

BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1. Tinjauan Umum

Hidrologi mempunyai peranan penting dalam pengelolaan dan perbaikan DAS. Telah diketahui bahwa pengelolaan dan perbaikan DAS adalah suatu usaha untuk meningkatkan daya dukung wilayah sesuai dengan kemampuan wilayah yang bersangkutan atau dengan kata lain merupakan upaya pemanfaatan secara optimal dari semua unsur sumber daya alam (Sri Harto, 1985:4).

Pendekatan hidrologi ini mulai ditanyakan kesahihannya, mengingat bahwa masalah yang ada di dalam wilayah aliran sungai tidak hanya masalah hidrologi semata, tetapi faktor lain yang perlu dipertimbangkan seperti erosi, sedimentasi, dan produksi lahan.

Pengelolaan DAS mempunyai banyak tujuan, diantaranya adalah memperbaiki dan mengendalikan laju limpasan permukaan, meningkatkan produksi dan pendapatan wilayah, serta mengendalikan erosi dan sedimentasi. Ketiga tujuan ini sering menimbulkan kontradiksi yang tajam karena dilakukan sendiri-sendiri, sehingga memang perlu adanya pengelolaan dan monitoring yang terpadu. Sebelum diadakan konservasi tanah guna pengembangan dan pengelolaan DAS harus ditinjau ketiga nilai tersebut secara berkesinambungan. Selanjutnya akan ditinjau tentang laju limpasan permukaan, laju erosi, produktivitas pertanian, metode konservasi tanah, dan teknik optimasinya.

2.2. Laju Limpasan Permukaan

2.2.1. Pengertian Presipitasi

Presipitasi adalah nama dari uap yang mengkondensasi dan jatuh ke tanah dalam rangkaian proses daur hidrologi, jumlah curah hujan selalu dinyatakan dengan dalam curah hujan (mm).

Presipitasi adalah faktor utama yang mengendalikan berlangsungnya daur hidrologi dalam suatu wilayah DAS (merupakan elemen utama yang perlu diketahui mendasari pemahaman tentang kelembaban tanah, proses resapan air tanah, dan debit aliran). Seperti diketahui bahwa keterlanjutan proses ekologi, geografi, dan tata guna

lahan di suatu DAS ditentukan oleh berlangsungnya daur hidrologi, dan dengan demikian presipitasi dapat dipandang sebagai faktor pendukung sekaligus pembatas bagi usaha pengelolaan sumber daya air dan tanah. Para perencana pengelolaan DAS, terutama pengelolaan sumberdaya air harus menyadari pentingnya memahami proses dan mekanisme terjadinya presipitasi, terutama hal-hal yang berkaitan dengan bagaimana caranya mengkuantifikasi dan melakukan analisis tentang karakteristik presipitasi yang sangat bervariasi, bagaimana cara pengukurannya, dan dalam bentuk apa data presipitasi seharusnya dilaporkan.

Bentuk-bentuk presipitasi yang ada di bumi ini berupa: (Linsley, 1996:48)

- a. Gerimis (*drizzle*), yang kadang-kadang disebut *mist*, terdiri dari tetes-tetes air yang tipis, biasanya dengan diameter antara 0,1 dan 0,5 mm, dengan kecepatan jatuh yang demikian lambatnya sehingga kelihatan seolah-olah melayang.
- b. Hujan (*rain*), merupakan bentuk yang paling penting, Terdiri dari tetes-tetes air yang mempunyai diameter yang lebih besar dari 0,5 mm. Curah hujan (*rainfall*) umumnya menunjukkan jumlah presipitasi air.
- c. Embun, merupakan hasil kondensasi di permukaan tanah atau tumbuh-tumbuhan dan kondensasi dalam tanah. Sejumlah air yang mengembun di malam hari akan diuapkan di pagi harinya. Ini sangat penting bagi tanaman, tetapi tidak memegang peranan penting dalam daur hidrologi, karena jumlahnya tidak besar, dan penguapannya di pagi buta.
- d. *Glaze* dalam selimut es, biasanya bersih dan halus, yang terbentuk pada permukaan yang terbuka oleh pembekuan atau air yang sangat dingin yang diendapkan oleh hujan atau gerimis.
- e. Kabut, pada saat terjadi kabut, partikel-partikel air diendapkan di atas permukaan tanah dan tumbuh-tumbuhan. Kabut beku atau *rime* merupakan presipitasi kabut beku. Kabut sangat penting bagi pertumbuhan hutan, yang menurut penelitian di Jerman dapat menaikkan hujan tahunan (30%-40% di tengah hutan dan 100% di tepinya).
- f. Salju adalah campuran kristal-kristal es yang sebagian besar berbentuk heksagonal yang kompleks dan bercabang, dan umumnya menggumpal menjadi kumpulan salju (*snowflake*), yang diameternya dapat mencapai beberapa inchi. Kerapatan jatuh salju segar yang jatuh bervariasi: salju sebanyak 125 sampai 500 mm umumnya

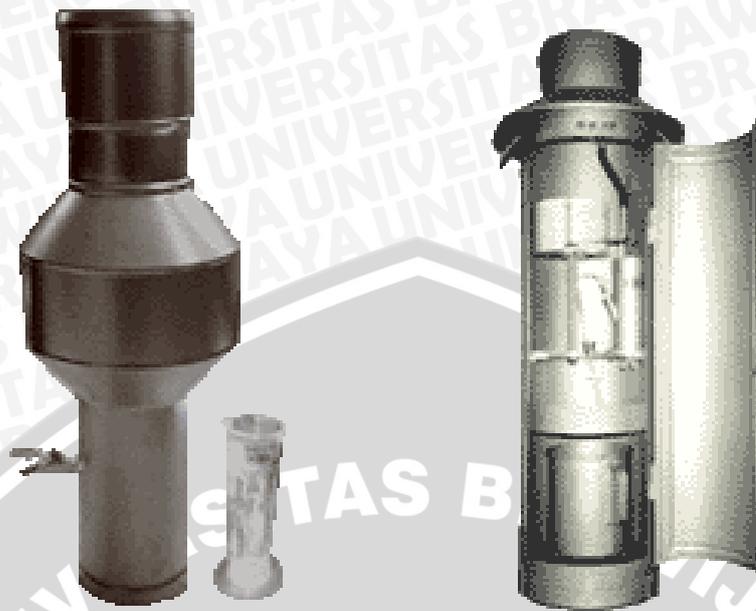
dibutuhkan untuk menyamai air sebanyak 25 mm. Kerapatan (berat jenis) rata-ratanya sering dianggap sebesar 0,1.

- g. Hujan es (*hail*) adalah hujan dalam bentuk bola-bola es, yang dihasilkan dalam awan konvektif, kebanyakan *cumulonimbus*. Batu-batu es (*hailstones*) dapat berbentuk kerucut atau tidak beraturan, dan diameternya berkisar antara 5 sampai 125 mm. Biasanya terdiri dari lapisan-lapisan yang berganti-ganti dari *glaze* dan *rime*.
- h. *Sleet* (hujan yang bercampur es dan salju) terdiri dari butir-butir es yang bulat, pejal dan tembus cahaya, yang terbentuk oleh pembekuan tetes air hujan yang turun atau pembekuan kembali sebagian besar kristal es yang mencair yang jatuh melalui suatu lapisan udara dengan temperatur di bawah titik beku di dekat permukaan bumi.

Besarnya angka presipitasi (yang berbentuk hujan) di tempat yang satu dengan tempat yang lainnya tidak sama, artinya besar angka presipitasi berubah-ubah menurut lokasinya. Salah satu bentuk presipitasi di Indonesia yang terpenting adalah hujan. Maka pembahasan mengenai presipitasi ini selanjutnya hanya akan dibatasi pada hujan saja. Jika membicarakan hujan, ada lima buah unsur yang harus ditinjau, yaitu:

- a. Intensitas (*i*), adalah laju curah hujan = tinggi air per satuan waktu, misalnya mm/menit, mm/jam, mm/hari.
- b. Lama waktu atau durasi (*t*), adalah lamanya curah hujan yang terjadi dalam menit atau jam.
- c. Tinggi hujan (*d*), adalah banyaknya atau jumlah hujan yang dinyatakan dalam ketebalan air di atas permukaan datar, dalam mm.
- d. Frekuensi, adalah frekuensi kejadian terjadinya hujan, biasanya dinyatakan dengan waktu ulang (*return period, T*), misalnya sekali dalam *T* tahun.
- e. Luas, adalah luas geografis curah hujan (*A*) dalam km².

Besarnya presipitasi diukur dengan menggunakan alat penakar curah hujan yang umumnya terdiri atas dua jenis, yaitu alat penakar tidak otomatis dan alat penakar hujan otomatis.



Gambar 2.1. Alat penakar hujan manual dan otomatis

Frekuensi pengukuran atau pengamatan curah hujan dapat dilakukan sebanyak:

- a. Sekali dalam sehari, misalnya pada setiap jam 07.00 atau jam 08.00 pagi hari.
- b. Sekali dalam seminggu atau sebulan, dilakukan dengan alat pencatat otomatis dengan penggantian kertas setiap minggu setiap minggu atau setiap bulan. Meskipun hanya dilakukan sekali dalam seminggu atau sebulan, tetapi hasil pencatatannya dapat membaca tinggi hujan setiap saat.

Suyono dkk (1980) berpendapat bilamana curah hujan itu mencapai permukaan tanah maka seluruhnya atau sebagian diserap ke dalam tanah. Curah hujan yang diserap ke dalam tanah disebut infiltrasi dan perkolasi. Infiltrasi adalah proses masuknya air hujan ke dalam lapisan permukaan tanah dan turun ke permukaan air tanah. Perkolasi adalah gerakan air ke bawah dari zone tidak jenuh (antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah) ke dalam zone jenuh (daerah di bawah permukaan air tanah).

Faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya infiltrasi dan perkolasi adalah tinggi genangan di atas tanah, tebal lapisan yang jenuh, kelembaban tanah, pemampatan oleh hujan, orang atau hewan, struktur tanah, tumbuh-tumbuhan, dan udara yang terdapat dalam tanah.

Curah hujan yang tidak diserap oleh tanah disebut limpasan permukaan. Proses limpasan permukaan adalah sebagai berikut:

- a. Pada bagian akhir dari hujan permulaan, air yang mengisi lekukan-lekukan menambah dalamnya luapan-luapan dan mulai meluap.
- b. Air luapan ini lambat laun bertambah besar, mempersatukan aliran-aliran kecil dan mengalir di permukaan tanah ke sungai. Aliran pada tingkatan ini disebut daerah limpasan permukaan.
- c. Air yang mencapai sungai itu mengalir ke hilir mempersatukan aliran-aliran dari samping, air ini disebut dengan limpasan permukaan.

2.2.2. Perhitungan Presipitasi

Ada dua macam jenis curah hujan, yaitu curah hujan titik (*point rainfall*) dan curah hujan daerah (*area rainfall*) yang keduanya memiliki cara perhitungan yang berbeda.

- a. Curah hujan titik (*point rainfall*)

Hujan titik (*point rainfall*) adalah hasil pencatatan besarnya curah hujan pada satu titik pengamatan tertentu. Besarnya curah hujan titik ini dapat langsung dibaca pada suatu alat penakar hujan (stasiun curah hujan).

- b. Curah hujan daerah (*area rainfall*)

Curah hujan yang diperlukan untuk penyusunan suatu rancangan pemanfaatan air dan rancangan pengendalian banjir adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu. Curah hujan ini disebut curah hujan wilayah/daerah (*area rainfall*) yang dinyatakan dalam satuan milimeter (mm).

Jika dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai curah hujan area (daerah). Ada tiga macam cara yang berbeda dalam menentukan tinggi curah hujan rata-rata pada area tertentu dari angka-angka curah hujan di beberapa titik pos penakar atau pencatat. Ketiga metode tersebut adalah metode rata-rata aritmatik, metode thiessen, dan metode isohyet.

Beberapa dari cara-cara untuk menghitung curah hujan daerah (*area rainfall*) telah dikemukakan di atas. Meskipun cara yang terbaik belum diketahui, umumnya untuk menghitung curah hujan daerah dapat digunakan standart luas daerah sebagai berikut: (Linsley dkk, 1996:37)

- ♦ Daerah dengan luas 250 ha yang mempunyai variasi topografi yang kecil, dapat

diwakili oleh sebuah alat ukur curah hujan.

- ◆ Untuk daerah antara 250 ha-50.000 ha dengan 2 atau 3 titik pengamatan dapat digunakan cara rata-rata. Jika dihitung dengan sebuah titik pengamatan, harus dipakai sebuah pedoman.
- ◆ Untuk daerah antara 100.000 ha-500.000 ha yang mempunyai titik-titik pengamatan yang tersebar cukup merata dan dimana curah hujannya tidak terlalu dipengaruhi oleh kondisi topografi, dapat digunakan cara rata-rata aritmatik. Jika titik-titik pengamatan itu tidak tersebar merata maka digunakan cara thiessen.
- ◆ Untuk daerah yang luasnya lebih besar dari 500.000 ha dapat digunakan cara isohyet.

Dalam studi ini akan menggunakan metode rata-rata aritmatik:

Metode Rata-rata Aritmatik

Tinggi rata-rata curah hujan didapatkan dengan mengambil nilai rata-rata hitung (*arithmetic mean*) pengukuran hujan di pos penakar-penakar hujan di dalam areal tersebut. (Soemarto, 1999:10)

$$d = \frac{d_1 + d_2 + d_3 + \dots + d_n}{n} \quad (2-1)$$

dengan : d = tinggi curah hujan rata-rata

$d_1, d_2, d_3, \dots, d_n$ = tinggi curah hujan pada pos penakar

n = banyaknya pos penakar hujan

2.2.3 Distribusi Curah Hujan Rancangan

Banyak macam distribusi teoritis yang kesemuanya itu dapat dibagi dua, yang satu diskrit dan lainnya kontinu. Distribusi diskrit adalah Binominal dan Poisson, sedangkan distribusi kontinu adalah Nomal, Log Normal, Gamma, Beta, Log Pearson, dan Gumbel.

Dalam analisa studi ini hanya akan menggunakan distribusi Log Pearson tipe III dengan uraian sebagai berikut:

Distribusi Log Pearson Tipe III

Soemarto (1999:152) mengatakan, untuk menghitung banjir perencanaan dalam praktik, *the Hydrologi Committe of the Water Resources Council, USA*, menganjurkan, pertama kali mentransformasi data ke nilai-nilai logaritmanya, kemudian menghitung

parameter-parameter statistiknya. Karena transformasi tersebut, maka cara ini disebut Log Pearson Tipe III.

Garis besar cara tersebut adalah sebagai berikut:

1. Ubahlah data hujan tahunan sebanyak n buah $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ menjadi $\text{Log } X_1, \text{Log } X_2, \dots, \text{Log } X_n$
2. Hitung nilai standard deviasinya dengan rumus berikut ini:

$$\overline{\log X} = \frac{\sum_{i=1}^n \log x_i}{n} \quad (2-2)$$

$$S_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log x})^2}{n-1}} \quad (2-3)$$

3. Hitung koefisien kemencengan dengan rumus berikut ini:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (\log x_i - \overline{\log x})^3}{(n-1)(n-2)s_i^2} \quad (2-4)$$

4. Hitung logaritma debit dengan waktu balik yang dikehendaki dengan rumus:

$$\text{Log } Q = \overline{\log X} + G \cdot S_i \quad (2-5)$$

5. Cari anti $\log Q$ untuk mendapatkan besar curah hujan dengan waktu balik yang dikehendaki.

2.2.4. Perhitungan Laju Limpasan Permukaan

Limpasan permukaan (*surface run off*) adalah jumlah air yang melimpas di atas permukaan tanah akibat curah hujan. Apabila jumlah hujan yang turun ke lahan lebih banyak dibandingkan yang masuk ke dalam lahan, maka indikasi ini menjelaskan bahwa prosentasi tutupan lahan oleh tanaman yang menyerap air sangat rendah, atau tutupan lahan dengan bahan kedap air lebih luas dibanding tutupan lahan yang dapat menyerap atau tembus air ke dalam tanah. Keadaan ini menimbulkan limpasan yang besar atau genangan yang tinggi.

Kerugian yang diakibatkan limpasan permukaan atau biasa juga disebut banjir untuk setiap kawasan sangat berbeda. Kawasan yang mempunyai nilai ekonomis tinggi, seperti Kota Jakarta, banjir 0,5 meter saja telah mengakibatkan kerugian materi yang sangat besar. Sedangkan di kawasan yang kurang mempunyai nilai ekonomis tinggi,

misalnya di hutan yang tidak ada penduduknya, maka banjir yang setinggi 1 meter belum menimbulkan kerugian yang berarti. Oleh karena itu kerugian akibat limpasan permukaan sangat ditentukan oleh nilai ekonomis suatu lahan atau wilayah atau kawasan. Dengan demikian limpasan permukaan bisa dijadikan salah satu indikator keberhasilan dalam mengelola DAS.

Untuk menentukan ukuran bangunan pengawetan tanah (saluran air, *terras*, *check dam*, dan sebagainya) diperlukan data tentang limpasan permukaan. Walaupun peramalan yang tepat tidak mungkin dilakukan, tetapi dengan berbagai perhitungan dan asumsi peramalan yang dilaksanakan dapat diharapkan akan didekati kebenaran. Untuk meramal laju limpasan permukaan, langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menetapkan tingkat jaminan dimana limpasan permukaan yang terjadi di masa yang akan datang lebih kecil daripada laju maksimum yang diperhitungkan.

Ada dua cara untuk menentukan laju maksimum limpasan permukaan, yakni cara hidrograf dan cara non-hidrograf.

Pada cara non-hidrograf, metode yang dipakai adalah metode rasional. Metode ini paling mudah dan sederhana, namun metode ini hanya berlaku untuk menentukan debit (Q) maksimum daerah aliran yang kecil ($< 100 \text{ km}^2$), misalnya untuk saluran-saluran drainase perkotaan. Yang termasuk metode rasional adalah metode Weduwen, metode Melchior, metode Haspers, dan metode HSS Nakayasu.

Pada cara hidrograf satuan sintetis ada beberapa metode, antara lain metode Snyder, metode Gamma I, dan metode Nakayasu. Metode Snyder menghubungkan ansur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik DAS. Metode Gamma I dalam pemakaiannya perlu memperhatikan beberapa hal. HSS Gamma I ini dikembangkan di Pulau Jawa untuk luas DAS maksimum 3.250 km^2 , dan cara ini sangat peka terhadap hujan efektif yang dipakai. Dr. Nakayasu dari Jepang telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang dan mengembangkan suatu metode yang dikenal dengan metode Nakayasu.

Dalam analisis ini hanya akan dipakai metode HSS nakayasu berdasarkan pertimbangan bahwa cara ini sudah sering dipakai untuk kondisi di Indonesia, dan beberapa parameter sudah diujicobakan menurut kondisi yang ada di Indonesia.

2.2.5. Penentuan Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran (*runoff coefficient*) adalah perbandingan antara jumlah air hujan yang mengalir atau melimpas di atas permukaan tanah (*surface runoff*) dengan jumlah air hujan yang jatuh dari atmosfer. Nilai koefisien pengaliran (*runoff coefficient*) berkisar antara 0 sampai dengan 1 dan bergantung dari kondisi dan karakteristik suatu daerah. Adapun kondisi dan karakteristik yang dimaksud adalah sebagai berikut:

- a. Keadaan hujan
- b. Luas dan bentuk aliran kemiringan dasar sungai
- c. Kemiringan daerah aliran dan kemiringan dasar sungai
- d. Daya infiltrasi dan daya perkolasi tanah
- e. Kebasahan tanah
- f. Suhu udara, angin, dan evaporasi
- g. Tata guna air

Koefisien pengaturan merupakan perbandingan antara volume limpasan permukaan yang terjadi dengan volume curah hujan yang menyebabkan adanya limpasan tersebut, dirumuskan sebagai berikut (Suyono, 1985:145):

$$C = \frac{Q}{R} \quad (2-6)$$

Keterangan : C = koefisien pengaliran

Q = jumlah limpasan

R = jumlah curah hujan

Adapun rumus untuk mendapatkan nilai C jika diketahui luas dari setiap jenis penggunaan lahan adalah sebagai berikut:

$$C = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_b \cdot A_n}{\Sigma A} \quad (2-7)$$

Angka koefisien pengaliran ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan apakah suatu DAS telah mengalami gangguan (fisik). Nilai c yang besar menunjukkan bahwa lebih banyak air hujan yang menjadi air larian. Hal ini kurang menguntungkan dari segi pencagaran sumberdaya air karena besarnya air yang akan menjadi air tanah berkurang. Kerugian lainnya adalah dengan semakin besarnya jumlah air hujan yang menjadi air larian, maka ancaman terjadinya erosi dan banjir menjadi lebih besar.

Nilai-nilai koefisien pengaliran untuk setiap penggunaan lahan dapat dilihat pada tabel 2.1.

2.2.6. Hujan Netto

Hujan netto adalah hujan total yang dapat menghasilkan limpasan langsung (*direct run off*). Besarnya curah hujan netto yang terjadi dapat dinyatakan dengan rumus sebagai berikut:

$$R_n = C \cdot R_z \text{ (mm)} \quad (2-8)$$

dimana : R_n = hujan netto

C = koefisien pengaliran

R_z = curah hujan harian dengan periode ulang T tahun

Tabel 2.1. Koefisien Pengaliran

| Diskripsi Lahan | Keterangan | Nilai C |
|------------------------------|-----------------------------|---|
| Bisnis | Perkotaan | 0,70 – 0,95 |
| | Pinggiran | 0,50 – 0,70 |
| Perumahan | Rumah tinggal | 0,30 – 0,50 |
| | Multi unit, terpisah | 0,40 – 0,60 |
| | Multi unit, tergabung | 0,60 – 0,75 |
| | Perkampungan | 0,25 – 0,40 |
| | Apartemen | 0,50 – 0,70 |
| Industri | Ringan | 0,50 – 0,80 |
| | Berat | 0,60 – 0,90 |
| Perkerasan | Aspal dan beton | 0,70 – 0,95 |
| | Batu bata, paving | 0,50 – 0,70 |
| Atap | | 0,75 – 0,95 |
| | Halaman, tanah berpasir | Datar 2% Rata 2-7% Curam 7% |
| Halaman, tanah berat | Datar 2% | 0,13 – 0,17 |
| | Rata 2-7% | 0,18 – 0,22 |
| | Curam 7% | 0,25 – 0,35 |
| Halaman kereta api | | 0,10 – 0,35 |
| | Taman tempat bermain | 0,20 – 0,35 |
| Taman, perkuburan | | 0,10 – 0,25 |
| | Hutan | Datar 0-5% Bergelombang 5-10% Berbukit 10-30% |
| Daerah pegunungan curam | | 0,75 – 0,90 |
| | Daerah pegunungan tersier | 0,70 – 0,80 |
| Tanah bergelombang dan hutan | | 0,50 – 0,75 |
| | Tanah dataran yang ditanami | 0,45 – 0,60 |
| Persawahan yang diairi | | 0,70 – 0,80 |
| | Sungai di daerah pegunungan | 0,75 – 0,85 |
| Sungai kecil di dataran | | 0,45 – 0,75 |

Sumber: Suripin (1989) dan Sosrodarsono (1987)

2.2.7. Distribusi Hujan Jam-jaman

Dalam perhitungan untuk mendapatkan hidrograf banjir dengan cara unit hidrograf, diperlukan pembagian curah hujan yang terjadi dalam suatu selang waktu tertentu (curah hujan jam-jaman). Karakteristik hujan di Jawa Timur berkisar antara 5-7 jam. Pembagian curah hujan untuk setiap jamnya menggunakan metode rasional sebagai pendekatan untuk membuat hidrograf banjir. Adapun rumus yang dipakai adalah rumus mononobe, sebagai berikut:

$$R_T = R_0 \left(\frac{t}{T} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (\text{mm/jam}) \quad (2-9)$$

$$R_0 = \frac{R_{24}}{t} \quad (2-10)$$

$$\text{Ratio } R_t = t \cdot R_t - (t-1)(R_{t-1}) \quad (2-11)$$

dimana : R_t = intensitas rerata hujan dalam T jam (mm/jam)

R_0 = rerata huan tiap jam (mm/jam)

t = waktu konsentrasi hujan

T = waktu mulai hujan (jam)

R_t = prosen inersia rerata hujan dalam T (jam)

R_{24} = curah hujan efektif dalam 1 hari (mm)

2.2.8. Hidrograf Satuan Sintetis

Untuk mendapatkan banjir rencana, terlebih dahulu dibuat hidrograf banjir pada sungai yang bersangkutan. Untuk mendapatkan hidrograf banjir dapat digunakan metode snyder, nakayasu, dan gamma I. Untuk pembahasan ini memakai model hidrograf nakayasu.

Penggunaan metode ini, memerlukan beberapa karakteristik parameter daerah alirannya, seperti :

- Tenggang waktu permukaan hujan sampai puncak hidrograf (*time of peak*)
- Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf (*time lag*)
- Tenggang waktu hidrograf (*time base of hydrograph*)
- Luas daerah aliran sungai
- Panjang alur sungai utama terpanjang (*length of the longest channel*)
- Koefisien pengaliran

Nakayasu dari Jepang, telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Ia membuat rumus hidrograf satuan sintetik dari hasil penyelidikannya sbb:

$$Q_p = \frac{C A R_0}{3,6 (0,3 T_p + T_{0,3})} \quad (2-12)$$

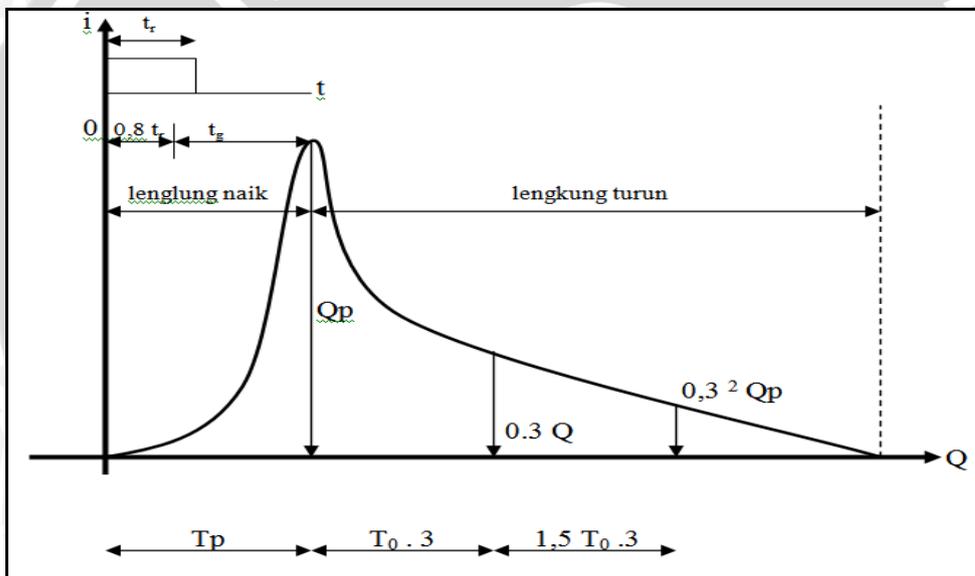
dengan :

Q_p = Debit puncak banjir ($m^3/detik$)

R_0 = Hujan satuan (mm)

T_p = Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai dengan puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = Waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak



Gambar 2.2. Model hidrograf nakayasu

$$Q_a = Q_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (2-13)$$

dengan:

Q_a = Limpasan sebelum mencapai debit puncak ($m^3/detik$)

t = Waktu (jam)

$$Q_d > 0,3 Q_p : Q_d = Q_p = 0,3 \frac{t - T_p}{T_{0,3}}$$

$$0,3 Q_p > Q_d > 0,3 Q_p: Q_d = Q_p = 0,3 \frac{t - T_{p+0,5T_{0,3}}}{1,5T_{0,3}}$$

$$0,3^2 Q_p > Q_d: Q_d = Q_p = 0,3 \frac{t - T_{p+0,5T_{0,3}}}{2T_{0,3}}$$

$$\text{Tenggang waktu untuk } T = t_g + 0,8 t_r \quad (2-14)$$

$$L < 15 \text{ km} \quad t = 0,21 L^{0,7}$$

$$L > 15 \text{ km} \quad t = 0,4 + 0,058 L$$

L = panjang alur sungai (km)

t_g = waktu konsentrasi (jam)

$t_r = 0,5 t_g$ sampai t_g

$$T_{0,3} = \alpha t_g$$

Untuk

- ✚ Daerah pengairan, $\alpha = 2$
- ✚ Bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun yang cepat, $\alpha = 1,5$
- ✚ Bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun yang lambat, $\alpha = 3$

Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu ini banyak digunakan dalam perencanaan bendungan–bendungan dan perbaikan sungai di Proyek Brantas, Jawa Timur, antara lain untuk banjir perencanaan Bendungan Lahor (tinggi 70 m), Wonorejo (tinggi 90 m), Sengguruh (tinggi 50 m) dan perbaikan Sungai Brantas bagian tengah.

2.3. Laju Erosi

2.3.1. Pengertian Erosi

Pada dasarnya, erosi adalah peristiwa hilang atau terkikisnya bagian tanah di suatu tempat yang disertai terangkutnya bagian tanah itu. Walau proses erosi dapat terjadi karena berbagai faktor di negara tropis dan basah seperti Indonesia, namun sebagian besar proses erosi terjadi karena air. (Tri M. Sunaryo dkk, 2004:40)

Hujan yang jatuh di lahan terbuka merupakan penyebab utama erosi, karena tetesan air membawa momentum yang secara mekanis dapat mengubah ikatan antar butiran tanah. Dengan berubahnya ikatan antar butir tanah, otomatis bagian tanah tersebut mudah terangkut oleh limpasan air. Semakin tinggi limpasan hujan, umumnya

derajat pengikisan tanah pada suatu lahan terbuka akan semakin meningkat pula. Dalam hal ini, perubahan tata guna lahan sangat berpengaruh terhadap besarnya erosi lahan. Konversi lahan yang disertai hilangnya vegetasi penutup tanah dan pengelolaan tanah yang tidak memerhatikan norma konversi akan menyebabkan suatu lahan mudah tererosi.

Erosi mengakibatkan terjadinya pemindahan butiran tanah ke tempat lain melalui suatu proses yang dinamakan angkutan sedimen. Pengendapan butiran tanah hasil erosi di tempat perairan menjadi permasalahan lain yang juga terkait langsung dengan erosi. Tentu saja pengendapan tersebut paling banyak terjadi di sungai dan waduk. Apabila air sungai atau waduk digunakan untuk memenuhi kebutuhan irigasi, tidak menutup kemungkinan terjadi pula pengendapan di bagian hulu bendung irigasi maupun di saluran pembawa (primer, sekunder, maupun tersier) air irigasi.

2.3.2. Proses dan Mekanisme Erosi

Terdapat dua peristiwa utama, yaitu pelepasan (*detachment*) dan pengangkutan (*transportation*) merupakan komponen-komponen erosi tanah yang penting. Di dalam proses terjadinya erosi, peristiwa pelepasan butir tanah mendahului peristiwa pengangkutan, tetapi pengangkutan tidak selalu diikuti oleh pelepasan. Ini berarti bahwa pelepasan merupakan variabel yang penting yang berdiri sendiri, tetapi pengangkutan tergantung dari pelepasan. (Soedodo, Sukandi, 2008:8)

Agen pelepasan yang penting adalah tetesan hujan yang jatuh. Tetesan air hujan memukul permukaan tanah sehingga mengakibatkan gumpalan tanah menjadi butir-butir yang lebih kecil dan terlepas. Energi tetesan hujan berupa energi kinetik hujan dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$EK = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2-15)$$

dimana: EK = energi kinetik hujan

m = massa butir hujan

v = kecepatan jatuh butiran hujan

Di samping itu proses-proses alami yang berupa pembasahan dan pengeringan tanah yang selanjutnya menimbulkan pembengkakan dan pengkerutan dapat mengakibatkan pecahnya gumpalan tanah mejadi agregat-agregat kecil.

Butir-butir tanah tunggal yang terlepas sebagian akan terlempar dan sebagian kecil akan mengisi pori-pori kapiler tanah, sehingga akan menghambat proses infiltrasi.

Aliran permukaan akan terjadi apabila air hujan yang sampai ke tanah melebihi kapasitas infiltrasinya. Aliran tersebut mula-mula laminar, tetapi lama kelamaan berubah menjadi turbulen karena pengaruh permukaan tanah yang dilaluinya. Turbulensi aliran ini dipakai untuk melepas dengan cara mengangkat dari massanya, dan menggulingkan butir-butir tanah dari massanya oleh butir-butir yang terkandung dalam aliran. Tanah-tanah yang diangkut oleh aliran ini dalam bentuk suspensi atau butir-butir tanah yang lebih besar dan bergerak sepanjang dasar aliran sebagai muatan dasar (*bed load*). Percikan hujan itu sendiri dapat juga sebagai agen pengangkutan. Perpindahan tanah oleh percikan hujan yang jatuhnya vertikal di atas permukaan tanah datar adalah nol. Apabila tetesan hujan jatuhnya miring karena tiupan angin atau jika tanahnya miring, percikan hujan menyebabkan jumlah kehilangan tanah yang lebih besar.

Aliran permukaan lama kelamaan akan berkurang sejalan dengan berkurangnya curah hujan. Oleh karena itu kemampuan pengangkutannya akan menyusut akan menyusut dan pada suatu saat akan habis sama sekali. Pada keadaan demikian ini terjadilah peristiwa pengendapan partikel tanah yang merupakan merupakan fase terakhir dari proses terjadinya erosi.

Berdasarkan atas terlibat-tidaknya peranan manusia sebagai faktor penyebabnya, erosi dapat dibedakan atas erosi alamiah (*natural erosion normal* atau *erosion*), dan erosi yang dipercepat (*accelerted erosion*). Erosi alamiah dianggap tidak membawa kerugian, karena jumlah tanah yang hilang karena erosi seimbang dengan jumlah tanah yang terbentuk. Erosi dipercepat adalah erosi yang diakibatkan oleh perbuatan manusia, yang merusak keseimbangan antara proses perbuatan manusia, yang merusak keseimbangan antara proses pembentukan dan pengikisan tanah. Di bidang pengawetan tanah, yang diperhatikan hanya erosi dipercepat saja, dan dalam pembahasan selanjutnya dipergunakan istilah erosi saja untuk mengartikan erosi yang dipercepat.

Menurut agen penyebabnya, dikenal dua jenis erosi yaitu erosi karena air (*water erosion*) dan erosi karena angin (*wind erosion*). Oleh karena Indonesia merupakan daerah yang beriklim tropis basah, maka erosi yang paling utama adalah erosi air. Berdasarkan tahapan terjadinya, erosi dapat dibedakan atas enam macam, yaitu erosi percikan (*splash erosion*), erosi permukaan (*sheet erosion*), erosi arus (*rill erosion*),

erosi parit atau jurang (*gully erosion*), erosi tebing sungai (*stream bank erosion*), dan longsor (*land slide*).

Erosi percikan terjadi sebagai akibat dari tumbukan butir-butir hujan pada permukaan tanah. Pada umumnya erosi percikan mengalami terjadinya erosi permukaan. Erosi permukaan merupakan pemindahan tanah secara seragam dari suatu permukaan tanah, akibat aliran permukaan yang terjadi dalam bentuk lapisan tipis.

Erosi alur merupakan kelanjutan dari erosi permukaan. Erosi ini terjadi karena air terkonsentrasi dan mengalir pada tempat tertentu di permukaan tanah sehingga pemindahan tanah lebih banyak terjadi pada tempat tersebut. Alur-alur yang terjadi masih dapat dihilangkan dengan pengolahan tanah biasa. Selanjutnya alur lainnya membentuk parit-parit lebih besar dan menimbulkan jurang-jurang (*gully*) sehingga disebut erosi parit/jurang atau *gully erosion*.

Erosi tebing sungai adalah erosi yang terjadi pada tebing sungai, yang disebabkan oleh arus sungai yang melanda tempat-tempat belokan atau tempat-tempat yang mudah hanyut. Erosi ini cepat sekali terjadi pada sungai-sungai yang pohon-pohonnya sepanjang sungai telah habis ditebang.

Longsor (*land slide*) adalah suatu bentuk erosi yang pengangkutan atau pemindahan tanahnya terjadi pada suatu saat dalam volume besar. Dalam proses longsor ini pemindahan tanah terjadi secara sekaligus.

2.3.3. Prakiraan Besarnya Erosi

Praktik-praktik bercocok tanam bersifat mengubah keadaan penutup lahan, dan oleh karenanya, dapat mengakibatkan terjadinya erosi permukaan pada tingkat atau besaran yang bervariasi. Oleh karena besaran erosi yang berlangsung ditentukan oleh intensitas dan bentuk aktivitas pengelolaan lahan, maka prakiraan besarnya erosi yang terjadi akibat aktivitas pengelolaan tanah tersebut perlu dilakukan. (Asdak, 2004:354)

Dari beberapa metode untuk memperkirakan besarnya erosi permukaan, metode *Universal Soil Loss Equation (USLE)* yang dikembangkan oleh Wischmeir dan Smith (1978) adalah metode yang paling umum digunakan untuk memprakirakan besarnya erosi. Istilah "*universal*" atau "umum" ini menunjukkan bahwa persamaan atau metode tersebut dapat dimanfaatkan untuk memprakirakan besarnya erosi untuk berbagai macam kondisi tataguna lahan dan kondisi iklim yang berbeda.

2.3.4. Prakiraan Erosi Metode *USLE*

Sebelum *USLE* dikembangkan lebih lanjut, prakiraan besarnya erosi ditentukan berdasarkan data atau informasi kehilangan tanah di suatu tempat. Dengan demikian, prakiraan besar erosi dibatasi faktor-faktor topografi/geologi, vegetasi dan meteorologi.

Menyadari adanya keterbatasan dalam menentukan besarnya erosi untuk tempat-tempat di luar lokasi yang telah diketahui spesifikasi tanahnya tersebut, maka dikembangkan cara untuk memprakirakan besarnya erosi dengan menggunakan persamaan matematis yang dikembangkan oleh Wischmeir dan Smith (1978) yang dikenal sebagai persamaan *USLE*. (Asdak, 2004:355)

$$A = R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P \quad (2-16)$$

A = Besarnya kehilangan tanah per satuan luas lahan. Besarnya kehilangan tanah atau erosi dalam hal ini hanya terbatas pada erosi kulit dan erosi alur. Tidak termasuk erosi yang berasal dari tebing sungai dan tidak termasuk sedimen yang terendapkan di bawah lahan dengan kemiringan besar.

R = Faktor erosivitas curah hujan dan air larian untuk daerah tertentu, umumnya diwujudkan dalam bentuk indeks erosi rata-rata (EI).

K = Faktor erodibilitas tanah untuk horison tanah tertentu, dan merupakan kehilangan tanah per satuan luas untuk indeks erosivitas tertentu. Dalam hal ini petak percobaan yang digunakan adalah panjang 72,6 ft (22,14 m) dan kemiringan lereng 9 %, dengan periode tanpa dikerjakan (*fallow period*) yang panjang. Faktor K adalah indeks erodibilitas tanah, yaitu angka yang menunjukkan mudah-tidaknya partikel-partikel tanah terkelupas dari agregat tanah oleh gempuran air hujan atau air larian.

S = Faktor gradien (beda) kemiringan yang tidak mempunyai satuan dan merupakan bilangan perbandingan antara besarnya kehilangan tanah untuk tingkat kemiringan lereng tertentu dengan besarnya kehilangan tanah untuk kemiringan lereng 9 %. Notasi S dalam hal ini bukanlah kemiringan lereng yang sesungguhnya.

C = Faktor (pengelolaan) cara bercocok tanah yang tidak mempunyai satuan dan merupakan bilangan perbandingan antara besarnya kehilangan tanah pada kondisi bercocok tanam yang diinginkan dengan besarnya kehilangan tanah pada keadaan *tilled continuous fallow*.

P = Faktor praktik konservasi tanah (cara mekanik) yang tidak mempunyai satuan dan merupakan bilangan perbandingan antara besarnya kehilangan tanah pada kondisi usaha konservasi tanah ideal (misalnya, teknik penanaman sejajar garis kontur, penanaman dalam teras, penanaman dalam larikan) dengan besarnya kehilangan tanah pada kondisi penanaman tegak lurus terhadap garis kontur.

2.3.5. Komponen-komponen *USLE*

Telah ditunjukkan oleh persamaan *USLE* bahwa besarnya erosi diperoleh dari perkalian faktor-faktor yang berkaitan dengan curah hujan, jenis tanah, panjang dan kemiringan lereng, sistem tanam, dan tindakan konservasi tanah dan air yang diterapkan di daerah kajian. Berikut ini adalah uraian masing-masing faktor yang menjadi komponen penyusun persamaan *USLE*.

1. Faktor Erosivitas Hujan (R)

Pada metode *USLE*, prakiraan besarnya erosi adalah dalam kurun waktu per tahun (tahunan), dan dengan demikian, angka rata-rata faktor R dihitung dari data curah hujan tahunan sebanyak mungkin dengan menggunakan persamaan:

$$R = \sum_i^n EI / 100 x \quad (2-17)$$

R = erosivitas hujan rata-rata tahunan

n = jumlah kejadian hujan dalam kurun waktu satu tahun (musim hujan)

x = jumlah tahun atau musim hujan yang digunakan sebagai dasar perhitungan

Besarnya EI proporsional dengan curah hujan total untuk kejadian hujan dikalikan dengan intensitas hujan maksimum 30 menit. Sementara, dengan menggunakan data curah hujan bulanan di 47 stasiun penakar hujan di Pulau Jawa yang dikumpulkan selama 38 tahun menentukan bahwa besarnya erosivitas hujan tahunan rata-rata adalah sebagai berikut:

$$EI_{30} = 6,12 (RAIN)^{1,21} (DAYS)^{-0,47} (MAXP)^{0,53} \quad (2-18)$$

dimana:

EI_{30} = erosivitas hujan rata-rata tahunan

$RAIN$ = curah hujan rata-rata tahunan (cm)

$DAYS$ = jumlah hari hujan rata-rata per tahun (hari)

$MAXP$ = curah hujan maksimum rata-rata dalam 24 jam per bulan untuk kurun waktu satu tahun (cm)

Cara menentukan besarnya indeks erosititas hujan yang lain adalah seperti dikemukakan oleh Lenvain. Rumus matematis yang digunakan oleh Lenvain untuk menentukan faktor R tersebut didasarkan pada kajian erosititas hujan dengan menggunakan data curah hujan dari beberapa tempat di Jawa.

$$R = 2,21 P^{1,36} \quad (2-19)$$

dimana: R = indeks erosititas

P = curah hujan bulanan (cm)

Cara menentukan besarnya indeks erosititas hujan yang terakhir ini lebih sederhana karena hanya memanfaatkan data curah hujan bulanan.

2. Faktor Erodibilitas Tanah (K)

Kemudahan tererosi dinyatakan dalam istilah erodibilitas (*erodibility*). Beberapa tanah seperti lanau/lumpur lebih mudah tererosi dari yang lain. Umumnya, bertambahnya kandungan organik dan fraksi ukuran lempung dari tanah, maka erodibilitas akan berkurang. Erodibilitas juga bergantung pada: tekstur tanah, kadar air, angka pori, pertukaran ion-ion, pH , dan kekuatan komposisi atau ionik dari air yang menyebabkan erosi. (Hary Chirstady, 2006:403)

Berikut ini adalah beberapa angka erodibilitas menurut jenis tanah dan bahan induk tanah yang menyusunnya.

Tabel 2.2. Prakiraan besarnya nilai K untuk jenis tanah

| Jenis klasifikasi tanah | Nilai K rata-rata (metrik) |
|--------------------------|------------------------------|
| Latosol merah | 0,12 |
| Latosol merah kuning | 0,26 |
| Latosol coklat | 0,23 |
| Latosol | 0,31 |
| Regosol | 0,12-0,16 |
| Regosol | 0,29 |
| Regosol | 0,31 |
| <i>Gley humic</i> | 0,13 |
| <i>Gley humic</i> | 0,26 |
| <i>Gley humic</i> | 0,20 |
| Lithosol | 0,16 |
| Lithosol | 0,29 |
| Grumosol | 0,21 |
| <i>Hydromorf</i> abu-abu | 0,20 |

Sumber: Lembaga Ekologi, 1979

3. Faktor Panjang Lereng (L) dan Kemiringan Lereng (S)

Faktor indeks topografi L dan S , masing-masing mewakili pengaruh panjang dan kemiringan lereng terhadap besarnya erosi. Panjang lereng mengacu pada aliran permukaan, yaitu lokasi berlangsungnya erosi dan kemungkinan terjadinya deposisi sedimen. Pada umumnya, kemiringan lereng diperlakukan sebagai faktor seragam (Asdak, 2004:365).

Dalam studi ini digunakan nilai LS berdasarkan analisa per unit lahan dari BP DAS Brantas, Malang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada lampiran tabel 5.

4. Faktor Pengelolaan Tanaman (C)

Faktor C menunjukkan keseluruhan pengaruh dari vegetasi, seresah, kondisi permukaan tanah, dan pengelolaan lahan terhadap besarnya tanah yang hilang (erosi). Oleh karenanya, besarnya angka C tidak selalu sama dalam kurun waktu satu tahun. Meskipun kedudukan C dalam persamaan $USLE$ ditentukan sebagai faktor independen, nilai sebenarnya dari faktor C ini kemungkinan besar tergantung pada faktor-faktor lain yang termasuk dalam persamaan $USLE$. Dengan demikian, dalam memprakirakan besarnya erosi menggunakan rumus $USLE$, besarnya C perlu ditentukan melalui penelitian tersendiri. (Asdak, 2004:371)

Secara umum, faktor C dalam rumus $USLE$ dimaksudkan untuk menunjukkan keseluruhan pengaruh dari vegetasi, seresah, permukaan tanah, dan aktivitas pengolahan lahan terhadap terjadinya erosi. Oleh karenanya, pada banyak kasus, besaran faktor C sepanjang tahun tidaklah sama. Meskipun merupakan faktor independen, besarnya angka C akan tergantung pada faktor-faktor lain dalam persamaan $USLE$.

Faktor C yang merupakan salah satu parameter dalam rumus $USLE$ saat ini telah dimodifikasi untuk dapat dimanfaatkan dalam menentukan besarnya erosi di daerah berhutan atau lahan dengan dominasi vegetasi berkayu. Sembilan parameter telah ditentukan sebagai faktor yang berpengaruh dalam menentukan besarnya erosi di daerah bervegetasi berkayu tersebut. Kesembilan unsur tersebut adalah konsolidasi tanah, sisa-sisa tanaman, tajuk vegetasi, sistem perakaran, efek sisa perakaran dari kegiatan pengolahan lahan, faktor kontur, kekasaran permukaan tanah, gulma dan rumput-rumputan. (Asdak, 2004:373)

Tabel 2.3. Nilai C untuk berbagai jenis pengelolaan tanaman

| No | Macam Penggunaan | Nilai Faktor |
|----|--|--------------|
| 1 | Tanah terbuka/tanpa tanaman | 1,000 |
| 2 | Sawah | 0,010 |
| 3 | Tegalan tidak dispesifikasi | 0,700 |
| 4 | Ubi kayu | 0,800 |
| 5 | Jagung | 0,700 |
| 6 | Kedelai | 0,399 |
| 7 | Kentang | 0,400 |
| 8 | Kacang Tanah | 0,200 |
| 9 | Padi | 0,056 |
| 10 | Tebu | 0,200 |
| 11 | Pisang | 0,600 |
| 12 | Akar wangi | 0,400 |
| 13 | Rumput bede (tahun pertama) | 0,287 |
| 14 | Rumput bede (tahun kedua) | 0,002 |
| 15 | Kopi dengan penutup tanah buruk | 0,200 |
| 16 | Talas | 0,850 |
| 17 | Kebun campuran | |
| | Kerapatan tinggi | 0,100 |
| | Kerapatan sedang | 0,200 |
| | Kerapatan rendah | 0,500 |
| 18 | Perladangan | 0,400 |
| 19 | Hutan alam: | |
| | Serasah banyak | 0,001 |
| | Serasah kurang | 0,005 |
| 20 | Hutan produksi | |
| | Tebang habis | 0,500 |
| | Tebang pilih | 0,200 |
| 21 | semak belukar/padang rumput | 0,300 |
| 22 | Ubikayu + kedelai | 0,181 |
| 23 | Ubikayu + kacang tanah | 0,195 |
| 24 | Padi - Sorghum | 0,345 |
| 25 | Padi - kedelai | 0,417 |
| 26 | Kacang Tanah + gude | 0,495 |
| 27 | Kacang Tanah + Kacang tunggak | 0,571 |
| 28 | Kacang Tanah + Mulsa jerami 4ton/ha | 0,049 |
| 29 | Padi + Mulsa jerami 4ton/ha | 0,096 |
| 30 | Kacang tanah + Mulsa jagung 4 ton/ha | 0,128 |
| 31 | Kacang tanah + Mulsa Crotalaria 4 ton/ha | 0,136 |
| 32 | Kacang tanah + Mulsa kacang tunggak | 0,259 |
| 33 | Kacang tanah + Mulsa jerami 2ton/ha | 0,377 |
| 34 | Padi + Mulsa Crotalaria 3ton/ha | 0,387 |
| 35 | Pola tanam tumpang gilir + mulsa jerami | 0,079 |
| 36 | Pola tanam berurutan + mulsa sisa tanam | 0,357 |
| 37 | Alang-alang murni subur | 0,001 |

Sumber: Arsyad, 2000

5. Faktor Pengelolaan dan Konservasi Tanah (P)

Faktor P adalah nisbah antara tanah tererosi rata-rata dari lahan yang mendapat perlakuan konservasi tertentu terhadap tanah tererosi rata-rata dari lahan yang diolah tanpa tindakan konservasi, dengan catatan faktor-faktor penyebab erosi yang lain diasumsikan tidak berubah. Praktik bercocok tanam yang kondusif terhadap penurunan kecepatan air larian dan yang memberikan kecenderungan bagi air larian untuk mengalir langsung ke tempat yang lebih rendah dapat memperkecil nilai P . Di ladang pertanian, besarnya harga faktor P menunjukkan jenis aktivitas pengolahan tanah (pencangkulan dan persiapan tanah lainnya). Dalam pemakaian di bidang konstruksi, besarnya P menunjukkan kekasaran permukaan tanah sebagai akibat cara kerja traktor dan mesin-mesin pertanian lainnya. (Asdak, 2004:374)

Nilai faktor P untuk berbagai aktivitas konservasi tanah dapat dilihat pada tabel 2.4 di bawah.

Tabel 2.4. Nilai faktor P pada berbagai aktivitas konservasi tanah

| Teknik Konservasi Tanah | Nilai P |
|--|-----------|
| Teras bangku: | |
| a. baik | 0,20 |
| b. jelek | 0,35 |
| Teras bangku: jagung-ubi kayu/kedelai | 0,06 |
| Teras bangku: sorghum-sorghum | 0,02 |
| Teras tradisional | 0,40 |
| Teras gulud: padi-jagung | 0,01 |
| Teras gulud: ketela pohon | 0,06 |
| Teras gulud: jagung-kacang + mulsa sisa tanaman | 0,01 |
| Teras gulud: kacang kedelai | 0,11 |
| Tanaman dalam kontur: | |
| a. kemiringan 0-8 % | 0,50 |
| b. kemiringan 9-20 % | 0,75 |
| c. kemiringan >20% | 0,90 |
| Tanaman dalam jalur-jalur: jagung-kacang tanah + mulsa | 0,05 |
| Mulsa limbah jerami: | |
| a. 6 ton/ha/tahun | 0,30 |
| b. 3 ton/ha/tahun | 0,50 |
| c. 1 ton/ha/tahun | 0,80 |
| Tanaman perkebunan: | |
| a. Disertai penutup tanah rapat | 0,10 |
| b. Disertai penutup tanah sedang | 0,50 |
| Padang rumput | |
| a. baik | 0,04 |
| b. jelek | 0,40 |

Sumber: Pusat Penelitian Tanah

2.3.6. Analisa Tingkat Bahaya Erosi

Bahaya erosi merupakan suatu perkiraan jumlah tanah hilang maksimum yang akan terjadi pada sebidang lahan, bila pengelolaan dan konservasi tanah tidak mengalami perubahan dalam jangka panjang. Dalam pelaksanaan program konservasi tanah salah satu informasi penting yang harus diketahui adalah tingkat bahaya erosi (TBE) dalam suatu DAS atau Sub DAS yang dikaji. Dengan mengetahui tingkat bahaya erosi (TBE) maka prioritas dapat ditentukan.

Tingkat bahaya erosi dapat ditentukan dengan mempertimbangkan kelas bahaya erosi pada suatu lahan dan kedalaman solum tanah di lahan tersebut. Berdasarkan ketentuan dari BP DAS Brantas, kelas bahaya erosi berdasarkan laju erosinya menurut interval berikut:

| | |
|------------------------|-----------------|
| <15 ton/ha/tahun | : sangat ringan |
| 15 – 60 ton/ha/tahun | : ringan |
| 60 -180 ton/ha/tahun | : sedang |
| 180 – 480 ton/ha/tahun | : berat |
| >480 ton/ha/tahun | : sangat berat |

2.3.7. Laju Erosi yang Dapat Ditoleransi (TSL)

Perkiraan besarnya laju erosi potensial dapat dihitung dengan menggunakan persamaan *USLE* (atau bentuk modifikasinya). Sedangkan besarnya laju erosi yang masih dapat ditoleransi dapat diperkirakan dengan menggunakan rumus Hammer di bawah ini:

$$TSL = \frac{DE - D_{min}}{T} + SF \quad (2-20)$$

dimana:

TSL = Laju erosi yang masih dapat ditoleransi (mm/tahun)

DE = Kedalaman akar efektif (mm)

D_{min} = Kedalaman tanah minimum yang diperlukan untuk perkembangan perakaran suatu jenis tanaman (mm)

T = Umur guna sumberdaya tanah (400 tahun)

SF = Laju pembentukan tanah (2,5 mm/tahun)

2.4. Konservasi Tanah

Konservasi tanah adalah upaya untuk memperbaiki, mempertahankan, meningkatkan, mengembangkan atau merehabilitasi daya guna lahan sesuai dengan peruntukannya. Terdapat tiga metode pendekatan dalam usaha konservasi tanah (Arsyad, 1989:133), yaitu:

1. Menutup tanah dengan tumbuh-tumbuhan dan tanaman atau sisa-sisa tanaman atau tumbuh-tumbuhan agar terlindungi dari daya perusak butir-butir hujan yang jatuh.
2. Memperbaiki dan menjaga keadaan tanah agar resisten terhadap penghancuran agregat dan terhadap pengangkutan, dan lebih besar dayanya untuk menyerap air di permukaan tanah.
3. Mengatur air aliran permukaan agar mengalir dengan kecepatan yang tidak merusak dan memperbesar jumlah air terinfiltrasi ke dalam tanah.

Pada dasarnya usaha konservasi tanah harus dilakukan dengan (1) mengurangi besarnya energi perusak (air hujan dan air larian permukaan) ke suatu tempat dimana tidak menyebabkan kerusakan tanah, (2) meningkatkan ketahanan agregat tanah terhadap pukulan air hujan dan kikisan limpasan permukaan, dan (3) memperbaiki pelindung. Untuk mengurangi besarnya energi perusak dapat dilakukan dengan (1) menutup atau melindungi massa dari pukulan langsung aliran hujan atau kikisan limpasan permukaan, (2) meningkatkan kapasitas infiltrasi tanah, dan (3) meningkatkan kekasaran permukaan tanah. Peningkatan kapasitas infiltrasi dan peningkatan kekasaran permukaan untuk mengurangi kecepatan dan volume sehingga tidak lagi mampu mengikis tanah. Peningkatan ketahanan massa tanah terhadap pukulan/kikisan air pada umumnya dilakukan dengan peningkatan kemantapan agregat tanah, misalnya dengan penambahan bahan organik atau bahan kimia ke dalam tanah.

Berdasarkan cara yang dipakai, dikenal tiga macam metode konservasi tanah dan air, yaitu secara (1) teknik sipil-mekanik, (2) vegetasi, dan (3) pemakaian bahan kimia perlu pula dikemukakan bahwa dalam pelaksanaannya jarang sekali seorang pakar pengawetan tanah menggunakan salah satu metode saja. Justru biasanya merupakan kombinasi dari ketiga metode tersebut. Yang banyak dikerjakan adalah kombinasi antara metode mekanis dan vegetasi.

Jika dihubungkan dengan fungsi usaha konservasi tanah sebagaimana diuraikan di muka, maka metode mekanis terutama berfungsi untuk mengurangi besar energi

perusak, metode vegetasi berfungsi ganda. Jadi disamping meningkatkan ketahanan tanah juga mengurangi energi perusak, metode kimia terutama berfungsi meningkatkan ketahanan tanah terhadap pukulan/kikisan air (Utomo, 1994:67).

Hal tak kalah prinsip yang harus dilakukan untuk mencegah erosi yaitu dengan memberukan pengertian kepada petani bahwa kerusakan tanah akibat erosi yang dapat terjadi ddi lahan-lahan pertanian mereka akan menurunkan tingkat produksi per satuan luas. Dengan adanya pengertian tersebut, maka diharapkan lebih mudah mengarahkan petani memakai tanah untuk selalu bertindak perspektif dalam usaha konservasi tanah dan air.

Berikut ini adalah beberapa tuntutan praktis tentang bagaimana caranya melakukan pencegahan erosi:

- Menghindari praktek bercocok tanam yang bersifat menurunkan permeabilitas tanah.
- Mengusahakan agar permukaan tanah sedapat mungkin dilindungi oleh vegetasi berumput atau semak selama dan serapat mungkin.
- Menghindari pembalakan hutan dan penggembalaan ternak berlebihan di daerah dengan kemiringan lereng terjal.
- Merencanakan dengan baik pembuatan jalan di daerah rawan erosi/tanah longsor sehingga aliran air permukaan tidak mengalir ke selokan-selokan di tempat yang rawan tersebut.
- Menerapkan teknik-teknik pengendalian erosi di lahan pertanian, dan mengusahakan peningkatan laju infiltrasi.

Dengan memahami proses dan mekanisme terjadinya erosi, suatu tindakan konservasi tanah dapat dilaksanakan dengan manfaat langsung menurunkan laju erosi. Teknik konservasi tersebut pada umumnya dirancang untuk:

- Mencegah erosi percikan akibat curahan air hujan langsung maupun melalui air lolos.
- Meningkatkan kekasaran permukaan tanah untuk menurunkan kecepatan aliran permukaan.
- Memperbesar laju infiltrasi air hujan sehingga dapat memperkecil jumlah dan kecepatan air larian.

- Mencegah terkonsentrasinya aliran air permukaan membentuk saluran-saluran air yang konduktif terhadap terbentuknya erosi parit.

Pada kasus erosi tebing, proses terjadinya bervariasi tergantung pada faktor-faktor penyebabnya. Peranan vegetasi dalam mencegah atau mereduksi terjadinya erosi tebing adalah melalui proses berikut:

- Pengikatan partikel-partikel tanah oleh vegetasi.
- Menurunkan tingkat kelembaban tanah melalui proses evapotranspirasi, dan dengan demikian mengurangi potensi terjadinya tanah longsor.
- Meningkatkan laju infiltrasi sehingga dapat menurunkan volume air larian.
- Melalui sistem perakaran vegetasi, muatan sedimen dalam sungai dapat diendapkan di tebing-tebing sungai sehingga dapat memantapkan tebing sungai. Dengan kata lain, peran vegetasi dalam mencegah atau mengurangi erosi tebing sungai adalah bersifat melindungi (mengurangi gerusan air sungai) dan memantapkan (mengurangi potensi longsor) tebing sungai (Asdak, 2002).

Seperti dikatakan di atas bahwa masalah konservasi tanah adalah masalah menjaga agar struktur tanah tidak rusak (terdispersi), dan mengatur kekuatan gerak dan jumlah aliran permukaan. Setiap macam penggunaan tanah mempunyai pengaruh terhadap kerusakan tanah oleh erosi. Penggunaan tanah pertanian ditentukan oleh jenis tanaman dan vegetasi, cara bercocok tanam dan intensitas penggunaan tanah.

2.5. Metode dan Teknik Konservasi Tanah

Ada tiga metode yaitu metode mekanik, vegetatif, dan kimia. Namun dalam studi ini hanya digunakan kombinasi antara metode vegetatif dan mekanik.

2.5.1. Metode Vegetatif

Metode vegetatif adalah penggunaan tanaman atau sisa-sisanya untuk mengurangi daya rusak hujan yang jatuh, mengurangi jumlah dan daya rusak aliran permukaan dan erosi. Dalam konservasi tanah dan air metode vegetatif mempunyai tiga fungsi, yaitu: (a) melindungi tanah terhadap daya perusak butir-butir hujan yang jatuh ke tanah, (b) melindungi tanah terhadap daya perusak aliran air di atas permukaan tanah, dan (c) memperbaiki kapasitas infiltrasi tanah dan menahan air yang langsung mempengaruhi besarnya aliran permukaan (Arsyad, 2000).

Vegetasi atau tanaman mempunyai peranan penting dan sangat berpengaruh terhadap laju erosi dan banjir. Karena tajuk vegetasi dapat menghalangi daya pukul titik hujan yang jatuh dari langit ke tanah. Contoh metode vegetatif adalah menanam kembali lahan kosong (penghijauan), mengatur sistem pertanian, membuat penghalang dengan tanaman, memacu pertumbuhan tanaman dan membatasi pengolahan. Peranan tanaman secara rinci dalam metode ini adalah:

- Batang, ranting dan daun-daunnya berperan menghalangi tumbuk-tumbukan langsung butir-butir hujan kepada permukaan tanah, dengan peranannya itu maka tercegahlah penghancuran agregat-agregat tanah.
- Daun-daun penutup tanah serta akar-akar yang tersebar pada lapisan permukaan tanah berperan mengurangi kecepatan aliran permukaan (*run off*), sehingga daya kikis, daya angkutan air pada permukaan tanah dapat direduksi, diperkecil ataupun diperlamban.
- Daun-daun serta ranting-ranting tanaman yang jatuh akan menutupi permukaan tanah, peranannya dalam hal ini sebagai pemulsa tanah yang dapat mengurangi kecepatan aliran permukaan serta melindungi permukaan tanah terhadap daya kikis air, di samping peranannya yang lain yaitu memperkaya bahan organik tanah yang pada kenyataannya dapat mempertinggi resistensi tanah terhadap aliran permukaan.
- Akar-akar tanaman berperan memperbesar kapasitas infiltrasi tanah, tunjangannya dalam meningkatkan aktivitas biota tanah yang akan memperbaiki porositas, stabilitas agregat serta sifat kimia tanah.
- Akar-akar tanaman berperan dalam pengambilan atau pengisapan air bagi keperluan tumbuhnya tanaman tanaman yang selanjutnya sebagian diuapkan (evaporasi) melalui daun-daunnya ke udara, pengambilan atau pengisapan air oleh akar-akaran ini dapat meningkatkan daya isap tanah akan air, dan dengan demikian sedikit atau banyak aliran permukaan dapat dikurangi.

2.5.2. Metode Mekanik

Konservasi tanah secara mekanik adalah semua perlakuan fisik mekanis dan pembuatan bangunan yang ditujukan untuk mengurangi aliran permukaan guna menekan erosi dan meningkatkan kemampuan tanah mendukung usaha tani secara berkelanjutan. (Hary Crhistady, 2006:416)

Salah satu bangunan konservasi dengan metode mekanik adalah dengan membangun teras pada lereng-lereng yang miring. Teras adalah bangunan konservasi tanah dan air yang dibuat dengan penggalian dan pengurugan tanah, membentuk bangunan utama berupa bidang olah, guludan, dan saluran air yang mengikuti kontur serta dapat pula dilengkapi dengan bangunan pelengkapannya seperti saluran pembuangan air (SPA) dan terjunan air yang tegak lurus kontur.

Sedangkan menurut Sukartaatmadja (2004), teras adalah bangunan konservasi tanah dan air secara mekanis yang dibuat untuk memperpendek panjang lereng dan atau memperkecil kemiringan lereng dengan jalan penggalian dan pengurugan tanah melintang lereng. Tujuan pembuatan teras adalah untuk mengurangi kecepatan aliran permukaan dan memperbesar peresapan air, sehingga kehilangan tanah berkurang.

Teras berfungsi mengurangi panjang lereng dan menahan air, sehingga mengurangi kecepatan dan jumlah aliran permukaan, dan memungkinkan penyerapan air oleh tanah. Dengan demikian erosi berkurang. (Arsyad, 1989). Sedangkan menurut Yuliarta et al (2002), manfaat teras adalah mengurangi kecepatan aliran permukaan sehingga daya kikis terhadap tanah dan erosi diperkecil, memperbesar peresapan air ke dalam tanah dan menampung dan mengendalikan kecepatan dan arah aliran permukaan menuju ke tempat yang lebih rendah secara aman.

Pada prinsipnya konservasi mekanik dalam pengendalian erosi harus selalu diikuti oleh cara vegetatif, yaitu penggunaan tumbuhan/tanaman dan sisa-sisa tanaman/tumbuhan (misalnya mulsa dan pupuk hijau), serta penerapan pola tanam yang dapat menutup permukaan tanah sepanjang tahun.

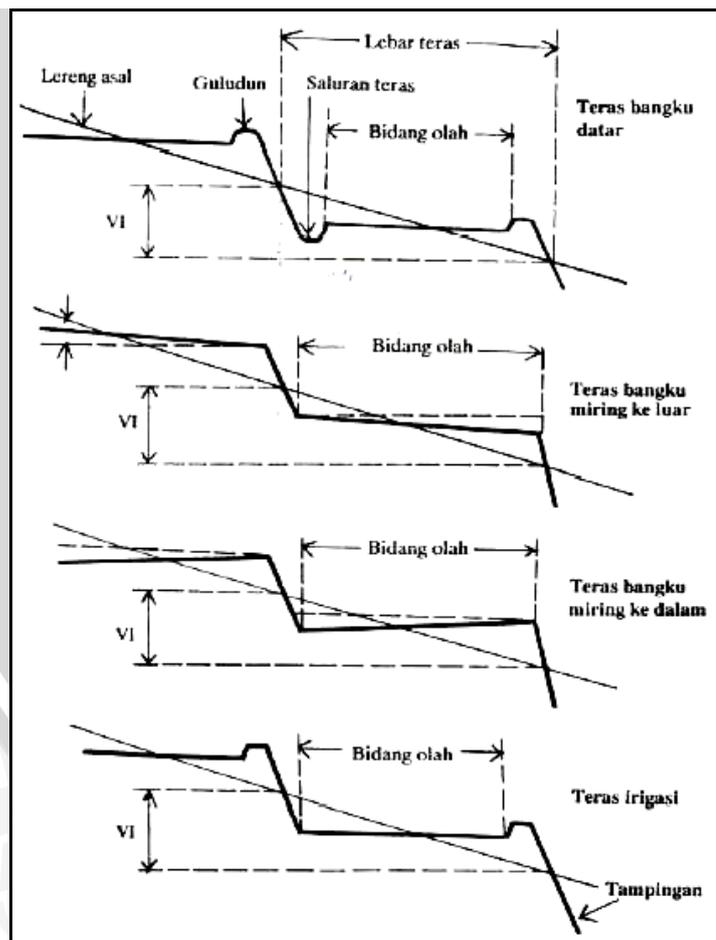
1. Teras bangku atau teras tangga

Teras bangku atau teras tangga dibuat dengan cara memotong panjang lereng dan meratakan tanah di bagian bawahnya, sehingga terjadi deretan bangunan yang berbentuk seperti tangga. Pada usaha tani lahan kering, fungsi utama teras bangku adalah:

- (1) memperlambat aliran permukaan
- (2) menampung dan menyalurkan aliran permukaan dengan kekuatan yang tidak sampai merusak
- (3) meningkatkan laju infiltrasi, dan
- (4) mempermudah pengolahan tanah.

Teras bangku dapat dibuat datar (bidang olah datar, membentuk sudut 0° dengan bidang horizontal), miring ke dalam/goler kampak (bidang olah miring beberapa derajat ke arah yang berlawanan dengan lereng asli), dan miring keluar (bidang olah miring ke arah lereng asli). Teras biasanya dibangun di ekosistem lahan sawah tadah hujan, lahan tegalan, dan berbagai sistem wanatani. Tipe teras bangku dapat dilihat dalam Gambar 2.3.

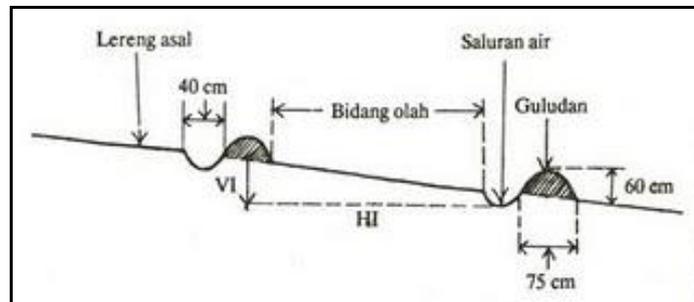
Teras bangku miring ke dalam (goler kampak) dibangun pada tanah yang permeabilitasnya rendah, dengan tujuan agar air yang tidak segera terinfiltrasi menggenangi bidang olah dan tidak mengalir ke luar melalui talud di bibir teras. **Teras bangku miring ke luar** diterapkan di areal di mana aliran permukaan dan infiltrasi dikendalikan secara bersamaan, misalnya di areal rawan longsor. Teras bangku goler kampak memerlukan biaya relatif lebih mahal dibandingkan dengan teras bangku datar atau teras bangku miring ke luar, karena memerlukan lebih banyak penggalian bidang olah.



Gambar 2.3. Tipe Teras Bangku

2. Teras gulud

Teras gulud adalah barisan guludan yang dilengkapi dengan saluran air di bagian belakang gulud. Metode ini dikenal pula dengan istilah guludan bersaluran. Bagian-bagian dari teras gulud terdiri atas guludan, saluran air, dan bidang olah (Gambar 2.4).



Gambar 2.4. Sketsa penampang samping teras gulud.

Fungsi dari teras gulud hampir sama dengan teras bangku, yaitu untuk menahan laju aliran permukaan dan meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah. Teras ini dilengkapi dengan SPA sebagai pengumpul limpasan dan drainase teras.

3. Teras tradisional

Teras tradisional adalah teras yang dibuat dengan guludan-guludan tanah, selanjutnya ditanami dengan tanaman-tanaman sederhana (biasanya tanaman kebun/ladang) semisal ubi-ubian.

Bagian-bagian dari teras tradisional hampir sama dengan teras gulud. Namun pada teras tradisional lebih sederhana, yaitu belum tertata saluran pembuang air (SPA) dan bidang olah dengan rapi.

Fungsi dari teras tradisional juga sama dengan teras-teras yang lain, yaitu untuk menahan aliran permukaan dan meningkatkan penyerapan air ke dalam tanah.

2.6. Teknik Optimasi

Pengertian optimasi berhubungan erat dengan maksimasi tetapi dengan batasan (*constraint*). Mengoptimalkan identik dengan memksimumkan dengan sumber daya yang terbatas. Optimasi dalam pengelolaan sumber daya air dibedakan dalam dua kategori, yaitu sebelum bangunan air jadi dan sesudah bangunan air jadi.

Yang termasuk dalam pendekatan dasar dalam pemecahan masalah model-model perencanaan antara lain optimasi. Teknik optimasi berkendala ada beberapa macam, antara lain *Lagrange Multipliers*, *Linier Programming*, *Quadratic*

Programming, Geometric Programming, dan Dynamic Programming. (Widandi, Lily Montarcih, 2009:20)

Metode yang digunakan dalam analisa studi ini adalah metode program linier dengan pembahasan sebagai berikut:

Program Linier (*Linier Programming*)

Salah satu metode untuk menyelesaikan model optimasi adalah *linear programming* (program linier). Program linier dipakai untuk menyelesaikan kasus yang mana semua hubungan antar variabelnya adalah linier, baik pada persamaan dan ketidaksamaan kendala (*constraint*) maupun pada fungsi sasaran atau fungsi obyektif (*objective function*). (Widandi, Lily Montarcih, 2009:25)

Program linier paling banyak digunakan di antara program-program yang lain, karena:

1. Metode ini dapat digunakan untuk menyelesaikan sistem dengan peubah dan kendala yang cukup banyak.
2. penggunaan metode ini mudah di samping itu ditunjang oleh hampir seluruh seluruh PC yang menggunakan perangkat office.
3. persamaan atau fungsi matematikanya sederhana.
4. hasilnya cukup andal.

Langkah-langkah di dalam melaksanakan perhitungan dengan program linier adalah:

1. membuat model optimasi.
2. menentukan aktivitas-aktivitas atau sumber-sumber yang akan dioptimasi.
3. menghitung kuantitas masukan atau keluaran untuk setiap satuan aktivitas.
4. penyusunan model matematika.

Program linier mempunyai beberapa variasi, variasi terdapat karean asumsi-asumsi yang melandasinya dan jenis persoalan yang dapat digarap oleh model-model tersebut mempunyai bobot, ciri-ciri, ruang lingkup dan potensi yang berbeda-beda.

Adapun program linier dan variasinya antara lain sebagai berikut:

1. Program linier dengan metode grafis

Prinsip dari metode ini sebagai berikut: dalam bentuk teknik ini persamaan-persamaan linier yang merupakan garis pembatas daerah layak digambarkan pada suatu sistem koordinat (sumbu x , y), x dan y merupakan peubah-peubah yang ingin

dikombinasikan dan dicari kombinasi optimalnya. Tetapi tentu saja peubah yang dipakai akan terbatas jumlahnya, yakni sebanyak 2 buah.

Langkah-langkah pemakaian metode grafis:

- a. menentukan fungsi tujuan yang ditargetkan.
 - b. mengidentifikasi batasan-batasan yang berlaku dalam bentuk ketidak samaan.
 - c. menggambarkan masing-masing garis pembatas dalam bentuk koordinat.
 - d. mencari titik-titik yang paling menguntungkan dalam hubungannya dengan fungsi tujuan.
2. Program linier dengan metode simpleks

Metode simpleks merupakan suatu cara yang umum dipakai untuk menemukan kombinasi yang optimal lebih dari 2 peubah.

Bentuk baku program linier dalam metode simpleks terdiri dari:

1. fungsi tujuan adalah merupakan fungsi yang menggambarkan tujuan di dalam permasalahan PL yang bersangkutan yakni mengatur secara optimal (maksimum dan minimum). Fungsi tujuan (maksimum dan minimum) sebagai berikut:

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + \dots C_n X_n \quad (2-21)$$

2. fungsi pembatas adalah bentuk penyajian secara matematis dari batasan-batasan yang tersedia yang akan dialokasikan secara optimal kepada berbagai aktivitas.

Persamaan fungsi pembatas sebagai berikut:

$$a_{m1}X_1 + a_{m2}X_2 + a_{m3}X_3 + \dots a_{mn}X_n \leq b_m \quad (2-22)$$

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0, \dots X_n \geq 0 \quad (2-23)$$

dimana:

m = macam batasan-batasan sumber atau fasilitas yang tersedia.

n = macam aktivitas yang menggunakan sumber atau fasilitas tersebut.

i = nomor setiap macam sumber atau fasilitas yang tersedia

(i = 1, 2, ...m)

X_j = tingkatan aktivitas ke-J (J = 1, 2, 3, ... n)

a_{mJ} = banyaknya sumber I yang tersedia untuk dialokasikan ke setiap jenis aktivitas (i = 1, 2, 3, ...n)

Z = nilai yang dimaksimumkan dan diminimumkan

t_j = sumbangan setiap satuan aktivitas j terhadap nilai Z

Pada metode simpleks, dalam bentuk standar perlu diadakan perubahan-perubahan sebelum memasukkan nilai-nilai ke dalam tabel, yaitu:

1. perubahan bentuk fungsi tujuan peubah-peubah yang terletak disebelahkan kanan tanda persamaan dipindahkan ke kiri sehingga menjadi:

$$Z = C_1 X_1 - C_2 X_2 - C_3 X_3 - \dots - C_n X_n = 0 \quad (2-24)$$

2. merubah bentuk fungsi yang berbentuk ketidak samaan (dengan tanda \leq) menjadi persamaan (dengan tanda $=$) dengan menambahkan *slack variable*. Metode simpleks sering disebut prosedur berulang (*iterative procedure*), karena metode ini didasarkan atas proses pengulangan yang berkali-kali dalam jumlah terbatas. Adapun keistimewaan metode ini adalah dapat menyelesaikan masalah program linier dengan kendala-kendala atau batasan-batasan yang bertanda kurang dari sama dengan (\leq), sama dengan ($=$) dan lebih dari sama dengan (\geq).

