Tn-Th ₁)*c ₁	y_2 =(Tn-Th ₂)*c ₂	T akhir =(Tn-y ₀ -y ₁ -y ₂)	s_c = y ₁ +y ₂	Optimasi $q_c = s_c * k * A$	q_0
1		1	876	20	500	520	16	14	10	480	24	847	876
2		2	38	40	480	520	16	14	10	480	24	32	38
3		3	49	80	480	560	17	15	11	517	26	43	49
4		4	219	30	517	547	16	15	11	505	26	213	219
5		5	1378	17	505	522	16	14	10	482	24	1341	1378
6		6	614	18	482	500	15	13	10	462	23	608	614
7		7	1450	18	462	480	14	13	9	443	22	1412	1450
8		8	1436	50	443	493	15	13	10	455	23	1430	1436
9		9	361	50	455	505	15	14	10	467	24	342	361
10		10	407	19	467	486	15	13	10	448	23	402	407
11		11	1255	40	448	488	15	13	10	451	23	1220	1255
12		12	1905	11	451	462	14	12	9	427	21	900	1905
13		13	1039	15	427	442	13	12	9	408	20	1007	1039
14		14	491	27	408	435	13	12	9	402	20	486	491
15		15	1893	11	402	413	12	11	8	382	19	1850	1893
16		16	1318	16	382	398	12	10	8	368	18	1314	1318
17		17	1666	10	368	378	11	10	7	349	17	1625	1666
18		18	1492	20	349	369	11	10	7	341	17	1488	1492
19		19	286	11	341	352	11	9	7	326	16	269	286
20		20	362	15	326	341	10	9	7	315	15	358	362
21		21	1536	17	315	332	10	8	6	307	15	1497	1536
22		22	1768	40	307	347	10	9	7	321	16	764	1768
23		23	1423	50	321	371	11	10	7	343	17	1385	1423
24		24	302	40	343	383	11	10	7	354	17	298	302
25		25	385	40	354	394	12	10	8	364	18	366	385
26		26	362	30	364	394	12	10	8	365	18	358	362
27		27	324	30	365	395	12	10	8	365	18	306	324
28		28	255	50	365	415	12	11	8	383	19	250	255
29		29	341	80	383	463	14	12	9	428	21	323	341
30		30	168	11	428	439	13	12	9	405	20	163	168

SEPTEMBER 1984

TABEL 4.6.

PERHITUNGAN MODEL TANKI UNTUK KALIBRASI
(BULAN SEPTEMBER, OKTOBER, NOPEMBER 1984)

No	Bulan	Tgl	D. Sedimen (Di Lapangan) (q ₀)	D. Hujan (Di Lapangan) (R)	T aw	T _n =(Taw+R)	y ₀ =Tn*c ₀	y ₁ =(Tn-Th ₁)*c ₁	y ₂ =(Tn-Th ₂)*c ₂	T akhir =(Tn-y ₀ -y ₁ -y ₂)	s _c = y ₁ +y ₂	Optimasi q _c = sc*k*A	q ₀
31		1	288	35	405	440	13	12	9	407	20	271	288
32		2	218	70	407	477	14	13	9	440	22	213	218
33		3	306	45	440	485	15	13	10	448	23	289	306
34		4	303	35	448	483	15	13	9	446	22	298	303
35		5	1238	37	446	483	15	13	9	447	22	1203	1238
36		6	1947	65	447	512	15	14	10	472	24	941	1947
37		7	482	67	472	539	16	15	11	498	25	460	482
38		8	163	64	498	562	17	15	11	519	26	157	163
39		9	159	57	519	576	17	16	11	531	27	147	159
40		10	287	14	531	545	16	15	11	503	26	281	287
41		11	247	11	503	514	15	14	10	475	24	228	247
42		12	161	25	475	500	15	13	10	462	23	155	161
43		13	142	29	462	491	15	13	10	453	23	123	142
44		14	161	40	453	493	15	13	10	455	23	155	161
45		15	178	35	455	490	15	13	10	453	23	159	178
46		16	202	60	453	513	15	14	10	473	24	196	202
47		17	222	80	473	553	17	15	11	511	26	203	222
48		18	158	73	511	584	18	16	11	539	27	151	158
49		19	160	55	539	594	18	16	12	548	28	141	160
50		20	140	47	548	595	18	16	12	549	28	133	140
51		21	212	46	549	595	18	16	12	549	28	193	212
52		22	1518	39	549	588	18	16	12	543	28	1511	1518
53		23	187	11	543	554	17	15	11	512	26	168	187
54		24	356	25	512	537	16	15	11	495	25	350	356
55		25	168	38	495	533	16	15	10	493	25	149	168
56		26	1205	57	493	550	16	15	11	507	26	1198	1205
57		27	207	59	507	566	17	15	11	523	27	188	207
58		28	163	82	523	605	18	17	12	558	29	156	163
59		29	146	59	558	617	19	17	12	569	29	127	146
60		30	154	11	569	580	17	16	11	536	27	147	154
61		31	193	48	536	584	18	16	11	539	27	174	193

TABEL 4.7.
 PERHITUNGAN MODEL TANKI UNTUK KALIBRASI
 (BULAN SEPTEMBER, OKTOBER, NOPEMBER 1984)

No	Bulan	Tgl	D. Sedimen (DI Lapangan) (q_0)	D. Hujan (DI Lapangan) (R)	T aw	Tn =(Taw+R)	y_0 =Tn*c ₀	y_1 =(Tn-Th ₁)*c ₁	y_2 =(Tn-Th ₂)*c ₂	T akhir =(Tn-y ₀ -y ₁ -y ₂)	s_c = y ₁ +y ₂	Optimasi $q_c = s_c * K * A$	q_0
62		1	241	62	539	601	18	17	12	554	28	234	241
63		2	282	53	554	607	18	17	12	560	29	263	282
64		3	251	74	560	634	19	18	12	585	30	243	251
65		4	277	65	585	650	20	18	13	600	31	258	277
66		5	373	55	600	655	20	18	13	604	31	365	373
67		6	306	63	604	667	20	19	13	616	32	287	306
68		7	331	43	616	659	20	18	13	608	31	323	331
69		8	38	11	608	619	19	17	12	571	29	19	38
70		9	49	61	571	632	19	17	12	583	30	41	49
71		10	58	39	583	622	19	17	12	574	29	39	58
72		11	67	46	574	620	19	17	12	572	29	59	67
73		12	60	53	572	625	19	17	12	577	30	41	60
74		13	62	47	577	624	19	17	12	576	29	54	62
75		14	63	51	576	627	19	17	12	578	30	44	63
76		15	69	45	578	623	19	17	12	575	29	61	69
77		16	248	32	575	607	18	17	12	560	29	229	248
78		17	341	34	560	594	18	16	12	548	28	334	341
79		18	225	54	548	602	18	17	12	566	28	206	225
80		19	319	34	556	590	18	16	12	544	28	312	319
81		20	248	44	544	588	18	16	12	543	28	229	248
82		21	252	57	543	600	18	16	12	554	28	245	252
83		22	229	38	554	592	18	16	12	546	28	210	229
84		23	1853	35	546	581	17	16	11	536	27	846	1853
85		24	1558	46	536	582	17	16	11	537	27	539	1558
86		25	535	51	537	588	18	16	12	543	28	528	535
87		26	517	42	543	585	18	16	11	540	28	498	517
88		27	1000	48	540	588	18	16	12	543	28	993	1000
89		28	560	53	543	596	18	16	12	550	28	541	560
90		29	480	43	550	593	18	16	12	547	28	473	480
91		30	366	58	547	605	18	17	12	558	29	358	366

Tabel 4.8. Nilai parameter kalibrasi

No	Parameter Model Tangki	Percobaan	
		I	II
1	Koefisien lobang bawah tangki (c_0)	0,03	0,03
2	Koefisien lobang atas sisi kanan tangki (c_1)	0,04	0,03
3	Koefisien lobang bawah sisi kanan tangki (c_2)	0,02	0,02
4	Tinggi lobang atas (Th_1)	50 mm	50 mm
5	Tinggi lobang bawah (Th_2)	10 mm	10 mm
6	Tinggi tampungan (Ta)	500 mm	500 mm
7	Koefisien erodibilitas tanah (k)	0,24	0,24

Tabel 4.9. Hasil running

Keterangan		Percobaan	
		I	II
Fungsi tujuan 1	J(1)	554,1	470,15
Fungsi tujuan 2	J(2)	1,7	0,97
Fungsi tujuan 3	J(3)	23,12	19,32
Fungsi tujuan 4	J(4)	8,12	0,94
Fungsi tujuan 5	J(5)	18989,41	13335,91
Fungsi tujuan 6	J(6)	763053,03	428518,84
Kesalahan Volume	VE	1,12	0,99
Kesalahan Relatif	RE	0,98	0,97
Koefisien Korelasi	(r)	0,86	0,97

Jika diamati dari hasil percobaan I dan II, nilai J(1), J(2), J(3), J(4), J(5), J(6) dari percobaan II lebih kecil dibanding percobaan I, sedangkan nilai kesalahan volume (VE) dan kesalahan relatif (RE) untuk percobaan II relatif lebih kecil dibandingkan percobaan I. (Lihat Tabel 4.9). Sedangkan koefisien korelasi percobaan II mengalami kenaikan dibandingkan percobaan I. Maka dapat ditarik kesimpulan nilai parameter yang digunakan adalah nilai parameter percobaan II. Fungsi tujuan yang digunakan adalah fungsi tujuan J(4).

4.5. Verifikasi

Verifikasi yaitu suatu kegiatan running program dengan spesifikasi standar atau persyaratan yang ditetapkan dalam pengujian kalibrasi. Dari hasil pembahasan ini, kita bandingkan dengan hasil pengujian di lapangan. Apabila mendekati maka parameter model tanki dapat digunakan.

Tabel. 4.10. Parameter Verifikasi

No	Parameter Model Tangki	Percobaan
1	Koefisien lobang bawah tangki ($:c_0$)	0,03
2	Koefisien lobang atas sisi kanan tangki ($:c_1$)	0,03
3	Koefisien lobang bawah sisi kanan tangki ($:c_2$)	0,02
4	Tinggi lobang atas ($:Th_1$)	50 mm
5	Tinggi lobang bawah ($:Th_2$)	10 mm
6	Tinggi tampungan ($:Ta$)	500 mm
7	Koefisien erodibilitas tanah (k)	0,24

TABEL 4.11.
 PERHITUNGAN MODEL TANKI UNTUK VERIFIKASI
 (BULAN DESEMBER 1984 DAN JANUARI 1985)

No	Bulan	Tgl	D. Sedimen (Di Lapangan) (q_0)	D. Hujan (Di Lapangan) (R)	T aw	Tn =(Taw+R)	Y_0 =Tn \cdot c ₀	Y_1 =(Tn-Th ₁)c ₁	Y_2 =(Tn-Th ₂)c ₂	T akhir =(Tn-Y ₀ -Y ₁ -Y ₂)	S _c = Y ₁ +Y ₂	Optimasi q _c = sc \cdot k \cdot A	q ₀
1		1	1539	10	500	510	15	14	10	471	24	1501	1.539
2		2	1475	22	471	492	15	13	10	455	3	1470	1.475
3		3	1623	60	455	515	15	14	10	475	3	1583	1.623
4		4	1215	45	475	520	16	14	10	480	3	1210	1.215
5		5	1224	36	480	516	15	14	10	477	3	1189	1.224
6		6	1163	52	477	529	16	14	10	488	3	1163	1.169
7		7	1046	64	488	552	17	15	11	510	4	1015	1.046
8		8	485	52	510	562	17	15	11	518	4	479	485
9		9	1187	56	518	574	17	16	11	530	4	1153	1.187
10		10	562	42	530	572	17	16	11	528	4	557	562
11		11	218	46	528	574	17	16	11	530	4	204	218
12		12	90	56	530	586	18	16	12	541	4	84	90
13		13	612	65	541	606	18	17	12	569	4	589	612
14		14	549	52	559	611	18	17	12	564	4	542	549
15		15	228	42	564	606	18	17	12	559	4	214	228
16		16	135	32	559	591	18	16	12	545	4	129	135
17		17	139	43	545	588	18	16	12	543	4	129	139
18		18	821	63	543	606	18	17	12	559	4	814	821
19		19	169	23	559	582	17	16	11	537	4	157	169
20		20	281	35	537	572	17	16	11	528	4	275	281
21		21	82	39	528	567	17	16	11	524	4	75	82
22		22	78	52	524	576	17	16	11	531	4	72	78
23		23	804	42	531	573	17	16	11	529	4	777	804
24		24	110	48	529	577	17	16	11	533	4	103	110
25		25	144	54	533	587	18	16	12	541	4	134	144
26		26	360	53	541	594	18	16	12	549	4	354	360
27		27	491	38	549	587	18	16	12	541	4	469	491
28		28	1768	63	541	604	18	17	12	558	4	1761	1.768
29		29	1560	54	558	612	18	17	12	564	4	1521	1.560
30		30	34	65	564	629	19	17	12	581	4	341	34
31		31	130	66	581	647	19	18	13	597	4	119	130

**PERHITUNGAN MODEL TANKI UNTUK VERIFIKASI
(BULAN DESEMBER 1984 DAN JANUARI 1985)**

No	Bulan	Tgl	D. Sedimen (Di Lapangan) (q ₀)	D. Hujan (Di Lapangan) (R)	T aw	T n =(Taw+R)	y ₀ =Tn*c ₀	y ₁ =(Tn-Th ₁)c ₁	y ₂ =(Tn-Th ₂)c ₂	T akhir =(Tn-y ₀ -y ₁ -y ₂)	s _c = y ₁ +y ₂	Optimasi q _c = s _c *K*A	q ₀
32		1	101	53	597	650	19	18	13	599	4	94	101
33		2	139	42	599	641	19	18	13	592	4	129	139
34		3	192	32	592	624	19	17	12	576	4	186	192
35		4	1614	48	576	624	19	17	12	575	4	1574	1.614
36		5	1421	59	575	634	19	18	12	585	4	1415	1.421
37		6	1026	67	585	652	20	18	13	602	4	985	1.026
38		7	1555	49	602	651	20	18	13	601	4	1548	1.555
39		8	519	54	601	655	20	18	13	604	4	497	519
40		9	875	41	604	645	19	18	13	595	4	868	875
41		10	1210	20	595	615	18	17	12	567	4	1176	1.210
42		11	1444	30	567	597	18	16	12	551	4	1438	1.444
43		12	1454	39	551	590	18	16	12	545	4	1417	1.454
44		13	1676	58	545	603	18	17	12	556	4	1670	1.676
45		14	1593	30	556	586	18	16	12	541	4	1554	1.593
46		15	623	61	541	602	18	17	12	556	4	616	623
47		16	259	45	556	601	18	17	12	554	4	244	259
48		17	1468	65	554	619	19	17	12	571	4	1461	1.468
49		18	1516	59	571	630	19	17	12	582	4	1478	1.516
50		19	1033	17	582	599	18	16	12	553	4	1026	1.033

JANUARI 1985

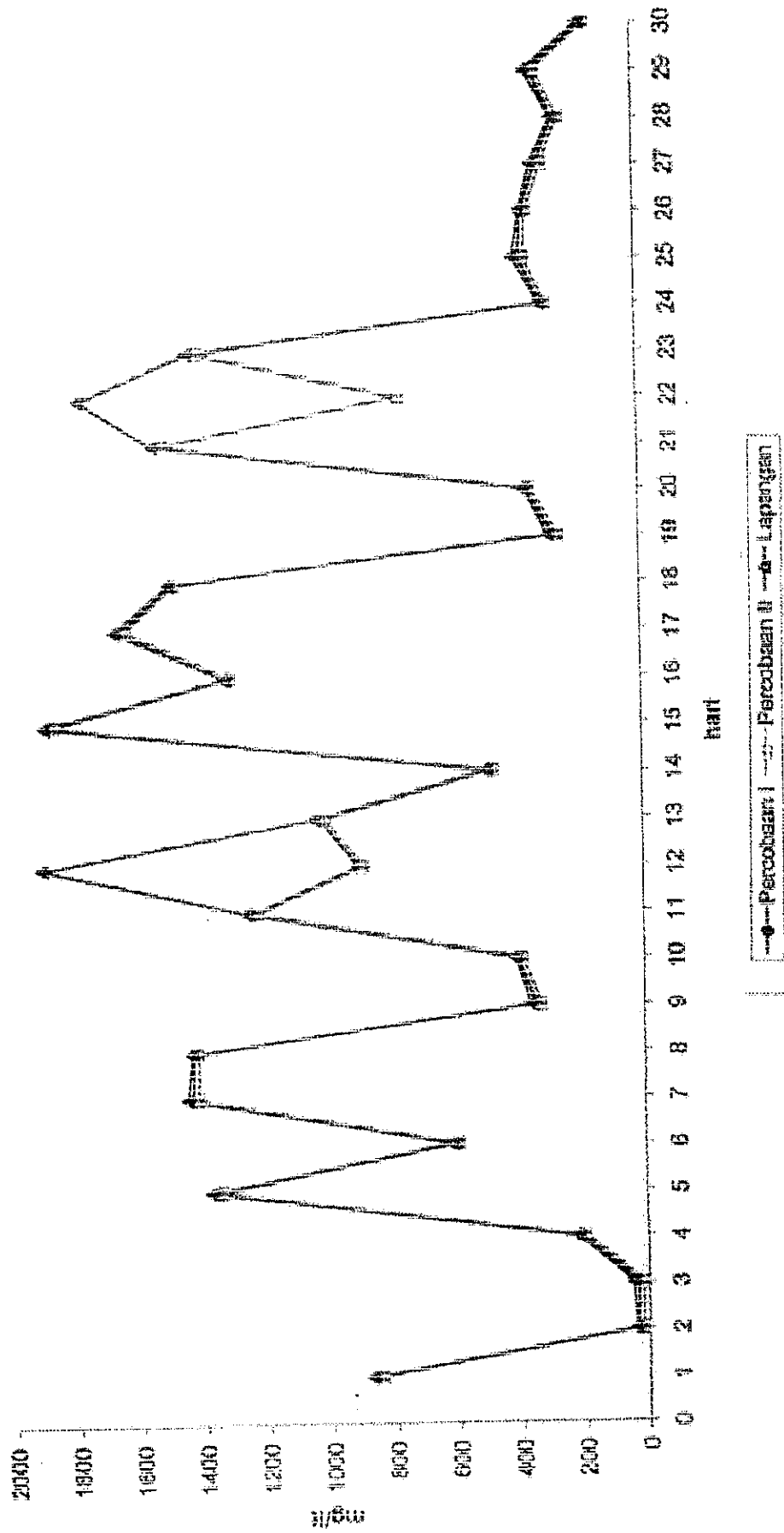
Tabel 13. Hasil Running Verifikasi

Fungsi tujuan 1	J(1)	801,03
Fungsi tujuan 2	J(2)	0,98
Fungsi tujuan 3	J(3)	25,78
Fungsi tujuan 4	J(4)	0,96
Fungsi tujuan 5	J(5)	27126,12
Fungsi tujuan 6	J(6)	972603,19
Kesalahan Volume	VE (%)	0,99%
Kesalahan Relatif	RE (%)	0,98%
Koefisien Korelasi		0,97

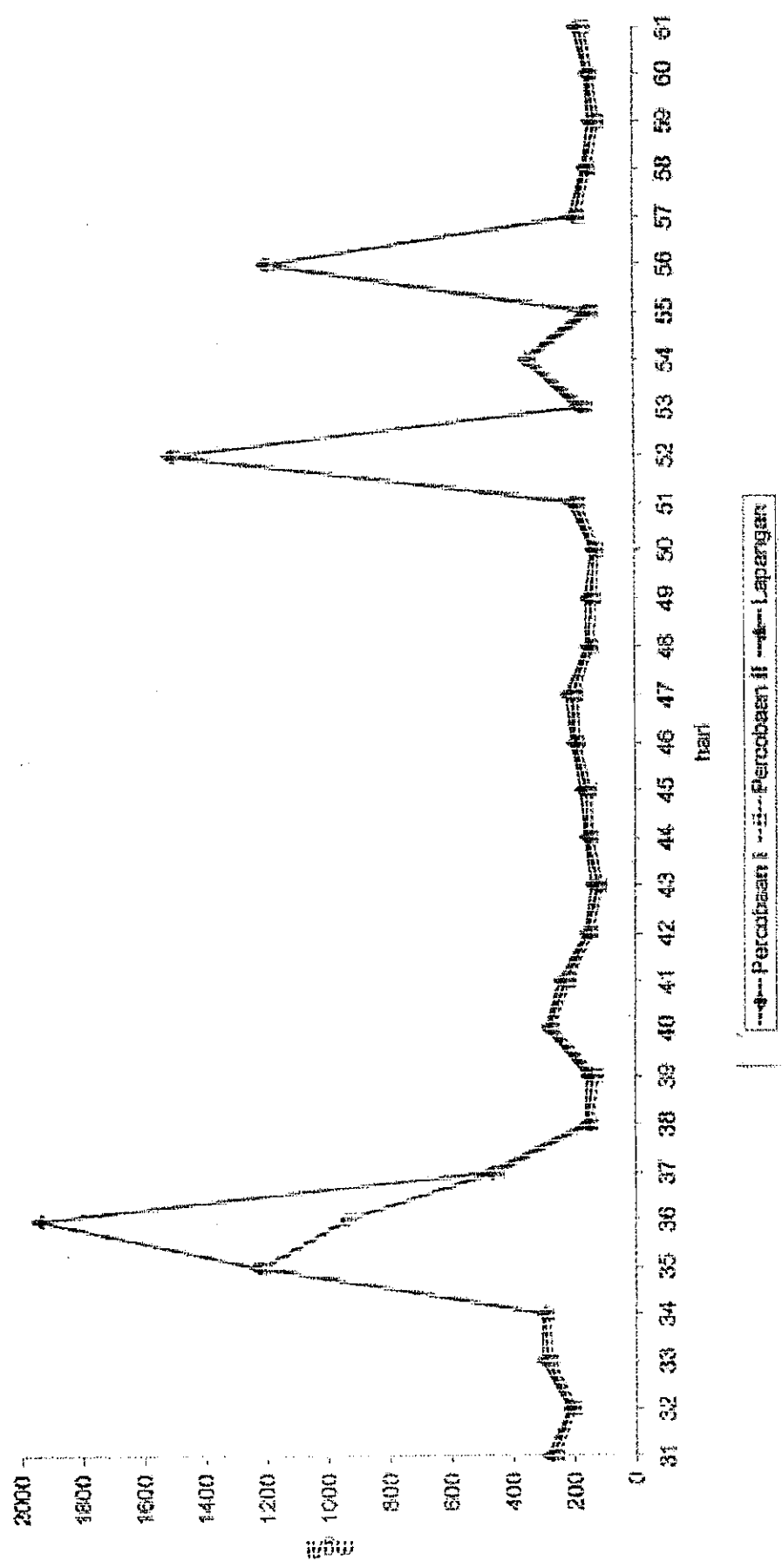
Dengan standar paramater model yaitu $c_0 = 0,03$; $c_1 = 0,03$; $c_2 = 0,02$; $Th_1 = 50\text{mm}$; $Th_2 = 10 \text{ mm}$; $Ta = 500 \text{ mm}$. Hasil perhitungan diperoleh nilai kesalahan volume (VE) = 0,99%, kesalahan relatif (RE) = 0,98% dan koefisien korelasi (r) = 0,97. Jika dibandingkan angka-angka tersebut di atas masih memenuhi standar yang disyaratkan yaitu :

- Kesalahan volume (VE) = 5%
- Kesalahan relatif (RE) = $-10\% < RE < + 10\%$
- Koefisien korelasi (r) = 0,7

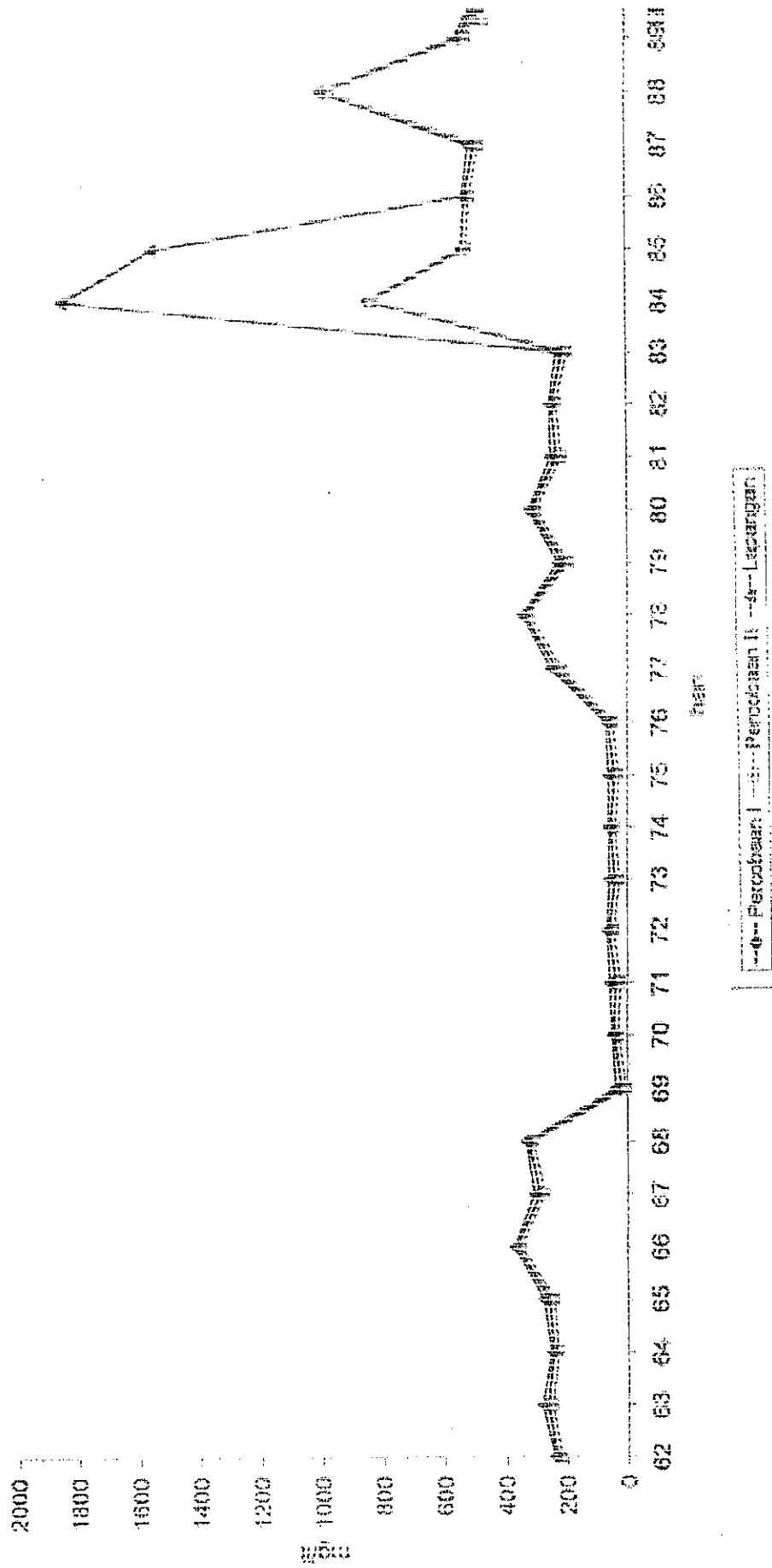
Gambar 4.1. Konsentrasi Sedimen Untuk Kalibrasi (Bulan September 1984)



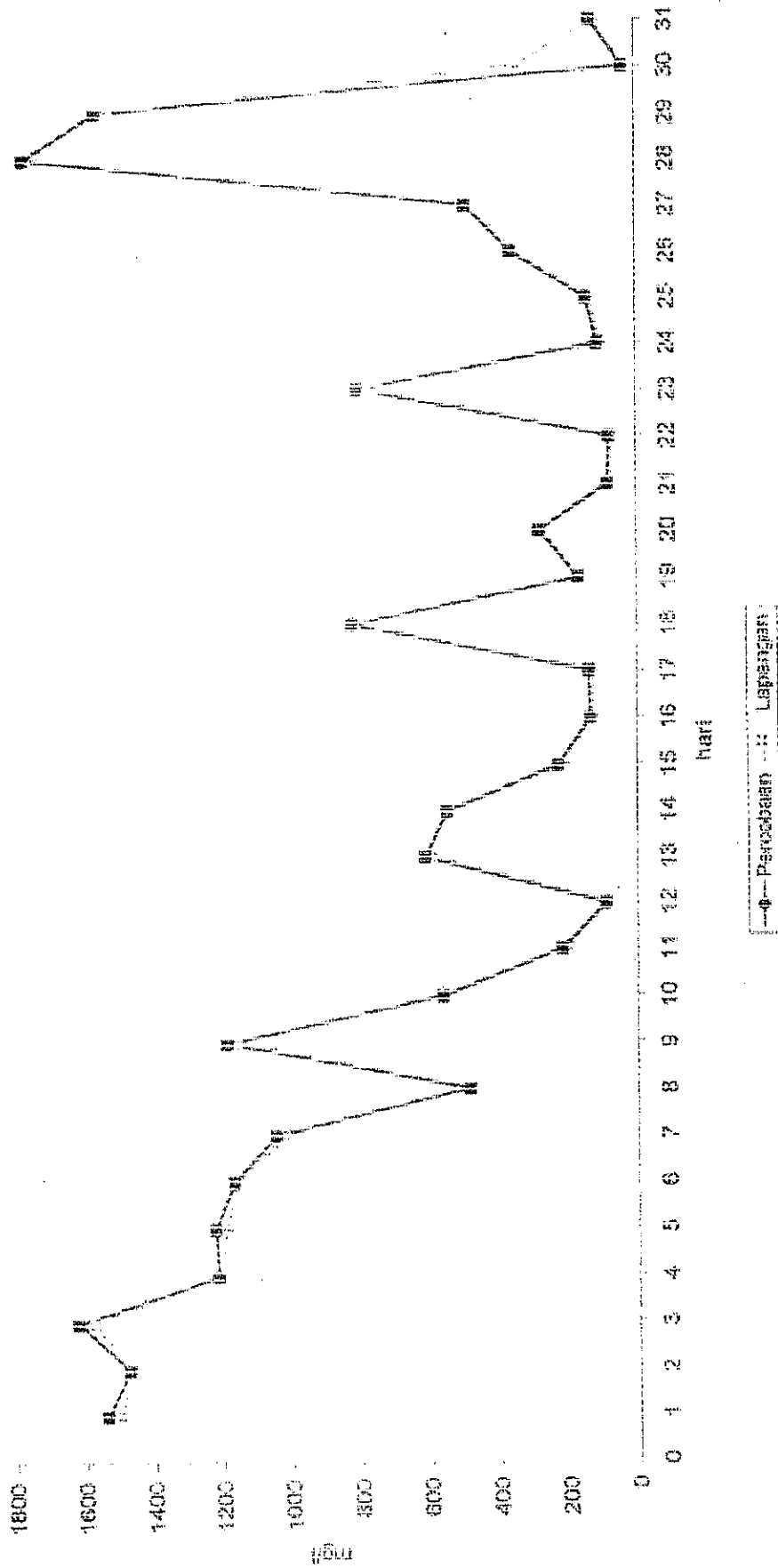
Gambar 4.2. Konsentrasi Sedimen Untuk Kalibrasi (Bulan Oktober 1984)



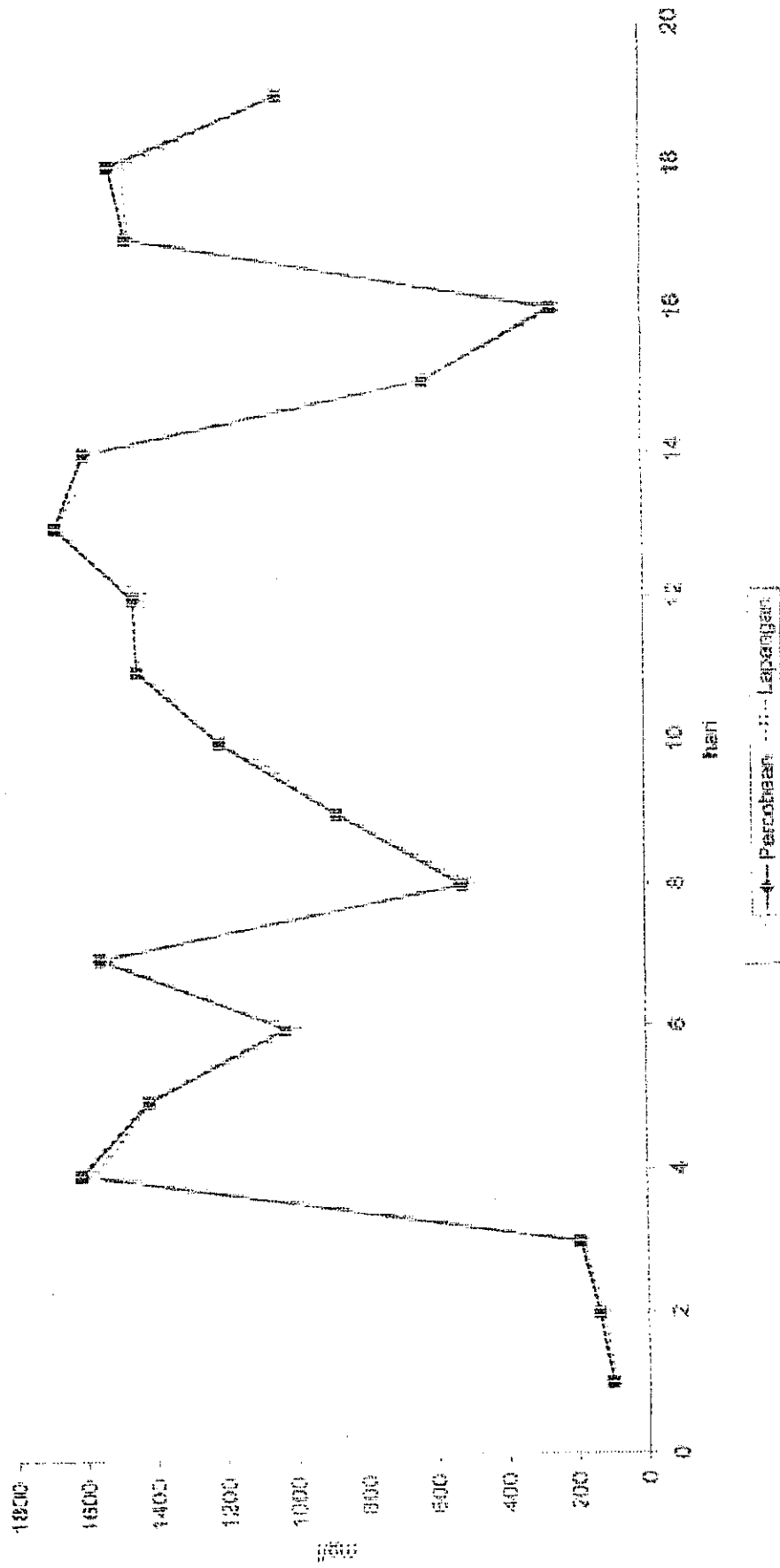
Gambar 4.3. Konsentrasi Sulfida Uraak Kalabasi (Dulu Nopember 1984)



Gambar 4.4. Konsentrasi Sedimen Untuk Verifikasi (Bulan Desember 1984)



Gambar 4.5. Konsentrasi Sedinan Untuk Verifikasi (Bulan Januari 1985)



BAB V

PEMBAHASAN

5.1. PEMBAHASAN

Dari hasil kalibrasi diperoleh parameter sebagai berikut :

No	Parameter Model Tangki	Nilai
1	Koefisien lobang bawah tangki ($:c_0$)	0,03
2	Koefisien lobang atas sisi kanan tangki ($:c_1$)	0,03
3	Koefisien lobang bawah sisi kanan tangki ($:c_2$)	0,02
4	Tinggi lobang atas ($:Th_1$)	50 mm
5	Tinggi lobang bawah ($:Th_2$)	10 mm
6	Tinggi tampungan ($:Ta$)	500 mm
7	Koefisien erodibilitas tanah (k)	0,24

Persyaratan ketelitian untuk pembahasan sebagai berikut :

1. Nilai kesalahan volume (VE) - + 5%
2. Nilai kesalahan relatif (RE) = -10% < RE < + 10%
3. Nilai koefisien korelasi (r) = 0,7

Tabel 5.1. Perhitungan Kumulatif Limpasan/Aliran Permukaan dan Konsentrasi Sedimen

No.	Bulan	Limpasan (m ³ /dt)	Kumulatif Limpasan	Konsentrasi Sedimen (mg/liter)	Kumulatif K. Sedimen
1	September 1984	24	24	847	847
2		24	48	32	879
3		26	74	43	922
4		26	100	213	1135
5		24	124	1341	2476
6		23	147	608	3084
7		22	169	1412	4496
8		23	192	1430	5926
9		24	216	342	6268
10		23	239	402	6670
11		23	262	1220	7890
12		21	283	900	8790
13		20	303	1007	9797
14		20	323	486	10283
15		19	342	1850	12133
16		18	360	1314	13447
17		17	377	1625	15072
18		17	394	1488	16560
19		16	410	269	16829
20		15	425	358	17187
21		15	440	1497	18684
22		16	456	764	19448
23		17	473	1385	20833
24		17	490	298	21131
25		18	508	366	21497
26		18	526	358	21855
27		18	544	306	22161
28		19	563	250	22411
29		21	584	323	22734
30		20	604	163	22897

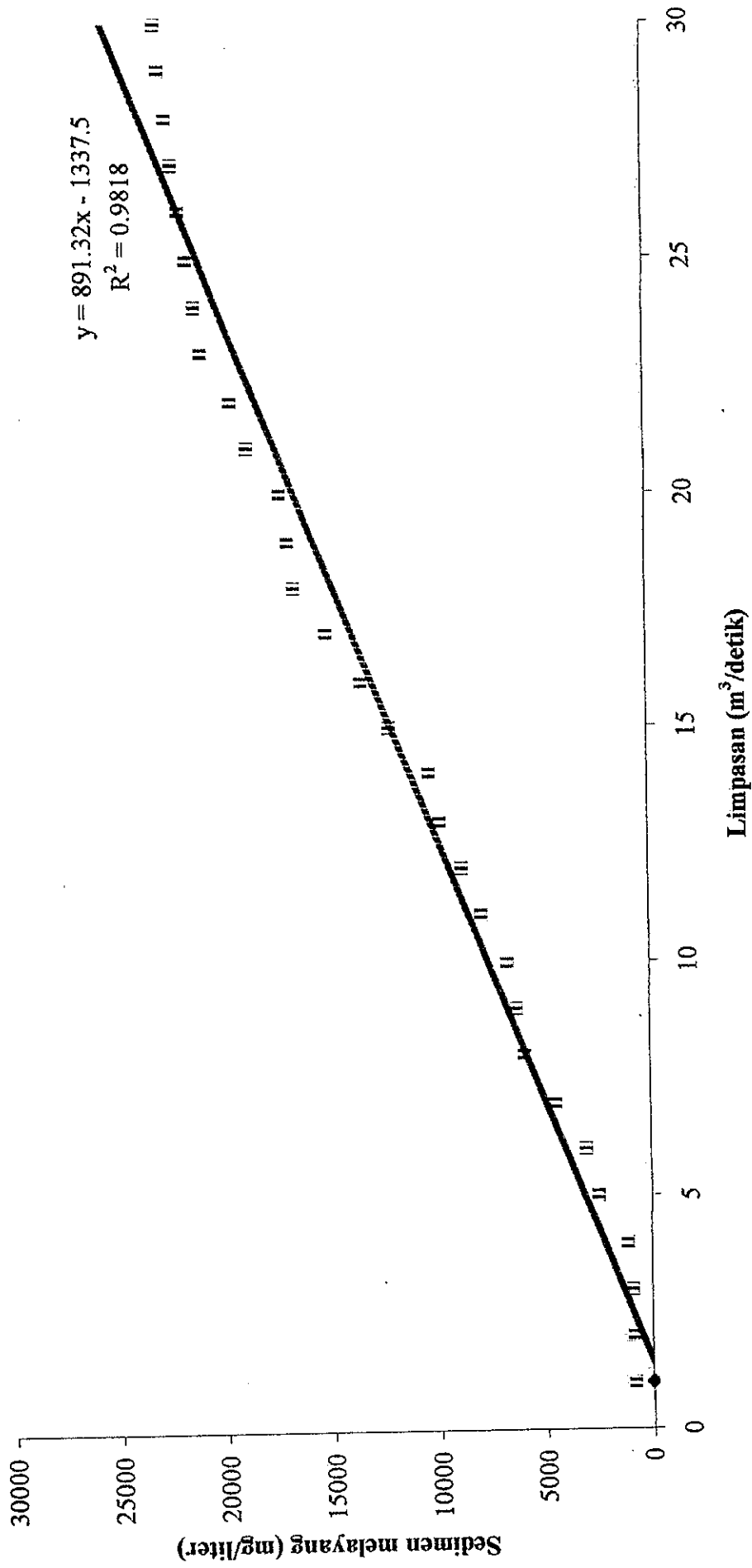
Tabel 5.2. Perhitungan Kumulatif Limpasan/Aliran Permukaan dan Konsentrasi Sedimen

No.	Bulan	Limpasan (m ³ /dt)	Kumulatif Limpasan	Konsentrasi Sedimen (mg/liter)	Kumulatif K. Sedimen
31	Oktober 1984	20	624	271	23168
32		22	646	213	23381
33		23	669	289	23670
34		22	691	298	23968
35		22	713	1203	25171
36		24	737	941	26112
37		25	762	460	26572
38		26	788	157	26729
39		27	815	147	26876
40		26	841	281	27157
41		24	865	228	27385
42		23	888	155	27540
43		23	911	123	27663
44		23	934	155	27818
45		23	957	159	27977
46		24	981	196	28173
47		26	1007	203	28376
48		27	1034	151	28527
49		28	1062	141	28668
50		28	1090	133	28801
51		28	1118	193	28994
52		28	1146	1511	30505
53		26	1172	168	30673
54		25	1197	350	31023
55		25	1222	149	31172
56		26	1248	1198	32370
57		27	1275	188	32558
58		29	1304	156	32714
59		29	1333	127	32841
60		27	1360	147	32988
61		27	1387	174	33162

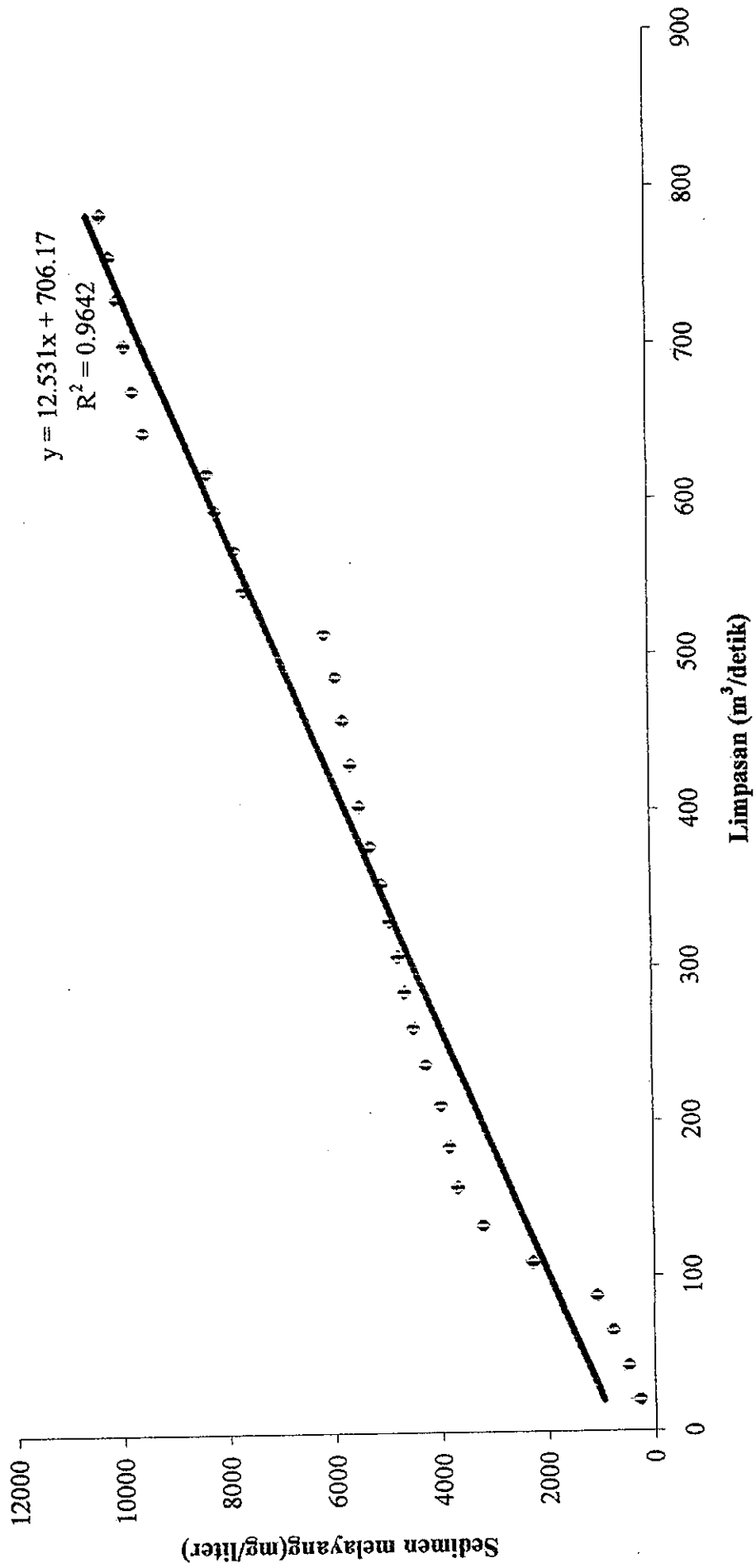
Tabel 5.3. Perhitungan Kumulatif Limpasan/Aliran Permukaan dan Konsentrasi Sedimen

No.	Bulan	Limpasan (m ³ /dt)	Kumulatif Limpasan	Konsentrasi Sedimen (mg/liter)	Kumulatif K. Sedimen
62	Nopember 1984	28	1415	234	33396
63		29	1444	263	33659
64		30	1474	243	33902
65		31	1505	258	34160
66		31	1536	365	34525
67		32	1568	287	34812
68		31	1599	323	35135
69		29	1628	19	35154
70		30	1658	41	35195
71		29	1687	39	35234
72		29	1716	59	35293
73		30	1746	41	35334
74		29	1775	54	35388
75		30	1805	44	35432
76		29	1834	61	35493
77		29	1863	229	35722
78		28	1891	334	36056
79		28	1919	206	36262
80		28	1947	312	36574
81		28	1975	229	36803
82		28	2003	245	37048
83		28	2031	210	37258
84		27	2058	846	38104
85		27	2085	539	38643
86		28	2113	528	39171
87		28	2141	498	39669
88		28	2169	993	40662
89		28	2197	541	41203
90	28	2225	473	41676	
91	29	2254	358	42034	

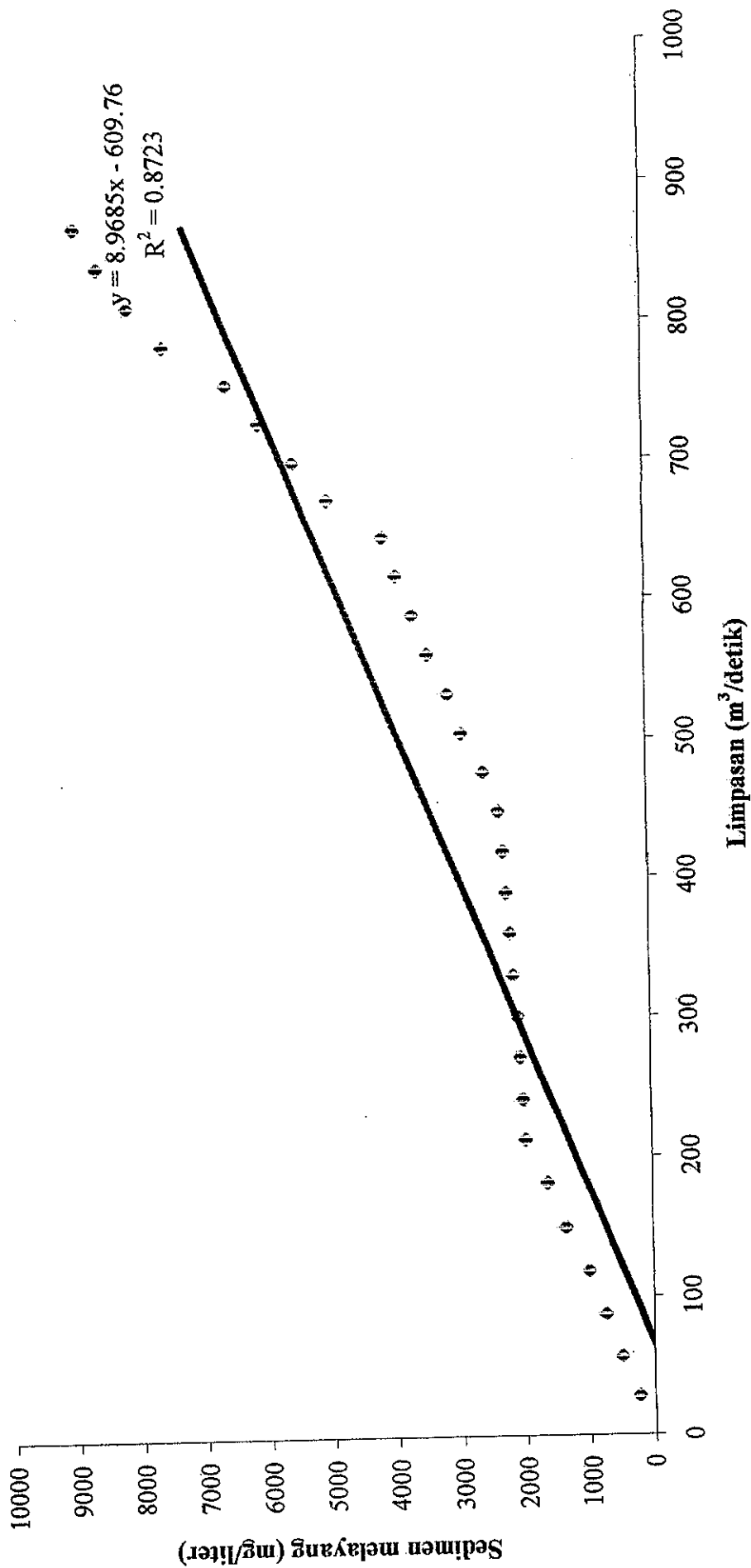
Gambar 5.1. Grafik Hubungan Antara Limpasan/Aliran Permukaan dan Sedimen Melayang (Bulan September 1984)



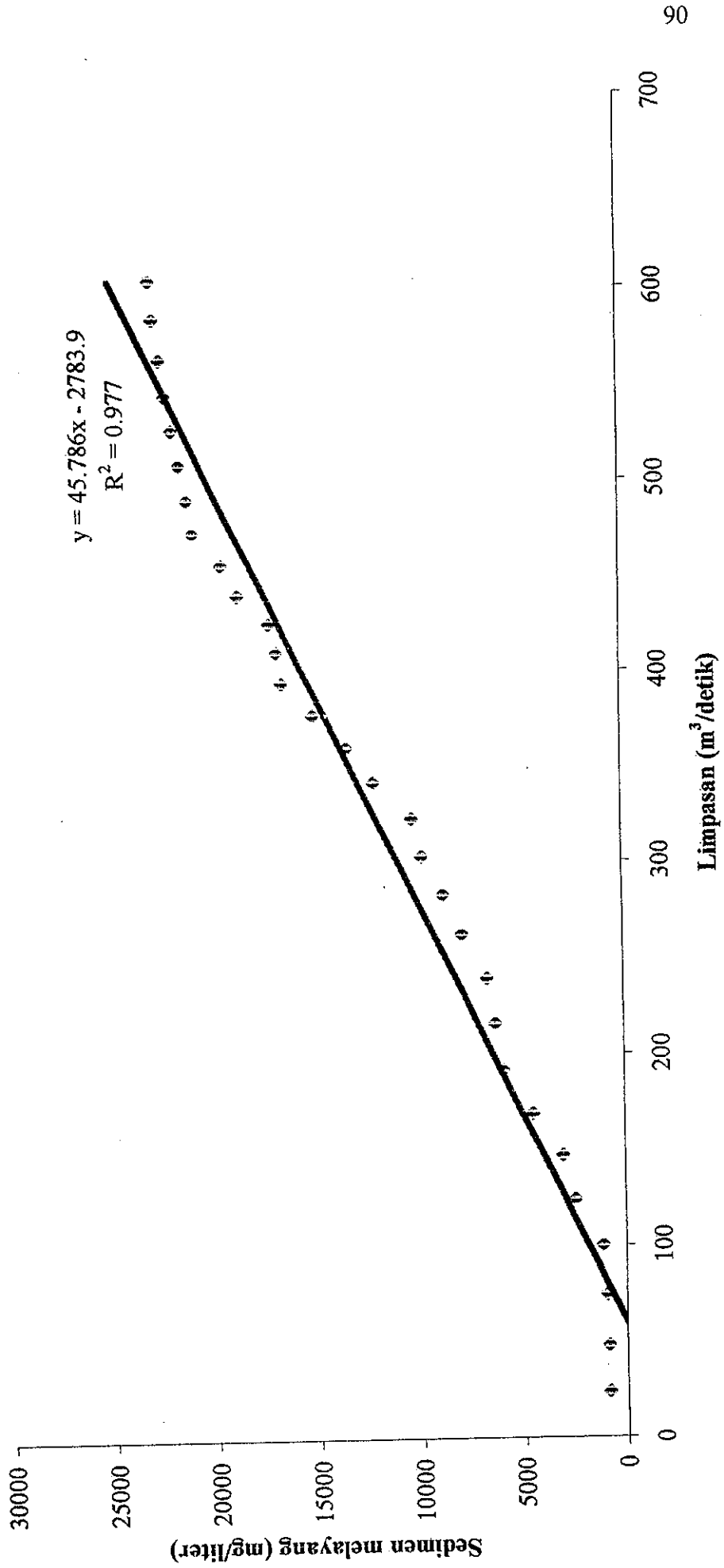
Gambar 5.2. Grafik Hubungan Antara Limpasan/Aliran Permukaan dan Sedimen Melayang (Bulan Oktober 1984)



Gambar 5.3. Grafik Hubungan Antara Limpasan/Aliran Permukaan dan Sedimen Melayang (Bulan Nopember 1984)



Gambar 5.4. Grafik Hubungan Antara Curah Hujan dan Sedimen Melayang
(Bulan September, Oktober, Nopember 1984)



Komentar :

1. Dari grafik regresi hubungan antara limpasan/aliran permukaan dan sedimen melayang bulan September 1984 diperoleh persamaan regresi $y = 891,32x - 1337,5$ dan $R^2 = 0,9818$; maka limpasan/aliran permukaan memberikan stabilitas sebesar 98,18% terhadap sedimen melayang, atau dengan kata lain limpasan/aliran permukaan memberikan kontribusi terhadap sedimen melayang sebesar 98,18%.
2. Dari grafik regresi hubungan antara limpasan/aliran permukaan dan sedimen melayang bulan Oktober 1984 diperoleh persamaan regresi $y = 12,531x + 706,17$ dan $R^2 = 0,9642$; maka limpasan/aliran permukaan memberikan stabilitas sebesar 96,42% terhadap sedimen melayang, atau dengan kata lain limpasan/aliran permukaan memberikan kontribusi terhadap sedimen melayang sebesar 96,42%.
3. Dari grafik regresi hubungan antara limpasan/aliran permukaan dan sedimen melayang bulan Nopember 1984 diperoleh persamaan regresi $y = 8,9685x - 609,76$ dan $R^2 = 0,8723$; maka limpasan/aliran permukaan memberikan stabilitas sebesar 87,23% terhadap sedimen melayang, atau dengan kata lain limpasan/aliran permukaan memberikan kontribusi terhadap sedimen melayang sebesar 87,238%.
4. Dari grafik regresi hubungan antara limpasan/aliran permukaan dan sedimen melayang bulan September, Oktober, Nopember 1984 (sesuai hasil penelitian tesis) diperoleh $y = 45,786x - 2783,9$; maka limpasan/aliran permukaan memberikan stabilitas sebesar 0,977% terhadap sedimen melayang, atau dengan kata lain limpasan/aliran permukaan memberikan kontribusi terhadap sedimen melayang sebesar 97,70%.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil optimasi parameter model tangki untuk angkutan sedimen melayang memberikan model yang baik, jika nilai-nilai ketelitiannya adalah tidak lebih dari 10% untuk kesalahan relatif (RE), tidak lebih dari 5% untuk kesalahan volume (VE), dan tidak kurang dari 0,7 untuk koefisien korelasi.
2. Dari hasil runing kalibrasi diperoleh :
 - Fungsi tujuan yang diambil fungsi tujuan 4(=J(4) dengan nilai 0,94.
 - Kesalahan Volume (:VE) = 0,99 %
 - Kesalahan Relatif (:RE) = 0,97 %
 - Koefisien Korelasi (R) = 0,97

Maka dapat disimpulkan parameter yang digunakan :

1	Koefisien lobang bawah tangki	(:c ₀)	0,03
2	Koefisien lobang atas sisi kanan tangki	(:c ₁)	0,03
3	Koefisien lobang bawah sisi kanan tangki	(:c ₂)	0,02
4	Tinggi lobang atas	(:Th ₁)	50 mm
5	Tinggi lobang bawah	(:Th ₂)	10 mm
6	Tinggi tampungan	(:Ta)	500 mm

3. Dari hasil pembahasan dapat ditarik kesimpulan limpasan/aliran permukaan memberikan stabilitas sebesar 97,70% terhadap sedimen melayang, atau

dengan kata lain limpasan/aliran permukaan memberikan kontribusi terhadap sedimen melayang sebesar 97,70%.

4. Dari hasil perhitungan kalibrasi dan verifikasi, model tank untuk optimasi memberikan kinerja yang baik.

5.2. SARAN

Pada akhir penelitian ini dapat diusulkan beberapa saran sebagai berikut.

1. Untuk penyempurnaan pengembangan model, faktor sifat tanah, kemiringan dan panjang lereng, vegetasi serta "*landcover*" yang mempengaruhi erosi permukaan dan angkutan sedimen melayang di alur sungai, secara tidak langsung perlu dimasukkan dalam analisis model.
2. Untuk pengembangan model, perlu penyempurnaan dalam penggunaan tangki, dengan mempertimbangkan jumlah dan susunan tangki yang disesuaikan dengan mekanisme angkutan sedimen melayang.
3. Karena keterbatasan data penelitian (dalam kurun waktu satu tahun), maka perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan tujuan untuk mendapatkan variasi-variasi hubungan limpasan/aliran permukaan dengan konsumsi sedimen melayang di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Akbari, G.H., A.R. Ghumman, H.N. Hashmi, dan P.R. Wormleaton, 1996, *Parameter Identification for Sediment Routing in Rivers, Journal of Hydraulic Research*, Vol.34, 1996, No.3, hal. 473-480.
- Anonim, ----, *Run - Off Calculation Method*, Reference Material for River Engineering Course, Ministry of Construction JICA, Japan.
- Anonim, 1983-1984, *Penelitian Sedimentasi dan Kualitas Air Kali Lusi di Banjarejo*, hal. 1-28, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Anonim, 1984-1985, *Penelitian Sedimentasi dan Kualitas Air Kali Lusi di Banjarejo*, hal. 1-31, Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Arsyad, S. 1982, *Pengawetan Tanah dan Air*. Institute Pertanian Bogor. Bogor
- Asdak, C., 1995, *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. hal. 338-425, Gadjah Mada University Press; Yogyakarta.
- Banuwa, I. 2001, *Jurnal Penelitian Pertanian Terapan*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung, Lampung.
- Baver, 1976, *Soil Phisics*, John Wiley and Sons, Inc, New York.
- Fleming, G., 1975, *Computer Simulation Techniques in Hydrology*, hal. 18-45, Elsevier, New York.
- Hardjowigeno, S. 1995, *Ilmu Tanah*, Akademika Pressindo, Jakarta.
- Hudson, N., 1971, *Soil Conservation*, hal. 1-320, BT Bats ford Limited, London.

- Linsley, JR., Kohler, M., Dan Paulhus, J., 1986, *Hidrologi untuk Insinyur*, Edisi Ketiga, hal. 291-330, Erlangga, Jakarta.
- Kartasapoetra, A.G. 1985, *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*, Rineka Cipta, Jakarta.
- Kartasapoetra, A.G., dan Sutedjo, M., 1985, *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*, PT. Bina Aksara, Jakarta.
- Kusumastuti, 1994, *Model Fisis Pemanfaatan Bahan Sintesis pada Lereng Tanah Pasir untuk Perlindungan Erosi Hujan*, Fakultas Teknik Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Mardjikoen, P., 1988, *Transportasi Sedimen*, hal. 1-35, Biro Penerbit KMTS Fakultas Teknik UGM, Yogyakarta.
- Morgan R.P.C., 1995, *Soil Erosion and Conservation*, Longman Scientific & Technical, London.
- Purwono, B. 1996, *Peranan Bahan Gambut Sebagai Pemantap Tanah dan Pengendali Erosi pada Tanah Podsolid Merah Kuning dan Regosol*, Tesis Fakultas Pertanian UGM, Yogyakarta.
- Rahim, S., 2000, *Pengendalian Erosi Tanah Dalam Rangka Pelestarian Lingkungan Hidup*, PT. Bumi Aksara, Jakarta.
- Rao, S.S., 1977, *Optimization Theory and Application*, hal-5, 274-283, Wiley Eastern Limited, New Delhi.
- Rijn, L.C.V., 1987, *Mathematical Modelling of Morphological Processes in the Case of Suspended Sediment Transport*, Grafische Verzorging Waterloopkundig Laboratorium, Delft.

- Rochana, K., 1996, *Skripsi Aplikasi Metode Powell untuk Optimasi Koefisien Model Tangki*, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Soemarto, 1995, *Hidrologi Teknik*, Edisi Kedua, hal. 383-484, Erlangga, Jakarta.
- Sri Harto, Br., 1993, Analisis Hidrologi, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Soewarno, 1988, *Penelitian Pendahuluan Angkutan Sedimen Melayang Sub-DAS Citarik Hulu*, Geografi Indonesia, No.2., Th 1, September 1988, hal. 11-26.
- Soewarno, 1991, *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*, hal. 643-795, Nova, Bandung.
- Sri Harto, Br., dan Sudjarwadi, 1989, *Model Hidrologi*, hal. 6-112, PAU Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Sudjarwadi, 1993, *Aspek Hidrologi Daerah Rawa, Penataran Manajemen Daerah Rawa Pasang Surut*, Desember 1993, Universitas Lambung Mangkurat, Banjarmasin, hal. 9-12.
- Sugawara, M., Watanabe, Ozaki, E., dan Katsuyama, Y., 1984, *Tank Model with Snow Component*, hal. 163-225, National Research Center for Disaster Prevention, Japan.
- Suresh, R., 2000, *Soil and Water Conservation Engineering*, Lomus Offset Press, Delhi.
- Suripin, 2001, *Pelestarian Sumber Daya Tanah dan Air*. Andi, Yogyakarta.

Sutedjo, M dan Kartasapoetro, A.G., 1991, *Pengantar Ilmu Tanah*, Rineka Cipta, Jakarta.

Vanoni, V.A., 1975, *Sedimentation Engineering*, hal. 1-15, 437-487, A.S.C.E., New York.

Wischmeier, W.H. dan Smith, 1978, *Predicing Rainfall Erosion Losses*, USDA Agr. Serv. Hanbook 537.

Wudianto, R., 2000, *Mencegah Erosi*, Penebar Swadaya, Jakarta.