

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Bendung

3.1.1. Pengertian Bendung

Bendung adalah suatu bangunan konstruksi yang dibuat dari pasangan batu kali atau pasangan batu karang ,bronjong atau beton, yang terletak melintang pada sebuah sungai yang berfungsi untuk menaikkan elevasi muka air untuk kepentingan irigasi.

3.1.2 Klasifikasi Bendung

Adapun klasifikasi bendung menurut Erwan Mawardi (Tahun 2006) sebagai berikut:

1. Bendung berdasarkan fungsinya:
 - a. Bendung penyalang, digunakan sebagai penyalang aliran sungai untuk berbagai keperluan seperti untuk irigasi, air baku dan sebagainya.
 - b. Bendung pembagi banjir, dibangun di percabangan sungai untuk mengatur muka air sungai, sehingga terjadi pemisahan antara debit banjir dan debit rendah sesuai dengan kapasitasnya.
 - c. Bendung penahan pasang, dibangun dibagian sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut antara lain untuk mencegah masuknya air asin.
2. Bendung berdasarkan tipe strukturnya:
 - a. Bendung tetap, bendung tetap adalah jenis bendung yang tinggi pemBendung ya tidak dapat diubah, sehingga muka air di hulu bendung tidak dapat diatur sesuai yang dikehendaki. Pada bendung tetap elevasi muka air di hulu bendung berubah sesuai dengan debit sungai yang sedang melimpas (muka air tidak bisa diatur naik ataupun turun). Bendung tetap biasanya dibangun pada daerah hulu sungai. Pada daerah

hulu sungai kebanyakan tebing-tebing sungai relative lebih curam dari pada di daerah hilir.

- b. Bendung gerak, bendung gerak adalah jenis bendung yang tinggi pemBendung ya dapat diubah susuai yang dikehendaki. Pada bendung gerak elevasi muka air di hulu bendung dapat dikendalikan naik atau turun sesuai yang dikehendaki dengan membuka atau menutup pintu air. Bendung gerak biasanya dibangun pada hilir sungai atau muara.
3. Berdasarkan dari segi sifatnya:
- a. Bendung permanen, seperti bendung pasangan batu, beton, dan kombinasi beton dan pasangan batu.
 - b. Bendung semi permanen, seperti bendung broncong.
 - c. Bendung darurat, yang dibuat oleh masyarakat pedesaan seperti bendung tumpukan batu dan sebagainya.)

3.2 Analisa Penyebab Keruntuhan Bendung

Pembangunan bendung mempunyai risiko tinggi berupa kemungkinan terjadinya kegagalan bendung yaitu keruntuhan sebagian atau seluruh bendung atau bangunan pelengkapanya. Selain itu, pembangunan bendung juga mempunyai potensi bahaya yang besar yang dapat mengancam keselamatan masyarakat pada kawasan hilir bendung.

Keruntuhan bendung dapat disebabkan oleh;

- a) kegagalan struktur antara lain terjadi longsor.
- b) kegagalan hidraulik yang mengakibatkan terjadinya peluapan air.
- c) kegagalan operasi, dan terjadinya rembesan yang dapat mengganggu kestabilan bendung.

Dalam rangka mewujudkan ketertiban pembangunan bendung dan pengelolaan bendung beserta waduknya, serta penyelenggaraan keamanan bendung, diperlukan instrumen pengendalian yang berupa izin dan persetujuan dalam tahapan pembangunan bendung dan pengelolaan bendung beserta waduknya. Keseluruhan

izin dan persetujuan yang diperlukan meliputi izin penggunaan sumber daya air, persetujuan prinsip pembangunan, persetujuan desain, izin pelaksanaan konstruksi, izin pengisian awal waduk, izin operasi bendung, persetujuan desain perubahan atau persetujuan desain rehabilitasi, izin perubahan bendung atau izin rehabilitasi bendung, dan izin penghapusan fungsi bendung. Peraturan pemerintah ini memuat pengaturan untuk terwujudnya tertib penyelenggaraan pembangunan bendung dan pengelolaan bendung beserta waduknya yang selaras dengan daya dukung lingkungan hidup, memenuhi kaidah-kaidah kelayakan teknis dan ekonomis serta keamanan bendung, dalam rangka mengurangi dampak negatif aspek lingkungan hidup, dan terjaganya keselamatan umum terkait kemungkinan terjadinya kegagalan bendung, dan dalam rangka menjaga kelestarian sumber daya air serta meningkatkan kemanfaatan fungsi sumber daya air, pengawetan air, pengendalian daya rusak air, dan menjaga keamanan serta keselamatan lingkungan hidup.

Keruntuhan sebuah bendung biasanya diawali dengan terjadinya rekahan (breach) yang terbentuk pada tubuh bendung. rekahan adalah bukaan yang terbentuk pada proses runtuhnya bendung

3.3. Analisa Sosial Ekonomi

3.3.1. Kerugian Secara Material

Keruntuhan Bendung, peta banjir dan hasil analisa sosial ekonomi, dibuat inventaris kerugian banjir mengenai desa-desa yang tergenang, luas penggunaan tanah yang tergenang, fasilitas umum yang tergenang, serta daerah industri yang tergenang.

Dalam analisa kerugian secara material tidak diperhitungkan kerugian pada Bendung, fasilitas terkait dan tujuan dibangunnya Bendung, tetapi yang dimaksud kerugian material dalam hal ini adalah kerugian karena kerusakan tempat permukiman, kerusakan daerah pertanian, kerusakan daerah peternakan, maupun kerusakan fasilitas umum dan tempat ibadah.

3.3.2. Kerugian Material Langsung

Dalam menghitung kerugian material langsung digunakan asumsi – asumsi dengan pertimbangan sebagai berikut ini:

1. Tempat tinggal penduduk, dapat berupa rumah permanen, semi permanen, dan non permanen. Apabila banjirnya berlangsung tidak begitu lama, kerugian tidak diperhitungkan.
2. Kerusakan daerah pertanian meliputi sawah dan jaringannya
3. Kerusakan daerah peternakan meliputi unggas, sapi, kerbau, domba, dan kambing.
4. Gedung sekolah termasuk bangku dan meja, lemari buku, buku - buku paket dan perpustakaan.
5. Kerusakan tempat ibadah beserta perlengkapannya meliputi masjid / musholah, gereja dan lain - lain.
6. Kerusakan kantor meliputi kantor desa, kantor kecamatan, kantor - kantor dinas dan lain - lain.
7. Kerusakan pasar desa beserta perlengkapannya. Prakiraan tersebut diperhitungkan berdasarkan tinggi banjir dengan asumsi.

3.3.3 Manajemen Risiko

Berbagai definisi dapat diberikan kepada kata risiko, namun secara sederhana artinya mengenai kemungkinan terjadinya akibat buruk atau akibat yang merugikan seperti kemungkinan, kehilangan, cedera, kebakaran dan sebagainya.

Manajemen risiko yang baik akan mampu memperbaiki keberhasilan proyek secara signifikan (Santosa, Tahun 2009) menjelaskan bahwa manajemen risiko adalah proses mengidentifikasi, mengukur dan memastikan risiko serta mengembangkan strategi untuk mengelola risiko tersebut. Suatu sistem pengelolaan risiko yang digunakan di dalam suatu organisasi, atau perusahaan yang merupakan suatu proses atau rangkaian kegiatan yang dilakukan secara menerus, untuk mengendalikan kemungkinan timbulnya risiko yang membawa konsekuensi merugikan organisasi atau perusahaan yang bersangkutan.

Ada 3 kunci yang perlu diperhatikan dalam manajemen risiko agar bisa efektif.

1. Identifikasi, analisa dan penilaian risiko pada awal proyek secara sistematis dan mengembangkan rencana untuk menanganinya.
2. Mengalokasikan tanggung jawab kepada pihak yang paling sesuai untuk mengelola risiko.
3. Memastikan bahwa biaya penanganan risiko cukup kecil dibanding dengan nilai proyeknya.

A. Pengertian Risiko

Risiko merupakan kata yang sudah sering didengar. Biasanya kata tersebut mempunyai konotasi yang negatif, sesuatu yang tidak disukai dan sesuatu yang ingin dihindari. Risiko juga bisa didefinisikan sebagai kejadian yang merugikan. Memahami konsep risiko secara luas merupakan dasar yang esensial untuk memahami konsep dan teknik manajemen risiko (Darmawi, Tahun 2008). Oleh karena itu dengan mempelajari berbagai definisi yang ditemukan dalam beberapa literatur diharapkan pemahaman tentang konsep risiko semakin jelas. Beberapa perbedaan definisi tentang risiko, hal ini disebabkan subyek risiko begitu kompleks, terdapat dalam beberapa bidang yang berbeda sehingga terdapat beberapa pengertian yang berbeda pula. Darmawi (Tahun 2008) mengutip Vaughan membagi risiko kedalam 3 pengertian yaitu kemungkinan kerugian, ketidakpastian, probabilitas suatu outcome yang berbeda dengan outcome yang diharapkan. PMI (2004) membarikan tambahan risiko sebagai suatu kondisi atau peristiwa yang tidak pasti yang jika terjadi akan mempunyai efek positif dan efek negatif pada tujuan proyek. Risiko proyek meliputi ancaman terhadap tujuan proyek dan peluang untuk meningkatkan tujuan tersebut.

B Jenis-jenis Risiko

Jenis-jenis risiko menurut Santosa (Tahun 2009) antara lain:

1. Risiko Operasional

Kejadian risiko yang berhubungan dengan operasional organisasi mencakup risiko yang berhubungan dengan sistem organisasi, proses kerja, teknologi dan sumber daya manusia.

2. Risiko Finansial

Risiko yang berdampak pada kinerja keuangan organisasi seperti kejadian risiko akibat dari fluktuasi mata uang, tingkat suku bunga termasuk risiko pemberian kredit, likuiditas dan pasar.

3. *Hazard Risk*

Risiko yang berhubungan dengan kecelakaan fisik seperti kejadian atau kerusakan yang menimpa harta perusahaan dan adanya ancaman perusahaan.

4. *Strategic Risk*

Risiko yang berhubungan dengan strategi perusahaan, politik, ekonomi, peraturan dan perundangan. Risiko yang berkaitan dengan reputasi organisasi kepemimpinan dan termasuk perubahan keinginan pelanggan.

C Klasifikasi Risiko

Dalam dunia konstruksi yang dimaksud risiko adalah apabila risiko tersebut diartikan sebagai ketidakpastian yang menimbulkan kerugian (Uncertainty of loss). Risiko dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Risiko Spekulatif (*Speculative Risk*)

Risiko Spekulatif adalah risiko yang memberikan kemungkinan untung atau rugi atau tidak untung dan tidak rugi. Risiko Spekulatif disebut juga risiko dinamis (*dynamic risk*).

2. Risiko murni (*Pure Risk*)

Risiko yang hanya mempunyai satu akibat yaitu kerugian. Sehingga tidak ada yang akan menarik keuntungan dari risiko ini.

3. Risiko Fundamental (*Fundamental Risk*)

Risiko yang sebab maupun akibatnya impersonal (tidak menyangkut seseorang) dimana kerugian yang timbul dari risiko yang bersifat fundamental biasanya tidak hanya menimpa seorang individu melainkan menimpa banyak orang atau banyak pihak.

4. Risiko khusus (*Particular Risk*)

Risiko khusus dimana risiko ini disebabkan oleh peristiwa-peristiwa individual dan akibatnya terbatas.

5. Perubahan Klasifikasi Risiko

Perubahan klasifikasi risiko dapat terjadi apabila penyebab terjadinya risiko dan akibat dari risiko berubah atau dapat pula disebabkan adanya cara pandang seseorang terhadap risiko tersebut.

6. Guna klasifikasi Risiko

Klasifikasi risiko berguna dalam rangka menetapkan apakah suatu risiko dapat diasuransikan atau tidak, dan untuk menentukan apakah risiko lebih tepat ditangani oleh pemerintah atau diserahkan kepada lembaga asuransi komersial.

Risiko yang dapat diasuransikan dan risiko yang tidak dapat diasuransikan Risiko spekulatif tidak dapat diasuransikan karena pada risiko ini terdapat kemungkinan untuk mendapatkan keuntungan.

Risiko murni dapat diasuransikan karena hanya mempunyai satu kemungkinan yaitu mendatangkan kerugian, tetapi berdasarkan pertimbangan secara yuridis maupun komersial tidak semua risiko murni dapat diasuransikan.

3.4 Analisis Biaya

Dalam menganalisis komponen biaya, ada dua komponen yang diperlukan untuk melakukan Analisis biaya/efektivitas yakni:

1. Komponen Biaya
2. Komponen Efektivitas.

Biaya yang berhubungan dengan pengembangan sistem informasi dapat diklasifikasikan ke dalam 4 katagori utama, yaitu :

1. Biaya pengadaan (*procurement cost*)
2. Biaya persiapan operasi (*start-up cost*)
3. Biaya proyek (*project-related cost*)
4. Biaya operasi (*ongoing cost*) dan biaya perawatan (*maintenance cost*)
 - a. Biaya pengadaan (*procurement cost*)

Adalah semua biaya yang terjadi sehubungan dengan memperoleh perangkat keras.

Yang termasuk biaya pengadaan diantaranya adalah :

1. Biaya konsultasi pengadaan perangkat keras
 2. Biaya pembelian atau sewa beli (*leasing*) perangkat keras
 3. Biaya instalasi perangkat keras
 4. Biaya ruangan untuk perangkat keras (perbaikan ruangan, pemasangan AC)
 5. Biaya modal untuk pengadaan perangkat keras
 6. Biaya yang berhubungan dengan manajemen dan satff untuk pengadaan perangkat keras
- b. Biaya persiapan operasi (*start-up cost*)

Adalah semua biaya untuk membuat sistem siap untuk dioperasikan.

Yang termasuk biaya persiapan diantaranya adalah :

1. Biaya pembelian perangkat lunak sistem
2. Biaya instalasi peralatan komunikasi (misal sambungan telpon)
3. Biaya persiapan personil

4. Biaya reorganisasi
 5. Biaya manajemen staff yang dibutuhkan dalam kegiatan persiapan operasi.
- c. Biaya proyek (*project-related cost*)

Adalah semua biaya untuk mengembangkan sistem termasuk penerapannya. Yang termasuk biaya proyek diantaranya :

1. Biaya dalam tahap analisis sistem

Mencakup : biaya untuk pengumpulan data, biaya dokumentasi (kertas, foto copy, dll) , biaya rapat, biaya staff analis dan biaya manajemen yang berhubungan dengan tahap analisis sistem

2. Biaya dalam tahap design sistem

Mencakup : biaya dokumentasi, biaya rapat, biaya staff analis, biaya programmer , biaya pembelian perangkat lunak aplikasi , biaya manajemen yang berhubungan dengan tahap design sistem

3. Biaya dalam tahap penerapan sistem

Mencakup : biaya pembuatan formulir baru , biaya konversi data, biaya latihan personil dan biaya manajemen yang berhubungan dengan tahap penerapan sistem

- d. Biaya operasi (*ongoing cost*) dan biaya perawatan (*maintenance cost*)

Biaya operasi adalah biaya-biaya yang dikeluarkan untuk mengoperasikan sistem supaya sistem dapat beroperasi.

Biaya perawatan adalah biaya yang dikeluarkan untuk merawat sistem dalam masa operasinya.

Yang termasuk biaya operasi dan perawatan diantaranya :

1. Biaya personil (operator, bagian administrasi, pustakawan data, pengawas data)
2. Biaya overhead (pemakaian telpon, listrik, asuransi, keamanan, supplies)

3. Biaya perawatan perangkat keras
4. Biaya perawatan perangkat lunak (modifikasi program, penambahan modul program)
5. Biaya perawatan peralatan dan fasilitas
6. Biaya manajemen yang terlibat dalam operasi sistem
7. Biaya kontrak untuk konsultan selama operasi sistem
8. Biaya depresiasi (penyusutan)

3.5 Analisis Hidrologi

Menurut Soewarno, (Tahun 1995) bahwa data hidrologi adalah kumpulan keterangan atau fakta mengenai fenomena hidrologi seperti besarnya : curah hujan, temperatur, penguapan, lamanya penyinaran matahari, kecepatan aliran, konsentrasi sedimen sungai akan selalu berubah terhadap waktu. Analisis hidrologi dalam pelaksanaan pekerjaan ini lebih pada analisis ketersediaan air dan kebutuhan air. Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui karakteristik hujan, debit atau potensi air.

Data klimatologi yang digunakan diambil dari Stasiun di areal layanan Daerah Irigasi yang bersangkutan. Data klimatologi digunakan untuk menghitung kebutuhan air dan ketersediaannya (*debit andalan*). Untuk itu, data hujan yang digunakan minimal data 20 tahun terakhir.

3.6 Analisa 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. Berdasarkan kondisi data yang tersedia maka metode dalam perhitungan debit banjir rencana dapat diklasifikasikan dan uraian sebagai berikut :

1. Ketersediaan data debit banjir pengamatan (*gauged catchment*;
 - a. Ketersediaan data debit maksimum sesaat untuk periode waktu > 20 tahun.

- b. Ketersediaan data debit maksimum sesaat untuk periode waktu < 20 tahun.
2. Ketersediaan data debit banjir pengamatan tidak tersedia (*ungauged catchment*);
- a. Menggunakan data hujan bila data debit sesaat sangat minimum/tidak tersedia.
 - b. Menghitung debit banjir rata-rata tahunan (*Mean Annual Flood*).
 - c. Menghitung debit banjir sintetis, diperoleh dari hasil simulasi hujan dan debit untuk periode waktu ≥ 20 tahun sebagai input ke analisa frekuensi.

3.6.1. Analisis Data Curah Hujan

Curah hujan merupakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, analisis data curah hujan yang hilang dengan menggunakan Metode Rata-Rata Aljabar, Metode Polygon Thiessen dan Metode Isohyet. Satuan curah hujan selalu dinyatakan dalam satuan milimeter atau inchi namun untuk di Indonesia satuan curah hujan yang digunakan adalah dalam satuan milimeter (mm). Curah hujan dalam 1 (satu) milimeter memiliki arti dalam luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu milimeter atau tertampung air sebanyak satu liter.

Menurut Suyono Sosrodarsono dan Kensaku Takeda, (1978) dalam penentuan curah hujan data dari pencatat atau penakar hanya didapatkan curah hujan di suatu titik tertentu (*point rainfall*). Untuk mendapatkan harga curah hujan areal dapat dihitung dengan beberapa metode :

➤ Metode Rata-Rata Aljabar

Curah hujan didapatkan dengan mengambil rata-rata hitung (*arithmetic mean*) dari penakaran pada penakar hujan areal tersebut. Cara ini digunakan apabila :

- a. Daerah tersebut berada pada daerah yang datar
- b. Penempatan alat ukur tersebar merata
- c. Variasi curah hujan sedikit dari harga tengahnya

Rumus yang digunakan:

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \left(\bar{R} + R + \dots + R_n \right) \dots\dots\dots(3.1)$$

Dengan:

\bar{R} = curah hujan maksimum rata-rata (*mm*)

n = jumlah stasiun pengamatan

R₁ = curah hujan pada stasiun pengamatan satu (*mm*)

R₂ = curah hujan pada stasiun pengamatan dua (*mm*)

R_n = curah hujan pada stasiun pengamatan n (*mm*)

➤ **Metode Polygon Thiessen**

Cara ini didasarkan atas cara rata-rata timbang, dimana 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.

Hal yang perlu diperhatikan dalam metode ini adalah :

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

Perhitungan menggunakan rumus sebagai berikut:

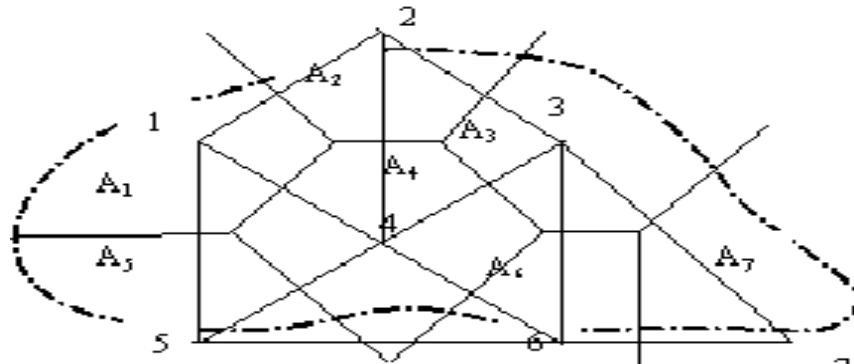
$$\bar{R} = \frac{A_1 \cdot R_1 + A_2 \cdot R_2 + A_3 \cdot R_3 \cdots A_n \cdot R_n}{A} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dengan :

\bar{R} = curah hujan maksimum rata-rata (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan pada stasiun 1, 2, ..., n (mm)

A_1, A_2, \dots, A_n = luas daerah pada polygon 1, 2, ..., n (km²)



Gambar 3.1 Polygon Thiessen

Keterangan gambar :

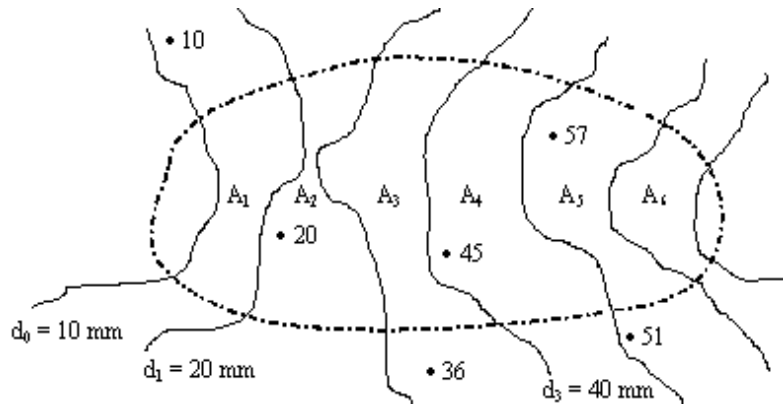
- A1 = luas daerah pengaruh stasiun pertama
- A2 = luas daerah pengaruh stasiun ke-2
- A3 = luas daerah pengaruh stasiun ke-3
- A4 = luas daerah pengaruh stasiun ke-4
- A5 = luas daerah pengaruh stasiun ke-5

➤ **Metode Isohyet**

Metode ini digunakan apabila penyebaran stasiun hujan di daerah tangkapan hujan tidak merata. Dengan cara ini, kita harus menggambar kontur berdasarkan tinggi hujan yang sama, seperti Gambar 3.2. Metode ini ini digunakan dengan ketentuan :

1. dapat digunakan pada daerah datar maupun pegunungan

2. jumlah stasiun pengamatan harus banyak
3. bermanfaat untuk hujan yang sangat singkat



Gambar 3.2. Metode Isohyet

Rumus digunakan adalah sebagai berikut

$$\bar{R} = \frac{\frac{R_1 + R_2}{2} A_1 + \frac{R_3 + R_4}{2} A_2 + \dots + \frac{R_n + R_{n-1}}{2} A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots(3.3)$$

Dengan;

\bar{R} = curah hujan rata-rata (mm)

R_1, R_2, \dots, R_n = curah hujan stasiun 1, 2, ..., n

(A_1, A_2, \dots, A_n) = luas area antara 2(dua) isohyet (km^2)

Pada umumnya, data curah hujan yang tercatat terdapat beberapa yang hilang atau dianggap kurang panjang jangka waktu pencatatannya. Untuk mengisi data yang hilang digunakan *Metode Reciprocal*, dimana metode ini menggunakan data curah hujan referensi dengan mempertimbangkan jarak stasiun yang akan dilengkapi datanya dengan stasiun referensi tersebut.

Persamaan matematis yang digunakan :

$$H_h = \frac{\left(\frac{H_1}{L_1}\right)^2 + \left(\frac{H_2}{L_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{H_n}{L_n}\right)^2}{\left(\frac{1}{L_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{L_2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{1}{L_n}\right)^2} \dots(3.4)$$

Dengan;

H_h = Hujan di stasiun yang akan dilengkapi

H1, ... Hn = Hujan di stasiun referensi

L1, ...Ln = Jarak stasiun referensi dengan stasiun yang dilengkapi (m)

3.6.2. Uji Keselarasan Distribusi

➤ Uji Chi-Kuadrat

Uji keselarasan distribusi ini digunakan pengujian Chi-kuadrat yang dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan distribusi peluang yang telah dipilih dapat mewakili dari distribusi statistik sample data yang dianalisis.

Adapun prosedur pengujian Chi-kuadrat adalah sebagai berikut:

1. Urutkan data pengamatan dari yang terbesar ke yang terkecil atau sebaliknya
2. Hitung jumlah kelas yang ada yaitu $Nc = 1 + 1,33 \ln (n)$
- 3 Dalam pembagian kelas disarankan agar dalam masing-masing kelas terdapat minimal tiga buah data pengamatan.
4. Tentukan derajat kebebasan (DK) = G-P-1 (nilai P = 2 untuk distribusi normal dan binomial, untuk distribusi poisson dan Gumbel nilai P = 1)
5. Hitung n
6. Nilai Ef = jumlah data (n)/Jumlah kelas
7. Tentukan nilai Of untuk masing-masing kelas
8. Jumlah G Sub-group untuk menentukan nilai Chi-kuadrat

$$X^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(Ef - Of)^2}{Ef} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dengan:

X^2 = harga Chi-Kuadrat

G = jumlah sub-kelompok

Of = frekwensi yang terbaca pada kelas yang sama

Ef = frekwensi yang diharapkan sesuai pembagian kelasnya.

9. Didapat nilai X^2 , harus $< X^2_{Critical}$ yang di dapat dari Tabel

Tabel 3.1 Nilai Kritis untuk Distribusi Chi Kuadrat

Dk	Derajat							
	0,99	0,99	0,975	0,95	0,05	0,025	0,01	0,005
1	0,0000	0,00015	0,0009	0,0039	3,841	5,024	6,635	7,879
2	0,10	0,0201	0,0506	0,103	5,991	7,378	9,210	10,59
3	0,071	0,115	0,216	0,352	7,815	9,348	11,34	12,83
4	0,20	0,297	0,484	0,711	9,488	11,14	13,27	14,86
5	0,41	0,554	0,831	1,145	11,07	12,83	15,08	16,75
6	0,67	0,872	1,237	1,635	12,59	14,44	16,81	18,54
7	0,98	1,239	1,69	2,167	14,06	16,01	18,47	20,27
8	1,34	1,646	2,18	2,733	15,50	17,53	20,09	21,95
9	1,73	2,088	2,	3,325	16,91	19,02	21,66	23,58
10	2,15	2,558	3,247	3,940	18,30	20,48	23,20	25,18
11	2,60	3,053	3,816	4,575	19,67	214,9	24,72	26,75
12	3,07	3,571	4,404	5,226	21,02	23,33	26,21	28,30
13	3,56	4,107	5,009	5,892	22,36	24,73	27,68	29,81
14	4,07	4,660	5,629	6,571	23,68	26,11	29,14	31,31
15	4,60	5,229	6,161	7,261	24,99	27,48	30,57	32,80
16	5,14	5,812	6,908	7,962	26,29	28,84	32,00	34,26
17	5,69	6,408	7,564	8,672	27,58	30,19	33,40	35,71
18	6,26	7,015	8,231	9,390	28,86	31,52	34,80	37,15
19	6,84	7,633	8,907	10,11	30,14	32,85	36,19	38,58
20	7,43	8,260	9,591	10,85	31,41	34,17	37,56	39,99
21	8,03	8,897	10,283	11,59	32,67	35,47	38,93	41,40
22	8,64	9,542	10,982	12,33	33,92	36,78	40,28	42,79
23	9,26	10,196	11,689	13,09	36,17	38,07	41,63	44,18
24	9,88	10,856	12,401	13,84	36,41	39,36	42,98	45,55
25	10,5	11,524	13,120	14,61	37,65	40,64	44,31	46,92
26	11,1	12,198	13,844	15,37	38,88	41,92	45,64	48,29
27	11,80	12,879	14,573	16,15	40,11	43,19	46,96	49,64
28	12,46	13,565	15,308	16,92	41,33	44,46	48,27	50,99
29	13,12	14,256	16,047	17,70	42,55	45,72	49,58	52,33
30	13,78	14,953	16,791	18,49	43,77	46,97	50,89	53,67

(Sumber : CD Soemarto, 1999)

Adapun kriteria penilaian hasilnya adalah sebagai berikut :

1. Apabila peluang lebih besar dari 5% maka persamaan distribusi teoritis yang digunakan dapat diterima.

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

➤ **Uji Smirnov-Kolmogorov**

Menurut Soewarno, (1995) 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 didapat perbedaan (Δ) tertentu.

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

Prosedur uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorof* adalah :

1. Urutkan data (dari besar ke kecil atau sebaliknya) dan tentukan besarnya nilai masing-masing data tersebut :

$$X_1 \rightarrow P(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P(X_2)$$

$$X_n \rightarrow P(X_n)$$

2. Tentukan nilai masing-masing peluang teoritis dari hasil penggambaran data (persamaan distribusinya) :

$$X_1 \rightarrow P'(X_1)$$

$$X_2 \rightarrow P'(X_2)$$

$$X_n \rightarrow P'(X_n)$$

3. Dari kedua nilai peluang tersebut, tentukan selisih terbesarnya antara peluang pengamatan dengan peluang teoritis.

$$D = \text{maksimum} [P(X_m) - P'(X_m)]$$

4. Berdasarkan tabel nilai kritis (*Smirnov - Kolmogorof test*), tentukan harga D_0 (Tabel 3.2).

Tabel 3.2 Nilai Delta Kritis untuk Uji Keselarasan Smirnov Kolmogorof

n	α			
	0,2	0,1	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
1	0,32	0,37	0,41	0,49
1	0,27	0,30	0,34	0,00
2	0,23	0,26	0,29	0,36
2	0,21	0,24	0,27	0,32
3	0,19	0,22	0,24	0,29
3	0,18	0,20	0,23	0,27
4	0,17	0,19	0,21	0,25
4	0,16	0,18	0,20	0,24
5	0,15	0,17	0,19	0,23
n>5	1,07/n	1,22/n	1,36/n	1,693/n

(Sumber :Soewarno,1995)

3.6.3. Intensitas Curah Hujan

Intensitas curah hujan adalah ketinggian curah hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut berkonsentrasi. Analisis intensitas curah hujan ini dapat diproses dari data curah hujan yang telah terjadi pada masa lampau.

Di bawah ini akan dikemukakan perhitungan debit banjir sungai dengan daerah pengaliran yang kecil. Yakni cara pemikiran dan cara perhitungan curah hujan jangka waktu yang pendek. Curah hujan jangka pendek dinyatakan dalam intensitas per-jam. Yang disebut intensitas curah hujan (*mm/jam*)

➤ Menurut Dr. Mononobe

Seandainya data curah hujan yang ada hanya curah hujan harian, maka intensitas curah hujannya dapat dirumuskan (Loebis, 1987) :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t} \right) \dots \dots \dots (3.6)$$

Dengan:

I = intensitas curah hujan (*mm/jam*)

R₂₄ = curah hujan maksimum dalam 24 jam (*mm*)

t = lamanya curah hujan (*jam*)

➤ **Menurut Sherman**

Rumus yang digunakan

$$I = \frac{a}{t^b} \dots \dots \dots (3.7)$$

$$\text{Log } x = \frac{\sum_{i=1}^n \log i \cdot \sum_{i=1}^n \log t^2 \cdot \sum_{i=1}^n \log t \cdot \sum_{i=1}^n \log i \cdot \sum_{i=1}^n \log t}{\sum_{i=1}^n \log t^2 - \sum_{i=1}^n \log t^2} \dots \dots \dots (3.8)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n \log i \cdot \sum_{i=1}^n \log t^2 \cdot \sum_{i=1}^n \log t \cdot \sum_{i=1}^n \log i \cdot \sum_{i=1}^n \log t}{\sum_{i=1}^n \log t^2 - \sum_{i=1}^n \log t^2} \dots \dots \dots (3.9)$$

Dengan:

I = intensitas curah hujan (*mm/jam*)

t = lamanya curah hujan (*menit*)

a,b = konstanta yang tergantung pada lama curah hujan yang

terjadi. n = banyaknya pasangan data *i* dan *t*

3.6.4 Analisis Debit Banjir Rencana

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

➤ **Metode Rasional**

Perhitungan Metode rasional menggunakan rumus sebagai berikut:

$$QP = \frac{C.I.A}{3,6} \dots \dots \dots (3.10)$$

Dengan

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

c = koefisien limpasan

I = intensitas hujan selama t jam (mm/jam)

$$I = \frac{R_{25}}{24} \times \frac{24^{2/3}}{tc} \dots \dots \dots (3.11)$$

$$T = \frac{I}{W} \dots \dots \dots (3.12)$$

$$W = 20 \frac{H^{0,6}}{I} (m/det) = 72 \frac{H^{0,6}}{I} (km/jam) \dots \dots \dots (3.13)$$

w = waktu kecepatan perambatan (m/det atau km/jam)

l = jarak dari ujung daerah hulu sampai titik yang

ditinjau (km) A = luas DAS (km^2)

H = beda tinggi ujung hulu dengan titik tinggi yang ditinjau

Koefisien limpasan (C), dapat diperkirakan dengan meninjau tata guna lahan.

Harga Koefisien pengaliran (α) tergantung dari beberapa faktor antara lain jenis tanah, kemiringan, luas dan bentuk pengaliran sungai. Sedangkan besarnya nilai koefisien pengaliran dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Koefisien Pengaliran

	Koefisien Pengaliran
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

(Sumber : Joesron Loebis, 1984)

➤ **Metode Nakayasu.**

Nakayasu berasal Jepang, yang telah menyelidiki satuan pada beberapa sungai di Jepang.

Langkah-langkah penggambaran grafik:

1. tentukan nilai T_g (waktu konsentrasi), dimana mempunyai nilai yang tergantung pada L (panjang alur sungai). Jika $L < 15$ km $T_g = 0.27.L^{0.7}$ dan jika $L > 15$ km maka

$$T_g = 0.4 + 0.058.L \dots \dots \dots (3.14)$$

2. tentukan nilai T_r yang nilainya antara $0.5.T_g$ sampai dengan $1.T_g$.
3. cari T_p dengan rumus

$$T_p = T_g + 0.8.T_r \dots \dots \dots (3.15)$$

4. Parameter (α)

$$\alpha = \frac{0.47(A_u.L)^{0.25}}{t_g} \dots \dots \dots (3.16)$$

5. Tentukan nilai $T_{0.3}$ yaitu nilai dimana ordinatnya sama dengan $0.3 \cdot Q_p$. Nilai $T_{0.3}$ dapat dicari dengan rumus

$$T_{0.3} = 2 \cdot T_g \dots \dots \dots (3.17)$$

6. Debit puncak banjir (Q_p)

$$Q_p = \frac{A_u \cdot x R_o}{3.6(0.3xT_p + T_{0.3})} \dots \dots \dots (3.18)$$

Dengan:

Q_p = Debit puncak banjir (m^3/dtk)

R_o = Hujan satuan (mm)

T_p = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hujan (jam)

$T_{0.3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai 30% dari debit puncak (jam)

C = koefisien pengaliran

A = luas DAS hulu

7. Unit Hidrograf

Cari Q_p dengan rumus umum tersebut diatas. Gambar grafik dengan batasan-batasan sbb:

- bagian lengkung naik dengan batasan waktu (t) adalah $0 < t < T_p$
fungsi yang berlaku

$$Q_n = Q_p = \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2.4} \dots\dots\dots(3.19)$$

- bagian lengkung lengkung turun pertama dengan batasan waktu (t) adalah $0 < t < (T_p + T_{0.3})$ dimana ordinat hidrograf satuannya antara $Q_p - 0.3 \cdot Q_p$, fungsi yang berlaku

$$Q_{d1} = Q_p \cdot 0.3^{\left(\frac{t - T_p}{T_{0.3}} \right)} \dots\dots\dots(3.20)$$

- bagian lengkung turun kedua dengan batasan waktu (t) adalah $(T_p + T_{0.3}) < t < (T_p + T_{0.3} \cdot 1.5)$, fungsi yang berlaku $Q_{d2} =$

$$Q_p \cdot 0.3^{\left(\frac{t - T_p + 0.5 T_{0.3}}{1.5 \cdot T_{0.3}} \right)} \dots\dots\dots(3.21)$$

- bagian lengkung turun ketiga dengan batasan waktu (t) adalah $t > (T_p + T_{0.3} \cdot 1.5)$, fungsi yang berlaku

$$Q_{d3} = Q_p \cdot 0.3^{\left(\frac{t - T_p + 0.5 T_{0.3}}{2 \cdot T_{0.3}} \right)} \dots\dots\dots(3.22)$$

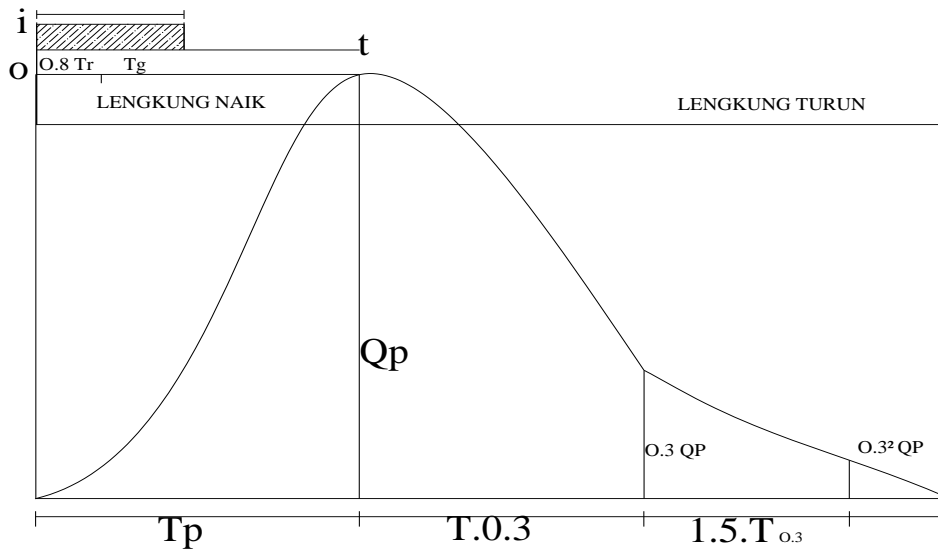
dengan:

R_t = intensitas hujan rata-rata dalam 1jam

R_{24} = curah hujan efektif dalam 1 jam

T = waktu mulai hujan

T_g = waktu konsentrsi hujan



Gambar 3.3 Grafik HSS Nakayasu

➤ **Metode HSS ITB**

Dalam praktek proses superposisi hidrograf dapat dihitung dalam bentuk tabel seperti dapat mudah dijumpai dalam berbagai buku referensi. Dalam contoh kasus ini akan digunakan distribusi hujan hujan efektif dengan durasi ½ jam yang berurutan sebesar 20 mm, 100 mm dan 40 mm Sebagai indikator ketelitian hasil perhitungan digunakan prinsip konservasi masa,

Cara perhitungan hidrograf satuan dilakukan dengan cara sebagai berikut

a) Hitung Time Peak (Tp) dan Time Base (Tb)

1. Hitung Time Concentration (untuk penjelasan rumus Kirpurch)

$$t_c = 0,01947 \left(\frac{L^{0,77}}{S^{0,835}} \right) \dots\dots\dots(3.23)$$

2. Time Peak (Tp) dan Time Base (Tb)

$$T_p = \frac{2}{3} t_c \dots \dots\dots(3.24)$$

$$T_b = \frac{8}{3} t_p \dots\dots\dots(3.25)$$

b) Perhitungan HSS SCS Segitiga berdimensi

1. Hitung Luas HSS berdimensi: Bentuk HSS SCS segitiga dihitung secara exact.

$$A_{HSS} = \frac{1}{2}(q_p \cdot t_b) \dots \dots \dots (3.26)$$

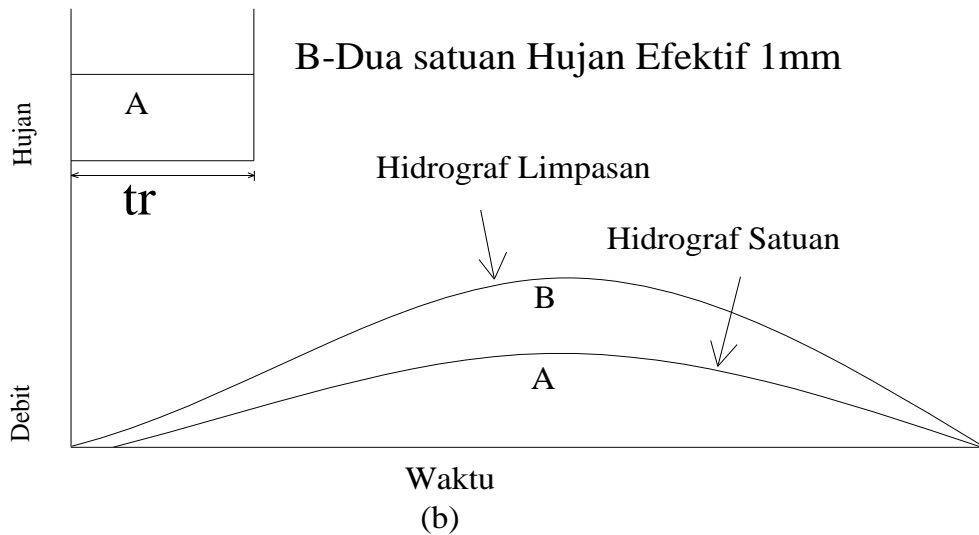
2. Hitung Debit Puncak HSS (Berdimensi)

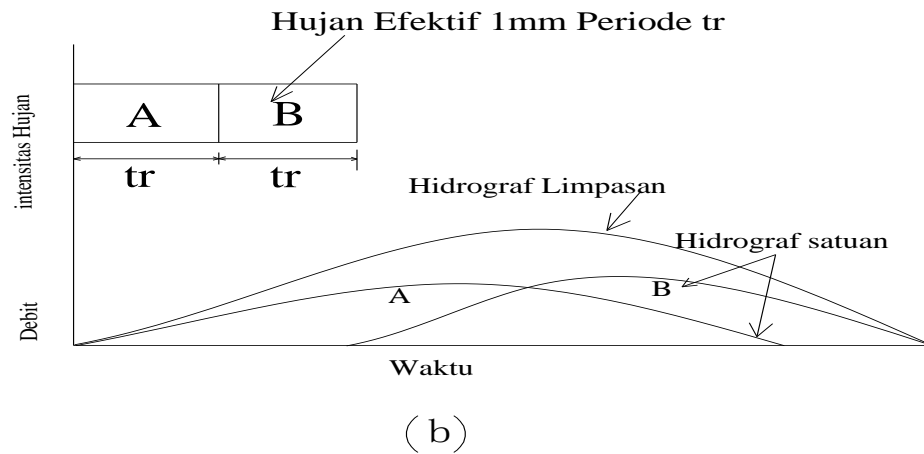
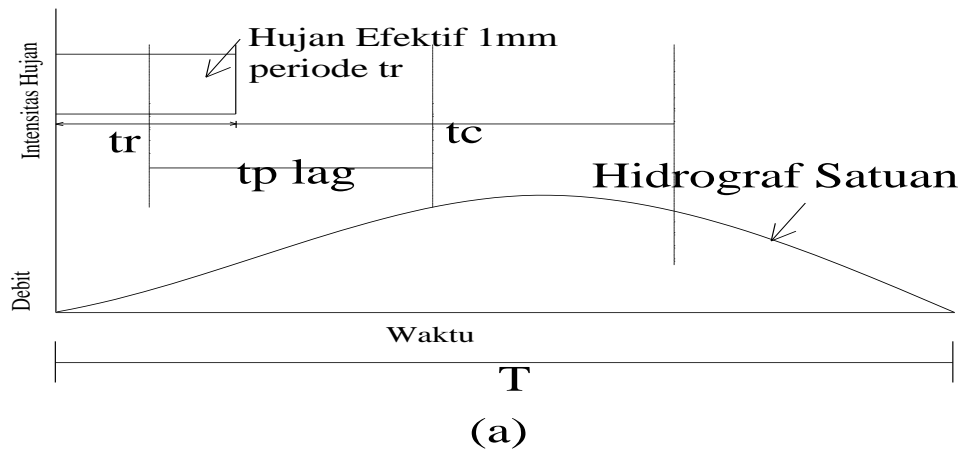
$$Q_p = \frac{1 \cdot A_{DAS}}{3,6 T_p \cdot A_{HSS}} \dots \dots \dots (3.27)$$

Cara Perhitungan Hidrograf Satuan Sintetis dengan Cara ITB

Untuk menganalisis hidrograf satuan sintetis pada suatu DAS dengan cara ITB perlu diketahui beberapa komponen penting pembentuk hidrograf satuan sintetis berikut

- 1) Tinggi dan Durasi Hujan Satuan.
- 2) Time Lag (TL), Waktu Puncak (Tp) dan Waktu Dasar (Tb),
- 3) Bentuk Hidrograf Satuan dan
- 4) Debit Puncak Hidrograf Satuan





Gambar 3.4 Grafik HSS ITB

Bentuk dasar hidrograf satuan

Prosedur umum yang diusulkan dapat mengadopsi berbagai bentuk dasar HSS yang akan digunakan. Beberapa bentuk HSS yang dapat digunakan antara lain adalah SCS Triangular, SCS Cuvilinear, USGS Nationwide SUH, Delmarvara, Fungsi Gamma dan lain-lain. Selain itu kami telah mengembangkan dua bentuk dasar HSS yang dapat digunakan yaitu bentuk HSS ITB-1 dan HSS ITB-2 sebagai berikut :

- a. HSS ITB-1 memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun seluruhnya yang dinyatakan dengan satu persamaan yang sama, yaitu;

$$q(t) = \exp\left(2 - t - \frac{1}{t}\right)^{\alpha C_p} \dots\dots\dots(3.28)$$

b. HSS ITB-2 memiliki persamaan lengkung naik dan lengkung turun yang dinyatakan dengan dua persamaan yang berbeda yaitu

1. Lengkung naik ($0 \leq t \leq 1$)

$$q(t) = t^\alpha \dots\dots\dots(3.29)$$

2. Lengkung turun ($t > 1$ s/d ∞) :

$$q(t) = \exp(1 - t^{\beta C_p}) \dots\dots\dots(3.30)$$

dimana $t = T/T_p$ dan $q = Q/Q_p$ masing-masing adalah waktu dan debit yang telah dinormalkan sehingga $t = T/T_p$ berharga antara 0 dan 1, sedang $q = Q/Q_p$. Berharga antara 0 dan ∞ (atau antara 0 dan 10 jika harga $T_b/T_p = 10$).

3.7 Stabilitas Bendung

3.7.1 Pengertian Stabilitas

Stabilitas bendung merupakan perhitungan konstruksi untuk menentukan ukuran bendung agar mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja padanya dalam segala keadaan, dalam hal ini termasuk terjadinya angin kencang dan gempa bumi hebat dan banjir besar. Syarat-syarat stabilitas konstruksi seperti lereng di sebelah hulu dan hilir bendung tidak mudah longsor, harus aman terhadap geseran, harus aman terhadap rembesan, dan harus aman terhadap penurunan bendung.

Perhitungan konstruksi yang dilakukan untuk menentukan dimensi/ ukuran bendung (*weir*) supaya mampu menahan muatan-muatan dan gaya-gaya yang bekerja pada bendung dalam keadaan apapun, termasuk banjir besar dan gempa bumi. Penyelidikan geologi teknik, ditujukan untuk mengetahui apakah pondasi bendung cukup kuat, apakah rembesan airnya tidak membahayakan konstruksi, dan apakah bendung akan dapat dioperasikan bagi penggunaan airnya dalam jangka waktu yang lama minimal 30 tahun (Mawardi & Memet, 2010).

3.7.2 Syarat-Syarat Stabilitas Bendung

Syarat-syarat stabilitas bendung antara lain:

1. Pada konstruksi batu kali dengan selimut beton, tidak boleh terjadi tegangan tarik.
2. Momen tahan lebih besar dari pada momen guling.
3. Konstruksi tidak boleh menggeser.
4. Tegangan tanah yang terjadi tidak boleh melebihi tegangan tanah yang diijinkan.
5. Setiap titik pada seluruh konstruksi harus tidak boleh terangkat oleh gaya ke atas (*balance*) antara tekanan ke atas dan tekanan ke bawah.

Stabilitas bendung akan terancam dari bahaya-bahaya sebagai berikut:

1. Bahaya geser/gelincir (*sliding*)
 - a. Sepanjang sendi horisontal atau hampir horisontal di atas pondasi.
 - b. Sepanjang pondasi.
 - c. Sepanjang kampuh horisontal atau hampir horisontal dalam pondasi.
2. Bahaya guling (*overturning*)
 - a. Di dalam bendung.
 - b. Pada dasar (*base*).
 - c. Pada bidang di bawah dasar.

Bendung dinyatakan stabil terhadap bahaya geser apabila hasil perbandingan antara jumlah gaya vertikal dikalikan sudut geser tanah dengan jumlah gaya-gaya horisontal harus lebih besar dari nilai keamanan yang ditentukan.

Bangunan akan aman terhadap guling, apabila semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang guling dan tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan manapun, tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur.

3.8 Analisis Stabilitas

3.8.1 Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan

Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan bendung dan mempunyai arti penting dalam perencanaan adalah:

- a. tekanan air, dalam dan luar
- b. tekanan lumpur (*sediment pressure*)
- c. gaya gempa
- d. berat bangunan
- e. reaksi pondasi.

3.8.2 Tekanan air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatis dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatis adalah fungsi kedalaman di bawah permukaan air. Tekanan air akan selalu bekerja tegak lurus terhadap muka bangunan. Oleh sebab itu agar perhitungannya lebih mudah, gaya horisontal dan vertikal dikerjakan secara terpisah.

Tekanan air dinamik jarang diperhitungkan untuk stabilitas bangunan bendung dengan tinggi energi rendah. Gaya tekan ke atas. Bangunan bendung mendapat tekanan air bukan hanya pada permukaan luarnya, tetapi juga pada dasarnya dan dalam tubuh bangunan itu. Gaya tekan ke atas, yakni istilah umum untuk tekanan air dalam, menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

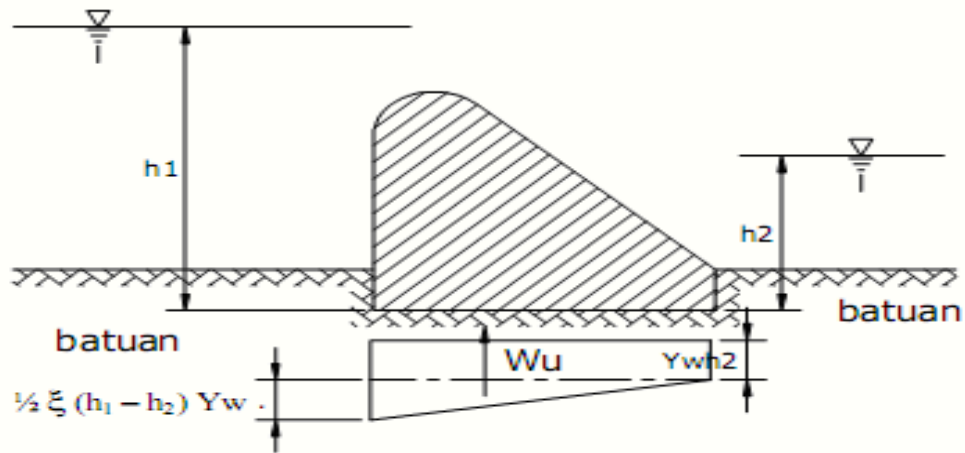
Rumus gaya tekan ke atas untuk bangunan yang didirikan pada pondasi batuan adalah (lihat Gambar 3.5):

$$W_u = C \tau_w \left(h_2 + \frac{1}{2} \zeta (h_1 - h_2) \right) \cdot A \dots\dots\dots(3.31)$$

Dengan:

- c = proporsi luas di mana tekanan hidrostatis bekerja
(c = 1, untuk semua tipe pondasi)
- τ_w = berat jenis air, kN/m³
- h₂ = kedalaman air hilir, m
- ζ = proporsi tekanan (proportion of net head)
- h₁ = kedalaman air hulu, m
- A = luas dasar, m²

W_u = gaya tekan ke atas resultante, kN



Gambar 3.5 Gaya angkat untuk bangunan yang dibangun pada pondasi buatan
 Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013.

Tabel 3.4 Harga-harga ξ

No	Tipe Pondasi batuan	ξ (Proporsi Tekanan)
1	Berlapis Horizontal	1,00
2	Sedang,pejal (<i>massive</i>)	0,67
3	Baik,pejal	0,50

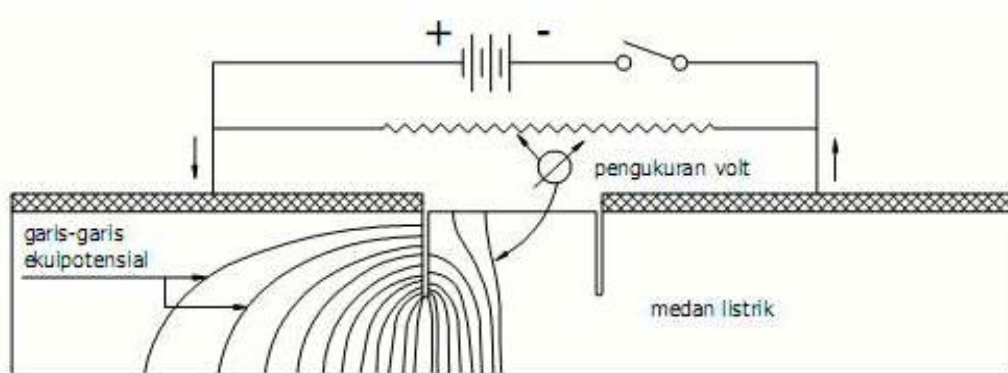
Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

Gaya tekan ke atas untuk bangunan pada permukaan tanah dasar (*subgrade*) lebih rumit. Gaya angkat pada pondasi itu dapat ditemukan dengan membuat jaringan aliran (*flownet*), atau dengan asumsi-asumsi yang digunakan oleh Lane untuk teori angka rembesan (*weighted creep theory*). Gaya tekan ke atas untuk bangunan pada permukaan tanah dasar (*subgrade*) lebih rumit. Gaya angkat pada pondasi itu dapat ditemukan dengan membuat jaringan aliran (*flownet*). Dalam hal ditemui kesulitan berupa keterbatasan waktu pengerjaan dan tidak tersedianya perangkat lunak untuk menganalisa jaringan aliran, maka perhitungan dengan asumsi-asumsi yang digunakan oleh Lane untuk teori angka rembesan (*weighted creep theory*) bisa diterapkan.

Jaringan aliran dapat dibuat dengan:

1. plot dengan tangan
2. analog listrik atau
3. menggunakan metode numeris (*numerical method*) pada komputer.

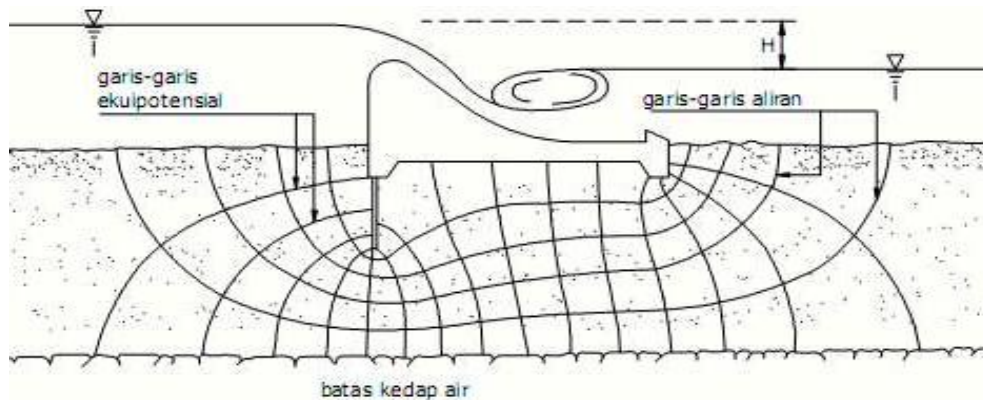
Dalam metode analog listrik, aliran air melalui pondasi dibandingkan dengan aliran listrik melalui medan listrik daya-antar konstan. Besarnya voltase sesuai dengan tinggi iezometrik, daya-antar dengan kelulusan tanah dan aliran listrik dengan kecepatan air (lihat Gambar 3.6) Untuk pembuatan jaringan aliran bagi bangunan utama yang dijelaskan disini, biasanya cukup diplot dengan tangan saja.



Gambar 3.6 Kontruksi jaringan aliran menggunakan analog listrik

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

Contoh jaringan aliran di bawah bendung pelimpah diberikan pada Gambar 3.7

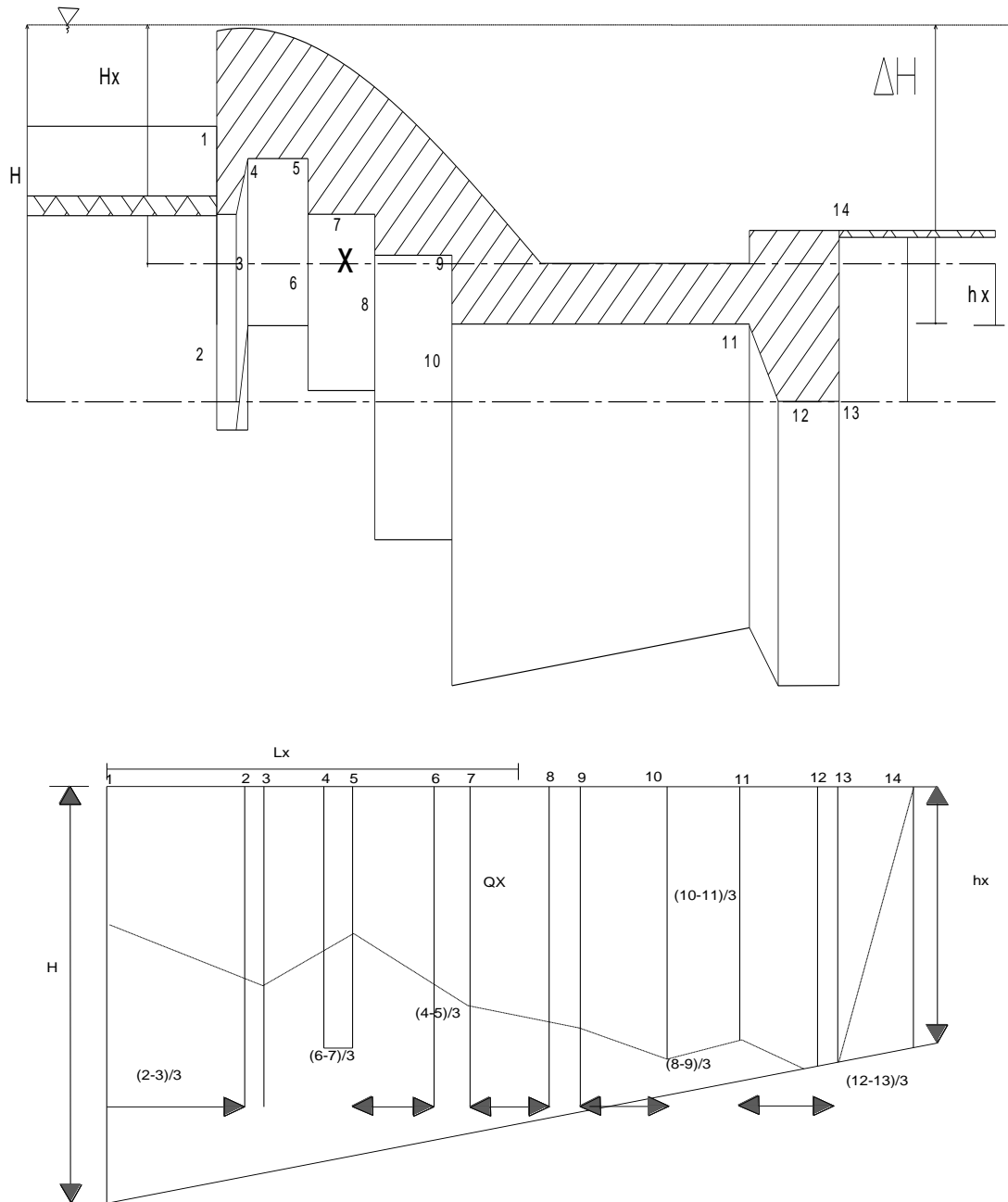


Gambar 3.7 Contoh jaringan aliran dibawah dam pasangan batu pada pasir

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02,2013

Dalam teori angka rembesan Lane, diandaikan bahwa bidang horisontal memiliki daya tahan terhadap aliran (rembesan) 3 kali lebih lemah dibandingkan dengan

bidang vertikal. Ini dapat dipakai untuk menghitung gaya tekan ke atas di bawah bendung dengan cara membagi beda tinggi energi pada bendung sesuai dengan panjang relatif di sepanjang pondasi



Gambar 3.8 Gaya angkat pada pondasi bendung

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02,2013

Dalam bentuk rumus, ini berarti bahwa gaya angkat pada titik x di sepanjang dasar bendung dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$P_x = Hx - \frac{Lx}{L} \Delta H \dots\dots\dots(3.32)$$

Dengan:

- P_x = gaya angkat pada x, kg/m²
- L = panjang total bidang kontak bendung dan tanah bawah, m
- L_x = jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai x, m
- ΔH = beda tinggi energi, m
- H_x = tinggi energi di hulu bendung, m

Dan di mana L dan L_x adalah jarak relatif yang dihitung menurut cara Lane, bergantung kepada arah bidang tersebut. Bidang yang membentuk sudut 45° atau lebih terhadap bidang horisontal, dianggap vertikal.

3.8.3 Tekanan lumpur

Tekanan lumpur yang bekerja terhadap muka hulu bendung atau terhadap pintu dapat dihitung sebagai berikut:

$$P_s = \frac{\tau_s h^2}{2} \left(\frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \right) \dots\dots\dots(3.33)$$

Dengan:

- P_s : gaya yang terletak pada 2/3 kedalaman dari atas lumpur yang bekerja secara horisontal
- τ_s : berat lumpur, kN
- h : dalamnya lumpur, m
- φ : sudut gesekan dalam, derajat.

Beberapa andaian/asumsi dapat dibuat seperti berikut:

$$\tau_s = \tau_s' \frac{G-1}{G} \dots\dots\dots(3.34)$$

Dengan:

$$\tau_s = \text{berat volume kering tanah} = 1.600 \text{ kgf/m}^3$$

$$G = \text{berat volume butir} = 2,65 \text{ menghasilkan } \tau_s = 1.000 \text{ kgf/m}^3$$

Sudut gesekan dalam, yang bisa diandaikan 30° untuk kebanyakan hal, menghasilkan:

$$p_s = 1,67 \cdot h^2 \dots\dots\dots(3.35)$$

3.8.4 Gaya gempa

Harga-harga gaya gempa diberikan dalam bagian Parameter Bangunan. Harga-harga tersebut didasarkan pada peta Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan risiko. Faktor minimum yang akan dipertimbangkan adalah 0,1 g (perapatan gravitasi) sebagai harga percepatan. Faktor ini hendaknya dipertimbangkan dengan cara mengalikannya dengan massa bangunan sebagai gaya horisontal menuju ke arah yang paling tidak aman, yakni arah hilir.

Koefisien gempa dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$a_d = n(a_c \cdot z)^m \dots\dots\dots(3.36)$$

$$E = \frac{a_d}{g} \dots\dots\dots(3.37)$$

Dengan :

a_d = percepatan gempa rencana, cm/dt^2

n, m = koefisien untuk jenis tanah (lihat Tabel 37)

a_c = percepatan kejut dasar, cm/dt^2 (untuk harga per periode ulang lihat Tabel-3.6).

E = koefisien gempa

g = percepatan gravitasi, cm/dt^2 ($\cong 980$)

z = faktor yang bergantung kepada letak geografis

Tabel 3.5 Koefisien jenis tanah

Jenis	n	m
Batu	2,76	0,71
Dilivium	0,87	1,05
Aluvium	1,56	0,89
Aluvium Lunak	0,29	1,32

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-06,2007

Tabel 3.6 Periode Ulang dan Percepatan dasar gempa,ac

No	Periode Ulang *) Tahun	ac*) (gal=cm/dt ²)
1	20	85
2	100	160
3	500	225
4	1000	275

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-06,2007

3.8.5 Berat bangunan

Berat bangunan ber gantung kepada bahan yang dipakai untuk membuat bangunan itu. Untuk tujuan-tujuan perencanaan pendahuluan, boleh dipakai harga-harga berat volume di bawah ini.

pasangan batu kali = 2.200 kgf/m³

beton tumbuk = 2.300 kgf/m³

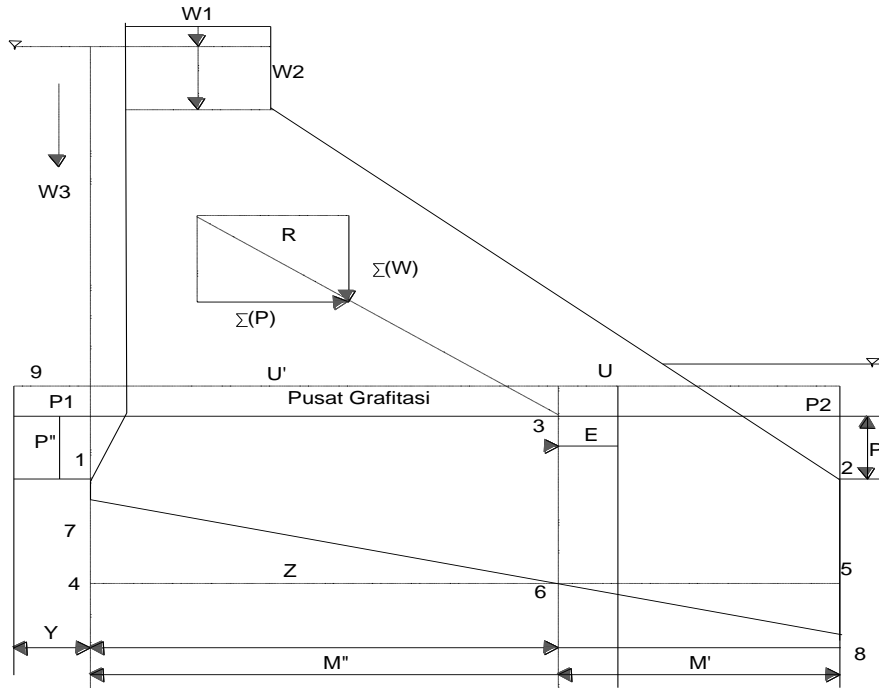
beton bertulang = 2.400 kgf/m³

Berat volume beton tumbuk ber gantung 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 = 2.400 kgf/m³.

3.8.6 Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi boleh diandaikan berbentuk trapesium dan tersebar secara linier.



Gambar 3.9 Unsur-unsur persamaan distribusi tekanan pada pondasi

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

Gambar 3.9 rumus-rumus berikut dapat diturunkan dengan mekanika sederhana.

Tekanan vertikal pondasi adalah:

$$p = \frac{\sum(W)}{A} + \frac{\sum(W).e}{I} m \dots\dots\dots(3.38)$$

dimana:

- p = Tekanan vertikal pondasi
- Σ (W) = keseluruhan gaya vertikal, termasuk tekanan ke atas
- A = luas dasar (m²)
- e = eksentrisitas pembebanan, atau jarak dari pusat gravitasi dasar (base) sampai titik potong *resultante* dengan dasar

I = momen kelembaban (moment of inertia) dasar di sekitar pusat gravitasi (kg.m^2)

m = jarak dari titik pusat luas dasar sampai ke titik Dengan tekanan dikehendaki

Untuk dasar segi empat dengan panjang l dan lebar $1,0$ m, $I = l^3/12$ dan $A = 1$, rumus tadi menjadi:

$$P = \frac{\sum(w)}{A} + \left\{1 + \frac{12e}{E^2} m\right\} \dots\dots\dots(3.39)$$

sedangkan tekanan vertikal pondasi pada ujung bangunan ditentukan dengan rumus:

$$P' = \frac{\sum(w)}{B} + \left\{1 + \frac{6e}{B}\right\} \dots\dots\dots(3.40)$$

dengan $m' = m'' = \frac{1}{2}l$

$$P'' = \frac{\sum(w)}{B} + \left\{1 + \frac{6e}{B}\right\} \dots\dots\dots(3.41)$$

Bila harga e dari Gambar 3.9 dan persamaan (3.39) lebih besar dari $1/6$, maka akan dihasilkan tekanan negatif pada ujung bangunan. Tekanan Tarik pada tanah pondasi tidak diizinkan, irisan yang mempunyai dasar segi empat sehingga resultante gayanya untuk semua sehingga kondisi pembebanan jatuh pada daerah inti.

3.9 Kebutuhan Stabilitas

Ada tiga penyebab runtuhnya bangunan gravitasi, yaitu:

- (1) gelincir (*sliding*)
 - (a) sepanjang sendi horisontal atau hampir horisontal di atas pondasi
 - (b) sepanjang pondasi, atau
 - (c) sepanjang kampuh horisontal atau hampir horisontal dalam pondasi.
- (2) guling (*overturning*)
 - (a) di dalam bendung
 - (b) pada dasar (base), atau
 - (c) pada bidang di bawah dasar.
- (3) erosi bawah tanah (*piping*).

3.9.1 Ketahanan terhadap gelincir

Ketahanan benung terhadap gelincir dinyatakan dengan besarnya tg , sudut antara garis vertikal dan resultante semua gaya, termasuk gaya angkat, yang bekerja pada bendung di atas semua bidang horisontal, harus kurang dari koefisien gesekan yang diizinkan pada bidang tersebut.

$$\frac{\sum(H)}{\sum(V-U)} = \tan\theta < \frac{f}{s} \dots\dots\dots(3.42)$$

Dengan:

$\Sigma(H)$ = keseluruhan gaya horizontal yang bekerja pada bangunan, kN

$\Sigma(V-U)$ = keseluruhan gaya vertikal (V), dikurangi gaya tekan ke atas yang bekerja pada bangunan, kN

θ = sudut resultante semua gaya, terhadap garis vertikal, derajat

f = koefisien gesekan

S = faktor keamanan

Harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan f diberikan pada Tabel 3.7

Tabel 3.7 Harga-harga perkiraan untuk koefisien gesekan

No	Bahan	f
1	Pasagan Batu pada pasangan batu	0,60-0,75
2	Batu keras berkualitas baik	0,75
3	Kerikil	0,50
4	Pasir	0,40
5	Lempung	0,30

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02,2013

Untuk bangunan-bangunan kecil, seperti bangunan-bangunan yang dibicarakan di sini, Dengan berkurangnya umur bangunan, kerusakan besar dan terjadinya bencana besar belum dipertimbangkan, harga-harga faktor keamanan (S) yang dapat diterima adalah: 2,0 untuk kondisi pembebanan normal dan 1,25 untuk kondisi pembebanan ekstrem. Kondisi pembebanan ekstrem dapat dijelaskan sebagai berikut:

- (1) Tak ada aliran di atas mercu selama gempa, atau
- (2) Banjir rencana maksimum.

Apabila, untuk bangunan-bangunan yang terbuat dari beton, harga yang aman untuk faktor gelincir yang hanya didasarkan pada gesekan saja (persamaan 3.40) ternyata terlampaui, maka bangunan bisa dianggap aman jika faktor keamanan dari rumus itu yang mencakup geser (persamaan 3.43), sama dengan atau lebih besar dari harga-harga faktor keamanan yang sudah ditentukan.

$$\Sigma H \leq \frac{f \Sigma (V-U) + c.A}{S} \dots\dots\dots(3.43)$$

Dengan:

c = satuan kekuatan geser bahan, kgf/m³

A = luas dasar yang dipertimbangkan, m²

Harga-harga faktor keamanan jika geser juga dicakup, sama dengan harga-harga yang hanya mencakup gesekan saja, yakni 2,0 untuk kondisi normal dan 1,25 untuk kondisi ekstrem. Untuk beton, c (satuan kekuatan geser) boleh diambil = 110 Tf/m². Persamaan 3.43 mungkin hanya digunakan untuk bangunan itu sendiri. Kalau rumus untuk pondasi tersebut akan digunakan, perencana harus yakin bahwa itu kuat dan berkualitas baik berdasarkan hasil pengujian. Untuk bahan pondasi nonkohesif, harus digunakan rumus yang hanya mencakup gesekan saja.

3.9.2 Ketahanan terhadap Guling

Agar bangunan aman terhadap guling, maka resultante semua gaya yang bekerja pada bagian bangunan di atas bidang horisontal, termasuk gaya angkat, harus memotong bidang ini pada teras. Tidak boleh ada tarikan pada bidang irisan mana pun.

Besarnya tegangan dalam bangunan dan pondasi harus tetap dipertahankan pada harga-harga maksimal yang dianjurkan. Harga-harga untuk beton adalah sekitar 40 kgf/cm², pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum 15 sampai 30 kgf/cm².

Tiap bagian bangunan diandaikan berdiri sendiri dan tidak mungkin ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (bending moment). Oleh sebab itu, tebal lantai kolam olak dihitung sebagai:

$$d_x \geq S \frac{(P_x - W_x)}{\tau} \dots\dots\dots(3.44)$$

Dengan:

d_x = tebal lantai pada titik x , m

P_x = gaya angkat pada titik x , kg/m^2

W_x = kedalaman air pada titik x , m

τ = berat jenis bahan, kg/m^3

S = faktor keamanan (= 1,5 untuk kondisi normal, 1,25 untuk kondisi ekstrem)

3.9.3 Stabilitas terhadap erosi bawah tanah (*piping*)

Bangunan-bangunan utama seperti bendung tetap dan bendung gerak harus dicek stabilitasnya terhadap erosi bawah tanah dan bahaya runtuh akibat naiknya dasar galian (*heave*) atau rekahnya pangkal hilir bangunan.

Bahaya terjadinya erosi bawah tanah dapat dianjurkan dicek dengan jalan membuat jaringan aliran/*flownet*. Dalam hal ditemui kesulitan berupa keterbatasan waktu pengerjaan dan tidak tersedianya perangkat lunak untuk menganalisa jaringan aliran, maka perhitungan dengan beberapa metode empiris dapat diterapkan, seperti:

- ❖ Metode Bligh
- ❖ Metode Lane
- ❖ Metode Koshia

Metode Lane, disebut metode angka rembesan Lane (*weighted creep ratio method*), adalah yang dianjurkan untuk mengecek bangunan-bangunan utama untuk mengetahui adanya erosi bawah tanah. Metode ini memberikan hasil yang aman dan mudah dipakai. Untuk bangunan-bangunan yang relatif kecil, metode-metode lain mungkin dapat memberikan hasil-hasil yang lebih baik, tetapi penggunaannya lebih sulit.

Metode Lane memanfaatkan Tabel 3.8. dan membandingkan panjang jalur rembesan di bawah bangunan di sepanjang bidang kontak bangunan/pondasi dengan beda tinggi muka air antara kedua sisi bangunan.

Di sepanjang jalur perkolasi ini, kemiringan yang lebih curam dari 45°

dianggap vertikal dan yang kurang dari 45° dianggap horisontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat daripada jalur horisontal. Oleh karena itu, rumusnya adalah:

$$C_L = \frac{\sum LV + \frac{1}{3} \sum LH}{H} \dots\dots\dots(3.45)$$

Dengan:

CL = Angka rembesan Lane (lihat Tabel 3.10)

ΣLV = jumlah panjang vertikal, m

Σ LH = jumlah panjang horisontal, m

H = beda tinggi muka air,

Tabel 3.8 Harga-harga minimum angka rembesan Lane (CL)

No	Bahan	
1	Pasir sangat halus atau lanau	8,5
2	Pasir halus	7,0
3	Pasir sedang	6,0
4	Pasir kasar	5,0
5	Kerikil halus	4,0
6	kerikillsedang	3,5
7	Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
8	Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
9	Lempung Lunak	3,0
10	Lempung sedang	2,0
11	Lempung Sedang	1,8
12	Lempung sangat keras	1,6

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02,2013

Angka-angka rembesan pada Tabel 3.8 di atas sebaiknya dipakai:

- a. 100% jika tidak dipakai pembuang, tidak dibuat jaringan aliran dan tidak dilakukan penyelidikan dengan model;
- b. 80% kalau ada pembuangan air, tapi tidak ada penyelidikan maupun

jaringan aliran;

c. 70% bila semua bagian tercakup.

Menurut Creagen, Justin dan Hinds, hal ini menunjukkan diperlukannya keamanan yang lebih besar jika telah dilakukan penyelidikan detail. Untuk mengatasi erosi bawah tanah elevasi dasar hilir harus diasumsikan pada pangkal koperan hilir. Untuk menghitung gaya tekan ke atas, dasar hilir diasumsikan di bagian atas ambang ujung.

Keamanan terhadap rekah bagian hilir bangunan bisa dicek dengan rumus berikut:

$$S = \frac{s \left(1 + \frac{a}{s} \right)}{h_s} \dots\dots\dots(3.46)$$

Dengan:

S = faktor keamanan

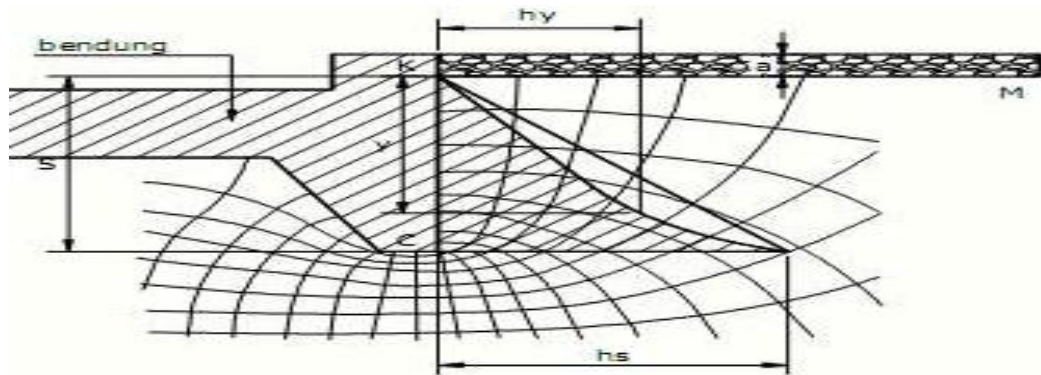
s = kedalaman tanah, m

a = tebal lapisan pelindung, m

hs = tekanan air pada kedalaman s, kg/m²

Gambar 3.10 memberikan penjelasan simbol-simbol yang digunakan. Tekanan air pada titik C dapat ditemukan dari jaringan aliran atau garis angka rembesan Lane.

Rumus di atas mengandaikan bahwa volume tanah di bawah air dapat diambil 1 ($\tau_w = \tau_s = 1$). Berat volume bahan lindung di bawah air adalah 1. Harga keamanan S sekurang-kurangnya 2.



Gambar 3.10 Ujung hilir bangunan; sketsa parameter-parameter stabilitas

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02, 2013

3.10 Detail Bangunan Bendung

3.10.1 Dinding penahan

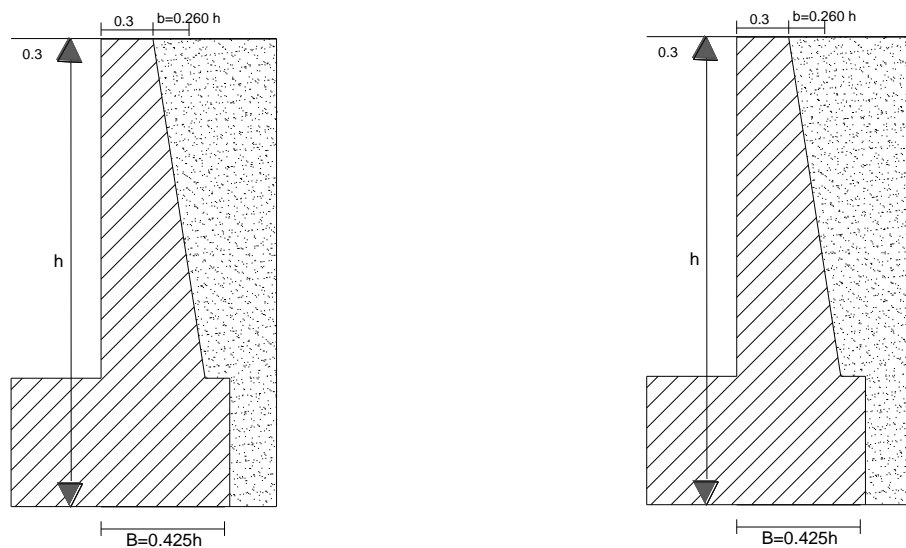
Dinding penahan gravitasi setinggi tidak lebih dari 3 m bisa direncana dengan potongan melintang empiris seperti diberikan pada Gambar 3.11 dengan;

$$b = 0,260 h \text{ untuk dinding dengan bagian depan vertikal}$$

$$B = 0,425 h$$

$$b = 0,230 h \text{ untuk dinding dengan bagian depan kurang dari } 1:1/3$$

$$B = 0,460 h.$$



Gambar 3.11 Dinding penahan gravitasi penahan batu

Dinding penahan yang lebih tinggi dan dinding penahan yang mampu menahan momen lentur (beton bertulang atau pelat pancang baja) harus direncana berdasarkan hasil-hasil perhitungan stabilitas. Perhitungan pembebanan tanah dan stabilitas di belakang dinding penahan dijelaskan dalam KP-06 Parameter Bangunan.

Karena dinding penahan di sebelah hulu bangunan utama mungkin tidak dilengkapi dengan sarana-sarana pembuang akibat adanya bahaya rembesan, maka dalam melakukan perhitungan kita hendaknya mengandaikan tekanan air penuh di belakang dinding.

3.10.2 Perlindungan terhadap erosi bawah tanah

Untuk melindungi bangunan dari bahaya erosi bawah tanah, ada beberapa cara yang bisa ditempuh. Kebanyakan bangunan hendaknya menggunakan kombinasi beberapa konstruksi lindung.

Pertimbangan utama dalam membuat lindungan terhadap erosi bawah tanah adalah mengurangi kehilangan beda tinggi energi per satuan panjang pada jalur rembesan serta ketidakterusan (*discontinuities*) pada garis ini.

Dalam perencanaan bangunan, pemilihan konstruksi-konstruksi lindung berikut dapat dipakai sendiri-sendiri atau dikombinasi dengan:

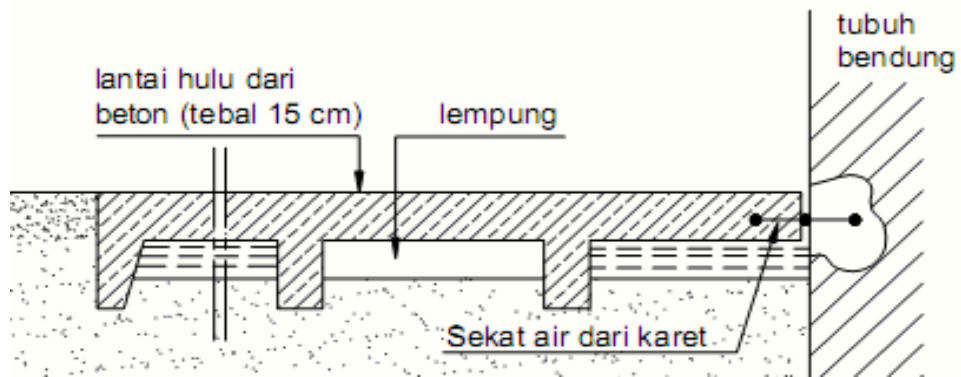
- ❖ lantai hulu
- ❖ dinding halang
- ❖ filter pembuang
- ❖ konstruksi pelengkap.

Penting disadari bahwa erosi bawah tanah adalah masalah tiga dimensi dan bahwa semua konstruksi lindung harus bekerja ke semua arah dan oleh sebab itu termasuk pangkal bendung (*abutment*) dan bangunan pengambilan

❖ Lantai hulu

Lantai hulu akan memperpanjang jalur rembesan. Karena gaya tekan ke atas di bawah lantai diimbangi oleh tekanan air di atasnya, maka lantai dapat dibuat tipis.

Persyaratan terpenting adalah bahwa lantai kedap air, demikian pula sambungannya dengan tubuh bendung. Sifat kedap air ini dapat dicapai dengan foil plastik atau lempung kedap air di bawah lantai dan sekat karet yang menghubungkan lantai dan tubuh bendung. Contoh sambungan yang dianjurkan antara lantai dan tubuh bendung diberikan pada Gambar 3.12



Gambar 3.12 Lantai hulu

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02

Salah satu penyebab utama runtuhnya konstruksi ini adalah bahaya penurunan tidak merata (diferensial) antara lantai dan tubuh bendung.

Oleh sebab itu, sambungan harus direncana dan dilaksanakan dengan amat hati-hati. Lantai itu sendiri dapat dibuat dari beton bertulang dengan tebal 0,10 m, atau pasangan batu setebal 0,20 – 0,25 m. Adalah penting untuk menggunakan sekat air dari karet yang tidak akan rusak akibat adanya penurunan tidak merata.

Keuntungan dari pembuatan lantai hulu adalah bahwa biayanya lebih murah dibanding dinding halang vertikal yang dalam, karena yang disebut terakhir ini memerlukan engeringan dan penggalian. Tapi, sebagaimana dikemukakan oleh Lane dalam teorinya, panjang horisontal rembesan adalah 3 kali kurang efektif dibanding panjang vertikal dengan panjang yang sama.

❖ Dinding halang (Cut-off)

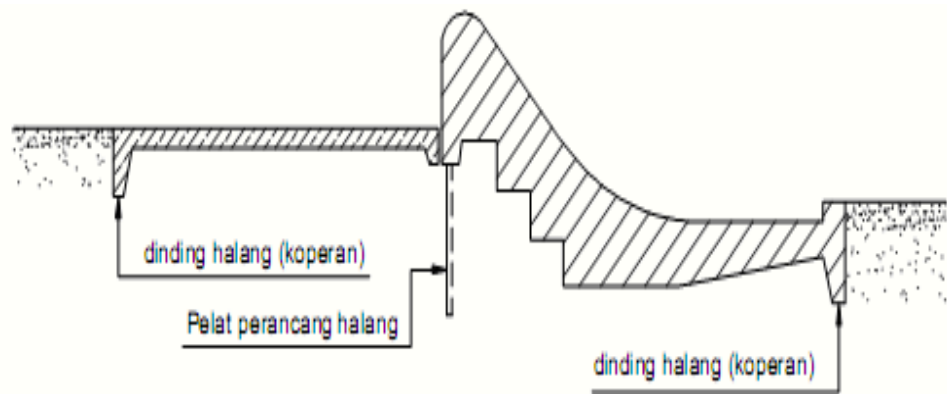
Dinding halang bisa berupa dinding beton bertulang atau pasangan batu, inti tanah kedap air atau pudel atau dengan pelat pancang baja atau kayu. Pelat pancang mahal dan harus dibuat dengan hati-hati untuk menciptakan kondisi yang benar-benar tertutup. Terdapatnya batu-batu besar atau kerikil kasar di dasar sungai tidak menguntungkan untuk

pelat pancang yang kedap air. Tanah yang paling cocok untuk pelat pancang adalah tanah berbutir halus dan tanah berlapis horisontal.

Pudel yang baik atau inti tanah kedap air bisa merupakan dinding halang yang baik sekali, tapi sulit disambung ke bangunan itu sendiri.

Metode yang dianjurkan untuk membuat dinding halang adalah dengan beton bertulang atau pasangan batu.

Agar gaya tekan ke atas pada bangunan dapat sebanyak mungkin dikurangi, maka tempat terbaik untuk dinding halang adalah di ujung hulu bangunan, yaitu di pangkal(awal) lantai hulu atau di bawah bagian depan tubuh bendung. (lihat Gambar 3.13).



Gambar 3.13 Dinding-dining halang di bawah lantai hulu atau tubuh bendung

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02

❖ Alur pembuang/Filter

Alur pembuang dibuat untuk mengurangi gaya angkat di bawah kolam olak bendung pelimpah karena di tempat-tempat ini tidak cukup tersedia berat pengimbang dari tubuh bendung.

Untuk mencegah hilangnya bahan padat melalui pembuang ini, konstruksi sebaiknya dibuat dengan filter yang dipasang terbalik dari kerikil atau pasir bergradasi baik atau bahan filter sintetis.

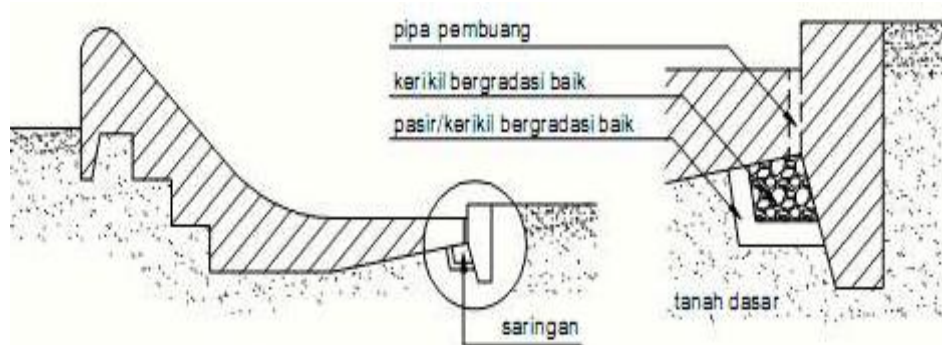
Gambar 3.14 memperlihatkan lokasi yang umum dipilih untuk

menempatkan filter serta detail konstruksinya.

❖ Konstruksi pelengkap

Jika bagian-bagian bendung mempunyai kedalaman pondasi yang berbeda-beda, maka ada bahaya penurunan tidak merata yang mengakibatkan retak-retak dan

terjadinya jalur-jalur pintasan erosi bawah tanah. Adalah penting untuk mencek kemungkinan-kemungkinan ini, serta memantapkan konstruksi di tempat-tempat ini, jika diperlukan.



Gambar 3.14 Alur pembuang filter di bawah kolam olah

Sumber : Standar Perencanaan Irigasi KP-02

Selama pelaksanaan perlu selalu diingat untuk membuat sambungan yang bagus antara bangunan dan tanah bawah. Jika tanah bawah menjadi jenuh air akibat hujan, maka lapisan atas ini harus ditangani sedemikian sehingga mencegah kemungkinan terjadinya erosi bawah tanah atau jalur gelincir (*sliding path*).