

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Uraian Umum**

Imbangan air adalah perbandingan antara ketersediaan dengan kebutuhan air masyarakat dalam bentuk neraca, yang menginformasikan keadaan air pada suatu daerah yang ditinjau, apakah dalam keadaan surplus atau defisit air. Dengan imbangan air ini diharapkan dapat diketahui potensi sumber daya air suatu daerah dan tingkat kekritisannya (Triatmodjo, 1997).

Sedangkan untuk pengelolaan airnya dibutuhkan bangunan air, yang dapat menaikkan elevasi muka air sungai, sehingga dapat dimanfaatkan secara efisien sesuai dengan kebutuhan, pada berbagai keadaan debit sungai. Salah satu bangunan air yang digunakan dalam pengelolaan air, khususnya untuk irigasi adalah bendung (Joetata dkk, 1997).

Berdasarkan fungsinya, bendung dapat diklasifikasikan dalam bendung pembagi banjir, bendung air pasang dan bendung penyadap. Sedangkan berdasarkan konstruksinya, bendung dapat diklasifikasikan sebagai bendung tetap dan bendung gerak (Suyono Sosrodarsono & Masateru Tominaga, 1984).

#### **2.2 Analisis Hidrologi**

Data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi (*hydrologic phenomena*), seperti besarnya : curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan angin, debit sungai, tinggi muka air sungai, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu (Soewarno, 1995).

Di dalam analisis hidrologi, hasil akhir yang diharapkan adalah perkiraan besar banjir rancangan untuk suatu bangunan hidrolik tertentu, yaitu bangunan utama yang berfungsi untuk menaikkan muka air sungai sehingga dapat dimanfaatkan secara efisien untuk berbagai kebutuhan (Sri Harto, 1993).

## **2.3 Penentuan Debit Banjir Rencana**

### **2.3.1 Uraian Umum Mengenai Banjir Rencana**

Pemilihan banjir rencana untuk perencanaan bangunan air sangat ditentukan oleh ketersediaan data yang ada, baik kuantitas maupun kualitas. Sehingga apabila tidak tersedia data yang dapat dipercaya, maka tidak akan dapat diharapkan diperoleh perkiraan banjir yang baik. Walaupun demikian, harus diupayakan agar dapat digunakan cara-cara hidrologi yang terbaik, sesuai dengan keadaan serta sifat DAS (Sri Harto, 1993).

### **2.3.2 Curah Hujan Daerah**

Untuk memperoleh data curah hujan, maka diperlukan sejumlah sejumlah stasiun hujan yang dipasang sedemikian rupa sehingga dapat mewakili besaran hujan di DAS tersebut. Dalam kaitan ini ada dua faktor yang sangat menentukan ketelitian pengukuran hujan, yaitu jumlah dan pola penyebaran stasiun hujan (Sri Harto, 1993).

### **2.3.3 Perencanaan Daerah Aliran Sungai (DAS)**

Daerah aliran sungai ditentukan berdasarkan topografi daerah tersebut, di mana daerah aliran sungai adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung bukit di antara dua buah sungai sampai ke sungai yang ditinjau. Pada peta topografi dapat ditentukan cara membuat garis imajiner yang menghubungkan titik yang mempunyai elevasi kontur tertinggi di sebelah kiri dan kanan sungai yang ditinjau. Untuk menentukan luas daerah aliran sungai dapat digunakan planimeter (Sri Harto, 1993).

### **2.3.4 Analisis Curah Hujan Rencana**

Data curah hujan diukur dengan penakar hujan yang berupa data curah hujan titik (*point rainfall*). Untuk mendapatkan data curah hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan beberapa metode, yaitu (Sri Harto, 1993):

**a. Metode Rata-rata Aljabar**

Curah hujan rata-rata DAS didapatkan dengan menggunakan cara 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 ukur tersebar merata
- Variasi data curah hujan antar stasiun cetiap tahunnya tidak terlalu besar
- Hujan yang terjadi dalam DAS bersifat homogen.

Metode ini merupakan cara yang paling sederhana, akan tetapi memberikan hasil yang tidak teliti (Sri Harto, 1993).

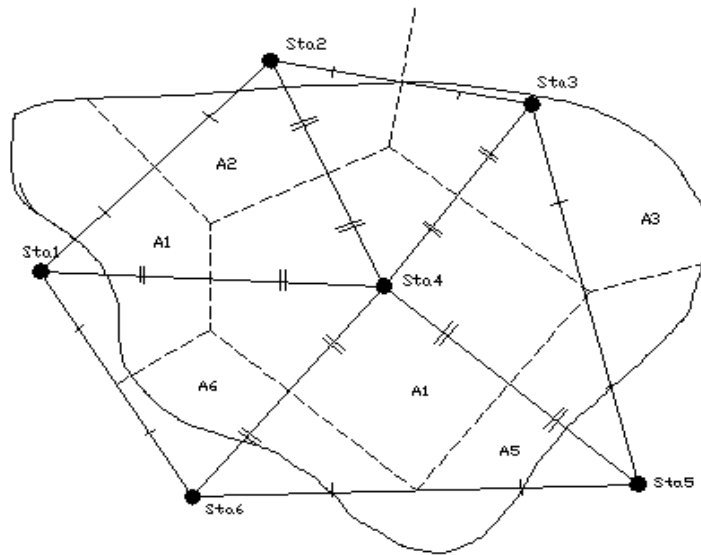
**b. Metode Thiessen**

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, sehingga dapat dihitung luas daerah tiap stasiun. (Sosrodarsono dan Takeda, 1976).

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

Metode ini memberikan bobot tertentu untuk setiap stasiun hujan dengan pengertian bahwa setiap stasiun hujan dianggap mewakili hujan dalam suatu daerah dengan luas tertentu, dan luas tersebut merupakan faktor koreksi (*weighing factor*) bagi hujan



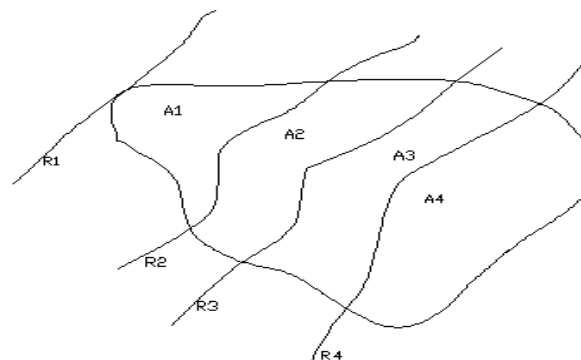
**Gambar 2.1. Polygon Thiessen**

**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



**Gambar 2.2. Metode Isohyet**

Dari beberapa metode diatas, kami memilih menggunakan metode Thiessen karena data-data yang didapat sesuai dengan ketentuan-ketentuan yang telah dijelaskan di atas.

Penentuan distribusi curah hujan rerata pada suatu basin membutuhkan stasiun pengukur indeks curah hujan, namun tidak semua stasiun pengukur adalah stasiun pengukur perekam. Distribusi curah hujan stasiun pengukur perekam yang ada dapat mempresentasikan data stasiun pengukur lainnya yang bukan merupakan stasiun pengukur perekam dalam suatu areal basin. (Daniel H. Hoggal, 1996)

### **2.3.5 Analisis Frekuensi**

Curah hujan dengan periode ulang tertentu diperoleh dari hasil analisa Statistik. Dalam statistik dikenal beberapa jenis distribusi frekuensi yang banyak digunakan dalam hidrologi yaitu (Sri Harto,1993):

#### **1. Pengukuran Dispersi**

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. Cara mengukur besarnya dispersi disebut pengukuran dispersi ( Soewarno, 1995).

Adapun cara pengukuran dispersi antara lain :

##### **a. Deviasi Standar (S)**

Jumlah aljabar dari penyimpangan harga variate 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) :

$\frac{n}{n-1}$  dimana n adalah jumlah pengamatan dalam populasi.

Standard deviasi adalah merupakan akar pangkat dua dari keragaman.

**b. Koefisien *Skewness* (CS)**

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

Rumus :

$$CS = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)(n-2)S^3} \quad (2.2)$$

(Soewarno, 1995)

dimana :

CS = koefisien *skewness*

$X_i$  = nilai varian ke i

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

n = jumlah data

S = deviasi standar

**c. Pengukuran Kurtosis**

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

Rumus :

$$CK = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4}{S^4} \quad (2.3)$$

(Soewarno, 1995)

dimana :

CK = koefisien *skewness*

$X_i$  = nilai varian ke i

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

n = jumlah data

S = deviasi standar

#### d. Koefisien Variasi

$$CV = \frac{S}{\bar{X}} \quad (2.4)$$

(Soewarno, 1995)

dimana :

CV = koefisien varian

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

S = deviasi standar

Dari nilai-nilai di atas, kemudian dilakukan pemilihan jenis sebaran yaitu dengan membandingkan koefisien distribusi dari metode yang akan digunakan.

## 2. Pemilihan Jenis Sebaran

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, dalam analisis hidrologi, yaitu (Soewarno, 1995):

### a. Distribusi Normal

Dalam analisis hidrologi distribusi normal sering digunakan untuk menganalisis frekuensi curah hujan, analisis statistik dari distribusi curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan.

Distribusi tipe normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau  $CS = 0$  (Soewarno, 1995).

### b. Distribusi Log Normal

Distribusi Log Normal, merupakan hasil transformasi dari distribusi Normal, yaitu dengan mengubah varian X menjadi nilai logaritmik varian X. Distribusi ini dapat diperoleh juga dari distribusi Log Person Tipe III, apabila nilai koefisien kemencengan  $CS = 0$  (Soewarno, 1995).

Distribusi tipe Log Normal, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau  $CS = 3 CV + CV^3$  (Soewarno, 1995).

**c. Distribusi Gumbel I**

Distribusi Tipe I Gumbel atau Distribusi Extrim Tipe I digunakan untuk analisis data maksimum, misalnya untuk analisis frekuensi banjir.

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of Skewness*) atau  $CS = 1,139$  (Soewarno, 1995).

**d. Distribusi Log Person Tipe III**

Distribusi Gumbel Tipe III atau Distribusi Extrim Tipe III digunakan untuk analisis variabel hidrologi dengan nilai varian minimum misalnya analisis frekuensi distribusi dari debit minimum (*low flows*).

Distribusi Tipe I Gumbel, mempunyai koefisien kemencengan (*Coefisien of skewness*) atau  $CS \neq 0$ .

Untuk penyelesaian Tugas Akhir ini Kami menggunakan Distribusi Log Person Tipe III karena sesuai dengan hasil perhitungan pada BAB IV harga  $CS \neq 0$ .

Setelah pemilihan jenis sebaran dilakukan, maka prosedur selanjutnya yaitu mencari curah hujan rencana periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun (Soewarno, 1995).

**3. Pengujian Kecocokan Sebaran**

Pengujian kecocokan sebaran ini digunakan untuk menguji sebaran data apakah memenuhi syarat untuk data perencanaan. Pengujian kecocokan sebaran ini dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu Chi-Kuadrat ataupun dengan Smirnov Kolmogorov (Sri Harto, 1993).

◆ **Uji Chi-Kuadrat**

Dalam pengujian menggunakan Chi-Kuadrat, harga Chi-Kuadrat yang didapat harus lebih kecil dari harga Chi-Kuadrat kritik. Dalam hal ini, disarankan agar

banyaknya kelas tidak kurang dari 5 dan frekuensi absolut tiap kelas tidak kurang dari 5 pula.

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut (Soewarno, 1995) :

- a. Apabila peluang lebih dari 5 % maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- b. Apabila peluang lebih kecil dari 1 % maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.
- c. Apabila peluang berada diantara 1 % - 5 %, maka tidak mungkin mengambil keputusan, perlu penambahan data.

#### ◆ Uji Smirnov-Kolmogorov

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

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

Dalam pengujian kecocokan sebaran, Kami menggunakan metode Uji Smirnov-Kolmogorov karena hasil kecocokan tersebut telah dibandingkan dengan hasil plotting data curah hujan ke Kertas Probabilitas.

#### 4. Ploting 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 plotting juga dapat digunakan untuk menaksir nilai tertentu dari data baru yang kita peroleh (Soewarno, 1995).

### 2.3.6 Analisis Debit Banjir Rencana

Metode yang digunakan untuk menghitung debit banjir rencana sebagai dasar perencanaan konstruksi bendung 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):

$$Q = 0,278 C \cdot I \cdot A$$

dimana :

Q = debit banjir rencana (m<sup>3</sup>/detik)

C = koefisien *run off*

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

A = luas daerah aliran (km<sup>2</sup>)

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 2.1

**Tabel 2.1. Koefisien Pengaliran**

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
Tanah dataran yang digarap	0,45-0,65
Persawahan irigasi	0,70-0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75-0,85
Sungai kecil di daratan	0,45-0,75
Sungai yang besar dengan wilayah pengaliran lebih dari seperduanya terdiri dari daratan	0,50-0,75

Sumber : Loebis (1984)

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

➤ **Metode Weduwen**

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

$A = \text{luas daerah pengaliran} < 100 \text{ km}^2$

$t = 1/6 \text{ sampai } 12 \text{ jam}$

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.

➤ **Metode Melchior**

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

- Luas Daerah Pengaliran sungai  $> 100 \text{ km}^2$ .
- Hujan dengan durasi  $t < 24 \text{ jam}$

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).

➤ **Metode Haspers**

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

- a. Menentukan besarnya curah hujan sehari ( $R_h$  rencana) untuk periode ulang rencana yang dipilih
- b. Menentukan koefisien runoff untuk daerah aliran sungai
- c. Menghitung luas daerah pengaliran, panjang sungai dan gradien sungai untuk daerah aliran sungai
- d. Menghitung nilai waktu konsentrasi
- e. Menghitung koefisien reduksi, intensitas hujan, debit persatuan luas dan debit rencana.

## 2. Program Komputer

HEC-HMS adalah *software* yang dikembangkan oleh *U.S. Army Corps of Engineer*. *Software* ini digunakan untuk analisa hidrologi dengan mensimulasikan proses curah hujan dan limpasan langsung (*run off*) dari sebuah watershed. HEC-HMS didisain untuk bisa diaplikasikan dalam area geografik yang sangat luas untuk menyelesaikan masalah, meliputi suplai air daerah pengaliran sungai, hidrologi banjir dan limpasan air di daerah kota kecil ataupun kawasan watershed alami. Hidrograf satuan yang dihasilkan dapat digunakan langsung ataupun digabungkan dengan *software* lain yang digunakan dalam studi ketersediaan air, drainase perkotaan, ramalan dampak urbanisasi, desain pelimpah, pengurangan kerusakan banjir, regulasi penanganan banjir dan sistem operasi hidrologi (*US Army corps of engineering, 2001*).

HEC-HMS mengangkat teori klasik hidrograf satuan untuk digunakan dalam permodelannya, antara lain hidrograf satuan sintetik Snyder, Clark, SCS, ataupun kita dapat mengembangkan hidrograf satuan lain dengan menggunakan fasilitas *user define hydrograph* (*US Army corps of engineering, 2001*).

Teori klasik unit hidrograf (hidrograf sintetik) di atas 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).

Hidrograf satuan sintetik terdiri dari beberapa macam, yaitu seperti yang telah disebutkan di atas. Akan tetapi dalam Tugas Akhir, akan dikemukakan 2 macam hidrograf satuan sintetik, yaitu (Soemarto, 1987):

- **Hidrograf Satuan Sintetik Snyder**

Pada awal tahun 1938, F.F. Snyder yang berasal dari Amerika Serikat, telah mengembangkan rumus empiris dengan koefisien-koefisien empiris yang menghubungkan unsur-unsur hidrograf satuan dengan karakteristik daerah pengaliran (Soemarto, 1987).

Dalam pengujian untuk beberapa sungai di Pulau Jawa, ditemukan bahwa persamaan-persamaan Snyder menunjukkan penyimpangan yang besar, baik dalam besaran waktu puncak maupun debit puncak. Hal ini dapat dipahami karena memang cara ini mengandung beberapa koefisien empirik yang dikembangkan di daerah Amerika yang kurang sesuai dengan keadaan di Indonesia (Sri Harto, 1993).

- **Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu**

Nakayasu yang berasal dari Jepang telah menyelidiki hidrograf satuan pada beberapa sungai di Jepang. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu ini banyak digunakan dalam perencanaan bendungan-bendungan dan perbaikan sungai di Proyek Brantas (Jawa Timur). Akan tetapi hidrograf satuan sintetik ini juga menunjukkan penyimpangan yang cukup besar dibandingkan dengan hidrograf satuan terukur (Sri Harto, 1993).

**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 Perhitungan Neraca Air**

Perhitungan neraca air dilakukan untuk mengecek apakah air yang tersedia cukup memadai untuk memenuhi kebutuhan air irigasi di proyek yang bersangkutan. Perhitungan neraca air ini pada akhirnya akan menghasilkan kesimpulan mengenai (KP-01 Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

- Pola tanam akhir yang akan dipakai untuk jaringan irigasi yang sedang direncanakan
- Penggambaran akhir daerah proyek irigasi.

### **2.4.1 Analisis Kebutuhan Air**

Kebutuhan air irigasi dimaksudkan untuk menentukan besarnya debit air yang akan dipakai mengairi lahan di daerah irigasi. Debit air ini digunakan sebagai dasar perencanaan jaringan irigasi. Kebutuhan air di sawah untuk padi dan palawija ditentukan oleh faktor-faktor di bawah ini (KP-01 Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986):

- Penyiapan lahan
- Penggunaan konsumtif
- Perkolasi dan rembesan
- Penggantian lapisan air
- Curah hujan efektif

#### **a) Kebutuhan Air Untuk Pengolahan Lahan**

##### **1. Pengolahan Lahan Untuk Padi**

Kebutuhan air untuk pengolahan atau penyiraman lahan menentukan kebutuhan maksimum air irigasi. Faktor-faktor yang menentukan besarnya kebutuhan air untuk pengolahan tanah, yaitu besarnya penjemuran, lamanya

pengolahan (periode pengolahan ) dan besarnya evaporasi dan perkolasi yang terjadi (Joetata dkk, 1997).

Waktu yang diperlukan untuk penyiapan lahan adalah selama 30 hari. Kebutuhan air untuk pengolahan tanah bagi tanaman padi 200 mm untuk mengandaikan bahwa tanah tersebut bertekstur berat, cocok untuk digenangi dan lahan tersebut belum bero, setelah tanam selesai lapisan air di sawah ditambah 50 mm. Sedangkan untuk lahan yang tidak ditanami (sawah bero) dalam jangka waktu 2,5 bulan diambil 300 mm. (Dirjen Pengairan, Bina Program, 1985).

## **2. Pengolahan Lahan Untuk Palawija**

Masa pra-irigasi diperlukan guna menggarap lahan untuk ditanami dan untuk menciptakan kondisi lembab yang memadai untuk persemaian yang baru tumbuh. Banyak air yang dibutuhkan bergantung kepada kondisi tanah dan pola tanam yang diterapkan. Jumlah air 50 sampai 100 mm dianjurkan untuk tanaman ladang dan 100 sampai 200 untuk kebun, kecuali jika terdapat kondisi-kondisi khusus (misalnya ada tanaman lain yang ditanam segera sesudah padi) (Joetata dkk, 1997).

### **b) Kebutuhan air untuk Pertumbuhan**

#### **1. Evapotranspirasi**

Evapotranspirasi sering disebut sebagai kebutuhan konsumtif tanaman yang merupakan jumlah air untuk evaporasi dari permukaan areal tanaman dengan air untuk transpirasi dari tubuh tanaman (Joetata dkk, 1997).

Data- data iklim yang dibutuhkan untuk perhitungan ini adalah yang berkenaan dengan (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986):

- Temperatur : harian maksimum, minimum dan rata-rata
- Kelembaban relatif
- Sinar matahari : lamanya dalam sehari
- Angin : kecepatan dan arah angin
- Evaporasi : catatan harian

Besarnya evapotranspirasi dapat dihitung dengan menggunakan metoda- metoda sebagai berikut (Soemarto, 1986) :

- Penman.
- Thornthwaite
- Blaney-Criddle
- Turc – Langbein – Wundt

Dari keempat metode tersebut di atas, untuk penyelesaian Tugas Akhir ini digunakan metode Penman yang telah dimodifikasikan oleh *Nedeco/Prosida* karena data yang didapat sesuai dengan data-data yang dibutuhkan pada metode ini.

## **2. Koefisien Tanaman (Kc)**

Besarnya koefisien tanaman (Kc) tergantung dari jenis tanaman dan fase pertumbuhan. Harga-harga koefisien tanaman padi dan palawija disajikan pada Tabel 2.3.

Harga-harga koefisien ini diberikan untuk menghubungkan evapotranspirasi ( $ET_0$ ) dengan evapotranspirasi tanaman acuan ( $ET_{\text{tanaman}}$ ) dan dipakai dengan rumus evapotranspirasi Penman yang diperkenalkan oleh *Nedeco/Prosida*. Selama setengah bulan terakhir pemberian air irigasi ke sawah dihentikan, kemudian koefisien tanaman diambil “no1” dan padi akan menjadi masak dengan air yang tersedia (Joetata dkk, 1997).

## **3. Kebutuhan Air untuk Tanaman (Penggunaan Konsumtif)**

Penggunaan konsumtif air oleh tanaman diperkirakan berdasarkan metoda prakira empiris dengan menggunakan data iklim dan koefisien tanaman pada tahap pertumbuhan. Penggunaan konsumtif dihitung secara setengah bulanan (Joetata dkk, 1997).

## **4. Perkolasi dan Rembesan**

Besar perkolasi dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah terutama sifat fisik tanah, yaitu tekstur tanah dan struktur tanah, juga dipengaruhi oleh kedalaman air

tanah. Pada tanah lempung berat dengan karakteristik pengolahan yang baik, laju perkolasi dapat mencapai 1-3 mm/hari. Pada tanah-tanah yang lebih ringan, laju perkolasi bisa lebih tinggi (Joetata dkk, 1997).

## **5. Kebutuhan Air untuk Pembibitan**

Penggantian lapisan air dilakukan 2 kali, masing-masing sebanyak 50 mm pada bulan ke-1 dan bulan ke-2 (atau 3,3 mm/hari selama setengah bulan) setelah tanam. Penggenangan air ini untuk pemberian pupuk karena adanya pengurangan air di petak sawah. Kebutuhan air untuk pembibitan dianggap telah tercakup dalam penyiapan lahan, yaitu selama 30 hari (Joetata dkk, 1997).

### **c) Curah Hujan Efektif (Re)**

#### **1. Besarnya Curah Hujan Efektif**

Untuk irigasi padi, curah hujan efektif bulanan diambil 70 % dari curah hujan minimum tengah bulan dengan periode ulang 5 tahun (Joetata dkk, 1997).

Besar curah hujan efektif tergantung pada (Dirjen Pengairan, Bina Program, 1985) :

- Cara pemberian air (rotasi, menerus/penggenangan atau bersilang/intermittent)
- Laju pengurangan air genangan di sawah yang harus ditanggulangi.
- Sifat hujan
- Kedalaman lapis air (*water layer*) yang harus dipertahankan di sawah
- Cara pemberian air ke petak, langsung dari sadap atau dari petak di atasnya (pada sawah bertingkat)
- Jenis tanaman dan tingkat ketahanan tanaman terhadap kekurangan air.
- 

#### **2. Koefisien Curah Hujan**

Besarnya koefisien curah hujan efektif untuk tanaman padi berdasarkan Tabel 2.2.

**Tabel 2.2. Koefisien Curah Hujan Untuk Padi**

Bulan	Golongan					
	1	2	3	4	5	6
0.50	0.36	0.18	0.12	0.09	0.07	0.06
1.00	0.70	0.53	0.35	0.26	0.21	0.18
1.50	0.40	0.55	0.46	0.36	0.29	0.24
2.00	0.40	0.40	0.50	0.46	0.37	0.31
2.50	0.40	0.40	0.40	0.48	0.45	0.37
3.00	0.40	0.40	0.40	0.40	0.46	0.44
3.50	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.45
4.00	0.00	0.20	0.27	0.30	0.32	0.33
4.50			0.13	0.20	0.24	0.27
5.00				0.10	0.16	0.20
5.50					0.08	0.13
6.00						0.07

Sumber : Dirjen Pengairan, Bina Program, PSA 010 (1985)

Sedangkan untuk tanaman palawija besarnya curah hujan efektif ditentukan dengan metode curah hujan setengah bulanan yang dihubungkan dengan curah hujan rata-rata bulanan (terpenuhi 50%) serta evapotranspirasi tanaman rata-rata bulanan berdasarkan Tabel 2.3.

**Tabel 2.3. Koefisien Curah Hujan Rata-rata Bulanan dengan ET Tanaman Palawija Rata-rata Bulanan dan Curah Hujan Mean Bulanan**

Curah Hujan mean Bulanan mm	12,5	25	37,5	50	62,5	75	87,5	100	112,5	125	137,5	150	162,5	175	187,5	200
25	Curah Hujan Rata-rata bulanan/mm															
ET tanaman Rata-rata Bulanan /mm	8	16	24													
50	8	17	25	32	39	46										
75	9	18	27	34	41	48	56	62	69							
100	9	19	28	35	43	52	59	66	73	80	87	94	100			
125	10	20	30	37	46	54	62	70	76	85	97	98	107	116	120	
150	10	21	31	39	49	57	66	74	81	89	97	104	112	119	127	133
175	11	23	32	42	52	61	69	78	86	95	103	111	118	126	134	144
200	11	24	33	44	54	64	73	82	91	100	106	117	125	134	142	150
225	12	25	35	47	57	68	78	87	96	106	115	124	132	141	150	159
250	13	25	38	50	61	72	84	92	102	112	121	132	140	150	158	167
Tampungan Efektif	20	25	37,5	50	62,5	75	100	125	150	175	200					
Faktor tampungan	2.73	0.77	0.88	0.93	0.97	1,00	1,02	1,04	1.06	1.07	1.08					

Sumber : Ref. FAO (1977)

#### d) Kebutuhan Air Untuk Irigasi

##### 1. Pola Tanam dan Perencanaan Tata Tanaman

Untuk memenuhi kebutuhan air bagi tanaman, penentuan pola tanam merupakan hal yang perlu dipertimbangkan. Tabel di bawah ini merupakan contoh pola tanam yang dapat dipakai.

**Tabel 2.4. Pola Tanam**

Ketersediaan air untuk jaringan irigasi	Pola tanam dalam satu tahun
1. Tersedia air cukup banyak	Padi – Padi – Palawija
2. Tersedia air dalam jumlah cukup	Padi – Padi – Bera Padi – Palawija – Palawija
3. Daerah yang cenderung kekurangan air	Padi – Palawija – Bera Palawija – Padi – Bera

*Sumber : Joetata dkk (1997)*

##### 2. Efisiensi Irigasi

Untuk tujuan-tujuan perencanaan, dianggap bahwa 1/4 sampai 1/3 dari jumlah air yang diambil akan hilang sebelum air itu sampai di sawah. Kehilangan ini disebabkan oleh kegiatan eksploitasi, evaporasi dan perembesan. Kehilangan akibat perembesan dan evaporasi umumnya kecil jika dibandingkan dengan jumlah kehilangan akibat kegiatan eksploitasi. Perhitungan rembesan hanya dilakukan apabila kelulusan tanah cukup tinggi (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986).

Pada umumnya kehilangan air di jaringan irigasi dapat dibagi-bagi sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

- 15-22,5% di petak tersier, antara bangunan sadap tersier dan sawah.
- 7,5-12,5% di saluran sekunder.
- 7,5-15,5% di saluran utama.

## 2.4.2 Analisis Ketersediaan Air

### a) Debit Andalan

Perhitungan debit andalan bertujuan untuk menentukan areal persawahan yang dapat diairi. Perhitungan ini menggunakan cara analisis *water balance* dari Dr. F. J. Mock berdasarkan data curah hujan bulanan, jumlah hari hujan evapotranspirasi dan karakteristik hidrologi daerah pengaliran (Soewarno, 2000).

Prinsip perhitungan ini adalah hujan yang jatuh di atas tanah (presipitasi) sebagian akan hilang karena penguapan (evaporasi), sebagian akan menjadi aliran permukaan (*direct run off*) dan sebagian akan masuk tanah (infiltrasi). Infiltrasi mula-mula menjenuhkan permukaan (*top soil*) yang kemudian menjadi perkolasi dan akhirnya keluar ke sungai sebagai *base flow* (Soewarno, 2000).

Pada saat itu terjadi *water balance* antara presipitasi, evapotranspirasi, *direct run off* dan *ground water discharge*. Oleh karena itu aliran yang terdapat di sungai disebut *direct run off* dan *base flow* (Soewarno, 2000).

Perhitungan debit andalan meliputi perhitungan (Soewarno, 2000) :

#### 1. Curah Hujan

Untuk menentukan harga curah hujan areal dibutuhkan data sebagai berikut :

$R_s$  = curah hujan bulanan (mm)

$n$  = jumlah hari hujan.

Curah hujan efektif diperhitungkan dalam mencari kebutuhan air di sawah.

#### 2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi terbatas dihitung dari evapotranspirasi potensial metoda Penman.

Evapotranspirasi terbatas akan semakin berkurang dari rata-rata evapotranspirasi potensial selama musim kemarau dimana terjadi kekurangan kelembaban tanah berturut-turut.

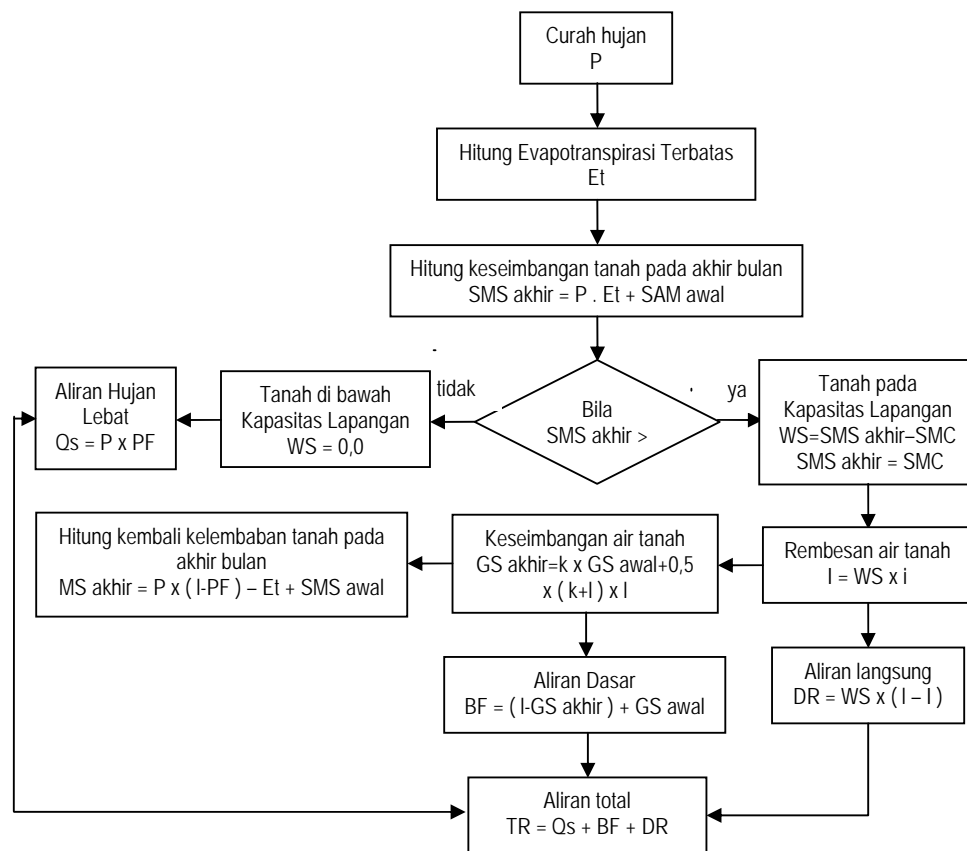
#### 3. Keseimbangan air pada permukaan tanah

Keseimbangan air pada permukaan tanah dihitung dengan metode Mock. Prosedur ini diulangi untuk curah hujan bulanan selama minimal sepuluh

tahun berturut-turut. Perhitungan keseimbangan air ini dijelaskan dengan bagan alir sebagai berikut (Pedoman Pengaturan Tata Tanam Kabupaten Kudus, 2000)

### BAGAN ALIR PERHITUNGAN KESEIMBANGAN AIR

(DR. F.J. MOCK)



- SMC = kapasitas kelembaban tanah
- SMS = penyimpanan kelembaban tanah
- I = koefisien infiltrasi
- k = faktor resesi aliran air tanah
- PF = faktor aliran hujan lebat
- GS = keseimbangan air tanah

#### 4. Limpasan (*run off*) dan tampungan air tanah (*ground water storage*)

$$V(n) = k \cdot V(n-1) + 0,5(1-k)I(n)$$

$$dV_n = V(n) - V(n-1)$$

dimana :

$V(n)$  = volume air tanah bulan ke-n

$V(n-1)$  = volume air tanah bulan ke – (n-1)

$k$  = faktor resesi aliran air tanah diambil antara 0 – 1,0

$I$  = koefisien infiltrasi diambil antara 0 – 1,0

Harga  $k$  yang tinggi akan memberikan resesi yang lambat seperti pada kondisi geologi lapisan bawah yang sangat lulus air. Koefisien infiltrasi ditaksir berdasarkan kondisi porositas tanah dan kemiringan daerah pengaliran.

Lahan yang porus mempunyai infiltrasi lebih tinggi dibanding tanah lempung berat. Lahan yang terjal menyebabkan air tidak sempat berinfiltrasi ke dalam tanah sehingga koefisien infiltrasi akan kecil.

#### 5. Aliran Sungai

Aliran dasar = infiltrasi – perubahan volume air dalam tanah

$$B(n) = I - dV(n)$$

Aliran permukaan = volume air lebih – infiltrasi

$$D(ro) = WS - I$$

Aliran sungai = aliran permukaan + aliran dasar

$$\text{Run off} = D(ro) + B(n)$$

$$\text{Debit} = \frac{\text{Aliran sungai} \times \text{luas DAS}}{\text{Satu bulan}}$$

#### 2.4.3 Neraca Air

Dari hasil perhitungan neraca air, kebutuhan pengambilan yang dihasilkannya untuk pola tanam yang dipakai akan dibandingkan dengan debit andalan untuk tiap setengah bulan dan luas daerah yang bisa diairi, luas daerah irigasi, jatah debit air dan pola pengaturan rotasi. Apabila debit sungai melimpah, maka luas daerah irigasi adalah tetap karena luas maksimum daerah layanan dan

proyek yang akan direncanakan sesuai dengan pola tanam yang dipakai. Jika debit sungai kurang maka terjadi kekurangan debit, maka ada tiga pilihan yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen PU, 1986) :

- Luas daerah irigasi dikurangi  
Bagian-bagian tertentu dari daerah yang bisa diairi (luas maksimum daerah layanan) tidak akan diairi.
- Melakukan modifikasi pola tanam  
Dapat diadakan perubahan dalam pemilihan tanaman atau tanggal tanam untuk mengurangi kebutuhan air irigasi di sawah (l/dt.ha) agar ada kemungkinan untuk mengairi areal yang lebih luas dengan debit yang tersedia.
- Rotasi teknis/golongan  
Untuk mengurangi kebutuhan puncak air irigasi. Rotasi teknis atau golongan mengakibatkan eksploitasi yang lebih kompleks dan dianjurkan hanya untuk proyek irigasi yang luasnya sekitar 10.000 ha atau lebih.

## **2.5 Aspek Perencanaan**

Aspek perencanaan bendung meliputi tubuh bendung itu sendiri dan saluran-saluran pelengkap sesuai dengan tujuan bendung. Perhitungan struktur bendung dimulai dengan analisis saluran yaitu saluran kantong lumpur, saluran penguras kantong lumpur dan saluran intake. Dari saluran intake ini dapat diketahui elevasi muka air pengambilan, dimana elevasi ini digunakan sebagai acuan dalam menentukan tinggi mercu bendung (Joetata dkk, 1997).

Setelah elevasi mercu diketahui maka analisis struktur bendung dapat dihitung, yaitu menentukan lebar bendung, kolam olak, bangunan pembilas.

### **2.5.1 Pemilihan Tipe Bendung**

Faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan tipe bendung adalah (Sosrodarsono & Tominaga, 1984) :

- Sifat dan kekuatan tanah dasar
- Jenis material yang diangkut oleh aliran sungai
- Keadaan/kondisi daerah aliran sungai di bagian hulu, tengah dan hilir.

- Tinggi muka air banjir maksimum yang pernah terjadi.
- Kemudahan eksploitasi dan pemeliharaan.
- Efisiensi biaya pelaksanaan.

Dengan pertimbangan hal-hal di atas maka tipe bendung yang paling sesuai untuk diterapkan dalam menangani permasalahan di Sungai Logung adalah Bendung Tipe Konvensional dengan pengurasan *Under sluice*.

### **2.5.2 Pemilihan Lokasi Bendung**

Faktor yang menentukan dalam pemilihan lokasi bendung yaitu (Sosrodarsono & Tominaga, 1984) :

- Lokasi bendung penyadap diusahakan sedapat mungkin lebih ke hulu, agar bendung tidak terlalu tinggi.
- Bendung pembagi banjir supaya ditempatkan dekat titik percabangan sungai.
- Diusahakan agar bendung ditempatkan pada ruas sungai yang lurus dengan penampang yang konstan, dimana perubahan kecepatan arus tidak terlalu drastis.
- Bendung supaya ditempatkan pada ruas sungai yang alurnya stabil dan perubahan dasar tidak terlalu menyolok.
- Diusahakan agar pengaruh air balik (*back water*) akibat bendung tidak terlalu jauh ke hulu
- Diusahakan agar bendung terletak pada tanah pondasi yang baik.

### **2.5.3 Lebar Bendung**

Lebar bendung adalah jarak antar pangkal-pangkalnya (abutment) dan sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Pada bagian ruas bawah sungai, lebar rata-rata tersebut dapat diambil pada debit penuh (*bankfull discharge*), sedangkan bagian atas sungai sulit untuk menentukan debit penuh. Lebar maksimum bendung sebaiknya tidak lebih dari 1,2 kali rata-rata lebar sungai pada alur sungai pada alur yang stabil (Joetata dkk,1997).

Lebar total bendung tidak seluruhnya dimanfaatkan untuk melewati debit air karena adanya pilar dan bangunan penguras, jadi lebar bendung yang

bermanfaat untuk melewati debit disebut lebar efektif ( $Be$ ), yang dipengaruhi oleh tebal pilar dan koefisien kontraksi pilar dan pangkal bendung.

Dalam menentukan lebar efektif perlu diketahui mengenai eksploitasi bendung, dimana pada saat air banjir datang pintu penguras dan pintu pengambilan harus ditutup. Hal ini dimaksudkan untuk mencegah masuknya benda yang tersangkut oleh banjir yang dapat menyumbat pintu penguras bila pintu terbuka dan air banjir ke saluran induk.

Rumus (Joetata dkk, 1997) :

$$Be = B - 2(n \cdot Kp + Ka) H_1$$

dimana :

$Be$  = lebar efektif bendung (m)

$B$  = lebar mercu sebenarnya (m)

$Kp$  = koefisien kontraksi pilar

$Ka$  = koefisien kontraksi pangkal bendung

$n$  = jumlah pilar

$H_1$  = tinggi energi (m)

**Tabel 2.5. Harga-harga koefisien kontraksi pilar ( $Kp$ )**

No	Keterangan	$Kp$
1	Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang bulat pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
2	Untuk pilar berujung bulat	0,01
3	Untuk pilar berujung runcing	0,00

Sumber : Joetata dkk (1997)

**Tabel 2.6. Harga-harga koefisien kontraksi pangkal bendung ( $Ka$ )**

No	Keterangan	$Ka$
1	Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran	0,20
2	Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada $90^\circ$ ke arah aliran dengan $0,5 H_1 > r > 0,15 H_1$	0,10
3	Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0,5 H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari $45^\circ$ ke arah aliran	0,00

Sumber : Joetata dkk (1997)

#### 2.5.4 Tinggi Air Banjir di Hilir Mercu

Perhitungan dilakukan dengan rumus sebagai berikut :

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * I^{1/2}$$

(Kodoatie & Sugiyanto, 2001)

$$A = (b + m.h)h$$

$$P = b + 2.h\sqrt{1 + m^2}$$

$$R = \frac{A}{P}$$

Perhitungan h dengan coba-coba.

Elevasi muka air di hilir = elevasi dasar hilir + h

#### 2.5.5 Tinggi Air Banjir di Atas Mercu

Persamaan tinggi energi di atas mercu ( $H_1$ ) menggunakan rumus debit bendung dengan mercu bulat, yaitu (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

$$Q = C_d \cdot C_v \cdot \frac{2}{3} \sqrt{\frac{2}{3}} \cdot g \cdot B_e \cdot H_1^{3/2}$$

dimana :

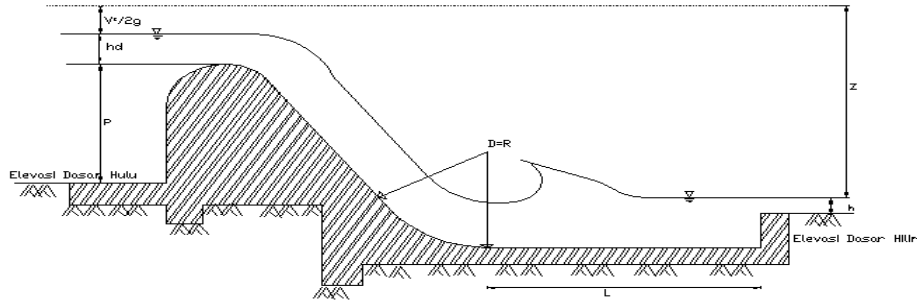
Q = debit ( $m^3/det$ )

$C_d$  = koefisien debit

g = percepatan gravitasi ( $m/det^2$ )

Be = lebar efektif bendung (m)

$H_1$  = tinggi energi di atas mercu (m)



**Gambar 2.3. Elevasi Air di Hulu dan Hilir Bendung**

### 2.5.6 Kolam Olak

Kolam olak adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk meredam energi yang timbul di dalam type air superkritis yang melewati pelimpah.

Faktor pemilihan type kolam olak (Joetata dkk, 1997) :

- Gambar karakteristik hidrolis pada peredam energi yang direncanakan.
- Hubungan lokasi antara peredam energi dengan tubuh bendung.
- Karakteristik hidrolis dan karakteristik konstruksi dari bangunan pelimpah.
- Kondisi-kondisi topografi, geologi dan hidrolis di daerah tempat kedudukan calon peredam energi.
- Situasi serta tingkat perkembangan dari sungai di sebelah hilirnya.

Beberapa jenis kolam olak adalah sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

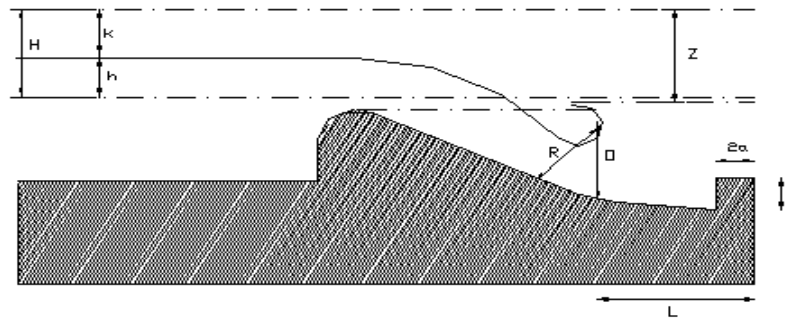
### 2.5.7 Jenis Vlughter

Bentuk hidrolisnya merupakan pertemuan suatu penampang lurus yang merupakan suatu pematian energi yang diakibatkan oleh jatuhnya langsung karena aliran air.

Menurut Vlughter bentuk dan hidrolis ruang olak dipengaruhi oleh :

1. Tinggi muka air udik di atas mercu =  $H$
2. Perbedaan muka air udik dan di hilir =  $Z$

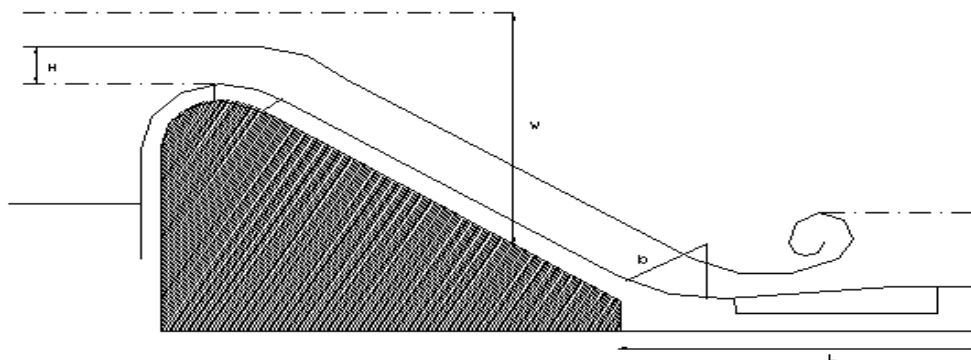
Kolam olak jenis ini digunakan pada tanah dasar aluvial dengan sungai yang tidak banyak membawa batu-batu besar. Dalamnya lantai ruang olakan dari puncak mercu tidak lebih dalam dari 8 meter atau perbedaan muka air di udik dan hilir tidak lebih dari 4,5 meter.



**Gambar 2.4. Kolam Olak Jenis Vlugter**

### 2.5.8 Jenis Shocklitsch

Bentuk hidrolis kolam olak jenis ini sama dengan tipe Vlugter, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.5. Kolam Olak Jenis Shocklitsch**

Berdasarkan eksperimen bentuk hidrolis kolam olak dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

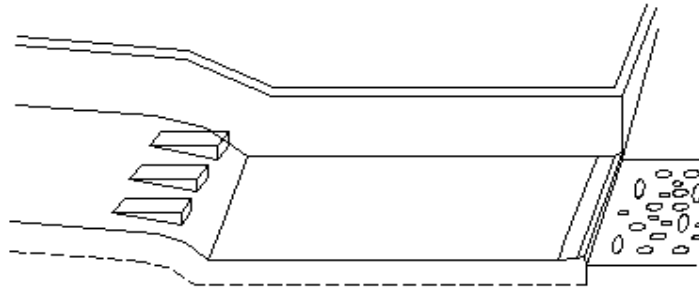
1. Tinggi muka air udik di atas mercu
2. Perbedaan tinggi antara garis tinggi (energi) air udik mercu dengan muka air di hilir mercu.

Kolam olak tipe ini memiliki sifat yang sama dengan tipe Vlughter dan dipakai apabila harga R atau D pada tipe Vlughter terlalu besar sehingga pengalihan untuk lantai kolam olakan beserta koperannya terlalu dalam.

### 2.5.9 Jenis USBR

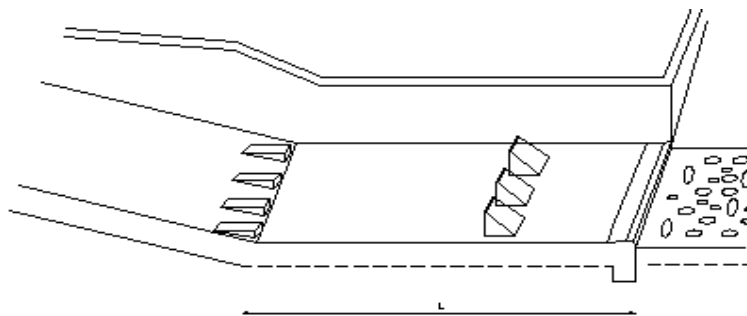
Berdasarkan bilangan Froude, kolam olak dikelompokkan sebagai berikut (KP-02 Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

1. Untuk  $Fr \leq 1,7$  tidak diperlukan kolam olak. Pada saluran tanah bagian hilir harus dilindungi dari bahaya erosi.



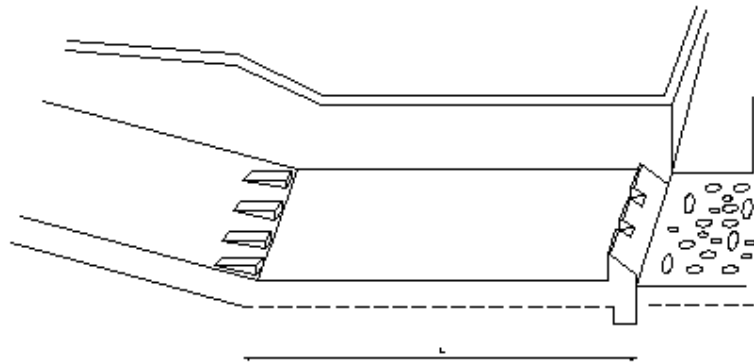
**Gambar 2.6. Kolam Olak USBR Type I**

2. Bila  $1,7 < Fr \leq 2,5$  maka kolam olak diperlukan untuk meredam energi secara efektif. Kolam olak dengan ambang ujung mampu bekerja dengan baik.



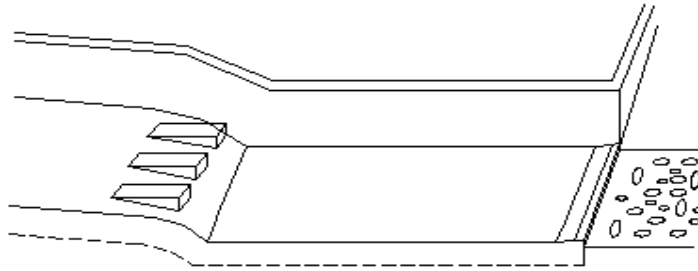
**Gambar 2.7. Kolam Olak USBR Type II**

3. Jika  $2,5 < Fr \leq 4,5$  maka loncatan air tidak terbentuk dan loncatan menimbulkan gelombang sampai jarak yang jauh di saluran. Kolam olak yang digunakan untuk menimbulkan turbulensi (olakan) yakni tipe USBR tipe IV.



**Gambar 2.8. Kolam Olak USBR Type III**

4. Untuk  $Fr \geq 4,5$  merupakan kolam olak yang paling ekonomis, karena kolam ini pendek. Kolam olak yang sesuai adalah USBR tipe III.



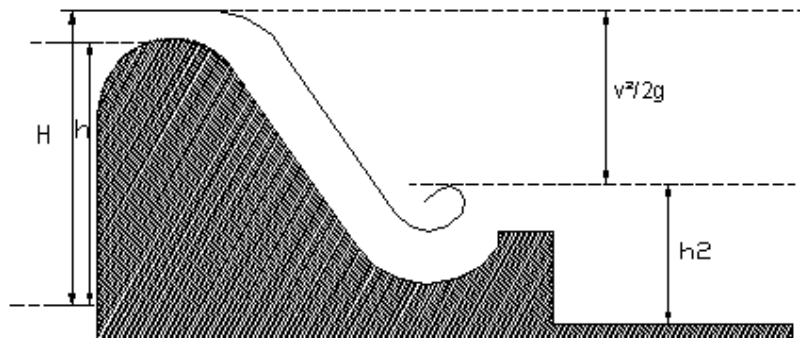
**Gambar 2.9. Kolam Olak USBR Type IV**

#### **2.5.10 Kolam Olak Bucket**

Pada umumnya kolam olak Bucket ini hampir sama dengan kolam olak tipe Vlugter, namun lebih baik penggunaannya pada daerah yang sangat kokoh dan kuat. Konstruksi lantai kolam olak Bucket ini lebih aman terhadap daerah banjir yang membawa batu-batu.

##### **1. Solid Bucket**

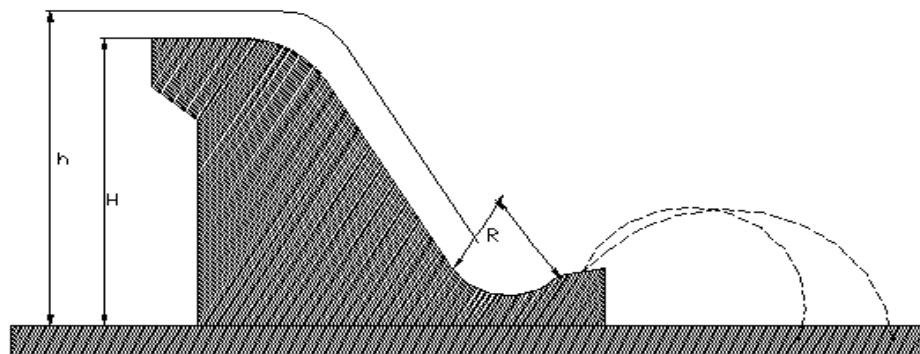
Kolam olak Solid Bucket digunakan bila loncatan air membawa material/batu-batu yang dianggap menghancurkan lantai ruang olak, maka kolam olak dibuat agak melingkar sampai pada bagian *cut off*.



**Gambar 2.10. Kolam Olak *Solid Bucket***

## 2. Sky Jump

Kolam olak Sky Jump digunakan bila loncatan air sungai tinggi dan keadaan air di belakang kolam olak kecil sehingga perlu memperhitungkan loncatan air.



**Gambar 2.11. Kolam Olak *Sky Jump***

### 2.5.11 Panjang Lantai Depan

Untuk merencanakan lantai depan bendung digunakan garis kemiringan hidrolis. Garis gradien hidrolis ini digambar dari hilir ke arah hulu dengan titik ujung hilir bendung sebagai permukaan dengan tekanan sebesar nol. Kemiringan garis gradien hidrolis disesuaikan dengan kemiringan yang diijinkan untuk suatu tanah dasar tertentu, yaitu menggunakan *creep ratio* (C). Untuk mencari panjang lantai depan hulu yang menentukan adalah beda tinggi energi terbesar dimana

terjadi pada saat muka air banjir di hulu dan kosong di hilir. Garis hidrolik gradien akan membentuk sudut dengan bidang horisontal sebesar  $\alpha$  sehingga akan memotong muka air banjir di hulu. Proyeksi titik perpotongan tersebut ke arah horisontal (lantai hulu bendung) adalah titik ujung dari panjang lantai depan minimum.

### 2.5.12 Tinjauan Terhadap Gerusan

Tinjauan terhadap gerusan digunakan untuk menentukan tinggi dinding halang (koperan) di ujung hilir bendung. Untuk mengatasi gerusan tersebut dipasang apron yang berupa pasangan batu kosong sebagai selimut lintang bagi tanah asli. Batu yang dipakai untuk apron harus keras, padat, awet dan mempunyai berat jenis 2,4 ton/m<sup>3</sup>. Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan Metoda Lacey.

Rumus :

$$R = 1,76 Dm^{1/2}$$

dimana :

R = kedalaman gerusan di bawah permukaan air banjir (m)

Dm = diameter nilai tengah (mean) untuk bahan jelek (m)

Q = debit yang melimpah di atas mercu (m<sup>3</sup>/det)

f = faktor *Lacey*

Menurut *Lacey*, kedalaman gerusan bersifat empiris, maka dalam penggunaannya dikalikan dengan angka keamanan 1,5.

### 2.5.13 Desain Bangunan Pelengkap

#### ➤ *Under Sluice*

*Under sluice* direncanakan untuk mencegah masuknya angkutan sedimen dasar dan fraksi pasir yang lebih kasar ke dalam pengambilan.

“Mulut” *Under sluice* ditempatkan di hulu pengambilan dimana ujung penutup pembilas membagi air menjadi dua lapisan : lapisan atas mengalir ke

pengambilan dan lapisan bawah mengalir melalui saluran pembilas bawah lewat bendung.

Dimensi *Under sluice* ditentukan berdasarkan ketentuan-ketentuan sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

- Tinggi saluran pembilas bawah hendaknya lebih besar dari 1,5 kali diameter terbesar sedimen dasar sungai.
- Tinggi saluran pembilas bawah sekurang-kurangnya 1,00 m
- Tinggi sebaiknya diambil 1/3 sampai 1/4 dari kedalaman air di depan pengambilan selama debit normal.

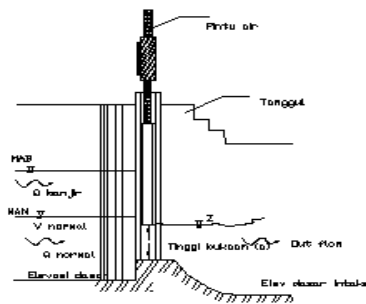
#### ➤ **Bangunan Pengambilan / Intake**

Bangunan pengambilan adalah sebuah bangunan berupa pintu air yang terletak di samping kanan atau kiri bendung (Joetata dkk, 1997). Fungsi bangunan ini adalah untuk mengelakkan air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan untuk kebutuhan irigasi. Pembilas pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir. Besarnya bukaan pintu tergantung dengan kecepatan pada ukuran butir bahan yang diangkut (KP-02 Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986).

Elevasi lantai intake diambil minimal satu meter di atas lantai hulu bendung karena sungai mengangkut pasir dan kerikil. Pada keadaan ini makin tinggi lantai dari dasar sungai maka semakin baik, sehingga pencegahan angkutan sedimen dasar masuk ke intake juga makin baik. Tetapi bila lantai intake terlalu tinggi maka debit air yang tersadap menjadi sedikit, untuk itu perlu membuat intake arah melebar. Agar tempat penyadapan air dapat terpenuhi dan pencegahan sedimen masuk ke intake dapat dihindari, maka perlu diambil perbandingan tertentu antara lebar dan tinggi bukaan (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986).

Pada perencanaan bendung ini direncanakan intake dengan pintu berlubang satu, lebar satu pintu tidak lebih dari 2,5 meter dan diletakkan di bagian hulu. Pengaliran melalui bawah pintu intake, sedangkan besarnya debit dapat diatur melalui tinggi bukaan pintu. Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya

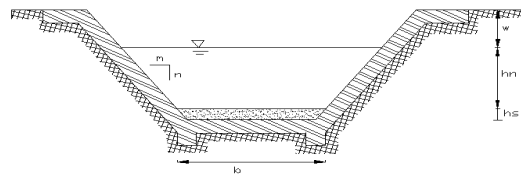
120% dari kebutuhan pengambilan (*dimention requirement*), guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek (KP-02 Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986).



**Gambar 2.12. Bangunan Pengambilan**

➤ **Saluran Kantong Lumpur**

Kantong lumpur merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan kesempatan pada sedimen untuk mengendap. Untuk menampung endapan sedimen tersebut dasar bagian saluran tersebut diperdalam dan diperlebar. Tampungan ini dibersihkan setiap jangka waktu tertentu dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran super kritis. Kantong lumpur ditempatkan di bagian awal dari saluran primer tepat di bagian belakang pengambilan (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986).



**Gambar 2.13. Potongan Melintang Kantong Lumpur**

Keterangan:

- w : Tinggi Jagaan (m)
- b : Lebar Kantong Lumpur (m)
- hn : Kedalaman Air (m)
- hs : Tebal Lumpur (m)

#### 2.5.14 Pintu Penguras Kantong Lumpur

Pintu penguras kantong lumpur tidak boleh terjadi gangguan selama pembilasan, oleh karena itu aliran pada pintu penguras tidak boleh tenggelam. Penurunan kecepatan aliran akan mengakibatkan menurunnya kapasitas angkutan sedimen, oleh karena itu untuk menambah kecepatan aliran maka dibuat kemiringan saluran yang memungkinkan kemudahan dalam transport sedimen (KP-02 Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986).

#### 2.5.15 Gorong-gorong

Gorong-gorong adalah bangunan yang dipakai untuk membawa aliran air (saluran irigasi/pembuang) melewati jalan air lainnya (biasanya saluran), bawah jalan, atau jalan kereta api ( Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986).

Gorong-gorong mempunyai potongan melintang yang lebih kecil daripada luas basah saluran hulu maupun hilir. Sebagian dari potongan melintang mungkin berada di atas muka air. Dalam hal ini gorong-gorong berfungsi sebagai saluran terbuka dengan aliran air bebas (KP-02 Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986).

#### 2.5.16 Analisis Gaya-gaya Horisontal

##### a. Gaya akibat tekanan lumpur

Rumus (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986) :

$$P_s = \frac{\gamma_s x h^2}{2} \left[ \frac{1 - \sin \theta}{1 + \sin \theta} \right]$$

dimana :

$P_s$  = gaya horisontal terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal

$\theta$  = sudut geser dalam, derajat

$\gamma_s$  = berat jenis lumpur ( $\text{ton/m}^3$ ) = 1,6  $\text{ton/m}^3$

$h$  = kedalaman lumpur (m)

## b. Tekanan Hidrostatik

Rumus :

$$W_u = c \cdot \gamma_w [h_2 + \frac{1}{2}\zeta (h_1 - h_2)]A$$

(Joetata dkk, 1997)

dimana :

$c$  = proporsi luas dimana tekanan hidrostatik bekerja ( $c = 1$  untuk semua tipe pondasi)

$\gamma_w$  = berat jenis air ( $\text{kN/m}^3$ )

$h_2$  = kedalaman air hilir (m)

$h_1$  = kedalaman air hulu (m)

$\zeta$  = proporsi tekanan, diberikan pada tabel 2.8 (m)

$A$  = luas dasar ( $\text{m}^2$ )

$W_u$  = gaya tekanan ke atas resultante (kN)

**Tabel 2.8 Harga-harga  $\zeta$**

Tipe Pondasi Batuan	Proporsi Tekanan
Berlapis horisontal	1,00
Sedang, pejal ( <i>massive</i> )	0,67
Baik, pejal	0,5

Sumber : Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum (1986)

## c. Tekanan tanah aktif dan pasif

- Tekanan tanah aktif dihitung dengan rumus sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986):

$$Pa = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Kp * h^2$$

$$Ka = \tan^2(45^\circ - \phi/2)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[ \gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad \text{dimana } \gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$= \left[ \gamma_w \frac{Gs - e}{1 + e} \right]$$

- Tekanan tanah pasif dihitung dengan rumus sebagai berikut (Dirjen Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, 1986):

$$Pp = \frac{1}{2} \gamma_{sub} * Ka * h^2$$

$$Ka = \tan^2(45^\circ + \phi/2)$$

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w$$

$$= \left[ \gamma_w \frac{Gs + e}{1 + e} \right] - \gamma_w \quad \text{dimana } \gamma_w = 1 \text{ t/m}^3$$

$$= \left[ \gamma_w \frac{Gs - 1}{1 + e} \right]$$

keterangan :

Pa = tekanan tanah aktif (t/m<sup>2</sup>)

Pp = tekanan tanah pasif (t/m<sup>2</sup>)

$\phi$  = sudut geser dalam (°)

g = gravitasi bumi = 9,8 m/det<sup>2</sup>

h = kedalaman tanah aktif dan pasif (m)

$\gamma_{sub}$  = berat jenis submerged/tanah dalam keadaan terendam (t/m<sup>3</sup>)

$\gamma_{sat}$  = berat jenis saturated/tanah dalam keadaan jenuh (t/m<sup>3</sup>)

$\gamma_w$  = berat jenis air = 1,0 ton/m<sup>3</sup>

Gs = Spesifik Gravity

e = Void Ratio

## 2.5.17 Analisis Gaya Vertikal

### a. Akibat berat

Berat bangunan bergantung kepada bahan yang dipakai untuk membuat bangunan itu. Untuk tujuan-tujuan perencanaan pendahuluan, boleh dipakai harga-harga berat volume di bawah ini (Joetata dkk, 1997):

Pasangan batu                      22 kN/m<sup>3</sup> (=2,200 kgf/m<sup>3</sup>)

Beton tumbuk                      23 kN/m<sup>3</sup> (=2,300 kgf/m<sup>3</sup>)

Beton bertulang                    24 kN/m<sup>3</sup> (=2,400 kgf/m<sup>3</sup>)

Berat volume beton tumbuk bergantung kepada berat volume agregat serta ukuran maksimum kerikil yang digunakan.

Untuk ukuran maksimum agregat 150 mm dengan berat volume 2.65, berat volumenya lebih dari 24 kN/m<sup>3</sup> (Joetata dkk, 1997).

**a. Gaya angkat (*uplift pressure*)**

Rumus :  $P_x = H_x - H$  .....(2.33)

$$P_x = H_x - (L_x * \frac{\Delta H}{L}) \text{ (Irigasi dan Bangunan Air, Gunadharma, Hal :131)}$$

di mana :

$P_x$  = tekanan air pada titik x (ton/m<sup>2</sup>)

$L_x$  = jarak jalur rembesan pada titik x (m)

$L$  = panjang total jalur rembeasn (m)

$\Delta H$  = beda tinggi energi (m)

$H_x$  = tinggi energi di hulu bendung

**b. Gaya Gempa**

Rumus:  $A_d = n(a_c x z)^m$

(Standar Perencanaan Irigasi KP-06)

$$E = \frac{a_d}{g}$$

Di mana:

$A_d$  = percepatan gempa rencana (cm/dt<sup>2</sup>)

$n, m$  = koefisien untuk masing-masing jenis tanah

$a_d$  = percepatan kejut dasar

$z$  = faktor yang tergantung dari letak geografis/ peta zone seismik (untuk perencanaan bangunan air tahan gempa = 0,56)

$E$  = koefisien gempa

$g$  = percepatan gravitasi =  $9,8 \text{ m/dt}^2$ .

Dari koefisien gempa di atas, kemudian dicari besarnya gaya gempa dan momen akibat gaya gempa dengan rumus:

Gaya Gempa:

$$K = E \times G$$

Di mana:

$E = 0,10$  (Koefisien gempa)

$K$  = gaya gempa

$G$  = berat bangunan (ton)

Momen:

$$M = K \times \text{Jarak (m)}$$

Setelah menganalisis gaya-gaya tersebut, kemudian diperiksa stabilitas bendung terhadap guling, geser, pecahnya struktur, erosi bawah tanah (piping) dan daya dukung tanah.

### 2.5.18 Analisis Stabilitas Bendung

#### 1. Terhadap Guling

$$SF = \frac{\sum MT}{\sum MG} > 1.5$$

*(Teknik Bendung, Ir.Soedibyo, Hal 105)*

di mana :

$SF$  = faktor keamanan

$\Sigma MT$  = jumlah momen tahan

$\Sigma MG$  = jumlah momen guling

#### 2. Terhadap Geser

$$SF = f \frac{\sum RV}{\sum RH} > 1.5$$

*(Engineering For Dams, Hinds Creager Justin, Hal:297)*

di mana :

- SF = faktor keamanan  
 $\Sigma RV$  = total gaya vertikal  
 $\Sigma RH$  = total gaya horisontal  
 $f$  = koefisien gesekan = ( 0,6-0,75 )

### 3. Terhadap Daya Dukung Tanah

Dari data tanah pada lokasi bendung Sukomerto, diperoleh :

- $\gamma$  = ton/m<sup>3</sup>  
 $c$  = kohesi  
 $\phi$  = sudut geser dalam

$N_c, N_q, N_\gamma$  didapat dari grafik Terzaghi.

Rumus daya dukung tanah Terzaghi :

$$q_{ult} = c.N_c + \gamma.N_q + 0,5.\gamma.B.N_\gamma$$

(Mekanika Tanah Jilid I, Braja M. Das )

$$\bar{\sigma} = \frac{q_{ult}}{SF}$$

Kontrol :

$$\sigma_{maks} = \frac{RV}{BL} x \left( 1 + \frac{6.e}{B} \right) < \bar{\sigma}$$

$$\sigma_{min} = \frac{RV}{BL} x \left( 1 - \frac{6.e}{B} \right) > 0$$

(Teknik Bendung, Ir.Soedibyo, Hal : 107 )

di mana :

- SF = faktor keamanan  
RV = gaya vertikal (ton)  
L = panjang bendung (m)  
 $\sigma$  = tagangan yang timbul (ton/m<sup>2</sup>)  
 $\bar{\sigma}$  = tegangan ijin (ton/m<sup>2</sup>)

#### 4. Terhadap Erosi Bawah Tanah (Piping)

Keamanan bendung terhadap erosi bawah bendung dihitung dengan rumus :

$$S = \frac{s(1 + a/s)}{h_s} \quad (\text{Standar Perencanaan Irigasi, KP-02, hal : 127})$$

di mana :

S = factor keamanan

s = kedalaman tanah (m)

a = tebal lapisan pelindung (m)

$h_s$  = tekanan air pada kedalaman s ( $\text{kgm}^2$ )

Rumus di atas mengasumsikan bahwa berat volume tanah di bawah air dapat diambil 1 ( $\gamma_w = \gamma_s = 1 \text{ T/m}^3$ ). Berat volume bahan lindung di bawah air adalah 1. harga keamanan S sekurang-kurangnya 2.

