BAB 2
TINJAUAN PUSTAKA

Dalam pekerjaan perencanaan suatu bangunan air dalam hal ini bangunan pengendali banjir berupa retarding pond diperlukan bidang-bidang ilmu pengetahuan yang saling mendukung demi kesempurnaan hasil perencanaan. Bidang ilmu pengetahuan itu antara lain geologi, hidrologi, hidrolika, drainase perkotaan, mekanika tanah, dan ilmu lainnya yang mendukung.

Setiap daerah pengaliran sungai mempunyai sifat-sifat khusus yang berbeda, hal ini memerlukan kecermatan dalam menerapkan suatu teori yang cocok pada daerah pengaliran. Oleh karena itu, sebelum memulai perencanaan konstruksi retarding pond, perlu adanya kajian pustaka untuk menentukan spesifikasi-spesifikasi yang akan menjadi acuan dalam perencanaan pekerjaan konstruksi tersebut.

2.1. Banjir

2.1.1. Pengertian Banjir

Banjir adalah suatu kondisi di mana tidak tertampungnya air dalam saluran pembuang (palung sungai) atau terhambatnya aliran air di dalam saluran pembuang, sehingga meluap menggenangi daerah (dataran banjir) sekitarnya.(*Suripin,"Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan"*). Banjir merupakan peristiwa alam yang dapat menimbulkan kerugian harta benda penduduk serta dapat pula menimbulkan korban jiwa. Dikatakan banjir apabila terjadi luapan air yang disebabkan kurangnya kapasitas penampang saluran. Banjir di bagian hulu biasanya arus banjirnya deras, daya gerusnya besar, tetapi durasinya pendek. Sedangkan di bagian hilir arusnya tidak deras (karena landai), tetapi durasi banjirnya panjang.

Beberapa karakteristik yang berkaitan dengan banjir, di antaranya adalah :

a. Banjir dapat datang secara tiba-tiba dengan intensitas besar namun dapat langsung mengalir.
b. Banjir datang secara perlahan namun intensitas hujannya sedikit.
c. Pola banjirnya musiman.
d. Banjir datang secara perlahan namun dapat menjadi genangan yang lama di daerah

depresi.

e. Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya genangan, erosi, dan sedimentasi. Sedangkan akibat lainnya adalah terisolasinya daerah pemukiman dan diperlukan evakuasi penduduk.

2.1.2. Faktor Penyebab Banjir

Banyak faktor menjadi penyebab terjadinya banjir. Namun secara umum penyebab terjadinya banjir dapat diklasifikasikan dalam 2 kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh sebab-sebab alami dan banjir yang diakibatkan oleh tindakan manusia.

Yang termasuk sebab-sebab alami di antaranya adalah :

1. Curah hujan

   Curah hujan dapat mengakibatkan banjir apabila turun dengan intensitas tinggi, durasi lama, dan terjadi pada daerah yang luas.

2. Pengaruh Fisiografi

   Fisiografi atau geografi fisik sungai seperti bentuk, fungsi dan kemiringan daerah pengaliran sungai (DPS), kemiringan sungai, geometrik hidrolik (bentuk penampang seperti lebar, kedalaman, potongan memanjang, material dasar sungai), lokasi sungai dll, merupakan hal-hal yang mempengaruhi terjadinya banjir.

3. Erosi dan Sedimentasi

   Erosi dan sedimentasi di DPS berpengaruh terhadap pengurangan kapasitas penampang sungai. Erosi dan sedimentasi menjadi problem klasik sungai-sungai di Indonesia. Besarnya sedimentasi akan mengurangi kapasitas saluran, sehingga timbul genangan dan banjir di sungai.

4. Menurunnya Kapasitas Sungai

   Pengurangan kapasitas aliran banjir pada sungai dapat disebabkan oleh pengendapan yang berasal dari erosi DPS dan erosi tanggul sungai yang berlebihan dan sedimentasi di sungai yang dikarenakan tidak adanya vegetasi penutup dan penggunaan lahan yang tidak tepat.

5. Pengaruh Air Pasang

   Air pasang laut memperlambat aliran sungai ke laut. Pada waktu banjir bersamaan dengan air pasang yang tinggi maka tinggi genangan atau banjir

menjadi besar karena terjadi aliran balik (*backwater*). Contoh ini terjadi di Kota Semarang dan Jakarta. Genangan ini dapat terjadi sepanjang tahun baik di musim hujan dan maupun di musim kemarau.

6. Kapasitas Drainase Yang Tidak Memadai

   Hampir semua kota-kota di Indonesia mempunyai drainase daerah genangan yang tidak memadai, sehingga kota-kota tersebut sering menjadi langganan banjir di musim hujan.

Sedangkan sebab-sebab yang timbul akibat faktor manusia adalah :

1. Menurunnya fungsi DAS di bagian hulu sebagai daerah resapan

   Kemampuan DAS, khusunya di bagian hulu untuk meresapkan air / menahan air hujan semakin berkurang oleh berbagai sebab, seperti penggundulan hutan, usaha pertanian yang kurang tepat, perluasan kota, dan perubahan tata guna lahan lainnya. Hal tersebut dapat memperburuk masalah banjir karena dapat meningkatkan kuantitas dan kualitas banjir.

2. Kawasan kumuh

   Perumahan kumuh yang terdapat di sepanjang tepian sungai merupakan penghambat aliran. Luas penampang aliran sungai akan berkurang akibat pemanfaatan bantaran untuk pemukiman kumuh warga. Masalah kawasan kumuh dikenal sebagai faktor penting terhadap masalah banjir daerah perkotaan.

3. Sampah

   Ketidakdisiplinan masyarakat yang membuang sampah langsung ke sungai bukan pada tempat yang ditentukan dapat mengakibatkan naiknya muka air banjir.

4. Bendung dan bangunan lain

   Bendung dan bangunan lain seperti pilar jembatan dapat meningkatkan elevasi muka air banjir karena efek aliran balik (*backwater*).

5. Kerusakan bangunan pengendali banjir

   Pemeliharaan yang kurang memadai dari bangunan pengendali banjir sehingga menimbulkan kerusakan dan akhirnya menjadi tidak berfungsi dapat meningkatkan kuantitas banjir.

6. Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tepat

   Beberapa sistem pengendalian banjir memang dapat mengurangi kerusakan akibat banjir kecil sampai sedang, tetapi mungkin dapat menambah kerusakan selama banjir-banjir yang besar. Sebagai contoh bangunan tanggul sungai yang tinggi. Limpasan pada tanggul pada waktu terjadi banjir yang melebihi banjir rencana dapat menyebabkan keruntuhan tanggul, hal ini menimbulkan kecepatan aliran air menjadi sangat besar yang melalui bobolnya tanggul sehingga menimbulkan banjir yang besar. *(Robert J. Kodoatie, Sugiyanto, "Banjir")*

2.1.3. Akibat Banjir

Kerugian akibat banjir pada umumnya sulit diidentifikasi secara jelas, dimana terdiri dari kerugian banjir akibat banjir langsung dan tak langsung. Kerugian akibat banjir langsung, merupakan kerugian fisik akibat banjir yang terjadi, antara lain robohnya gedung sekolah, industri, rusaknya sarana transportasi, hilangnya nyawa, hilangnya harta benda, kerusakan di pemukiman, kerusakan daerah pertanian dan peternakan, kerusakan sistem irigasi, sistem air bersih, sistem drainase, sistem kelistrikan, sistem pengendali banjir termasuk bangunannya, kerusakan sungai, dsb. Sedangkan kerugian akibat banjir tak langsung berupa kerugian kesulitan yang timbul secara tak langsung diakibatkan oleh banjir, seperti komunikasi, pendidikan, kesehatan, kegiatan bisnis terganggu dsb.

2.2. Daerah Aliran Sungai (DAS)

2.2.1. Pengertian Daerah Aliran Sungai (DAS)

Daerah Aliran Sungai (DAS) (*catchment, basin, watershed*) merupakan daerah di mana semua airnya mengalir ke dalam suatu sungai yang dimaksudkan. Daerah ini umumnya dibatasi oleh batas topografi, yang berarti ditetapkan berdasar aliran air permukaan. Batas ini tidak ditetapkan berdasar air bawah tanah karena permukaan air tanah selalu berubah sesuai dengan musim dan tingkat kegiatan pemakaian.

Nama sebuah DAS ditandai dengan nama sungai yang bersangkutan dan dibatasi oleh titik kontrol, yang umumnya merupakan stasiun hidrometri. Memperhatikan hal tersebut berarti sebuah DAS dapat merupakan bagian dari DAS lain (*Sri Harto Br.,*

1993). Dalam sebuah DAS kemudian dibagi dalam area yang lebih kecil menjadi sub-DAS. Penentuan batas-batas sub-DAS berdasarkan kontur, jalan dan rel KA yang ada di lapangan untuk menentukan arah aliran air.

Dari peta topografi, ditetapkan titik-titik tertinggi di sekeliling sungai utama (main stream) yang dimaksudkan, dan masing-masing titik tersebut dihubungkan satu dengan lainnya sehingga membentuk garis utuh yang bertemu ujung pangkalnya. Garis tersebut merupakan batas DAS di titik kontrol tertentu (*Sri Harto Br., 1993).* Gambar bentuk DAS dapat ditampilkan seperti Gambar 2.1 dibawah ini.

Gambar 2.1. Contoh Bentuk DAS (Sumber : Sri Harto, 1993)

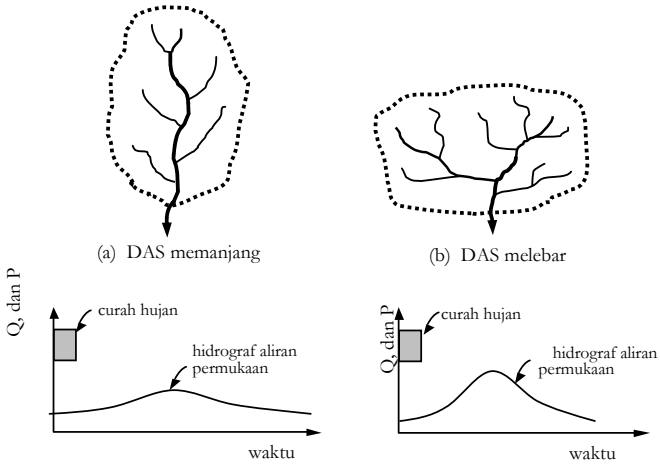
2.2.2. Karakteristik DAS

Karakteristik DAS yang berpengaruh besar pada aliran permukaan meliputi (*Suripin, 2004*) :

1. Luas dan bentuk DAS

   Laju dan volume aliran permukaan makin bertambah besar dengan bertambahnya luas DAS. Tetapi apabila aliran permukaan tidak dinyatakan sebagai jumlah total dari DAS, melainkan sebagai laju dan volume per satuan luas, besarnya akan berkurang dengan bertambahnya luasnya DAS. Ini berkaitan dengan waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari titik terjauh sampai ke titik kontrol (waktu konsentrasi) dan juga penyebaran atau intensitas hujan.

Bentuk DAS mempunyai pengaruh pada pola aliran dalam sungai. Pengaruh bentuk DAS terhadap aliran permukaan dapat ditunjukkan dengan memperhatikan hidrograf-hidrograf yang terjadi pada dua buah DAS yang bentuknya berbeda namun mempunyai luas yang sama dan menerima hujan dengan intensitas yang sama seperti terlihat pada gambar 2.2.

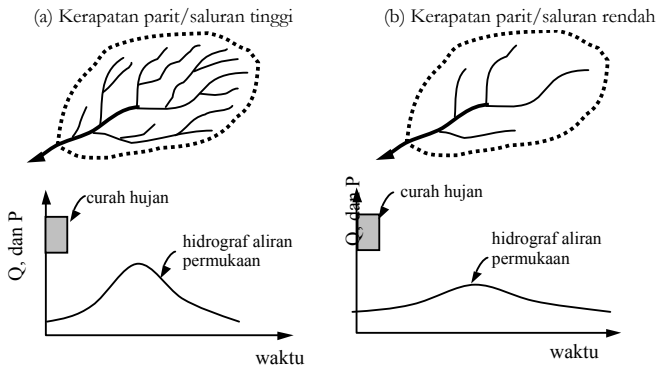


Gambar 2.2. Pengaruh bentuk DAS pada aliran permukaan
(Sumber : Suripin, 2004)

Bentuk DAS yang memanjang dan sempit cenderung menghasilkan laliran permukaan yang lebih kecil dibandingkan dengan DAS yang berbentuk melebar atau melingkar. Hal ini terjadi karena waktu konsentrasi DAS yang memanjang lebih lama dibandingkan dengan DAS yang melebar, sehingga terjadinya konsentrasi air dititik kontrol lebih lambat yang berpengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. Faktor bentuk juga dapat berpengaruh pada aliran permukaan apabila hujan yang terjadi tidak serentak diseluruh DAS, tetapi bergerak dari ujung yang satu ke ujung lainnya. Pada DAS memanjang laju aliran akan lebih kecil karena aliran permukaan akibat hujan di hulu belum memberikan kontribusi pada titik kontrol ketika aliran permukaan dari hujan di hilir telah habis, atau mengecil. Sebaliknya pada DAS melebar, datangnya aliran permukaan dari semua titik di DAS tidak terpaut banyak, artinya air dari hulu sudah tiba sebelum aliran dari mengecil / habis.

2. Topografi

Tampakan rupa muka bumi atau topografi seperti kemiringan lahan, keadaan dan kerapatan parit dan / atau saluran, dan bentuk-bentuk cekungan lainnya mempunyai pengaruh pada laju dan volume aliran permukaan. DAS dengan kemiringan curam disertai parit/saluran yang rapat akan menghasilkan laju dan volume aliran permukaan yang lebih tinggi dibandingkan dengan DAS yang landai dengan parit yang jarang dan adanya cekungan-cekungan. Pengaruh kerapatan parit, yaitu panjang parit per satuan luas DAS, pada aliran permukaan adalah memperpendek waktu konsentrasi, sehingga memperbesar laju aliran permukaan. Pengaruh kerapatan parit dapat dilihat pada gambar 2.3



Gambar 2.3. Pengaruh kerapatan parit/saluran pada hidrograf aliran

3. Tata guna lahan

Pengaruh tata guna lahan pada aliran permukaan dinyatakan dalam koefisien aliran permukaan (C), yaitu bilangan yang menunjukkan perbandingan antara besarnya aliran permukaan dan besarnya curah hujan. Angka koefisien aliran permukan ini merupakan salah satu indikator untuk menentukan kondisi fisik suatu DAS. Nilai C berkisar antara 0 sampai 1. Nilai C = 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terintersepsi dan terinfiltrasi ke dalam tanah, sebaliknya untuk nilai C = 1 menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai aliran permukaan.

2.3. Analisis Hidrologi

Analisis data hidrologi ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik hidrologi daerah pengaliran Embung Beringin yang akan digunakan sebagai dasar analisis dalam pekerjaan detaik desain. Untuk perencanaan embung analisi hidrologi yang terpenting yaitu dalam menentukan debit banjir rencana.

Adapun langkah-langkah dalam analisis debit rencana adalah sebagai berikut :

a. Menentukan Daerah Aliran Sungai (DAS) beserta luasnya.
b. Menentukan luas pengaruh daerah stasiun-stasiun penakar hujan.
c. Menentukan curah hujan maksimum tiap tahunnya dari data curah hujan yang ada.
d. Menganalisis curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun.

Menghitung debit banjir rencana berdasarkan besarnya curah hujan rencana di atas pada periode ulang T tahun.

2.3.1. Penentuan Debit Banjir Rencana

Pemilihan banjir rencana untuk bangunan air adalah suatu masalah yang sangat bergantung pada analisis statistik dari urutan kejadian banjir baik berupa debit air di sungai maupun hujan. Dalam pemilihan suatu teknik analisis penentuan banjir rencana tergantung dari data-data yang tersedia dan macam dari bangunan air yang akan dibangun (Soewarno, 1995).

2.3.2. Perencanaan Daerah Aliran Sungai (DAS)

DAS adalah suatu bentang alam yang dibatasi oleh pemisah alami berupa puncak – puncak gunung dan punggung – punggung bukit. Bentang alam tersebut menerima dan menyimpan curah hujan yang jatuh di atasnya dan kemudian mengaturnya secara langsung dan tidak langsung beserta muatan sedimen dan bahan – bahan lainnya ke sungai utama beserta anak – anak sungai yang bersangkutan yang akhirnya bermuara ke danau atau ke laut. Pada peta topografi dapat ditentukan cara menentukan DAS dengan membuat garis imajiner yang menghubungkan titik yang mempunyai elevasi kontur tertinggi dari sebelah kiri dan kanan sungai yang ditinjau. Untuk menentukan luas daerah aliran sungai dapat digunakan planimeter atau program AutoCAD. Dengan pengertian tersebut bentuk dan ukuran suatu das dapat dikenali

secara geografis, sebuah sistem DAS yang besar biasanya terdiri dari beberapa sub DAS sesuai dengan jumlah dan hierarki percabangan sungai utamanya. Istilah asing untuk DAS adalah *drainage area* atau *river basin* dipakai juga istilah *watershed*, meskipun pada awalnya istilah *watershed* itu berarti hanya rangkaian punggung gunung, atau bagian tertinggi saja dari drainase area itu.

2.3.3. Curah Hujan Area

Untuk memperoleh data curah hujan, maka diperlukan alat untuk mengukurnya yaitu penakar hujan dan pencatat hujan. Dalam stasiun-stasiun sekitar lokasi embung di mana stasiun hujan tersebut masuk dalam DAS. Ketetapan dalam memilih lokasi dan peralatan baik curah hujan maupun debit merupakan factor yang menentukan kualitas data yang diperoleh. Data Curah hujan yang dipakai untuk perhitungan dalam debit banjir adalah hujan yang terjadi pada Daerah Aliran Sungai (DAS) pada waktu yang sama (Sosrodarsono dan Takaeda, 1993).

2.3.4. Analisis Curah Hujan Rencana

Dalam penentuan curah hujan data dari pencatat atau penakar hanya didapatkan curah hujan di suatu titik tertentu *(point rainfall)*. Untuk mendapatkan curah hujan areal dapat dihitung dengan beberapa metode :

a. Metode Rata-rata Aljabar

Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung *(arithematic mean)* dari penakar hujan areal tersebut dibagi dengan jumlah stasiun pegamatan (Sosrodarsono dan Takeda, 1976). Cara ini digunakan apabila :

- Daerah tersebut berada pada daerah yang datar
- Penempatan alat ukut tersebar merata
- Variasi curah hujan sedikit dari harga tengahnya

$$P=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Pi=\frac{P1+P2+P3...+Pn}{n} \qquad \text{(2.1)}$$

Dimana :

P = Tinggi curah hujan rata – rata (mm)

P1, P2, P3, Pn = Tinggi curah hujan pada stasiun penakar 1,2,…n (mm)

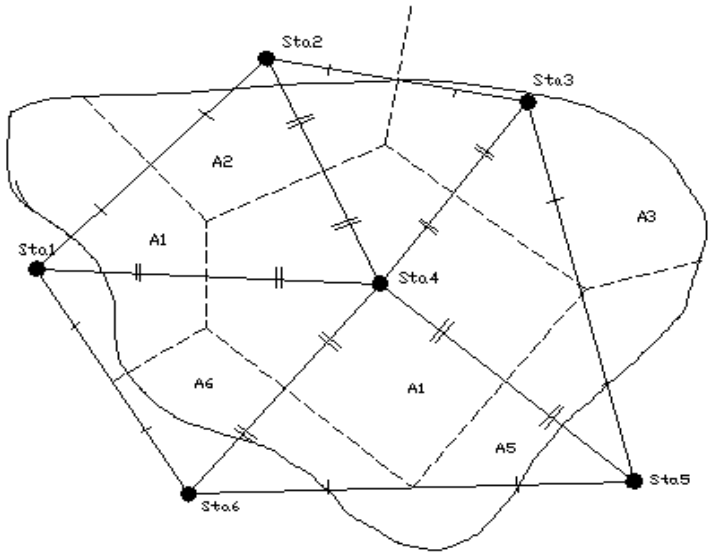
n = Banyaknya stasiun penakar

b. Metode *Thiessen*

Cara ini didasarkan atas cara rata-rata timbang, di mana masing-masing stasiun mempunyai daerah pengaruh yang dibentuk dengan garis-garis sumbu tegak lurus terhadap garis penghubung antara dua stasiun dengan planimeter maka dapat dihitung luas daerah tiap stasiun. Sebagai kontrol maka jumlah luas total harus sama dengan luas yang telah diketahui terlebih dahulu. Masing-masing luas lalu diambil prosentasenya dengan jumlah total = 100%. Kemudian harga ini dikalikan dengan curah hujan daerah di stasiun yang bersangkutan dan setelah dijumlah hasilnya merupakan curah hujan yang dicari (Sosrodarsono dan Takeda, 1976). Analisa curah hujan cara Thiessen dapat dilihat pada gambar 2.4.

Hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah sebagai berikut :

- Jumlah stasiun pengamatan minimal tiga buah stasiun.
- Penambahan stasiun akan mengubah seluruh jaringan
- Topografi daerah tidak diperhitungkan
- Stasiun hujan tidak tersebar merata



Gambar 2.4. Polygon Thieesen (Sumber : *Sosrodarsono daan Takeda, 1976)*

Curah hujan yang di hitung dengan menggunakan polygon Thiessen dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$R = \frac{A1.R1+A2.R2+\cdots+An.Rn}{A1+A2+\cdots An} \quad \text{..... (2.2)}$$

Dimana :

R = Curah hujan maksimum rata – rata

R1, R2,….Rn = Curah hujan pada stasiun 1,2,…….n (mm)

A1,A2,….An = Luas daerah pada polygon 1,2…….n (Km^2)

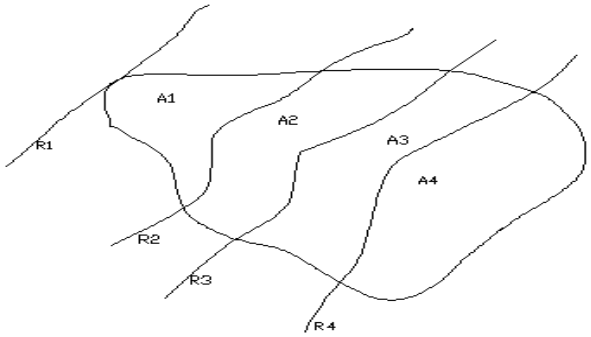
c. Metode *Isohyet*

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah yang ditinjau tidak merata. Pada setiap titik di suatu kawasan dianggap hujan sama dengan yang terjadi pada stasiun terdekat, sehingga hujan yang tercatat pada suatu stasiun mewakili suatu luasan (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

Metode ini digunakan dengan ketentuan :

- Dapat digunakan pada daerah datar maupun pegunungan
- Jumlah stasiun pengamatan harus banyak
- Bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat

Ini adalah cara yang paling teliti untuk mendapat hujan areal rata – rata, tetapi memerlukan jaringan pos penakar yang relative lebih padat yang memungkinkan untuk membuat isohyet. Sebaiknya juga memperhatikan pengaruh bukit atau gunung terhadap distribusi hujan (hujan orografik). Untuk lebih jekasnya mengenai metode ini dapat diilustrasikan pada gambar 2.5.



Gambar 2.5. Metode *Isohyet (Sumber : Sosrodarsono dan Takeda,1976)*

Dengan cara metode isohyet, kita dapat menggambar dulu kontur tinggi hujan yang sama (isohyets). Kemudian luas bagian diantara isohyet –isohyet yang berdekatan diukur, dan nilai rata – rata dihitung sebagai nilai rata – rata timbang nilai kontur, kemudian dikalikan dengan masing – masing luasnya. Hasilnya dijumlahkan dan dibagi dengan luas total daerah, maka akan didapat curah hujan areal yang dicari, seperti ditulis pada persamaan dibawah ini (soemarto, 1999).

$$R = \frac{\frac{R1+R2}{2}.\ A1+\frac{R3+R4}{2}.\ A2+\ldots\ldots+\frac{Rn-1+Rn}{2}.\ An}{A1+A2+\ldots\ldots+An} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.3)$$

Dimana :

R = Curah hujan rata – rata (mm)

R1, R2, …..,Rn = Curah hujan di garis isohyets (mm)

A1,A2,……,An = Luas bagian yang dibatasi oleh isohyet – isohyet (Km^2)

2.3.5. Melengkapi Data Hujan Yang Hilang

Dalam analisi curah hujan diperlukan data lengkap dalam arti kualitas dan panjang periode data. Data curah hujan umumnya ada yang hilang dikarenakan sesuatu hal atau dianggap kurang panjang jangka waktu pencatatanya. Untuk melengkapi data yang hilang atau rusak diperlukan data dari stasiun lain yang memiliki data lengkap dan diusahakan letak stasiunnya paling dekat dengan stasiun yang hilang datanya. Untuk perhitungan data yang hilang digunakan rumus yaitu (Soemarto, 1999).

$$Rx = \frac{1}{n}\left[\frac{Rx}{Ra}\ Ra + \frac{Rx}{Rb}\ Rb + \ \ldots\ldots\ldots + \frac{Rx}{Rn}\ Rn\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (2.4)$$

Dimana :

Rx = Curah hujan di stasiun x yang akan dilengkapi (mm)

Rx = Curah hujan rata –rata di stasiun x (mm)

Ra, Rb, ….,Rn = Curah hujan rata – rata stasiun A, stasiun B, sampai stasiun N (mm)

n = Jumlah stasiun yang menjadi acuan

2.3.6. Analisis Frekuensi

Hujan rencana merupakan kemungkinan tinggi hujan yang terjadi dalam kala ulang tertentu sebagai hasil dari suatu rangkaian analisis hidrologi yang biasa disebut analisis frekuensi. Secara sistematis metode analisis frekuensi perhitungan hujan rencana ini dilakukan berurutan sebagai berikut.

1. Parameter Statistik
2. Pemilihan Jenis Metode
3. Uji kebenaran Sebaran
4. Perhitungan Hujan Rencana

1. Parameter Statistik

Pada kenyataannya bahwa tidak semua varian dari suatu variabel hidrologi terletak atau sama dengan nilai rata-ratanya. Variasi atau dispersi adalah besarnya derajat atau besaran varian di sekitar nilai rata-ratanya. Parameter yang digunakan dalam perhitungan analisis frekuensi meliputi parameter nilai rata – rata (X). Standar deviasi (Sd), koefisien variasi (Cv), koefisien kemiringan / skewness (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck). Adapun caranya sebagai berikut :

a. Deviasi Standar (S)

Jumlah aljabar dari penyimpangan harga variasi terhadap harga rata-rata selalu akan sama dengan nol, oleh karenanya tidak ada gunanya untuk mencarinya. Harga rata-rata dari penyimpangan, yang dinamakan keragaman (variance) adalah yang terbaik sebagai parameter dispersi. Besarnya keragaman sample dihitung dari keragaman populasi dengan memasukkan koreksi Bessel, yaitu *(Soemarto, 1987*) :

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Xi-X)^2}{n-1}} \quad \text{..... (2.5)}$$

Dimana :

Sd = Standar Deviasi

X = Tinggi hujan rata – rata selama n tahun (mm)

Xi = Tinggi hujan di tahun ke … (mm)

n = Jumlah tahun pencatatan data hujan

b. Koefisien Variasi

$$CV = \frac{Sd}{\bar{X}} \quad \text{.....(2.6)}$$

(Soewarno, 1995)

dimana :

CV = koefisien varian

$\bar{X}$ = nilai rata-rata varian

S = deviasi standar

c. Koefisien *Skewness* (CS)

Kemencengan *(skewness)* adalah suatu nilai yang menunjukkan derajat ketidaksimetrisan dari suatu bentuk distribusi

Rumus :

$$CS = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{(n-1)(n-2)S^3} \quad \text{.....(2.7)}$$

(Soewarno, 1995)

dimana :

CS = koefisien *skewness*

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = deviasi standar

d. Pengukuran Kurtosis

Pengukuran kurtosis dimaksud untuk mengukur keruncingan dari bentuk kurva distribusi, yang umumnya dibandingkan dengan distribusi normal.

Rumus :

$$CK = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^4}{S^4} \quad \text{.....(2.8)}$$

(Soewarno, 1995)

dimana :

CK = koefisien *skewness*

X_i = nilai varian ke i

$\bar{X}$ = nilai rata-rata varian

n = jumlah data

S = deviasi standar

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan. Dengan cara seperti terlihat pada tabel 2.1 dibawah ini.

Tabel 2.1. Pedoman Pemilihan Sebaran *(Sumber : Soewarno,1995)*

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	Cs ≈ 0
	$C_k \approx 3$
Gumbel Tipe I	Cs ≤ 1,1396
	$C_k \leq 5{,}4002$
Log *Pearson* Tipe III	Cs ≠ 0 Cv ≈ 0,3
Log normal	Cs ≈ 1,137
	Ck ≈ 3Cv

2. Pemilihan Jenis Metode

Ada berbagai macam distribusi teoritis yang kesemuanya dapat dibagi menjadi dua yaitu distribusi diskrit dan distribusi kontinyu. Yang diskrit adalah binomial dan poisson, sedangkan yang kontinyu adalah Normal, Log Normal, Pearson dan Gumbel (Soewarno, 1995). Berikut ini adalah beberapa macam distribusi yang sering digunakan, yaitu:

a. Metode Gumbel Tipe 1

Untuk menghitung curah hujan rencana dengan Metode Gumbel Tipe I digunakan persamaan distribusi frekuensi empiris sebagai berikut (Soemarto, 1999) :

$$Xt = \bar{X} + \frac{Sd}{Sn}(Y_T - Yn) \quad \text{.....(2.9)}$$

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum(Xi - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{.....(2.10)}$$

Hubungan antara periode ulang T dengan YT dapat dihitung dengan rumus :

$$Y_T = -\ln\left[-\ln\frac{T-1}{T}\right] \quad \text{.....(2.11)}$$

Dimana :

Xt = Nilai hujan rencana dengan data ukur T tahun (mm)

$\bar{X}$ = Nilai rata – rata hujan (mm)

S = Deviasi standar (simpangan baku)

YT = Nilai reduksi variasi (*reduced variate*) dari variable yang diharapkan tejadi pada periode ulang T tahun, seperti dituliskan pada tabel 2.4

Yn = Nilai rata – rata dari reduksi variasi (*reduced mean*) nilainya tergantung dari jumlah data (n), seperti yang ditunjukan pada Tabel 2.2

Sn = Deviasi standar dari reduksi cariasi (*reduced standart deviation*) nilainya tergantung dari jumlah data (n), seperti yang ditunjukan pada Tabel 2.3

Tabel 2.2 Reduced Mean (Yn) (Soemarto, 1999)

No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.495	0.499	0.503	0.507	0.510	0.515	0.512	0.518	0.520	0.522
20	0.523	0.525	0.526	0.528	0.529	0.530	0.582	0.588	0.534	0.535
30	0.536	0.537	0.538	0.538	0.539	0.540	0.541	0.541	0.542	0.543
40	0.546	0.544	0.544	0.545	0.545	0.546	0.546	0.547	0.547	0.548
50	0.548	0.548	0.549	0.549	0.550	0.550	0.550	0.551	0.551	0.551
60	0.552	0.552	0.552	0.553	0.553	0.553	0.553	0.554	0.554	0.554
70	0.554	0.555	0.555	0.555	0.555	0.555	0.556	0.556	0.556	0.556
80	0.556	0.557	0.557	0.557	0.557	0.557	0.558	0.558	0.558	0.558
90	0.558	0.558	0.558	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559	0.559
100	0.560									

Tabel 2.3. Reduced Standard Deviation Sn (Soemarto, 1999)

No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0.9496	0.9676	0.9633	0.9971	1.0095	1.0206	1.0316	1.0411	1.0493	1.0565
20	1.0626	1.0696	1.0754	1.0811	1.0864	1.0315	1.0961	1.1004	1.1047	1.1080
30	1.1124	1.1159	1.1193	1.1226	1.1255	1.1285	1.1313	1.1339	1.1363	1.1388
40	1.1413	1.1436	1.1458	1.1480	1.1499	1.1519	1.1538	1.1557	1.1574	1.1590
50	1.1607	1.1923	1.1638	1.1658	1.1667	1.1681	1.1696	1.1708	1.1721	1.1734

No.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
60	1.1747	1.1759	1.1770	1.1782	1.1793	1.1803	1.1814	1.1824	1.1834	1.1844
70	1.1854	1.863	1.1873	1.1881	1.1890	1.1898	1.1906	1.1915	1.1923	1.1930
80	1.1938	1.1945	1.1953	1.1959	1.1967	1.1973	1.1980	1.1987	1.1994	1.2001
90	1.2007	1.2013	1.2026	1.2032	1.2038	1.2044	1.2046	1.2049	1.2055	1.2060
100	1.20065									

Tabel 2.4 Reduced Cariate YT (Soemarto, 1999)

Periode Ulang (Tahun)	***Reduced variated***
2	0.3665
5	1.4999
10	2.2502
20	2.9606
25	3.1985
50	3.9019
100	4.6001
200	5.2960
500	6.2140
1000	6.9190
5000	8.5390
10000	9.9210

b. Metode Log Normal

Metode Log Normal apabila digambarkan pada kertas peluang logaritmik akan merupakan persamaan garis lurus, sehingga dapat dinyatakan sebagai model matematik dengan perssmaan sebagai berikut *(Soewarno, 1995)*

$$Xt = \bar{X} + Kt * S \quad \text{.....(2.12)}$$

Dimana :

Xt = Besarnya curah hujan yang memungkinkan terjadi dengan perode ulang X tahun (mm).

$\bar{X}$ = Curah hujan rata – rata (mm)

S = Deviasi standar data hujan maksimum tahunan

Kt = Standar variable untuk periode ulang T tahun yang besarnya diberikan seperti ditunjukkan pada tabel 2.5

Tabel 2.5 Standard Variable Kt (Soewarno, 1995)

T(tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt	T (Tahun)	Kt
1	-1.86	20	1.89	90	3.34
2	-0.22	25	2.10	100	3.45
3	0.17	30	2.27	110	3.53
4	0.44	35	2.41	120	3.62
5	0.64	40	2.54	130	3.70
6	0.81	45	2.65	140	3.77
7	0.95	50	2.75	150	3.84
8	1.06	55	2.86	160	3.91
9	1.17	60	2.93	170	3.97
10	1.26	65	3.02	180	4.03
11	1.35	70	3.08	190	4.09
12	1.43	75	3.60	200	4.14
13	1.50	80	3.21	221	4.24
14	1.57	85	3.28	240	4.33
15	1.63	90	3.33	260	4.42

Tabel 2.6 koefisien Untuk Metode Sebaran Log Normal (Soewarno, 1995)

Cv	Periode Ulang T tahun					
	2	5	10	20	50	100
0.0500	-0.2500	0.8334	1.2965	1.6863	2.1341	2.4370
0.1000	-0.0496	0.8222	1.3078	1.7247	2.2130	2.5489
0.1500	-0.0738	0.8085	1.3156	1.7598	2.2899	2.6607
0.2000	-0.0971	0.7926	1.3200	1.7911	2.3640	2.7716
0.2500	-0.1194	0.7748	1.3209	1.8183	2.4348	2.8805
0.3000	-0.1406	0.7547	1.3183	1.8414	2.5316	2.9866
0.3500	-0.1604	0.7333	1.3126	1.8602	2.5638	3.0890
0.4000	-0.1788	0.7100	1.3037	1.8746	2.6212	3.1870
0.4500	-0.1957	0.6870	1.2920	1.8848	2.6734	3.2109
0.5000	-0.2111	0.6626	1.2778	1.8909	2.7202	3.3673
0.5500	-0.2251	0.6129	1.2513	1.8931	2.7615	3.4488
0.6000	-0.2375	0.5879	1.2428	1.8916	2.7974	3.5241
0.6500	-0.2485	0.5879	1.2226	1.8866	2.8279	3.5930
0.7000	-0.2582	0.5631	1.2011	1.8786	2.8532	3.6568
0.7500	-0.2667	0.5387	1.1784	1.8577	2.8735	3.7118
0.8000	-0.2739	0.5148	1.1548	1.8543	2.8891	3.7617
0.8500	-0.2801	0.4914	1.1306	1.8388	2.9002	3.8056

Cv	Periode Ulang T tahun					
	2	5	10	20	50	100
0.9000	-0.2852	0.4886	1.1060	1.8212	2.9071	3.8437
0.9500	-0.2895	0.4466	1.0810	1.8021	2.9102	3.8762
1.0000	-0.2929	0.4254	1.0560	1.7815	2.9098	3.9036

c. Metode Distribusi Log Pearson Tipe III

Diantara 12 type metode Pearson type III merupakan metode yang banyak digunakan dalam analisa hidrologi. Berdasarkan kajian Benson 1986 disimpulkan bahwa metode log Pearson type III dapat digunakan sebagai dasar dengan tidak menutup kemungkinan pemakaian metode yang lain, apabila pemaskaian sifatnya sesuai. (Sri Harto, 1981)

Langkah – langkah yang diperlukan sebagai berikut :

1. Gantilah data X_1, X_2, X_3, ….. Xn menjadi data dalam logaritma, Yaitu : log X_1, log X_2, log X_3, …. Log Xn
2. Hitung rata – rata dari logaritma data tersebut :

$$\text{Log X} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Xi}{n} \quad \text{……..(2.13)}$$

3. Hitung Standar deviasi

$$\text{Sd} = \sqrt{\frac{\sum(Xi - \bar{X})^2}{n-1}} \quad \text{……..(2.14)}$$

4. Hitung koefisien skewness

$$CS = \frac{n\sum_{i=1}^{n}\left(X_i - \bar{X}\right)^2}{(n-1)(n-2)S^3} \quad \text{…….(2.15)}$$

5. Hitung logaritma data pada interval pengulangan atau kemungkinan prosentase yang dipilih.

$$\text{Log } X_{Tr} = (\log \bar{X}) + \text{Sd log K (Tr, Cs)} \quad \text{……..(2.16)}$$

Dimana :

Log X_{Tr} = Logaritma curah hujan rencana (mm)

Log $\bar{X}$ = Logaritma curah hujan rata – rata (mm)

Sd = Standar Deviasi (mm)

K (Tr, Cs) = Faktor frekuensi Pearson tipe III yang tergantung pada harga Tr (periode ulang) dan Cs (koefisien skewness), yang dapat dibaca pada Tabel 2.7

Tabel 2.7 Harga K untuk Distribusi Log Pearson Tipe III (Soemarto, 1999)

Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
3.0	-0.396	0.420	1.180	2.278	3.152	4.051	4.970	7.250
2.5	-0.360	0.518	1.250	2.262	3.048	3.845	4.652	6.600
2.2	-0.330	0.574	1.284	2.240	2.970	3.705	4.444	6.200
2.0	-0.307	0.609	1.302	2.219	2.912	3.605	4.298	5.910
1.8	-0.282	0.643	1.318	2.193	2.848	3.499	4.147	5.660
1.6	-0.254	0.675	1.329	2.163	2.780	3.388	3.990	5.390
1.4	-0.225	0.705	1.337	2.128	2.706	3.271	3.828	5.110
1.2	-0.195	0.732	1.340	2.087	2.626	3.149	3.661	4.820
1.0	-0.164	0.758	1.340	2.043	2.542	3.022	3.489	4.540
0.9	-0.148	0.769	1.339	2.018	2.498	2.957	3.401	4.395
0.8	-0.132	0.780	1.336	2.998	2.453	2.891	3.312	4.250
0.7	-0.116	0.790	1.333	2.967	2.407	2.824	3.223	4.105
0.6	-0.099	0.800	1.328	2.939	2.359	2.755	3.132	3.960
0.5	-0.083	0.808	1.323	2.910	2.311	2.686	3.041	3.815
0.4	-0.066	0.816	1.317	2.880	2.261	2.615	2.949	3.670
0.3	-0.050	0.824	1.309	2.849	2.211	2.544	2.856	3.525
0.2	-0.033	0.830	1.301	2.818	2.159	2.472	2.763	3.380
0.1	-0.017	0.836	1.292	2.785	2.107	2.400	2.670	3.235
0.0	-0.000	0.842	1.282	2.751	2.054	2.326	2.576	3.090
-0.1	0.017	0.836	1.270	2.761	2.000	2.252	2.482	3.950
-0.2	0.033	0.850	1.258	1.680	1.945	2.178	2.388	2.810
-0.3	0.050	0.853	1.245	1.643	1.890	2.104	2.294	2.675
-0.4	0.066	0.855	1.231	1.606	1.834	2.029	2.201	2.540
-0.5	0.083	0.856	1.216	1.567	1.777	1.955	2.108	2.400
-0.6	0.099	0.857	1.200	1.528	1.720	1.880	2.016	2.275
-0.7	0.116	0.857	1.183	1.488	1.663	1.806	1.926	2.150
-0.8	0.132	0.856	1.166	1.488	1.606	1.733	1.837	2.035
-0.9	0.148	0.854	1.147	1.407	1.549	1.660	1.749	1.910
-1.0	0.164	0.852	1.128	1.366	1.492	1.588	1.664	1.800
-1.2	0.195	0.844	1.086	1.282	1.379	1.449	1.501	1.625

Kemencengan (Cs)	Periode Ulang Tahun							
	2	5	10	25	50	100	200	1000
	Peluang (%)							
	50	20	10	4	2	1	0.5	0.1
-1.4	0.225	0.832	1.041	1.198	1.270	1.318	1.351	1.465
-1.6	0.254	0.817	0.994	1.116	1.166	1.200	1.216	1.280
-1.8	0.282	0.799	0.945	0.035	1.069	1.089	1.097	1.130
-2.0	0.307	0.777	0.895	0.959	0.980	0.990	1.995	1.000
-2.2	0.330	0.752	0.844	0.888	0.900	0.905	0.907	0.910
-2.5	0.360	0.711	0.771	0.793	0.798	0.799	0.800	0.802
-3.0	0.396	0.636	0.660	0.666	0.666	0.667	0.667	0.668

Dengan menggunakan cara penyelesaian analisa frekuensi, penggambaran ini dimungkinkan lebih banyak terjadi kesalahan. Maka untuk mengetahui tingkat pendekatan dari hasil penggambaran tersebut, dilakukan pengujian uji keselarasan distribusi. Pengujian ini dimaksudkan untuk menetukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih, dapat mewakili dari distribusi statistic sampel data yang dianalisis.

3. Uji Kebenaran Sebaran

Ada dua jenis uji keselarasan (*Goodness of Fit Test*), yaitu uji keselarasan *Chi Square* dan Smirnov Kolmogorof. Pada tes ini biasanya yang diamati adalah nilai hasil perhitungan yang diharapkan.

a. Uji Keselarasan Chi Kuadrat (*Chi Square*)

Prinsip pengujian dengan metode ini didasarkan pada jumlah pengamatan yang diharapkan pada pembagian kelas, dan ditentukan terhadap jumlah data pengamatan yang terbaca di dalam kelas tersebut, atau dengan membandingkan nilai *chi square* (X^2) dengan nilai *chi square* kritis (X^2cr).

Rumus yang dipakai :

$$X^2 = \sum_{i=1}^{N} \frac{(Oi-Ei)^2}{Ei} \quad \text{.....(2.17)}$$

Dimana : X^2 = Harga *chi square* terhitung

Oi = Jumlah nilai pengamatan pada kelas yang sama

Ei = frekuensi yang diharapkan sesuai dengan pembagian kelasnya

Adapun prosedur pengujian *chi square* adalah sebagai berikut :

1. Hitung jumlah kelas (K) yang ada, yaitu :
2. Tentukan derajat kebebasan (DK) = K – (P + 1), dimana nilai P = 2 untuk distribusi normal dan binomial, untuk distribusi Pearson dan Gumbel nilai P = 1
3. Hitung n
4. Hitung Ei $= \frac{\sum n}{K}$
5. Hitung $\Delta x = \frac{(Xmax - Xmin)}{n-1}$
6. Hitung X awal = Xmin – (½ Δx)
7. Nilai *chi square* yang di dapat harus < nilai *chi square* table (Tabel 2.8)

Dapat disimpulkan bahwa setelah diuji dengan *chi square* dan pemilihan jenis sebaran memenuhi syarat distribusi, maka curah hujan rencana dapat dihitung.

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

1. Apabila peluang lebih dari 5 % maka persamaan teoritis yang digunakan dapat diterima
2. Apabila peluang lebih kecil dari 1 % maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima
3. Apabila peluang 1 % - 5 %, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

Tabel 2.8. Nilai Kritis Untuk Uji Keselarasan Chi Kuadrat (Soewarno, 1995)

k	α Derajat Kepercayaan							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
	0.0000393	0.000157	0.000982	0.00393	3.841	5.024	6.635	7.879
	0.0100	0.0201	0.0506	0.103	5.991	7.373	9.210	10.597
	0.0717	0.115	0.216	0.352	7.815	9.348	11.345	12.838
	0.207	0.297	0.484	0.711	9.488	11.143	13.277	14.860
	0.412	0.554	0.831	1.145	11.070	12.832	15.086	16.750
	0.676	0.872	1.237	1.635	12.592	14.449	16.812	18.548

k	α Derajat Kepercayaan							
	0.995	0.99	0.975	0.95	0.05	0.025	0.01	0.005
	0.989	1.239	1.690	2.167	14.067	16.013	18.475	20.278
	1.344	1.646	2.180	2.733	15.507	17.535	20.090	21.955
	1.735	2.088	2.700	3.325	16.919	19.023	21.666	23.589
10	2.156	2.558	3.247	3.940	18.307	20.483	23.209	25.188
11	2.603	3.053	3.816	4.575	19.675	21.920	24.725	26.757
12	3.074	3.571	4.404	5.226	21.026	23.337	26.217	28.300
13	3.565	4.107	5.009	5.892	22.362	24.736	27.688	28.819
14	4.075	4.660	5.629	6.571	23.685	26.119	29.141	31.319
15	4.601	5.229	6.262	7.261	24.996	27.488	30.578	32.801
16	5.142	5.812	6.908	7.962	26.296	28.845	32.000	34.267
17	5.697	6.408	7.564	8.672	27.587	30.191	33.409	35.718
18	6.265	7.015	8.231	9.390	28.869	31.526	34.805	37.156
19	6.844	7.633	8.907	10.117	30.144	32.852	36.191	38.582
20	7.434	8.260	9.591	10.851	31.41	34.170	37.566	39.997
21	8.034	8.897	10.283	11.591	32.671	35.479	38.932	41.401
22	8.643	9.542	10.982	12.338	33.924	36.781	40.289	42.796
23	9.260	10.196	11.689	13.091	36.172	38.076	41.683	44.181
24	9.886	10.856	12.401	13.848	36.415	39.364	42.980	45.558
25	10.520	11.524	13.120	14.611	37.652	40.646	44.314	46.928
26	11.160	12.198	13.844	15.379	38.885	41.923	45.642	48.290
27	11.808	12.879	14.573	16.151	40.113	43.194	46.963	49.645
28	12.461	13.565	15.308	16.928	41.337	44.461	48.278	50.993
29	13.121	14.256	16.047	17.708	42.557	45.722	49.588	52.336
30	13.787	14.953	16.791	18.493	43.773	46.979	50.892	53.672

b. Uji Keselarasan Smirnov Kolmogorof

Pengujian kecocokan sebaran dengan cara ini dinilai lebih sederhana dibanding dengan pengujian dengan cara Chi-Kuadrat. Dengan membandingkan kemungkinan (*probability*) untuk setiap varian, dari distribusi empiris dan teoritisnya, akan terdapat perbedaan (Δ) tertentu (Soewarno, 1995).

Apabila harga Δ max yang terbaca pada kertas probabilitas kurang dari Δ kritis untuk suatu derajat nyata dan banyaknya varian tertentu, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpangan yang terjadi disebabkan oleh kesalahan-kesalahan yang terjadi secara kebetulan (Soewarno, 1995).

$$\alpha = \frac{Pmax}{P(x)} - \frac{P(xi)}{\Delta cr} \quad \text{.....(2.18)}$$

1. Urutkan dari besar ke kecil atau sebaliknya dan tentukan besarnya nilai masing – masing peluang dari hasil penggambaran grafis data (persamaan distribusinya) :

   $X_1 = P' (X_1)$

   $X_2 = P' (X_2)$

   $Xm = P' (X_m)$

   $Xn = P' (X_n)$

2. Berdasarklan tabel nilai kritis (*Smirnov – Kolmogorof test*) tentukan harga Do (seperti ditunjukkan pada Tabel 2.9)

Tabel 2.9 Nilai Delta Kritis Untuk Uji Keselarasan Smirnov – Kolmogorof (Soewarno,1995)

Jumlah Data	α Derajat Kepercayaan			
n	0.20	0.10	0.05	0.01
5	0.45	0.51	0.56	0.67
10	0.32	0.37	0.41	0.49
15	0.27	0.30	0.34	0.40
20	0.23	0.26	0.29	0.36
25	0.21	0.24	0.27	0.32
30	0.19	0.22	0.24	0.29
35	0.18	0.20	0.23	0.27
40	0.17	0.19	0.21	0.25
45	0.16	0.18	0.20	0.24
50	0.15	0.17	0.19	0.23
N > 50	1.07 / n	1.22 / n	1.36 / n	1.63 / n

4. Plotting Data Curah Hujan ke Kertas Probabilitas

Ploting data distribusi frekuensi dalam kertas probabilitas bertujuan untuk mencocokkan rangkaian data dengan jenis sebaran yang dipilih, dimana kecocokan dapat dilihat dengan persamaan garis yang membentuk garis lurus. Hasil ploting juga dapat digunakan untuk menaksir nilai tertentu dari data baru yang kita peroleh (Soewarno, 1995).

2.3.7. Analisi Debit Rencana

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan system drainase pada umumnya ada 2 yaitu sebagai berikut:

1. Metode Rasional

Metode Rasional hanya digunakan untuk menentukan banjir maksimum bagi saluran-saluran dengan daerah aliran kecil, kira-kira 100-200 acres atau kira-kira 40-80 ha. Metode Rasional ini dapat dinyatakan secara aljabar dengan persamaan sebagai berikut (Subarkah, 1980):

$Q = 0{,}278\ C\ .\ I\ .\ A$ ……...(2.19)

$R = \frac{R_{24}}{24} * \left[\frac{24}{t}\right]^{2/3}$ ……(2.20)

$Tc = L / W$ ……(2.21)

$W = 72 \left[\frac{H}{L}\right]^{0.6}$ ……(2.22)

dimana :

Q = debit banjir rencana (m^3/detik)

C = koefisien *run off*

I = intensitas maksimum selama waktu konsentrasi (mm/jam)

A = luas daerah aliran (km^2)

R = Intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

Tc = Waktu kosentrasi (jam)

L = Panjang sungai (km)

H = Beda tinggi (m)

W = Kecepatan perambatan banjir (km/jam)

Koefisien pengaliran (C) tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Sedangkan besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10 Koefisien Pengaliran *Sumber : Loebis (1984)*

Kondisi Daerah Pengaliran	**Koefisien Pengaliran (C)**
Daerah pegunungan berlereng terjal	0,75-0,90
Daerah perbukitan	0,70-0,80
Tanah bergelombang dan bersemak-semak	0,50-0,75
	0,45-0,65
Tanah dataran yang digarap	0,70-0,80

Persawahan irigasi	0,75-0,85
Sungai di daerah pegunungan	0.45-0,75
Sungai kecil di daratan	0,50-0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari daratan	

Metode-metode lainnya yang didasarkan pada metode rasional dalam memperkirakan puncak banjir di sungai adalah sebagai berikut (Kodoatie & Sugianto,2001) :

a. Metode *Weduwen*

Adapun syarat dalam perhitungan debit banjir dengan metode Weduwen adalah sebagai berikut (Loebis, 1984) :

A = luas daerah pengaliran < 100 km^2

t = 1/6 sampai 12 jam

Langkah kerja perhitungan Metode Weduwen (Loebis, 1984) :

- Hitung luas daerah pengaliran, panjang sungai, dan gradien sungai dari peta garis tinggi DAS.
- Buat harga perkiraan untuk debit banjir pertama dan hitung besarnya waktu konsentrasi, debit persatuan luas, koefisien pengaliran dan koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan DAS.
- Kemudian dilakukan iterasi perhitungan untuk debit banjir kedua.
- Ulangi perhitungan sampai hasil debit banjir ke-n sama dengan debit banjir ke-n dikurangi 1 ($Q_n = Q_{n-1}$) atau mendekati nilai tersebut.

Menggunakan rumus :

$$Q = \alpha . \beta . q_n . A \quad \text{.....(2.23)}$$

$$t = 0{,}25 . L . Q^{-0.125} . I^{-0.25} \quad \text{.....(2.24)}$$

$$\beta = \frac{120+\left((t+1)(t+9) \right)A}{120+A} \quad \text{..... (2.25)}$$

$$qn = \frac{R_n}{24} \; x \; \frac{67,65}{t+1,45} \quad \text{..... (2.26)}$$

$$\alpha = 1 - \frac{4,1}{\beta q_n + 7} \quad \text{.....(2.27)}$$

Dimana :

Q	= Debit banjir rencana (m^3/dtk)
Rn	= Curah hujan maksimum (mm/hari)
α	= Koefisien pengaliran
β	= Koefisien pengurangan daerah untuk curah hujan di DAS
qn	= Debit persatuan luas (m^3/dtk.km^2)
t	= Waktu kosentrasi (jam)
A	= Luas DAS sampai 100 km^2 (km^2)
L	= Panjang sungai (km)
I	= Gradien sungai atau medan

b. Metode *Melchior*

Syarat batas dalam perhitungan debit banjir dengan metode Melchior ini adalah sebagai berikut (Loebis, 1984) :

- Luas Daerah Pengaliran sungai > 100 km^2.
- Hujan dengan durasi t < 24 jam

Hasil perhitungan debit maksimum dengan metode Melchior untuk sungai-sungai di Pulau Jawa cukup memuaskan. Akan tetapi untuk daerah-daerah aliran yang luas, hasil-hasil tersebut terlalu kecil (Subarkah, 1980).

c. Metode *Haspers*

Adapun langkah-langkah dalam menghitung debit puncak adalah sebagai berikut (Loebis, 1984) :

- Menentukan besarnya curah hujan sehari (Rh rencana) untuk periode ulang rencana yang dipilih
- Menentukan koefisien runoff untuk daerah aliran sungai
- Menghitung luas daerah pengaliran, panjang sungai dan gradien sungai untuk daerah aliran sungai
- Menghitung nilai waktu konsentrasi

- Menghitung koefisien reduksi, intensitas hujan, debit persatuan luas dan debit rencana.

Untuk menghitung besarnya debit banjir dengan Metode Haspers digunakan persamaan sebagai berikut (Loebis, 1984) :

$Q = \alpha . \beta . q_n . A$ ……..(2.28)

Koefisien Run off (α) :

$$\alpha = \frac{1+0{,}012 \, . \, A^{0.7}}{1+0{,}075 \, . \, A^{0.7}} \quad \text{……(2.29)}$$

Koefisien Reduksi (β)

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{t+3.7 \, x \, 10^{-0.4t}}{t^2+15} \; x \; \frac{A^{3/4}}{12} \quad \text{……..(2.30)}$$

Waktu Kosentrasi (t)

$t = 0.1 \, L^{0.8} \, . \, I^{-0.3}$

Intensitas Hujan

- Untuk t < 2 jam

  $$Rt = \frac{tR24}{t+1-0.0008.(260-R24)(2-t)^2}$$

- Untuk 2 jam ≤ t ≤ 19 jam

  $$Rt = \frac{tR24}{t+1}$$

- Untuk 19 jam ≤ t ≤ 30 jam

  $Rt = 0.707R24 \sqrt{t+1}$

  Dimana t (jam) dan R24, Rt (mm)

Debit per satuan luas (qn)

$$qn = \frac{Rn}{3{,}6 \, . \, t}$$ (t dalam jam)……..(2.31)

Dimana :

Q = Debit banjir rencana dengan periode T tahun (m^3/dtk)

α = Koefisien pengaliran (tergantung daerah lokasi embung)

β = Koefisien reduksi

qn = Debit per satuan luas (m^3 /dtk/ km^2)

Rn = Curah hujan maksimum (mm/ hari)

A = luas DAS (km^2)

Rt = Curah hujan maksimum untuk periode ulang T tahun (mm)

T= Waktu kosentrasi (jam)

I = Kemiringan sungai

H = Perbedaan tinggi titik terjauh DAS terhadap titik yang ditinjau (km)

d. Metode FSR Jawa dan Sumatra

Pada tahun 1982-1983 IOH (Institute of Hydrology), Wallington, Oxon, inggris bersama – sama dengan DPMA (Direktorat Penyelidikan Masalah Air), telah melaksanakan penelitian untuk menghitung debit puncak banjir yang diharapkan terjadi pada peluang atau periode ulang tertentu berdasarkan ketersediaan data debit banjir dengan cara analitis statistik untuk Jawa dan Sumatra.

Rumus – rumus dan notasi yang digunakan dalam Metode FSR Jawa Sumatra ini adalah (Loebis, 1987):

AREA = Luas DAS (km^2)

PBAR = Hujan maksimum rata – rata tahunan selama 24 jan dicari dari isohyet (mm)

APBAR = Hujan terpusat maksimum rata – rata tahunan selama 24 jam

ARF = Faktor reduksi (1,152 – 0,1233 log AREA)

MSL = Jarak maksimum dari tempat pengamatan sampai baris terjauh yang diukur 90 % dari panjang sungai (km)

H = Beda tinggi titik pengamatan dengan titik diujung sungai (m)

SIMS = Indeks kemiringan (H / MSL)

LAKE = Indeks danau yang besarnya 0 – 0,25

MAF = Debit maksimum rata – rata tahunan (m^3 / derik)

GF = *Growth factor*

MAF = 1,02 – 0,275 log (AREA)

MAF = 8.10^{-6} x $AREA^{v}$ x $APBR^{2,445}$ x $SIMS^{0,117}$ x (1 + LAKE)$^{-0,85}$

QT = Debit banjir untuk periode ulang T tahun (m^3 / detik)

= GT (T, AREA) x MAF

Tabel 2.11 Growth Factor atau GF (Soewarno, 1995)

Periode Ulang (th)	Luas DAS (km^2)					
	< 100	300	600	900	1200	>1500
5	1.28	1.27	1.24	1.22	1.19	1.17
10	1.56	1.54	1.48	1.44	1.41	1.37
20	1.88	1.88	1.75	1.70	1.64	1.59
50	2.55	2.30	2.18	2.10	2.03	1.95
100	2.78	2.72	2.57	2.47	2.37	2.27
200	3.27	3.20	3.01	2.89	2.78	2.66
500	4.01	3.92	3.70	3.56	3.41	3.27
1000	4.68	4.58	4.32	4.16	4.01	3.85

Perkiraan debit puncak banjir tahunan rata- rata, berdasarkan ketersediaan data dari suatu DAS, dengan ketentuan :

1. Apabila tersedia data debit, minimal 10 tahun data runtut waktu maka, MAF dihitung berdasarkan data serial debit puncak banjir tahunan.
2. Apabila tersedia data debit kurang dari 10 tahun data runtut waktu, maka MAF dihitung berdasarkan metode puncak banjir di atas ambang (*Peak over a threshold* = POT).
3. Apabila dari DAS tersebut, belum tersedia data debit, maka MAF ditentukan dengan persamaan regresi, berdasarkan data luas DAS (AREA), rata – rata tahunan dari curah hujan terbesar dalam satu hari (APBAR), kemiringan sungai (SIMS), dan indeks dari luas genanngan seperti luas danau, genangan air, waduk (LAKE).

e. Metode Analisis Hidrograf Satuan Sintetik Gamma I

Cara ini dipakai sebagai upaya memperoleh hidrograf satuan suatu DAS yang belum pernah diukur. Dengan pengertian lain tidak tersedia data pengukuran debit maupun data AWLR (*Automatic Water Level Recorder*) pada suatu tempat tertentu dalam sebuah DAS yang tidak ada stasiun hydrometer.

Hidrograf satuan sintetik secara sederhana dapat disajikan empat sifat dasarnya yang masing – masing disampaikan sebagai berikut :

1. Waktu naik (*Time of Rise,* TR), yaitu waktu yang diukur dari saat *hidrograf* mulai naik sampai berakhirnya limpasan langsung atau debit sama dengan nol.
2. Debit puncak (*Peak Discharge*, QP)
3. Waktu dasar (*Base Time,* TB), yaitu waktu yang diukur dari saat hidrograf mulai naik sampai berakhirnya limpasan langsung atau debit sama dengan nol.
4. Korfisien tampungan DAS dalam Fungsi sebagai tampungan air.

Sisi naik hidrograf satuan diperhitungkan sebagai garis lurus sedang sisi resesi (*resesion climb*) hidrograf satuan disajikan dalam persamaan exponensial berikut :

$Qt = Qp \, . \, e^{-1/k}$ ……(2.32)

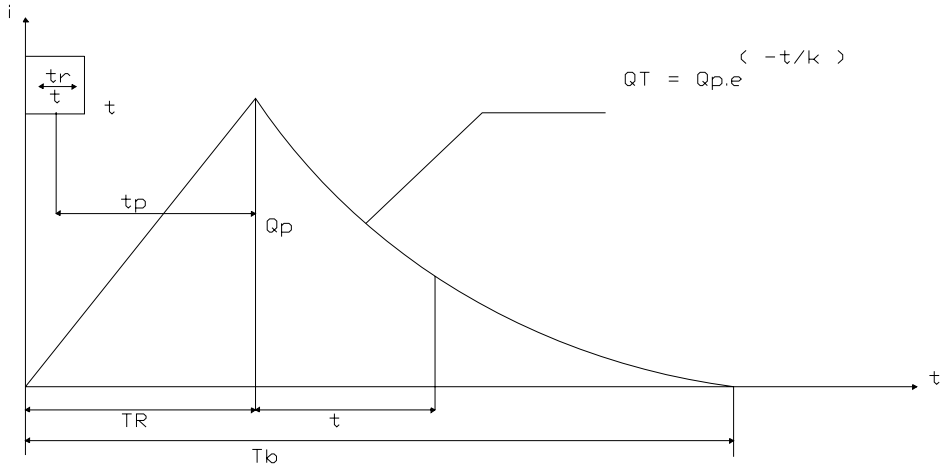
Dimana :

Qt = Debit yang diukur dalam jam ke – t sesudah debit puncak (m^3/dt)

Qp = Debit puncak (m^3/dt)

T = Waktu yang diukur pada saat terjadinya debit puncak (jam)

K = Koefisien tampungan dalam jam



Gambar 2.6. Sketsa Hidrograf Satuan Sintetik Gamma 1 (Soedibyo, 1993)

$T_R = 0.43 \left[\frac{L}{100 \, . \, SF}\right]^3 + 1{,}0665 \text{ SIM} + 1{,}2775$ ……(2.33)

T_R = Waktu naik (jam)

L = Panjang sungai (km)

Sf = Faktor sumber yaitu perbandingan antara jumlah panjang tingkat I dengan

Jumlah panjang sungai semua tingkat.

SF = (L1 + L1) / (L1 + L1 + L2)…….(2.34)

SIM = Faktor simetri ditetapkan sebagai hasil kali antara factor lebar (WF) dengan luas relative DAS sebelah hulu (RUA)

A – B = 0,25 L

A – C = 0,75 L

WF = Wu / Wi (gambar 2.7)

$Qp = 0{,}1836 \cdot A^{0.5886} \cdot T_R^{-0.4008} \cdot JN^{0.2381}$

Dimana :

Qp = Debit puncak (m^3/dt)

JN = Jumlah pertemuan sungai

$T_B = 27.4132\ T_R^{0.1457} \cdot S^{-0.0986} \cdot SN^{-0.7344} \cdot RUA^{0.2574}$…….(2.35)

Dimana :

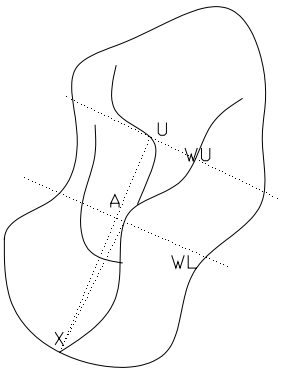
TB = Waktu dasar (jam)

S = Landai Sungai rata – rata

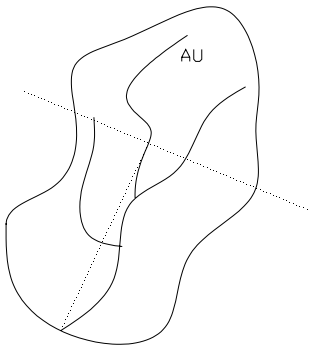
SN = Frekuensi sumber yaitu perbandingan antara jumlah segmen sungai – sungai

Tingkat 1 dengan jumlah sungai semua tingkat

RUA = Perbandingan antara luas DAS yang diukur di hulu garis yang ditarik tegak lurus garis hubung antara stasiun pengukuran dengan titik yang paling dekat dengan titik berat DAS melewati titik tersebut dengan luas DAS total (Gambar 2.7 & 2.8).



Gambar 2.7. Sketsa Penetapan WF



Gambar 2.8. Sketsa Penetapan RUA

X-A = 0,25 L

X-U = 0,75 L

RUA = Au / A

Penetapan hujan efektif untuk memperoleh hidrograf dilakukan dengan menggunakan indeks – infiltrasi. Untuk memperoleh indeks ini agak sulit, untuk itu dipergunakan pendekatan dengan mengikuti petunjuk Barnes (1959). Perkiraan dilakukan dengan mempertimbangkan pengaruh parameter DAS yang secara hidrologi dapat diketahui pengaruhnya terhadap indeks infiltrasi, persamaan pendekatannya adalah sebagai berikut :

$$\varphi = 10{,}4903 - 3{,}859\, x\, 10^{-6}\, .A^2 + \, 1{,}6985\, x\, 10^{-13}\, (\frac{A}{SN})^4$$

Persamaan kontinuitas pada periode $\Delta t = t_2 - t_1$ adalah :

$$\left[\frac{I1 + I2}{2}\right] * \, \Delta t - \left[\frac{O1 - O2}{2}\right] * \, \Delta t = S2 - S1$$

Tabel 2.12. Contoh Tabel Flood Routing dengan Step by Step Method

Waktu ke	t	I Inflow	Ir Rata^2	Volume Ir * t	Asumsi EI Waduk	O Outflow	Or Rata^2	Vol Or * t	S Storage	Kumulatif Storage X.10^3	Elv M.a Waduk
1		1			70	0				1000	70
	60		2	720			1	3600	3600		
2		3			71.2	2				1003.6	71.1
dst											

(*Sumber : Kodoatie dan Sugiyanto, 2000*)

2. Unit Hidrograf

Teori klasik unit hidrograf (hidrograf sintetik) berasal dari hubungan antara hujan efektif dengan limpasan. Hubungan tersebut merupakan salah satu komponen model watershed yang umum (Soemarto, 1997).

Penerapan pertama unit hidrograf memerlukan tersedianya data curah hujan yang panjang.Unsur lain adalah tenggang waktu (*time lag*) antara titik berat hujan efektif dengan titik berat hidrograf, atau antara titik berat hujan efektif dengan puncak hidrograf (*basin lag*) (Soemarto, 1997). Yang termasuk dalam Unit Hidrograf adalah sebagai berikut *(Soemarto, 1987)* :

a. Hidrograf Satuan Dengan Pengukuran

Hidrograf satuan dari suatu daerah pengaliran tertentu dapat dicari dari hidrograf sungai yang diakibatkan oleh hujan sembarang yang meliputi daerah penangkapannya dengan intensitas yang cukup merata *(Soemarto, 1987).*

Jika daerah penangkapannya sangat besar, tidak mungkin hujannya merata. Berhubung luasan yang dapat diliput oleh hujan merata sangat terbatas karena dipengaruhi oleh keadaan meteorologi. Dalam keadaan demikian luas daerah penangkapannya harus dibagi menjadi bagian-bagian luas dari daerah pengaliran anak-anak sungai, dan hidrograf satuannya dicari secara terpisah *(Soemarto, 1987).*

b. Hidrograf Satuan Sintetik

Untuk membuat hidrograf banjir pada sungai-sungai yang tidak ada atau sedikit sekali dilakukan observasi hidrograf banjirnya, maka perlu dicari karakteristik atau parameter daerah pengaliran tersebut terlebih dahulu,

misalnya waktu untuk mencapai puncak hidrograf (*time to peak magnitude*), lebar dasar, luas kemiringan, panjang alur terpanjang (*length of the longest channel*), koefisien limpasan (*run off coefficient*) dan sebagainya. Dalam hal ini biasanya kita gunakan hidrograf-hidrograf sintetik yang telah dikembangkan di negara-negara lain, dimana parameter-parameternya harus disesuaikan terlebih dahulu dengan karakteristik daerah pengaliran yang ditinjau *(Soemarto, 1987).*

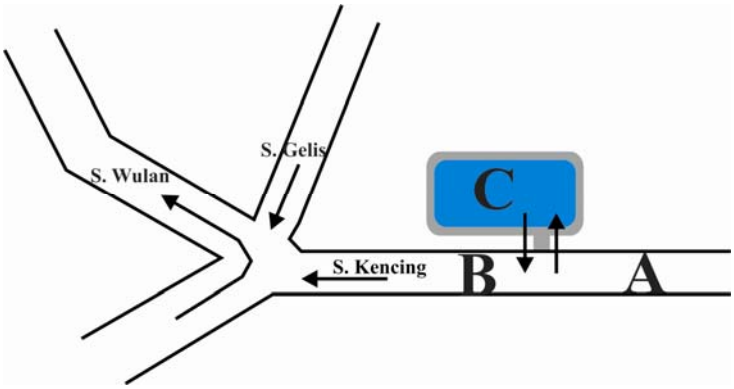
c. Hidrograf Distribusi

Hidrograf distribusi adalah hidrograf satuan yang ordinat-ordinatnya merupakan prosentase terhadap aliran total dengan periode atau durasi tertentu. Karena debit yang tertera pada hidrograf satuan berbanding lurus dengan hujan efektif, maka prosentasenya akan tetap konstan, meskipun hujan efektifnya berubah-ubah. Ini merupakan alat yang berguna jika hanya diketahui debit totalnya atau debit rata-ratanya saja *(Soemarto, 1986).*

Pada grafik hidrograf satuan yang digabung dengan hidrograf distribusinya, luas di bawah lengkung sama dengan luas di bawah garis bertangga. Sehingga apabila ingin mencari hidrograf satuan dari prosentase distribusi, haruslah digambarkan garis kontinyu lewat tangga-tangga agar didapat luas yang sama *(Soemarto, 1986).*

2.4. Sistem Kerja Retarding Pond

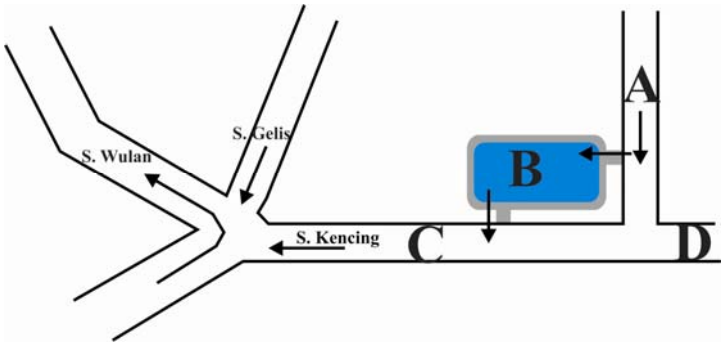
Bangunan *retarding pond* merupakan sebuah bangunan yang berbentuk kolam tampungan dengan fungsi utama menampung luapan air banjir sementara dan melepaskannya ketika banjir telah surut. Selain kolam tampungan, di dalam bangunan ini terdapat beberapa komponen bangunan lainnya yaitu tanggul pelindung, saluran pengendapan / kantong lumpur, pintu air, serta stasiun pompa. Secara umum sistem kerja pengendalian banjir dengan *retarding pond* meliputi ; sistem pengambilan, sistem pengendapan, sistem penampungan, dan sistem pembuangan. Hal tersebut dapat dijelaskan seperti gambar 2.9 dan keterangan di bawah ini :



Gambar 2.9. Sistem kerja retarding pond

(Sumber : Masterplan drainase Kudus, 2008)

a. Pemantauan rutin debit dari A, apakah debit A < debit di B. Jika debit A < debit B, maka debit A bisa langsung masuk ke B. Tetapi jika yang terjadi ternyata debit A > B, maka pintu air *retarding pond* harus dibuka untuk menampung / melakukan sitem pengambilan debit dari A sesuai dengan kapasitas tampungan di *retarding pond* yaitu sebesar C, karena jika tidak maka akan terjadi limpasan air (banjir) di daerah B.
b. Jika kondisi banjir telah surut (debit A < B lagi), maka volume tampungan sebesar C di *retarding pond* bisa dialirkan kembali dengan membuka pintu air. Tetapi dengan catatan bahwa volume C + debit A harus < B.



Gambar 2.10. Sistem Kerja *Retarding Pond*

(Sumber : Masterplan drainase Kudus,2008)

a. Pemantauan rutin debit dari A dan D.

b. Jika kondisi yang terjadi debit A + debit D < C, maka fungsi tampungan *retarding pond* belum dibutuhkan (pintu air masuk ke *retarding pond* ditutup).
c. Tetapi jika kondisi yang terjadi adalah debit A + debit D > C, maka pintu air masuk ke *retarding pond* harus dibuka untuk menampung / melakukan sitem pengambilan debit A sesuai dengan kapasitas tampungan di *retarding pond* yaitu sebesar B. Atau bisa juga dengan melakukan langkah norrmalisasi di C agar debit A + D dapat sepenuhnya dialirkan masuk ke C.
d. Jika kondisi banjir telah surut (debit A + dbit D < C lagi), maka volume tampungan sebesar B di *retarding pond* bisa dialirkan kembali dengan membuka pintu air.

(Sumber: Masterplan Rencana Drainase Kota Kudus, 2008)

2.5. Aspek Hidrolika

2.5.1. Perencanaan Dimensi Saluran

Untuk menentukan dimensi saluran drainase dalam hal ini, diasumsikan bahwa kondisi aliran air adalah dalam kondisi normal (*steady uniform flow*) di mana aliran mempunyai kecepatan konstan terhadap jarak dan waktu *(Suripin, 2000)*. Rumus yang sering digunakan adalah rumus Manning.

$$Q = V.A$$

$$V = \frac{1}{n}.R^{\frac{2}{3}}.I^{\frac{1}{2}} \quad ; \quad \text{Di mana :}$$

Q = debit banjir rencana yang harus dibuang lewat saluran drainase (m^3/dt)

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

A = (b + mh).h =Luas potongan melintang aliran (m2)

R = A/P = jari-jari hidrolis (m)

P = b + 2h(m2 +1)1/2 = keliling basah penampang saluran (m)

b = lebar dasar saluran (m)

h = kedalaman air (m)

I = kemiringan energi/ saluran

n = koefisien kekasaran Manning

m = kemiringan talud saluran (1 vertikal : m horisontal)

Faktor-faktor yang berpengaruh didalam menentukan harga koefisien kekasaran Manning (n) adalah sebagai berikut :

a. kekasaran permukaan saluran.
b. vegetasi sepanjang saluran.
c. ketidakteraturan saluran.
d. trase saluran landas.
e. pengendapan dan penggerusan.
f. adanya perubahan penampang.
g. ukuran dan bentuk saluran.
h. kedalaman air.

Tabel 2.13. Harga koefisien Manning (n) untuk saluran seragam

Jenis saluran	Keterangan	n
Tanah lurus & seragam	Bersih baru	0,018
	Bersih telah melapuk	0,022
	Berkerikil	0,025
	Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,027
Saluran alam	Bersih lurus	0,030
	Bersih berkelok-kelok	0,040
	Banyak tanaman pengganggu	0,070
	Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0,030-0,035
	Saluran di belukar	0,050-0,100
Beton	Goron-gorong lurus dan bebas kotoran	0,011
	Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit tanaman pengganggu	0,013
	Beton dipoles	0,012
	Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,015

(Suripin, 2000)

Tabel 2.14 di atas dapat dipakai apabila material saluran pada dinding dan dasarnya adalah seragam, tetapi apabila saluran yang dasar dan dindingnya mempunyai koefisien kekasaran yang berbeda (beda material), misalnya didnding saluran adalah lapisan batu belah, sedangkan dasar saluran merupakan tanah asli maka koefisien kekasaran (n) rata-ratanya dapat dihitung dengan rumus:

$$n_{rt} = (P_1 \,.\, n_1^{1,5} + 2P_2 \,.\, n^{1,5})^{2/3} / P^{2/3}$$

Untuk menjaga terhadap loncatan air akibat bertambahnya kecepatan serta kemungkinan adanya debit air yang datang lebih besar dari perkiraan juga untuk memberi ruang bebas pada aliran maka diperlukan ruang bebas (*free board*) yang besarnya tergantung pada fungsi saluran. Besarnya nilai tinggi jagaan tergantung pada besarnya debit banjir yang lewat klasifikasi saluran (primer, sekunder, tersier) dan daerah yang dilalui apakah memerlukan tingkat keamanan yang tinggi, sedang, atau rendah, seperti tampak pada Tabel 2.15. (*Al Falah, 2002)*

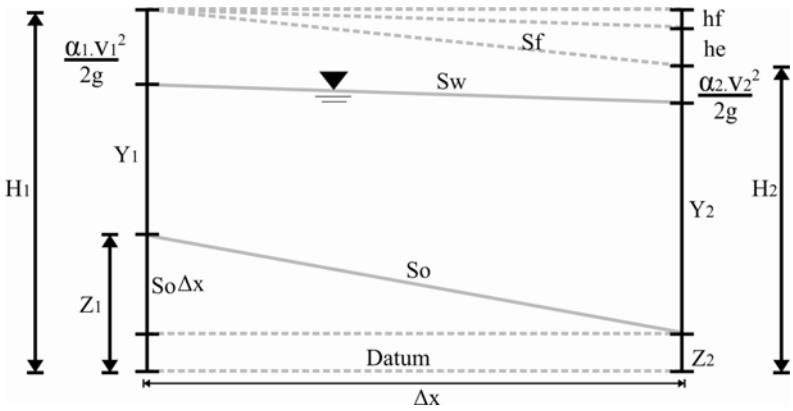
Tabel 2.14. Nilai tinggi jagaan menurut klasifikasi daerah

Klasifikasi daerah	Klasifikasi saluran		
	Primer	Sekunder	Tersier
Kota raya	90	60	30
Kota besar	60	60	20
Kota sedang	40	30	20
Kota kecil	30	20	15
Daerah industri	40	30	20
Daerah pemukiman	30	20	15

(Sumber : Kriteria perencanaan DPU Pengairan)

2.5.2. Perencanaan Muka Air Saluran

Aliran tidak normal yaitu aliran dengan kedalaman airnya berubah secara berangsur-angsur dari kedalaman tertentu (>H normal) sampai kembali ke kedalaman air normal. Hal ini diakibatkan adanya pembendungan di bagian hulunya (kedalaman air di bagian hilirnya lebih besar dibandingkan dengan kedalaman air normal), misal adanya muka air laut pasang. Dengan adanya muka air laut pasang, maka akan terjadi efek *backwater* yang mengkibatkan muka air di saluran bertambah tinggi. Dalam perhitungan ini, metode yang dipakai untuk menghitung panjangnya pengaruh backwater atau menghitung kedalaman air pada jarak tertentu dari hilir adalah metode tahapan standart / *standart step method.*



Gambar 2.11. Gradually Varied Flow.

Rumus kekekalan energi *(Suripin, 2000)* : H1 = H2 + Hf.

$$Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 . V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 . V_2^2}{2g} + Sf . \Delta x$$

Δx = H1 - H2 / So – Sf rt.

Sf rt = (Sf1 + Sf2) / 2

Di mana :

$\frac{\alpha_1 . V_1^2}{2g}$ = tinggi kecepatan di hulu (α = 1)

$\frac{\alpha_2 . V_2^2}{2g}$ = tinggi kecepatan di hilir (α = 1)

H1 = tinggi energi di titik 1. (m)

H2 = tinggi energi di titik 2. (m)

Y1 = kedalaman air di potongan 1. (m)

Y2 = kedalaman air di potongan 2. (m)

Z1 = elevasi dasar sungai terhadap datum di titik 1. (m)

Z2 = elevasi dasar sungai terhadap datum di titik 2. (m)

he = 0 (menurut hukum kekekalan energi).

hf = Sf . Δx

So = kemiringan dasar saluran

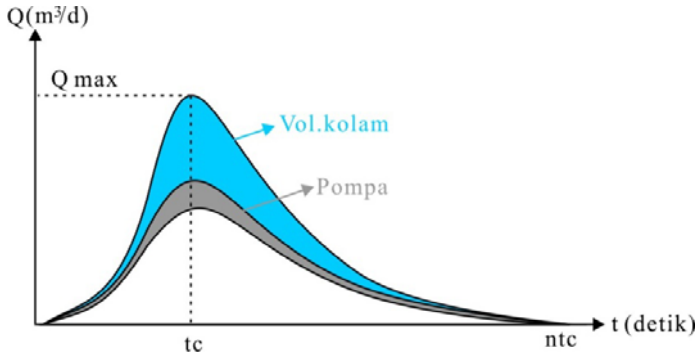
Sw = kemiringan muka air.

Sf = kemiringan garis energi.

Δx = panjang pengaruh backwater. (m)

2.5.3. Perencanaan Kolam Tampungan

Untuk menghitung volume tampungan serta kapasitas pompa dilakukan berdasarkan hidrograf banjir yang masuk ke pompa dan kolam sebagai berikut :



Gambar 2.12. Perhitungan kapasitas pompa dan volume tampungan

Apabila kapasitas pompa ditentukan, maka volume tampungan dapat dihitung dengan rumus :

$$Vt = \frac{(Q\max - Qp)^2 .n.tc}{2.Q\max} \quad (m^3)$$

Apabila volume tampungan ditentukan, maka kapasitas pompa dapat dihitung dengan rumus berikut ini :

$$Qp = Q\max - \frac{2.Q\max .Vt}{(n.Vt)^{0.5}} \quad (m^3/s)$$

Keterangan :

Vt = Volume tampungan total (m^3)

Qp = Kapasitas pompa (m^3/s)

Qmax = Debit banjir max (m^3/s)

n.tc = Lama terjadinya banjir (s)

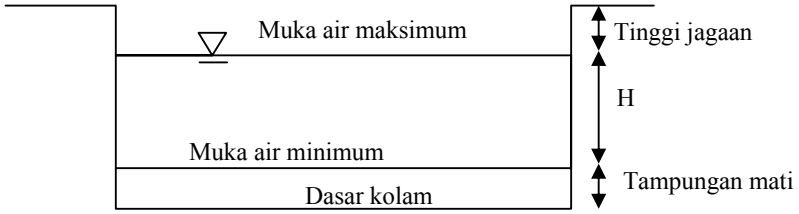
Perencanaan kapasitas kolam berdasarkan pada perhitungan debit banjir rencana yang masuk ke kolam dari saluran (inlet) dan debit rencana yang keluar/ dipompa. Adapun untuk volume tampungan kolam terdiri dari tiga komponen, yaitu :

a. Volume tampungan di kolam retensi (Vk) (m^3)
b. Volume genangan yang diizinkan terjadi (Vg) (m^3)
c. Volume tampungan di saluran drainase (Vs) (m^3)

Maka : Vol.total = Vk + Vg + Vs.

Dengan Vk = P kolam * L kolam * H

Seperti tampak pada Gambar 3.20. berikut :



Gambar 2.13. Volume tampungan di kolam

Tampungan mati berfungsi untuk menampung sedimen. Volume tampungan tergantung pada laju erosi dan tenggang waktu antar pengerukan.Ketinggian muka air saluran (Hmax) di kolam harus menjamin dapat melayani dapat melayani jaringan saluran drainase dan saluran kolektor agar debit banjir dapat masuk ke kolam tanpa adanya pangaruh *back water* atau muka air maksimum di kolam lebih rendah dari pada muka air banjir maksimum di bagian hilir saluran. Sedang penentuan tinggi muka air minimum tergantung dari ketinggian muka air tanah agar tidak terjadi rembesan.

Volume tampungan di saluran drainase tergantung dari panjang (L), lebar saluran (B) dan kedalaman air di saluran (H). Sedangkan untuk volume genangan tergantung dari kedalaman genangan yang diizinkan dan luas genangan yang terjadi. Semakin dalam genangan semakin luas daerah yang tergenang. Besarnya kedalaman genangan yang diizinkan (t) adalah 10-20 cm dan luas genangan yang terjadi diasumsikan (x) antara 10-20% dari luas daerah tangkapan (A). *(Al Falah, 2002)*

$Vg = 0{,}01 * t * A \quad (m^3)$

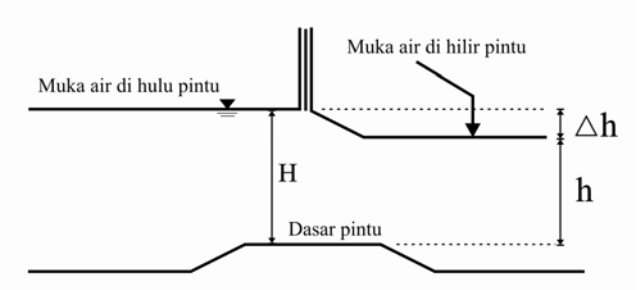
Catatan : t dalam meter, x dalam %, dan A dalam m^2.

2.5.4. Perencanaan Pintu Air

Perhitungan dimensi pintu air dapat dihitung bedasarkan debit banjir maksimum (Q_{max}) yaitu sebagai berikut :

$Q_{max} = 0{,}278 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (m^3/dtk)$

Rumus yang akan dipakai untuk menghitung dimensi pintu air tergantung pad kondisi aliran di pintu air yaitu aliran tengelam dan aliran bebas. Sedangkan kondisi aliran tergantung padabeda tinggi antara muka air di bagian hulu dan muka air di bagian hilir pintu.kondisi tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.21 berikut :



Gambar 2.14. Kondisi aliran di pintu air

a. Untuk aliran tenggelam : $\Delta h < 0{,}333H$

Dipakai rumus : $Q_{max} = m * b * h\ (2g * \Delta h)^{1/2}$

b. Untuk aliran bebas : $\Delta h \geq 0{,}333H$

Dipakai rumus : $Q_{max} = m * b * h_{kr}\ (2g * \Delta h_{kr})^{1/2}$

Di mana : b = lebar pintu (m)

m = koefisien debit; tergantung dari bentuk ambang (ambang kotak m=0,6).

H = kedalaman air di bagian hilir (m)

h = kedalaman air di bagain hulu (m)

$\Delta h = H - h$ (m)

g = gaya gravitasi (m/dtk2)

h_{kr} = kedalaman air kritis di bagian hilir (m)

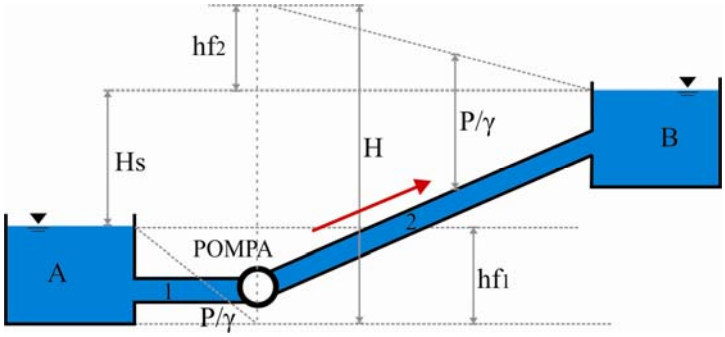
Δh_{kr} = beda tinggi kritis ; 0,333H (m)

2.5.5. Perencanaan Pompa

Daerah di mana kolam tampungan dibangun umumnya merupakan daerah dengan topografi datar bahkan memiliki elevasi muka tanah lebih rendah dibanding dengan elevasi muka air banjir dan muka air laut pasang, sehingga pada daerah tersebut akan sering terjadi genangan. Oleh karena itu komponen pompa sangat penting, karena genangan yang terjadi dapat segera dialirkan keluar.

Gambar 2.15. Rumah Pompa di Tanggulangin, Kudus

Jika sebuah pompa difungsikan untuk menaikkan air dari suatu elevasi ke elevasi lain dengan selisih elevasi muka air Hs, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.23, maka daya yang digunakan oleh pompa untuk menaikkan zat cair setinggi Hs adalah sama dengan tinggi Hs ditambah dengan kehilangan energi selama pengaliran. Kehilangan energi adalah sebanding dengan penambahan tinggi elevasi sehingga efeknya sama dengan jika pompa menaikkan air setinggi H=Hs+Σhf. Dalam gambar tersebut tinggi kecepatan diabaikan sehingga garis energi berimpit dengan garis tekanan. *(Bambang Triatmodjo, Hidraulika II)*



Gambar 2.16. Pengaliran air dengan pompa

Kehilangan energi terjadi pada pengaliran pipa 1 dan 2 yaitu sebesar hf1 dan hf2. Pada pipa 1 yang merupakan pipa hisap, garis tenaga (dan tekanan) menurun sampai di bawah pipa. Bagian pipa di mana garis tekanan di bawah sumbu pipa mempunyai tekanan negatif. Sedang pipa 2 merupakan pipa tekan. Daya yang diperlukan pompa untuk menaikkan air adalah :

$D = Q \cdot H \cdot \gamma \text{ air} / \eta$ (kgf m/d)

Atau

$D = Q \cdot H \cdot \gamma \text{ air} / 75\ \eta$ (HP)

$H = Hs + \Sigma hf$

Di mana :

D = Daya pompa (1Nm/d = 1 watt = 75 HP).

Q = Debit banjir (m^3/s)

Σhf = kehilangan energi dalam pipa (m)

Hs = tinggi hisap statik (m)

γ air = berat jenis air (1000 kgf/m^3)

η = efisiensi pompa (umumnya 85%).

Ada beberapa jenis pompa tergantung dari konstruksi, kapasitas, dan spesifikasinya. Adapun jeni-jenis pompa secara umum dapat dilihat dalam Tabel 2.16 berikut.

Tabel 2.15. Jenis-jenis Pompa

<table>
<tr><th>Klasifikasi</th><th>Jenis</th><th colspan="2">Tipe</th><th>Catatan</th></tr>
<tr><td rowspan="7">Pompa turbo</td><td rowspan="4">Pompa sentrifugal</td><td rowspan="2">Turbo</td><td>Sumbu horisontal</td><td rowspan="4">Terdapat isapan tunggal, isapan ganda, dan beberapa tingkat yang sesuai untuk kapasitas kecil dengan beda tinggi tekan besar</td></tr>
<tr><td>Sumbu vertikal</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Volut</td><td>Sumbu horisontal</td></tr>
<tr><td>Sumbu vertikal</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Pompa aliran semi aksial</td><td colspan="2">Sumbu horisontal</td><td rowspan="2">Terdapat 1 tingkat dan beberapa tingkat yang sesuai untuk kapasitas besar dengan beda tinggi tekan sedang</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sumbu vertikal</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Pompa aliran aksial</td><td colspan="2">Sumbu horisontal</td><td rowspan="2">Terdapat 1 tingkat dan beberapa tingkat yang sesuai untuk kapasitas besar dengan beda tinggi tekan kecil</td></tr>
<tr><td colspan="2">Sumbu vertikal</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Pompa volumetrik</td><td>Pompa torak</td><td colspan="2"></td><td>Sesuai untuk kapasitas kecil dengan beda tinggi tekan besar seperti pompa sayap dan pompa injeksi bahan bakar untuk mesin diesel</td></tr>
<tr><td>Pompa putar</td><td colspan="2"></td><td>Sesuai untuk kapasitas kecil dengan beda tinggi tekan besar seperti pompa gigi dan pompa sekrup</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Pompa khusus</td><td>Pompa jet</td><td colspan="2"></td><td>Sesuai untuk kapasitas kecil dengan beda tinggi tekan besar seperti pompa sumur dalam</td></tr>
<tr><td>Pompa jet udara</td><td colspan="2"></td><td>Sesuai untuk kapasitas kecil dengan beda tinggi tekan besar seperti pompa sumur dalam</td></tr>
<tr><td>Pompa gesek</td><td colspan="2"></td><td>Sesuai untuk kapasitas kecil dengan beda tinggi tekan besar seperti pompa rumah tangga</td></tr>
</table>

(Suyono Sosrodarsono, 1994)

Untuk jenis pompa drainase umumnya digunakan pompa turbo, sepertii pompa aliran aksial (*axial flow)* atau pompa aliran semi aksial (*mix flow)* untuk tinggi tekan yang rendah. Sedangkan untuk tinggi tekan yang besar, digunakan pompa valut *(valut pump).*

2.6. Dasar-dasar Rekayasa Nilai (Value Engineering)

Metoda *Value Engineering* pertama kali digunakan di Amerika Serikat pada tahun 1940-an oleh perusahaan *General Electric* pada saat dihadapkan kepada tantangan pengambilan keputusan mengenai alternatif desain di dalam kondisi ketersediaan sumberdaya yang terbatas. Ketika itu disadari bahwa penelaahan kembali desain dan melakukan substitusi material ternyata sering menghasilkan produk yang lebih baik dengan harga yang lebih rendah dan dengan demikian mencapai nilai atau *value* yang lebih baik. Adalah Lawrence D. Miles, *Manager of Purchasing* pada perusahaan tersebut, yang mengembangkan metoda yang efektif untuk memperbaiki nilai yang dinamakan analisis nilai atau *value analysis* (VA) pada tahun 1947. Metoda ini didasarkan pada pemahaman bahwa fungsi yang disandang oleh sebuah produk merupakan kunci untuk mencapai nilai yang lebih baik.

Penggunaan VE berkembang di dalam institusi-institusi pemerintah di Amerika Serikat pada awal tahun 1960-an dan pada tahun 1965 pengadaan insentif untuk VE mulai diperkenalkan di dalam kontrak-kontrak konstruksi. Daya tarik VE terletak pada anggapan bahwa VE dapat memperbaiki *cost-effectiveness* proyek-proyek yang dibiayai publik. Pada saat ini VE telah diterapkan pada berbagai proyek konstruksi di berbagai negara terutama untuk proyek-proyek yang memakan biaya besar.

Dari berbagai leteratur seperti *(Dell'isola, 1975; Zimmerman and Hart, 1982; PBS, 1992; Wilson, 2005)* maka dasar-dasar rekayasa nilai disampaikan sebagai dibawah ini.

2.6.1. Definisi dan konsep

Rekayasa nilai (VE) didefinisikan sebagai suatu usaha yang dilakukan secara sistematik dan terorganisir untuk melakukan analisis terhadap fungsi sistem, produk, jasa dengan maksud untuk mencapai atau mengadakan fungsi yang esensial dengan *life cycle cost* yang terendah dan konsisten dengan kinerja, keandalan, kualitas dan keamanan yang disyaratkan.

Rekayasa nilai (VE) mencari alternatif terhadap desain yang original yang dapat secara efektif meningkatkan nilai (*value*) atau mengurangi biaya proyek atau produk. Alternatif-alternatif dapat dikembangkan dengan mengajukan pertanyaan yang

mendasar sebagai berikut, “Apa lagi yang dapat melaksanakan fungsi yang esensial, dan berapa biayanya?”

2.6.2. **Metode Rekayasa Nilai**

VE merupakan suatu studi yang dilakukan oleh sebuah tim yang independen dan multidisiplin beranggotakan para ahli. Proses VE, yang biasa disebut dengan *Job Plan*, meliputi sejumlah aktivitas yang dilakukan secara berurutan selama suatu studi VE yang meliputi suatu *workshop* VE. Selama *workshop* VE, tim mempelajari latar belakang proyek, mendefinisikan dan mengklasifikasikan fungsi-fungsi produk, mengidentifikasi pendekatan-pendekatan kreatif untuk menghasilkan fungsi-fungsi tersebut, dan kemudian mengevaluasi, mengembangkan dan mempresentasikan proposal-proposal VE kepada para pengambil keputusan kunci. Pemusatan perhatian kepada fungsi-fungsi yang harus dilaksanakan suatu proyek, produk, atau proses inilah yang membedakan VE terhadap pendekatan-pendekatan perbaikan kualitas atau penghematan biaya lainnya.

2.6.3. Ekspresi Matematika Tentang Nilai

Konsep nilai dapat diekspresikan dalam bentuk matematika. Elemen dari bentuk matematika tersebut berupa performa (atau fungsi) dan biaya. Hal itu dapat ditulis :

$$\text{Value} = \frac{Performa\ (fungsi)}{cost}$$

Ekspresi ini dapat dijelaskan melalui beberapa pernyataan berikut tentang konsep nilai :

1. Performa atau fungsi meningkat, tapi biaya juga meningkat.
2. performa atau fungsi tetap, namun biaya berkurang.
3. Performa atau fungsi meningkat, dan biaya juga berkurang.
4. Performa meningkat, tapi peningkatannya lebih besar dari pada peningkatan biaya.
5. Performa atau fungsi menurun dan biaya juga menurun.

Dari segi matematis, seluruh pernyataan itu benar. Namun dari segi Value Engineering, pernyataan no.5 tidak benar, sebab dalam analisa VE tidak mengenal penurunan fungsi dan performance.

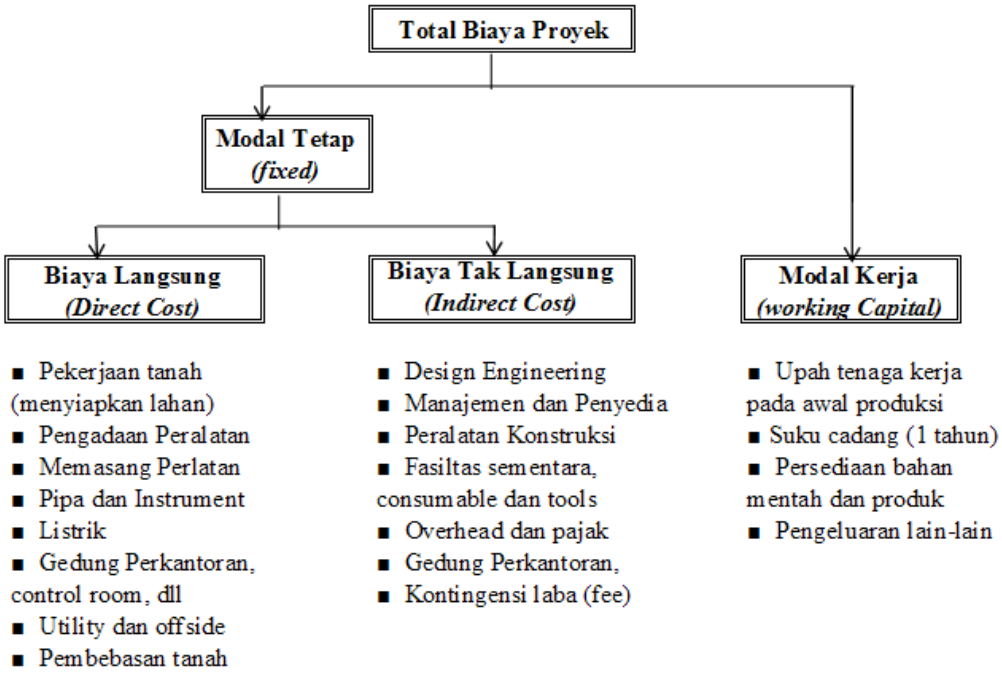
2.6.4. Parameter Penilaian Dalam VE

Evaluation table used by team Weight 1–9 9 = high Rank 1–5 5 = high	Repair time	Performance	Repair cost	Disruption	Modification	Accounting	Total	Rank
Weight	9	8	7	8	8	5		
Rank								
Original design (repair in house)	4 36	3 24	3 21	3 24	3 24	2 10	139	
Customer satisfaction	4 36	4 32	2 14	3 24	3 24	3 15	145	
CS1 Set up database to determine trends of repairs types	5 45	5 40	4 28	2 16	1 8	2 10	147	
CS2 Commitment to quality program	5 45	5 40	5 35	5 40	2 16	3 15	176	2
CS3 Protection during shipping	3 27	3 24	3 21	2 16	4 32	3 15	135	
CS6 Internet customer based diagnostics program	4 36	4 32	5 35	4 32	3 24	3 15	174	3
Design								
D1 Recheck design development	3 27	4 32	3 21	1 8	2 16	3 15	119	
D2 Check parts causing the problems	4 36	4 32	4 28	4 32	5 40	3 15	151	4
Manufacturing								
M1 Note batch numbers to determine cause	3 27	4 32	4 28	4 32	5 40	3 15	142	
Production								
Pr3 Independent repair shop with incentives	5 45	4 32	5 35	5 40	5 40	4 20	212	1

2.7. Biaya Proyek

Pada dasarnya sebelum kita mengetahui pihak-pihak yang berperan dalam pekerjaan tersebut, kita memerlukan sumber daya (resource) seperti bahan, tenaga kerja, peralatan, dan sebagainya. Masalah keuangan mencakup biaya dan pendapatan proyek serta penerimaan dan pengeluaran kas sangat berpengaruh. Dalam hal ini profitabilitas dan likuiditas terkait erat. Untuk menjamin adanya profitabilitas dan likuiditas proyek, maka perlu dibuat anggaran biaya proyek.

Total biaya yang dikeluarkan pada suatu proyek dapat dilihat pada bagan sebagai berikut :

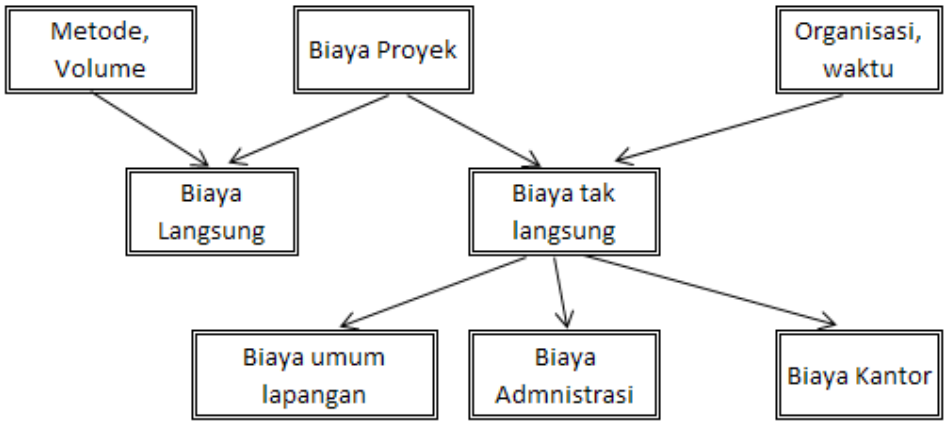


Gambar 2.17. Klasifikasi Perkiraan Biaya Proyek *(Soeharto, 1995)*

Secara umum biaya dalam suatu proyek dapat dikelompokkan menjadi biaya tetap dan tidak tetap. Modal tetap merupakan bagian dari biaya proyek yang digunakan untuk menghasilkan biaya proyek yang digunakan untuk menghasilkan produk yang diinginkan, mulai dari studi kelayakan semua konstruksi atau instalasi tersebut dapat berjalan penuh. Sedangkan modal kerja merupakan biaya yang digunakan untuk menutupi kebutuhan pada awal operasi.

Selain pembagian biaya di atas, biaya dapat dilihat dari perspektif lain, yaitu biaya pemilik (owner cost) dan biaya kontraktor, serta biaya lingkup kerja pemilik (owner scope). Biaya pemilik (owner cost) meliputi biaya-biaya administrasi pengelolaan proyek oleh pemilik, pembayaran kepada konsultan, royalty, ijin-ijin, dan pajak. Biaya kontraktor merupakan biaya yang dibebankan oleh kontraktor kepada pemilik proyek atas jasa yang telah diberikan.

Owner scope adalah biaya untuk menutup pengeluaran bagi pelaksanaan pekerjaan fisik yang secara administratif ditangani langsung oleh permilik (tidak diberikan kepada kontraktor atau kontraktor utama). Umumnya berupa fasilitas diluar instansi, misalnya pembangunan perumahan pegawai, telekomunikasi, dan infrastruktur pendukung lainnya.



Gambar 2.18. Biaya-Biaya Proyek (Sumber : Soeharto, 1995)

Biaya langsung (direct cost) yaitu himpunan pengeluaran untuk tenaga kerja, bahan, alat-alat, dan sub kontraktor. Apabila durasi dipercepat, maka pada umumnya biaya langsung secara total akan semakin tinggi.

Biaya tidak langsung (indirect cost) yaitu himpunan pengeluaran untuk overhead, pengawasan resiko-resiko, dan lain-lain. Biaya ini mempunyain sifat bahwa apabila durasi dipercepat, maka secara total akan semakin tinggi.

2.7.1. Pengertian Rencana Anggaran Biaya (RAB)

- Rencana : Himpunan planning, termasuk detail/penjelasan dan tata cara pelaksanaan pembuatan sebuah bangunan, terdiri dari : bestek dan gambar bestek.
- Anggaran : Perkiraan/perhitungan biaya suatu bangunan berdasarkan bestek dan gambar bestek.
- Biaya : Besar pengeluaran yang berhubungan dengan borongan yang tercantum dalam persyaratan-persyaratan yang terlampir.

Jadi Rencana Anggaran Biaya adalah :

- Merencanakan bentuk bangunan yang memenuhi syarat
- Menentukan biaya
- Menyusun tata cara pelaksanaan teknis administrasi

Tujuan pembuatan rencana anggaran biaya yaitu untuk memberikan gambaran yang pasti mengenai : bentuk/konstruksi, besar biaya, dan pelaksanaan serta penyelesaiannya.

Dalam menyusun rencana anggaran biaya ada tiga istilah yang harus dibedakan, yaitu : harga satuan bahan, harga satuan upah, dan harga satuan pekerjaan.

- Harga Satuan Bahan

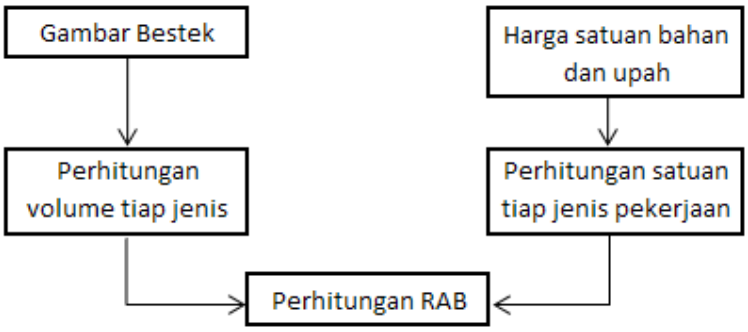
  Merupakan kumpulan suatu daftar harga-harga bahan di pasaran.

- Harga Satuan Upah

  Merupakan upah tenaga kerja yang didapatkkan di lapangan, kemudian dikumpulkan dan dicatat dalam suatu daftar harga satuan upah.

- Harga Satuan Pekerjaan

  Sebelum menyusun dan menghitung harga satuan pekerjaan, seseorang harus mampu menguasai cara penggunaan BOW. BOW (Burgerlijke Openbare Werken) yaitu suatu ketentuan umum yang ditetapkan Dir. BOW tanggal 28 Februari 1921 Nomor 5372 A pada zaman pemerintahan Belanda.



Gambar 2.19. Urutan Pembuatan RAB (Soeharto,1995)