KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
DIREKTORAT IRIGASI DAN RAWA

STANDAR PERENCANAAN IRIGASI

KRITERIA PERENCANAAN
BAGIAN

BANGUNAN UTAMA (HEAD WORKS) KP-02

2013

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
DIREKTORAT IRIGASI DAN RAWA

STANDAR PERENCANAAN IRIGASI

KRITERIA PERENCANAAN
BAGIAN
BAGUNAN UTAMA
(*HEAD WORKS*)
KP-02

2013

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM
DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR
S A M B U T A N

Keberadaan sistem irigasi yang handal merupakan sebuah syarat mutlak bagi terselenggaranya sistem pangan nasional yang kuat dan penting bagi sebuah negara. Sistem Irigasi merupakan upaya yang dilakukan oleh manusia untuk memperoleh air dengan menggunakan bangunan dan saluran buatan untuk mengairi lahan pertaniannya. Upaya ini meliputi prasarana irigasi, air irigasi, manajemen irigasi, kelembagaan pengelolaan irigasi dan sumber daya manusia. Terkait prasarana irigasi, dibutuhkan suatu perencanaan yang baik, agar sistem irigasi yang dibangun merupakan irigasi yang efektif, efisien dan berkelanjutan, sesuai fungsinya mendukung produktivitas usaha tani.

Pengembangan irigasi di Indonesia yang telah berjalan lebih dari satu abad, telah memberikan pengalaman yang berharga dan sangat bermanfaat dalam kegiatan pengembangan irigasi di masa mendatang. Pengalaman–pengalaman tersebut didapatkan dari pelaksanaan tahap studi, perencanaan hingga tahap pelaksanaan dan lanjut ke tahap operasi dan pemeliharaan.

Hasil pengalaman pengembangan irigasi sebelumnya, Direktorat Jenderal Pengairan telah berhasil menyusun suatu Standar Perencanaan Irigasi, dengan harapan didapat efisiensi dan keseragaman perencanaan pengembangan irigasi. Setelah pelaksanaan pengembangan irigasi selama hampir dua dekade terakhir, dirasa perlu untuk melakukan *review* dengan memperhatikan kekurangan dan kesulitan dalam penerapan standar tersebut, perkembangan teknologi pertanian, isu lingkungan (seperti pemanasan global dan perubahan iklim), kebijakan partisipatif, irigasi hemat air, serta persiapan menuju irigasi modern (efektif, efisien dan berkesinambungan).

Setelah melalui proses pengumpulan data, diskusi ahli dan penelitian terhadap pelaksanaan Standar Perencanaan Irigasi terdahulu serta hasil perencanaan yang telah dilakukan, maka Direktorat Jenderal Sumber Daya Air menyusun suatu **Kriteria Perencanaan Irigasi** yang merupakan hasil *review* dari Standar Perencanaan Irigasi.

Dengan tersedianya Kriteria Perencanaan Irigasi, diharapkan para perencana irigasi mendapatkan manfaat yang besar, terutama dalam keseragaman pendekatan konsep desain, sehingga tercipta keseragaman dalam konsep perencanaan.

Penggunaan Kriteria Perencanaan Irigasi merupakan keharusan untuk dilaksanakan oleh pelaksana perencanaan di lingkungan Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. Penyimpangan dari standar ini hanya dimungkinkan dengan izin dari Pembina Kegiatan Pengembangan Irigasi.

Akhirnya, diucapkan selamat atas terbitnya Kriteria Perencanaan Irigasi, dan patut diberikan penghargaan sebesar–besarnya kepada para narasumber dan editor untuk sumbang saran serta ide pemikirannya bagi pengembangan standar ini.

Jakarta, Februari 2013

Direktur Jenderal Sumber Daya Air

DR. Ir. Moh. Hasan, Dipl.HE

NIP. 19530509 197811 1001

KATA PENGANTAR

Setelah melalui proses pengumpulan data, diskusi ahli dan penelitian terhadap pelaksanaan Standar Perencanaan Irigasi terdahulu serta hasil perencanaan yang telah dilakukan, maka Direktorat Jenderal Sumber Daya Air menyusun suatu **Kriteria Perencanaan Irigasi** yang merupakan hasil *review* dari Standar Perencanaan Irigasi edisi sebelumnya dengan menyesuaikan beberapa parameter serta menambahkan perencanaan bangunan yang dapat meningkatan kualitas pelayanan bidang irigasi. **Kriteria Perencanaan Irigasi** ini telah disiapkan dan disusun dalam 3 kelompok:

1. Kriteria Perencanaan (KP-01 s.d KP-09)
2. Gambar Bangunan irigasi (BI-01 s.d BI-03)
3. Persyaratan Teknis (PT-01 s.d PT-04)

Semula Kriteria Perencanaan hanya terdiri dari 7 bagian (KP – 01 s.d KP – 07). Saat ini menjadi 9 bagian dengan tambahan KP – 08 dan KP – 09 yang sebelumnya merupakan Standar Perencanaan Pintu Air Irigasi. *Review* ini menggabungkan Standar Perencanaan Pintu Air Irigasi kedalam 9 Kriteria Perencanaan sebagai berikut:

KP – 01	Perencanaan Jaringan Irigasi
KP – 02	Bangunan Utama (*Head Works*)
KP – 03	Saluran
KP – 04	Bangunan
KP – 05	Petak Tersier
KP – 06	Parameter Bangunan
KP – 07	Standar Penggambaran
KP – 08	Standar Pintu Pengatur Air Irigasi: Perencanaan, Pemasangan, Operasi dan Pemeliharaan
KP – 09	Standar Pintu Pengatur Air Irigasi: Spesifikasi Teknis

Gambar Bangunan Irigasi terdiri atas 3 bagian, yaitu:

(i) Tipe Bangunan Irigasi, yang berisi kumpulan gambar-gambar contoh sebagai informasi dan memberikan gambaran bentuk dan model bangunan, pelaksana perencana masih harus melakukan usaha khusus berupa analisis, perhitungan dan penyesuaian dalam perencanan teknis.

(ii) Standar Bangunan Irigasi, yang berisi kumpulan gambar-gambar bangunan yang telah distandarisasi dan langsung bisa dipakai.

(iii) Standar Bangunan Pengatur Air, yang berisi kumpulan gambar-gambar bentuk dan model bangunan pengatur air.

Persyaratan Teknis terdiri atas 4 bagian, berisi syarat-syarat teknis yang minimal harus dipenuhi dalam merencanakan pembangunan Irigasi. Tambahan persyaratan dimungkinkan tergantung keadaan setempat dan keperluannya. Persyaratan Teknis terdiri dari bagian-bagian berikut:

PT – 01 Perencanaan Jaringan Irigasi

PT – 02 Topografi

PT – 03 Penyelidikan Geoteknik

PT – 04 Penyelidikan Model Hidrolis

Meskipun Kriteria Perencanaan Irigasi ini, dengan batasan-batasan dan syarat berlakunya seperti tertuang dalam tiap bagian buku, telah dibuat sedemikian sehingga siap pakai untuk perencana yang belum memiliki banyak pengalaman, tetapi dalam penerapannya masih memerlukan kajian teknik dari pemakainya. Dengan demikian siapa pun yang akan menggunakan Kriteria Perencanaan Irigasi ini tidak akan lepas dari tanggung jawabnya sebagai perencana dalam merencanakan bangunan irigasi yang aman dan memadai.

Setiap masalah di luar batasan-batasan dan syarat berlakunya Kriteria Perencanaan Irigasi, harus dikonsultasikan khusus dengan badan-badan yang ditugaskan melakukan pembinaan keirigasian, yaitu:

1. Direktorat Irigasi dan Rawa
2. Puslitbang Air

Hal yang sama juga berlaku bagi masalah-masalah, yang meskipun terletak dalam batas-batas dan syarat berlakunya standar ini, mempunyai tingkat kesulitan dan kepentingan yang khusus.

Semoga Kriteria Perencanaan Irigasi ini bermanfaat dan memberikan sumbangan dalam pengembangan irigasi di Indonesia. Kami sangat mengharapkan kritik dan saran untuk perbaikan ke arah kesempurnaan Kriteria Perencanaan Irigasi.

Jakarta, Februari 2013

Direktur Irigasi dan Rawa

Ir. Imam Agus Nugroho, Dipl.HE

NIP. 19541006 198111 1001

KEMENTERIAN PEKERJAAN UMUM

DIREKTORAT JENDERAL SUMBER DAYA AIR

TIM PERUMUS *REVIEW* KRITERIA PERENCANAAN IRIGASI

No.	Nama	Keterangan
1.	Ir. Imam Agus Nugroho, Dipl. HE	Pengarah
2.	Ir. Adang Saf Ahmad, CES	Penanggung Jawab
3.	Ir. Bistok Simanjuntak, Dipl. HE	Penanggung Jawab
4.	Ir. Widiarto, Sp.1	Penanggung Jawab
5.	Ir. Bobby Prabowo, CES	Koordinator
6.	Tesar Hidayat Musouwir, ST, MBA, M.Sc	Koordinator
7.	Nita Yuliati, ST, MT	Pelaksana
8.	Bernard Parulian, ST	Pelaksana
9.	DR. Ir. Robert J. Kodoatie, M.Eng	Editor
10.	DR. Ir. Soenarno, M.Sc	Narasumber
11.	Ir. Soekrasno, Dipl. HE	Narasumber
12.	Ir. Achmad Nuch, Dipl. HE	Narasumber
13.	Ir. Ketut Suryata	Narasumber
14.	Ir. Sudjatmiko, Dipl. HE	Narasumber
15.	Ir. Bambang Wahyudi, MP	Narasumber

Jakarta, Januari 2013

Direktur Jenderal Sumber Daya Air

DR. Ir. Moh. Hasan, Dipl.HE

NIP. 19530509 197811 1001

DAFTAR ISI

S A M B U T A N ..... **iii**

KATA PENGANTAR ..... **v**

TIM PERUMUS *REVIEW* KRITERIA PERENCANAAN IRIGASI ..... **ix**

DAFTAR ISI ..... **xi**

DAFTAR TABEL ..... **xvii**

DAFTAR GAMBAR ..... **xix**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Umum 1
1.2 Definisi 1
1.3 Kesahihan/Validitas 1
1.4 Jenis-Jenis Bangunan Utama 2
1.4.1 Bendung Tetap 2
1.4.2 Bendung Gerak Vertikal 3
1.4.3 Bendung Karet (Bendung Gerak Horisontal) 4
1.4.4 Bendung Saringan Bawah 4
1.4.5 Pompa 5
1.4.6 Pengambilan Bebas 5
1.4.7 Bendung Tipe Gergaji 6
1.5 Bagian-Bagian Bangunan Utama 6
1.5.1 Bangunan Bendung 8
1.5.2 Pengambilan 9
1.5.3 Pembilas 9
1.5.4 Kantong Lumpur 13
1.5.5 Bangunan Perkuatan Sungai 13
1.5.6 Bangunan Pelengkap 13

BAB II DATA **15**

2.1 Pendahuluan 15
2.2 Data Kebutuhan Air Multisektor 16
2.3 Data Topografi 17
2.4 Data Hidrologi 18
2.4.1 Debit Banjir 18
2.4.2 Debit Andalan 19
2.4.3 Neraca Air 20
2.5 Data Morfologi 20
2.5.1 Morfologi 20
2.5.2 Geometrik Sungai 21

2.6 Data Geologi Teknik 21
2.6.1 Geologi 21
2.6.2 Data Mekanika Tanah 22

BAB III BANGUNAN BENDUNG 23

3.1 Umum 23
3.2 Syarat-syarat Penentuan Lokasi Bendung 23
3.2.1 Kemiringan Dasar Sungai dan Bahan Dasar 31
3.2.2 Morfologi Sungai 35
3.3 Muka Air 37
3.4 Topografi 38
3.5 Kondisi Geologi Teknik 38
3.6 Metode Pelaksanaan 39
3.7 Aksesibilitas dan Tingkat Pelayanan 40
3.8 Tipe Bangunan 40
3.8.1 Umum 40
3.8.2 Bangunan Pengatur Muka Air 42
3.8.3 Bangunan-Bangunan Muka Air Bebas 44

BAB IV PERENCANAAN HIDROLIS 47

4.1 Umum 47
4.2 Bendung Pelimpah 47
4.2.1 Lebar Bendung 47
4.2.2 Perencanaan Mercu 50
4.2.3 Pelimpah Gigi Gergaji 60
4.2.4 Tata Letak dan Bentuk Gigi Gergaji 61
4.2.5 Pangkal Bendung 63
4.2.6 Peredam Energi 64
4.2.7 Kolam Loncat Air 66
4.2.8 Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam 71
4.2.9 Kolam *Vlugter* 75
4.2.10 Modifikasi Peredam Energi 76
4.3 Bendung Gerak 85
4.3.1 Pengaturan Muka Air 85
4.3.2 Tata Letak 86
4.3.3 Pintu 87
4.3.4 Bangunan Pelengkap Bendung Gerak 89
4.4 Bendung Karet 90
4.4.1 Lebar Bendung 90
4.4.2 Perencanaan Mercu (Tabung Karet) 91
4.4.3 Pembendungan 93
4.4.4 Penampungan dan Pelepasan 94
4.4.5 Peredaman Energi 94

4.4.6 Panjang Lantai Hilir Bendung 94
4.5 Pompa 96
4.5.1 Tata Letak 96
4.5.2 Bangunan Pelengkap Pompa 96
4.5.3 Tenaga Pompa 97
4.6 Bendung Saringan Bawah 101
4.6.1 Tata Letak 101
4.6.2 Bangunan Pelengkap Bendung Saringan Bawah 105
4.7 Pengambilan Bebas 106

BAB V BANGUNAN PENGAMBILAN DAN PEMBILAS 109

5.1 Tata Letak 109
5.2 Bangunan Pengambilan 109
5.3 Pembilas 113
5.4 Pembilas Bawah 116
5.5 Pintu 120
5.5.1 Umum 120
5.5.2 Pintu Pengambilan 122
5.5.3 Pintu Bilas 124

BAB VI PERENCANAAN BANGUNAN 127

6.1 Umum 127
6.2 Penggunaan Bahan Khusus 127
6.2.1 Lindungan Permukaan 127
6.2.2 Lindungan dari Pasangan Batu Kosong 128
6.2.3 *Filter* 129
6.2.4 Bronjong 131
6.3 Bahan Pondasi 132
6.4 Analisis Stabilitas 134
6.4.1 Gaya-Gaya yang Bekerja pada Bangunan 134
6.4.2 Tekanan Air 134
6.4.3 Tekanan Lumpur 139
6.4.4 Gaya Gempa 139
6.4.5 Berat Bangunan 140
6.4.6 Reaksi Pondasi 140
6.4.7 Analisa Stabilitas Bendung Karet 142
6.5 Kebutuhan Stabilitas 143
6.5.1 Ketahanan Terhadap Gelincir 143
6.5.2 Guling 145
6.5.3 Stabilitas Terhadap Erosi Bawah Tanah (*Piping*) 146
6.5.4 Perencanaan Kekuatan Tubuh Bendung dari Tabung Karet 149
6.6 Detail Bangunan 152
6.6.1 Dinding Penahan 152

6.6.2 Perlindungan Terhadap Erosi Bawah Tanah 155
6.6.3 Peredam Energi.....158

BAB VII PERENCANAAN KANTONG LUMPUR 159

7.1 Pendahuluan 159
7.2 Sedimen.....159
7.3 Kondisi-Kondisi Batas 160
7.3.1 Bangunan Pengambilan 160
7.3.2 Jaringan Saluran 161
7.3.3 Topografi 162
7.4 Dimensi Kantong Lumpur.....162
7.4.1 Panjang dan Lebar Kantong Lumpur.....163
7.4.2 Volume Tampungan 165
7.5 Pembersihan 168
7.5.1 Pembersihan Secara Hidrolis.....168
7.5.2 Pembersihan Secara Manual/Mekanis 171
7.6 Pencekan Terhadap Berfungsinya Kantong Lumpur 172
7.6.1 Efisiensi Pengendapan 172
7.6.2 Efisiensi Pembilasan.....175
7.7 Tata Letak Kantong Lumpur, Pembilas dan Pengambilan di Saluran Primer 175
7.7.1 Tata Letak 175
7.7.2 Pembilas.....177
7.7.3 Pengambilan saluran primer 179
7.7.4 Saluran Pembilas 180
7.8 Perencanaan Bangunan 180

BAB VIII PENGATURAN SUNGAI DAN BANGUNAN PELENGKAP 181

8.1 Lindungan Terhadap Gerusan 181
8.1.1 Lindungan Dasar Sungai.....181
8.1.2 Lindungan Tanggul Sungai.....182
8.2 Tanggul 186
8.2.1 Panjang dan Elevasi.....186
8.2.2 Arah Poros 187
8.2.3 Tinggi Jagaan.....187
8.2.4 Potongan Melintang.....187
8.2.5 Pembuang 188
8.3 Sodetan Sungai.....189

BAB IX PENYELIDIKAN MODEL HIDROLIS 193

9.1 Umum.....193
9.2 Penyelidikan Model untuk Bangunan Bendung.....194
9.2.1 Lokasi dan Tata Letak 194

9.2.2 Pekerjaan Pengaturan Sungai 195
9.2.3 Bentuk Mercu Bendung Pelimpah 196
9.2.4 Pintu Bendung Gerak dan Bentuk Ambang 197
9.2.5 Kolam Olak 198
9.2.6 Eksploitasi Pintu Bendung Gerak 199
9.2.7 Pengambilan dan Pembilas 199
9.2.8 Saluran Pengarah dan Kantong Lumpur 199
9.3 Kriteria untuk Penyelidikan dengan Model 200

BAB X METODE PELAKSANAAN 203

10.1 Umum 203
10.2 Pelaksanaan di Sungai 203
10.3 Pelaksanaan di Tempat Kering 205

DAFTAR PUSTAKA 207

LAMPIRAN I 209

LAMPIRAN II 211

LAMPIRAN III 213

DAFTAR TABEL

Tabel 4-1. Harga-Harga Koefisien K_a dan K_p 49
Tabel 4-2. Harga-Harga K dan n.....55
Tabel 4-3. Berkurangnya Efisiensi Mesin 98
Tabel 4-4. Kebutuhan Bahan Bakar Maksimum untuk Stasiun Pompa yang Baik ...100
Tabel 4-5. Harga-Harga c yang Bergantung Kepada Kemiringan Saringan (*Frank*) 104
Tabel 6-1. Harga-Harga Perkiraan Daya Dukung yang Diizinkan (Disadur dari *British Standard Code of Practice CP 2004*) 133
Tabel 6-2. Sudut Gesekan dalam φ dan Kohesi c.....133
Tabel 6-3. Harga-Harga ξ 135
Tabel 6-4. Harga-Harga Perkiraan untuk Koefisien Gesekan 144
Tabel 6-5. Harga-Harga Minimum Angka Rembesan *Lane* (C_L).....148
Tabel 8-1. Harga-Harga Kemiringan Talut untuk Tanggul Tanah Homogen (Menurut USBR,1978). 188

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1-1. Bangunan Utama 7
Gambar 1-2. Denah dan Potongan Melintang Bendung Gerak dan Potongan Melintang Bendung Saringan Bawah 11
Gambar 1-3. Pengambilan dan Pembilas 12
Gambar 3-1. Ruas-Ruas Sungai 32
Gambar 3-2. Akibat Banjir Lahar 32
Gambar 3-3. Agradasi dan Degradasi 33
Gambar 3-4. Pengaruh Rintangan (Cek) Alamiah 34
Gambar 3-5. Terbentuknya Delta 35
Gambar 3-6. Morfologi Sungai 36
Gambar 3-7. Sungai Bermeander dan Terowongan 36
Gambar 3-8. Metode Pelaksanaan Alternatif 40
Gambar 4-1. Lebar Efektif Mercu 49
Gambar 4-2. Bentuk-Bentuk Mercu 50
Gambar 4-3. Bendung dengan Mercu Bulat 51
Gambar 4-4. Tekanan pada Mercu Bendung Bulat sebagai Fungsi Perbandingan H_1/r 52
Gambar 4-5. Harga-Harga Koefisien C_0 untuk Bendung Ambang Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan H_1/r 53
Gambar 4-6. Koefisien C_1 sebagai Fungsi Perbandingan P/H_1 53
Gambar 4-7. Harga-Harga Koefisien C_2 untuk Bendung Mercu Tipe Ogee dengan Muka Hulu Melengkung (Menurut USBR, 1960) 54
Gambar 4-8. Faktor Pengurangan Aliran Tenggelam Sebagai Fungsi H_2/H_1 54
Gambar 4-9. Bentuk-Bentuk Bendung Mercu Ogee (*U.S.Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Stasio*n) 56
Gambar 4-10. Faktor Koreksi untuk Selain Tinggi Energi Rencana pada Bendung Mercu Ogee (Menurut *Ven Te Chow*, 1959, Berdasarkan Data USBR dan WES) 56
Gambar 4-11. Faktor Pengurangan Aliran Tenggelam Sebagai Fungsi p_2/H_1 dan H_2/H_1. (Disadur dari *US Army Corps of Engineers Waterways Experimental Station*) 58

Gambar 4-12. Harga-Harga C_v Sebagai Fungsi Perbandingan Luas $\sqrt{\alpha}_1 C_d A^*/A_1$ untuk Bagian Pengontrol Segi Empat (dari *Bos*, 1977) 59
Gambar 4-13. Potongan Hulu dan Tampak Depan Pengontrol 60
Gambar 4-14. Denah Pelimpah Bentuk Gergaji 62
Gambar 4-15. Pangkal Bendung 63
Gambar 4-16. Peredam Energi 64
Gambar 4-17. Metode Perencanaan Kolam Loncat Air 65
Gambar 4-18. Parameter-Parameter Loncat Air 67
Gambar 4-19. Hubungan Percobaan Antara Fr_u, y_2/y_u untuk Ambang Ujung Pendek (Menurut *Forster dan Skrinde*, 1950) 68
Gambar 4-20. Karakteristik Kolam Olak untuk Dipakai dengan Bilangan *Froude* di atas 4,5 Kolam USBR Tipe III (*Bradley* dan *Peterka*, 1957) 69
Gambar 4-21. Blok-Blok Halang dan Blok-Blok Muka 70
Gambar 4-22. Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam 71
Gambar 4-23. Jari-Jari Minimum Bak 73
Gambar 4-24. Batas Minimum Tinggi Air Hilir 74
Gambar 4-25. Batas Maksimum Tinggi Air Hilir 75
Gambar 4-26. Kolam Olak Menurut *Vlugter* 75
Gambar 4-27. Potongan Memanjang Bendung Tetap dengan Peredam Energi Tipe MDO 82
Gambar 4-28. Potongan Memanjang Bendung Tetap dengan Peredam Energi Tipe MDS 82
Gambar 4-29. Grafik MDO – 1 Pengaliran Melalui Mercu Bendung 83
Gambar 4-30. Grafik MDO – 1a Penentuan Bahaya Kavitasi di Hilir Mercu Bendung 83
Gambar 4-31. Grafik MDO – 2 Penentuan Kedalaman Lantai Peredam Energi 84
Gambar 4-32. Grafik MDO – 3 Penentuan Panjang Lantai Peredam Energi 84
Gambar 4-33. Macam-Macam Tipe Pintu Bendung Gerak Vertikal 89
Gambar 4-34. Tata Letak dan Komponen Bendung Karet 91
Gambar 4-35. Potongan Melintang Bendung Karet 91
Gambar 4-36. Penampang Lintang pada Pusat V-notch 93
Gambar 4-37. Tampak Depan Tabung Karet yang Alami *V-notch* 93

Gambar 4-38. Loncat Air di Hilir Bendung Karet 95
Gambar 4-39. Sketsa Panjang Lantai Hilir untuk yi Besar 95
Gambar 4-40. Koefisien Debit μ untuk Permukaan Pintu Datar atau Lengkung 98
Gambar 4-41. Variasi dalam Perencanaan Roda Sudut (*Impeller*), Kecepatan Spesifik dan Karakteristik Tinggi Energi-Debit Pompa 99
Gambar 4-42. Tipe-Tipe Stasiun Pompa Tinggi Energi Rendah 101
Gambar 4-43. Tipe-Tipe Tata Letak Bendung Saringan Bawah 102
Gambar 4-44. Hidrolika Saringan Bawah 103
Gambar 4-45. Aliran Bertekanan 105
Gambar 4-46. Penyelidikan Model *Habermaas*, yang Memperlihatkan Banyaknya Sedimen yang Masuk Kedalam Pengambilan 107
Gambar 4-47. Pintu Aliran Bawah 107
Gambar 4-48. Koefisien K untuk Debit Tenggelam (dari *Schmidt*) 107
Gambar 5-1. Tipe Pintu Pengambilan 111
Gambar 5-2. Geometri Bangunan Pengambilan 112
Gambar 5-3. Bentuk-Bentuk Jeruji Kisi-Kisi Penyaring dan Harga-Harga β 113
Gambar 5-4. Geometri Pembilas 114
Gambar 5-5. Pembilas Samping 115
Gambar 5-6. Metode Menemukan Tinggi Dinding Pemisah 116
Gambar 5-7. Pembilas Bawah 118
Gambar 5-8. Pusaran (*Vortex)* dan Kantong Udara Dibawah Penutup Atas Saluran Pembilas Bawah 120
Gambar 5-9. Gaya-Gaya yang Bekerja pada Pintu 121
Gambar 5-10. Sekat Air dari Karet untuk Bagian Samping (A), Dasar (B) dan Atas (C) pada Pintu Baja 122
Gambar 5-11. Tipe-Tipe Pintu Pengambilan: Pintu Sorong Kayu dan Baja 123
Gambar 5-12. Pintu Pengambilan Tipe Radial 123
Gambar 5-13. Tipe-Tipe Pintu Bilas 125
Gambar 5-14. Aerasi Pintu Sorong yang Terendam 125
Gambar 6-1. Grafik untuk Perencanaan Ukuran Pasangan Batu Kosong 129
Gambar 6-2. Contoh *Filter* antara Pasangan Batu Kosong dan Bahan Asli (Tanah Dasar) 130

Gambar 6-3. Detail Bronjong 132
Gambar 6-4. Gaya Angkat untuk Bangunan yang Dibangun pada Pondasi Buatan 135
Gambar 6-5. Konstruksi Jaringan Aliran Menggunakan Analog Listrik 136
Gambar 6-6. Contoh Jaringan Aliran Dibawah Dam Pasangan Batu pada Pasir 137
Gambar 6-7. Gaya Angkat pada Pondasi Bendung 138
Gambar 6-8. Unsur-Unsur Persamaan Distribusi Tekanan pada Pondasi 141
Gambar 6-9. Tebal Lantai Kolam Olak 146
Gambar 6-10. Metode Angka Rembesan *Lane* 147
Gambar 6-11. Ujung Hilir Bangunan; Sketsa Parameter-Parameter Stabilitas 149
Gambar 6-12. Sketsa Gaya Tarik pada Tabung Karet 150
Gambar 6-13. Dinding Penahan Gravitasi dari Pasangan Batu 153
Gambar 6-14. Perlindungan Terhadap Rembesan Melibat Pangkal Bendung 154
Gambar 6-15. Lantai Hulu 156
Gambar 6-16. Dinding-Dinding Halang Dibawah Lantai Hulu atau Tubuh Bendung 157
Gambar 6-17. Alur Pembuang/*Filter* Dibawah Kolam Olak 158
Gambar 7-1. Konsentrasi Sedimen Kearah Vertikal 161
Gambar 7-2. Tipe Tata Letak Kantong Lumpur 162
Gambar 7-3. Skema Kantong Lumpur 163
Gambar 7-4. Hubungan Antara Diameter Saringan dan Kecepatan Endap untuk Air Tenang 166
Gambar 7-5. Potongan Melintang dan Potongan Memanjang Kantong Lumpur yang Menunjukkan Metode Pembuatan Tampungan 167
Gambar 7-6. Tegangan Geser Kritis dan Kecepatan Geser Kritis sebagai Fungsi Besarnya Butir untuk $\rho_s = 2.650$ kg/m^3 (Pasir) 170
Gambar 7-7. Gaya Tarik (Traksi) pada Bahan Kohesif 171
Gambar 7-8. Grafik Pembuangan Sedimen *Camp* untuk Aliran Turbelensi (*Camp*, 1945) 174
Gambar 7-9. Tata Letak Kantong Lumpur yang Dianjurkan 176
Gambar 7-10. Tata Letak Kantong Lumpur dengan Saluran Primer Berada pada Trase yang Sama dengan Kantong 177
Gambar 7-11. Pengelak Sedimen 178

Gambar 7-12. Saluran Pengarah 179
Gambar 8-1. Pengarah Aliran 183
Gambar 8-2. Contoh Krib 184
Gambar 8-3. Krib dari Bronjong dan Kayu 185
Gambar 8-4. Kurve Pengempangan 187
Gambar 8-5. Potongan Melintang Tanggul 188
Gambar 8-6. Cara Memecahkan Masalah Pembuangan Air 189
Gambar 8-7. Kapur atau Sodetan 190
Gambar 8-8. Tipe Tanggul Penutup 191
Gambar 10-1. Grafik untuk Menentukan Perhitungan Resiko yang Diterima 204

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Umum

Kriteria Perencanaan Bangunan Utama (*Head Works*) ini merupakan bagian dari Standar Kriteria Perencanaan Irigasi dari Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

1.2 Definisi

Bangunan utama dapat didefinisikan sebagai "semua bangunan yang direncanakan di sungai atau aliran air untuk membelokkan air ke dalam jaringan irigasi, biasanya dilengkapi dengan kantong lumpur agar bisa mengurangi kandungan sedimen yang berlebihan serta memungkinkan untuk mengukur dan mengatur air yang masuk".

1.3 Kesahihan/Validitas

Kriteria, praktek-praktek yang dianjurkan, pedoman serta metode-metode perencanaan yang dibicarakan dalam Bagian Perencanaan Bangunan Utama ini sahih untuk semua bangunan yang beda tinggi energinya (muka air hulu terhadap air hilir) tidak lebih dari 6 m. Untuk bangunan-bangunan ini di andaikan bahwa luas pembuang sungai kurang dari 500 km^2 dan bahwa debit maksimum pengambilan adalah 25 m^3/dt. Batasan ini dipilih karena mencakup bangunan utama yang dapat direncana berdasarkan kriteria yang diberikan di sini.

Untuk bangunan-bangunan di luar ruang lingkup ini, diperlukan nasihat-nasihat ahli. Juga untuk bangunan-bangunan yang di cakup dalam Standar ini, jika diperkirakan akan timbul masalah-masalah khusus, maka diperlukan konsultasi dengan ahli-ahli yang bersangkutan.

Lembaga-lembaga yang dapat menyediakan jasa keahlian adalah:

- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air di Bandung, yang memberikan jasa-jasa keahlian di bidang hidrologi, geologi, mekanika tanah serta teknik hidrolika.
- Lembaga ini memiliki laboratorium hidrolika dengan staf yang sangat berpengalaman.
- Direktorat Pembina Bidang Irigasi.

1.4 Jenis-Jenis Bangunan Utama

Pengaliran air dari sumber air berupa sungai atau danau ke jaringan irigasi untuk keperluan irigasi pertanian, pasokan air baku dan keperluan lainnya yang memerlukan suatu bangunan disebut dengan bangunan utama.

Untuk kepentingan keseimbangan lingkungan dan kebutuhan daerah di hilir bangunan utama, maka aliran air sungai tidak diperbolehkan disadap seluruhnya. Namun harus tetap dialirkan sejumlah 5% dari debit yang ada.

Salah satu bangunan utama yang mempunyai fungsi membelokkan air dan menampung air disebut bendungan, yang kriteria perencanaannya tidak tercakup dalam kriteria ini.

Kriteria perencanaan bendungan dan bangunan pelengkap lainnya akan dipersiapkan secara terpisah oleh institusi yang berwenang.

Ada 6 (enam) bangunan utama yang sudah pernah atau sering dibangun di Indonesia, antara lain:

1.4.1 Bendung Tetap

Bangunan air ini dengan kelengkapannya dibangun melintang sungai atau sudetan, dan sengaja dibuat untuk meninggikan muka air dengan ambang tetap sehingga air sungai dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke jaringan irigasi. Kelebihan airnya dilimpahkan ke hilir dengan terjunan yang dilengkapi dengan kolam olak dengan maksud untuk meredam energi.

Ada 2 (dua) tipe atau jenis bendung tetap dilihat dari bentuk struktur ambang pelimpahannya, yaitu:

Ambang tetap yang lurus dari tepi kiri ke tepi kanan sungai artinya as ambang tersebut berupa garis lurus yang menghubungkan dua titik tepi sungai.

Ambang tetap yang berbelok-belok seperti gigi gergaji. Tipe seperti ini diperlukan bila panjang ambang tidak mencukupi dan biasanya untuk sungai dengan lebar yang kecil tetapi debit airnya besar. Maka dengan menggunakan tipe ini akan didapat panjang ambang yang lebih besar, dengan demikian akan didapatkan kapasitas pelimpahan debit yang besar. Mengingat bentuk fisik ambang dan karakter hidrolisnya, disarankan bendung tipe gergaji ini dipakai pada saluran. Dalam hal diterapkan di sungai harus memenuhi syarat sebagai berikut:

1. Debit relatif stabil
2. Tidak membawa material terapung berupa batang-batang pohon
3. Efektivitas panjang bendung gergaji terbatas pada kedalaman air pelimpasan tertentu.

1.4.2 Bendung Gerak Vertikal

Bendung ini terdiri dari tubuh bendung dengan ambang tetap yang rendah dilengkapi dengan pintu-pintu yang dapat digerakkan vertikal maupun radial. Tipe ini mempunyai fungsi ganda, yaitu mengatur tinggi muka air di hulu bendung kaitannya dengan muka air banjir dan meninggikan muka air sungai kaitannya dengan penyadapan air untuk berbagai keperluan. Operasional di lapangan dilakukan dengan membuka pintu seluruhnya pada saat banjir besar atau membuka pintu sebagian pada saat banjir sedang dan kecil. Pintu ditutup sepenuhnya pada saat saat kondisi normal, yaitu untuk kepentingan penyadapan air. Tipe bendung gerak ini hanya dibedakan dari bentuk pintu-pintunya antara lain:

Pintu geser atau sorong, banyak digunakan untuk lebar dan tinggi bukaan yang kecil dan sedang. Diupayakan pintu tidak terlalu berat karena akan memerlukan peralatan angkat yang lebih besar dan mahal. Sebaiknya pintu cukup ringan tetapi memiliki

kekakuan yang tinggi sehingga bila diangkat tidak mudah bergetar karena gaya dinamis aliran air.

Pintu radial, memiliki daun pintu berbentuk lengkung (busur) dengan lengan pintu yang sendinya tertanam pada tembok sayap atau pilar. Konstruksi seperti ini dimaksudkan agar daun pintu lebih ringan untuk diangkat dengan menggunakan kabel atau rantai. Alat penggerak pintu dapat pula dilakukan secara hidrolik dengan peralatan pendorong dan penarik mekanik yang tertanam pada tembok sayap atau pilar.

1.4.3 Bendung Karet (Bendung Gerak Horisontal)

Bendung karet memiliki 2 (dua) bagian pokok, yaitu :

1) Tubuh bendung yang terbuat dari karet
2) Pondasi beton berbentuk plat beton sebagai dudukan tabung karet, serta dilengkapi satu ruang kontrol dengan beberapa perlengkapan (mesin) untuk mengontrol mengembang dan mengempisnya tabung karet.

Bendung ini berfungsi meninggikan muka air dengan cara mengembungkan tubuh bendung dan menurunkan muka air dengan cara mengempiskannya. Tubuh bendung yang terbuat dari tabung karet dapat diisi dengan udara atau air. Proses pengisian udara atau air dari pompa udara atau air dilengkapi dengan instrumen pengontrol udara atau air (manometer).

1.4.4 Bendung Saringan Bawah

Bendung ini berupa bendung pelimpah yang dilengkapi dengan saluran penangkap dan saringan.

Bendung ini meloloskan air lewat saringan dengan membuat bak penampung air berupa saluran penangkap melintang sungai dan mengalirkan airnya ke tepi sungai untuk dibawa ke jaringan irigasi.

Operasional di lapangan dilakukan dengan membiarkan sedimen dan batuan meloncat melewati bendung, sedang air diharapkan masuk ke saluran penangkap.

Sedimen yang tinggi diendapkan pada saluran penangkap pasir yang secara periodik dibilas masuk sungai kembali.

1.4.5 Pompa

Ada beberapa jenis pompa didasarkan pada tenaga penggeraknya, antara lain:

a. Pompa air yang digerakkan oleh tenaga manusia (pompa tangan)
b. Pompa air dengan penggerak tenaga air (air terjun dan aliran air)
c. Pompa air dengan penggerak berbahan bakar minyak
d. Pompa air dengan penggerak tenaga listrik.

Pompa digunakan bila bangunan-bangunan pengelak yang lain tidak dapat memecahkan permasalahan pengambilan air dengan gravitasi, atau Jika pengambilan air relatif sedikit dibandingkan dengan lebar sungai. Dengan instalasi pompa pengambilan air dapat dilakukan dengan mudah dan cepat. Namun dalam operasionalnya memerlukan biaya operasi dan pemeliharaannya cukup mahal terutama dengan makin mahalnya bahan bakar dan tenaga listrik.

Dari cara instalasinya pompa dapat dibedakan atas pompa yang mudah dipindah-pindahkan karena ringan dan mudah dirakit ulang setelah dilepas komponennya dan pompa tetap (*stationary*) yang dibangun/dipasang dalam bangunan rumah pompa secara permanen.

1.4.6 Pengambilan Bebas

Pengambilan air untuk irigasi ini langsung dilakukan dari sungai dengan meletakkan bangunan pengambilan yang tepat ditepi sungai, yaitu pada tikungan luar dan tebing sungai yang kuat atau *massive*. Bangunan pengambilan ini dilengkapi pintu, ambang rendah dan saringan yang pada saat banjir pintu dapat ditutup supaya air banjir tidak meluap ke saluran induk.

Kemampuan menyadap air sangat dipengaruhi elevasi muka air di sungai yang selalu bervariasi tergantung debit pengaliran sungai saat itu.

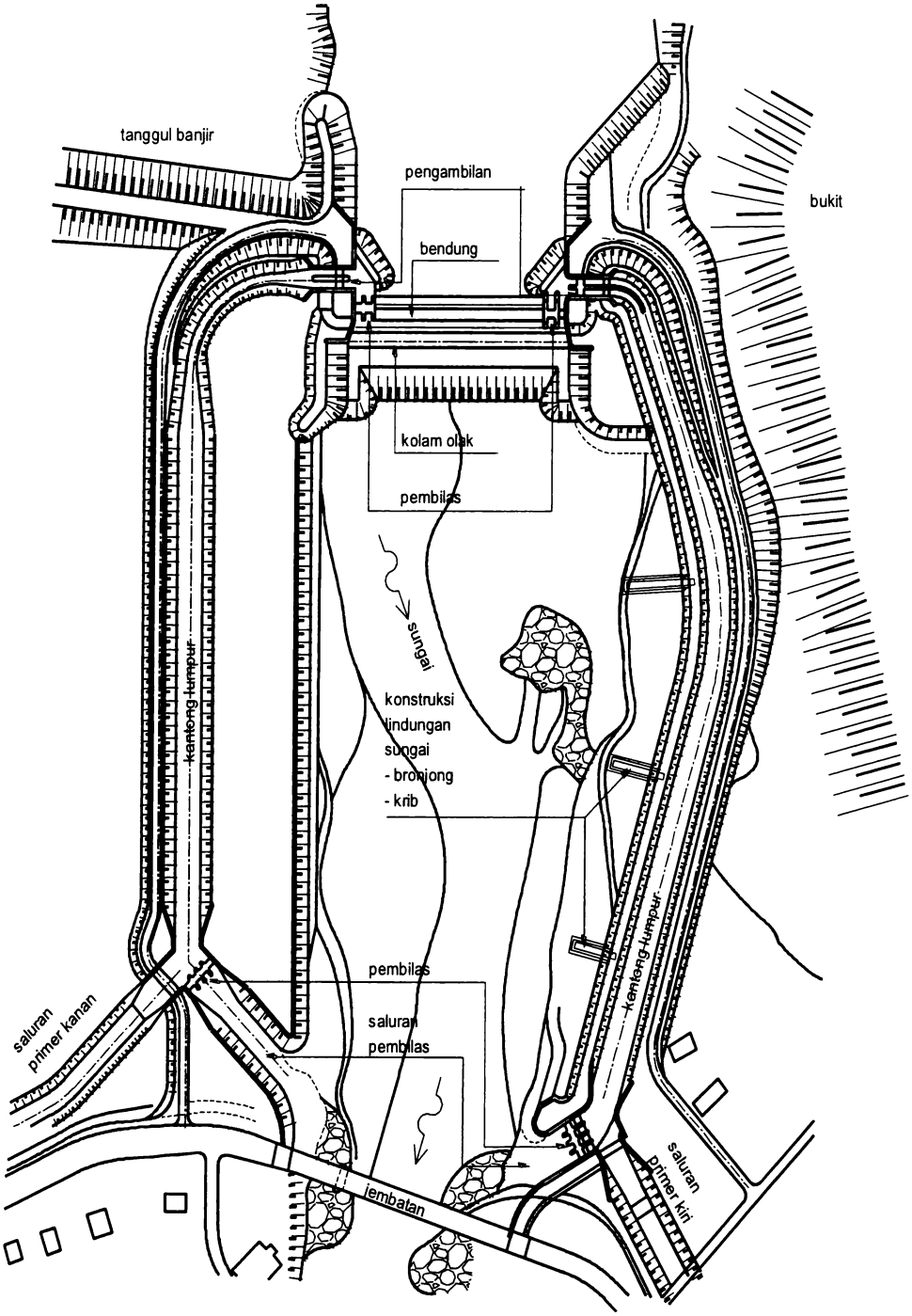
Pengambilan bebas biasanya digunakan untuk daerah irigasi dengan luasan yang kecil sekitar 150 ha dan masih pada tingkat irigasi ½ (setengah) teknis atau irigasi sederhana.

1.4.7 Bendung Tipe Gergaji

Diperkenankan dibangun dengan syarat harus dibuat di sungai yang alirannya stabil, tidak ada tinggi limpasan maksimum, tidak ada material hanyutan yang terbawa oleh aliran.

1.5 Bagian-Bagian Bangunan Utama

Bangunan utama terdiri dari berbagai bagian yang akan dijelaskan secara terinci dalam subbab berikut ini. Pembagiannya dibuat sebagai berikut:



Gambar 1-1. Bangunan Utama

- Bangunan bendung
- Bangunan pengambilan
- Bangunan pembilas (penguras)
- Kantong lumpur
- Perkuatan sungai
- Bangunan-bangunan pelengkap

Gambar 1-1. menunjukkan tata letak tipe-tipe bangunan utama.

1.5.1 Bangunan Bendung

Bangunan bendung adalah bagian dari bangunan utama yang benar-benar dibangun di dalam air. Bangunan ini diperlukan untuk memungkinkan dibelokkannya air sungai ke jaringan irigasi, dengan jalan menaikkan muka air di sungai atau dengan memperlebar pengambilan di dasar sungai seperti pada tipe bendung saringan bawah (*bottom rack weir*).

Bila bangunan tersebut juga akan dipakai untuk mengatur elevasi air di sungai, maka ada dua tipe yang dapat digunakan, yakni:

(1) bendung pelimpah dan

(2) bendung gerak (*barrage*)

Gambar 1-2 memberikan beberapa tipe denah dan potongan melintang bendung gerak dan potongan melintang bendung saringan bawah.

Bendung adalah bangunan pelimpah melintang sungai yang memberikan tinggi muka air minimum kepada bangunan pengambilan untuk keperluan irigasi. Bendung merupakan penghalang selama terjadi banjir dan dapat menyebabkan genangan luas di daerah-daerah hulu bendung tersebut.

Bendung gerak adalah bangunan berpintu yang dibuka selama aliran besar, masalah yang ditimbulkannya selama banjir kecil saja. Bendung gerak dapat mengatur muka air di depan pengambilan agar air yang masuk tetap sesuai dengan kebutuhan irigasi. Bendung gerak mempunyai kesulitan-kesulitan eksploitasi karena pintunya harus tetap dijaga dan dioperasikan dengan baik dalam keadaan apa pun.

Bendung saringan bawah adalah tipe bangunan yang dapat menyadap air dari sungai tanpa terpengaruh oleh tinggi muka air. Tipe ini terdiri dari sebuah parit terbuka yang terletak tegak lurus terhadap aliran sungai. Jeruji Baja (saringan) berfungsi untuk mencegah masuknya batu-batu bongkah ke dalam parit. Sebenarnya bongkah dan batu-batu dihanyutkan ke bagian hilir sungai. Bangunan ini digunakan di bagian/ruas atas sungai dimana sungai hanya mengangkut bahan-bahan yang berukuran sangat besar.

Untuk keperluan-keperluan irigasi, bukanlah selalu merupakan keharusan untuk meninggikan muka air di sungai. Jika muka air sungai cukup tinggi, dapat dipertimbangkan pembuatan pengambilan bebas bangunan yang dapat mengambil air dalam jumlah yang cukup banyak selama waktu pemberian air irigasi, tanpa membutuhkan tinggi muka air tetap di sungai.

Dalam hal ini pompa dapat juga dipakai untuk menaikkan air sampai elevasi yang diperlukan. Akan tetapi karena biaya pengelolaannya tinggimaka harga air irigasi mungkin menjadi terlalu tinggi pula.

1.5.2 Pengambilan

Pengambilan (lihat Gambar 1-3) adalah sebuah bangunan berupa pintu air. Air irigasi dibelokkan dari sungai melalui bangunan ini. Pertimbangan utama dalam merencanakan sebuah bangunan pengambilan adalah debit rencana pengelakan sedimen.

1.5.3 Pembilas

Pada tubuh bendung tepat di hilir pengambilan, dibuat bangunan pembilas (lihat Gambar 1-3) guna mencegah masuknya bahan sedimen kasar ke dalam jaringan saluran irigasi. Pembilas dapat direncanakan sebagai:

(1) pembilas pada tubuh bendung dekat pengambilan

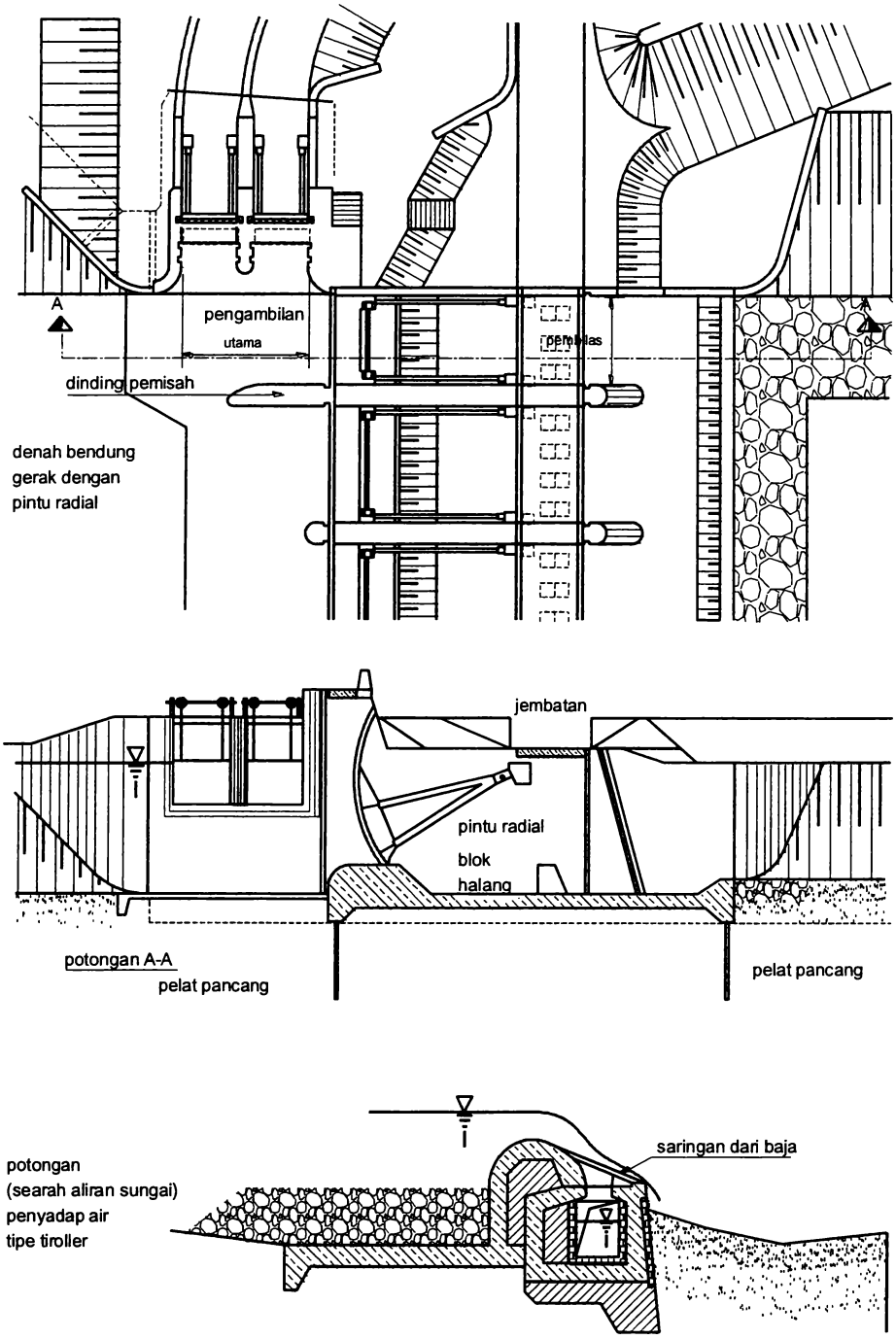
(2) pembilas bawah (*undersluice*)

(3) *shunt undersluice*

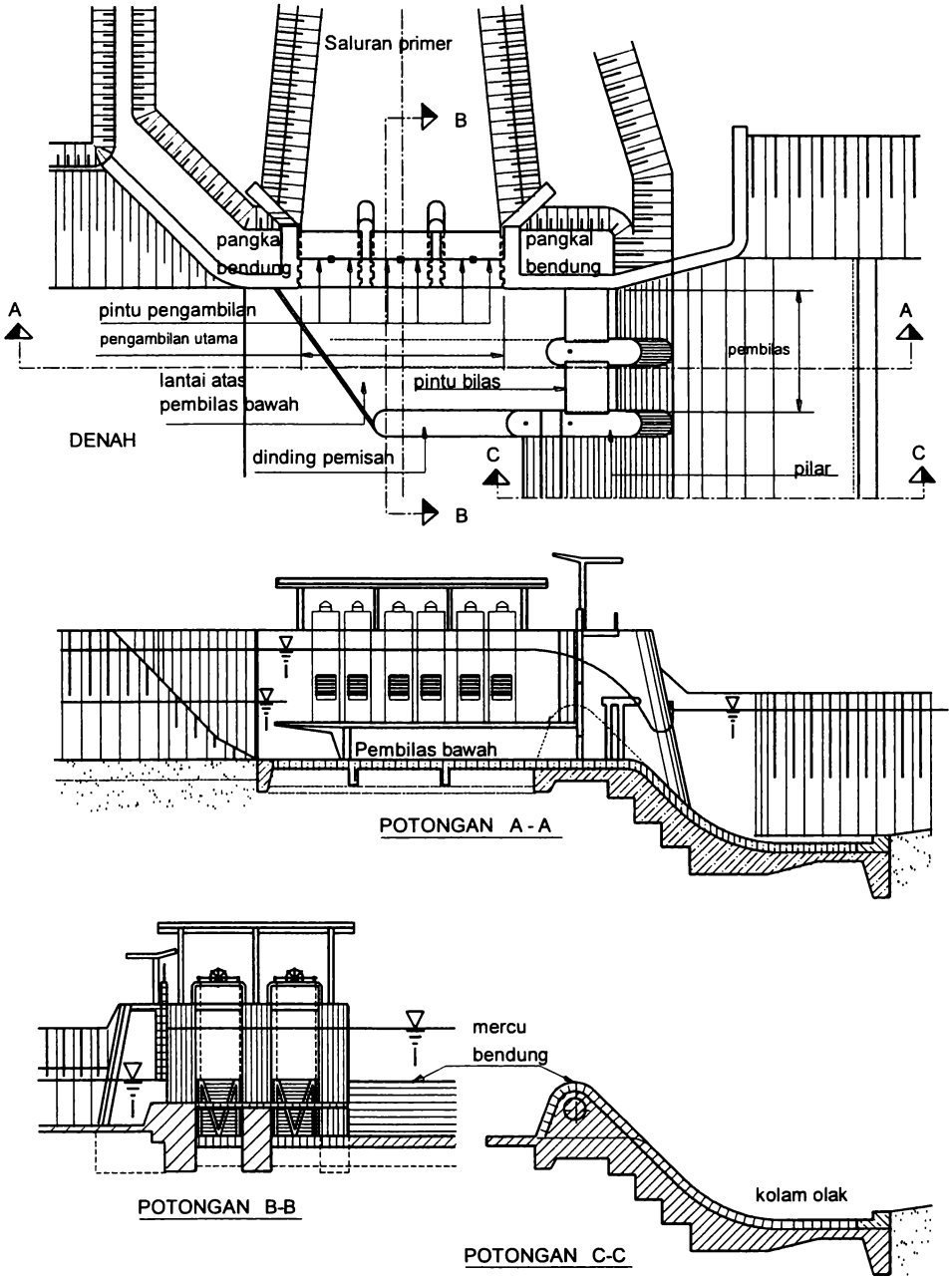
(4) pembilas bawah tipe boks.

Tipe (2) sekarang umum dipakai; tipe (1) adalah tipe tradisional; tipe (3) dibuat di luar lebar bersih bangunan bendung dan tipe (4) menggabung pengambilan dan pembilas dalam satu bidang atas bawah.

Perencanaan pembilas dengan dinding pemisah dan pembilas bawah telah diuji dengan berbagai penyelidikan model. Aturan-aturan terpenting yang ditetapkan melalui penyelidik ini diberikan dalam Bab 5.



Gambar 1-2. Denah dan Potongan Melintang Bendung Gerak dan Potongan Melintang Bendung Saringan Bawah



Gambar 1-3. Pengambilan dan Pembilas

1.5.4 Kantong Lumpur

Kantong lumpur mengendapkan fraksi-fraksi sedimen yang lebih besar dari fraksi pasir halus tetapi masih termasuk pasir halus dengan diameter butir berukuran 0,088 mm dan biasanya ditempatkan persis disebelah hilir pengambilan. Bahan-bahan yang lebih halus tidak dapat ditangkap dalam kantong lumpur biasa dan harus diangkut melalui jaringan saluran ke sawah-sawah. Bahan yang telah mengendap di dalam kantong kemudian dibersihkan secara berkala. Pembersihan ini biasanya dilakukan dengan menggunakan aliran air yang deras untuk menghanyutkan bahan endapan tersebut kembali ke sungai. Dalam hal-hal tertentu, pembersihan ini perlu dilakukan dengan cara lain, yaitu dengan jalan mengeruknya atau dilakukan dengan tangan.

1.5.5 Bangunan Perkuatan Sungai

Pembuatan bangunan perkuatan sungai khusus di sekitar bangunan utama untuk menjaga agar bangunan tetap berfungsi dengan baik, terdiri dari:

(1) Bangunan perkuatan sungai guna melindungi bangunan terhadap kerusakan akibat penggerusan dan sedimentasi. Pekerjaan-pekerjaan ini umumnya berupa krib, matras batu, pasangan batu kosong dan/atau dinding pengarah.

(2) Tanggul banjir untuk melindungi lahan yang berdekatan terhadap genangan akibat banjir.

(3) Saringan bongkah untuk melindungi pengambilan atau pembilas, agar bongkah tidak menyumbat bangunan selama terjadi banjir.

(4) Tanggul penutup untuk menutup bagian sungai lama atau, bila bangunan bendung dibuat di kopur, untuk mengelakkan sungai melalui bangunan tersebut.

1.5.6 Bangunan Pelengkap

Bangunan-bangunan atau perlengkapan yang akan ditambahkan ke bangunan utama diperlukan keperluan :

(1) Pengukuran debit dan muka air di sungai maupun di saluran.

(2) Rumah untuk operasi pintu.

(3) Peralatan komunikasi, tempat teduh serta perumahan untuk tenaga operasional, gudang dan ruang kerja untuk kegiatan operasional dan pemeliharaan.

(4) Jembatan di atas bendung, agar seluruh bagian bangunan utama mudah di jangkau, atau agar bagian-bagian itu terbuka untuk umum.

(5) Instalasi tenaga air mikro atau mini, tergantung pada hasil evaluasi ekonomi serta kemungkinan hidrolik. Instalasi ini bisa dibangun di dalam bangunan bendung atau di ujung kantong lumpur atau di awal saluran.

(6) Bangunan tangga ikan (*fish ladder*) diperlukan pada lokasi yang senyatanya perlu dijaga keseimbangan lingkungannya sehingga kehidupan biota tidak terganggu. Pada lokasi diluar pertimbangan tersebut tidak diperlukan tangga ikan.

BAB II
DATA

2.1 Pendahuluan

Data-data yang dibutuhkan untuk perencanaan bangunan utama dalam suatu jaringan irigasi adalah:

(a) Data kebutuhan air multisektor: merupakan data kebutuhan air yang diperlukan dan meliputi jumlah air yang diperlukan untuk irigasi pertanian, jumlah kebutuhan air minum, jumlah kebutuhan air baku untuk rumah tangga, penggelontoran limbah kota dan air untuk stabilitas aliran sungai dan kehidupan biota alami.

(b) Data topografi: peta yang meliputi seluruh daerah aliran sungai peta situasi untuk letak bangunan utama; gambar-gambar potongan memanjang dan melintang sungai di sebelah hulu maupun hilir dari kedudukan bangunan utama.

(c) Data hidrologi: data aliran sungai yang meliputi data banjir yang andal. Data ini harus mencakup beberapa periode ulang, daerah hujan, tipe tanah dan vegetasi yang terdapat di daerah aliran. Elevasi tanah dan luas lahan yang akan didrain menyusut luas.

(d) Data morfologi: kandungan sedimen, kandungan sedimen dasar (*bedload*) maupun layang (*suspended load*) termasuk distribusi ukuran butir, perubahan-perubahan yang terjadi pada dasar sungai, secara horisontal maupun vertikal, unsur kimiawi sedimen.

(e) Data geologi: kondisi umum permukaan tanah daerah yang bersangkutan; keadaan geologi lapangan, kedalaman lapisan keras, sesar, kelulusan (permeabilitas) tanah, bahaya gempa bumi, parameter yang harus dipakai.

(f) Data mekanika tanah: bahan pondasi, bahan konstruksi, sumber bahan timbunan, batu untuk pasangan batu kosong, agregat untuk beton, batu belah untuk pasangan batu, parameter tanah yang harus digunakan.

(g) Standar untuk perencanaan: peraturan dan standar yang telah ditetapkan secara nasional, seperti PBI beton, daftar baja, konstruksi kayu Indonesia, dan sebagainya.

(h) Data lingkungan dan ekologi

(i) Data elevasi bendung sebagai hasil perhitungan muka air saluran dan dari luas sawah yang diairi.

Dalam Lampiran A disajikan sebuah daftar lembaga-lembaga dan instansi-instansi pemerintah yang menyediakan informasi dan data mengenai pokok masalah yang telah disebutkan di atas.

2.2 Data Kebutuhan Air Multisektor

Data-data jumlah kebutuhan air yang diperlukan adalah sebagai berikut:

(i) Jumlah kebutuhan air irigasi pada saat kebutuhan puncak dari irigasi untuk luas potensial irigasi dengan pembagian golongan atau tanpa golongan.

(ii) Jumlah kebutuhan air minum dengan proyeksi kebutuhan 25 tahun kedepan dengan mempertimbangkan kemungkinan perluasan kota, pemukiman dan pertumbuhanpenduduk yang didapat dari institusi yang menangani air minum.

(iii) Jumlah kebutuhan air baku untuk industri terutama kawasan-kawasan industri dengan perkiraan pertumbuhan industri 10%.

(iv) Jumlah kebutuhan air untuk penggelontoran limbah perkotaan pada saluran pembuang perkotaan.

(v) Jumlah kebutuhan air untuk stabilitas aliran sungai dan kehidupan biota air (dalam rangka penyiapan OP bendung).

2.3 Data Topografi

Data-data topografi yang dibutuhkan adalah sebagai berikut:

(i) Peta Rupa Bumi sebagai peta dasar dengan skala 1:50.000 atau lebih besar yang menunjukkan hulu sungai sampai muara. Garis-garis ketinggian (kontur) setiap 25 m sehingga dapat diukur profil memanjang sungai dan luas daerah aliran sungainya. Dalam hal tidak tersedia peta rupa bumi 1:50.000 maka dapat dipergunakan peta satelit sebagai informasi awal lokasi bangunan dan informasi lokasi daerah studi. Namun demikian peta satelit ini tidak bisa menggantikan peta rupa bumi skala 1:50.000.

(ii) Peta situasi sungai dimana ada rencana bangunan utama akan dibuat. Peta ini sebaiknya berskala 1:2.000. Peta itu harus meliputi jarak 1 km ke hulu dan 1 km ke hilir dari bangunan utama, dan melebar 250 dari masing-masing tepi sungai termasuk bantaran sungai. Garis ketinggian setiap 1,0 m, kecuali di dasar sungai garis ketinggian setiap 0,50 m. Peta itu harus mencakup lokasi alternatif yang sudah diidentifikasi serta panjang yang diliput harus memadai agar dapat diperoleh infomasi mengenai bentuk denah sungai dan memungkinkan dibuatnya sodetan/kopur dan juga untuk merencana tata letak dan trase tanggul penutup. Peta itu harus mencantumkan batas-batas yang penting, seperti batas-batas desa, sawah dan seluruh prasarananya. Harus ditunjukkan pula titik-titik tetap (*Benchmark*) yang ditempatkan di sekitar daerah yang bersangkutan, lengkap dengan koordinat dan elevasinya.

(iii) Gambar potongan memanjang sungai dengan potongan melintang setiap 50 m. Potongan memanjang skala horisontalnya 1:2.000; skala vertikalnya 1:200. Skala untuk potongan melintang 1:200 horisontal dan 1:200 vertikal. Panjang potongan melintangnya adalah 50 m tepi sungai. Elevasi akan diukur pada jarak maksimum 25 m atau untuk beda ketinggian 0,25 m tergantung mana yang dapat dicapai lebih dahulu. Dalam potongan memanjang sungai, letak

pencatat muka air otomatis (AWLR) dan papan duga harus ditunjukkan dan titik nolnya harus diukur.

(iv) Pengukuran situasi bendung dengan skala 1:200 atau 1:500 untuk areal seluas kurang lebih 50 ha (1.000 x 500 m^2). Peta tersebut harus memperlihatkan bagian-bagian lokasi bangunan utama secara lengkap, termasuk lokasi kantong lumpur dan tanggul penutup dengan garis ketinggian setiap 0,25 m.

Foto udara jika ada akan sangat bermanfaat untuk penyelidikan lapangan. Apabila foto udara atau citra satelit dari berbagai tahun pengambilan juga tersedia, maka ini akan lebih menguntungkan untuk penyelidikan perilaku dasar sungai.

Bangunan yang ada di sungai di hulu dan hilir bangunan utama yang direncanakan harus diukur dan dihubungkan dengan hasil-hasil pengukuran bangunan utama.

2.4 Data Hidrologi

2.4.1 Debit Banjir

Data-data yang diperlukan untuk perencanaan bangunan utama adalah:

(1) Data untuk menghitung berbagai besaran banjir rencana

(2) Data untuk menilai debit rendah andalan, dan

(3) Data untuk membuat neraca air sungai secara keseluruhan

Banjir rencana maksimum untuk bangunan bendung diambil sebagai debit banjir dengan periode ulang 100 tahun. Banjir dengan periode ulang 1.000 tahun diperlukan untuk mengetahui tinggi tanggul banjir dan mengontrol keamanan bangunan utama.

Analisa perhitungan bentuk mercu dan permukaan tubuh bendung bagian hilir didasarkan atas debit yang paling dominan terhadap daya gerus dan daya hisap, yang ditetapkan debit dengan periode ulang 5 – 25 tahun.

Sedangkan analisa perhitungan kolam olak didasarkan atas debit dominan yang mengakibatkan efek degradasi dasar sungai di hilir kolam olak. Debit dominan ini sangat dipengaruhi oleh daya tahan formasi material dasar sungai terhadap gerusan, yang ditetapkan debit dengan periode ulang 25 – 100 tahun.

Untuk bangunan yang akan dibuat di hilir waduk, banjir rencana maksimum akan diambil sebagai debit dengan periode ulang 100 tahun dari daerah antara dam dan bangunan bendung, ditambah dengan aliran dari *outflow* waduk setelah *dirouting* yang disebabkan oleh banjir dengan periode ulang 100 tahun.

Elevasi tanggul hilir sungai dari bangunan utama didasarkan pada tinggi banjir dengan periode ulang 5 sampai 24 tahun.

Periode ulang tersebut (5-25 tahun) akan ditetapkan berdasarkan jumlah penduduk yang terkena akibat banjir yang mungkin terjadi, serta pada nilai ekonomis tanah dan semua prasarananya. Biasanya di sebelah hulu bangunan utama tidak akan dibuat tanggul sungai untuk melindungi lahan dari genangan banjir.

Saluran pengelak, jika diperlukan selama pelaksanaan, biasanya direncana berdasarkan banjir dengan periode ulang 25 tahun, kecuali Jika perhitungan resiko menghasilkan periode ulang lain yang lebih cocok (lihat Bab 10.2).

Rangkaian data debit banjir untuk berbagai periode ulang harus andal. Hal ini berarti bahwa harga-harga tersebut harus didasarkan pada catatan-catatan banjir yang sebenarnya yang mencakup jangka waktu lama (sekitar 20 tahun).

Apabila data semacam ini tidak tersedia (dan begitulah yang sering terjadi), kita harus menggunakan cara lain, misalnya berdasarkan data curah hujan di daerah aliran sungai. Jika ini tidak berhasil, kita usahakan cara lain berdasarkan data yang diperoleh dari daerah terdekat (untuk penjelasan lebih lanjut, lihat KP-01, Perencanaan Jaringan Irigasi).

Debit banjir dengan periode-periode ulang berikut harus diperhitungkan 1, 5, 25, 50, 100, 1.000 tahun.

2.4.2 Debit Andalan

Debit andalan dihitung berdasarkan data debit aliran rendah, dengan panjang data minimal 20 tahun, debit andalan dibutuhkan untuk menilai luas daerah potensial yang dapat diairi dari sungai yang bersangkutan.

Perhitungan debit rendah andalan dengan periode ulang yang diperlukan (biasanya 5 tahun), dibutuhkan untuk menilai luas daerah potensial yang dapat diairi dari sungai yang bersangkutan.

Adalah penting untuk memperkirakan debit ini seakurat mungkin. Cara terbaik untuk memenuhi persyaratan ini adalah dengan melakukan pengukuran debit (atau membaca papan duga) tiap hari. Jika tidak tersedia data mengenai muka air dan debit, maka debit rendah harus dihitung berdasarkan curah hujan dan data limpasan air hujan dari daerah aliran sungai.

2.4.3 Neraca Air

Neraca air (*water balance*) seluruh sungai harus dibuat guna mempertimbangkan perubahan alokasi/penjatahan air akibat dibuatnya bangunan utama.

Hak atas air, penyadapan air di hulu dan hilir sungai pada bangunan bendung serta kebutuhan air di masa datang, harus ditinjau kembali.

2.5 Data Morfologi

Konstruksi bangunan bendung di sungai akan mempunyai 2 konsekuensi (akibat) terhadap morfologi sungai yaitu:

(1) Konstruksi itu akan mengubah kebebasan gerak sungai ke arah horisontal

(2) Konsentrasi sedimen akan berubah karena air dan sedimen dibelokkan, dari sungai dan hanya sedimennya saja yang akan digelontorkan kembali ke sungai.

2.5.1 Morfologi

(a) Data-data fisik yang diperlukan dari sungai untuk perencanaan bendung adalah:

- Kandungan dan ukuran sedimen disungai tersebut
- Tipe dan ukuran sedimen dasar yang ada
- Pembagian (distribusi) ukuran butir dari sedimen yang ada
- Banyaknya sedimen dalam waktu tertentu
- Pembagian sedimen secara vertikal dalam sungai.

- Floting debris.

(b) Data historis profil melintang sungai dan gejala terjadinya degradasi dan agradasi sungai dimana lokasi bendung direncanakan dibangun.

2.5.2 Geometrik Sungai

Data geometri sungai yang dibutuhkan berupa bentuk dan ukuran dasar sungai terdalam, alur palung dan lembah sungai secara vertikal dan horisontal mencakup parameter-parameter yang disebut di bawah.

- lebar
- kemiringan
- ketinggian

Profil sungai, mencakup profil dasar, tebing alur dan palung sungai. Data tersebut merupakan data topografi (lihat uraian Data Topografi).

2.6 Data Geologi Teknik

2.6.1 Geologi

Geologi permukaan suatu daerah harus diliput pada peta geologi permukaan. Skala peta yang harus dipakai adalah:

(a) Peta daerah dengan skala 1:100.000 atau 1:50.000

(b) Peta semidetail dengan skala 1:25.000 atau 1:5.000

(c) Peta detail dengan skala 1:2.000 atau 1:100.

Peta-peta tersebut harus menunjukkan geologi daerah yang bersangkutan, daerah pengambilan bahan bangunan, detail-detail geologis yang perlu diketahui oleh perekayasa, seperti: tipe batuan, daerah geser, sesar, daerah pecahan, jurus dan kemiringan lapisan.

Berdasarkan pengamatan dari sumuran dan paritan uji, perubahan-perubahan yang terjadi dalam formasi tanah maupun tebal dan derajat pelapukan tanah penutup (*overburden*) harus diperkirakan.

Dalam banyak hal, pemboran mungkin diperlukan untuk secara tepat mengetahui lapisan dan tipe batuan. Hal ini sangat penting untuk pondasi bendung. Adalah perlu untuk mengetahui kekuatan pondasi maupun tersedianya batu di daerah sekitar untuk menentukan lokasi bendung itu sendiri, dan juga untuk keperluan bahan bangunan yang diperlukan, seperti misalnya agregat untuk beton, batu untuk pasangan atau untuk batu candi, pasir dan kerikil. Untuk memperhitungkan stabilitas bendung, kekuatan gempa perlu diketahui.

2.6.2 Data Mekanika Tanah

Cara terbaik untuk memperoleh data tanah pada lokasi bangunan bendung ialah dengan menggali sumur dan parit uji, karena sumuran dan paritan ini akan memungkinkan diadakannya pemeriksaan visual dan diperolehnya contoh tanah yang tidak terganggu. Apabila pemboran memang harus dilakukan karena adanya lapisan air tanah atau karena dicatat dalam borlog.

Kelulusan tanah harus diketahui agar gaya angkat dan perembesan dapat diperhitungkan.

BAB III
BANGUNAN BENDUNG

3.1 Umum

Lokasi bangunan bendung dan pemilihan tipe yang paling cocok dipengaruhi oleh banyak faktor, yaitu:

- Tipe, bentuk dan morfologi sungai
- Kondisi hidrolis antara lain elevasi yang diperlukan untuk irigasi
- Topografi pada lokasi yang direncanakan,
- Kondisi geologi teknik pada lokasi,
- Metode pelaksanaan
- Aksesibilitas dan tingkat pelayanan

Faktor-faktor yang disebutkan di atas akan dibicarakan dalam subbab-subbab berikut. Subbab terakhir akan memberikan tipe-tipe bangunan yang cocok untuk digunakan sebagai bangunan bendung dalam kondisi yang berbeda-beda.

3.2 Syarat-syarat Penentuan Lokasi Bendung

Aspek yang mempengaruhi dalam pemilihan lokasi bendung adalah :

1. Pertimbangan topografi
2. Kemantapan geoteknik pondasi bendung
3. Pengaruh hidraulik
4. Pengaruh regime sungai
5. Tingkat kesulitan saluran induk
6. Ruang untuk bangunan pelengkap bendung
7. Luas layanan irigasi
8. Luas daerah tangkapan air
9. Tingkat kemudahan pencapaian
10. Biaya pembangunan

11. Kesepakatan *stakeholder* (pemangku kepentingan)

1. Pertimbangan Topografi

Lembah sungai yang sempit berbentuk huruf V dan tidak terlalu dalam adalah lokasi yang ideal untuk lokasi bendung, karena pada lokasi ini volume tubuh bendung dapat menjadi minimal. Lokasi seperti ini mudah didapatkan pada daerah pegunungan, tetapi di daerah datar dekat pantai tentu tidak mudah mendapatkan bentuk lembah seperti ini. Di daerah transisi (*middle reach*) kadang-kadang dapat ditemukan disebelah hulu kaki bukit. Sekali ditemukan lokasi yang secara topografis ideal untuk lokasi bendung, keadaan topografi di daerah tangkapan air juga perlu dicek. Apakah topografinya terjal sehingga mungkin terjadi longsoran atau tidak. Topografi juga harus dikaitkan dengan karakter hidrograf banjir, yang akan mempengaruhi kinerja bendung. Demikian juga topografi pada daerah calon sawah harus dicek. Yang paling dominan adalah pengamatan elevasi hamparan tertinggi yang harus diairi.

Analisa ketersediaan selisih tinggi energi antara elevasi puncak bendung pada lokasi terpilih dan elevasi muka air pada sawah tertinggi dengan keperluan energi untuk membawa air ke sawah tersebut akan menentukan tinggi rendahnya bendung yang diperlukan. Atau Jika perlu menggeser ke hulu atau ke hilir dari lokasi yang sementara terpilih. Hal ini dilakukan mengingat tinggi bendung sebaiknya dibatasi 6-7 m. Bendung yang lebih tinggi akan memerlukan kolam olak ganda (*double jump*)

2. Kemantapan Geoteknik Pondasi Bendung

Keadaan geoteknik pondasi bendung harus terdiri dari formasi batuan yang baik dan mantap. Pada tanah aluvial kemantapan pondasi ditunjukkan dengan angka *standart penetration test* (SPT) > 40. Bila angka SPT < 40 sedang batuan keras jauh dibawah permukaan, dalam batas-batas tertentu dapat dibangun bendung dengan tiang pancang. Namun jika tiang pancang terlalu dalam dan mahal sebaiknya dipertimbangkan pindah lokasi.

Stratigrafi batuan lebih disukai menunjukkan lapisan miring ke arah hulu. Kemiringan ke arah hilir akan mudah terjadinya kebocoran dan erosi buluh. Sesar tanah aktif

harus secara mutlak dihindari, sesar tanah pasif masih dapat dipertimbangkan tergantung justifikasi ekonomis untuk melakukan perbaikan pondasi.

Geoteknik tebing kanan dan kiri bendung juga harus dipertimbangkan terhadap kemungkinan bocornya air melewati sisi kanan dan kiri bendung. Formasi batuan hilir kolam harus dicek ketahanan terhadap gerusan air akibat energi sisa air yang tidak bisa dihancurkan dalam kolam olak.

Akhirnya muara dari pertimbangan geoteknik ini adalah daya dukung pondasi bendung dan kemungkinan terjadi erosi buluh dibawah dan samping tubuh bendung, serta ketahanan batuan terhadap gerusan.

3. Pengaruh Hidraulik

Keadaan hidraulik yang paling ideal bila ditemukan lokasi bendung pada sungai yang lurus. Pada lokasi ini arah aliran sejajar, sedikit arus turbulen, dan kecenderungan gerusan dan endapan tebing kiri kanan relatif sedikit. Dalam keadaan terpaksa, bila tidak ditemukan bagian yang lurus, dapat ditolerir lokasi bendung tidak pada bagian sungai yang lurus betul. Perhatian khusus harus diberikan pada posisi bangunan pengambilan yang harus terletak pada tikungan luar sungai. Hal ini dimaksudkan agar pengambilan air irigasi bisa lancar masuk ke intake dengan mencegah adanya endapan didepan pintu pengambilan. Maksud ini akan lebih ditunjang apabila terdapat bagian sungai yang lurus pada hulu lokasi bendung.

Kadang-kadang dijumpai keadaan yang dilematis. Semua syarat-syarat pemilihan lokasi bendung sudah terpenuhi, tetapi syarat hidraulik yang kurang menguntungkan. Dalam keadaan demikian dapat diambil jalan kompromi dengan membangun bendung pada kopur atau melakukan perbaikan hidraulik dengan cara perbaikan sungai (*river training*). Jika alternatif kopur yang dipilih maka bagian hulu bendung pada kopur harus lurus dan cukup panjang untuk mendapatkan keadaan hidraulis yang cukup baik.

4. Pengaruh Regime Sungai

Regime sungai mempunyai pengaruh yang cukup dominan dalam pemilihan lokasi bendung. Salah satu gambaran karakter regime sungai yaitu adanya perubahan

geometri sungai baik secara horizontal ke kiri dan ke kanan atau secara vertikal akibat gerusan dan endapan sungai. Bendung di daerah pegunungan dimana kemiringan sungai cukup besar, akan terjadi kecenderungan gerusan akibat gaya seret aliran sungai yang cukup besar. Sebaliknya di daerah dataran dimana kemiringan sungai relatif kecil akan ada pelepasan sedimen yang dibawa air menjadi endapan tinggi di sekitar bendung. Jadi dimanapun kita memilih lokasi bendung tidak akan terlepas dari pengaruh endapan atau gerusan sungai. Kecuali di pegunungan ditemukan lokasi bendung dengan dasar sungai dari batuan yang cukup kuat, sehingga mempunyai daya tahan batuan terhadap gerusan air yang sangat besar, maka regime sungai hampir tidak mempunyai pengaruh terhadap lokasi bendung.

Yang perlu dihindari adalah lokasi dimana terjadi perubahan kemiringan sungai yang mendadak, karena ditempat ini akan terjadi endapan atau gerusan yang tinggi. Perubahan kemiringan dari besar menjadi kecil akan mengurangi gaya seret air dan akan terjadi pelepasan sedimen yang dibawa air dari hulu. Dan sebaliknya perubahan kemiringan dari kecil ke besar akan mengkibatkan gerusan pada hilir bendung. Meskipun keduanya dapat diatasi dengan rekayasa hidraulik, tetapi hal yang demikan tidak disukai mengingat memerlukan biaya yang tinggi.

Untuk itu disarankan memilih lokasi yang relatif tidak ada perubahan kemiringan sungai.

5. Tingkat Kesulitan Saluran Induk

Lokasi bendung akan membawa akibat arah trace saluran induk. Pada saat lokasi bendung dipilih dikaki bukit, maka saluran induk biasanya berupa saluran kontur pada kaki bukit yang pelaksanaannya tidak terlalu sulit. Namun hal ini biasanya elevasi puncak bendung sangat terbatas, sehingga luas layanan irigasi juga terbatas. Hal ini disebabkan karena tinggi bendung dibatasi 6-7 m saja.

Untuk mengejar ketinggian dalam rangka mendapatkan luas layanan yang lebih luas, biasanya lokasi bendung digeser ke hulu. Dalam keadaan demikian saluran induk harus menyusuri tebing terjal dengan galian yang cukup tinggi. Sejauh galian lebih kecil 8 m dan timbunan lebih kecil 6 m, maka pembuatan saluran induk tidak terlalu

sulit. Namun yang harus diperhatikan adalah formasi batuan di lereng dimana saluran induk itu terletak. Batuan dalam volume besar dan digali dengan teknik peledakan akan mengakibatkan biaya yang sangat mahal, dan sebisa mungkin dihindari. Jika dijumpai hal yang demikian, lokasi bendung digeser sedikit ke hilir untuk mendapatkan solusi yang kompromistis antara luas area yang didapat dan kemudahan pembuatan saluran induk.

6. Ruang untuk Bangunan Pelengkap Bendung

Meskipun dijelaskan dalam butir 1 bahwa lembah sempit adalah pertimbangan topografis yang paling ideal, tetapi juga harus dipertimbangkan tentang perlunya ruangan untuk keperluan bangunan pelengkap bendung. Bangunan tersebut adalah kolam pengendap, bangunan kantor dan gudang, bangunan rumah penjaga pintu, saluran penguras lumpur, dan komplek pintu penguras, serta bangunan pengukur debit. Kolam pengendap dan saluran penguras biasanya memerlukan panjang 300 - 500 m dengan lebar 40 - 60 m, diluar tubuh bendung. Lahan tambahan diperlukan untuk satu kantor, satu gudang dan 2-3 rumah penjaga bendung. Pengalaman selama ini sebuah rumah penjaga bendung tidak memadai, karena penghuni tunggal akan terasa jenuh dan cenderung meninggalkan lokasi.

7. Luas Layanan Irigasi

Lokasi bendung harus dipilih sedemikian, sehingga luas layanan dan pengembangan irigasi dapat layak. Lokasi bendung kearah hulu akan mendapatkan luas layanan cenderung lebih besar dari hilir bendung. Namun demikian justifikasi dilakukan untuk mengecek hubungan antara tinggi luas layanan irigasi. Beberapa bendung yang sudah definitif, kadang-kadang dijumpai penurunan 1 m, yang dapat menghemat biaya pembangunan hanya mengakibatkan pengurangan luas beberapa puluh hektar saja. Oleh karena itu kajian tentang kombinasi tinggi bendung dan luas layanan irigasi perlu dicermati sebelum diambil keputusan final.

8. Luas Daerah Tangkapan Air

Pada sungai bercabang lokasi bendung harus dipilih sebelah hulu atau hilir cabang anak sungai. Pemilihan sebelah hilir akan mendapatkan daerah tangkapan air yang

lebih besar, dan tentunya akan mendapatkan debit andalan lebih besar, yang muaranya akan mendapatkan potensi irigasi lebih besar. Namun pada saat banjir elevasi deksert harus tinggi untuk menampung banjir 100 tahunan ditambah tinggi jagaan (*free board*) atau menampung debit 1.000 tahunan tanpa tinggi jagaan.

Lokasi di hulu anak cabang sungai akan mendapatkan debit andalan dan debit banjir relatip kecil, namun harus membuat bangunan silang sungai untuk membawa air di hilirnya. Kajian teknis, ekonomis, dan sosial harus dilakukan dalam memilih lokasi bendung terkait dengan luas daerah tangkapan air.

9. Tingkat Kemudahan Pencapaian

Setelah lokasi bendung ditetapkan secara definitif, akan dilanjutkan tahap perencanaan detail, sebagai dokumen untuk pelaksanaan implementasinya. Dalam tahap pelaksanaan inilah dipertimbangkan tingkat kemudahan pencapaian dalam rangka mobilisasi alat dan bahan serta demobilisasi setelah selesai pelaksanaan fisik.

Memasuki tahap operasi dan pemeliharaan bendung, tingkat kemudahan pencapaian juga amat penting. Kegiatan pemeliharaan, rehabilitasi, dan inspeksi terhadap kerusakan bendung memerlukan jalan masuk yang memadai untuk kelancaran pekerjaan.

Atas dasar pertimbangan tersebut maka dalam menetapkan lokasi bendung harus dipertimbangkan tingkat kemudahan pencapaian lokasi.

10. Biaya Pembangunan

Dalam pemilihan lokasi bendung, perlu adanya pertimbangan pemilihan beberapa alternatif, dengan memperhatikan adanya faktor dominan. Faktor dominan tersebut ada yang saling memperkuat dan ada yang saling melemahkan. Dari beberapa alternatif tersebut selanjutnya dipertimbangkan metode pelaksanaannya serta pertimbangan lainnya antara lain dari segi O & P. Hal ini antara lain akan menentukan besarnya biaya pembangunan. Biasanya biaya pembangunan ini adalah pertimbangan terakhir untuk dapat memastikan lokasi bendung dan layak dilaksanakan.

11. Kesepakatan *Stakeholder* (Pemangku Kepentingan)

Sesuai amanat dalam UU No. 7/2004 tentang Sumber Daya Air dan Peraturan Pemerintah No. 20/2006 tentang Irigasi bahwa keputusan penting dalam pengembangan sumberdaya air atau irigasi harus didasarkan kesepakatan pemangku kepentingan lewat konsultasi publik. Untuk itu keputusan mengenai lokasi bendungpun harus dilakukan lewat konsultasi publik, dengan menyampaikan seluas-luasnya mengenai alternatif-alternatif lokasi, tinjauan dari aspek teknis, ekonomis, dan sosial. Keuntungan dan kerugiannya, dampak terhadap para pemakai air di hilir bendung, keterpaduan antar sektor, prospek pemakaian air di masa datang harus disampaikan pada pemangku kepentingan terutama masyarakat tani yang akan memanfaatkan air irigasi.

Rekomendasi Syarat Pemilihan Lokasi Bendung sebagai berikut:

1. Topografi: dipilih lembah sempit dan tidak terlalu dalam dengan mempertimbangkan topografi di daerah tangkapan air maupun daerah layanan irigasi
2. Geoteknik: dipilih dasar sungai yang mempunyai daya dukung kuat, stratigrafi lapisan batuan miring ke arah hulu, tidak ada sesar aktif, tidak ada erosi buluh, dan dasar sungai hilir bendung tahan terhadap gerusan air. Disamping itu diusahakan keadaan batuan tebing kanan dan kiri bendung cukup kuat dan stabil serta relatif tidak terdapat bocoran samping.
3. Hidraulik: dipilih bagian sungai yang lurus. Jika bagian sungai lurus tidak didapatkan, lokasi bendung ditolerir pada belokan sungai; dengan syarat posisi bangunan intake harus terletak pada tikungan luar dan terdapat bagian sungai yang lurus di hulu bendung. Jika yang terakhir inipun tidak terpenuhi perlu dipertimbangkan pembuatan bendung di kopur atau dilakukan rekayasa perbaikan sungai (*river training*).
4. Regime sungai: Hindari lokasi bendung pada bagian sungai dimana terjadi perubahan kemiringan sungai secara mendadak, dan hindari bagian sungai dengan

belokan tajam. Pilih bagian sungai yang lurus mempunyai kemiringan relatif tetap sepanjang penggal tertentu.

5. Saluran induk: Pilih lokasi bendung sedemikian sehingga pembangunan saluran induk dekat bendung tidak terlalu sulit dan tidak terlalu mahal. Hindari trace saluran menyusuri tebing terjal apalagi berbatu. Usahakan ketinggian galian tebing pada saluran induk kurang dari 8 m dan ketinggian timbunan kurang dari 6 m.
6. Ruang untuk bangunan pelengkap: Lokasi bendung harus dapat menyediakan ruangan untuk bangunan pelengkap bendung, utamanya untuk kolam pengendap dan saluran penguras dengan panjang dan lebar masing-masing kurang lebih 300 – 500 m dan 40 – 60 m.
7. Luas layanan irigasi: Lokasi bendung harus sedemikian sehingga dapat memberikan luas layanan yang memadai terkait dengan kelayakan sistem irigasi. Elaborasi tinggi bendung (yang dibatasi sampai dengan 6 – 7 m), menggeser lokasi bendung ke hulu atau ke hilir, serta luas layanan irigasi harus dilakukan untuk menemukan kombinasi yang paling optimal.
8. Luas daerah tangkapan air: Lokasi bendung harus dipilih dengan mempertimbangkan luas daerah tangkapan, terkait dengan debit andalan yang didapat dan debit banjir yang mungkin terjadi menghantam bendung. Hal ini harus dikaitkan dengan luas layanan yang didapat dan ketinggian lantai layanan dan pembangunan bangunan melintang anak sungai (Jika ada).
9. Pencapaian mudah: Lokasi bendung harus relatif mudah dicapai untuk keperluan mobilisasi alat dan bahan saat pembangunan fisik maupun operasi dan pemeliharaan. Kemudahan melakukan inspeksi oleh aparat pemerintah juga harus dipertimbangkan masak-masak.
10. Biaya pembangunan yang efisien : dari berbagai alternatif lokasi bendung dengan mempertimbangkan faktor-faktor yang dominan, akhirnya dipilih lokasi bendung yang biaya konstruksinya minimal tetapi memberikan *ouput* yang optimal.

11. Kesepakatan *stakeholder*: apapun keputusannya, yang penting adalah kesepakatan antar pemangku kepentingan lewat konsultasi publik. Untuk itu direkomendasikan melakukan sosialisasi pemilihan lokasi bendung.

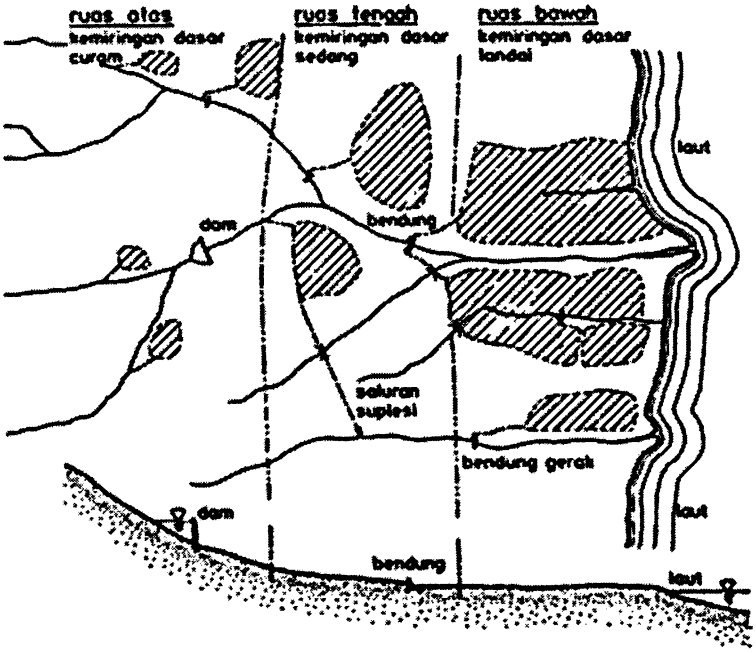
Ada beberapa karakteristik sungai yang perlu dipertimbangkan agar dapat diperoleh perencanaan bangunan bendung yang baik. Beberapa di antaranya adalah: kemiringan dasar sungai, bahan-bahan dasar dan morfologi sungai. Diandaikan bahwa jumlah air yang mengalir dan distribusinya dalam waktu bertahun-tahun telah dipelajari dan dianggap memadai untuk kebutuhan irigasi.

3.2.1 Kemiringan Dasar Sungai dan Bahan Dasar

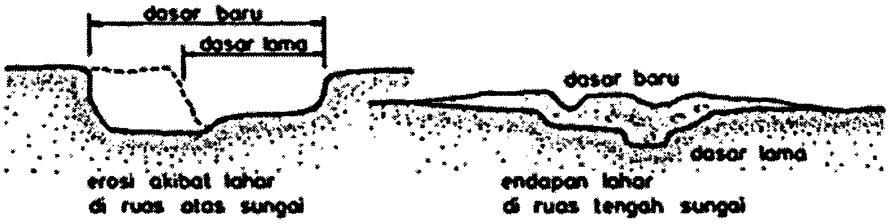
Kemiringan dasar sungai bisa bervariasi dari sangat curam sampai hampir datar di dekat laut. Dalam beberapa hal, ukuran bahan dasar akan bergantung kepada kemiringan dasar. Gambar 3-1 memberikan ilustrasi berbagai bagian sungai berkenaan dengan kemiringan ini.

Di daerah pegunungan, kemiringan sungai curam dan bahan-bahan dasar berkisar antara batu-batu sangat besar sampai pasir. Batu berdiameter sampai 1000 mm bisa hanyut selama banjir besar dan berhenti di depan pengambilan serta mengganggu berfungsinya bangunan pengambilan.

Di daerah-daerah aliran sungai dimana terdapat kegiatan gunung api, banjir besar dapat menghanyutkan endapan bahan-bahan volkanik menjadi banjir lahar. Dalam perencanaan bangunan, lahar ini tidak dapat diperhitungkan, tindakan-tindakan mencegah terjadinya banjir lahar demikian sebaiknya diambil di tempat lain.



Gambar 3-1. Ruas-Ruas Sungai

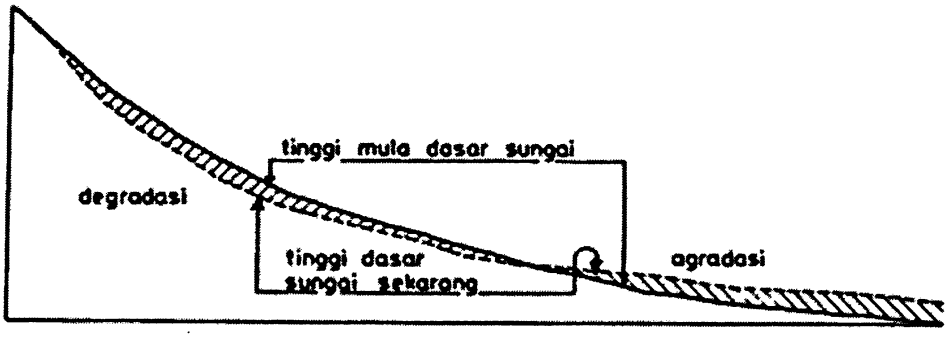


Gambar 3-2. Akibat Banjir Lahar

Selain lahar, daerah-daerah yang mengandung endapan vulkanik dapat menghasilkan bahan-bahan sedimen yang berlebihan untuk jangka waktu lama.

Di daerah-daerah gunung api muda (Jawa, Sumatera dan Bali), tinggi dasar ruas-ruas sungai yang curam biasanya belum stabil dan degredasi atau agradasi umumnya tinggi.

Kecenderungan degradasi mungkin untuk sementara waktu berbalik menjadi agradasi, jika lebih banyak lagi sedimen masuk ke dasar sungai setelah terjadi tanah longsor atau banjir lahar di sepanjang sungai bagian atas.



Gambar 3-3. Agradasi dan Degradasi

Sungai-sungai yang sudah stabil dapat dijumpai di daerah-daerah gunung atau gunung api tua dan pengaruh dari gejala-gejala agradasi atau degradasi terhadap tinggi dasar sungai tidak akan tampak sepanjang umur proyek. Gunung-gunung yang lebih tua terdapat di Kalimantan, Sulawesi dan Irian Jaya serta di pulau-pulau lain yang lebih kecil di seluruh kepulauan Nusantara.

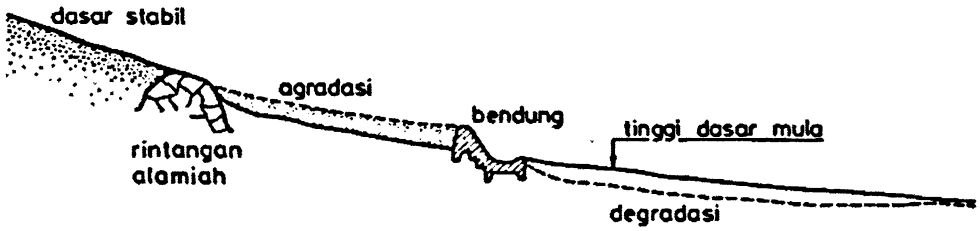
Terdapatnya batu singkapan atau rintangan alamiah berupa batu-batu besar dapat menstabilkan tinggi dasar sungai sampai beberapa kilometer di sebelah hulu, cek ini penting sehubungan dengan degradasi. Apabila di dasar sungai terdapat cek dam alamiah berupa batu besar, maka stabilitas dam tersebut selama terjadi banjir besar hendaknya diselidiki, sebab kegagalan akan berakibat degradasi yang cepat di sebelah hulu.

Kadang-kadang lapisan konglomerat sementasi merupakan cek di sungai. Lapisan-lapisan konglomerat ini rawan terhadap abrasi cepat oleh bahan-bahan sedimen keras yang bergerak di sungai. Lapisan ini dapat menghilang sebelum umur bangunan yang diharapkan lewat.

Di luar daerah pegunungan kemiringan dasar sungai akan menjadi lebih kecil dan bahan-bahan sedimen dasarnya terdiri dari pasir, kerikil dan batu kali. Potongan dasar sungai yang dalam bisa merupakan petunjuk bahwa degradasi sedang terjadi atau bahwa dasar tersebut telah mencapai tinggi yang seimbang. Hal ini hanya dapat dipastikan bila keadaan tersebut telah berlangsung lama.

Jika dasar sungai menjadi dangkal atau lebar, terisi pasir dan kerikil, maka hal ini dapat dijadikan petunjuk bahwa dasar tersebut sedang mengalami agradasi secara berangsur-angsur.

Dam atau rintangan alamiah (lihat Gambar 3-4.) yang ada akan menjaga kestabilan dasar sungai sampai ruas tertentu, sedangkan sebelah hilir atau hulu ruas tersebut mengalami degradasi atau agradasi.



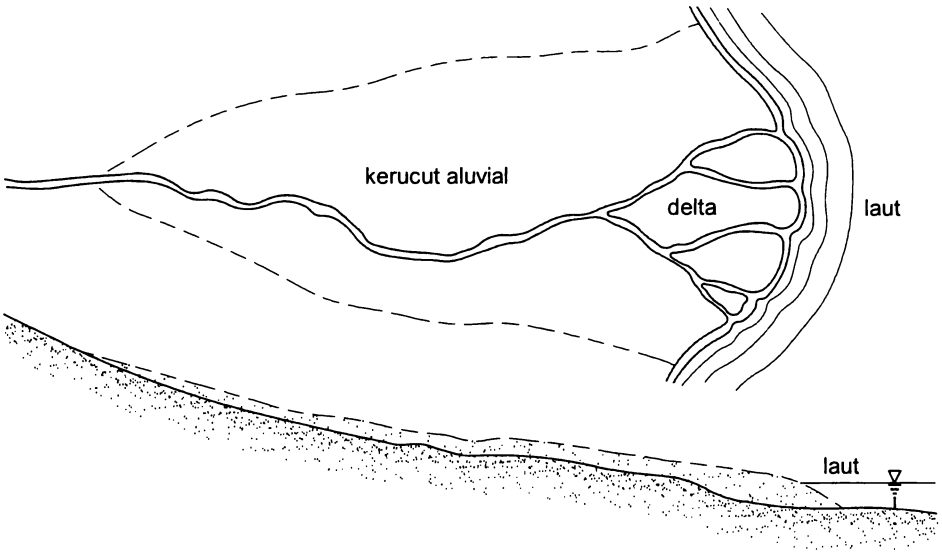
Gambar 3-4. Pengaruh Rintangan (Cek) Alamiah

Pekerjaan-pekerjaan pengaturan sungai, seperti sodetan meander dan pembuatan krib atau lindungan tanggul, juga akan mempengaruhi gerak dasar sungai. Pada umumnya pekerjaan-pekerjaan ini akan menyebabkan degradasi dasar sungai akibat kapasitas angkutnya bertambah.

Dasar sungai di ruas bawah akan terdiri dari pasir sedang dan halus, mungkin dengan lapisan lanau dan lempung.

Apabila sungai mengalir ke laut atau danau, maka kemiringan dasarnya kecil, dan tergantung pada banyaknya sedimen yang diangkut oleh sungai itu, sebuah delta dapat terbentuk.

Terbentuknya delta merupakan pertanda pasti bahwa ruas bawah sungai dalam keadaan agradasi.



Gambar 3-5. Terbentuknya Delta

3.2.2 Morfologi Sungai

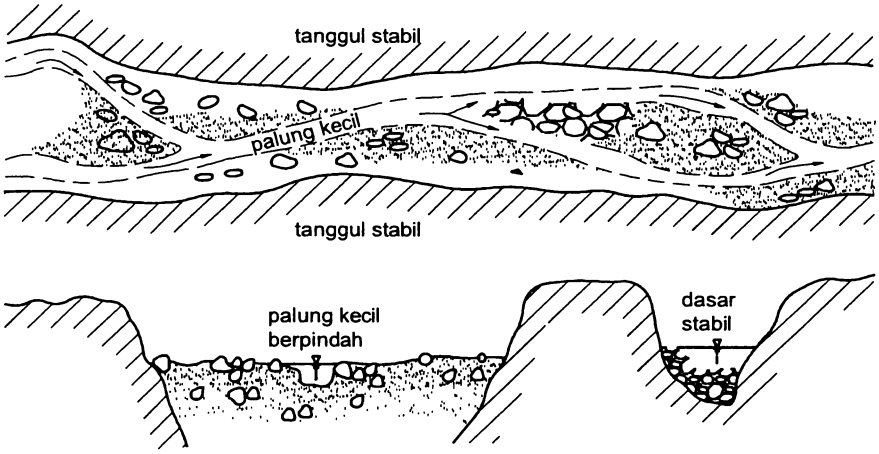
Apabila tanggul sungai terdiri dari batu, konglomerat sementasi atau batu-batu, maka dapat diandaikan bahwa sungai itu stabil dengan dasarnya yang sekarang.

Jika dasar sungai penuh dengan batu-batu dan kerikil-kerikil, maka arah sungai tidak akan tetap dan palung kecil akan berpindah-pindah selama terjadi banjir besar.

Vegetasi alamiah bisa membuat tanggul menjadi stabil. Tanggul yang tidak ditumbuhi pepohonan dan semak belukar akan mudah terkena erosi.

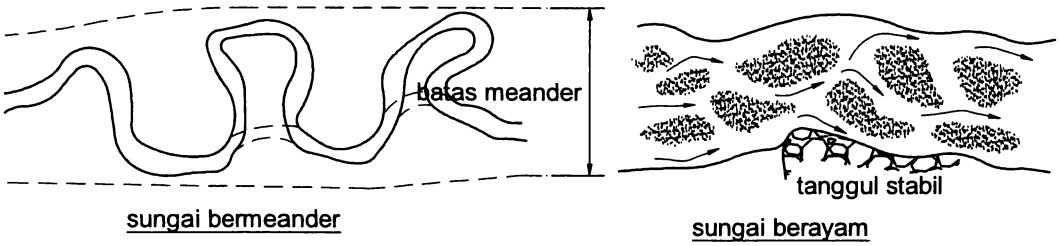
Sebaliknya, di daerah-daerah lahar tanggul-tanggul batu yang stabil dapat terkikis dan palung besar yang lebar bisa terbentuk di sungai itu.

Dalam keadaan aslinya, hanya sedikit saja sungai yang lurus sampai jarak yang jauh. Bahkan pada ruas lurus mungkin terdapat pasir, kerikil atau bongkah-bongkah batu. Kecenderungan alamiah suatu sungai yang mengalir melalui daerah-daerah endapan alluvial adalah terjadinya meandering atau anyaman (*braiding*), tergantung apakah terbentuk alur tunggal atau beberapa alur kecil. Bahkan pada ruas yang berbeda dapat terbentuk meander dan anyaman.



Gambar 3-6. Morfologi Sungai

Biasanya terdapat lebar tertentu di sungai tempat di sepanjang sungai yang merupakan batas meander. Ini disebut batas meander. Besarnya batas meander ini merupakan data penting perencanaan tanggul banjir di sepanjang sungai.



Gambar 3-7. Sungai Bermeander dan Terowongan

Untuk perencanaan bangunan utama, kita perlu mengetahui apakah meander di lokasi bangunan yang direncana stabil atau rawan terhadap erosi selama terjadi banjir.

Apabila tersedia peta-peta foto udara lama, maka peta-peta ini akan diperiksa dengan seksama guna membuat penyesuaian-penyesuaian morfologi sungai.

Penduduk setempat mungkin dapat memberikan keterangan yang bermanfaat mengenai stabilitas tanggul sungai.

Pada waktu mengevaluasi stabilitas tanggul sungai, naiknya muka air setelah selesainya pelaksanaan bangunan bendung harus diperhitungkan. Ada satu hal yang harus mendapat perhatian khusus, yakni apakah vegetasi yang ada mampu bertahan hidup pada muka air tinggi, atau akan lenyap beberapa waktu kemudian. Tindakan-tindakan apa saja yang akan diambil guna mempertahankan stabilitas tanggul?

Ruas-ruas yang teranyam tidak akan memberikan kondisi yang baik untuk perencanaan dan pelaksanaan pekerjaan bendung, karena aliran-aliran rendah tersebut akan tersebar di dasar sungai lebar yang terdiri dari pasir.

Ruas-ruas demikian sebaiknya dihindari, Jika mungkin, atau dipilih bagian yang sempit dengan aliran alur yang terkonsentrasi.

Sungai-sungai tertentu mempunyai bantaran pada ruas-ruas yang landai yang akan tergenang banjir beberapa kali setiap tahunnya. Di sepanjang sungai mungkin terbentuk tanggul-tanggul rendah alamiah akibat endapan pasir halus dan lanau. Selama banjir besar tanggul-tanggul ini bisa bobol dan mengakibatkan arah dasar sungai berubah sama sekali.

3.3 Muka Air

Muka air rencana di depan pengambilan bergantung pada:

(1) elevasi muka air yang diperlukan untuk irigasi (eksploitasi normal)

(2) beda tinggi energi pada kantong lumpur yang diperlukan untuk membilas sedimen dari kantong

(3) beda tinggi energi pada bangunan pembilas yang diperlukan untuk membilas sedimen dekat pintu pengambilan.

(4) beda tinggi energi yang diperlukan untuk meredam energi pada kolam olak.

Untuk elevasi muka air yang diperlukan, tinggi, kedalaman air dan kehilangan tinggi energi berikut harus dipertimbangkan:

- elevasi sawah yang akan diairi
- kedalaman air di sawah
- kehilangan tinggi energi di saluran dan boks tersier
- kehilangan tinggi energi di bangunan sadap tersier
- variasi muka air untuk eksploitasi di jaringan primer
- panjang dan kemiringan saluran primer
- kehilangan tinggi energi pada bangunan-bangunan di jaringan primer sipon, pengatur, flum, dan sebagainya
- kehilangan tinggi energi di bangunan utama

3.4 Topografi

Topografi pada lokasi yang direncanakan sangat mempengaruhi perencanaan dan biaya pelaksanaan bangunan utama:

harus cukup tempat di tepi sungai untuk membuat kompleks bangunan utama termasuk kantong lumpur dan bangunan pembilas.

Topografi sangat mempengaruhi panjang serta tata letak tanggul banjir dan tanggul penutup, Jika ini diperlukan

Topografi harus dipelajari untuk membuat perencanaan trase saluran primer yang tidak terlalu mahal.

3.5 Kondisi Geologi Teknik

Yang paling penting adalah pondasi bangunan utama. Daya dukung dan kelulusan tanah bawah merupakan hal-hal penting yang sangat berpengaruh terhadap perencanaan bangunan utama besar sekali.

Masalah-masalah lain yang harus diselidiki adalah kekuatan bahan terhadap erosi, tersedianya bahan bangunan (sumber bahan timbunan) serta parameter-parameter tanah untuk stabilitas tanggul.

3.6 Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan akan dipertimbangkan juga dalam pemilihan lokasi yang cocok pada tahap awal penyelidikan.

Pada Gambar 3-8 diberikan 2 alternatif pelaksanaan yang biasa diterapkan yaitu:

(a) pelaksanaan di sungai

(b) pelaksanaan pada sodetan/kopur di samping sungai

Lokasi yang dipilih harus cocok dengan metode pelaksanaan dan pekerjaan-pekerjaan sementara yang dibutuhkan.

Pekerjaan-pekerjaan sementara yang harus dipertimbangkan adalah:

- Kemungkinan pembuatan saluran pengelak

  Saluran pengelak akan dibuat jika konstruksi dilaksanakan di dasar sungai yang dikeringkan. Kemudian aliran sungai akan dibelokkan untuk sementara.

- Bendungan sementara

  Bendungan sementara (*cofferdam*) adalah bangunan sementara di sungai untuk melindungi lokasi pekerjaan.

- Tempat kerja (*construction pit*)

  Tempat kerja adalah tempat dimana bangunan akan dibuat. Biasanya lokasi cukup dalam dan perlu dijaga tetap kering dengan jalan memompa air di dalamnya.

- Kopur (sudetan)

  Jika pekerjaan dilakukan di luar alur sungai di tempat yang kering dan dilakukan dengan memintas (disodet), maka ini disebut kopur, dimana lengan sungai lama kemudian harus ditutup.

- *Dewatering* (pengeringan air permukaan dan penurunan muka air tanah)

- Tanggul penutup

Tanggul penutup diperlukan untuk menutup saluran pengelak atau lengan sungai lama setelah pelaksanaan konstruksi bendung pengelak selesai.

3.7 Aksesibilitas dan Tingkat Pelayanan

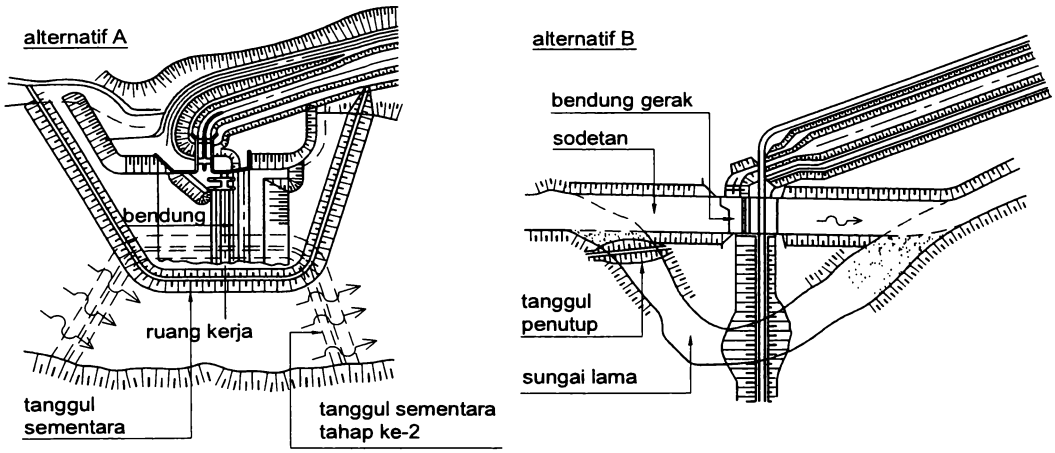
Kemudahan transportasi, sarana dan prasarana menuju lokasi bangunan akan sangat membantu dalam persiapan pelaksanaan pekerjaan, pelaksanaan pembangunan bendung maupun dalam melaksanakan kegiatan operasi dan pemeliharaan bila bangunan bendung telah selesai dibangun dan mulai dioperasikan.

3.8 Tipe Bangunan

3.8.1 Umum

Bangunan dapat digolongkan menjadi dua, yakni bangunan yang mempengaruhi dan yang tidak mempengaruhi muka air hulu.

Termasuk dalam kategori pertama adalah bendung pelimpah dan bendung gerak. Kedua tipe tersebut mampu membendung air sampai tinggi minimum yang diperlukan. Pintu bendung gerak mempunyai pintu yang dapat dibuka selama banjir guna mengurangi tinggi pembendungannya. Bendung pelimpah tidak bisa mengurangi tinggi muka air hulu sewaktu banjir.



Gambar 3-8. Metode Pelaksanaan Alternatif

Kategori bangunan kedua meliputi pengambilan bebas, pompa dan bendung saringan bawah. Tak satu pun dari tipe-tipe bangunan ini yang mempengaruhi muka air.

Semua bangunan ini dapat dibuat dari pasangan batu atau beton, atau campuran kedua bahan ini yang masing-masing bahan bangunannya mempengaruhi bentuk dan perencanaan bangunan tersebut.

Bahan-bahan lain jarang dipakai di Indonesia dan tidak akan dibicarakan di sini.

(i) Pasangan batu

Sampai saat ini pasangan batu dilaksanakan dengan cara tidak standar dan belum ditemukan cara mengontrol kekuatan pasangan batu. Kualitas pasangan batu kali sangat ditentukan oleh komposisi campuran dan kerapatan adukan dalam speci antar batu. Hal ini sangat dipengaruhi oleh tingkat kedisiplinan tukang dalam merocok adukan dan tingkat kejujuran pengawas lapangan. Perilaku tukang dan pengawas yang kurang memadai dapat mengakibatkan rendahnya mutu pasangan batu kali.

Pasangan batu kali dapat dipakai pada bangunan melintang sungai dengan syarat-syarat batasan sebagai berikut :

a. Tinggi bendung maksimum 3 m
b. Lebar sungai maksimum 30 m
c. Debit sungai per satuan lebar dengan periode ulang 100 tahun maksimum 8 $m^3/dt/m$.
d. Tinggi tembok penahan tanah maksimum 6 m

Bangunan atau bagian bangunan diluar syarat-syarat batasan di atas akan memakai material lain misalnya beton, yang tentunya memerlukan biaya lebih mahal, namun lebih memberikan jaminan kualitas dan keamanan bangunan.

Pasangan batu akan dipakai apabila bahan bangunan ini (batu-batu berukuran besar) dapat ditemukan di atau dekat daerah itu.

Permukaan bendung yang terkena abrasi langsung dengan air dan pasir, biasanya dilindungi dengan lapisan batu keras yang dipasang rapat-rapat. Batu ini disebut

batu candi, yaitu batu-batu yang dikerjakan dengan tangan dan dibentuk seperti kubus agar dapat dipasang serapat mungkin.

(ii) Beton

Di Indonesia beton digunakan untuk bendung pelimpah skala besar dan tinggi melebihi syarat-syarat batasan seperti tersebut dalam butir (i). Meskipun biayanya tinggi, tetapi lebih memberikan jaminan kualitas dan keamanan bangunan. Hal ini bisa tercapai karena prosedur pelaksanaan dan kontrol kekuatan bahan mengacu pada standar yang sudah baku. Di samping itu di daerah-daerah dimana tidak terdapat batu yang cocok untuk konstruksi pasangan batu, beton merupakan alternatif.

(iii) Beton Komposit

Bendung skala besar dan/atau tinggi melebihi batasan syarat-syarat dalam butir (i) yang terbuat dari beton, akan memerlukan biaya yang mahal mengingat volumenya yang besar. Dalam hal demikian tanpa mengurangi syarat-syarat keamanan struktur bangunan diperbolehkan menggunakan beton komposit, yaitu struktur beton yang di dalam tubuhnya diisi dengan pasangan batu kali.

Tebal lapisan luar beton minimal 60 cm.

3.8.2 Bangunan Pengatur Muka Air

Bendung Pelimpah

Tipe bangunan bendung yang paling umum dipakai di Indonesia adalah bendung pelimpah. Bendung ini dibuat melintang sungai untuk menghasilkan elevasi air minimum agar air tersebut bisa dielakkan. Perencanaan hidrolis, bendung pelimpah akan dibicarakan secara rinci pada Bab VI.

Bendung Gerak

Dengan pintu-pintunya (pintu sorong, pintu radial dan sebagainya), bendung gerak dapat mengatur muka air di sungai. Di daerah-daerah aluvial yang datar dimana meningginya muka air di sungai mempunyai konsekuensi yang luas (tanggul banjir yang panjang), pemakaian konstruksi bendung gerak dibenarkan. Karena

menggunakan bagian-bagian yang bergerak, seperti pintu dengan peralatan angkatnya bendung tipe ini menjadi konstruksi yang mahal dan membutuhkan eksploitasi yang lebih teliti.

Penggunaan bendung gerak dapat dipertimbangkan jika:

- kemiringan dasar sungai kecil/relatif datar
- peninggian dasar sungai akibat konstruksi bendung tetap tidak dapat diterima karena ini akan mempersulit pembuangan air atau membahayakan pekerjaan sungai yang telah ada akibat meningginya muka air.
- debit banjir tidak bisa dilewatkan dengan aman melalui bendung tetap
- pondasi kuat: pilar untuk pintu harus kaku dan penurunan tanah akan menyebabkan pintu-pintu itu tidak dapat dioperasikan.

Bendung Karet

Bendung karet pada dasarnya adalah bendung gerak horisontal yang mengatur muka air dengan mengembangkan dan mengempiskan tubuh bendung yang terbuat dari tabung karet yang berisi udara atau air. Udara atau air dimasukkan dari instalasi pompa udara atau air yang terletak tidak jauh dari lokasi bendung melalui pipa. Bangunan ini memerlukan eksploitasi yang teliti dan mahal.

Dalam merencanakan bendung karet perlu diperhatikan persyaratan penting yang harus diikuti yaitu :

(1) Kondisi aliran sungai tidak mengangkut sedimen kasar, tidak mengangkut sampah yang besar dan keras, serta tidak mengandung limbah kimia yang dapat bereaksi dengan karet.

(2) Sungai memiliki aliran subkritik dan tidak terjadi sedimentasi yang berat sehingga mengganggu mekanisme kembang kempisnya karet.

(3) Bahan tabung karet harus terbuat dari material yang elastis, kuat, tahan lama dan tidak mudah terabrasi.

(4) Pemilihan bahan karet baik jenis kekuatan maupun dimensi disesuaikan dengan kemampuan produsen untuk menyediakannya.

(5) Harus aman dari gangguan publik dan aman dari sengatan matahari

(6) Perencanaan operasi dan pemeliharaan yang rinci dan ketat.

3.8.3 Bangunan-Bangunan Muka Air Bebas

(a) Pengambilan Bebas

Bangunan pengambilan bebas langka dipakai karena persyaratan untuk berfungsinya bangunan tersebut dengan baik sangat sulit dipenuhi.

Persyaratan ini adalah:

- kebutuhan pengambilan kecil dibandingkan dengan debit sungai andalan
- kedalaman dan selisih tinggi energi yang cukup untuk pengelakan pada aliran normal
- tanggul sungai yang stabil pada lokasi bangunan pengambilan
- bahan dasar yang kecil pada pengambilan dan sedikit bahan layang

Agar sedimen yang masuk tetap minimal, pengambilan sebaiknya dibuat di ujung tikungan luar sungai untuk memanfaatkan aliran helikoidal. Kadang-kadang pula dibuat kantong lumpur atau pengelak sedimen di hilir pengambilan.

Karena persyaratan-persyaratan yang disebutkan di atas, biasanya pengambilan bebas dijumpai di ruas sungai dimana kemiringan sungai curam; dasar tanggul sungai stabil (batu keras).

(b) Pompa

Pompa merupakan metode yang fleksibel untuk mengelakkan air dari sungai. Tetapi, karena biaya energinya mahal (biasanya bahan bakar atau listrik), pompa akan digunakan hanya apabila pemecahan berdasarkan gravitasi tidak mungkin serta analisis untung-rugi menunjukkan bahwa instalasi pompa memang layak.

Dalam keadaan khusus ada dua tipe pompa yang mungkin dipakai. Kedua tipe ini tidak bergabung pada bahan bakar atau listrik. Tipe-tipe tersebut adalah:

(a) Pompa naik hidrolis (*hydraulic ram pump*), yang bekerja atas dasar momentum aliran air dan dengan cara itu pompa dapat menaikkan sedikit dari air tersebut. Karena jumlah air yang dinaikkan sedikit.

Tipe pompa ini umumnya hanya digunakan untuk memompa air minum.

(b) Pompa yang digerakkan dengan air terjun.

Di dasar pipa (*shaft*) vertikal dipasang sebuah rotor dimana air terjun menyebabkan pipa berputar. Di atas terdapat pompa kecil yang menaikkan air sedikit saja.

(c) Bendung Saringan Bawah

Bendung saringan bawah atau Tiroller mengelakkan air lewat dasar sungai. Flum yang dipasang tegak lurus terhadap dasar sungai mengelakkan air melalui tepi sungai. Flum tersebut dipasangi saringan yang jerujinya searah dengan aliran sungai. Saringan itu akan menghalangi masuknya bahan-bahan sedimen kasar di dasar sungai (untuk potongan melintang tipe bendung ini lihat Gambar 1-2.). Bahan-bahan yang lebih halus harus dipisahkan dengan konstruksi pengelak sedimen yang ada di belakang bangunan bendung. Perencanaan saringan bawah harus mendapat perhatian yang sungguh-sungguh, karena hal ini akan menentukan berfungsinya bangunan dengan baik.

Tipe bendung ini terutama cocok digunakan di daerah pegunungan. Karena hampir tidak mempunyai bagian yang memerlukan eksploitasi, bangunan ini dapat bekerja tanpa pengawasan. Juga, penggunaan saringan bawah ini sangat menguntungkan di bagian sungai yang kemiringannya curam dengan bahan sedimen yang lebih besar.

Karena bendungan saringan bawah tidak mempunyai bagian yang merupakan penghalang aliran sungai dan bahan dasar kasar, maka bendung ini tidak mudah rusak akibat hempasan batu-batu bongkah yang diangkut aliran. Batu-batu ini akan lolos begitu saja ke hilir sungai.

BAB IV
PERENCANAAN HIDROLIS

4.1 Umum

Perencanaan hidrolis bagian-bagian pokok bangunan utama akan dijelaskan dalam subbab-subbab berikut ini. Perencanaan tersebut mencakup tipe-tipe bangunan yang telah dibicarakan dalam subbab-subbab terdahulu, yakni:

- bendung pelimpah
- bendung mekanis
- bendung karet
- pengambilan bebas
- pompa dan
- bendung saringan bawah

Di sini akan diberikan kriteria hidrolis untuk bagian-bagian dari tipe bangunan yang dipilih dan sebagai referensi tambahan dapat digunakan SNI 03-1724-1989, SNI 03-2401-1991.

4.2 Bendung Pelimpah

4.2.1 Lebar Bendung

Lebar bendung, yaitu jarak antara pangkal-pangkalnya (*abutment*), sebaiknya sama dengan lebar rata-rata sungai pada bagian yang stabil. Di bagian ruas bawah sungai, lebar rata-rata ini dapat diambil pada debit penuh (*bankful discharge*) di bagian ruas atas mungkin sulit untuk menentukan debit penuh. Dalam hal ini banjir *mean* tahunan dapat diambil untuk menentukan lebar rata-rata bendung.

Lebar maksimum bendung hendaknya tidak lebih dari 1,2 kali lebar rata-rata sungai pada ruas yang stabil.

Untuk sungai-sungai yang mengangkut bahan-bahan sedimen kasar yang berat, lebar bendung tersebut harus lebih disesuaikan lagi terhadap lebar rata-rata sungai, yakni jangan diambil 1,2 kali lebar sungai tersebut.

Agar pembuatan bangunan peredam energi tidak terlalu mahal, maka aliran per satuan lebar hendaknya dibatasi sampai sekitar 12-14 $m^3/dt.m^1$, yang memberikan tinggi energi maksimum sebesar 3,5 – 4,5 m (lihat Gambar 4-1.)

Lebar efektif mercu (B_e) dihubungkan dengan lebar mercu yang sebenarnya (B), yakni jarak antara pangkal-pangkal bendung dan/atau tiang pancang, dengan persamaan berikut:

$$B_e = B - 2\,(nK_p + K_a)\,H_1 \qquad \text{4-1}$$

dimana:

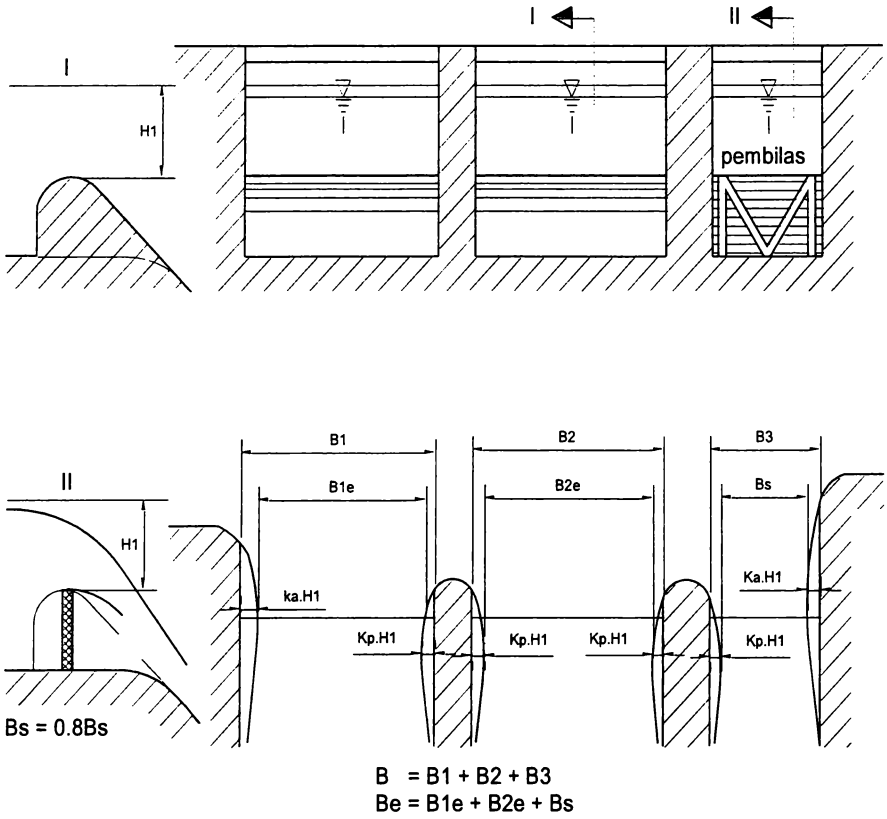
n = jumlah pilar

K_p = koefisien kontraksi pilar

K_a = koefisien kontraksi pangkal bendung

H_1 = tinggi energi, m

Harga-harga koefisien K_a dan K_p diberikan pada Tabel 4-1.



Gambar 4-1. Lebar Efektif Mercu

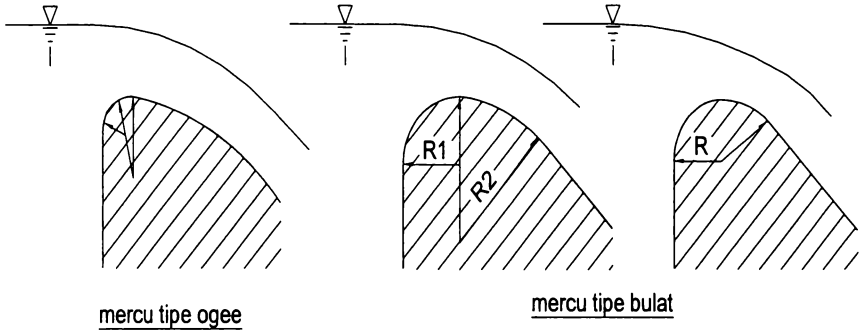
Tabel 4-1. Harga-Harga Koefisien K_a dan K_p

Bentuk Pilar	**K_p**
Untuk pilar berujung segi empat dengan sudut-sudut yang dibulatkan pada jari-jari yang hampir sama dengan 0,1 dari tebal pilar	0,02
Untuk pilar berujung bulat	0,01
Untuk pilar berujung runcing	0
Bentuk Pangkal Tembok	**K_a**
Untuk pangkal tembok segi empat dengan tembok hulu pada 90^0 ke arah aliran	0,20
Untuk pangkal tembok bulat dengan tembok hulu pada 90^0 ke arah aliran dengan $0,5\ H_1 > r > 0,15\ H_1$	0,10
Untuk pangkal tembok bulat dimana $r > 0,5\ H_1$ dan tembok hulu tidak lebih dari 450 ke arah aliran	0

Dalam memperhitungkan lebar efektif, lebar pembilas yang sebenarnya (dengan bagian depan terbuka) sebaiknya diambil 80% dari lebar rencana untuk mengkompensasi perbedaan koefisiensi debit dibandingkan dengan mercu bendung itu sendiri (lihat Gambar 4-1.).

4.2.2 Perencanaan Mercu

Di Indonesia pada umumnya digunakan dua tipe mercu untuk bendung pelimpah : tipe Ogee dan tipe bulat (lihat Gambar 4-2.).



Gambar 4-2. Bentuk-Bentuk Mercu

Kedua bentuk mercu tersebut dapat dipakai baik untuk konstruksi beton maupun pasangan batu atau bentuk kombinasi dari keduanya.

Kemiringan maksimum muka bendung bagian hilir yang dibicarakan di sini berkemiringan 1 banding 1 batas bendung dengan muka hilir vertikal mungkin menguntungkan jika bahan pondasinya dibuat dari batu keras dan tidak diperlukan kolam olak. Dalam hal ini kavitasi dan aerasi tirai luapan harus diperhitungkan dengan baik.

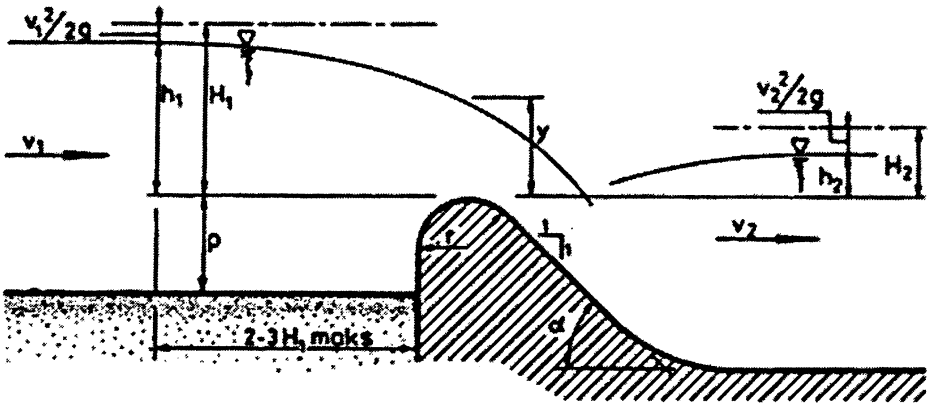
(1) Mercu bulat

Bendung dengan mercu bulat (lihat Gambar 4-2.) memiliki harga koefisiensi debit yang jauh lebih tinggi (44%) dibandingkan dengan koefisiensi bendung ambang lebar. Pada sungai, ini akan banyak memberikan keuntungan karena bangunan ini akan

mengurangi tinggi muka air hulu selama banjir. Harga koefisiensi debit menjadi lebih tinggi karena lengkung *streamline* dan tekanan negatif pada mercu.

Tekanan pada mercu adalah fungsi perbandingan antara H_1 dan r (H_1 /r) (lihat Gambar 4-4.). Untuk bendung dengan dua jari-jari (R_2) (lihat Gambar 4-2.), jari-jari hilir akan digunakan untuk menemukan harga koefisien debit.

Untuk menghindari bahaya kavitasi lokal, tekanan minimum pada mercu bendung harus dibatasi sampai – 4 m tekanan air jika mercu terbuat dari beton untuk pasangan batu tekanan subatmosfir sebaiknya dibatasi sampai –1 m tekanan air.



Gambar 4-3. Bendung dengan Mercu Bulat

Dari Gambar 4-3. tampak bahwa jari-jari mercu bendung pasangan batu akan berkisar antara 0,3 sampai 0,7 kali H_{1maks} dan untuk mercu bendung beton dari 0,1 sampai 0,7 kali $H_{.1maks}$

Persamaan tinggi energi-debit untuk bendung ambang pendek dengan pengontrol segi empat adalah:

$$Q = C_d 2/3\sqrt{2/3g}\, b\, H_1^{1,5} \qquad \text{..... 4-2}$$

dimana: Q = debit, m^3/dt

C_d = koefisien debit ($C_d = C_0C_1C_2$)

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\cong 9,8\ m/dt^2$)

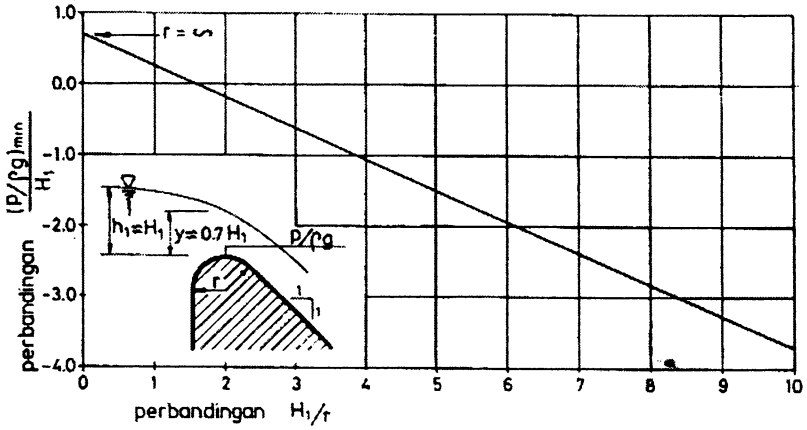
b = panjang mercu, m

H_1 = tinggi energi di atas mercu, m

Koefisien debit C_d adalah hasil dari:

- C_0 yang merupakan fungsi H_1/r (lihat Gambar 4-5.)
- C_1 yang merupakan fungsi p/H_1 (lihat Gambar 4-6.), dan
- C_2 yang merupakan fungsi p/H_1 dan kemiringan muka hulu bendung (lihat Gambar 4-7.).

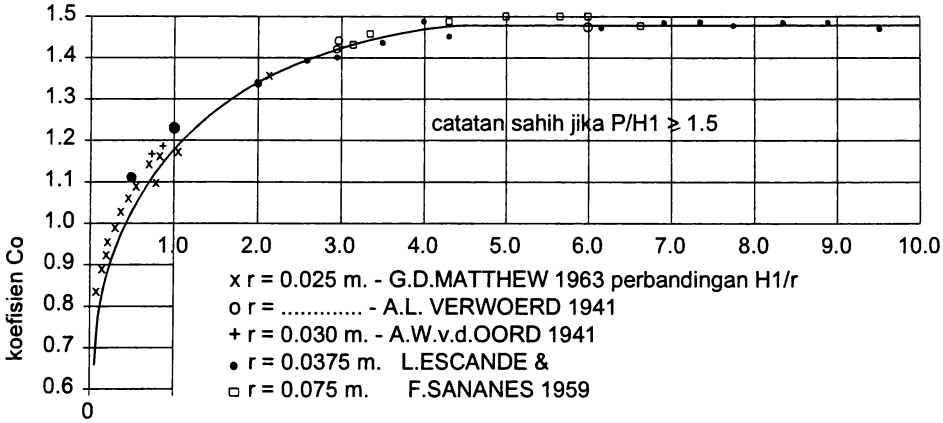
C_0 mempunyai harga maksimum 1,49 jika H_1/r lebih dari 5,0 seperti diperlihatkan pada Gambar 4-5.



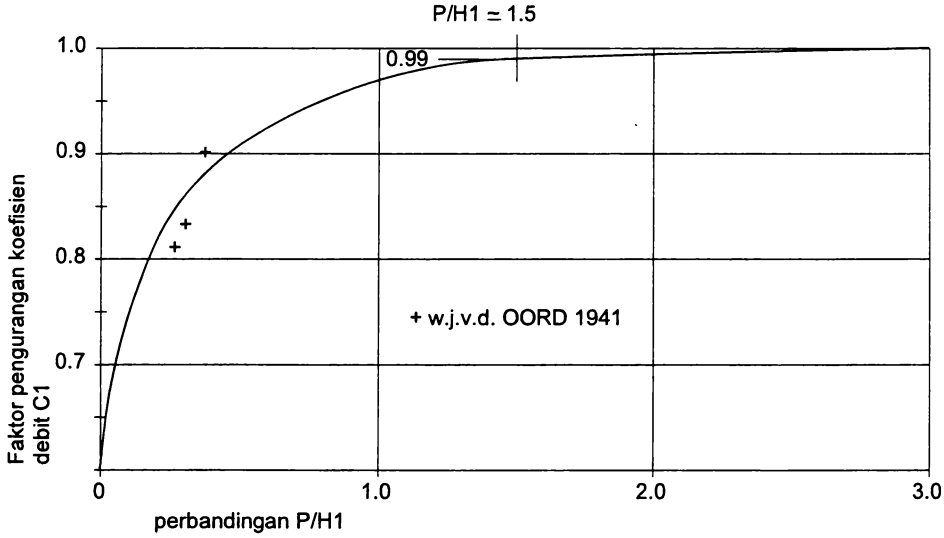
Gambar 4-4. Tekanan pada Mercu Bendung Bulat sebagai Fungsi Perbandingan H_1/r

Harga-harga C_0 pada Gambar 4-5 sahih (valid) apabila mercu bendung cukup tinggi di atas rata-rata alur pengarah ($p/H_1 \geq$ sekitar 1,5).

Dalam tahap perencanaan p dapat diambil setengah jarak dari mercu sampai dasar rata-rata sungai sebelum bendung tersebut dibuat. Untuk harga-harga p/h_1 yang kurang dari 1,5, maka Gambar 4-6. dapat dipakai untuk menemukan faktor pengurangan C_1.

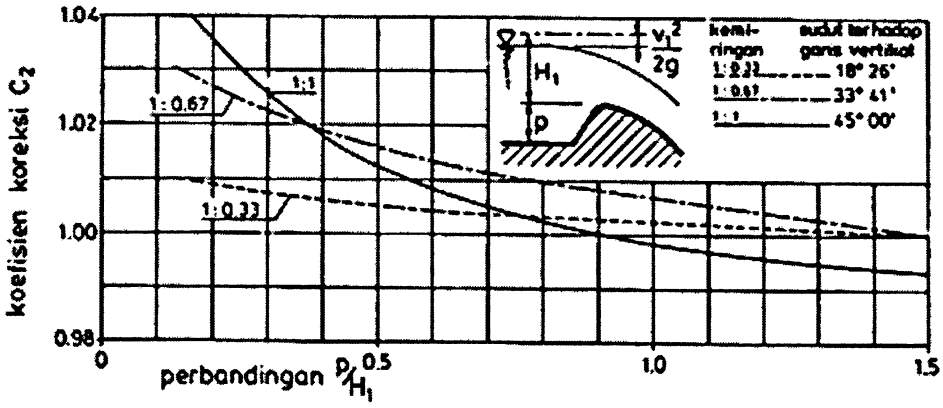


Gambar 4-5. Harga-Harga Koefisien C_0 untuk Bendung Ambang Bulat Sebagai Fungsi Perbandingan H_1/r



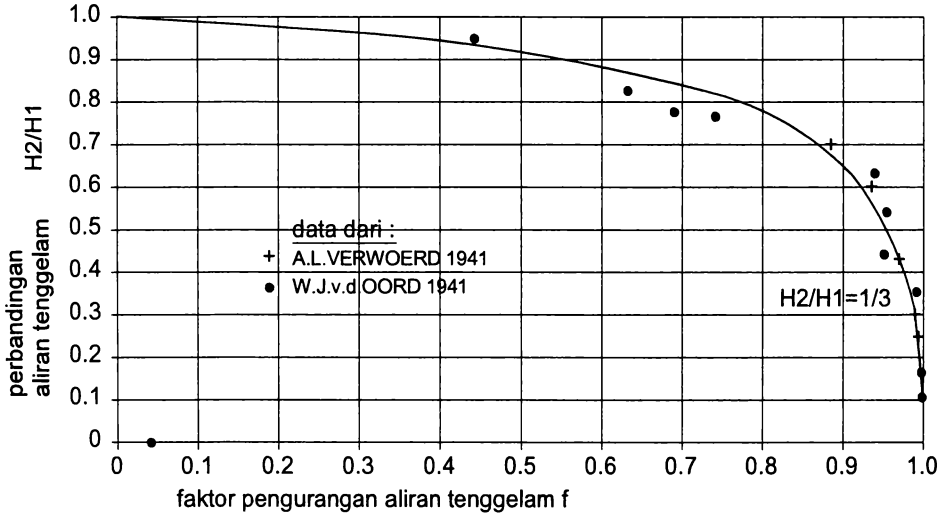
Gambar 4-6. Koefisien C_1 sebagai Fungsi Perbandingan P/H_1

Harga-harga koefisien koreksi untuk pengaruh kemiringan muka bendung bagian hulu terhadap debit diberikan pada Gambar 4-7. Harga koefisien koreksi C_2, diandaikan kurang lebih sama dengan harga faktor koreksi untuk bentuk-bentuk mercu tipe Ogee.



Gambar 4-7. Harga-Harga Koefisien C_2 untuk Bendung Mercu Tipe Ogee dengan Muka Hulu Melengkung (Menurut USBR, 1960)

Harga-harga faktor pengurangan aliran tenggelam f sebagai fungsi perbandingan tenggelam dapat diperoleh dari Gambar 4-8. Faktor pengurangan aliran tenggelammengurangi debit dalam keadaan tenggelam.



Gambar 4-8. Faktor Pengurangan Aliran Tenggelam Sebagai Fungsi H_2/H_1

(2) Mercu Ogee

Mercu Ogee berbentuk tirai luapan bawah dari bendung ambang tajam aerasi. Oleh karena itu mercu ini tidak akan memberikan tekanan subatmosfir pada permukaan mercu sewaktu bendung mengalirkan air pada debit rencana. Untuk debit yang lebih rendah, air akan memberikan tekanan ke bawah pada mercu.

Untuk merencanakan permukaan mercu Ogee bagian hilir, *U.S. Army Corps of Engineers* telah mengembangkan persamaan berikut:

$$\frac{Y}{hd} = \frac{1}{K}\left[\frac{X}{hd}\right]^n \quad \text{..... 4-3}$$

dimana x dan y adalah koordinat-koordinat permukaan hilir (lihat Gambar 4-9.) dan h_d adalah tinggi energi rencana di atas mecu. Harga-harga K dan n adalah parameter. Harga-harga ini bergantung kepada kecepatan dan kemiringan permukaan belakang. Tabel 4-2. menyajikan harga-harga K dan n untuk berbagai kemiringan hilir dan kecepatan pendekatan yang rendah.

Tabel 4-2. Harga-Harga K dan n

Kemiringan Permukaan Hilir	K	n
Vertikal	2,000	1,850
3:1	1,936	1,836
3:2	1,939	1,810
1:1	1,873	1,776

Bagian hulu mercu bervariasi sesuai dengan kemiringan permukaan hilir (lihat Gambar 4-9.).

Persamaan antara tinggi energi dan debit untuk bendung mercu Ogee adalah:

$$Q = C_d 2/3\sqrt{2/3gb}H_1^{1,5} \quad \text{..... 4-4}$$

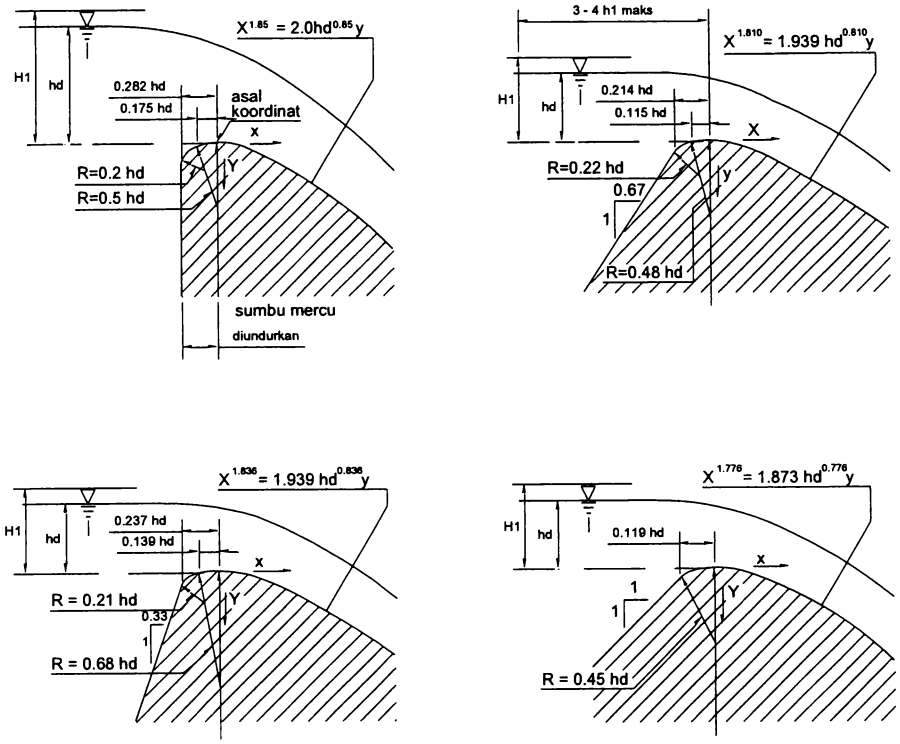
dimana: Q = debit, m^3/dt

C_d = koefisien debit ($C_d = C_0C_1C_2$)

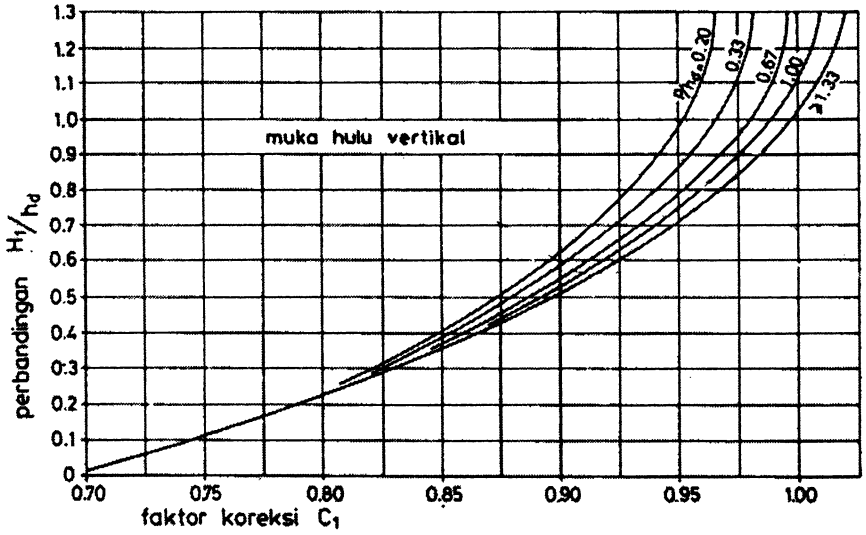
g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\cong 9,8\ m/dt^2$)

b = lebar mercu, m

H_1 = tinggi energi di atas ambang, m



Gambar 4-9. Bentuk-Bentuk Bendung Mercu Ogee
(*U.S.Army Corps of Engineers, Waterways Experimental Stasion*)



Gambar 4-10. Faktor Koreksi untuk Selain Tinggi Energi Rencana pada Bendung Mercu Ogee
(Menurut *Ven Te Chow*, 1959, Berdasarkan Data USBR dan WES)

Koefisien debit efektif C_e adalah hasil C_0, C_1 dan C_2 ($C_e = C_0C_1C_2$).

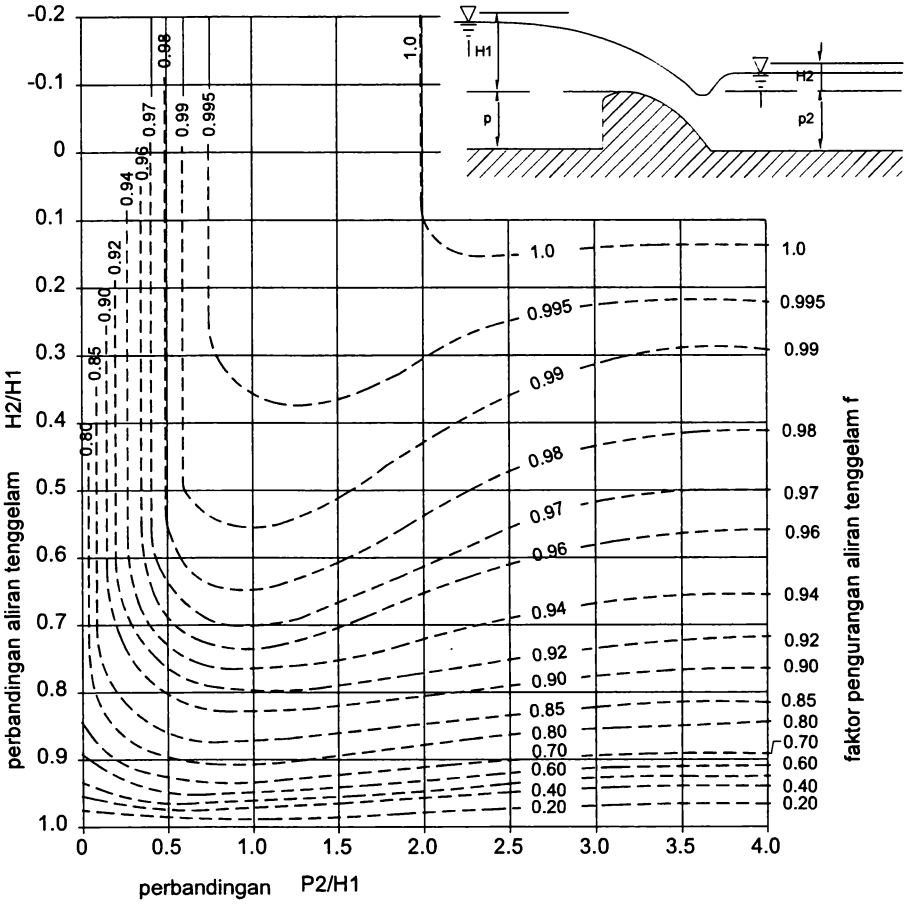
- C_0 adalah konstanta (= 1,30),
- C_1 adalah fungsi p/h_d dan H_1/h_d, dan
- C_2 adalah faktor koreksi untuk permukaan hulu.

Faktor koreksi C_1 disajikan pada Gambar 4-10 dan sebaiknya dipakai untuk berbagai tinggi bendung di atas dasar sungai.

Harga-harga C_1 pada Gambar 4-10. berlaku untuk bendung mercu Ogee dengan permukaan hulu vertikal. Apabila permukaan bendung bagian hulu miring, koefisien koreksi tanpa dimensi C_2 harus dipakai; ini adalah fungsi baik kemiringan permukaan bendung maupun perbandingan p/H_1.

Harga-harga C_2 dapat diperoleh dari Gambar 4-7.

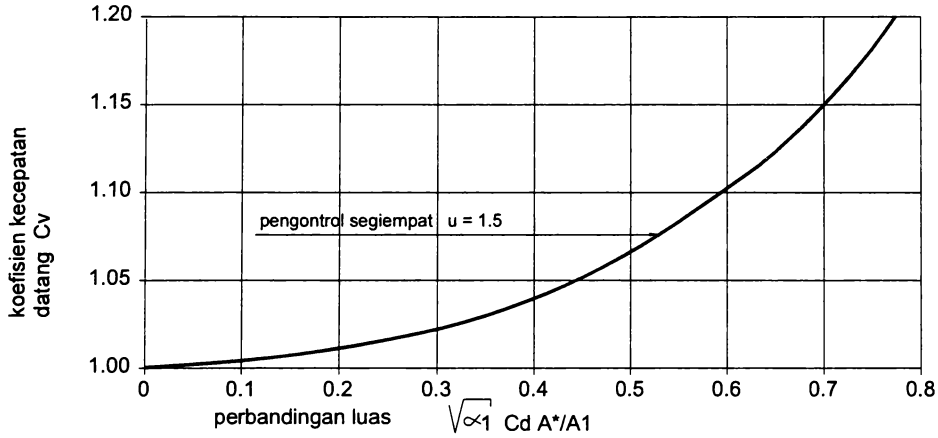
Gambar 4-11. menyajikan faktor pengurangan aliran tenggelam f untuk dua perbandingan: perbandingan aliran tenggelam H_2/H_1 dan P_2/H_1.



Gambar 4-11. Faktor Pengurangan Aliran Tenggelam Sebagai Fungsi p_2/H_1 dan H_2/H_1. (Disadur dari *US Army Corps of Engineers Waterways Experimental Station*)

(3) Kecepatan datang (*approach velocity*)

Jika dalam rumus-rumus debit di atas dipakai kedalaman air h_1, bukan tinggi energi H_1, maka dapat dimasukkan sebuah koefisien kecepatan datang C_v ke persamaan debit tersebut. Harga-harga koefisien ini dapat dibaca dari Gambar 4-12.



Gambar 4-12. Harga-Harga C_v Sebagai Fungsi Perbandingan Luas $\sqrt{\alpha_1}\, C_d\, A^*/A_1$ untuk Bagian Pengontrol Segi Empat (dari *Bos*, 1977)

Gambar ini memberikan harga-harga C_v untuk bendung segi empat sebagai fungsi perbandingan luas.

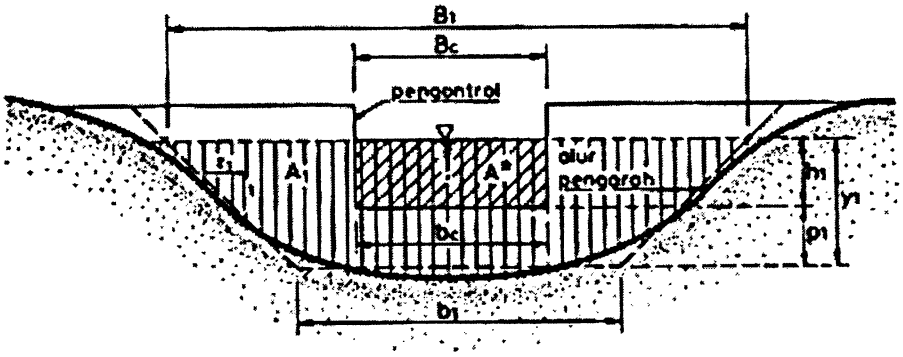
Perbandingan luas = $\sqrt{\alpha_1} C_d A^*/A_1$ 4-5

dimana:

α_1 = koefisiensi pembagian/distribusi kecepatan dalam alur pengarah (*approach channel*). Untuk keperluan-keperluan praktis harga tersebut boleh diandaikan sebagai konstan; α = 1,04

A_1 = luas dalam alur pengarah

A^* = luas semu potongan melintang aliran di atas mercu bendung jika kedalaman aliran akan sama dengan h_1 (lihat Gambar 4-13.).



Gambar 4-13. Potongan Hulu dan Tampak Depan Pengontrol

4.2.3 Pelimpah Gigi Gergaji

Pada beberapa lokasi rencana pembuatan bendung, didapatkan sungai yang mempunyai karakteristik lebar sungai kecil, debit cukup besar dengan fluktuasi antara debit rendah dan debit tinggi yang tidak terlalu jauh, dan tidak membawa material bawaan yang besar (besarnya sungai di daerah hilir). Untuk karakteristik sungai yang demikian jika dibangun bendung dengan pelimpah alinyemen lurus akan memerlukan panjang pelimpah yang besar, sehingga perlu area yang besar dan biaya yang mahal.

Dari hasil beberapa penelitian untuk sungai dengan karakteristik di atas lebih sesuai digunakan pelimpah dengan alinyemen berbentuk gigi gergaji, karena dengan bentuk seperti itu pada bentang sungai yang sama mempunyai panjang pelimpah yang lebih besar.

Parameter yang harus diperhatikan sebelum merencanakan tipe ini adalah :

(1) Lokasi, tinggi mercu, debit banjir rencana dan stabilitas perlu didesain dengan mengacu pada acuan yang ada pada pelimpah ambang tetap biasa.

(2) Bendung tipe gigi gergaji kurang sesuai untuk dibangun pada sungai dengan angkutan material dasar sungai batu gelinding, sungai yang membawa hanyutan batang-batang pohon dalam jumlah yang besar sehingga akan menimbulkan

benturan yang dapat merusak tubuh bendung atau tumpukan sampah yang dapat mengakibatkan penurunan kapasitas pelimpahan bendung.

(3) Radius atau jari-jari mercu perlu diambil lebih besar atau sama dengan 0,10 m.

4.2.4 Tata Letak dan Bentuk Gigi Gergaji

(1) Pelimpah dengan bentuk dasar segitiga menghasilkan kapasitas pelimpahan terbesar, tetapi jarak antara dinding-dinding pelimpah bagian ujung udik dan hilir pada bentuk segitiga sangat dekat. Keadaan ini mengakibatkan pelimpah bentuk segitiga sangat peka terhadap akibat perubahan muka air hilir dan mudah terjadi kehilangan aerasi akibat tumbukan aliran air menyilang yang jatuh dari dinding-dinding pelimpah.

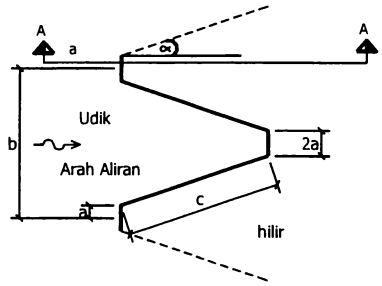
(2) Pada pelimpah dengan bentuk dasar persegi panjang terjadi pengkonsentrasian aliran menuju pelimpah. Keadaan ini menimbulkan penurunan muka air diatas pelimpah dan mengakibatkan penurunan kapasitas pelimpah.

(3) Bentuk dasar trapesium memberikan efektifitas pelimpahan yang terbaik.

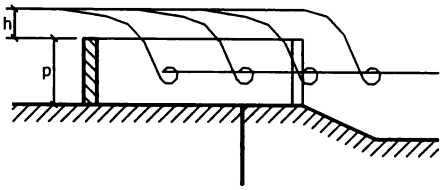
(4) Bentuk mercu pelimpah sangat berpengaruh terhadap kapasitas pelimpahan, bentuk mercu setengah lingkaran mempunyai koefisien pelimpahan (c), yang lebih besar daripada koefisien pelimpahan mercu dengan bentuk tajam (c_t).

Jika kapasitas pelimpahan bendung tipe gergaji dengan besar pelipatan panjang mercu $\frac{l_g}{b}$ dan nilai koefisien pelimpahan ct adalah sebesar Qt, kapasitas pelimpahan bendung gergaji dengan $\frac{l_g}{b}$ yang sama tetapi dengan koefisien pelimpahan c adalah

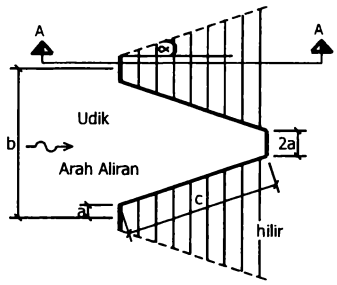
$$Qg = \frac{C_1}{c} \text{ x } Qt.$$



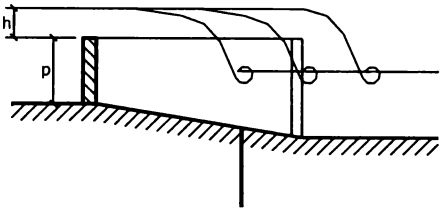
denah untuk jenis lantai hilir datar



Potongan A-A untuk jenis lantai hilir



denah untuk jenis lantai hilir miring



Potongan A-A untuk jenis lantai hilir

Gambar 4-14. Denah Pelimpah Bentuk Gergaji

Notasi dari gambar didepan adalah:

A = setengah lebar bagian dinding ujung-ujung gigi gergaji

b = lebar lurus satu gigi gergaji

c = panjang bagian dinding sisi gigi gergaji

p = tinggi pembendungan

h = tinggi tekan hidrolik muka air udik diukur dari mercu bendung.

L_g = panjang satu gigi gergaji = 4a + 2c

$\frac{h}{p}$ = perbandingan antara tinggi tekan hidrolik, h dengan tinggi bendung atau pelimpah diukur dari lantai udik, p.

$\frac{b}{p}$ = perbandingan antara lebar satu gigi b dengan tinggi bendung p

$\frac{l_g}{b}$ = perbandingan antara panjang mercu pelimpah gergaji yang terbentuk

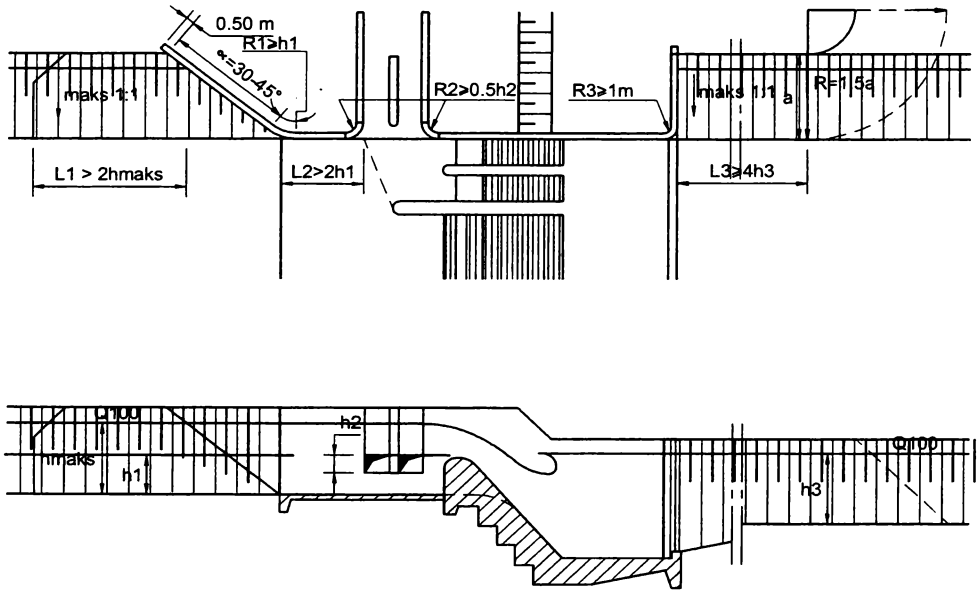
$\propto$ = sudut antara sisi pelimpah dengan arah aliran utama air

n = jumlah "gigi" pelimpah gergaji

$\frac{Q_g}{G_n}$ = nilai perbandingan antara besar debit pada pelimpah gergaji dibandingkan dengan besar debit pelimpahan jika digunakan pelimpah lurus biasa dengan lebar bentang yang sama.

4.2.5 Pangkal Bendung

Pangkal-pangkal bendung (*abutment*) menghubungkan bendung dengan tanggul-tanggul sungai dan tanggul-tanggul banjir. Pangkal bendung harus mengarahkan aliran air dengan tenang di sepanjang permukaannya dan tidak menimbulkan turbulensi. Gambar 4-14. memberikan dimensi-dimensi yang dianjurkan untuk pangkal bendung dan peralihan (transisi).



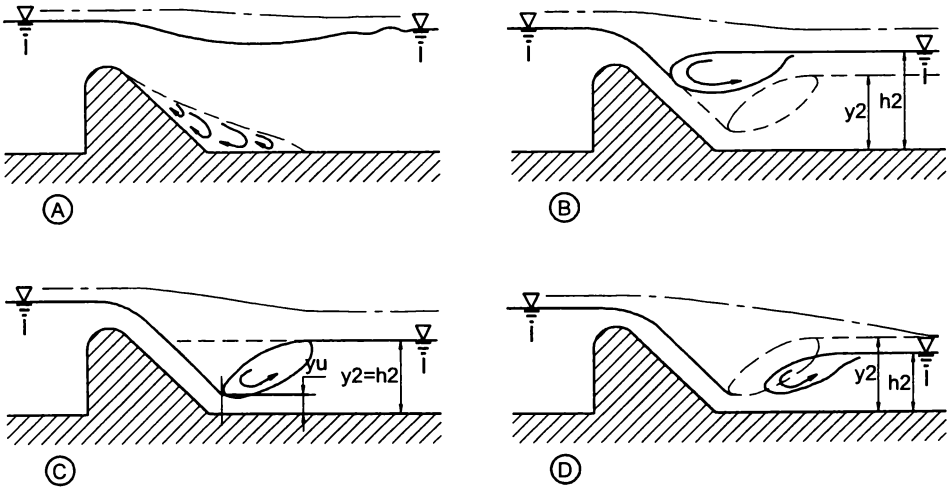
Gambar 4-15. Pangkal Bendung

Elevasi pangkal bendung di sisi hulu bendung sebaiknya lebih tinggi daripada elevasi air (yang terbendung) selama terjadi debit rencana. Tinggi jagaan yang harus diberikan adalah 0,75 m sampai 1,50 m, bergantung kepada kurve debit sungai di tempat itu, untuk kurve debit datar 0,75 m akan cukup, sedang untuk kurve yang curam akan diperlukan 1,50 m untuk memberikan tingkat keamanan yang sama.

4.2.6 Peredam Energi

Aliran di atas bendung di sungai dapat menunjukkan berbagai perilaku di sebelah bendung akibat kedalaman air yang ada h_2. Gambar 4-15 menyajikan kemungkinan-kemungkinan yang terjadi dari pola aliran di atas bendung.

Kasus A menunjukkan aliran tenggelam yang menimbulkan sedikit saja gangguan di permukaan berupa timbulnya gelombang. Kasus B menunjukkan loncatan tenggelam yang lebih diakibatkan oleh kedalaman air hilir yang lebih besar, daripada oleh kedalaman konjugasi. Kasus C adalah keadaan loncat air dimana kedalaman air hilir sama dengan kedalaman konjugasi loncat air tersebut. Kasus D terjadi apabila kedalaman air hilir kurang dari kedalaman konjugasi, dalam hal ini loncatan akan bergerak ke hilir.



Gambar 4-16. Peredam Energi

Semua tahap ini bisa terjadi di bagian hilir bendung yang di bangun di sungai. Kasus D adalah keadaan yang tidak boleh terjadi, karena loncatan air akan menghempas bagian sungai yang tak terlindungi dan umumnya menyebabkan penggerusan luas.

Debit Rencana

Untuk menemukan debit yang akan memberikan keadaan terbaik untuk peredaman energi, semua debit harus dicek dengan muka air hilirnya. Jika degradasi mungkin terjadi, maka harus dibuat perhitungan dengan muka air hilir terendah yang mungkin terjadi untuk mengecek apakah degradasi mungkin terjadi. Degradasi harus dicek jika:

(a) bendung dibangun pada sodetan (kopur)

(b) sungai itu sungai alluvial dan bahan tanah yang dilalui rawan terhadap erosi.

(c) terdapat waduk di hulu bangunan.

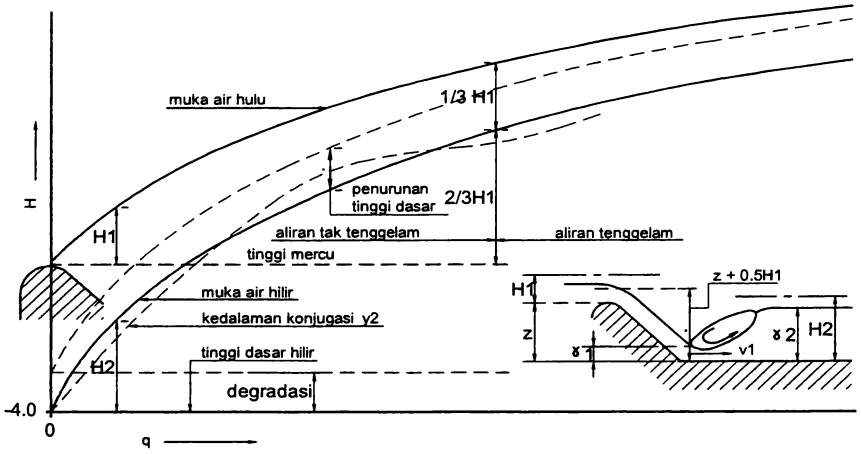
Bila degradasi sangat mungkin terjadi, tetapi tidak ada data pasti yang tersedia, maka harga sembarang degradasi 2,50 m harus digunakan dalam perencanaan kolam olak, tetapi dengan fungsi sebagai berikut:

(a) Untuk analisa stabilitas bendung

(b) Untuk menyiapkan *cut off end sill* / analisa dimensi *curve*

(c) Untuk keperluan perhitungan piping/*seepage*

(d) Untuk perhitungan kolam olak/dimensi



Gambar 4-17. Metode Perencanaan Kolam Loncat Air

4.2.7 Kolam Loncat Air

Gambar 4-17 memberikan penjelasan mengenai metode perencanaan. Dari grafik q versus H_1 dan tinggi jatuh 2, kecepatan (v_1) awal loncatan dapat ditemukan dari:

$$v_1 = \sqrt{2g(1/2H_1 + z)} \quad \text{.....4-6}$$

dimana: v_1 = kecepatan awal loncatan, m/dt

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\cong$ 9,8)

H_1 = tinggi energi di atas ambang, m

z = tinggi jatuh, m.

Dengan $q = v_1 y_1$, dan rumus untuk kedalaman konjugasi dalam loncat air adalah:

$$\frac{y_2}{y_u} = 1/2\left(\sqrt{1 + 8Fr^2} - 1\right) \quad \text{.....4-7}$$

dimana : $Fr = \dfrac{v_1}{\sqrt{g\, y_u}}$

y_2 = kedalaman air di atas ambang ujung, m

y_u = kedalaman air di awal loncat air, m

Fr = bilangan *Froude*

v_1 = kecepatan awal loncatan, m/dt

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\cong$ 9,8 m/dt^2)

Kedalaman konjugasi untuk setiap q dapat ditemukan dan diplot. Untuk menjaga agar loncatan tetap dekat dengan muka miring bendung dan di atas lantai, maka lantai harus diturunkan hingga kedalaman air hilir sekurang-kurangnya sama dengan kedalaman konjugasi.

Untuk aliran tenggelam, yakni jika muka air hilir lebih tinggi dari 2/3 H_1 di atas mercu, tidak diperlukan peredam energi.

Dalam menghitung gejala loncat air, Tabel 4-2. dapat pula digunakan (lihat Lampiran II) beserta Gambar 4-18.

Panjang Kolam

Panjang kolam loncat air dibelakang Potongan U (Gambar 4-18) biasanya kurang dari panjang bebas loncatan tersebut adanya ambang ujung (*endsill*). Ambang yang berfungsi untuk memantapkan aliran ini umumnya ditempatkan pada jarak

$$L_j = 5\,(n + y_2) \quad \text{.....} \quad 4\text{-}8$$

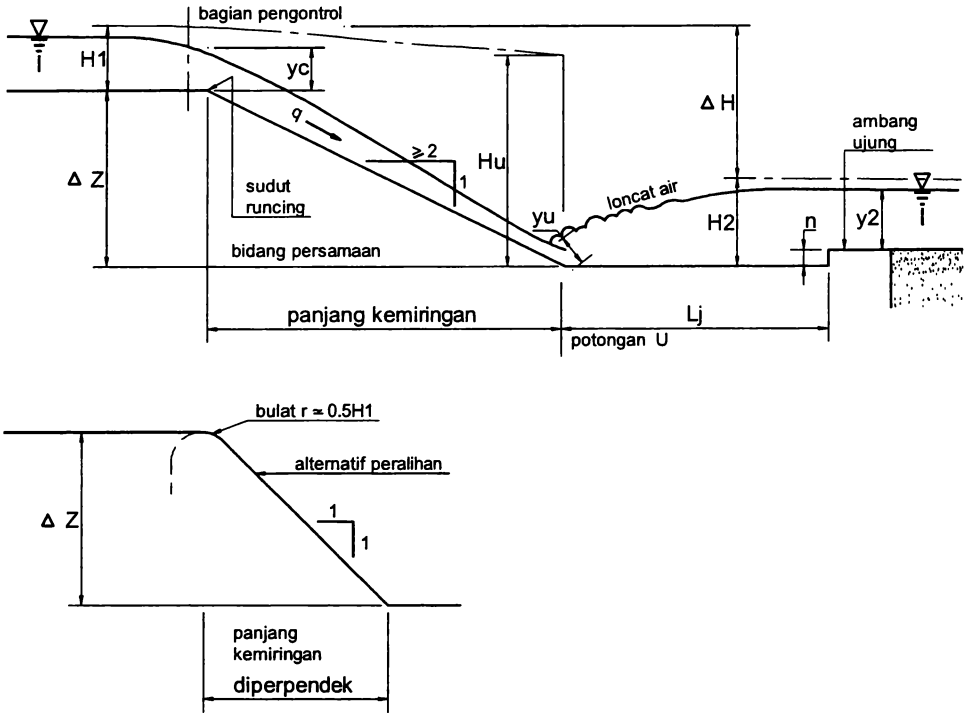
dimana:

L_j = panjang kolam, m

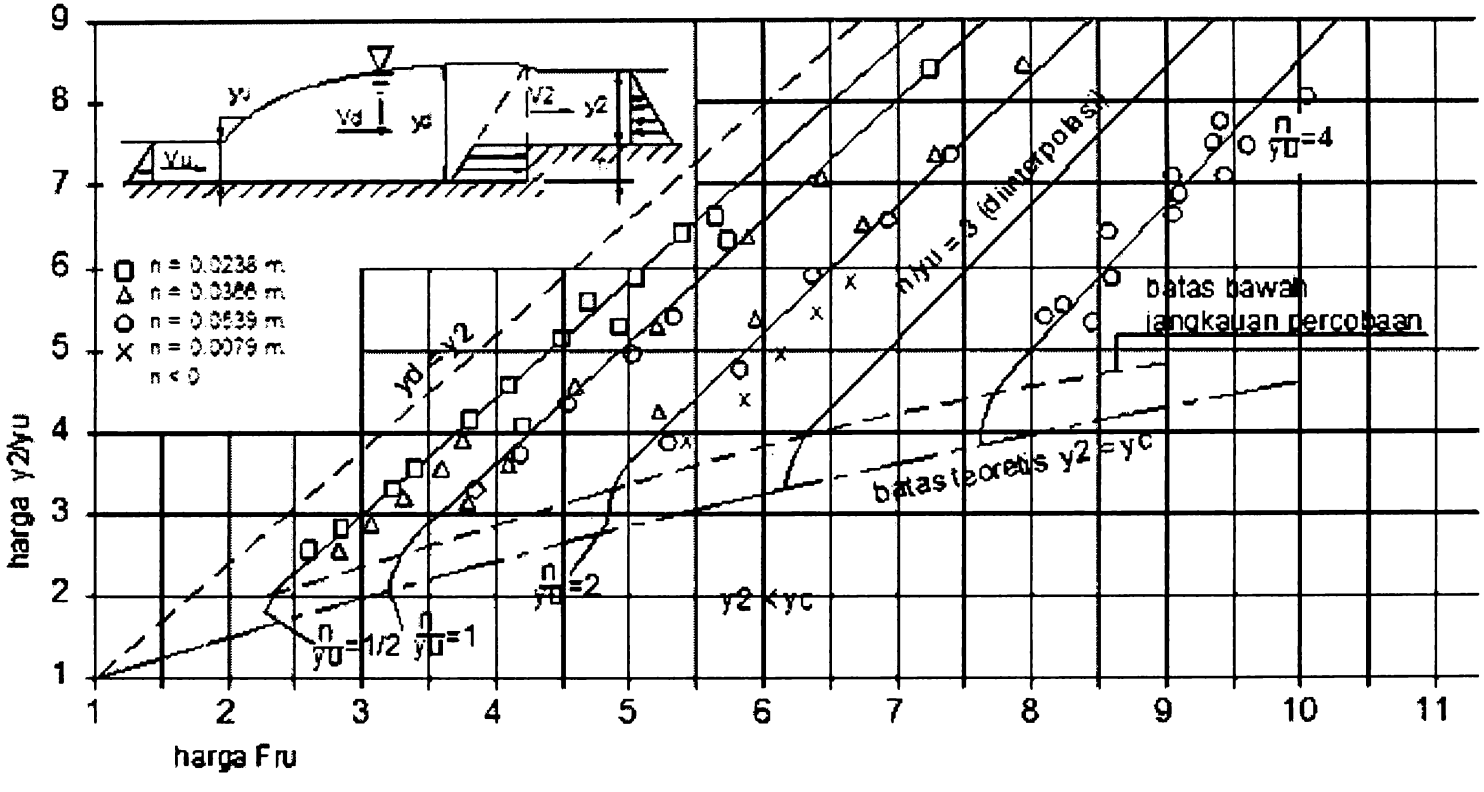
n = tinggi ambang ujung, m

y_2 = kedalaman air di atas ambang, m.

di belakang Potongan U. Tinggi yang diperlukan ambang ujung ini sebagai fungsi bilangan *Froude* (Fr), kedalaman air yang masuk y_u, dan tinggi muka air hilir, dapat ditentukan dari Gambar 4-19.

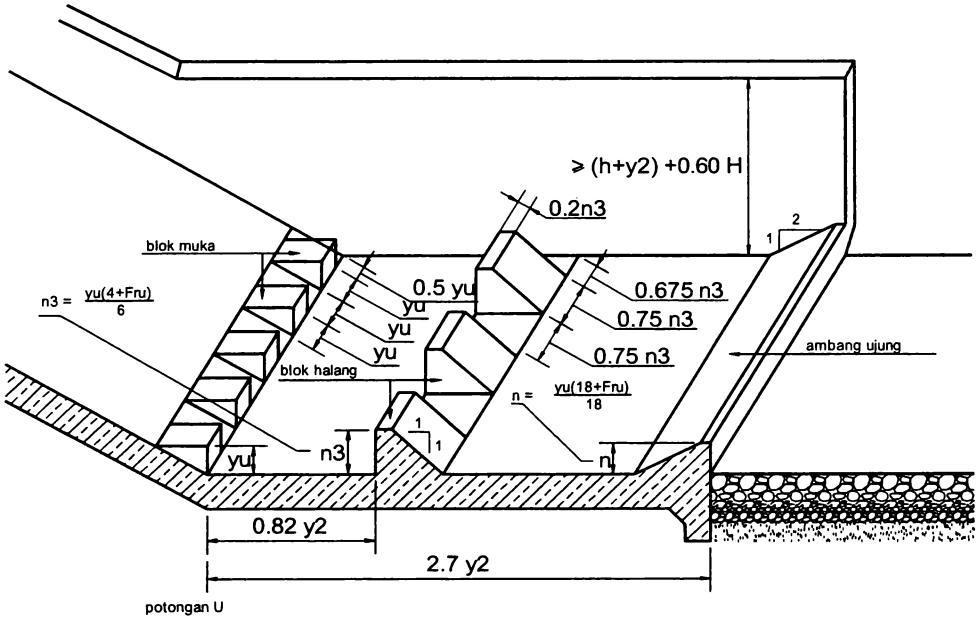


Gambar 4-18. Parameter-Parameter Loncat Air



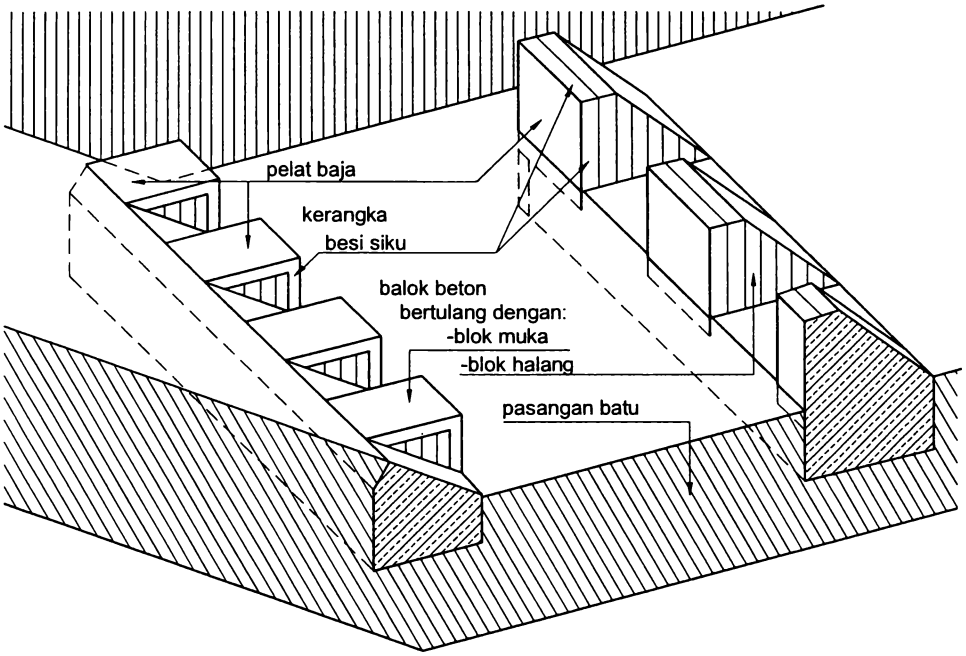
Gambar 4-19. Hubungan Percobaan Antara Fr_u, y_2/y_u untuk Ambang Ujung Pendek (Menurut *Forster dan Skrinde*, 1950)

Panjang kolam olak dapat sangat diperpendek dengan menggunakan blok-blok halang dan blok-blok muka. Gambar 4-19. menyajikan dimensi kolam olak USBR tipe III yang dapat dipakai jika bilangan Froude tidak lebih dari 4,5.



Gambar 4-20. Karakteristik Kolam Olak untuk Dipakai dengan Bilangan *Froude* di atas 4,5 Kolam USBR Tipe III (*Bradley* dan *Peterka*, 1957)

Jika kolam itu dibuat dari pasangan batu, blok halang dan blok muka dapat dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 4-20.



Gambar 4-21. Blok-Blok Halang dan Blok-Blok Muka

Tipe Kolam

Terlepas dari kondisi hidrolis, yang dapat dijelaskan dengan bilangan Froude dan kedalaman air hilir, kondisi dasar sungai dan tipe sedimen yang diangkut memainkan peranan penting dalam pemilihan tipe kolam olak:

(a) Bendung di sungai yang mengangkut bongkah atau batu-batu besar dengan dasar yang relatif tahan gerusan, biasanya cocok dengan kolam olak tipe bak tenggelam/*submerged bucket* (lihat Gambar 4-21.);

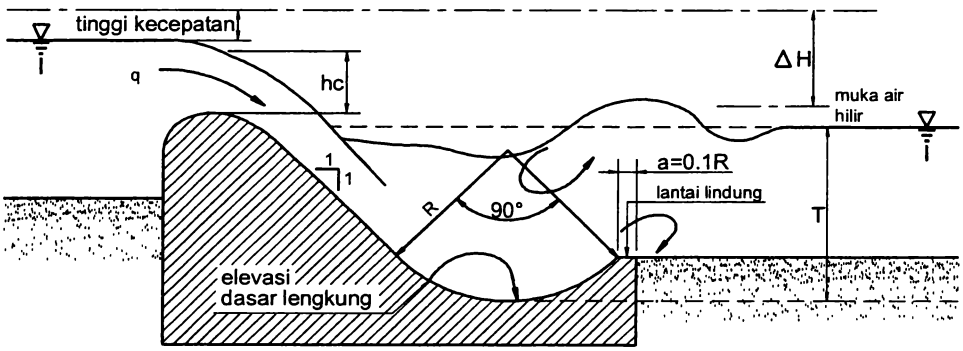
(b) Bendung di sungai yang mengangkut batu-batu besar, tetapi sungai itu mengandung bahan aluvial, dengan dasar tahan gerusan, akan menggunakan kolam loncat air tanpa blok-blok halang (lihat Gambar 4-17.) atau tipe bak tenggelam/peredam energi.

(c) Bendung sungai yang hanya mengangkut bahan-bahan sedimen halus dapat direncanakan dengan kolam loncat air yang diperpendek dengan menggunakan blok-blok halang (lihat Gambar 4-19.)

Untuk tipe kolam olak yang terakhir, daya gerus sedimen yang terangkut harus dipertimbangkan dengan mengingat bahan yang harus dipakai untuk membuat blok.

4.2.8 Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam

Jika kedalaman konjugasi hilir dari loncat air terlalu tinggi dibanding kedalaman air normal hilir, atau Jika diperkirakan akan terjadi kerusakan pada lantai kolam yang panjang akibat batu-batu besar yang terangkut lewat atas bendung, maka dapat dipakai peredam energi yang relatif pendek tetapi dalam. Perilaku hidrolis peredam energi tipe ini terutama bergantung kepada terjadinya kedua pusaran, satu pusaran permukaan bergerak ke arah berlawanan dengan arah jarum jam di atas bak, dan sebuah pusaran permukaan bergerak ke arah putaran jarum jam dan terletak di belakang ambang ujung. Dimensi-dimensi umum sebuah bak yang berjari-jari besar diperlihatkanpada Gambar 4-21.



Gambar 4-22. Peredam Energi Tipe Bak Tenggelam

Kolam olak tipe bak tenggelam telah digunakan sejak lama dengan sangat berhasil pada bendung-bendung rendah dan untuk bilangan-bilangan *Fruode* rendah. Kriteria yang dipakai untuk perencanaan diambil dari bahan-bahan oleh Peterka dan hasil-hasil penyelidikan dengan model. Bahan ini telah diolah oleh Institut Teknik Hidrolika di Bandung guna menghasilkan serangkaian kriteria perencanaan untuk kolam dengan tinggi energi rendah ini.

Parameter-parameter dasar untuk perencanaan tipe bak tenggelam sebagaimana diberikan oleh USBR (*Peterka*, 1974) sulit untuk diterapkan bagi perencanaan bendung dengan tinggi energi rendah.

Oleh sebab itu, parameter-parameter dasar ini sebagai jari-jari bak, tinggi energi dan kedalaman air telah dirombak kembali menjadi parameter-parameter tanpa dimensi dengan cara membaginya dengan kedalaman kritis.

$$h_c = \sqrt[3]{\frac{q^2}{g}} \quad \text{..... 4-9}$$

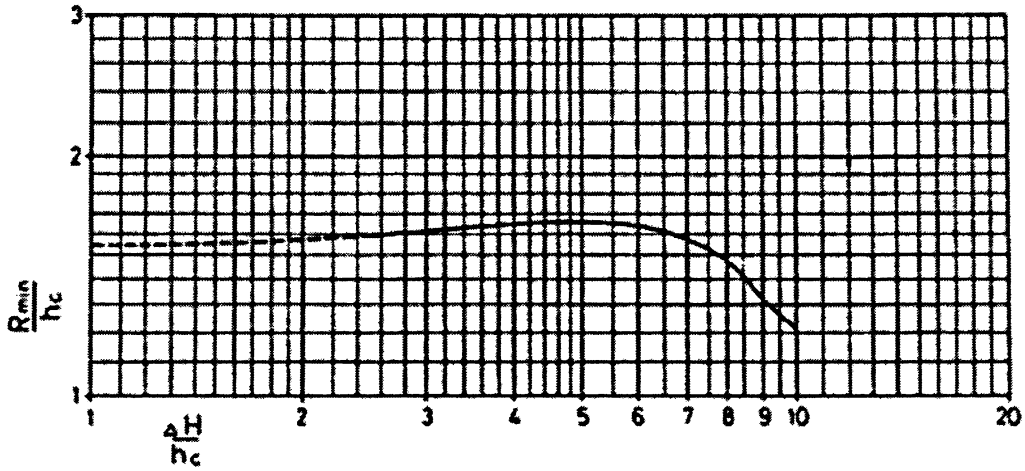
dimana:

h_c = kedalaman air kritis, m

q = debit per lebar satuan, $m^3/dt.m$

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\cong 9{,}8\ m/dt^2$)

<u>Jari-jari minimum bak yang diizinkan</u> (R_{min}) diberikan pada Gambar 4-22., dimana garis menerus adalah garis asli dari kriteria USBR. Di bawah $\Delta H/h_c = 2{,}5$ USBR tidak memberikan hasil-hasil percobaan. Sejauh ini penyelidikan dengan model yang dilakukan oleh IHE menunjukkan bahwa garis putus-putus pada Gambar 4-23. ini menghasilkan kriteria yang bagus untuk jari-jari minimum bak yang diizinkan bagi bangunan-bangunan dengan tinggi energi rendah ini.



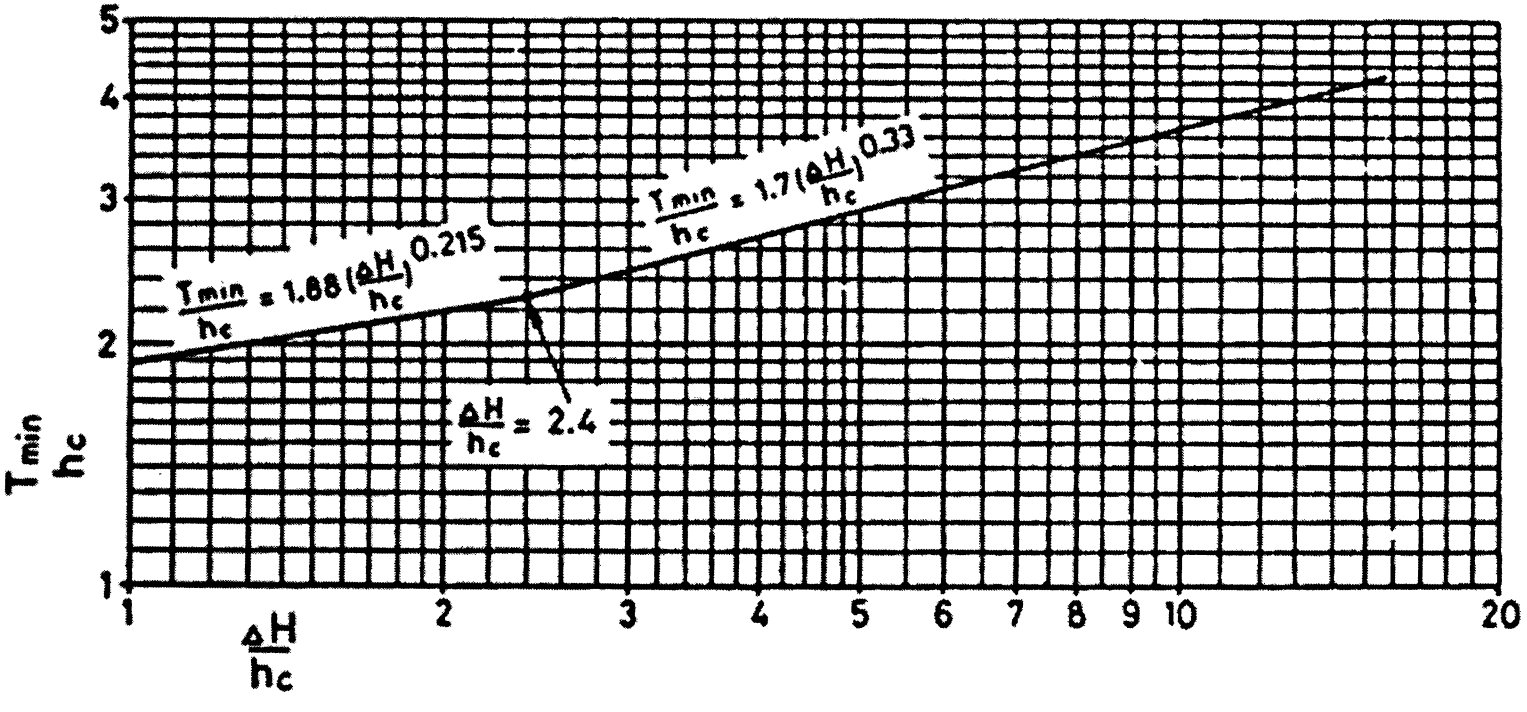
Gambar 4-23. Jari-Jari Minimum Bak

Batas minimum tinggi air hilir (T_{min}) diberikan pada Gambar 4-24.

Untuk $\Delta H/h_c$ di atas 2,4 garis tersebut merupakan "*envelope*" batas tinggi air hilir yang diberikan oleh USBR bagi batas minimum tinggi air hilir (bak bercelah), "*sweep-out limit*", batas minimum tinggi air hilir yang dipengaruhi oleh jari-jari bak dan batas tinggi air hilir untuk bak tetap.

Dibawah $\Delta H/h_c$ = 2,4 garis tersebut menggambarkan kedalaman konjugasi suatu loncat air. Dengan pertimbangan bahwa kisaran harga $\Delta H/h_c$ yang kurang dari 2,4 berada di luar jangkauan percobaan USBR, maka diputuskanlah untuk mengambil kedalaman konjugasi sebagai kedalaman minimum air hilir dari bak untuk harga $\Delta H/h_c$ yang lebih kecil dari 2,4.

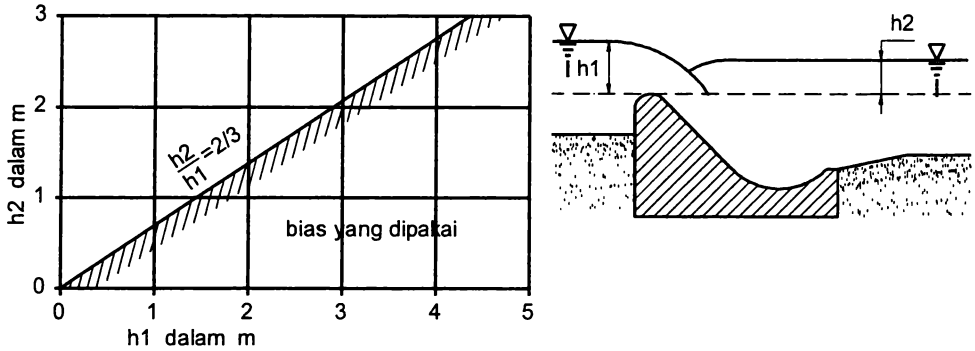
Pengalaman telah menunjukkan bahwa banyak bendung rusak akibat gerusan lokal yang terjadi tepat di sebelah hilirnya dan kadang-kadang kerusakan ini diperparah lagi oleh degradasi dasar sungai. Oleh karena itu, dianjurkan untuk menentukan kedalaman air hilir berdasarkan perkiraan degradasi dasar sungai yang akan terjadi di masa datang.



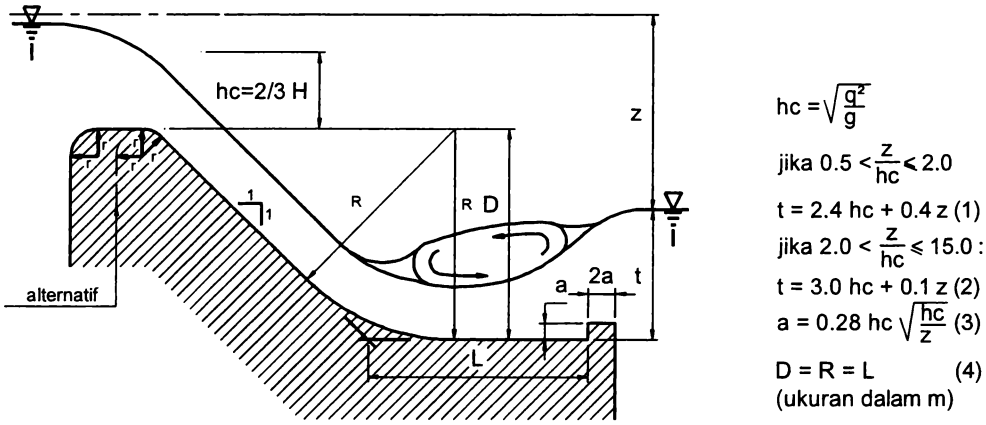
Gambar 4-24. Batas Minimum Tinggi Air Hilir

Dari penyelidikan model terhadap bak tetap, IHE menyimpulkan bahwa pengaruh kedalaman tinggi air hilir terhadap bekerjanya bak sebagai peredam energi, ditentukan oleh perbandingan h_2/h_1 (lihat Gambar 4-25.).

Jika h_2/h_1 lebih tinggi dari 2/3, maka aliran akan menyelam ke dalam bak dan tidak ada efek peredaman yang bisa diharapkan.



Gambar 4-25. Batas Maksimum Tinggi Air Hilir



Gambar 4-26. Kolam Olak Menurut *Vlugter*

4.2.9 Kolam *Vlugter*

Kolam *Vlugter*, yang detail rencananya diberikan pada Gambar 4-25., telah terbukti tidak andal untuk dipakai pada tinggi air hilir di atas dan di bawah tinggi muka air

yang sudah diuji di laboratorium. Penyelidikan menunjukkan bahwa tipe bak tenggelam, yang perencanaannya mirip dengan kolam *Vlugter*, lebih baik. Itulah sebabnya mengapa pemakaian kolam *Vlugter* tidak lagi dianjurkan jika debit selalu mengalami fluktuasi misalnya pada bendung di sungai.

4.2.10 Modifikasi Peredam Energi

Ada beberapa modifikasi peredam energi tipe *Vlugter*, *Schoklizt* yang telah dilakukan penelitiannya dan dapat digunakan dalam perencanaan dengan mengacu RSNI T-04-2002 dapat digunakan antara lain adalah tipe-tipe MDO, MDS.

Peredam energi tipe MDO terdiri dari lantai datar, di ujung hilir lantai dilengkapi dengan ambang hilir tipe gigi ompong dan dilengkapi dengan rip rap. Sedangkan peredam energi tipe MDS terdiri dari lantai datar, di ujung hilir lantai dilengkapi dengan ambang hilir tipe gigi ompong ditambah dengan bantalan air dan dilengkapi dengan rip rap. Bantalan air yang dimaksud di sini adalah ruang di atas lantai disediakan untuk lapisan air sebagai bantalan pencegah atau pengurangan daya bentur langsung batu gelundung terhadap lantai dasar peredam energi.

Sebelum mendesain tipe ini perlu ditentukan terlebih dahulu nilai parameter:

a) tipe mercu bendung harus bentuk bulat dengan satu atau dua jari-jari.
b) permukaan tubuh bendung bagian hilir dibuat miring dengan perbandingan kemiringan 1 : m atau lebih tegak dari kemiringan 1:1.
c) tubuh bendung dan peredam energi harus dilapisi dengan lapisan tahan aus.
d) elevasi dasar sungai atau saluran di hilir tubuh bendung yang ditentukan, dengan memperhitungkan kemungkinan terjadinya degradasi dasar sungai.
e) elevasi muka air hilir bendung yang dihitung, berdasarkan elevasi dasar sungai dengan kemungkinan perubahan geometri badan sungai.

Selain parameter di atas kriteria desain yang disyaratkan yaitu:

a) tinggi air udik bendung dibatasi maksimum 4 meter;
b) tinggi pembendungan (dihitung dari elevasi mercu bendung sampai dengan elevasi dasar sungai di hilir) maksimum 10 meter.

Dalam hal tinggi air udik bendung lebih dari 4 meter dan atau tinggi pembangunan lebih dari 10 meter tata cara peredam energi tipe MDO dan MDS ini masih dapat digunakan asalkan dimensinya perlu diuji dengan model test.

Penggunaan tipe MDO dan MDS dapat juga dimodifikasi dan dilakukan pengembangan pemakaiannya.

1) dimensi hidraulik peredam energi tipe MDO dapat diterapkan di hilir tubuh bendung dengan bidang miring lebih tegak dari perbandingan 1:1.
2) tubuh bendung dengan peredam energi tipe MDO dapat dilengkapi dengan pembilas sedimen tipe *undersluice* tanpa mengubah dimensi hidraulik peredam energi tipe MDO.

Data awal yang harus ditentukan terlebih dahulu adalah:

a) debit desain banjir dengan memperhitungkan tingkat keamanan bangunan air terhadap bahaya banjir.
b) debit desain penggerusan, dapat diambil sama dengan debit alur penuh.
c) lengkung debit sungai di hilir rencana bendung berdasarkan data geometri-hidrometri-hidraulik morfologi sungai.

Grafik-grafik yang dipakai dalam desain hidraulik bendung dengan kelengkapannya, meliputi :

a) grafik pengaliran melalui mercu bendung dapat dilihat dalam grafik MDO-1 pada lampiran A1 (RSNI T-04-2002)
b) grafik untuk mengetahui bahaya kavitasi di hilir mercu bendung dapat dilihat dalam MDO-1a pada lampiran A2 (RSNI T-04-2002)
c) grafik untuk menentukan dimensi peredam energi tipe MDO dan MDS dapat dilihat dalam grafik MDO-2 dan MDO-3 pada lampiran A3 dan A4 (RSNI T-04-2002)

Rumus-rumus yang digunakan dalam desain hidraulik ini meliputi :

1) debit desain persatuan lebar pelimpah :
   - untuk bahaya banjir : $q_{df} = Q_{df}/B_p$ 4-10
   - untuk bahaya penggerusan : $q_{df} = Q_{dp}/B_p$ 4-11

2) dimensi radius mercu bendung (r) = 1,00 m ≤ r ≤ 3,00 m 4-12

3) tinggi dan elevasi muka air di udik bendung :

H_{udp} dan El_{udp}

H_{udf} dan El_{udf}

$El_{udp} = M + H_{udp}$, untuk penggerusan

$El_{udf} = M + H_{udf}$, untuk banjir

H_{udp} dan H_{udf} dihitung dengan grafik MDO-1 4-13

4) tinggi terjun bendung :

- pada Q_{df} adalah $Z_{df} = H_{udf} - H_{idf}$ 4-14
- pada Q_{dp} adalah $Z_{dp} = H_{udp} - H_{idp}$ 4-15

H_{idf} dan H_{idp} diperoleh dari grafik lengkung debit sungai.

5) parameter energi (E) untuk menentukan dimensi hidraulik peredam energi tipe MDO dan MDS dihitung dengan :

$E_{dp} = q_{dp}/(g \times Z_{dp}^{3})^{1/2}$ 4-16

6) kedalaman lantai peredam energi (D_s) dihitung dengan :

$D_s = (D_s)\ (D_s/D_s)$ 4-17

D_s/D_s dicari dengan grafik MDO-2

7) panjang lantai dasar peredam energi (L_s) dihitung dengan :

$L_s = (D_s)\ (L_s/D_s)$ 4-18

L_s/D_s dicari dengan grafik MDO-3

8) tinggi ambang hilir dihitung dengan :

a = (0,2 a 0,3) D_s 4-19

9) lebar ambang hilir dihitung :

b = 2 x a 4-20

10) Elevasi Dekzerk tembok pangkal bendung ditentukan dengan :

$E_iD_{zu} = M + H_{udf} + F_b$; untuk tembok pangkal udik 4-21

$E_iD_{zi} = M + H_{idf} + F_b$; untuk tembok pangkal hilir 4-22

Fb diambil : 1,00 meter ≤ Fb ≤ 1,50 meter

11) Ujung tembok pangkal bendung tegak ke arah hilir (Lpi) ditempatkan lebih kurang di tengah-tengah panjang lantai peredam energi:

$L_{pi} = L_p + ½ L_s$ 4-23

12) Panjang tembok sayap hilir (L_{si}) dihitung dari ujung hilir lantai peredam energi diambil :

$L_s \leq L_{si} \leq 1,5 L_s$ 4-24

Tebing sungai yang tidak jauh dari tepi sisi lantai peredam energi, maka ujung hilir tembok sayap hilir dilengkungkan masuk ke dalam tebing sungai. Dan bagi tebing sungai yang jauh dari tepi sisi lantai peredam energi maka ujung tembok sayap hilir dilengkungkan balik ke udik sehingga tembok sayap hilir berfungsi sebagai tembok pengarah arus hilir bendung. Bentuk ini dapat diperhatikan pada contoh gambar dalam lampiran D2.

13) Panjang tembok pangkal bendung di bagian udik (L_{pu}) bagian yang tegak dihitung dari sumbu mercu bendung :

$0,5 L_s \leq L_{pu} \leq L_s$ 4-25

14) Panjang tembok sayap udik ditentukan :

- Bagi tebing sungai yang tidak jauh dari sisi tembok pangkal bendung, ujung tembok sayap udik dilengkungkan masuk ke tebing dengan panjang total tembok pangkal bendung ditambah sayap udik:

  $0,50 L_s \leq L_{su} \leq 1,50 Ls$ 4-26

- Bagi tebing sungai yang jauh dari sisi tembok pangkal bendung atau palung sungai di udik bendung yang relatif jauh lebih besar dibandingkan dengan lebar pelimpah bendung maka tembok sayap udik perlu diperpanjang dengan tembok pengarah arus yang panjangnya diambil minimum

  $2 \times L_p$ 4-27

15) Kedalaman bantalan air pada tipe MDS ditentukan:

$S = D_s$ + (1,00 m sampai dengan 2,00 m) 4-28

Dengan:

Q_{df} = debit desain untuk bahaya banjir (m^3/s)

Q_{dp} = debit desain untuk bahaya penggerusan (m^3/s)

B_p = lebar pelimpah (m)

q_{df} = Qdf/Bp ($m^3/s/m'$)

q_{dp} = Qdp/Bp ($m^3/s/m'$)

D_2 = tinggi muka air sungai di hilir bendung dengan dasar sungai terdegradasi (m)

R = radius mercu bendung diambil antara 1,00 meter sampai dengan 3,00 meter.

H_{udf} = tinggi air diatas mercu bendung pada debit desain banjir (m)

H_{udp} = tinggi air diatas mercu bendung pada debit desain penggerusan (m)

H_{idp} = tinggi air dihilir bendung pada debit desain penggerusan (m)

H_{idf} = tinggi air dihilir bendung pada debit desain banjir (m)

Z_{df} = perbedaan elevasi muka air udik dan hilir pada debit desain banjir (m)

Z_{dp} = perbedaan elevasi muka air udik dan hilir pada debit desain penggerusan (m)

D_{zu} = elevasi dekzerk tembok pangkal bendung bagian udik (m)

D_{zi} = elevasi dekzerk tembok pangkal bendung bagian hilir (m)

Fb = tinggi jagaan diambil antara 1,00 meter s/d 1,50 meter

E = parameter tidak berdimensi

Ls = panjang lantai peredam tinggi

Lb = jarak sumbu mercu bendung sampai perpotongan bidang miring dengan lantai dasar bendung (m)

Lpi = panjang tembok sayap hilir dari ujung hilir lantai peredam energi ke hilir (m)

S = kedalaman bantalan air peredam energi tipe MDS (m)

Lpu = panjang tembok pangkal udik bendung dari sumbu mercu bendung ke udik (m)

Lsu = panjang tembok sayap udik (m)

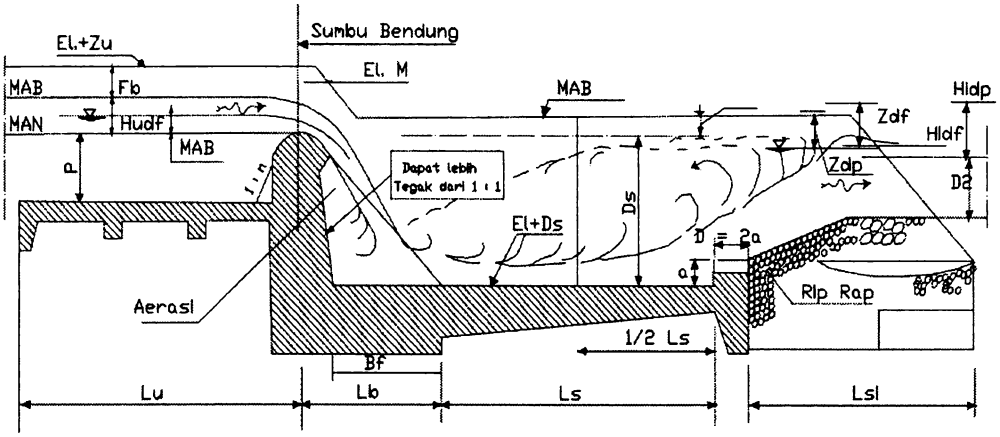
Lpa = panjang tembok pengarah arus udik tembok sayap udik (m)

g = percepatan gravitasi (m/dtk^2)

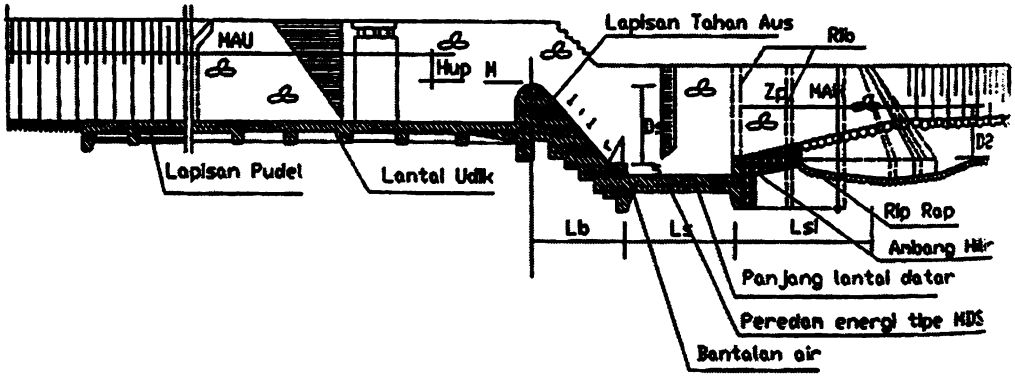
Perhitungan dan penentuan dimensi hidraulik tubuh bendung dan peredam energinya dengan langkah sebagai berikut:

1) hitung debit desain untuk bahaya banjir dan untuk bahaya penggerusan;
2) hitung lebar pelimpah bendung efektif;
3) hitung debit desain persatuan lebar pelimpah;
4) tentukan nilai radius mercu bendung, r;
5) untuk nilai radius mercu bendung tersebut; periksa kavitasi di bidang hilir tubuh bendung dengan bantuan grafik MDO 1a, jika tekanan berada di daerah positif pemilihan radius mercu bendung; diijinkan;
6) jika tekanan berada di daerah negatif, tentukan nilai radius mercu bendung yang lebih besar dan ulangi pemeriksaan kavitasi sehingga tekanan berada di daerah positif;
7) hitung elevasi muka air udik bendung dengan bantuan grafik MDO-1;
8) hitung tinggi terjun bendung, Z;
9) hitung parameter tidak berdimensi, E;
10) hitung kedalaman lantai peredam energi, Ds;
11) hitung nilai panjang lantai datar, Ls;
12) tentukan tinggi bantalan air, S, untuk peredam energi tipe MDS;
13) tetapkan tinggi ambang hilir dan lebarnya, a dan b;
14) tentukan tata letak, elevasi puncak, panjang, kemiringan dan kedalaman tembok pangkal bendung;
15) tentukan tata letak, elevasi puncak, panjang, kemiringan dan kedalaman tembok sayap hilir;
16) tentukan tata letak, elevasi puncak, panjang, kemiringan dan kedalaman tembok sayap udik;

17) tentukan tata letak, elevasi puncak, panjang, kemiringan dan kedalaman tembok pengarah arus;
18) lengkapi kaki-kaki tembok sayap hilir dan di hilir ambang hilir peredam energi dengan rip rap.

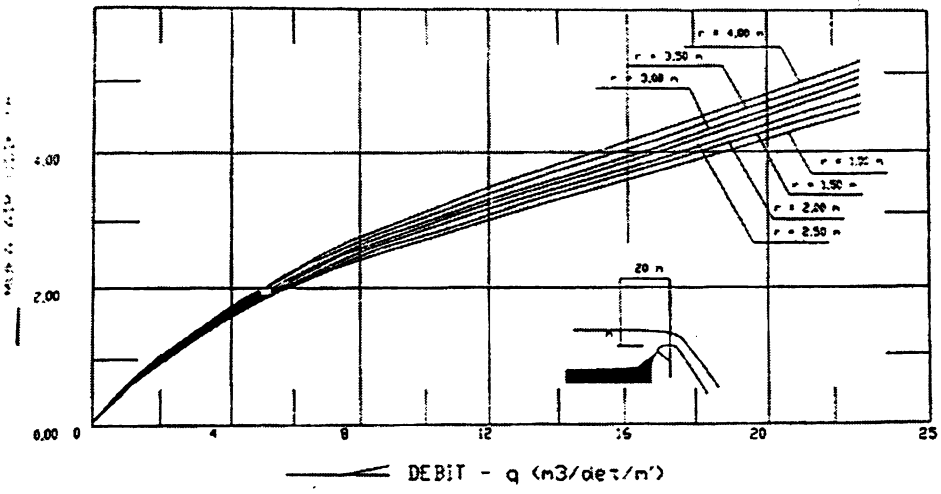


Gambar 4-27. Potongan Memanjang Bendung Tetap dengan Peredam Energi Tipe MDO

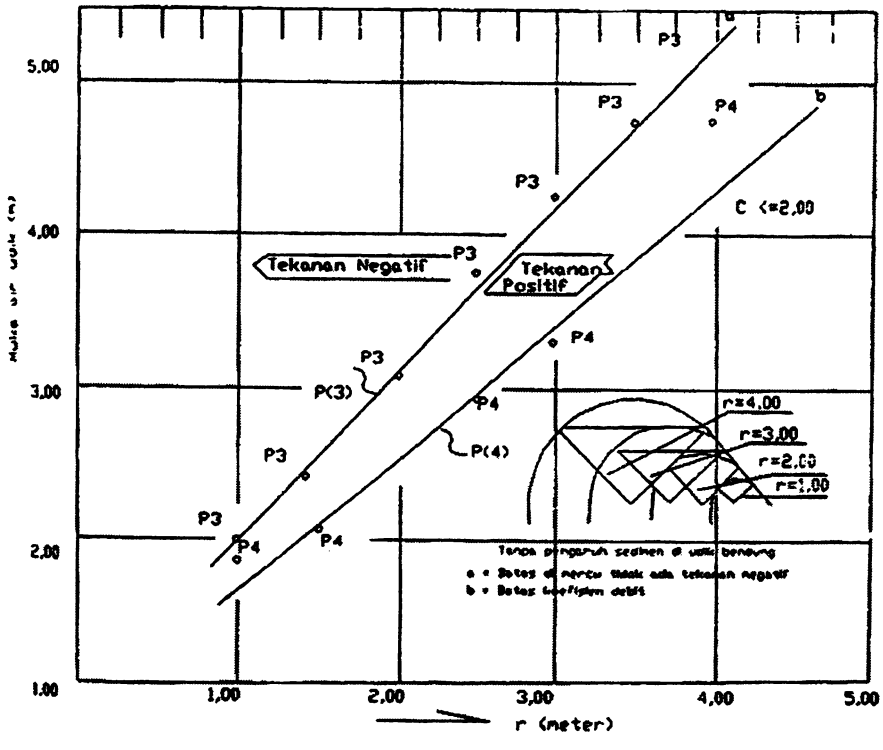


Gambar 4-28. Potongan Memanjang Bendung Tetap dengan Peredam Energi Tipe MDS

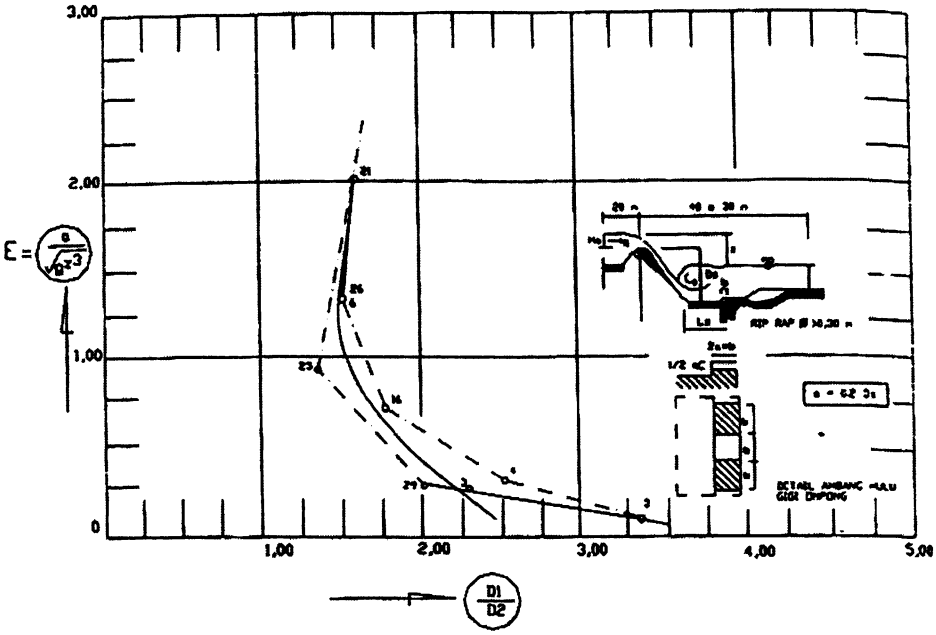
Untuk grafik-grafik yang dipakai akan diberikan pada gambar berikut:



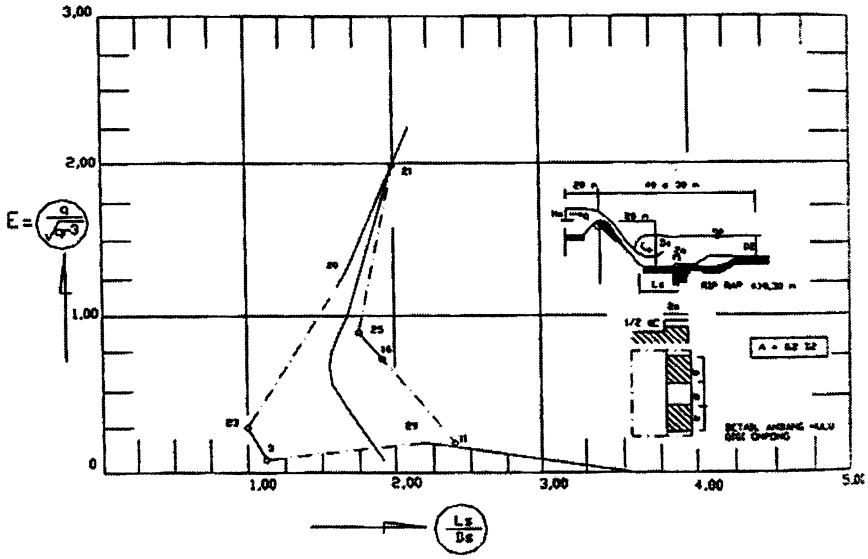
Gambar 4-29. Grafik MDO – 1 Pengaliran Melalui Mercu Bendung



Gambar 4-30. Grafik MDO – 1a Penentuan Bahaya Kavitasi di Hilir Mercu Bendung



Gambar 4-31. Grafik MDO – 2 Penentuan Kedalaman Lantai Peredam Energi



Gambar 4-32. Grafik MDO – 3 Penentuan Panjang Lantai Peredam Energi

4.3 Bendung Gerak

Pada umumnya bendung gerak adalah bangunan yang sangat rumit dan harus direncana oleh ahli-ahli yang berpengalaman dibantu oleh ahli-ahli di bidang hidrolika, teknik mekanika dan konstruksi baja.

4.3.1 Pengaturan Muka Air

Bendung gerak dibangun untuk memenuhi keperluan muka air normal dalam rangka pengambilan dan mengurangi efek genangan akibat muka air banjir yang diakibatkannya.

Prinsip pembangunan bendung gerak seperti ini membawa implikasi pengaturan muka air banjir sebagai berikut :

a) Muka Air Banjir Tetap

   Muka air banjir dipertahankan tetap, baik sebelum maupun sesudah pembangunan. Jika lebar efektif bendung gerak dipertahankan sama dengan lebar sungai asli sebelum pembangunan maka elevasi ambang tubuh bendung dibuat sama dengan elevasi dasar sungai.

   Dalam keadaan ini tidak ada penumpukan sedimen di depan bendung, diperlukan peredam energi lebih sederhana dan seluruh tekanan hidrodinamis air pada kondisi muka air normal dilimpahkan sepenuhnya ke pintu air. Namun demikian untuk kemudahan operasi dan pemeliharaan pintu, dimensi pintu air dibatasi sesuai dengan tipenya.

b) Muka Air Banjir Berubah

   Karena pertimbangan tertentu muka air banjir dimungkinkan lebih tinggi dibanding dengan muka air banjir sebelum pembangunan.

   Elevasi ambang tubuh bendung dibuat lebih tinggi dari elevasi dasar sungai asli, dengan maksud mengurangi beban tekanan hidrodinamis air pada pintu. Kombinasi tinggi tubuh bendung dan pintu air dijelaskan pada subbab 4.3.4.

Dalam keadaan ini penumpukan sedimen didepan bendung diatur sedemikian, sehingga tidak ada sedimen yang masuk ke intake dan tidak ada penumpukan sedimen di atas mercu tubuh bendung yang dapat menganggu operasional pintu.

4.3.2 Tata Letak

Bendung gerak harus memiliki paling sedikit 2 bukaan, agar bangunan itu tetap dapat berfungsi, jika salah satu pintu rusak. Karena alasan itu pula, bangunan ini harus aman pada waktu mengalirkan debit maksimum sementara sebuah pintu tidak berfungsi.

Ada dua kriteria saling bertentangan yang mempengaruhi lebar total bendung gerak, yakni:

(1) Makin tinggi bangunan, makin melonjak harga pintu dan pilar, dengan alasan ini lebih disukai Jika bangunan itu dibuat lebih lebar, bukan lebih tinggi;

(2) Kapasitas lolosnya sedimen akan lebih baik pada bangunan yang lebih sempit serta kecepatan aliran yang lebih tinggi.

Dalam kasus-kasus tertentu, mungkin akan menguntungkan untuk merencanakan bangunan campuran, sebagian bendung gerak dan sebagian bendung tetap.

Hal-hal semacam itu mungkin terjadi jika bangunan dibuat di:

(1) Sungai yang sangat lebar dengan perbedaan yang besar antara debit rendah dan debit puncak atau

(2) Sungai dengan dasar air normal yang sempit tetapi bantaran lebar, yang digunakan jika harus mengalirkan banjir tinggi.

Dalam perencanaan harus diandaikan bahwa dalam keadaan kritis sebuah pintu akan tersumbat dalam posisi tertutup.

Bila pintu dibuat terlalu lebar, maka akan sulit untuk mengatur muka air. Jika dibuat lebih banyak bukaan, maka aliran mudah diarahkan agar sedimen tidak masuk ke pengambilan.

4.3.3 Pintu

Ada banyak tipe pintu:

(a) Pintu sorong dipakai dengan tinggi maksimum sampai 3 m dan lebar tidak lebih dari 3 m. Pintu tipe ini hanya digunakan untuk bukaan kecil, karena untuk bukaan yang lebih besar alat-alat angkatnya akan terlalu berat untuk menanggulangi gaya gesekan pada sponeng. Untuk bukaan yang lebih besar dapat dipakai pintu rol, yang mempunyai keuntungan tambahan karena di bagian atas terdapat lebih sedikit gesekan, dan pintu dapat diangkat dengan kabel baja atau rantai baja. Ada dua tipe pintu rol yang dapat dipertimbangkan, yaitu pintu Stoney dengan roda yang tidak dipasang pada pintu, tetapi pada kerangka yang terpisah;dan pintu rol biasa yang dipasang langsung pada pintu.

(b) Pintu rangkap (dua pintu) adalah pintu sorong/rol yang terdiri dari dua pintu, yang tidak saling berhubungan, yang tidak dapat diangkat atau diturunkan. Oleh sebab itu, pintu-pintu ini dapat mempunyai debit melimpah (*overflowing discharge*) dan debit dasar (*bottom discharge*). Keuntungan dari pemakaian pintu ini adalah dapat dioperasikan dengan alat angkat yang lebih ringan.

Contoh khas dari tipe ini adalah tipe pintu segmen ganda (*hook type gate*). Pintu ini dipakai dengan tinggi sampai 20 m dan lebar sampai 50 m.

(c) Pintu segmen atau radial memiliki keuntungan bahwa tidak ada gaya gesekan yang harus diperhitungkan. Oleh karena itu, alat-alat angkatnya bisa dibuat kecil dan ringan. Sudah biasa untuk memberi pintu radial kemungkinan mengalirkan air melalui puncak pintu, dengan jalan menurunkan pintu atau memasang katup/tingkap gerak pada puncak pintu. Debit diatas ini bermanfaat untuk menggelontor benda-benda hanyut di atas bendung.

(d) Dalam memilih dan merencanakan pintu untuk bendung gerak harus memperhatikan 3 (tiga) hal penting yaitu:

(1) Justifikasi teknis, sosial dan ekonomi dalam menentukan kombinasi tinggi tubuh bendung dan tinggi pintu air.

Tinggi pembendungan air sungai dibagi menjadi dua yaitu bagian tinggi pembendungan bawah yang ditahan oleh tubuh bendung dan bagian tinggi pembendungan atas yang ditahan oleh pintu air. Kombinasi keduanya ditentukan oleh pertimbangan teknis, sosial dan ekonomi.

Tubuh bendung yang tinggi menyebabkan volume tubuh bendung yang besar, pondasi yang kuat, kolam olak yang mahal, elevasi muka air banjir dan tanggul penutup lebih tinggi, kemungkinan timbulnya permasalahan *resetlement* penduduk akibat elevasi muka air banjir yang tinggi, *relative* biaya pembangunan tubuh bendung dan kolam olak lebih mahal. Sebagai kombinasinya pintu air yang rendah mengakibatkan pintu ringan, alat penggerak pintu berkapasitas rendah, biaya operasional pintu lebih murah.

Namun sebaliknya tubuh bendung yang rendah menyebabkan volume tubuh bendung yang kecil, pondasi lebih ringan, kolam olak relatif murah, elevasi muka air banjir dan tanggul penutup lebih rendah, tidak ada permasalahan *resetlement* penduduk akibat elevasi muka air banjir, *relative* biaya pembangunan tubuh bendung dan kolam olak lebih murah.

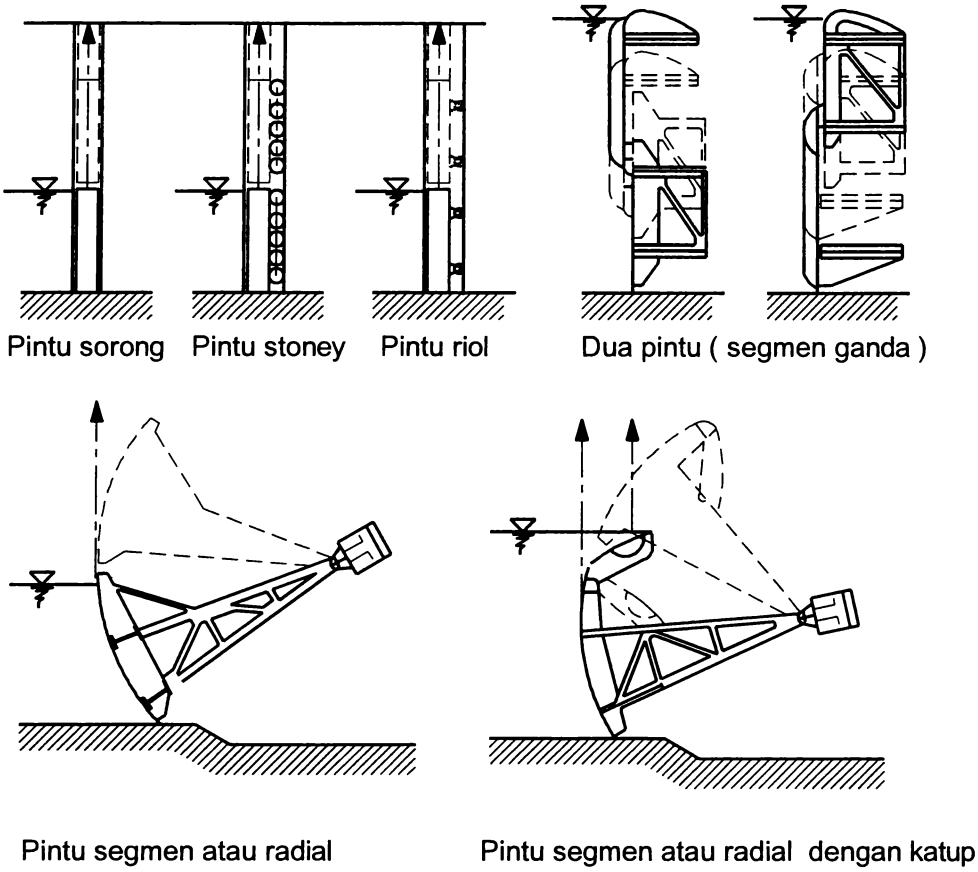
Sebaliknya kombinasinya pintu air yang tinggi mengakibatkan pintu berat, diperlukan alat penggerak pintu berkapasitas tinggi, biaya operasional pintu lebih mahal.

(2) Kemudahan dan keamanan operasional pintu.

Pintu yang ringan tetapi memiliki kekakuan cukup sangat diperlukan agar pintu tidak mudah melendut dan bergetar bila terkena tekanan dan arus air, sehingga memudahkan pengoperasian dan pintu tidak cepat rusak.

(3) Biaya operasional dan pemeliharaan (O & P) yang rendah

Pintu yang berat memerlukan pasokan daya listrik besar untuk mengubah tenaga listrik menjadi tenaga mekanik yang kuat pada saat mengangkat pintu, dan mengingat mahalnya harga listrik maka akan berdampak pada peningkatan biaya operasi. Disamping itu pintu yang terlalu besar memerlukan biaya pelumasan dan pengecatan pintu yang relatif lebih besar.



Gambar 4-33. Macam-Macam Tipe Pintu Bendung Gerak Vertikal

4.3.4 Bangunan Pelengkap Bendung Gerak

Bendung gerak selalu dilengkapi dengan bangunan-bangunan lain seperti bangunan peredam energi, bangunan pangkal bendung, pelindung tebing dan pelindung dasar sungai.

Dalam pemilihan tipe peredam energi supaya memperhatikan besarnya debit rencana serta beda tinggi muka air dihulu dan hilir kondisi dasar sungai berupa batuan keras, batuan lunak atau endapan material serta kemungkinan terjadinya penggerusan.

Pada bendung gerak ada 2 (tipe) lantai dasar sebagai tempat tumpuan pintu sorong atau pintu radial yaitu:

(a) Lantai dasar (*crest*) yang tinggi biasanya maksimum 0,5 m tingginya dari dasar sungai dipilih bila diperlukan pembendungan untuk menahan batu-batu yang terbawa arus sungai sehingga batu-batu tersebut tidak mempersulit penutupan pintu karena batu-batu itu akan mengganjal pintu bila terjadi penutupan pintu sehingga pintu menjadi cepat rusak, biasanya untuk sungai dengan material berupa kerikil dan kerakal diperlukan lantai dasar bendung gerak yang tebal dan kuat untuk mengatasi gaya angkat air (*up lift*) dan sebagai tumpuan bagi beban pintu yang berat.

(b) Lantai dasar rendah:

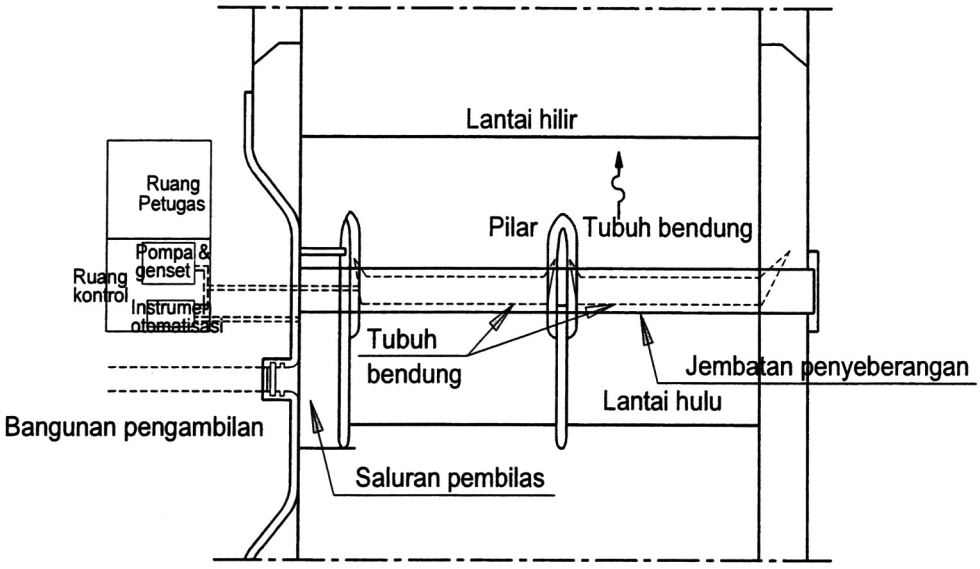
- Lantai dasar (*crest*) yang rendah dipilih apabila kemiringan dasar sungai atau elevasi dasar sungai akan dipertahankan tetap seperti semula.
- Gaya angkat air tidak terlalu besar dan pintu tidak terlalu berat sehingga tidak memerlukan lantai atau dudukan pintu yang tebal dan kuat.
- Peredam energi yang di pilih dapat lebih sederhana.

Peralatan penggerak atau pengatur pintu ditempatkan diatas pilar-pilar berupa motor penggerak dan terpisah untuk tiap-tiap pintu dengan sistem kendali (kontrol) yang terpusat pada bangunan pengendali yang terletak tidak jauh dari lokasi bendung dan disekitar hulu bendung, dimana pintu-pintu tersebut dapat dioperasikan secara bersamaan atau satu persatu.

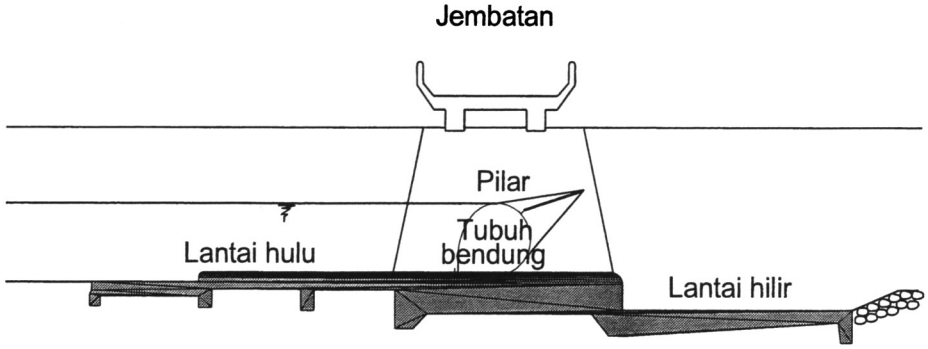
4.4 Bendung Karet

4.4.1 Lebar Bendung

Lebar bendung supaya diupayakan sama dengan lebar normal alur sungai dan dibatasi oleh kemampuan produsen tabung karet dan kemudahan pengangkutan bahan tabung karet ke lokasi.



Gambar 4-34. Tata Letak dan Komponen Bendung Karet



Gambar 4-35. Potongan Melintang Bendung Karet

4.4.2 Perencanaan Mercu (Tabung Karet)

Secara hidrolis bendung karet harus memiliki taraf muka air yang direncanakan dan dapat dikempiskan secara cepat bila terjadi banjir, tinggi bendung karet umumnya tidak melebihi 5 m karena konstruksi bendung karet dengan tinggi lebih dari 5 m sudah tidak efisien lagi. Mercu bendung diletakkan pada elevasi yang diperlukan

untuk pelayanan muka air pengambilan atau didasarkan pada perhitungan bagi penyediaan volume tampungan air dihilir bendung.

Debit Limpasan pada Pembendungan Maksimum

Total debit limpasan pada pembendungan maksimum dihitung dengan rumus:

$$Q_w = C_w \, L \, h_1^{3/2} \quad \text{..... 4-29}$$

dengan :

Q_w = debit limpasan pada pembendungan maksimum (m^3/s)

C_w = koefisien limpasan ($m^{1/2}/s$),

L = panjang bentang bendung (m),

h_1 = tinggi pembendungan maksimum (m).

Besarnya C_w bisa didekati dengan rumus:

$$C_w = 1{,}77 \, (h_1/H) + 1{,}05 \text{ (untuk } 0 < h_1/H < 0{,}3) \quad \text{..... 4-30}$$

Debit Spesifik pada *V-Notch*

Debit pada *V-notch* dihitung dengan asumsi karet pada pusat *V-notch* mengempis total, sedangkan di bagian lain masih mengembang sempurna. Sementara itu, muka air hulu sama dengan muka air pada pembendungan maksimum.

Besarnya debit dihitung dengan rumus:

$$q_V = C_v \, (H+h1)^{3/2} \quad \text{..... 4-31}$$

dengan:

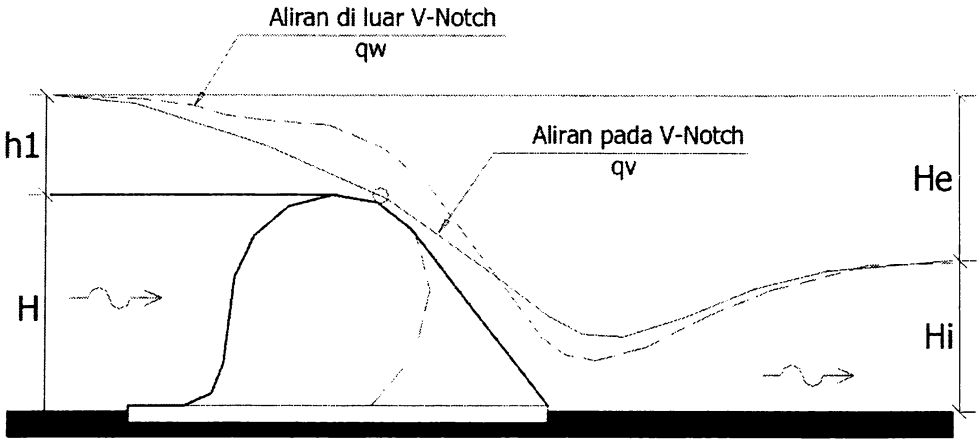
q_v = debit spesifik pada *V-notch* (m^3/s)

C_v = koefisien aliran yang bisa diambil 1,38 ($m^{1/2}/s$)

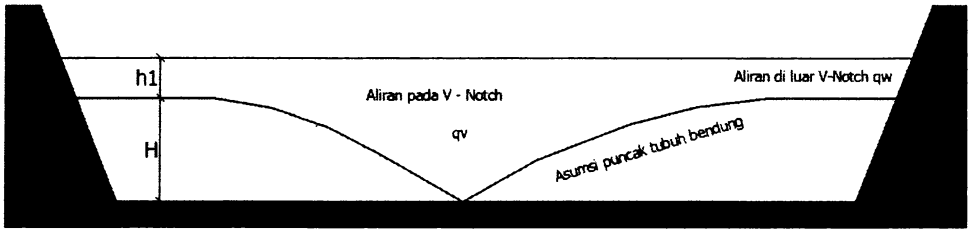
H = tinggi bendung (m)

h_1 = tinggi pembendungan maksimum (m)

q_V = debit limpasan pada pembendungan maksimum (m^3/s)



Gambar 4-36. Penampang Lintang pada Pusat *V-notch*



Gambar 4-37. Tampak Depan Tabung Karet yang Alami *V-notch*

4.4.3 Pembendungan

Pada bendung karet tinggi pembendungan harus dibatasi untuk menghindari terjadinya:

(a) Ancaman banjir didaerah hulu

(b) Peningkatan energi terjunan yang berlebihan

(c) Vibrasi yang akan merusak tabung karet

Kedalaman air diatas mercu ditetapkan tidak melebihi 0,3 H dengan H adalah tinggi bendung. Kedalaman air diatas mercu maksimum ini menentukan elevasi muka air pengempisan yang merupakan batas muka air tertinggi karena bendung karet harus sudah dikempiskan.

4.4.4 Penampungan dan Pelepasan

Untuk penampungan dan pelepasan air dilakukan dengan pengisian udara pada tabung karet sehingga terjadi pengembangan tabung karet karena adanya pengempangan, pada bendung dengan volume tampungan yang besar dengan debit yang relatif kecil, pengisian tampungan memerlukan waktu yang lama untuk menghindari pelepasan volume tampungan yang besar, pengempangan dapat dilakukan secara bertahap.

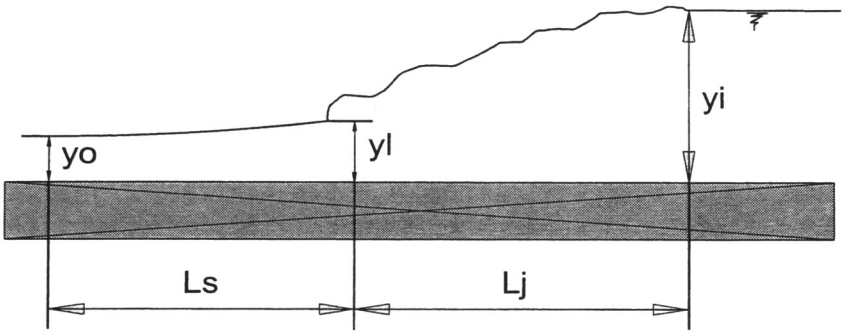
4.4.5 Peredaman Energi

Limpasan air diatas mercu bendung menimbulkan terjunan dan olakan dihilir bendung karet yang menyebabkan terjadinya gerusan lokal. Olakan dihilir bendung berupa loncatan air yang tempatnya dapat diperkirakan dengan analisa hidrolis.
Loncatan air ini akan menimbulkan olakan air yang akan menggerus dasar sungai sehingga mengakibatkan terganggunya stabilitas bendung. Untuk menghindari gangguan ini diperlukan perlindungan dasar sungai berupa lantai dari beton atau pasangan batu untuk meredam sisa energi loncatan air.

4.4.6 Panjang Lantai Hilir Bendung

(a) Hitungan panjang air loncat dilakukan dengan asumsi loncatan air sempurna dengan panjang loncat air L_j akibat peralihan dari aliran superkritik ke aliran subkritik.

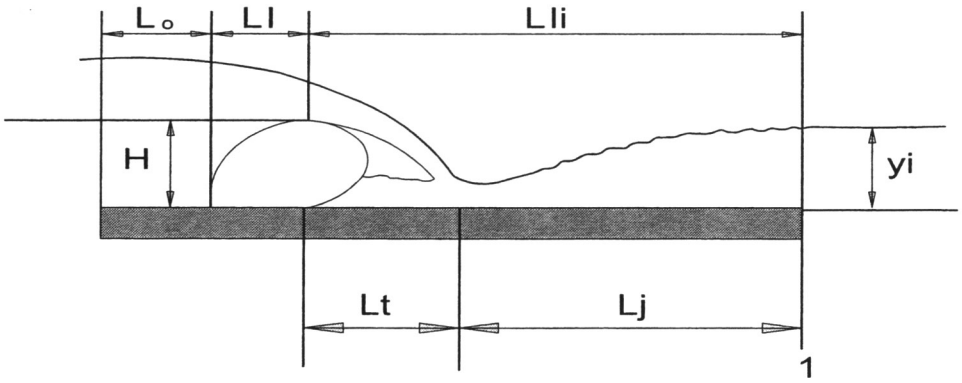
$$L_j = 6\,(Y_i - Y_1) \qquad \text{..... 4-32}$$



Gambar 4-38. Loncat Air di Hilir Bendung Karet

Karena dasar sungai yang harus dilindungi adalah dari bendung sampai ujung hilir air loncat maka dapat dirumuskan sebagai:

$L_{hi} = L_t + L_j + L_o$ 4-33



Gambar 4-39. Sketsa Panjang Lantai Hilir untuk yi Besar

(b) Kolam Loncat Air

Panjang kolam loncat air menjadi berkurang dari panjang bebas loncatan tersebut karena adanya ambang ujung (*end sill*) dan ditempatkan pada jarak:

$Lj = 5\ (\mu + Y_2)$ 4-34

dimana:

L_j = panjang kolam, m

μ = tinggi ambang ujung, m

Y_2 = kedalaman air di atas ambang, m

4.5 Pompa

4.5.1 Tata Letak

Dalam pemilihan lokasi rumah/stasiun pompa harus memperhatikan beberapa faktor-faktor penting, yaitu:

- Dapat melakukan pengambilan air secara maksimum pada muka air rendah atau muka air tinggi.
- Air tidak mengandung banyak bahan sedimen
- Air tidak mambawa bahan hanyutan berupa sampah atau kayu
- Ada jalan masuk (akses) untuk melakukan pekerjaan konstruksi/instalasi dan kegiatan operasi pemeliharaan (O & P),
- Terlindung dari banjir
- Terletak pada tanah yang stabil
- Rumah/stasiun pompa dapat dikombinasikan dengan bangunan utama yang lain-lain seperti waduk, bendung biasa atau bendung gerak.

4.5.2 Bangunan Pelengkap Pompa

(a) Bangunan hidrolis yang terdiri dari bangunan pengambilan, pintu-pintu, kantong lumpur termasuk bangunan pembilas diperlukan untuk mengurangi bahan endapan. Bangunan ini diperlukan mengingat air sungai banyak mengandung sedimen membuat pompa akan bekerja lebih berat dan mengakibatkan motor penggerak kipas menjadi lebih cepat panas dan mudah terbakar.

(b) Pompa harus terlindung dari panas matahari dan hujan agar tidak cepat rusak, untuk itu harus dibuat rumah pelindung atau rumah pompa/stasiun pompa yang konstruksinya cukup kuat terhadap getaran pompa, gempa dan tahan kebakaran.

(c) Bangunan generator diperlukan untuk meletakkan mesin generator dan tangki bahan bakar.

(d) Gudang penyimpanan suku cadang, bahan pelumas, bahan bakar dan generator termasuk suku cadangnya terletak tidak jauh dari rumah pompa/stasiun pompa dan ada jalan dari gudang ke rumah pompa untuk keperluan kemudahan operasi dan pemeliharaan (O & P) pompa.

4.5.3 Tenaga Pompa

Tenaga yang diperlukan untuk mengangkat air dalam suatu satuan waktu adalah:

$$HP = \frac{Qh}{76} \quad \text{.....} \quad 4\text{-}35$$

dimana:

HP = tenaga kuda (*Horse Power*)

Q = debit, lt/dt

h = gaya angkat vertikal, m

Kombinasi dengan efisiensi pompa menghasilkan:

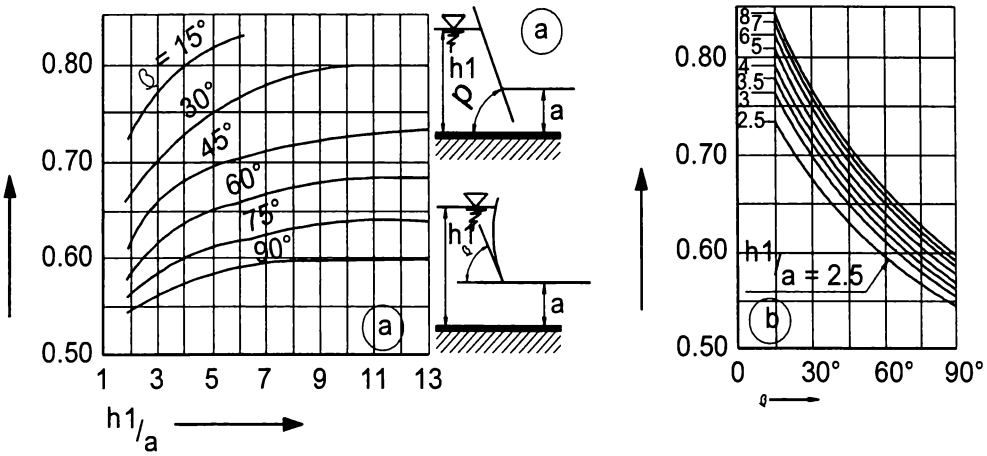
$$WHP = BHP \text{ x efisiensi} = \frac{Qh\ Ep}{76} \quad \text{.....} \quad 4\text{-}36$$

dimana:

WHP = tenaga yang dihasilkan (tenaga air) dalam satuan tenaga kuda (HP)

BHP = tenaga yang dipakai (penahan) dalam satuan HP

Ep = persentase efisiensi



Gambar 4-40. Koefisien Debit μ untuk Permukaan Pintu Datar atau Lengkung

Efisiensi untuk pompa yang dioperasikan dengan baik adalah sekitar 75% dan untuk mesin 90%, memberikan efisiensi total sekitar 65%.

Gambar 4-42. memperlihatkan berbagai tipe pompa serta karakteristik debitnya.

Efisiensi mesin yang dipakai akan berkurang dalam hal-hal berikut (lihat Tabel 4-3.)

Tabel 4-3. Berkurangnya Efisiensi Mesin

	Berkurangnya efisiensi (%)
1. Untuk tiap ketinggian 300 m di atas permukaan laut	3
2. Jika temperatur pada waktu eksploitasi di atas 18^{0}C	1
3. Untuk perlengkapan yang menggunakan alat penukar panas	5
4. Radiator, kipas (*fan*)	5
5. Untuk operasi dengan beban terus-menerus	20
6. Kehilangan tenaga pada alat transmisi (*Drive losses*)	0 – 15

Kecepatan Spesifik	Potongan Melintang	Tipe Pompa	Karakteristik tinggi energi debit
$Ns = \frac{rpm \ \ gpm \ ^{*)}}{H^{3/4}}$			
(a) 500		Sentrifugal (aliran radial)	Tinggi energi besar Debit kecil
(b) 1000			
(c) 2000		Francis	Tinggi energi dan Debit sedang
(d) 3000			
(e) 5000		aliran campuran	
(f) 10.000		Aliran turbin (aliran sumber)	Tinggi energi rendah Debit besar

*) rpm = putaran per menit
gpm = galon per menit (0,075 lt/dt)
H = angkatan ke atas/ kaki (0,3048 m)

Gambar 4-41. Variasi dalam Perencanaan Roda Sudut (*Impeller*), Kecepatan Spesifik dan Karakteristik Tinggi Energi-Debit Pompa

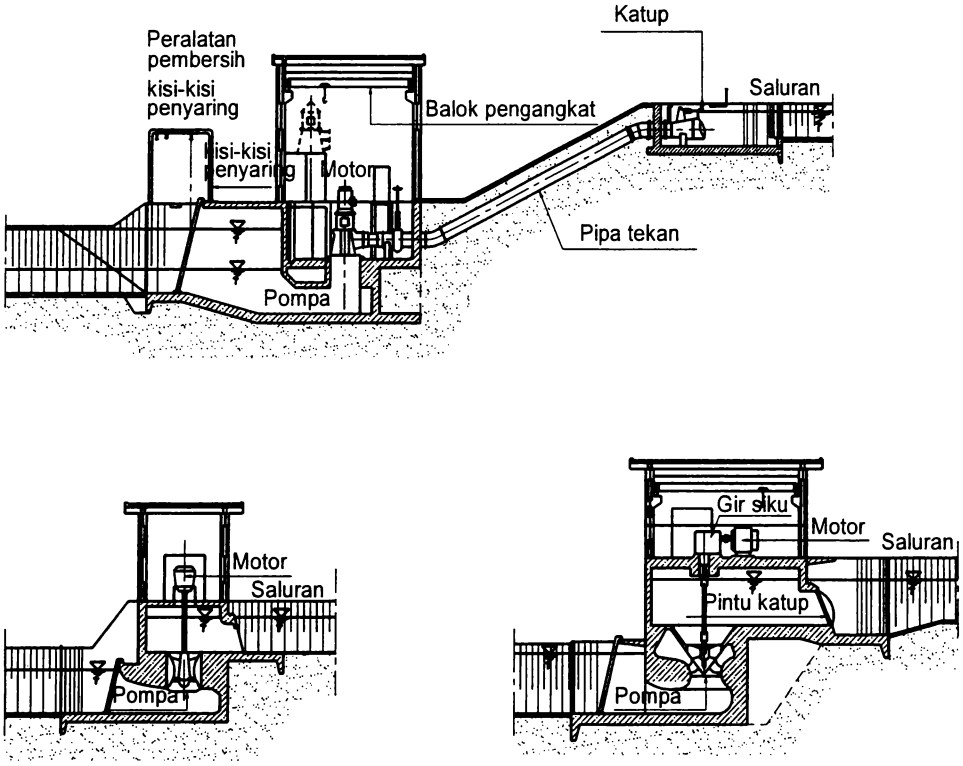
Tabel 4-4. memberikan jumlah kebutuhan bahan bakar maksimum untuk sebuah instalasi pompa yang baik, yang mempunyai efisiensi pompa sekurang-kurangnya 75%.

Kapasitas pompa yang diperlukan biasanya dibagi-bagi menjadi sejumlah pompa untuk fleksibilitas eksploitasi dan untuk menjaga jika terjadi kerusakan atau pemeliharaan yang dijadwalkan untuk suatu unit.

Biasanya dibuat instalasi tambahan sebagai cadangan. Tipe-tipe stasiun pompa diberikan pada Gambar 4-42.

Tabel 4-4. Kebutuhan Bahan Bakar Maksimum untuk Stasiun Pompa yang Baik

Debit Air (m^3/hr)	Tinggi (m)	Tenaga Air	Propane	Diesel	Bahan Bakar Bensin/ Traktor	Gas alam	Listrik
100	20	7,5	4,2	2,7	3,5	350	8,5
	50	18,5	10,5	6,2	8,5	860	21,0
	70	26,0	14,7	9,0	11,7	1.200	29,0
150	20	11,0	6,2	3,7	5,2	510	12,5
	50	28,0	15,7	9,5	13,0	1.290	32,0
	70	39,0	22,0	13,5	18,2	1.800	44,0
200	20	15,0	8,5	5,2	6,7	690	17,0
	50	37,0	21,0	12,5	16,5	1.710	42,0
	70	52,0	29,5	17,7	23,5	2.400	59,0
250	20	19,0	10,7	6,5	8,5	880	22,0
	50	46,5	26,5	16,0	21,0	2.150	53,0
	70	65,0	36,7	22,2	20,2	3.000	73,0



Gambar 4-42. Tipe-Tipe Stasiun Pompa Tinggi Energi Rendah

4.6 Bendung Saringan Bawah

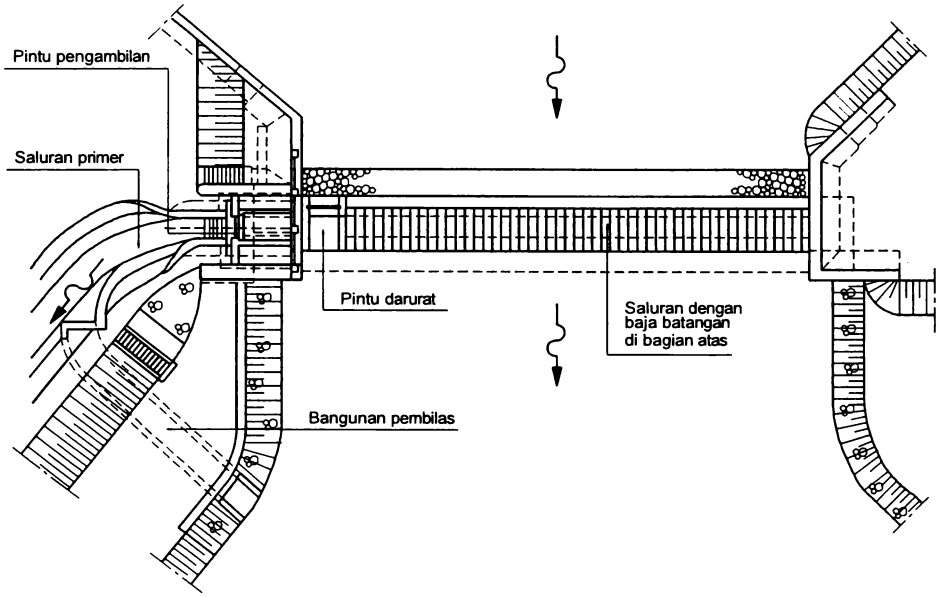
4.6.1 Tata Letak

Bendung saringan bawah atau bendung *Tyroller* (lihat Gambar 4-43.) dapat direncana dengan berhasil di sungai yang kemiringan memanjangnya curam, mengangkut bahan-bahan berukuran besar dan memerlukan bangunan dengan elevasi rendah.

Dalam perencanaannya hal-hal berikut hendaknya dipertimbangkan:

1) Bendung saringan bawah tidak cocok untuk sungai yang fluktuasi bahan angkutannya besar. Sungai di daerah-daerah gunung api muda dapat mempunyai agradasi dan degradasi yang besar dalam jangka waktu singkat.
2) Dasar sungai yang rawan gerusan memerlukan pondasi yang cukup dalam.

3) Bendung harus direncana dengan seksama agar aman terhadap rembesan.
4) Konstruksi saringan hendaknya dibuat sederhana, tahan benturan batu dan mudah dibersihkan jika tersumbat.
5) Bangunan harus dilengkapi dengan kantong lumpur/pengelak sedimen yang cocok dengan kapasitas tampung memadai dan kecepatan aliran cukup untuk membilas partikel, satu di depan pintu pengambilan dan satu di awal primer.
6) Harus dibuat pelimpah yang cocok di saluran primer untuk menjaga jika terjadi kelebihan air.



Gambar 4-43. Tipe-Tipe Tata Letak Bendung Saringan Bawah

Perencanaan saringan dan saluran akan didasarkan pada kebutuhan pengambilan serta kecepatan yang dibutuhkan untuk mencegah masuknya sedimen ke dalam saluran bertekanan.

Panjang saringan ke arah aliran di sungai yang diperlukan untuk mengelakkan air dalam jumlah tertentu per meter lebar bendung, ditentukan dengan rumus di bawah ini (lihat Gambar 4-34.). Rumus ini dijabarkan dengan mengandaikan garis energi horisontal di atas saringan dan permukaan air eliptik.

$$L = 2{,}561 \frac{q_o}{\lambda\sqrt{h_1}} \quad \text{.....} \quad 4\text{-}37$$

dimana: L = panjang kerja saringan ke arah aliran, m

q = debit per meter lebar, m^3/dt.m

$\lambda = P\mu\sqrt{2g}\cos\theta$ 4-38

P = n/m (untuk n dan m lihat Gambar 4-44.)

$m = 0{,}66\ \varphi^{-0.16} \left(\frac{m}{h_1}\right)^{0.13}$ untuk $0{,}3 < \left(\frac{m}{h_1}\right) < 5{,}0$

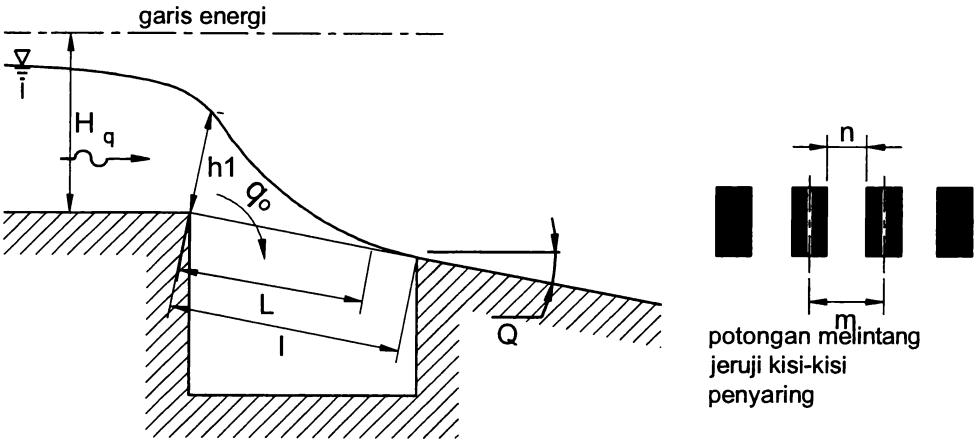
g = percepatan gravitasi, m/dt² (≈ 9,8 m/dt²)

θ = kemiringan saringan, derajat

h_1 = c x 2/3 H

H = kedalaman energi di hulu saringan, m.

Untuk c lihat Tabel 4-5.



Gambar 4-44. Hidrolika Saringan Bawah

Tabel 4-5. Harga-Harga c yang Bergantung Kepada Kemiringan Saringan (*Frank*)

θ^0	c	θ^0	c
0	1,000	14	0,879
2	0,980	16	0,865
4	0,961	18	0,851
6	0,944	20	0,837
8	0,927	22	0,825
10	0,910	24	0,812
12	0,894	26	0,800

Debit dalam saluran bertekanan, dapat dijelaskan dengan rumus berikut (lihat Gambar 4-35.)

$$\frac{dh}{dx} = \frac{I_s - I_e - \cdot q\frac{Q}{gA^2}}{\left(1 - \frac{Q^2}{gA^3} \cdot \frac{dA}{dh}\right)} \quad \text{..... 4-38}$$

yang menghasilkan:

$$\Delta h = h_2 - h_1 = (I_s - I_e)\Delta x - \frac{Q_2{}^2 - Q_1{}^2}{2g\frac{A_1 + A_2{}^2}{2}} - \frac{v_2{}^2 - v_1{}^2}{2g} \quad \text{..... 4-39}$$

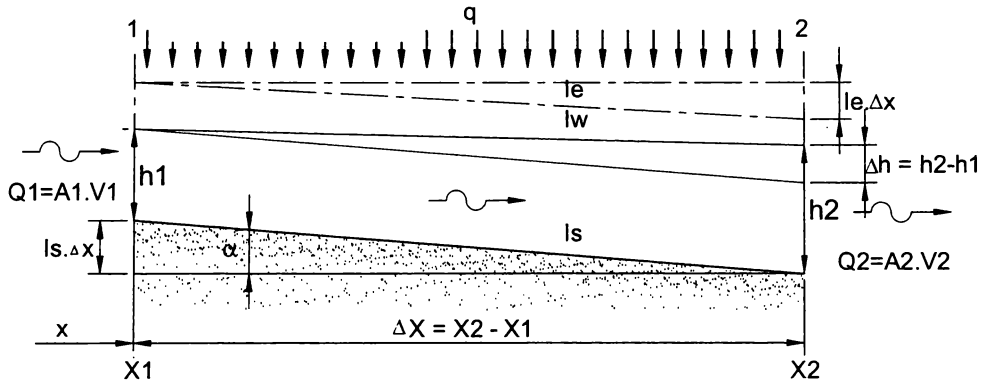
Kecepatan minimum dalam saluran bertekanan dapat ditemukan dari diameter maksimum sedimen yang akan dibiarkan bergerak (rumus didasarkan pada $r_{cr} = 0{,}047d$, *Meyer-Peter*):

$$v^2 \geq 32 \left(\frac{h}{d}\right)^{\frac{1}{3}} d \quad \text{..... 4-40}$$

v = kecepatan, m/dt

h = kedalaman air, m

d = diameter butir, m



Gambar 4-45. Aliran Bertekanan

Kemiringan yang termasuk dalam kecepatan ini adalah:

$$I = 0{,}20 \frac{d^{9/7}}{q^{6/7}} \quad \text{.....} \quad 4\text{-}41$$

dimana:

I = kemiringan energi, m/m

d = diameter butir, m

q = v.h,m^3/dt.m

v = kecepatan aliran, m/dt

h = kedalaman air, m.

4.6.2 Bangunan Pelengkap Bendung Saringan Bawah

Mengingat bendung ini cocok dibangun disungai dengan kemiringan memanjang yang curam, maka tubuh bendung harus kuat dan stabil mengatasi tekanan sedimen ukuran besar seperti pasir, kerakal dan tekanan hidrodinamis air yang besar akibat kecepatan tinggi yang mendekati kecepatan kritis. Untuk itu diperlukan pondasi yang dalam dan kuat.

(a) Untuk menghindari masuknya sedimen ke dalam saluran, perlu dilengkapi kantong lumpur pada bangunan utama. Mengingat banyaknya sedimen dari ukuran besar sampai kecil sebaiknya dilakukan dua kali pengurasan. Satu

penguras di depan pengambilan dan satu di awal saluran primer. Dengan cara seperti ini diharapkan kandungan sedimen dalam air yang mengalir di jaringan irigasi melalui seperti saluran induk menjadi minimal.

(b) Tembok pangkal bendung pada kedua sisi harus kokoh karena berfungsi sebagai pemegang tubuh bendung dari tekanan air yang kuat dan juga berfungsi sebagai tembok penahan tebing dari kelongsoran.

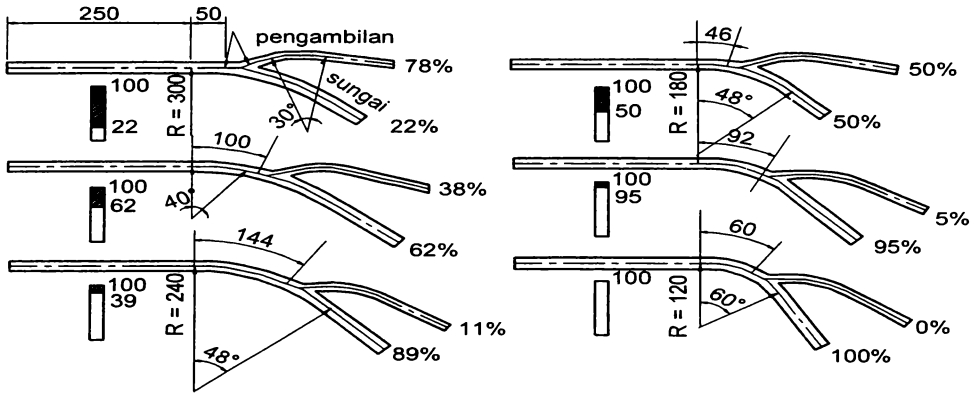
(c) Jeruji besi harus dilas pada dudukan plat besi yang dijangkar (angker) dengan kedalaman minimal 40 cm dengan ujung jangkar dibengkokkan minimal 5 cm. Jeruji besi dipilih dari profil besi baja I, dan atau H, dengan kekakuan cukup sehingga tidak mudah melendut.

(d) Pintu pengambilan dan pintu penguras harus cukup kuat menahan tekanan sedimen serta mudah pengoperasiannya dan tidak bocor.

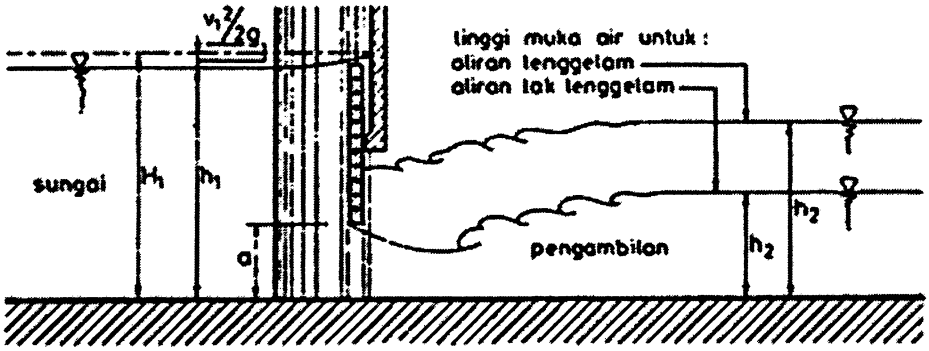
4.7 Pengambilan Bebas

Pengambilan dibuat di tempat yang tepat sehingga dapat mengambil air dengan baik dan sedapat mungkin menghindari masuknya sedimen. Terlepas dari pemilihan lokasi pengambilan yang benar di sungai, masuknya sedimen dipengaruhi oleh sudut antara pengambilan dan sungai, penggunaan dan ketinggian ambang penahan sedimen (*skimming wall*), kecepatan aliran masuk dan sebagainya.

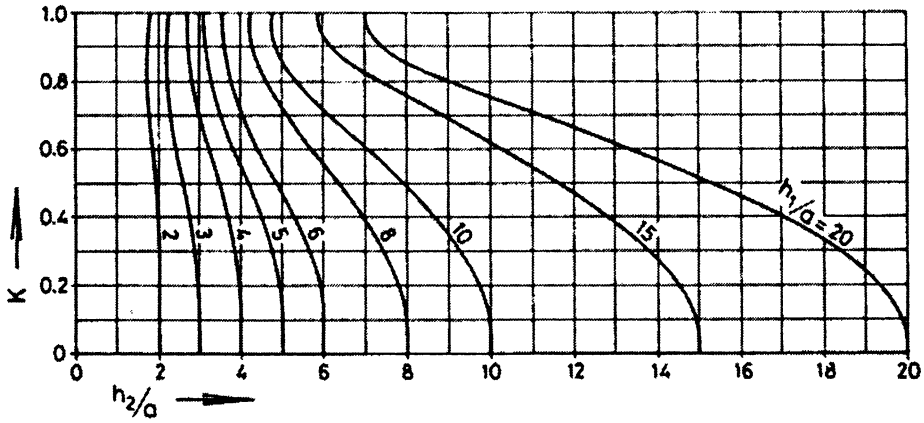
Gambar 4-46. menunjukkan sebagian dari penyelidikan model yang dilakukan oleh Habermaas yang memperlihatkan pengaruh situasi-jari-jari tikungan sungai, derajat tikungan, posisi pengambilan-terhadap pembagian sedimen layang pada pengambilan dan sungai.



Gambar 4-46. Penyelidikan Model *Habermaas*, yang Memperlihatkan Banyaknya Sedimen yang Masuk Kedalam Pengambilan



Gambar 4-47. Pintu Aliran Bawah



Gambar 4-48. Koefisien K untuk Debit Tenggelam (dari *Schmidt*)

Agar mampu mengatasi tinggi muka air yang berubah-ubah di sungai, pengambilan harus direncanakan sebagai pintu aliran bawah. Rumus debit yang dapat dipakai adalah (lihat Gambar 4-28.):

$$Q = K\,\mu\,a\,B\sqrt{2gh_1} \quad \text{..... 4-42}$$

dimana:

Q = debit, m^3/dt

K = faktor untuk aliran tenggelam (lihat Gambar 4-29.)

μ = koefisiensi debit (lihat Gambar 4-30.)

a = bukaan pintu, m

b = lebar pintu, m

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\cong$ 9,8 m/dt^2)

h_1 = kedalaman air di depan pintu di atas ambang,m

Pengambilan bebas sebaiknya diseliki dengan model agar pengambilan itu dapat ditempatkan di lokasi yang tepat supaya jumlah sedimen yang masuk dapat diusahakan sesedikit mungkin.

BAB V
BANGUNAN PENGAMBILAN DAN PEMBILAS

5.1 Tata Letak

Bangunan pengambilan berfungsi untuk mengelakkan air dari sungai dalam jumlah yang diinginkan dan bangunan pembilas berfungsi untuk mengurangi sebanyak mungkin benda-benda terapung dan fraksi-fraksi sedimen kasar yang masuk ke jaringan saluran irigasi.

Pengambilan sebaiknya dibuat sedekat mungkin dengan pembilas dan as bendung atau bendung gerak.

Lebih disukai jika pengambilan ditempatkan di ujung tikungan luar sungai atau pada ruas luar guna memperkecil masuknya sedimen.

Bila dengan bendung pelimpah air harus diambil untuk irigasi di kedua sisi sungai, maka pengambilan untuk satu sisi (Jika tidak terlalu besar) bisa dibuat pada pilar pembilas, dan airnya dapat dialirkan melalui siphon dalam tubuh bendung ke sisi lainnya (lihat juga Gambar 1-3.).

Dalam kasus lain, bendung dapat dibuat dengan pengambilan dan pembilas di kedua sisi.

Kadang-kadang tata letak akan dipengaruhi oleh kebutuhan akan jembatan. Dalam hal ini mungkin kita terpaksa menyimpang dari kriteria yang telah ditetapkan.

Adalah penting untuk merencanakan dinding sayap dan dinding pengarah, sedemikian rupa sehingga dapat sebanyak mungkin dihindari dan aliran menjadi mulus (lihat juga Gambar 4-14.). Pada umumnya ini berarti bahwa lengkung-lengkung dapat diterapkan dengan jari-jari minimum ½ kali kedalaman air.

5.2 Bangunan Pengambilan

Pembilas pengambilan dilengkapi dengan pintu dan bagian depannya terbuka untuk menjaga jika terjadi muka air tinggi selama banjir, besarnya bukaan pintu bergantung

kepada kecepatan aliran masuk yang diizinkan. Kecepatan ini bergantung kepada ukuran butir bahan yang dapat diangkut.

Kapasitas pengambilan harus sekurang-kurangnya 120% dari kebutuhan pengambilan (*dimension requirement*) guna menambah fleksibilitas dan agar dapat memenuhi kebutuhan yang lebih tinggi selama umur proyek.

Rumus dibawah ini memberikan perkiraan kecepatan yang dimaksud:

$v^2 \geq 32\ (h/d)^{1/3}\ d$ 5-1

dimana:

v : kecepatan rata-rata, m/dt

h : kedalaman air, m

d : diameter butir, m

Dalam kondisi biasa, rumus ini dapat disederhanakan menjadi:

$v \approx 10\ d^{0.5}$ 5-2

Dengan kecepatan masuk sebesar 1,0 – 2,0 m/dt yang merupakan besaran perencanaan normal, dapat diharapkan bahwa butir-butir berdiameter 0,01 sampai 0,04 m dapat masuk.

$Q = \mu\ b\ a \sqrt{2gz}$ 5-3

dimana: Q = debit, m^3/dt

μ = koefisiensi debit: untuk bukaan di bawah permukaan air dengan kehilangan tinggi energi, $\mu = 0{,}80$

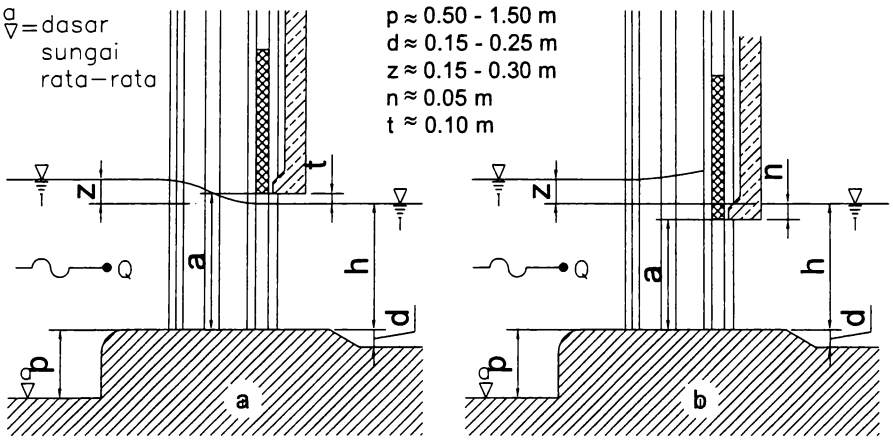
b = lebar bukaan, m

a = tinggi bukaan, m

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\approx 9{,}8\ m/s^2$)

z = kehilangan tinggi energi pada bukaan, m

Gambar 5-1. menyajikan dua tipe pintu pengambilan.



Gambar 5-1. Tipe Pintu Pengambilan

Bila pintu pengambilan dipasangi pintu radial, maka $\mu = 0{,}80$ jika ujung pintu bawah tenggelam 20 cm di bawah muka air hulu dan kehilangan energi sekitar 10 cm.

Untuk yang tidak tenggelam, dapat dipakai rumus-rumus dan grafik-grafik yang diberikan pada subbab 4.4.

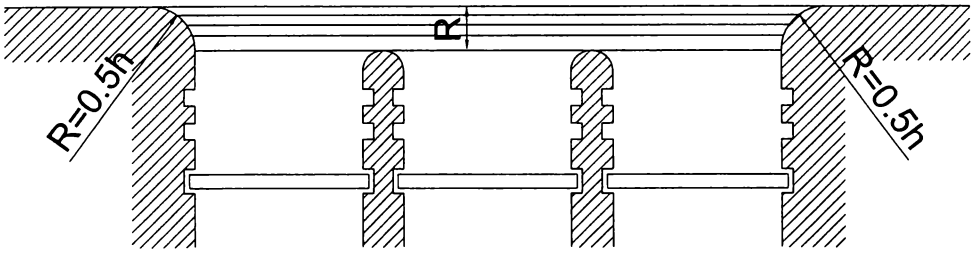
Elevasi mercu bendung direncana 0,10 di atas elevasi pengambilan yang dibutuhkan untuk mencegah kehilangan air pada bendung akibat gelombang.

Elevasi ambang bangunan pengambilan ditentukan dari tinggi dasar sungai. Ambang direncana di atas dasar dengan ketentuan berikut:

- 0,50 m jika sungai hanya mengangkut lanau
- 1,00 m bila sungai juga mengangkut pasir dan kerikil
- 1,50 m Jika sungai mengangkut batu-batu bongkah.

Harga-harga itu hanya dipakai untuk pengambilan yang digabung dengan pembilas terbuka, jika direncana pembilas bawah, maka kriteria ini tergantung pada ukuran saluran pembilas bawah. Dalam hal ini umumnya ambang pengambilan direncanakan $0 < p < 20$ cm di atas ujung penutup saluran pembilas bawah.

Bila pengambilan mempunyai bukaan lebih dari satu, maka pilar sebaiknya dimundurkan untuk menciptakan kondisi aliran masuk yang lebih mulus (lihat Gambar 5-2.).



Gambar 5-2. Geometri Bangunan Pengambilan

Pengambilan hendaknya selalu dilengkapi dengan sponeng skot balok di kedua sisi pintu, agar pintu itu dapat dikeringkan untuk keperluan-keperluan pemeliharaan dan perbaikan.

Guna mencegah masuknya benda-benda hanyut, puncak bukaan direncanakan di bawah muka air hulu. Jika bukaan berada di atas muka air, maka harus dipakai kisi-kisi penyaring. Kisi-kisi penyaring direncana dengan rumus berikut:

Kehilangan tinggi energi melalui saringan adalah:

$h_f = c\ (v^2/2g)$ 5-4

dimana: $c = \beta\ (s/b)^{4/3} \sin \delta$ 5-5

dimana: h_f = kehilangan tinggi energi

v = kecepatan datang (*approach velocity*)

g = percepatan gravitasi m/dt^2 ($\approx$ 9,8 m/dt^2)

c = koefisien yang bergantung

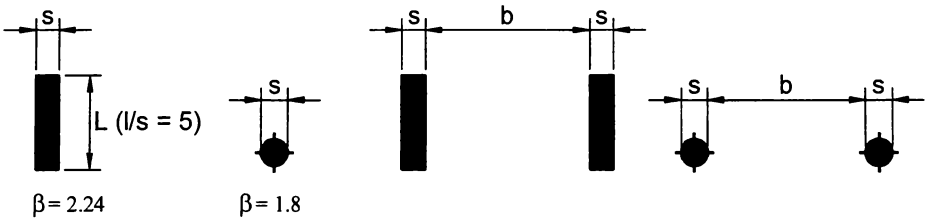
β = faktor bentuk (lihat Gambar 5-3.)

s = tebal jeruji, m

L = panjang jeruji, m (lihat Gambar 5-3.)

b = jarak bersih antar jeruji b ($b > 50$ mm), m

δ = sudut kemiringan dari horisontal, dalam derajat.



Gambar 5-3. Bentuk-Bentuk Jeruji Kisi-Kisi Penyaring dan Harga-Harga β

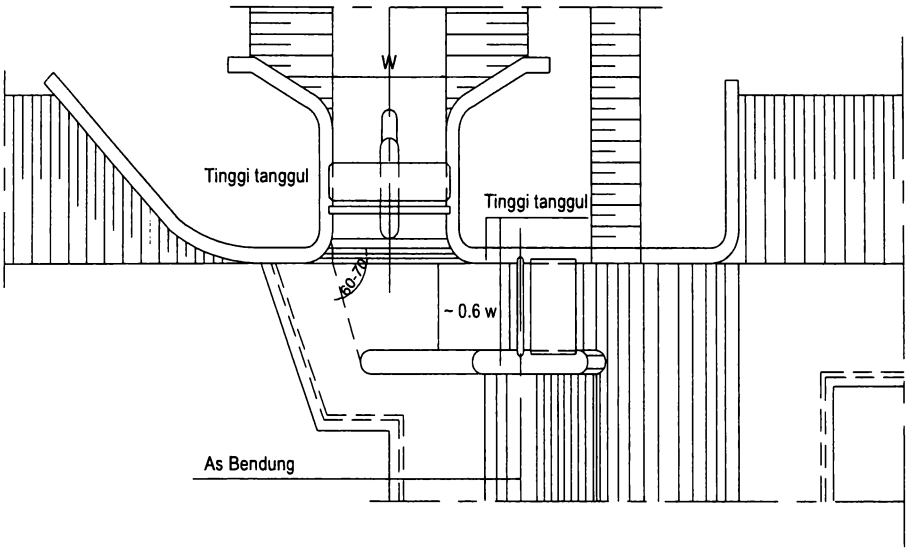
5.3 Pembilas

Lantai pembilas merupakan kantong tempat mengendapnya bahan-bahan kasar di depan pembilas pengambilan. Sedimen yang terkumpul dapat dibilas dengan jalan membuka pintu pembilas secara berkala guna menciptakan aliran terkonsentrasi tepat di depan pengambilan.

Pengalaman yang diperoleh dari banyak bendung dan pembilas yang sudah dibangun, telah menghasilkan beberapa pedoman menentukan lebar pembilas:

- lebar pembilas ditambah tebal pilar pembagi sebaiknya sama dengan 1/6 – 1/10 dari lebar bersih bendung (jarak antara pangkal-pangkalnya), untuk sungai-sungai yang lebarnya kurang dari 100 m.
- lebar pembilas sebaiknya diambil 60% dari lebar total pengambilan termasuk pilar-pilarnya.

Juga untuk panjang dinding pemisah, dapat diberikan harga empiris. Dalam hal ini sudut a pada Gambar 5-4. sebaiknya diambil sekitar 60^0 sampai 70^0.



Gambar 5-4. Geometri Pembilas

Pintu pada pembilas dapat direncana dengan bagian depan terbuka atau tertutup (lihat juga Gambar 5-11.)

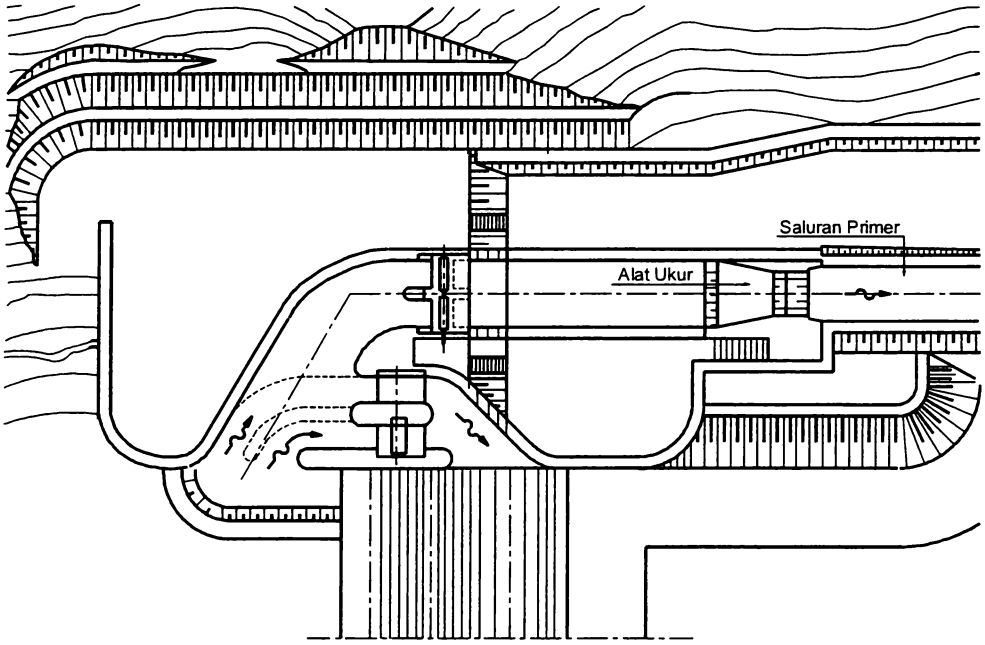
Pintu dengan bagian depan terbuka memiliki keuntungan-keuntungan berikut:

- ikut mengatur kapasitas debit bendung, karena air dapat mengalir melalui pintu-pintu yang tertutup selama banjir.
- pembuangan benda-benda terapung lebih mudah, khususnya bila pintu dibuat dalam dua bagian dan bagian atas dapat diturunkan (lihat juga Gambar 5-13c).

Kelemahan-kelemahannya:

- sedimen akan terangkut ke pembilas selama banjir, hal ini bisa menimbulkan masalah, apalagi Jika sungai mengangkut banyak bongkah. Bongkah-bongkah ini dapat menumpuk di depan pembilas dan sulit disingkirkan.
- benda-benda hanyut bisa merusakkan pintu.
- karena debit di sungai lebih besar daripada debit di pengambilan, maka air akan mengalir melalui pintu pembilas, dengan demikian kecepatan menjadi lebih tinggi dan membawa lebih banyak sedimen.

Sekarang kebanyakan pembilas direncana dengan bagian depan terbuka. Jika bongkah yang terangkut banyak, kadang-kadang lebih menguntungkan untuk merencanakan pembilas samping (*shunt sluice*), lihat Gambar 5-5. Pembilas tipe ini terletak di luar bentang bersih bendung dan tidak menjadi penghalang jika terjadi banjir.



Gambar 5-5. Pembilas Samping

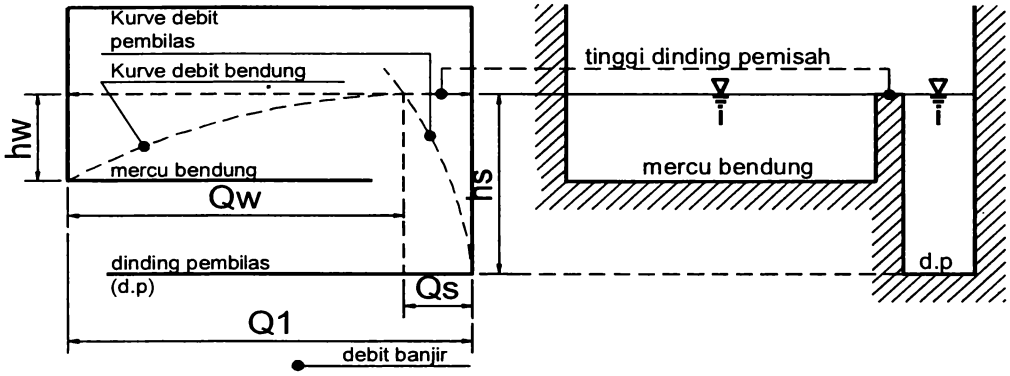
Bagian atas pemisah berada di atas muka air selama pembilasan berlangsung. Untuk menemukan elevasi ini, eksploitasi pembilas tersebut harus dipelajari. Selama eksploitasi biasa dengan pintu pengambilan terbuka, pintu pembilas secara berganti-ganti akan dibuka dan ditutup untuk mencegah penyumbatan.

Pada waktu mulai banjir pintu pengambilan akan ditutup (tinggi muka air sekitar 0,50 m sampai 1,0 m di atas mercu dan terus bertambah), pintu pembilas akan dibiarkan tetap tertutup. Pada saat muka air surut kembali menjadi 0,50 sampai 1,0 m di atas mercu dan terus menurun, pintu pengambilan tetap tertutup dan pintu pembilas dibuka untuk menggelontor sedimen.

Karena tidak ada air yang boleh mengalir di atas dinding pemisah selama pembilasan (sebab aliran ini akan mengganggu), maka elevasi dinding tersebut sebaiknya diambil 0,50 atau 1,0 m di atas tinggi mercu.

Jika pembilasan harus didasarkan pada debit tertentu di sungai yang masih cukup untuk itu muka dinding pemisah, dapat ditentukan dari Gambar 5-6.

Biasanya lantai pembilas pada kedalaman rata-rata sungai. Namun demikian, jika hal ini berarti terlalu dekat dengan ambang pengambilan, maka lantai itu dapat ditempatkan lebih rendah asal pembilasan dicek sehubungan dengan muka air hilir (tinggi energi yang tersedia untuk menciptakan kecepatan yang diperlukan).



Gambar 5-6. Metode Menemukan Tinggi Dinding Pemisah

5.4 Pembilas Bawah

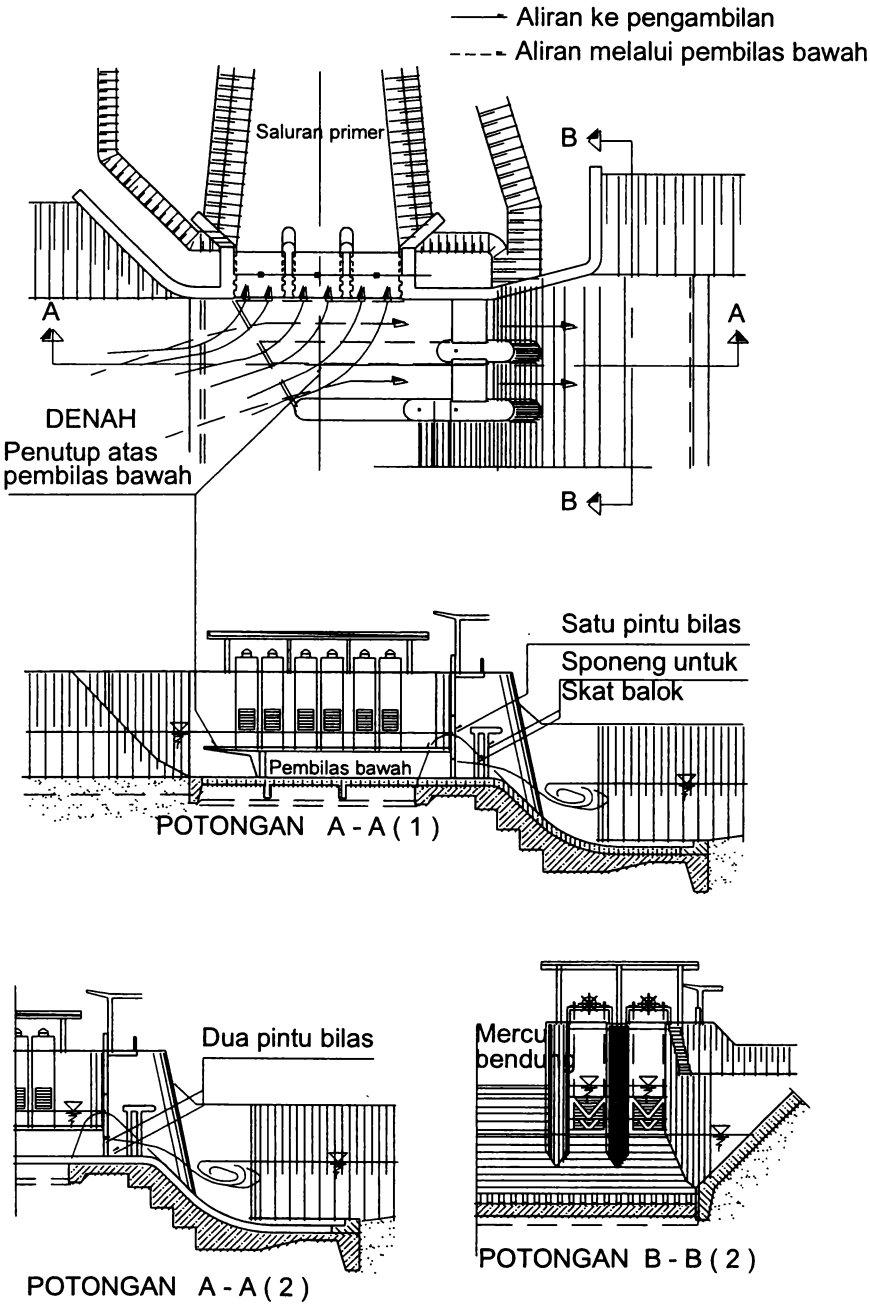
Pembilas bawah direncana untuk mencegah masuknya angkutan sedimen dasar fraksi pasir yang lebih kasar ke dalam pengambilan.

"Mulut" pembilas bawah 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 (lihat Gambar 5-7.).

Pintu di ujung pembilas bawah akan tetap terbuka selama aliran air rendah pada musim kemarau pintu pembilas tetap ditutup agar air tidak mengalir. Untuk membilas

kandungan sedimen dan agar pintu tidak tersumbat, pintu tersebut akan dibuka setiap hari selama kurang lebih 60 menit.

Apabila benda-benda hanyut mengganggu eksploitasi pintu pembilas sebaiknya di pertimbangkan untuk membuat pembilas dengan dua buah pintu, dimana pintu atas dapat diturunkan agar benda-benda hanyut dapat lewat (lihat juga Gambar 5-13c).



Gambar 5-7. Pembilas Bawah

Jika kehilangan tinggi energi bangunan pembilas kecil, maka hanya diperlukan satu pintu, dan jika dibuka pintu tersebut akan memberikan kehilangan tinggi energi yang lebih besar di bangunan pembilas.

Bagian depan pembilas bawah biasanya direncana di bawah sudut dengan bagian depan pengambilan.

Dimensi-dimensi dasar pembilas bawah adalah:

- tinggi saluran pembilas bawah hendaknya lebih besar dari 1,5 kali diameter terbesar sedimen dasar di sungai
- tinggi saluran pembilas bawah sekurang-kurangnya 1,0 m,
- tinggi sebaiknya diambil 1/3 sampai 1/4 dari kedalaman air di depan pengambilan selama debit normal.

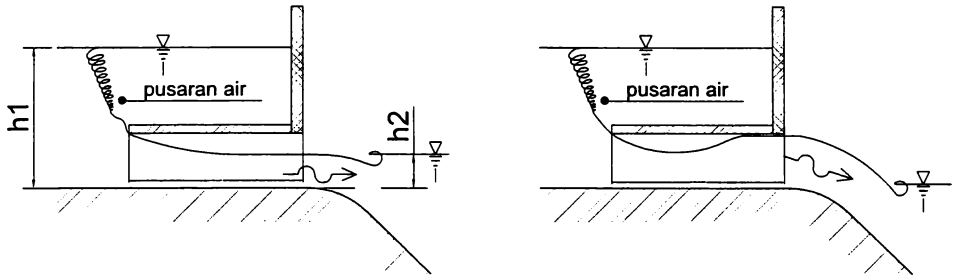
Dimensi rata-rata dari pembilas bawah yang direncanakan dan dibangun berkisar dari:

- 5 sampai 20 m untuk panjang saluran pembilas bawah
- 1 sampai 2 m untuk panjang tinggi saluran pembilas bawah
- 0,20 sampai 0,35 m untuk tebal beton bertulang.

Luas saluran pembilas bawah (lebar kali tinggi) harus sedemikian rupa sehingga kecepatan minimum dapat dijaga ($v = 1,0 - 1,5$ m/dt). Tata letak saluran pembilas bawah harus direncana dengan hati-hati untuk menghindari sudut mati (*dead corner*) dengan kemungkinan terjadinya sedimentasi atau terganggunya aliran.

Sifat tahan gerusan dari bahan dipakai untuk lining saluran pembilas bawah membatasi kecepatan maksimum yang diizinkan dalam saluran bawah, tetapi kecepatan minimum bergantung kepada ukuran butir sedimen yang akan dibiarkan tetap bergerak.

Karena adanya kemungkinan terjadinya pusaran udara, di bawah penutup atas saluran pembilas bawah dapat terbentuk kavitasi, lihat Gambar 5-8. Oleh karena itu, pelat baja bertulang harus dihitung sehubungan dengan beton yang ditahannya.



Gambar 5-8. Pusaran (*Vortex)* dan Kantong Udara Dibawah Penutup Atas Saluran Pembilas Bawah

5.5 Pintu

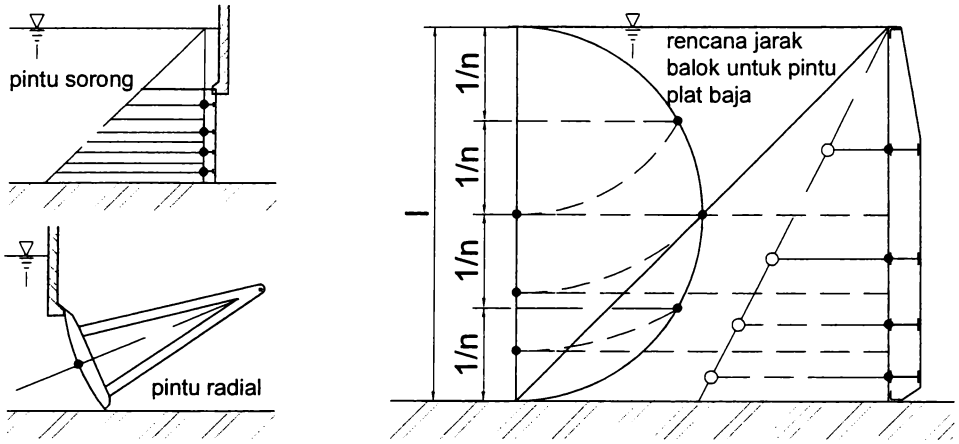
5.5.1 Umum

Dalam merencanakan pintu, faktor-faktor berikut harus dipertimbangkan:

- berbagai beban yang bekerja pada pintu
- alat pengangkat: 1. tenaga mesin
  2. tenaga manusia
- kedap air dan sekat
- bahan bangunan

(1) <u>Pembebanan Pintu</u>

Pada pintu sorong tekanan air diteruskan ke sponeng, dan pada pintu radial ke bantalan pusat. Pintu sorong kayu direncana sedemikian rupa sehingga masing-masing balok kayu mampu menahan beban dan meneruskannya ke sponeng untuk pintu sorong baja, gaya tersebut harus dibawa oleh balok. Lihat Gambar 5-9.



Gambar 5-9. Gaya-Gaya yang Bekerja pada Pintu

(2) Alat Pengangkat

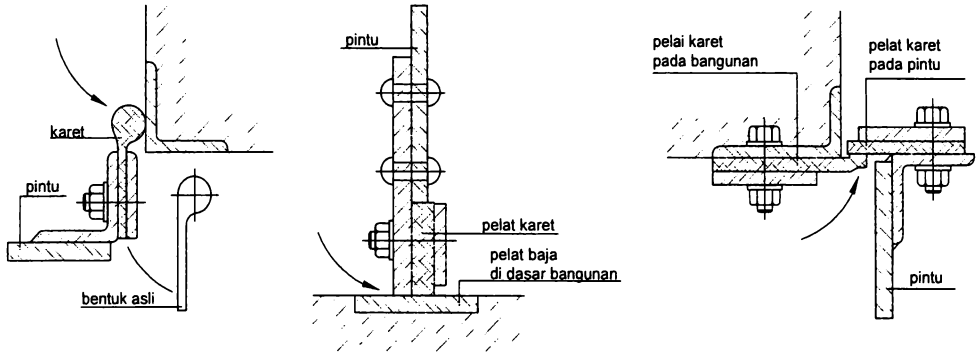
Alat pengangkat dengan setang biasanya dipakai untuk pintu-pintu lebih kecil. Untuk pintu-pintu yang dapat menutup sendiri, karena digunakan rantai berat sendiri atau kabel baja tegangan tinggi.

Pemilihan tenaga manusia atau mesin bergantung pada ukuran dan berat pintu, tersedianya tenaga listrik, waktu eksploitasi, mudah/tidaknya eksploitasi pertimbangan-pertimbangan ekonomis.

(3) Kedap Air

Umumnya pintu sorong memperoleh kekedapannya dari pelat perunggu yang dipasang pada pintu. Pelat-pelat ini juga di pasang untuk mengurangi gesekan. Jika pintu sorong harus dibuat kedap sama sekali, maka sekat atasnya juga dapat dibuat dari perunggu. Sekat dasarnya bisa dibuat dari kayu atau karet.

Pintu sorong dan radial dari baja menggunakan sekat karet tipe modern seperti ditunjukkan pada Gambar 5-10.



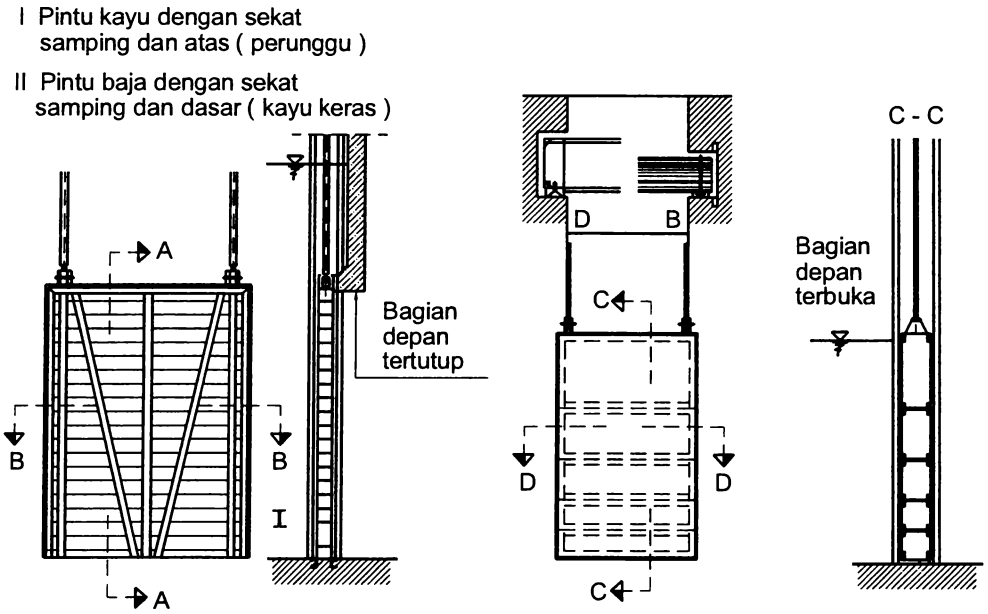
Gambar 5-10. Sekat Air dari Karet untuk Bagian Samping (A), Dasar (B) dan Atas (C) pada Pintu Baja

(4) Bahan Bangunan

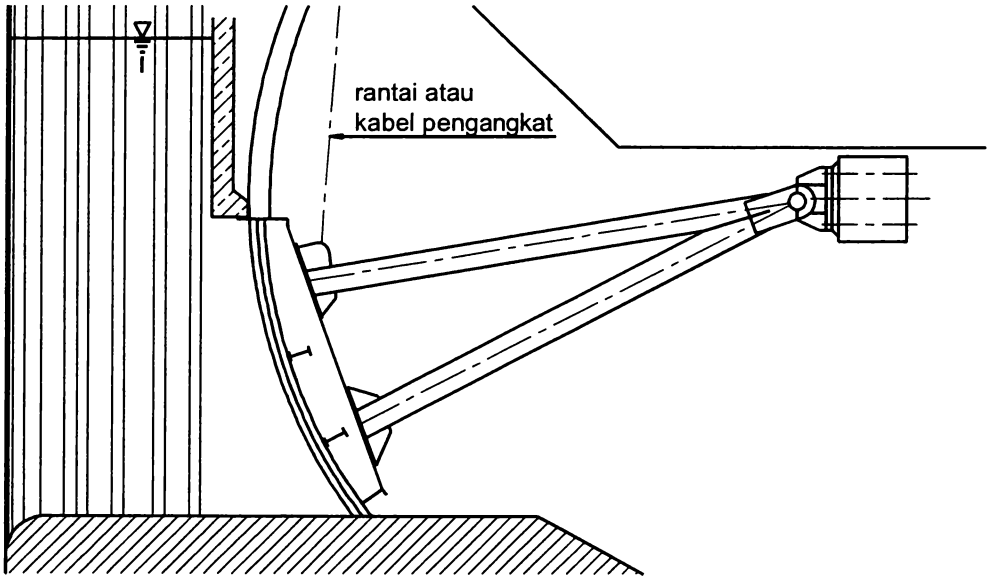
Pintu yang dipakai untuk pengambilan dan pembilas dibuat dari kayu dengan kerangka (*mounting*) baja, atau dibuat dari pelat baja yang diperkuat dengan gelagar baja. Pelat-pelat perunggu dipasang pada pintu untuk mengurangi gesekan di antara pintu dengan sponengnya. Pintu berukuran kecil jarang memerlukan rol.

5.5.2 Pintu Pengambilan

Biasanya pintu pengambilan adalah pintu sorong kayu sederhana (lihat Gambar 5-11.). Bila di daerah yang bersangkutan harga kayu mahal, maka dapat dipakai baja. Jika air di depan pintu sangat dalam, maka eksploitasi pintu sorong mungkin sulit. Jika demikian halnya, pintu radial atau segmen akan lebih baik (lihat Gambar 5-12.).



Gambar 5-11. Tipe-Tipe Pintu Pengambilan: Pintu Sorong Kayu dan Baja



Gambar 5-12. Pintu Pengambilan Tipe Radial

5.5.3 Pintu Bilas

Ada bermacam-macam pintu bilas yang bisa digunakan, yakni:

- satu pintu tanpa pelimpah (bagian depan tertutup, lihat Gambar 5-13a.)
- satu pintu dengan pelimpah (bagian depan terbuka, lihat Gambar 5-13b.)
- dua pintu, biasanya hanya dengan pelimpah (lihat Gambar 5-13c.)
- pintu radial dengan katup agar dapat membilas benda-benda terapung (lihat Gambar 5-13d.)

Apabila selama banjir aliran air akan lewat di atas pintu, maka bagian atas pintu harus direncana sedemikian rupa, sehingga tidak ada getaran dan tirai luapannya harus diaerasi secukupnya. (lihat Gambar 5-14.).

Dimensi kebutuhan aerasi dapat diperkirakan dengan pertolongan rumus berikut:

$$q_{udara} = 0{,}1 \frac{q_{air}}{y_y / h_1^{1,5}} \quad \text{..... 5-6}$$

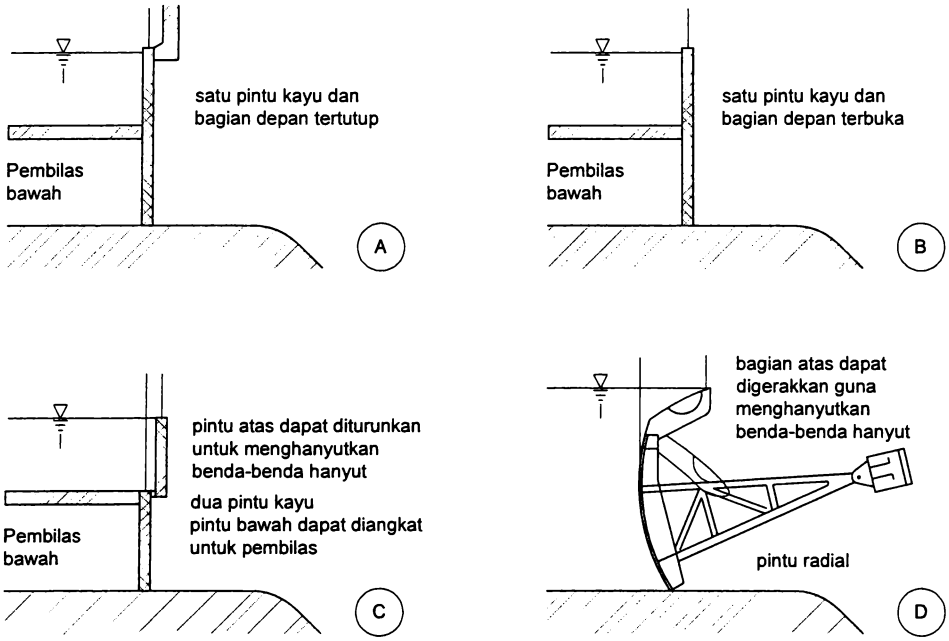
dimana:

q_{udara} = udara yang diperlukan untuk aerasi per m' lebar pintu, m^3/dt

q_{air} = debit di atas pintu, $m^3/dt.m$

y_p = kedalaman air di atas tirai luapan, m

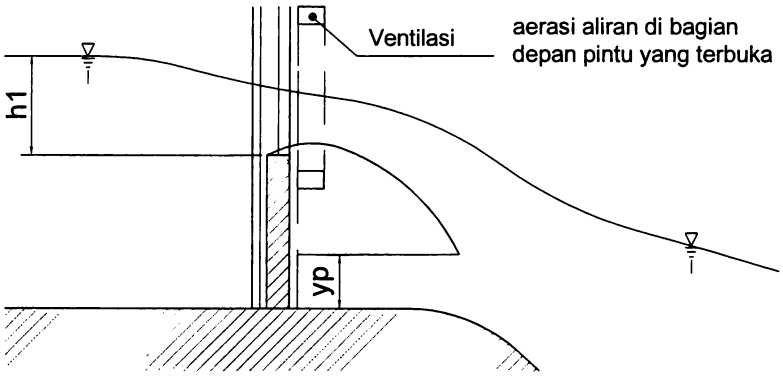
h_1 = kedalaman air di atas pintu, m



Gambar 5-13. Tipe-Tipe Pintu Bilas

Untuk menemukan dimensi pipa, kecepatan udara maksimum di dalam pipa boleh diambil 40-50 m/dt.

Stang pengangkat dari pintu dengan bagian depan terbuka, ditempatkan di luar bukaan bersih (di dalam sponeng) guna melindunginya dari benda-benda terapung.



Gambar 5-14. Aerasi Pintu Sorong yang Terendam

BAB VI
PERENCANAAN BANGUNAN

6.1 Umum

Sifat-sifat bahan bangunan diuraikan dalam KP – 06 Parameter Bangunan.
Penggunaan bahan khusus serta analisis stabilitas bangunan utama akan dibicarakan dalam bab ini.

6.2 Penggunaan Bahan Khusus

6.2.1 Lindungan Permukaan

Tipe dan ukuran sedimen yang diangkut oleh sungai akan mempengaruhi pemilihan bahan yang akan dipakai untuk membuat permukaan bangunan yang langsung bersentuhan dengan aliran air. Ada tiga tipe bahan yang bisa dipakai untuk melindungi bangunan terhadap gerusan (abrasi), yakni:

- Batu Candi, yakni pasangan batu keras alamiah yang dibuat bentuk blok-blok segi empat atau persegi dan dipasang rapat-rapat. Pasangan batu tipe ini telah terbukti sangat tahan abrasi dan dipakai pada banyak bendung yang terkena abrasi keras.
- Bila tersedia batu-batu keras yang berkualitas baik, seperti andesit, basal, diabase, diorit, gabro, granit atau grano-diorit, maka dianjurkan untuk membuat permukaan dari bahan ini pada permukaan bendung yang dibangun di sungai-sungai yang mengangkut sedimen abrasif (berdaya gerus kuat).
- Beton, jika direncana dengan baik dan dipakai di tempat yang benar, merupakan bahan lindungan yang baik pula, beton yang dipakai untuk lindungan permukaan sebaiknya mengandung agregat berukuran kecil, bergradasi baik dan berkekuatan tinggi.
- Baja, kadang-kadang dipakai di tempat yang terkena hempasan berat oleh air yang mengandung banyak sedimen. Khususnya blok halang di kolam olak dan lantai tepat di bawah pintu dapat dilindungi dengan pelat-pelat baja.

Pada kolam olak tipe bak tenggelam, kadang-kadang dipakai rel baja guna melindungi bak terhadap benturan batu-batu bongkah.

6.2.2 Lindungan dari Pasangan Batu Kosong

Pasangan batu kosong (rip-rap) dipakai sebagai selimut lindung bagi tanah asli (dasar sungai) tepat di hilir bangunan.

Batu yang dipakai untuk pasangan batu kosong harus keras, padat dan awet, serta berberat jenis 2,4.

Panjang lindungan dari pasangan batu kosong sebaiknya diambil 4 kali kedalaman lubang gerusan lokal, dihitung dengan rumus empiris.

Rumus ini adalah rumus empiris *Lacey* untuk menghitung kedalaman lubang gerusan:

$$R = 0{,}47\frac{Q^{1/3}}{f} \quad \text{..... 6-1}$$

dimana: R = kedalaman gerusan dibawah permukaan air banjir, m

Q = debit, m^3/dt

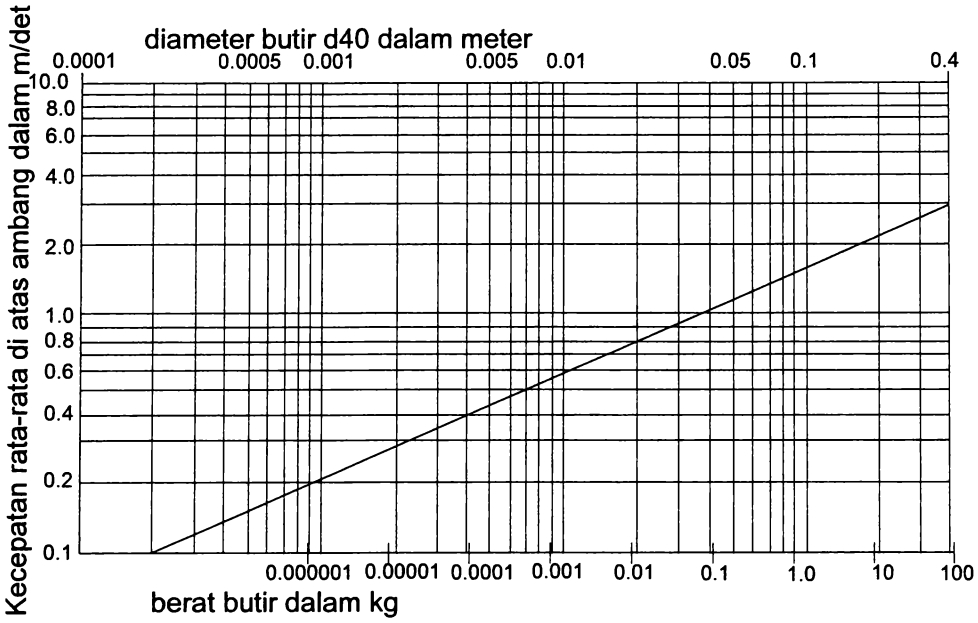
f = faktor lumpur *Lacey* ($1{,}76\ D_m^{0,5}$)

D_m = Diameter nilai tengah (*mean*) untuk bahan jelek, mm

Untuk menghitung turbulensi dan aliran yang tidak stabil, R ditambah 1,5 nya lagi (data empiris).

Tebal lapisan pasangan batu kosong sebaiknya diambil 2 sampai 3 kali d_{40}, dicari dari kecepatan rata-rata aliran dengan bantuan Gambar 6-1.

Gambar 6-1. dapat dipakai untuk menentukan d_{40} dari campuran pasangan batu kosong dari kecepatan rata-rata selama terjadi debit rencana di atas ambang bangunan. d_{40} dari campuran berarti bahwa 60% dari campuran ini sama diameternya atau lebih besar. Ukuran batu hendaknya hampir serupa ke semua arah.



Gambar 6-1. Grafik untuk Perencanaan Ukuran Pasangan Batu Kosong

6.2.3 *Filter*

Filter (saringan) berfungsi mencegah hilangnya bahan dasar halus melalui bangunan lindung. *Filter* harus ditempatkan antara pasangan batu kosong dan tanah bawah atau antara pembuang dan tanah bawah.

Ada tiga tipe *filter* yang bisa dipakai:

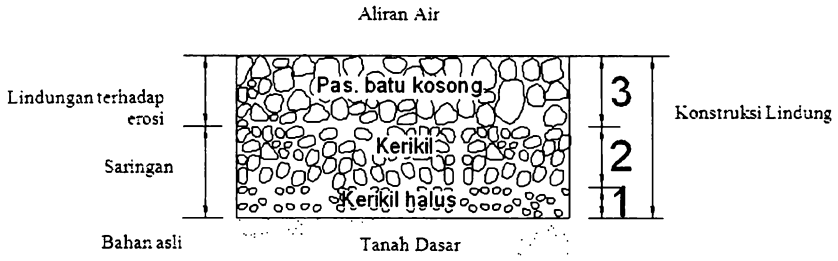
- *filter* kerikil-pasir yang digradasi
- kain *filter* sintetis
- ijuk.

Di sini akan dijelaskan pembagian butir *filter*.

Kain *filter* sintetis makin mudah didapat dan Jika direncanakan dengan baik bisa memberi keuntungan-keuntungan ekonomis.

Mereka yang akan memakai kriteria ini dianjurkan untuk mempelajari brosur perencanaan dari pabrik.

Penggunaan ijuk biasanya terbatas pada lubang pembuang di dinding penahan. Pemakaiannya di bawah pasangan batu kosong dan pada pembuang-pembuang besar, belum didukung oleh kepustakaan yang ada, jadi sebaiknya tidak dipraktekkan.



Gambar 6-2. Contoh *Filter* antara Pasangan Batu Kosong dan Bahan Asli (Tanah Dasar)

Filter yang digradasi (lihat Gambar 6-2.) hendaknya direncana menurut aturan-aturan berikut:

(1) *<u>Kelulusan tanah (USBR,1973):</u>

$$\frac{d_{15}\text{lapisan 3}}{d_{15}\text{lapisan 2}}, \frac{d_{15}\text{lapisan 2}}{d_{15}\text{lapisan 1}}, \frac{d_{15}\text{lapisan 1}}{d_{15}\text{tanah dasar}} = 5 \text{ sampai } 40$$

Perbandingan 5 – 40 seperti yang disebutkan di atas dirinci lagi sebagai berikut:

(a) butir bulat homogen (kerikil) 5 – 10

(b) butir runcing homogen (pecahan kerikil, batu) 6 – 20

(c) butir bergradasi baik 12 – 40

(2) *Stabilitas, perbandingan d_{15}/d_{85} (*Bertram*, 1940):

$$\frac{d_{15}\text{lapisan 3}}{d_{85}\text{lapisan 2}}, \frac{d_{15}\text{lapisan 2}}{d_{85}\text{lapisan 1}}, \frac{d_{15}\text{lapisan 1}}{d_{85}\text{tanah dasar}} \leq 5$$

$$\frac{d_{50}\text{lapisan 3}}{d_{50}\text{lapisan 2}}, \frac{d_{50}\text{lapisan 2}}{d_{50}\text{lapisan 1}}, \frac{d_{50}\text{lapisan 1}}{d_{50}\text{tanah dasar}} = 5 \text{ sampai } 60$$

dengan:

(a) butir bulat homogen (kerikil) 5 – 10

(b) butir runcing homogen (pecahan kerikil, batu) 10 – 30

(c) butir bergradasi baik 12 – 60

Agar *filter* tidak tersumbat, maka d_5 harus sama atau lebih besar dari 0,75 mm untuk semua lapisan *filter*.

Tebal minimum untuk *filter* yang dibuat di bawah kondisi kering adalah:

(1) pasir, kerikil halus 0,05 sampai 0,10 m

(2) kerikil 0,10 sampai 0,20 m

(3) batu 1,50 sampai 2 kali diameter batu yang lebih besar.

Bila *filter* harus ditempatkan di bawah air, maka harga-harga ini sebaiknya ditambah 1,5 sampai 2 kali.

6.2.4 Bronjong

Bronjong dibuat di lapangan, berbentuk bak dari jala-jala kawat yang diisi dengan batu yang cocok ukurannya. Matras jala-jala kawat ini diperkuat dengan kawat-kawat besar atau baja tulangan pada ujung-ujungnya. Ukuran yang biasa adalah 2 m x 1 m x 0,5 m. Bak-bak yang terpisah-pisah ini kemudian diikat bersama-sama untuk membentuk satu konstruksi yang homogen.

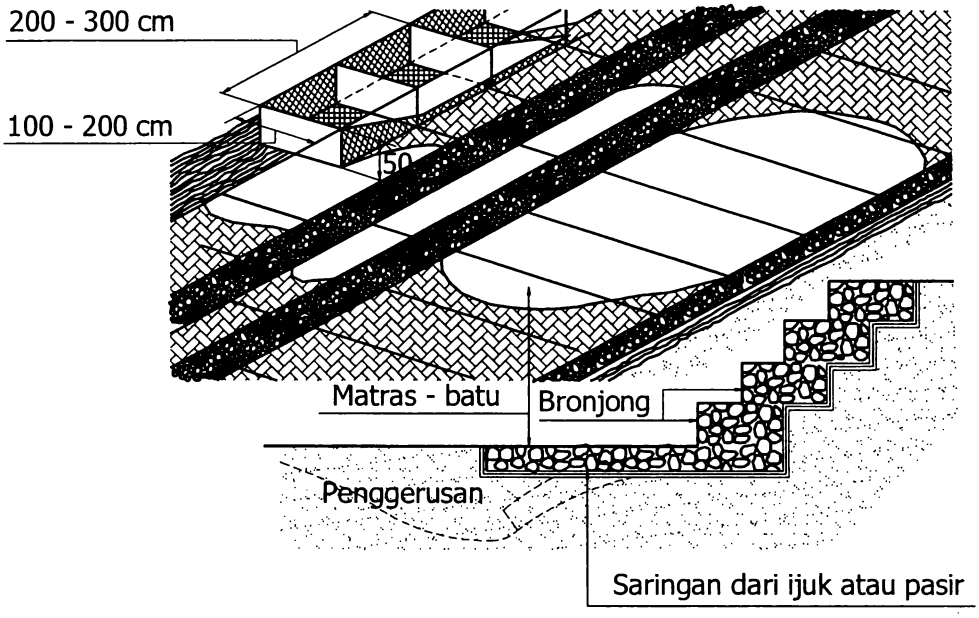
Bronjong tidak boleh digunakan untuk bagian-bagian permanen dari bangunan utama, bronjong hanya boleh dipakai untuk pekerjaan-pekerjaan pengatur sungai di hulu atau hilir bangunan bendung dari batu atau beton.

Keuntungan menggunakan bronjong adalah:

- kemungkinan membuat lindungan berat dengan batu-batu yang berukuran lebih kecil dan lebih murah.
- fleksibilitas konstruksi tersebut untuk dapat mengikuti tinggi permukaan yang terkena erosi.

Untuk mencegah agar tidak ada bahan pondasi yang hilang, di antara tanah dasar dan lindungan dari bronjong harus selalu diberi *filter* yang memadai. Ijuk adalah saringan yang baik dan dapat ditempatkan di bawah semua bronjong.

Pada Gambar 6-3. disajikan detail bronjong.



Gambar 6-3. Detail Bronjong

6.3 Bahan Pondasi

Metode untuk menghitung besarnya daya dukung (*bearing pressure*) serta harga-harga perkiraan diberikan dalam KP - 06 Parameter Bangunan.

Parameter bahan seperti sudut gesekan dalam dan kohesi untuk bahan-bahan pondasi yang sering dijumpai, diberikan pada Tabel 6-1. dan Tabel 6-2. bersama-sama dengan perkiraan daya dukung sebagai harga-harga teoritis untuk perhitungan-perhitungan pendahuluan.

Tabel 6-1. Harga-Harga Perkiraan Daya Dukung yang Diizinkan
(Disadur dari *British Standard Code of Practice CP 2004*)

Jenis	**Daya Dukung**	
	kN/m²	**kgf/cm²**
1. Batu sangat keras	10.000	100
2. Batu kapur/batu pasir keras	4.000	40
3. Kerikil berkerapatan sedang atau pasir dan kerikil	200-600	2-6
4. Pasir berkerapatan sedang	100-300	1-3
5. Lempung kenyal	150-300	1,5-3
6. Lempung teguh	75-150	0,75-1,5
7. Lempung lunak dan lumpur	1 < 75	< 0,75

Tabel 6-2. Sudut Gesekan dalam φ dan Kohesi c

Jenis Tanah	**Φ °**	**c (kN/m²)**	**c (kgf/cm²)**
pasir lepas	30 – 32,5	0	0
pasir padat	32,5 – 35	0	0
pasir lempungan	18 – 22	10	0,1
lempung	15 - 30	10 - 20	0,1 – 0,2

Bangunan bendung biasanya dibangun pada permukaan dasar yang keras seperti batuan keras atau kerikil dan pasir yang dipadatkan dengan baik. Dalam hal ini penurunan bangunan tidak menjadi masalah. Jika bahan pondasi ini tidak dapat diperoleh, maka pondasi bangunan harus direncana dengan memperhitungkan gaya-

gaya sekunder yang ditimbulkan oleh penurunan yang tidak merata maupun resiko terjadinya erosi bawah tanah (*piping*) akibat penurunan tersebut.

6.4 Analisis Stabilitas

6.4.1 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.

6.4.2 Tekanan Air

Gaya tekan air dapat dibagi menjadi gaya hidrostatik dan gaya hidrodinamik. Tekanan hidrostatik 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 diatasnya.

Rumus gaya tekan ke atas untuk bangunan yang didirikan pada pondasi batuan adalah (lihat Gambar 6-4.):

$W_u = c\tau_w [h_2 + \frac{1}{2} \xi (h_1 - h_2)] A$ 6-2

dimana:

c = proposi luas dimana tekanan hidrostatik bekerja (c = 1, untuk semua tipe pondasi)

τ_w = berat jenis air, kN/m^3

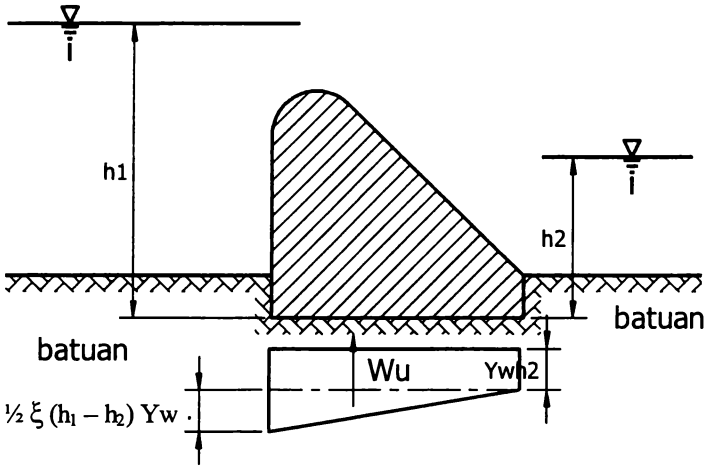
h_2 = kedalaman air hilir, m

ξ = proposi tekanan (*proportion of net head*) diberikan pada Tabel 6-3.

h_1 = kedalaman air hulu, m

A = luas dasar, m^2

W_u = gaya tekan ke atas resultante, kN



Gambar 6-4. Gaya Angkat untuk Bangunan yang Dibangun pada Pondasi Buatan

Tabel 6-3. Harga-Harga ξ

Tipe Pondasi Batuan	ξ (Proporsi Tekanan)
Berlapis Horisontal	1,00
Sedang, Pejal (*massive*)	0,67
Baik, Pejal	0,50

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

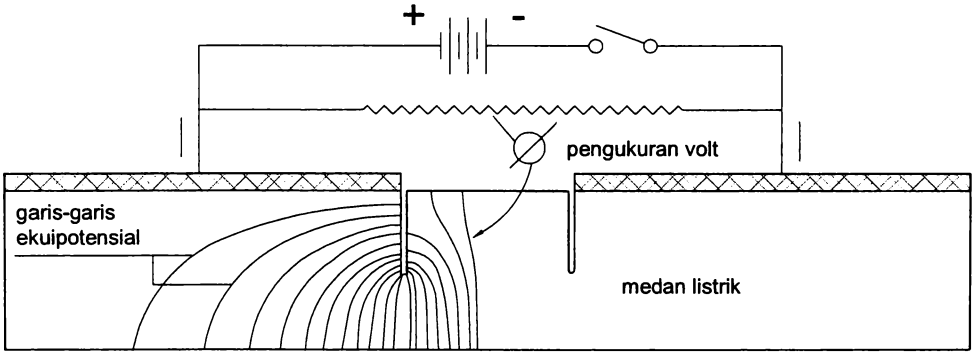
(2) analog listrik atau

(3) menggunakan metode numeris (*numerical method*) pada komputer.

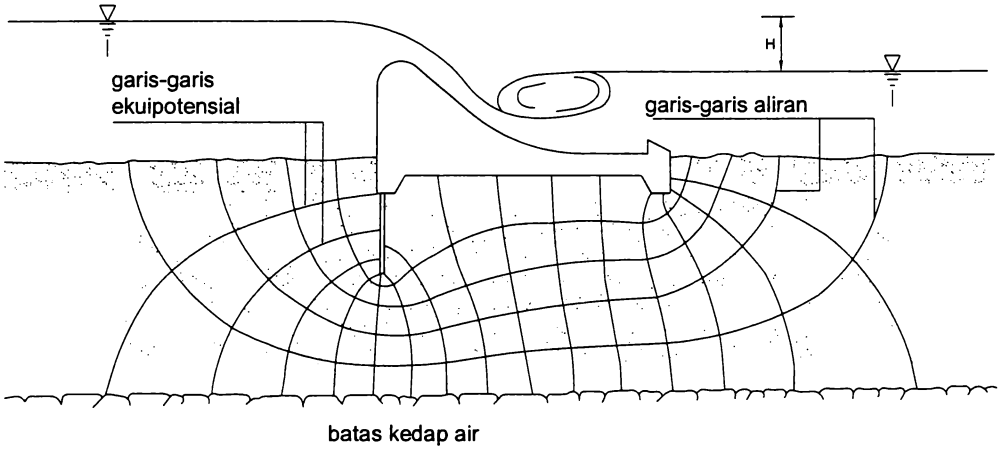
Dalam metode analog listrik, aliran air melalui pondasi dibandingkan dengan aliran listrik melalui medan listrik daya-antar konstan. Besarnya voltase sesuai dengan tinggi piezometrik, daya-antar dengan kelulusan tanah dan aliran listrik dengan kecepatan air (lihat Gambar 6-5).

Untuk pembuatan jaringan aliran bagi bangunan utama yang dijelaskan disini, biasanya cukup diplot dengan tangan saja.

Contoh jaringan aliran di bawah bendung pelimpah diberikan pada Gambar 6-6.



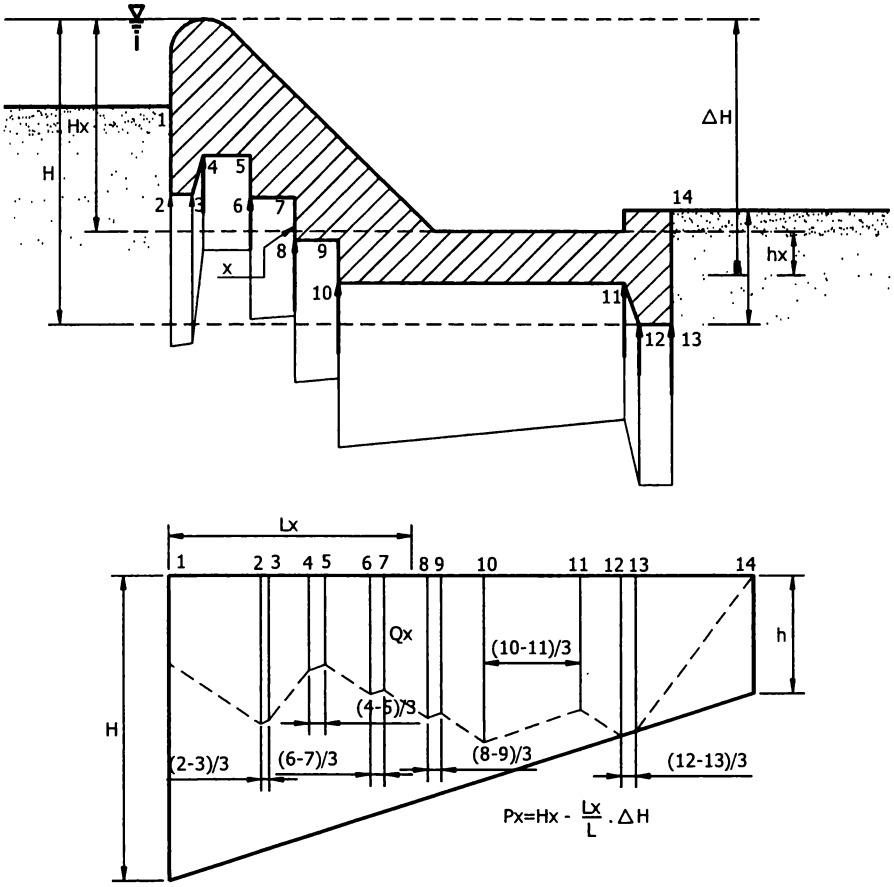
Gambar 6-5. Konstruksi Jaringan Aliran Menggunakan Analog Listrik



Gambar 6-6. Contoh Jaringan Aliran Dibawah Dam Pasangan Batu pada Pasir

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 6-7. Gaya Angkat pada Pondasi Bendung

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

$P_x = H_x - (L_x/L)\ \Delta H$ 6-3

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

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 dimana L dan L_x adalah jarak relatif yang dihitung menurut cara *Lane*, bergantung kepada arah bidang tersebut. Bidang yang membentuk sudut 45^0 atau lebih terhadap bidang horisontal, dianggap vertikal.

6.4.3 Tekanan Lumpur

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

$$P_s = \frac{\tau_s h^2}{2} \frac{1-\sin\phi}{1+\sin\phi} \quad \text{..... 6-4}$$

dimana:

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

τ_s = berat lumpur, kN

h = dalamnya lumpur, m

ϕ = sudut gesekan dalam, derajat.

Beberapa andaian/asumsi dapat dibuat seperti berikut:

$$\tau_s = \tau_{s'} \left(\frac{G-1}{G}\right) \quad \text{..... 6-5}$$

dimana: $\tau_{s'}$ = berat volume kering tanah ≈ 16 kN/m^3 (≈ 1.600 kgf/m^3)

G = berat volume butir = 2,65

menghasilkan τ_s = 10 kN/m^3 (≈ 1.000 kgf/m^3)

Sudut gesekan dalam, yang bisa diandaikan 30^0 untuk kebanyakan hal, menghasilkan:

$$P_s = 1{,}67\, h^2 \quad \text{..... 6-6}$$

6.4.4 Gaya Gempa

Harga-harga gaya gempa diberikan dalam bagian Parameter Bangunan. Harga-harga tersebut didasarkan pada peta Indonesia yang menujukkan berbagai daerah dan resiko. 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.

6.4.5 Berat Bangunan

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.

pasangan batu 22 kN/m^3 (≈ 2.200 kgf/m^3)

beton tumbuk 23 kN/m^3 (≈ 2.300 kgf/m^3)

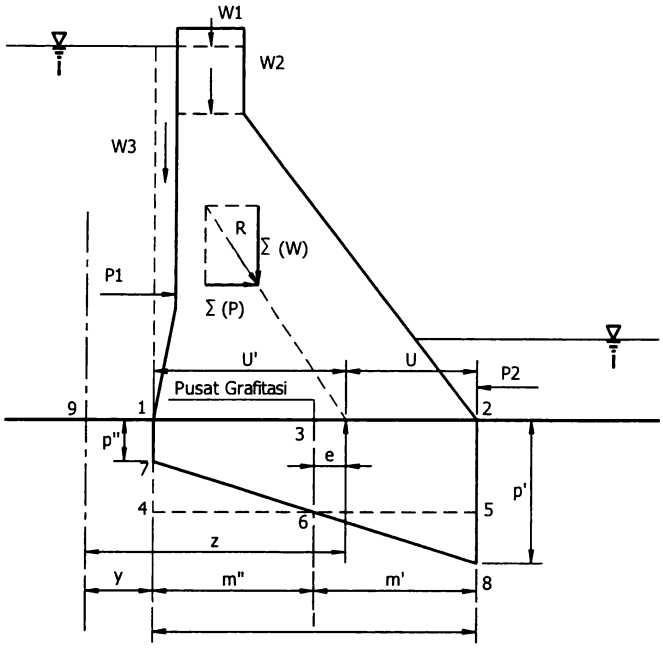
beton bertulang 24 kN/m^3 (≈ 2.400 kgf/m^3)

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^3 (≈ 2.400 kgf/m^3).

6.4.6 Reaksi Pondasi

Reaksi pondasi boleh diandaikan berbentuk trapesium dan tersebar secara linier.



Gambar 6-8. Unsur-Unsur Persamaan Distribusi Tekanan pada Pondasi

Berdasarkan Gambar 6-8. rumus-rumus berikut dapat diturunkan dengan mekanika sederhana.

Tekanan vertikal pondasi adalah:

$$p = \frac{\Sigma(W)}{A} + \frac{\Sigma(W)e}{A} m \quad \text{..... 6-7}$$

dimana:

p = tekanan vertikal pondasi

$\sum$ (W) = keseluruhan gaya vertikal, termasuk tekanan ke atas, tetapi tidak termasuk reaksi pondasi

A = luas dasar, (m^2)

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 dimana tekanan dikehendaki (m)

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

$$p = \frac{\Sigma(W)}{1}\left\{1 + \frac{12e}{\ell^2}\,m\right\} \quad \text{.....} \quad 6\text{-}8$$

sedangkan tekanan vertikal pondasi pada ujung bangunan ditentukan dengan rumus:

$$p' = \frac{\Sigma(W)}{\ell}\left\{1 + \frac{6e}{\ell^2}\right\} \quad \text{.....} \quad 6\text{-}9$$

dengan m' = m" = ½ ℓ

$$p'' = \frac{\Sigma(W)}{\ell}\left\{1 + \frac{6e}{\ell^2}\right\} \quad \text{.....} \quad 6\text{-}10$$

Bila harga e dari Gambar 6-8. dan persamaan (6-7) lebih besar dari 1/6 (lihat pula Gambar 6-8.), maka akan dihasilkan tekanan negatif pada ujung bangunan. Biasanya tarikan tidak diizinkan, yang memerlukan irisan yang mempunyai dasar segi empat sehingga resultante untuk semua kondisi pembebanan jatuh pada daerah inti.

6.4.7 Analisa Stabilitas Bendung Karet

(a) Pondasi

Pondasi bendung karet dapat dibedakan yaitu pondasi langsung yang dibangun diatas lapisan tanah yang kuat dan pondasi tidak langsung (dengan tiang pancang) yang dibangun pada lapisan lunak.

Pada pondasi langsung menahan bangunan atas dan relatif ringan membutuhkan massa yang lebih besar untuk menjaga stabilitas terhadap penggulingan dan penggeseran. Untuk menghemat biaya konstruksi, pondasi dibuat dari beton bertulang sebagai selimut dan diisi dengan pasangan beton komposit.

(b) Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan

(1) Gaya-gaya yang bekerja pada bangunan pelimpah adalah:

- Tekanan air, dari dalam dan luar
- Gaya gempa
- Berat bangunan

- Reaksi pondasi

Lantai pondasi pada bendung karet 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 didalam menyebabkan berkurangnya berat efektif bangunan di atasnya.

Rumus gaya ini dapat dilihat pada subbab 6.4.2.

6.5 Kebutuhan Stabilitas

Ada tiga penyebab runtuhnya bangunan gravitasi, yaitu:

(1) Gelincir (*sliding*)
   (a) sepanjang sendi horisontal atau hampir horisontal diatas 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*).

6.5.1 Ketahanan Terhadap Gelincir

Tangen θ, 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.

$$\frac{\sum(H)}{\sum(V-U)} = \tan\theta < \frac{f}{s} \quad \text{..... 6-11}$$

dimana:

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

$\sum$ (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 6-4.

Tabel 6-4. Harga-Harga Perkiraan untuk Koefisien Gesekan

Bahan	**f**
Pasangan batu pada pasangan batu	0,60 – 0,75
Batu keras berkualitas baik	0,75
Kerikil	0,50
Pasir	0,40
Lempung	0,30

Untuk bangunan-bangunan kecil, seperti bangunan-bangunan yang dibicarakan di sini, dimana 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 6-9) ternyata terlampaui, maka bangunan bisa dianggap aman jika faktor keamanan dari rumus itu yang mencakup geser (persamaan 6-10), sama dengan atau lebih besar dari harga-harga faktor keamanan yang sudah ditentukan.

$$\Sigma(H) \leq \frac{f\Sigma(V-U) + c\,A}{S} \qquad \text{6-12}$$

dimana: c = satuan kekuatan geser bahan, kN/m^2

A = luas dasar yang dipertimbangkan, m^2

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 1.100 kN/m^2 (= 110 Tf/m^2)

Persamaan 6-10 mungkin hanya digunakan untuk bangunan itu sendiri. Jika rumus untuk pondasi tersebut akan digunakan, perencana harus yakin bahwa itu kuat dan berkualitas baik berdasarkan hasil pengujian. Untuk bahan pondasi nonkohesi, harus digunakan rumus yang hanya mencakup gesekan saja (persamaan 6-9).

6.5.2 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.

Untuk pondasi, harga-harga daya dukung yang disebutkan dalam Tabel 6-1. bisa digunakan. Harga-harga untuk beton adalah sekitar 4,0 N/mm^2 atau 40 kgf/cm^2, pasangan batu sebaiknya mempunyai kekuatan minimum 1,5 sampai 3,0 N/mm^2 atau 15 sampai 30 kgf/cm^2.

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 berikut (lihat Gambar 6-9.):

$$d_x \geq S \frac{P_x - W_x}{\tau} \qquad \text{6-13}$$

dimana:

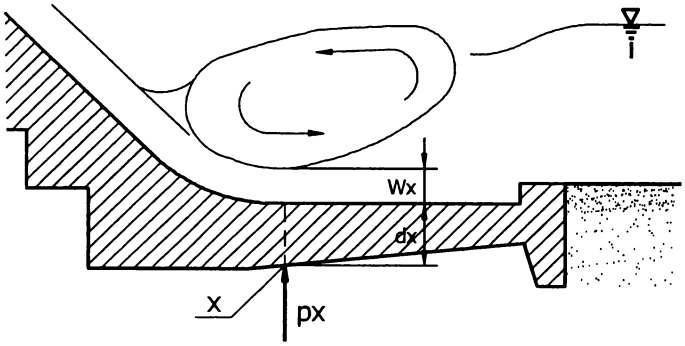
d_x = tebal lantai pada titikx, m

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 untukkondisi ekstrem)



Gambar 6-9. Tebal Lantai Kolam Olak

6.5.3 Stabilitas Terhadap Erosi Bawah Tanah (*Piping*)

Bangunan-bangunan utama seperti bendung 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* (lihat subbab 6.4.2). 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 mencek 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* diilustrasikan pada Gambar 6-10. dan memanfaatkan Tabel 6-5. Metode ini 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 45^0 dianggap vertikal dan yang kurang dari 45^0 dianggap horisontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat daripada jalur horisontal.

Oleh karena itu, rumusnya :

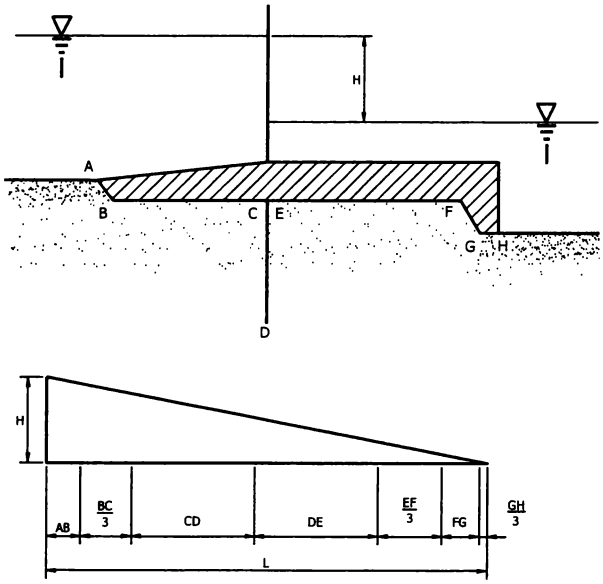
$$C_L = \frac{\Sigma L_V + 1/3 \Sigma L_H}{H} \quad \text{..... 6-14}$$

dimana: C_L = angka rembesan *Lane* (lihat Tabel 6-5.)

ΣL_v = jumlah panjang vertikal, m

ΣL_H = jumlah panjang horisontal, m

H = beda tinggi muka air, m



Gambar 6-10. Metode Angka Rembesan *Lane*

Tabel 6-5. Harga-Harga Minimum Angka Rembesan *Lane* (C_L)

Pasir sangat halus atau lanau	8,5
Pasir halus	7,0
Pasir sedang	6,0
Pasir kasar	5,0
Kerikil halus	4,0
Kerikil sedang	3,5
Kerikil kasar termasuk berangkal	3,0
Bongkah dengan sedikit berangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,6

Angka-angka rembesan pada Tabel 6-5. di atas sebaiknya dipakai:

a. 100% jika tidak dipakai pembuang, tidak dibuat jaringan aliran dan tidak dilakukan penyelidikan dengan model;
b. 80% Jika 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:

$$S = \frac{s\,(1+\frac{a}{s})}{h_s} \qquad \text{..... 6-15}$$

dimana: S = faktor keamanan

s = kedalaman tanah, m

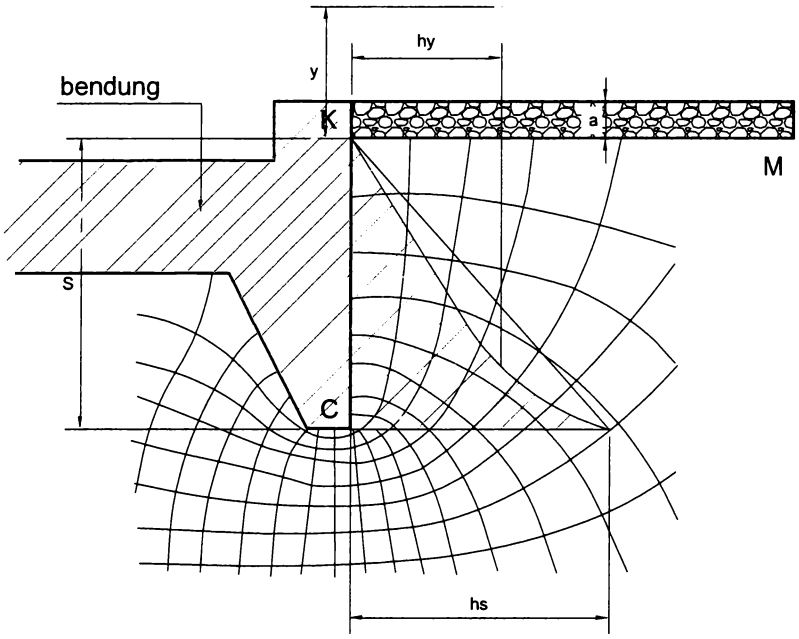
a = tebal lapisan pelindung, m

h_s = tekanan air pada kedalaman s, kg/m^2

Gambar 6-11. 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 dibawah air dapat diambil 1 ($\tau_w = \tau_s = 1$). Berat volume bahan lindung dibawah air adalah 1. Harga keamanan S sekurang-kurangnya 2.



Gambar 6-11. Ujung Hilir Bangunan; Sketsa Parameter-Parameter Stabilitas

6.5.4 Perencanaan Kekuatan Tubuh Bendung dari Tabung Karet

(1) Bahan karet

Lembaran karet terbuat dari bahan karet asli atau sintetik yang elastik, kuat, keras dan tahan lama.

Pada umumnya bahan karet yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

(i) Kekerasan tes abrasi dengan beban 1 kg pada putaran 1.000 kali tidak melampui 0,8 mm.

(ii) Kuat tarik

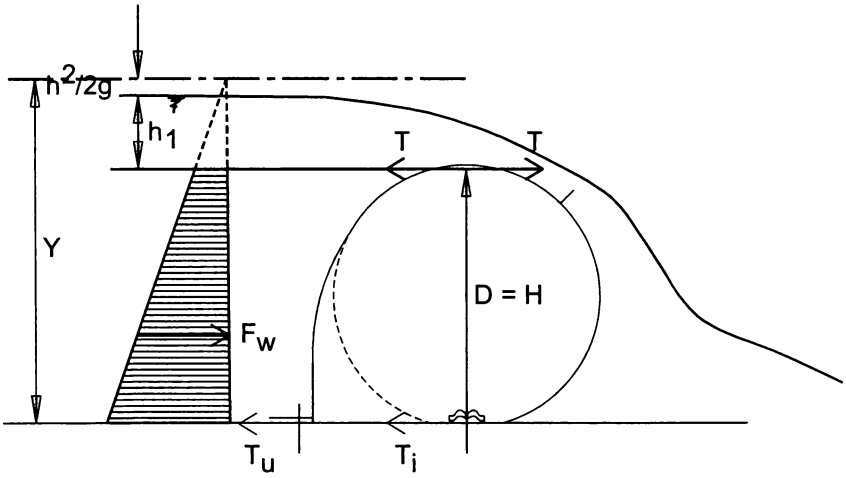
Kuat tarik pada suhu normal $\geq$ 150 kg/cm^2.

Kuat tarik pada suhu 100° $\geq$ 120 kg/cm^2

Bahan karet diperkuat dengan susunan benang nilon yang memberikan kekuatan tarik sesuai dengan kebutuhan, dengan bahan karet berupa karet sintetis.

(2) Kekuatan

Kekuatan lembaran karet harus mampu menahan gaya tekanan air dikombinasikan dengan gaya tekanan udara dari dalam tubuh bendung.



Gambar 6-12. Sketsa Gaya Tarik pada Tabung Karet

$T = 0{,}5\ H_{pb}$ 6-16

$F_w = 0{,}5\ \pi_w\ [\ Y^2 - (h^1 + v^{2/2}\ g)^2]$ 6-17

$T_i = T + 0{,}5\ F_w$ 6-18

$T_u = T - 0{,}5\ F_w$ 6-19

dimana:

T = gaya tarik pada selubung tabung karet (N/m)

H = tinggi bendung (m)

ρ_b = tekanan udara dalam tabung karet (Pa)

F_w = gaya tekanan air dari hulu pada tubuh bendung (N/m)

π_w = berat jenis air, diambil 9810 N/m^3

Y = tinggi air dihulu bendung (m)

h_1 = air dihulu bendung, diatas mercu maksimum (m)

v = kecepatan rata-rata aliran air dihulu bendung (m/s)

g = gravitasi, diambil 9,81 m/s^2

T_i = gaya pada angker hilir (N/m)

T_u = gaya pada angker hulu (N/m)

Kekuatan tarik lembaran karet pada arah aliran air ditetapkan dengan rumus :

$$K_T = n\,T_i \qquad \text{6-20}$$

dimana:

K_T = kekuatan tarik karet searah aliran air (N/m)

n = angka keamanan, diambil 8

Kekuatan tarik searah as bendung ditentukan sebesar $60^0/K_T$.

Tebal lembaran karet ditentukan oleh tebal susunan benang nilon ditambah lapisan penutup di kedua sisinya untuk menjamin kedap udara. Lapisan penutup sisi luar dibuat lebih tebal untuk pengamanan terhadap goresan ataupun abrasi oleh benda keras. Tebal lapisan penutup diambil minimal 3 mm dipermukaan dalam dan 7 mm dipermukaan luar.

(1) Sistem penjepitan

Pencetakan tabung karet pada pondasi berupa penjepitan dengan menggunakan baja yang diangker. Untuk bendung rendah dengan $H \leq 1{,}00$ m dapat digunakan angker tunggal, sedangkan untuk $H \geq 1{,}00$ m digunakan angker ganda, untuk daerah pasang surut harus digunakan angker ganda.

(2) Kebutuhan luasan karet

Untuk membentuk tabung karet dengan tinggi H yang direncanakan, diperlukan lembaran karet dengan lebar tertentu (W). Lebar total lembaran karet adalah W ditambah dua kali lebar untuk penjepitan.

Penjepitan pada ujung tabung karet yang berada pada tembok tepi atau pilar dibuat hingga ketinggian H + 10% H.

Bentuk dan panjang lembaran karet ditentukan dengan perhitungan sebagai berikut:

$$L = L_o + 2\,L_s + 2a^1 \quad \text{.....} \quad 6\text{-}21$$

$$W = 2B_o + 2a \quad \text{.....} \quad 6\text{-}22$$

$$L_s = 1{,}10\ h\sqrt{1 + m^2} \quad \text{.....} \quad 6\text{-}23$$

$$a^1 = \frac{2a}{B_0}\sqrt{\left(\frac{B_0}{2}\right)^2 + L_s^{\,2}} \quad \text{.....} \quad 6\text{-}24$$

dimana:

L = panjang total lembaran karet (m)

W = lebar lembaran karet (m)

L_o = lebar dasar panel bendung (m)

L_s = panjang tambahan bahan karet untuk lekukan samping bendung (m)

m = faktor horisontal kemiringan tembok tepi atau pilar

B_o = setengah keliling tabung karet (m)

Referensi pada buku T-09-2004-A

6.6 Detail Bangunan

6.6.1 Dinding Penahan

Dinding penahan gravitasi setinggi tidak lebih dari 3 m bisa direncana dengan potongan melintang empiris seperti diberikan pada Gambar 6-12.

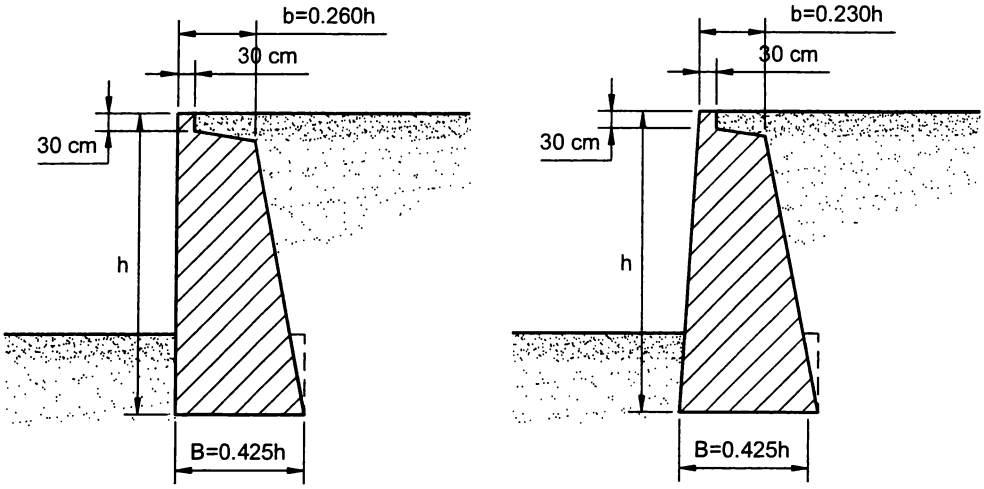
Dengan :

b = 0,260 h untuk dinding dengan bagian depan vertikal

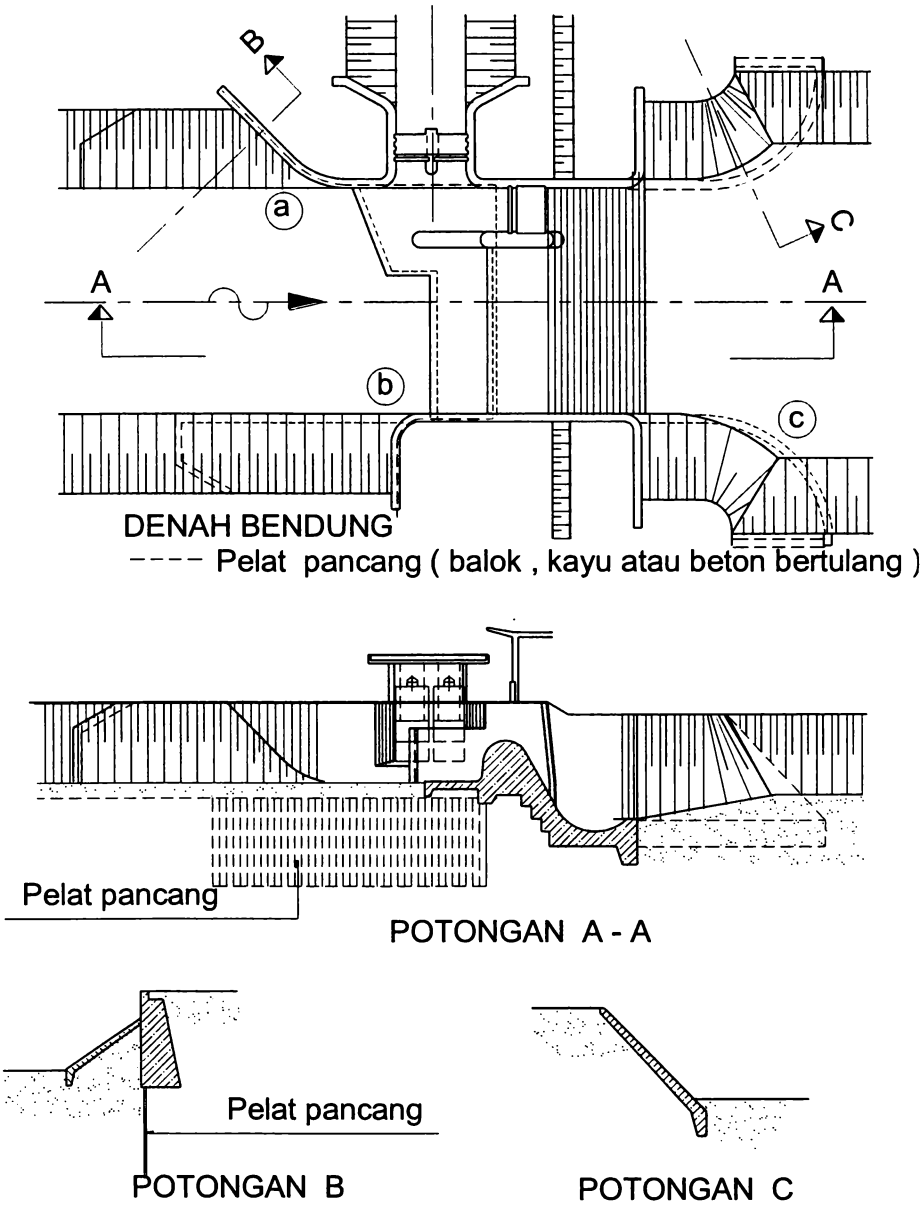
B = 0,425 h

b = 0,230 h untuk dinding dengan bagian depan kurang dari 1:1/3

B = 0,460 h.



Gambar 6-13. Dinding Penahan Gravitasi dari Pasangan Batu



Gambar 6-14. Perlindungan Terhadap Rembesan Melibat Pangkal Bendung

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.

Kebutuhan stabilitas untuk bangunan-bangunan ini dapat dijelaskan seperti dalam subbab 6.4.2.

6.6.2 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.

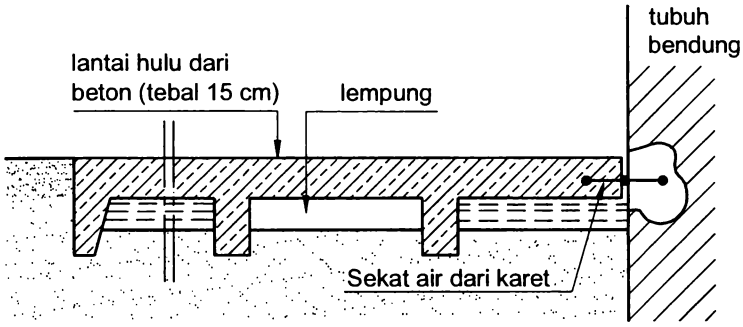
Dalam perencanaan bangunan, pemilihan konstruksi-konstruksi lindung berikut dapat dipakai sendiri-sendiri atau dikombinasi dengan:

- 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 (lihat Gambar 6-13).

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 6-15.



Gambar 6-15. Lantai Hulu

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 cm. 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 pengeringan 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*)

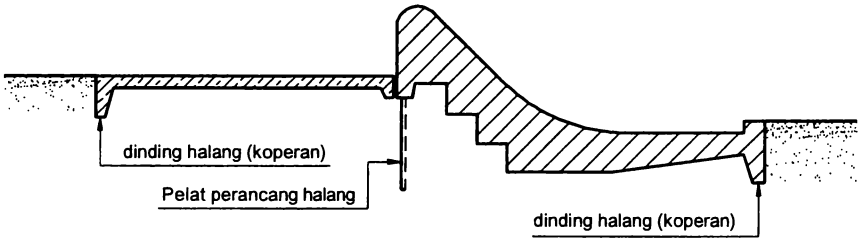
Dinding halang bisa berupa dinding beton bertulang atau pasangan batu, inti tanah kedap air atau pudel atau dengan pelat pancang baja atau kayu.

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 6-16).



Gambar 6-16. Dinding-Dinding Halang Dibawah Lantai Hulu atau Tubuh Bendung

Alur Pembuang/*Filter*

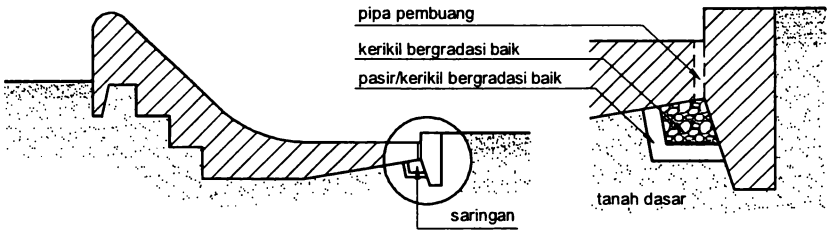
Alur pembuang dibuat untuk mengurangi gaya angkat di bawah kolam olak bendung pelimpah karena di tempat-tempat ini tidak cukup tersedia berat pengimbang dari tubuh bendung.

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 6-17. 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 6-17. Alur Pembuang/*Filter* Dibawah Kolam Olak

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*).

6.6.3 Peredam Energi

Beda tinggi energi di atas bendung terhadap air hilir dibatasi sampai 7 m. Jika ditemukan tinggi terjunan lebih dari 7 m dan keadaan geologi dasar sungai relatif tidak kuat sehingga perlu kolam olak maka perlu dibuat bendung tipe cascade yang mempunyai lebih dari satu kolam olak. Hal ini dimaksudkan agar energi terjunan dapat direduksi dalam dua kolam olak sehingga kolam olak sebelah hilir tidak terlalu berat meredam energi.

Keadaan demikian akan mengakibatkan lantai peredam dan dasar sungai dihilir koperan (*end sill*) dapat lebih aman.

BAB VII
PERENCANAAN KANTONG LUMPUR

7.1 Pendahuluan

Walaupun telah ada usaha untuk merencanakan sebuah bangunan pengambilan dan pengelak sedimen yang dapat mencegah masuknya sedimen ke dalam jaringan saluran irigasi, masih ada banyak partikel-partikel halus yang masuk ke jaringan tersebut. Untuk mencegah agar sedimen ini tidak mengendap di seluruh saluran irigasi, bagian awal dari saluran primer persis di belakang pengambilan direncanakan untuk berfungsi sebagai kantong lumpur.

Kantong lumpur itu merupakan pembesaran potongan melintang saluran sampai panjang tertentu untuk mengurangi kecepatan aliran dan memberi kesempatan kepada sedimen untuk mengendap.

Untuk menampung endapan sedimen ini, dasar bagian saluran tersebut diperdalam atau diperlebar. Tampungan ini dibersihkan tiap jangka waktu tertentu (kurang lebih sekali seminggu atau setengah bulan) dengan cara membilas sedimennya kembali ke sungai dengan aliran terkonsentrasi yang berkecepatan tinggi.

7.2 Sedimen

Perencanaan kantong lumpur yang memadai bergantung kepada tersedianya data-data yang memadai mengenai sedimen di sungai. Adapun data-data yang diperlukan adalah:

- pembagian butir
- penyebaran ke arah vertikal
- sedimen layang
- sedimen dasar
- volume

Jika tidak ada data yang tersedia, ada beberapa harga praktis yang bisa dipakai untuk bangunan utama berukuran kecil. Dalam hal ini volume bahan layang yang harus diendapkan, diandaikan $0{,}6^0/_{00}$ (permil) dari volume air yang mengalir melalui kantong.

Ukuran butir yang harus diendapkan bergantung kepada kapasitas angkutan sedimen di jaringan saluran selebihnya. Dianjurkan bahwa sebagian besar (60 – 70%) dari pasir halus terendapkan: partikel-partikel dengan diameter di atas 0,06 – 0,07 mm.

7.3 Kondisi-Kondisi Batas

7.3.1 Bangunan Pengambilan

Yang pertama-tama mencegah masuknya sedimen ke dalam saluran irigasi adalah pengambilan dan pembilas, dan oleh karena itu pengambilan yang direncanakan dengan baik dapat mengurangi biaya pembuatan kantong lumpur yang mahal.

Penyebaran sedimen ke arah vertikal memberikan ancar-ancar diambilnya beberapa langkah perencanaan untuk membangun sebuah pengambilan yang dapat berfungsi dengan baik.

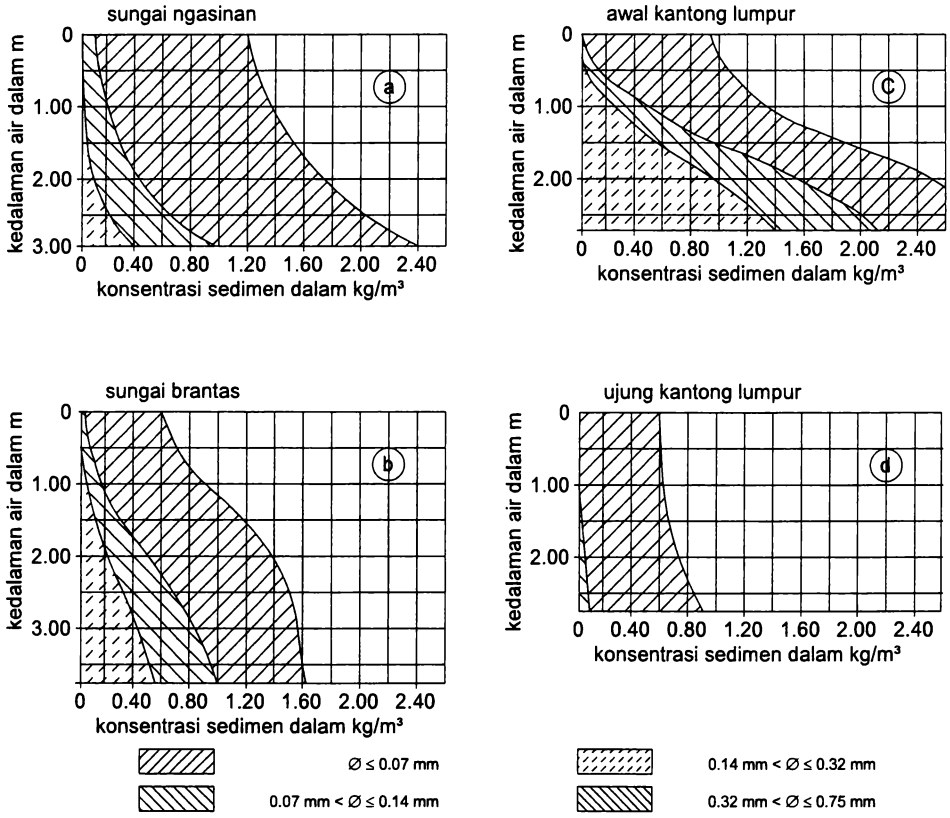
Partikel-partikel yang lebih halus di sungai diangkut dalam bentuk sedimen layang dan tersebar merata di seluruh kedalaman aliran. Semakin besar dan berat partikel yang terangkut, semakin partikel-partikel itu terkonsentrasi ke dasar sungai; bahan-bahan yang terbesar diangkut sebagai sedimen dasar. Gambar 7-1. memberikan ilustrasi mengenai sebaran sedimen ke arah vertikal di dua sungai (a) dan (b); pada awal (c) dan ujung (d) kantong lumpur.

Dari gambar tersebut, jelas bahwa perencanaan pengambilan juga dimaksudkan untuk mencegah masuknya lapisan air yang lebih rendah, yang banyak bermuatan partikel-partikel kasar.

7.3.2 Jaringan Saluran

Jaringan saluran direncana untuk membuat kapasitas angkutan sedimen konstan atau makin bertambah di arah hilir. Dengan kata lain: sedimen yang memasuki jaringan saluran akan diangkut lewat jaringan tersebut ke sawah-sawah. Dalam kaitan dengan perencanaan kantong lumpur, ini berarti bahwa kapasitas angkutan sedimen pada bagian awal dari saluran primer penting artinya untuk ukuran partikel yang akan diendapkan.

Biasanya ukuran partikel ini diambil 0,06 – 0,07 mm guna memperkecil kemiringan saluran primer.



Gambar 7-1. Konsentrasi Sedimen Kearah Vertikal

Bila kemiringan saluran primer serta kapasitas angkutan jaringan selebihnya dapat direncana lebih besar, maka tidak perlu menambah ukuran minimum partikel yang diendapkan. Umumnya hal ini akan menghasilkan kantong lumpur yang lebih murah, karena dapat dibuat lebih pendek.

7.3.3 Topografi

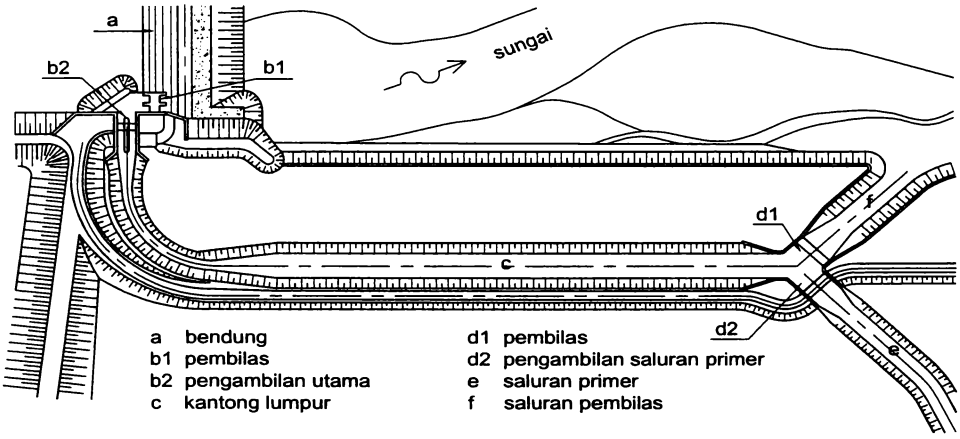
Keadaan topografi tepi sungai maupun kemiringan sungai itu sendiri akan sangat berpengaruh terhadap kelayakan ekonomis pembuatan kantong lumpur.

Kantong lumpur dan bangunan-bangunan pelengkapnya memerlukan banyak ruang, yang tidak selalu tersedia. Oleh karena itu, kemungkinan penempatannya harus ikut dipertimbangkan dalam pemilihan lokasi bangunan utama.

Kemiringan sungai harus curam untuk menciptakan kehilangan tinggi energi yang diperlukan untuk pembilasan disepanjang kantong lumpur.Tinggi energi dapat diciptakan dengan cara menambah elevasi mercu, tapi hal ini jelas akan memperbesar biaya pembuatan bangunan.

7.4 Dimensi Kantong Lumpur

Pada Gambar 7-2. diberikan tipe tata letak kantong lumpur sebagai bagian dari bangunan utama.

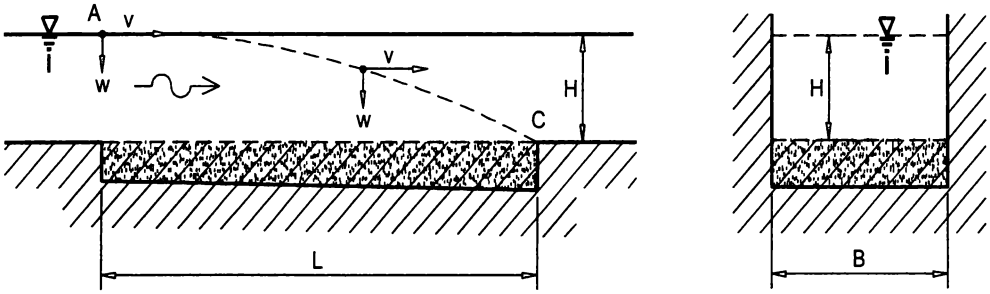


Gambar 7-2. Tipe Tata Letak Kantong Lumpur

7.4.1 Panjang dan Lebar Kantong Lumpur

Dimensi-dimensi L (panjang) dan B (lebar) kantong lumpur dapat diturunkan dari Gambar 7-3.

Partikel yang masuk ke kolam pada A, dengan kecepatan endap partikel w dan kecepatan air v harus mencapai dasar pada C. Ini berakibat bahwa, partikel, selama waktu (H/w) yang diperlukan untuk mencapai dasar, akan berjalan (berpindah) secara horisontal sepanjang jarak L dalam waktu L/v.



Gambar 7-3. Skema Kantong Lumpur

Jadi: $\frac{H}{w} = \frac{L}{v}$, dengan $v = \frac{Q}{HB}$ 7-1

dimana: H = kedalaman aliran saluran, m

w = kecepatan endap partikel sedimen, m/dt

L = panjang kantong lumpur, m

v = kecepatan aliran air, m/dt

Q = debit saluran, m^3/dt

B = lebar kantong lumpur, m

ini menghasilkan: $LB = \frac{Q}{W}$ 7-2

Karena sangat sederhana, rumus ini dapat dipakai untuk membuat perkiraan awal dimensi-dimensi tersebut. Untuk perencanaan yang lebih detail, harus dipakai faktor koreksi guna menyelaraskan faktor-faktor yang mengganggu, seperti:

- turbulensi air
- pengendapan yang terhalang

- bahan layang sangat banyak.

Velikanov menganjurkan faktor-faktor koreksi dalam rumus berikut:

$$LB = \frac{Q}{w} \cdot \frac{\lambda^2}{7{,}51} \cdot \frac{v}{w} \cdot \frac{(H^{0,5} - 0{,}2)^2}{H} \quad \text{..... 7-3}$$

Dimana:

L = panjang kantong lumpur, m

B = lebar kantong lumpur, m

Q = debit saluran, m^3/dt

w = kecepatan endap partikel sedimen, m/dt

λ = koefisiensi pembagian/distribusi *Gauss*

λ adalah fungsi D/T, dimana D = jumlah sedimen yang diendapkan dan T = jumlah sedimen yang diangkut

λ = 0 untuk D/T = 0,5 ; λ = 1,2 untuk D/T = 0,95 dan

λ = 1,55 untuk D/T = 0,98

v = kecepatan rata-rata aliran, m/dt

H = kedalaman aliran air di saluran, m

Dimensi kantong sebaiknya juga sesuai dengan kaidah bahwa L/B > 8, untuk mencegah agar aliran tidak "*meander*" di dalam kantong.

Apabila topografi tidak memungkinkan diturutinya kaidah ini, maka kantong harus dibagi-bagi ke arah memanjang dengan dinding-dinding pemisah (*devider wall*) untuk mencapai perbandingan antara L dan B ini.

Dalam rumus-rumus ini, penentuan kecepatan endap amat penting karena sangat berpengaruh terhadap dimensi kantong lumpur. Ada dua metode yang bisa dipakai untuk menentukan kecepatan endap, yakni:

(1) Pengukuran di tempat

(2) Dengan rumus/grafik

(3) Pengukuran kecepatan endap terhadap contoh-contoh yang diambil dari sungai adalah metode yang paling akurat jika dilaksanakan oleh tenaga berpengalaman.

Metode ini dijelaskan dalam "Konstruksi Cara-cara untuk mengurangi Angkutan Sedimen yang Akan Masuk ke Intake dan Saluran Irigasi" (DPMA, 1981). Dalam metode ini dilakukan analisis tabung pengendap (*settling tube*) terhadap contoh air yang diambil dari lapangan.

(4) Dalam metode kedua, digunakan grafik Shields (Gambar 7-4.) untuk kecepatan endap bagi partikel-partikel individual (*discrete particles*) dalam air yang tenang. Rumus *Velikanov* menggunakan kecepatan endap ini.

Faktor-faktor lain yang akan dipertimbangkan dalam pemilihan dimensi kantong lumpur adalah:

(1) kecepatan aliran dalam kantong lumpur hendaknya cukup rendah, sehingga partikel yang telah mengendap tidak menghambur lagi.

(2) turbulensi yang mengganggu proses pengendapan harus dicegah.

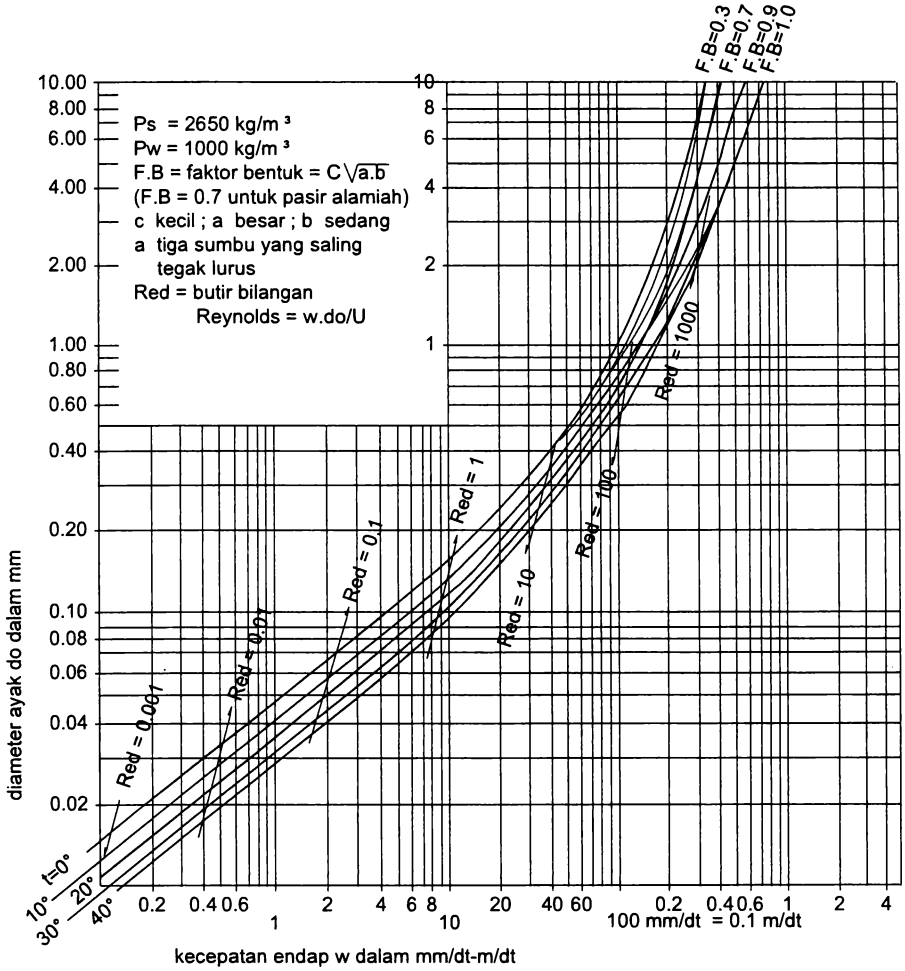
(3) kecepatan hendaknya tersebar secara merata di seluruh potongan melintang, sehingga sedimentasi juga dapat tersebar merata.

(4) kecepatan aliran tidak boleh kurang dari 0,30 m/dt, guna mencegah tumbuhnya vegetasi.

(5) peralihan/transisi dari pengambilan ke kantong dan dari kantong ke saluran primer harus mulus, tidak menimbulkan turbulensi atau pusaran.

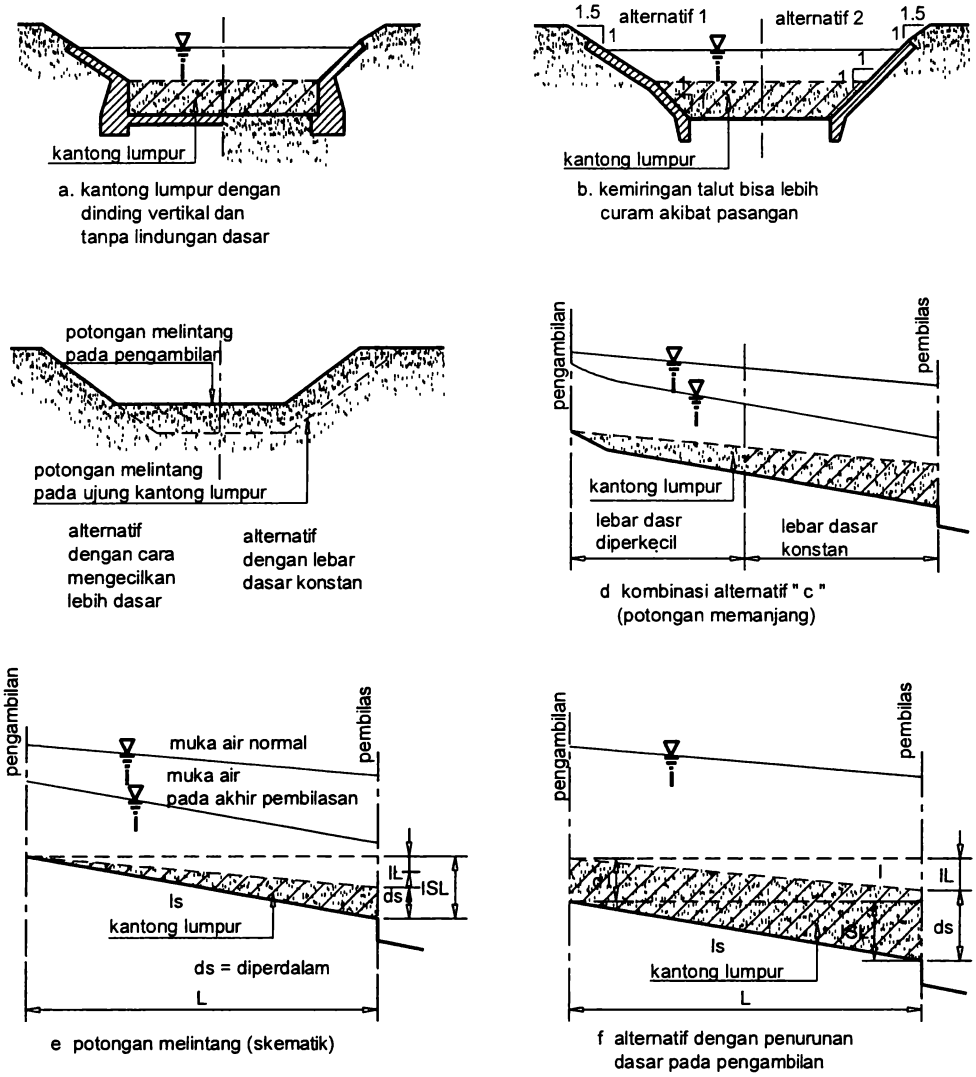
7.4.2 Volume Tampungan

Tampungan sedimen di luar (dibawah) potongan melintang air bebas dapat mempunyai beberapa macam bentuk Gambar 7-5. memberikan beberapa metode pembuatan volume tampungan.



Gambar 7-4. Hubungan Antara Diameter Saringan dan Kecepatan Endap untuk Air Tenang

Volume tampungan bergantung kepada banyaknya sedimen (sedimen dasar maupun sedimen layang) yang akan hingga tiba saat pembilasan.



Gambar 7-5. Potongan Melintang dan Potongan Memanjang Kantong Lumpur yang Menunjukkan Metode Pembuatan Tampungan

Banyaknya sedimen yang terbawa oleh aliran masuk dapat ditentukan dari: (1) pengukuran langsung di lapangan (2) rumus angkutan sedimen yang cocok (*Einstein – Brown, Meyer – Peter Mueller*), atau Jika tidak ada data yang andal: (3) kantong lumpur yang ada di lokasi lain yang sejenis. Sebagai perkiraan kasar yang masih

harus dicek ketepatannya, jumlah bahan dalam aliran masuk yang akan diendapkan adalah 0,5‰.

Kedalaman tampungan di ujung kantong lumpur (d_s pada Gambar 7-5) biasanya sekitar 1,0 m untuk jaringan kecil (sampai 10 m^3/dt), hingga 2,50 m untuk saluran yang sangat besar (100 m^3/dt).

7.5 Pembersihan

Pembersihan kantong lumpur, pembuangan endapan sedimen dari tampungan, dapat dilakukan dengan pembilasan secara hidrolis (*hydraulic flushing*), pembilasan secara manual atau secara mekanis.

Metode pembilasan secara hidrolis lebih disukai karena biayanya tidak mahal. Kedua metode lainnya akan dipertimbangkan hanya Jika metode hidrolis tidak mungkin dilakukan.

Jarak waktu pembilasan kantong lumpur, tergantung pada eksploitasi jaringan irigasi, banyaknya sedimen di sungai, luas tampungan serta tersedianya debit air sungai yang dibutuhkan untuk pembilasan. Untuk tujuan-tujuan perencanaan, biasanya diambil jarak waktu satu atau dua minggu.

7.5.1 Pembersihan Secara Hidrolis

Pembilasan secara hidrolis membutuhkan beda tinggi muka air dan debit yang memadai pada kantong lumpur guna menggerus dan menggelontor bahan yang telah terendap kembali ke sungai. Frekuensi dan lamanya pembilasan bergantung pada banyaknya bahan yang akan dibilas, tipe bahan (kohesif atau nonkohesif) dan tegangan geser yang tersedia oleh air.

Kemiringan dasar kantong serta pembilasan hendaknya didasarkan pada besarnya tegangan geser yang diperlukan yang akan dipakai untuk menggerus sedimen yang terendap.

Dianjurkan untuk mengambil debit pembilasan sebesar yang dapat diberikan oleh pintu pengambilan dan beda tinggi muka air. Untuk keperluan-keperluan

perencanaan, debit pembilasan diambil 20% lebih besar dari debit normal pengambilan. Tegangan geser yang diperlukan tergantung pada tipe sedimen yang bisa berupa:

(1) Pasir lepas, dalam hal ini parameter yang terpenting adalah ukuran butirnya, atau

(2) Partikel-partikel pasir, lanau dan lempung dengan kohesi tertentu.

Jika bahan yang mengendap terdiri dari pasir lepas, maka untuk menentukan besarnya tegangan geser yang diperlukan dapat dipakai grafik *Shields*. Lihat Gambar 7-6. Besarnya tegangan geser dan kecepatan geser untuk diameter pasir terbesar yang akan dibilas sebaiknya dipilih di atas harga kritis. Dalam grafik ini ditunjukkan dengan kata "bergerak" (*movement*).

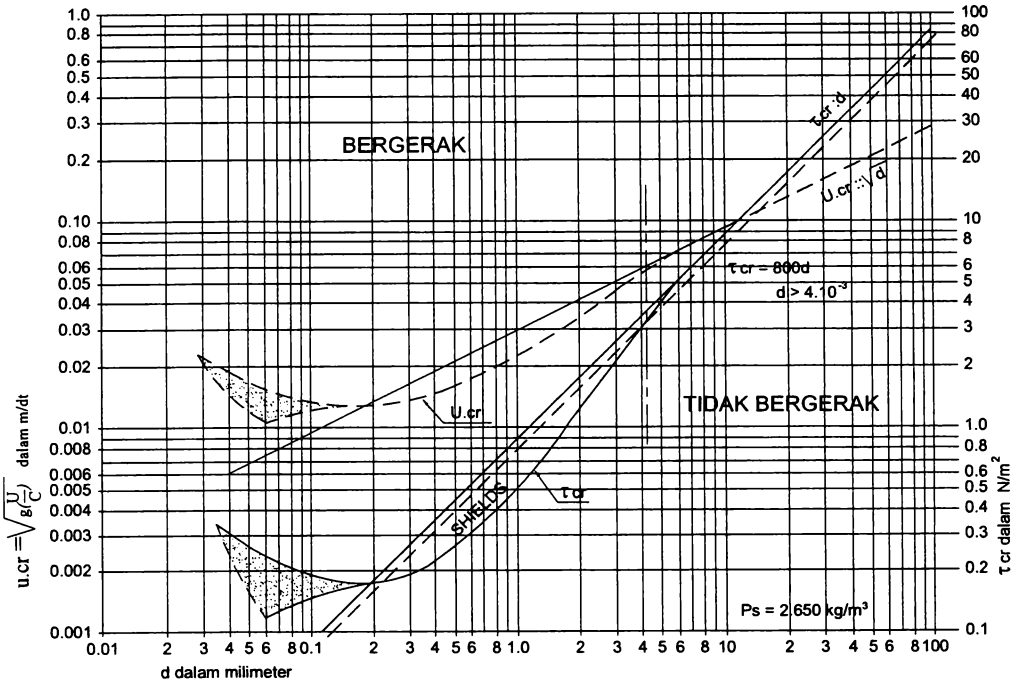
Untuk keperluan perhitungan pendahuluan, kecepatan rata-rata yang diperlukan selama pembilasan dapat diandaikan sebagai berikut:

1,0 m/dt untuk pasir halus

1,5 m/dt untuk pasir kasar

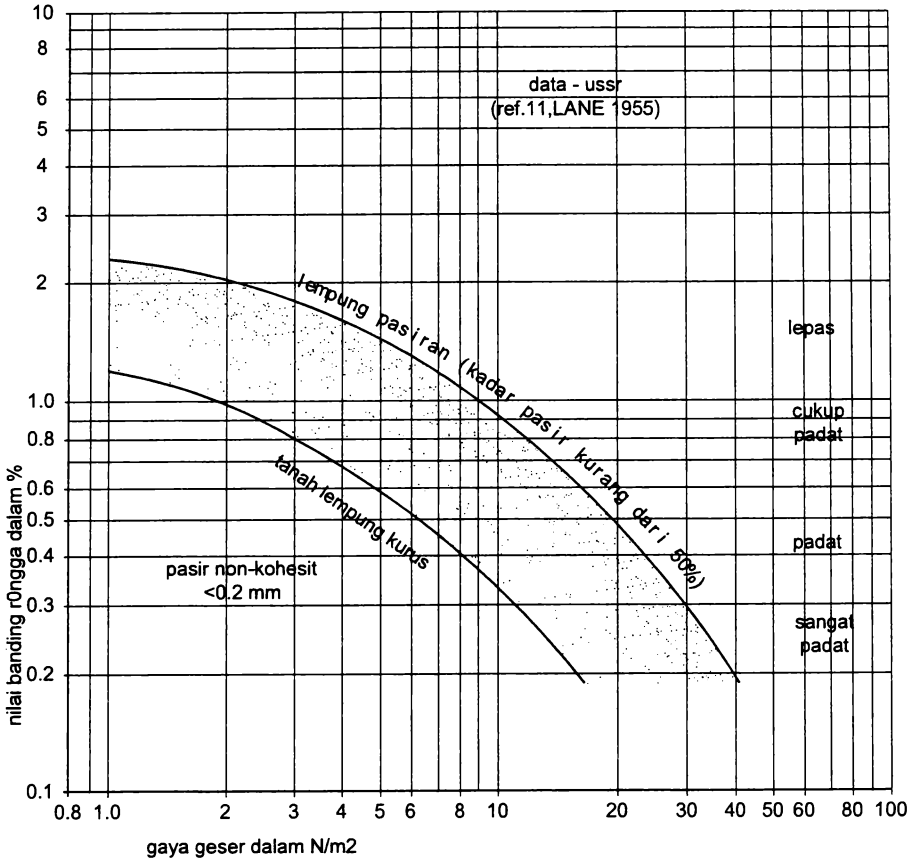
2,0 m/dt untuk kerikil dan pasir kasar.

Bagi bahan-bahan kohesif, dapat dipakai Gambar 7-7., yang diturunkan dari data USBR oleh *Lane*.



Gambar 7-6. Tegangan Geser Kritis dan Kecepatan Geser Kritis sebagai Fungsi Besarnya Butir untuk $\rho_s = 2.650$ kg/m^3 (Pasir)

Makin tinggi kecepatan selama pembilasan, operasi menjadi semakin cepat. Namun demikian, besarnya kecepatan hendaknya selalu dibawah kecepatan kritis, karena kecepatan superkritis akan mengurangi efektivitas proses pembilasan.



Gambar 7-7. Gaya Tarik (Traksi) pada Bahan Kohesif

7.5.2 Pembersihan Secara Manual/Mekanis

Pembersihan kantong lumpur dapat juga dilakukan dengan peralatan mekanis. Pembersihan kantong lumpur secara menyeluruh jarang dilakukan secara manual. Dalam hal-hal tertentu, pembersihan secara manual bermanfaat untuk dilakukan di samping pembilasan secara hidrolis terhadap bahan-bahan kohesif atau bahan-bahan yang sangat kasar. Dengan menggunakan tongkat, bahan endapan ini dapat diaduk dan dibuat lepas sehingga mudah terkuras dan hanyut.

Pembersihan secara mekanis bisa menggunakan mesin penggeruk, pompa (pasir), singkup tarik/*backhoe* atau mesin-mesin sejenis itu. Semua peralatan ini mahal dan sebaiknya tidak usah dipakai.

7.6 Pencekan Terhadap Berfungsinya Kantong Lumpur

Perencanaan kantong lumpur hendaknya mencakup cek terhadap efisiensi pengendapan dan efisiensi pembilasan.

7.6.1 Efisiensi Pengendapan

Untuk mencek efisiensi kantong lumpur, dapat dipakai grafik pembuangan sedimen dari *Camp*. Grafik pada Gambar 7-8. memberikan efisiensi sebagai fungsi dari dua parameter.

Kedua parameter itu adalah w/w_0 dan w/v_0

dimana:

w = kecepatan endap partikel-partikel yang ukurannya di luar ukuranpartikel yang direncana, m/dt

w_0= kecepatan endap rencana, m/dt

v_0 = kecepatan rata-rata aliran dalam kantong lumpur, m/dt

Dengan menggunakan grafik *Camp*, efisiensi proses pengendapan untuk partikel-partikel dengan kecepatan endap yang berbeda-beda dari kecepatan endap partikel rencana, dapat dicek.

Suspensi sedimen dapat dicek dengan menggunakan kriteria *Shinohara Tsubaki*. Bahan akan tetap berada dalam suspensi penuh jika:

$$\frac{v^*}{w} > \frac{5}{3} \quad \text{..... 7-4}$$

dimana:

$v*$ (kecepatan geser) = $(g\ h\ I)^{0,5}$, m/dt

g = percepatan gravitasi, m/dt^2 ($\approx$ 9,8 m/dt^2)

h = kedalaman air, m

I = kemiringan energi

w = kecepatan endap sedimen, m/dt

Efisiensi pengendapan sebaiknya dicek untuk dua keadaan yang berbeda:

- untuk kantong kosong
- untuk kantong penuh

Untuk kantong kosong, kecepatan minimum harus dicek. Kecepatan ini tidak boleh terlalu kecil yang memungkinkan tumbuhnya vegetasi atau mengendapnya partikel-partikel lempung.

Menurut *Vlugter*, untuk:

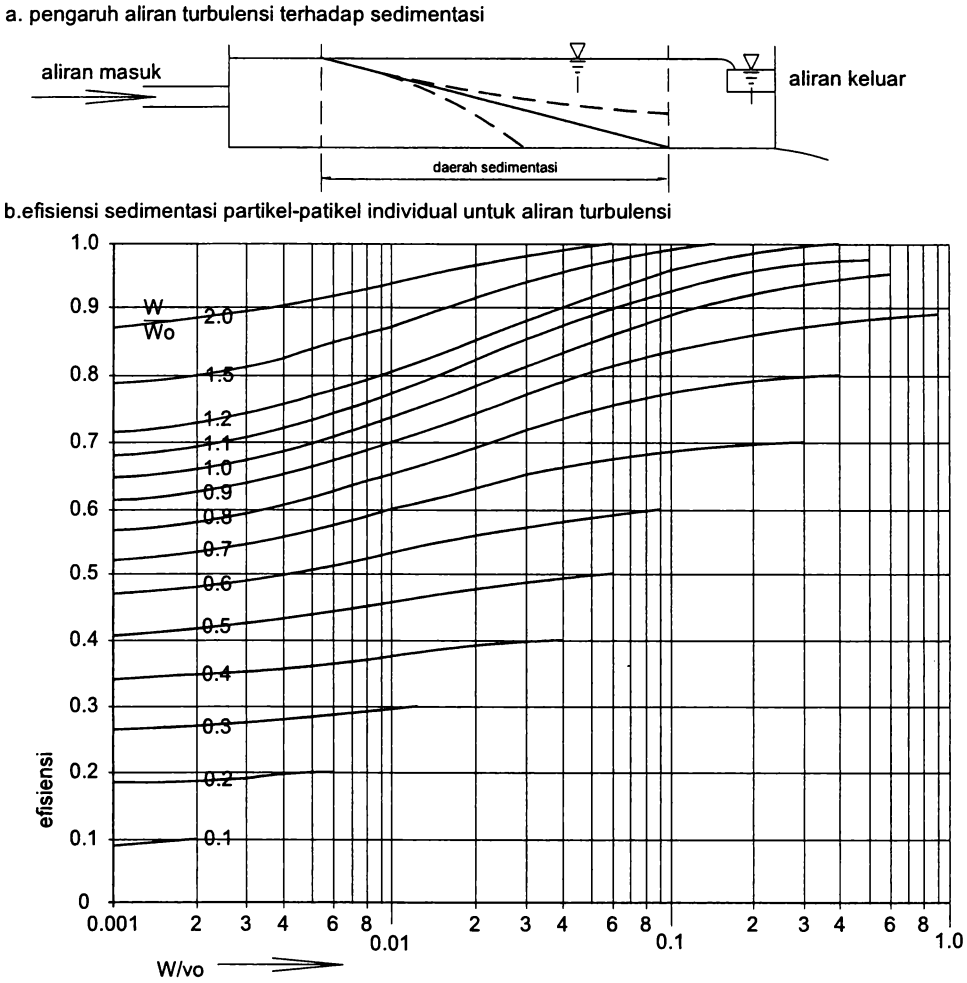
$$v > \frac{w}{1{,}6\,I} \quad \text{.....} \quad 7\text{-}5$$

dimana: v = kecepatan rata-rata, m/dt

w = kecepatan endap sedimen, m/dt

I = kemiringan energi

semua bahan dengan kecepatan endap w akan berada dalam suspensi pada sembarang konsentrasi.



Gambar 7-8.Grafik Pembuangan Sedimen *Camp* untuk Aliran Turbelensi (*Camp*, 1945)

Apabila kantong penuh, maka sebaiknya dicek apakah pengendapan masih efektif dan apakah bahan yang sudah mengendap tidak akan menghambur lagi. Yang pertama dapat dicek dengan menggunakan grafik *Camp* (lihat Gambar 7-8.) dan yang kedua dengan grafik *Shields* (lihat Gambar 7-6.).

7.6.2 Efisiensi Pembilasan

Efisiensi pembilasan bergantung kepada terbentuknya gaya geser yang memadai pada permukaan sedimen yang telah mengendap dan pada kecepatan yang cukup untuk menjaga agar tetap dalam keadaan suspensi sesudah itu.

Gaya geser dapat dicek dengan grafik *Shields* (lihat Gambar 7-6.); dan kriteria suspensi dari *Shinohara/Tsubaki* (lihat persamaan 7-3).

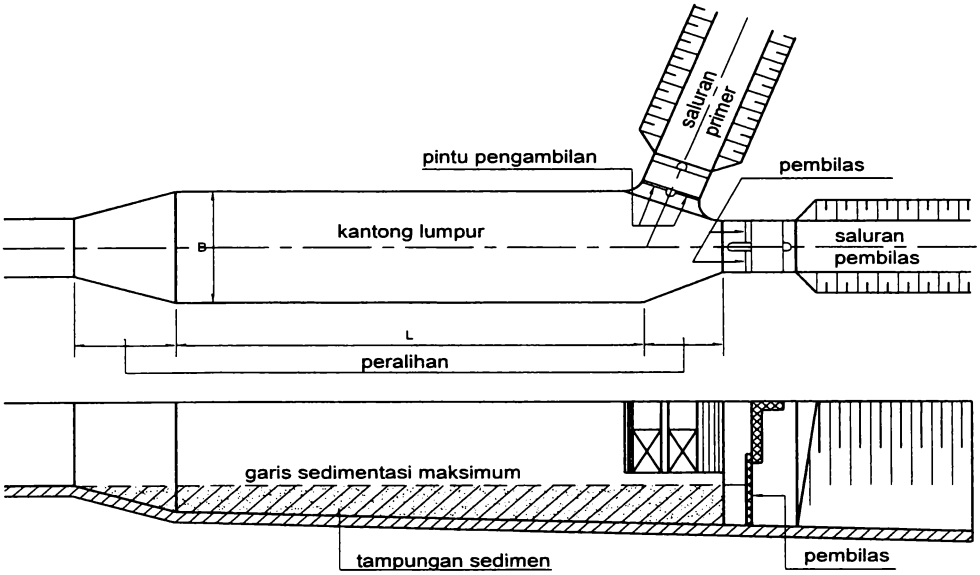
7.7 Tata Letak Kantong Lumpur, Pembilas dan Pengambilan di Saluran Primer

7.7.1 Tata Letak

Tata letak terbaik untuk kantong lumpur, saluran pembilas dan saluran primer adalah bila saluran pembilas merupakan kelanjutan dari kantong lumpur dan saluran primer mulai dari samping kantong (lihat Gambar 7-9.).

Ambang pengambilan di saluran primer sebaiknya cukup tinggi di atas tinggi maksimum sedimen guna mencegah masuknya sedimen ke dalam saluran.

Kemungkinan tata letak lain diberikan pada Gambar 7-10. Di sini saluran primer terletak di arah yang sama dengan kantong lumpur.

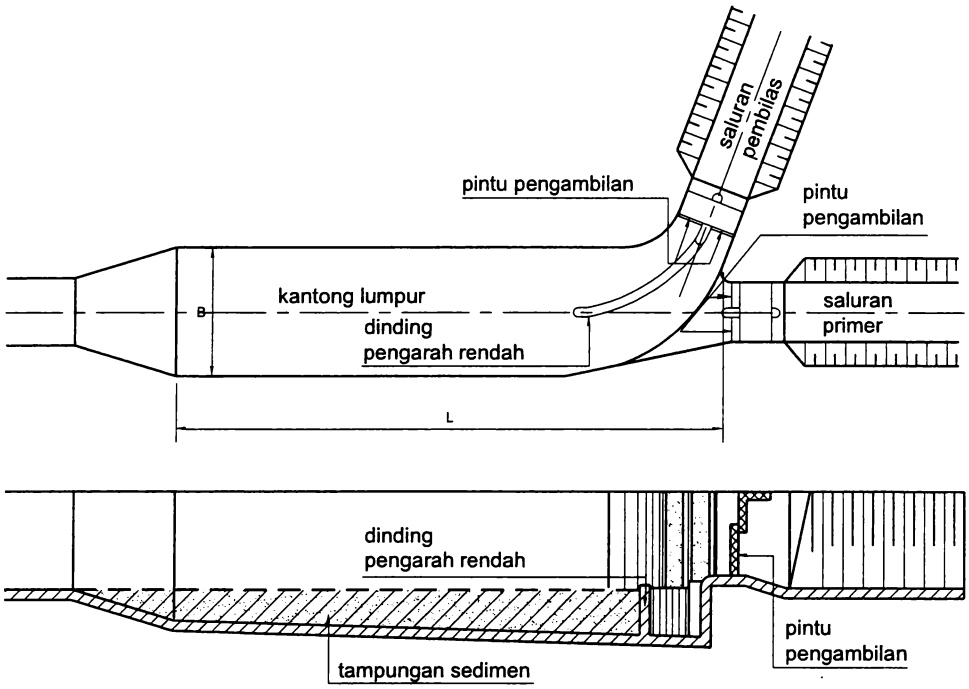


Gambar 7-9. Tata Letak Kantong Lumpur yang Dianjurkan

Pembilas terletak di samping kantong. Agar pembilasan berlangsung mulus, perlu dibuat dinding pengarah rendah yang mercunya sama dengan tinggi maksimum sedimen dalam kantong.

Dalam hal-hal tertentu, misalnya air yang tersedia di sungai melimpah, pembilas dapat direncanakan sebagai pengelak sedimen/*sand ejector* (lihat Gambar 7-11.).

Kadang-kadang karena keadaan topografi, kantong lumpur dibuat jauh dari pengambilan. Kedua bangunan tersebut akan dihubungkan dengan saluran pengarah (*feeder canal*). Lihat Gambar 7-12.



Gambar 7-10. Tata Letak Kantong Lumpur dengan Saluran Primer Berada pada Trase yang Sama dengan Kantong

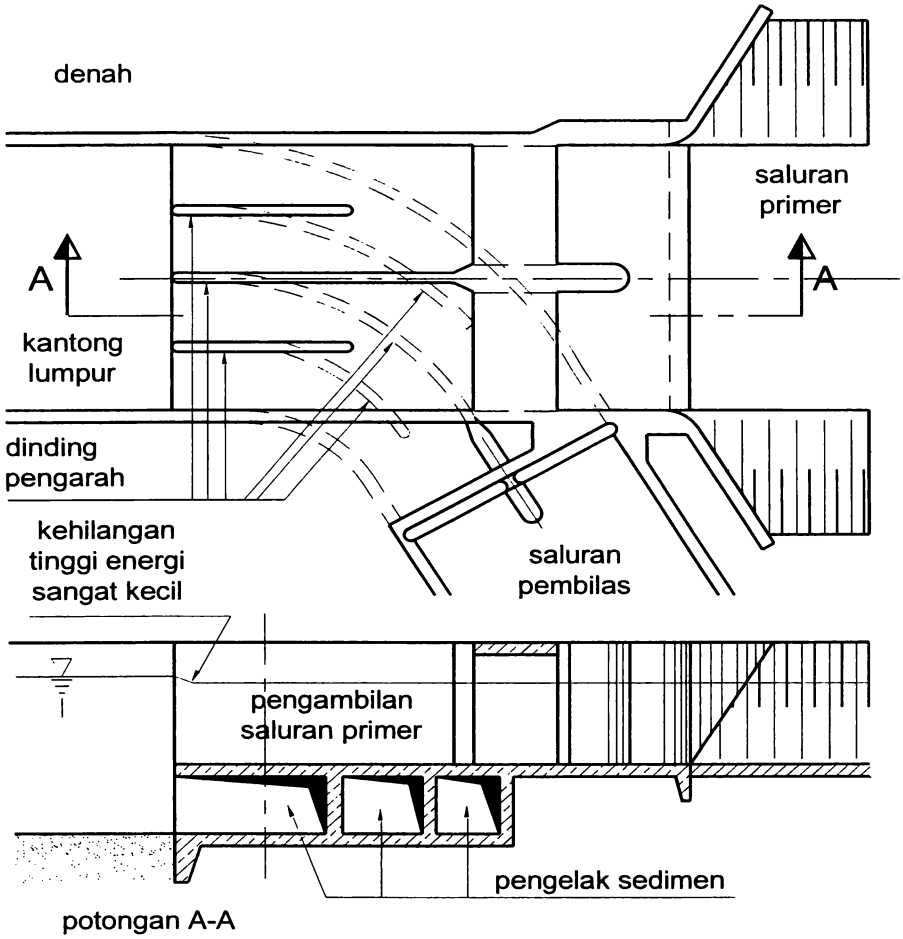
Kecepatan aliran dalam saluran pengarah harus cukup memadai agar dapat mengangkut semua fraksi sedimen yang masuk ke jaringan saluran pada lokasi pengambilan ke kantong lumpur. Di mulut kantong lumpur kecepatan aliran harus banyak dikurangi dan dibagi secara merata di seluruh lebar kantong. Oleh karena itu peralihan/transisi antara saluran pengarah dan kantong lumpur hendaknya direncana dengan seksama menggunakan dinding pengarah dan alat-alat distribusi aliran lainnya.

7.7.2 Pembilas

Dianjurkan agar aliran pada pembilas direncana sebagai aliran bebas selama pembilasan berlangsung. Dengan demikian pembilasan tidak akan terpengaruh oleh tinggi muka air di hilir pembilas.

Kriteria utama dalam perencanaan bangunan ini adalah bahwa operasi pembilasan tidak boleh terganggu atau mendapat pengaruh negatif dari lubang pembilas dan bahwa kecepatan untuk pembilasan akan tetap dijaga.

Dianjurkan untuk membuat bangunan pembilas lurus dengan kantong lumpur.



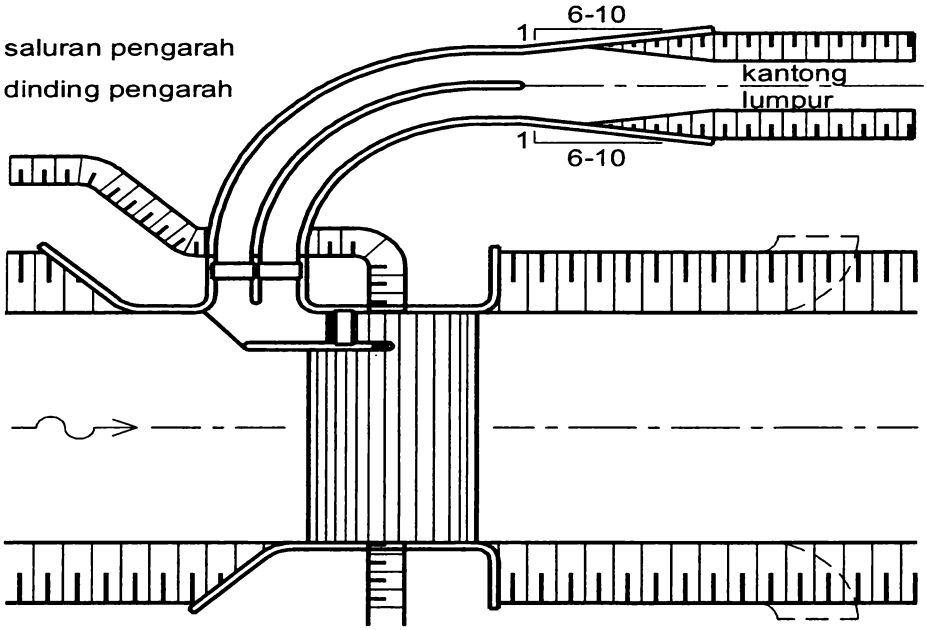
Gambar 7-11. Pengelak Sedimen

Agar aliran melalui pembilas bisa mulus, lebar total lubang pembilas termasuk pilar dibuat sama dengan lebar rata-rata kantong lumpur.

Pintu bangunan pembilas harus kedap air dan mampu menahan tekanan air dari kedua sisi. Pintu-pintu itu dibuat dengan bagian depan tertutup.

7.7.3 Pengambilan saluran primer

Pengambilan dari kantong lumpur ke saluran primer digabung menjadi satu bangunan dengan pembilas agar seluruh panjang kantong lumpur dapat dimanfaatkan. Agar supaya air tidak mengalir kembali ke saluran primer selama pembilasan, pengambilan harus ditutup (dengan pintu) atau ambang dibuat cukup tinggi agar air tidak mengalir kembali.



Gambar 7-12. Saluran Pengarah

Selain mengatur debit, bangunan ini juga harus bisa mengukurnya. Kedua fungsi tersebut, mengukur dan mengatur, dapat digabung atau dipisah.

Untuk tipe gabungan, pintu *Romijn* atau *Crump-de Gruyter* dapat dianjurkan untuk dipakai sebagai pintu pengambilan.

Khususnya untuk mengukur dan mengatur debit yang besar, kedua fungsi ini lebih baik dipisah. Dalam hal ini fungsi mengatur dilakukan dengan pintu sorong atau pintu radial, dan fungsi mengukur dengan alat ukur ambang lebar.

Pintu dari alat-alat ukur diuraikan dalam KP – 04 Bangunan.

7.7.4 Saluran Pembilas

Selama pembilasan, air yang penuh dengan sedimen dialirkan kembali ke sungai asal, atau sungai yang sama tetapi di hilir bangunan utama, sungai lain atau ke cekungan.
Untuk perencanaan potongan memanjang saluran, diperlukan kurve muka air – debit sungai pada aliran keluar dan bagan frekuensi terjadinya muka air tinggi di tempat itu.
Pengalaman telah menunjukkan bahwa perencanaan yang didasarkan pada kemungkinan pembilasan dengan menggunakan muka air sungai dengan periode ulang 20% - 40%, akan memberikan hasil yang memadai.
Lebih disukai jika saluran pembilas dihubungkan langsung dengan dasar sungai. Bila sungai sangat dalam pada aliran keluar, maka pembuatan salah satu dari kemungkinan-kemungkinan berikut hendaknya dipertimbangkan:

- bangunan terjun dengan kolam olak dekat sungai
- got miring di sepanjang saluran
- bangunan terjun dengan kolam olak dengan kedalaman yang cukup, tepat di hilir bangunan pembilas.

7.8 Perencanaan Bangunan

Pasangan (*lining*) kantong lumpur harus mendapat perhatian khusus berhubung adanya kecepatan air yang tinggi selama dilakukan pembilasan serta fluktuasi muka air yang sering terjadi dengan cepat.
Pasangan hendaknya cukup berat dan dengan permukaan yang mulus agar mampu menahan kecepatan air yang tinggi. Untuk menahan tekanan ke atas akibat fluktuasi muka air, sebaiknya dilengkapi dengan filter dan lubang pembuang.
Bila kantong lumpur dipisah dengan sebuah dinding pengarah dan adalah mungkin bahwa sebuah ruang kering dan bersih sementara yang lainnya penuh, maka stabilitas dinding pemisah terhadap pembebanan ini harus dicek.

BAB VIII
PENGATURAN SUNGAI DAN BANGUNAN PELENGKAP

8.1 Lindungan Terhadap Gerusan

Bangunan yang dibuat di sungai akan menyebabkan terganggunya aliran normal dan akan menimbulkan pola aliran baru di sekitar bangunan, yang dapat menyebabkan terjadinya penggerusan lokal/setempat (*local scouring*) di dasar dan tepi sungai. Adalah mungkin untuk melindungi bagian sungai di sekitar bangunan utama terhadap efek penggerusan semacam ini. Harap dicatat bahwa konstruksi-konstruksi lindung yang dibicarakan di sini tidak akan bermanfaat untuk mengatasi penurunan dasar sungai yang meliputi jangka waktu lama (degradasi). Hanya perencanaan bangunan itu sendiri yang akan mampu melindungi bangunan itu terhadap degradasi sungai.

8.1.1 Lindungan Dasar Sungai

Penggerusan lokal di hilir kolam olak dapat diatasi dengan lindungan dari pasangan batu kosong. Jika di daerah itu cukup tersedia batu-batu yang berkualitas baik dan beratnya memadai, maka dapat dibuat lapisan pasangan batu kosong. Bila direncana dengan baik, lapisan ini sangat menguntungkan dan awet (lihat subbab 6.2.2). Agar tanah asli tidak hanyut, maka pasangan batu kosong sebaiknya selalu ditempatkan pada filter yang sesuai (lihat subbab 6.2.3).

Bronjong (lihat subbab 6.2.4) merupakan alternatif yang bagus, jika hanya batu-batu berukuran kecil saja yang tersedia, misalnya batu kali. Bronjong pun, karena merupakan perlindungan terbuka, sebaiknya ditempatkan pada *filter* yang sesuai: *filter* pasir-kerikil atau *filter* kain sintetis.

Bronjong tidak boleh digunakan untuk bagian-bagian bangunan utama yang permanen. Bronjong paling sesuai untuk konstruksi pengaturan sungai.

Pada umumnya tidak dianjurkan untuk memakai lindungan tertutup seperti pasangan batu di hilir bangunan di sungai, karena ini akan memperpanjang jalur rembesan dan menambah gaya tekan ke atas (*uplift*).

Penggerusan lokal tepat di hulu tubuh bendung atau pilar bendung gerak, umum terjadi. Perlindungan terhadap penggerusan semacam ini adalah dengan membuat pasangan batu atau lantai beton di depan bangunan. Disini lindungan tertutup akan menguntungkan karena akan dapat mengurangi gaya tekan ke atas.

Karena pengaruh pencepatan aliran biasanya jauh lebih kecil daripada pengaruh penurunan kecepatan, maka panjang lindungan hulu terhadap gerusan lokal akan berkisar antara 2 sampai 3 kali kedalaman air rencana. Di hilir, panjang lindungan ini sekurang-kurangnya 4 kali kedalaman lubang gerusan (lihat subbab 6.2.2).

8.1.2 Lindungan Tanggul Sungai

Pekerjaan lindungan sungai berupa bronjong, pasangan batu kosong pasangan batu atau pelat beton.

Harus diperhatikan bahwa kedalaman pondasi lindungan memadai atau bagian dari konstruksi tersebut bisa mengikuti penggerusan dasar sungai tanpa hilangnya stabilitas bangunan secara keseluruhan.

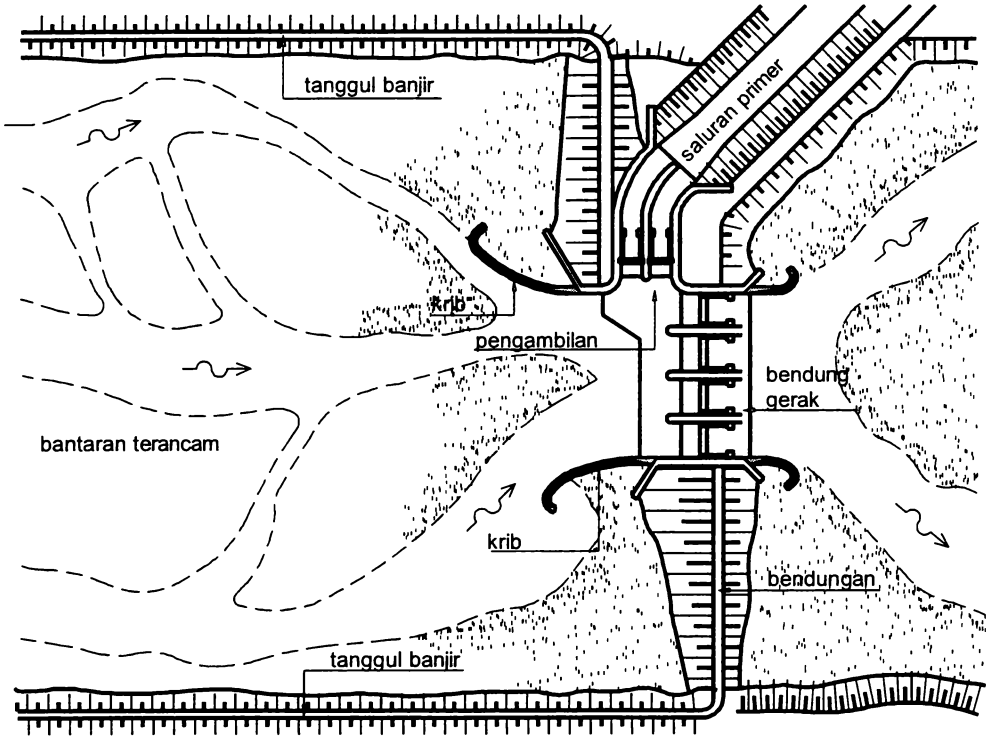
Mungkin diperlukan pekerjaan pengaturan sungai guna memperbaiki pola aliran di hulu bangunan atau untuk memantapkan bagian tanggul sungai yang belum stabil.

Di ruas atas yang curam, palung kecil sungai itu mungkin tidak stabil dan diperlukan beberapa krib untuk menstabilkan dasar sungai di dekat pengambilan (lihat Gambar 8-1).

Di ruas-ruas tengah dan bawah, biasanya lokasi bendung akan dipilih di ruas yang stabil. Pada sungai teranyam (*braided river*) atau sungai dengan tanggul pasir yang berpindah-pindah, ruas stabil seperti yang dimaksud mungkin tidak ada.

Setelah pembuatan bendung atau bendung gerak di sungai semacam itu, dasar sungai di bagian hulu akan naik dan cenderung kurang stabil daripada sebelumnya. Mungkin

diperlukan pekerjaan pengaturan sungai yang ekstensif guna menstabilkan aliran di hulu bangunan yang baru.



Gambar 8-1. Pengarah Aliran

Di hilir bangunan utama, bahaya penggerusan tanggul sungai biasanya lebih besar karena turbulensi dan kecepatan air lebih tinggi.

Di sungai yang relatif lebar dan dalam, krib mungkin merupakan cara pemecahan yang ekonomis.

Jarak antara masing-masing krib adalah:

$$L < \alpha \frac{C^2 h}{2g} \quad \text{.....} \quad 8\text{-}1$$

dimana: L = jarak antar krib, m

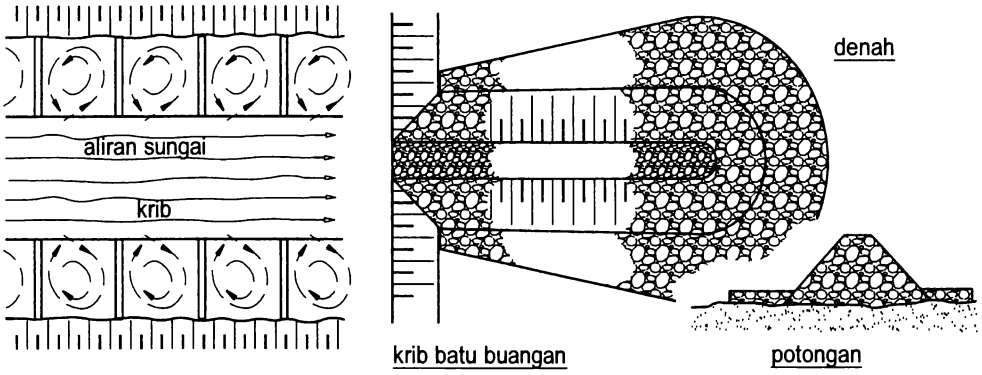
μ = parameter empiris ($\approx$ 0,6)

C = koefisien *Chezy*, $m^{1/2}$/dtk (≈ 45 untuk sungai)

h = mean (nilai tengah) kedalaman air, m

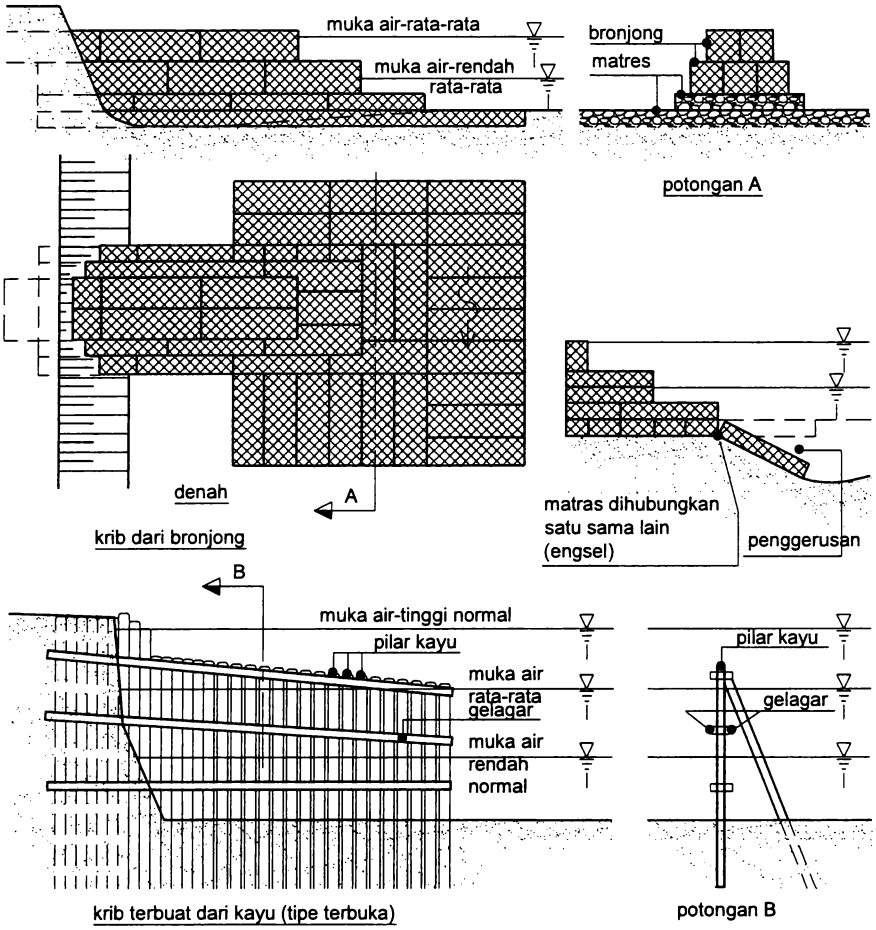
g = percepatan gravitasi, m/dt^2 (≈ 9,8 m/dtk^2)

Jika tidak ada alur/trase krib yang paling cocok yang dapat diputuskan, maka sebaiknya diambil pemecahan termurah, yaitu yang tegak lurus terhadap tanggul (lihat Gambar 8-2).



Gambar 8-2. Contoh Krib

Tinggi mercu krib sebaiknya paling tidak sama dengan elevasi bantaran. Kemiringan lapis lindung tanggul dan krib biasanya berkisar antara 1:2,5 sampai 1:3,5 untuk kemiringan di bawah muka air dan 1:1,5 sampai 1:2,5 untuk kemiringan di luar air. Kemiringan ujung krib kadang-kadang diambil 1:5 sampai 1:10 untuk mengurangi pusaran air/*vortex* dan efeknya.



Gambar 8-3. Krib dari Bronjong dan Kayu

Krib dapat dibuat dengan tipe "terbuka" seperti ditunjukkan pada Gambar 8-3. air bisa mengalir melalui bangunan ini, yang biasanya dibuat dari pilar-pilar kayu yang dipancang ke dasar sungai dan dipasang rapat satu sama lain, guna menahan aliran. Bangunan terbuka ini kurang kuat dan mudah rusak selama banjir.

8.2 Tanggul

8.2.1 Panjang dan Elevasi

Kurve pengempangan digunakan untuk menghitung panjang dan elevasi tanggul banjir di sepanjang sungai untuk banjir dengan periode ulang yang berbeda-beda.

Perhitungan yang tepat untuk kurve pengempangan dapat dikerjakan dengan metode langkah standar (*standar step method*) bila potongan melintang, kemiringan dan faktor kekerasan sungai ke arah hulu lokasi bendung sudah diketahui sampai jarak yang cukup jauh.

Perkiraan kurve pengempangan yang cukup akurat dan aman adalah (lihat Gambar 8-4.).

$$z = h\left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \quad \text{..... 8-2}$$

untuk $\frac{h}{a} \geq 1 \quad L = \frac{2h}{i}$ 8-3

untuk $\frac{h}{a} \leq 1 \quad L = \frac{a+h}{i}$ 8-4

dimana: a = kedalaman air di sungai tanpa bendung, m

h = tinggi air berhubung adanya bendung (dimuka bendung), m

L = panjang total dimana kurve pengempangan terlihat, m

z = kedalaman air pada jarak x dari bendung, m

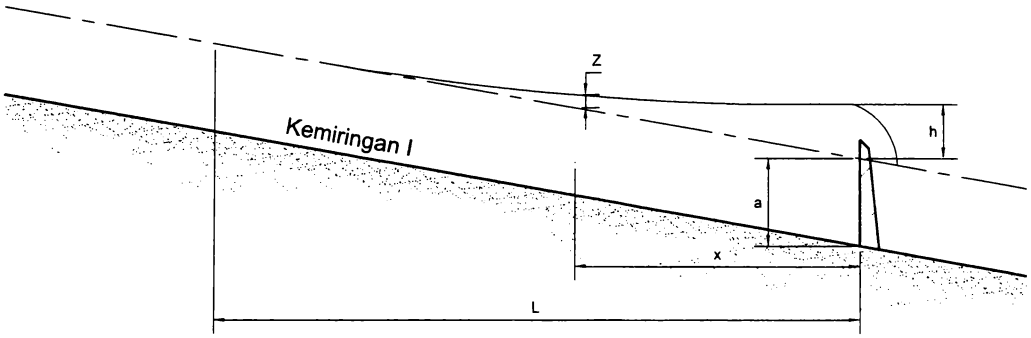
x = jarak dari bendung, m

i = kemiringan sungai

Akibat agradasi sungai di hulu bendung, permanen, elevasi tanggul harus dicek untuk memastikan apakah tanggul itu sudah aman terhadap banjir selama umur bangunan.

8.2.2 Arah Poros

Tanggul banjir sebaiknya selalu jauh dari dasar air rendah sungai, atau dilindungi dari bahaya erosi akibat aliran yang cepat.



Gambar 8-4. Kurve Pengempangan

8.2.3 Tinggi Jagaan

Tanggul banjir sebaiknya direncana 0,25 m di atas elevasi pangkal bendung (*abutment*) guna menciptakan keamanan ekstra: selama terjadi banjir yang luar biasa besar, bendung dan pangkalnya akan melimpah dulu, melindungi bangunan agar tidak terlanda banjir.

8.2.4 Potongan Melintang

Tanggul banjir akan direncana dengan lebar atas 3 m. Jika tanggul itu harus juga menyangga jalan di atasnya, maka lebar itu hendaknya ditambah sesuai dengan kebutuhan.

Kemiringan hulu dan hilir diambil menurut harga-harga yang diberikan pada Tabel 8-1. di bawah ini. Harga-harga itu dianjurkan untuk tanggul tanah homogen (seragam) dengan pondasi yang stabil. Tanggul tanah tidak homogen harus direncana sesuai dengan teori yang sudah ada.

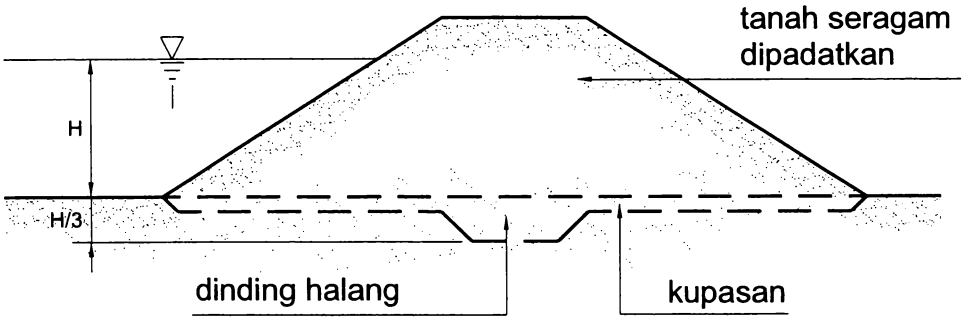
Tabel 8-1. Harga-Harga Kemiringan Talut untuk Tanggul Tanah Homogen (Menurut USBR,1978).

Klasifikasi Tanah[1)]	Kemiringan Hulu	Kemiringan Hilir
GW, GP, SW, SP	tak kedap air, tak cocok	
GC, GM, SC, SM	1 : 2,5	1 : 2
CL, ML	1 : 3	1 : 2,5
CH, MH	1 : 3,5	1 : 2,5

[1)] *Menurut Unified Soil Classification System (lihat KP – 06 Parameter bangunan)*

Tanggul yang tingginya lebih dari 5 m sebaiknya dicek stabilitasnya dengan menggunakan metode yang cocok. Dalam KP – 06 Parameter Bangunan diberikan metode-metode yang dianjurkan.

Bila pondasi tanggul tidak kedap air, maka harus dibuat parit halang *(cut-off trench)* yang dalamnya sampai 1/3 dari tinggi air. Lihat Gambar 8-5.



Gambar 8-5. Potongan Melintang Tanggul

8.2.5 Pembuang

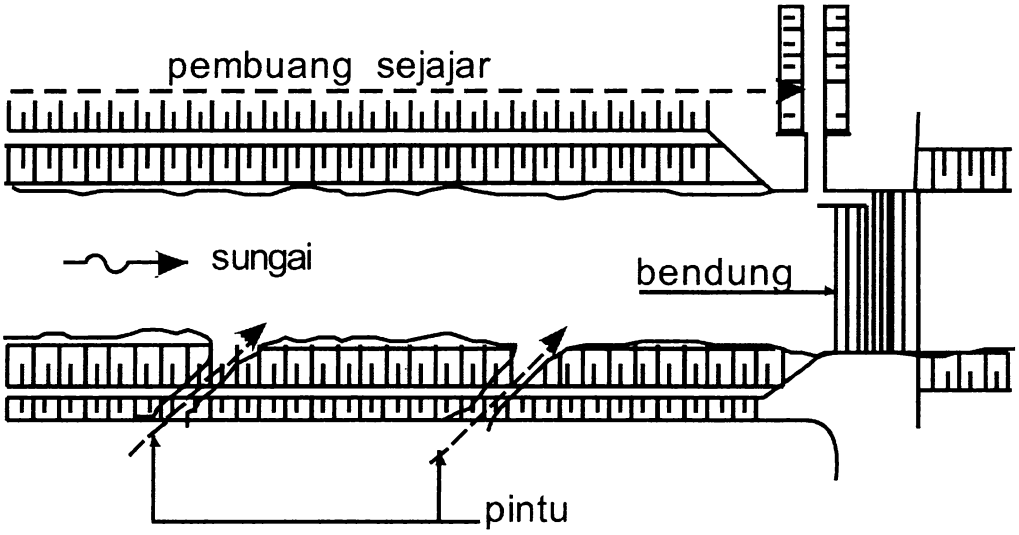
Pembuangan air (drainase) daerah di belakang tanggul banjir sampai ke sungai harus dipertimbangkan, khususnya jika tanggul sejajar dengan sungai (lihat Gambar 8-6).

Kebutuhan pembuangan air dapat dipenuhi dengan membuat saluran pembuang paralel yang mengalirkan airnya ke kantong lumpur, atau dengan pembuang yang

memintas melalui tanggul dan dilengkapi dengan pintu otomatis yang menjaga agar air tidak masuk selama muka air tinggi.

Kemudian akan terjadi genangan dan oleh karena itu sistem ini tidak cocok untuk daerah-daerah yang berpenduduk.

Bila tidak dapat dipakai pintu otomatis, maka dapat dipilih pintu sorong jika tenaga eksploitasinya tersedia.



Gambar 8-6. Cara Memecahkan Masalah Pembuangan Air

8.3 Sodetan Sungai

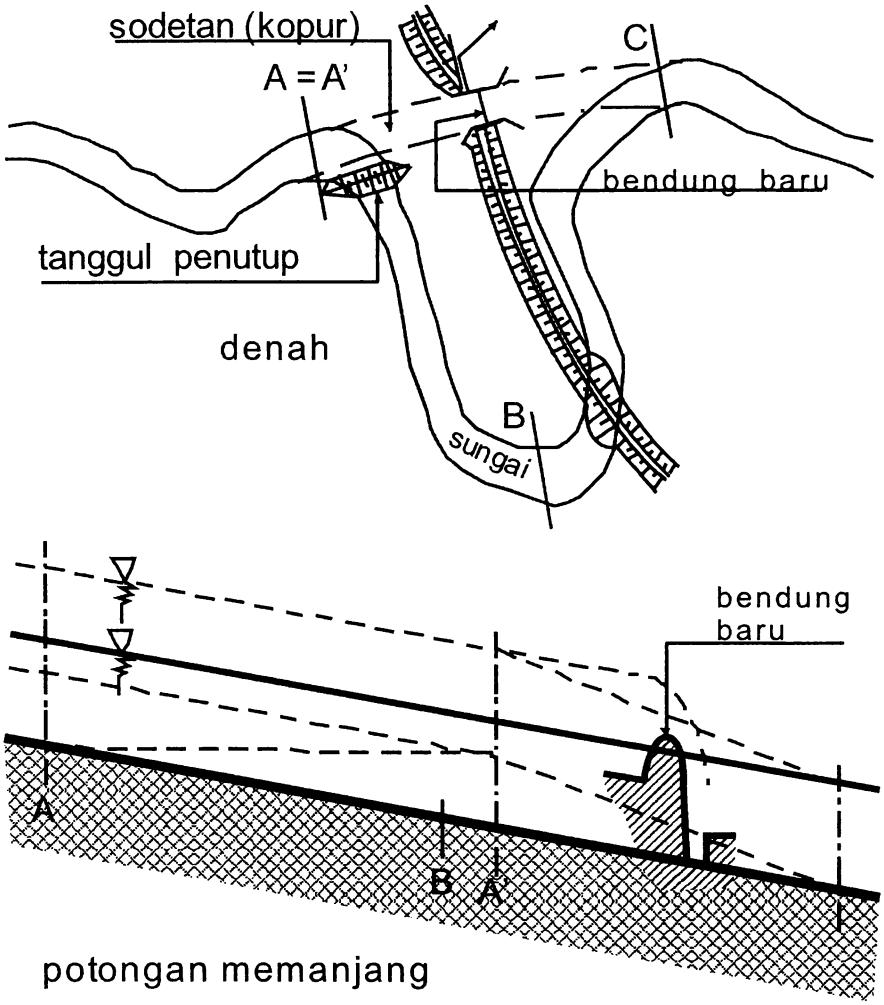
Kadang-kadang lebih menguntungkan untuk membuat bangunan utama di luar alur sungai yang ada dan membelokkan sungai itu sesudah pelaksanaan selesai. Dalam metode pelaksanaan ini, masalah keteknikan sungai hendaknya mendapat perhatian yang sungguh-sungguh selama perencanaan, misalnya alur sodetan, dimensi alur, perubahan dasar sungai serta penutupan sungai.

Tata Letak

Tata letak yang tepat untuk sodetan bergantung kepada banyak faktor: geologi, geologi teknik, bangunan, topografi dan sebagainya.

Namun demikian, ada beberapa pertimbangan umum berdasarkan perilaku sungai yang dapat diberikan di sini, yaitu:

- gangguan morfologi sungai diusahakan sesedikit mungkin
- menurunnya dasar sungai akibat adanya sodetan harus dipikirkan kedalaman pondasi bangunan di sebelah hulu hendaknya dicek.



Gambar 8-7. Kapur atau Sodetan

Gambar 8-7. memberikan contoh sodetan pada sungai berminder. Jarak antara A dan C diperpendek dengan sodetan. Dasar sungai akan turun guna mendapatkan kembali

keseimbangan batasnya (*ultimate equilibrium*). Ini akan memerlukan banyak waktu, tetapi koperan hilir bendung dan pangkal bendung harus aman terhadap erosi semacam ini.

Tanggul Penutup

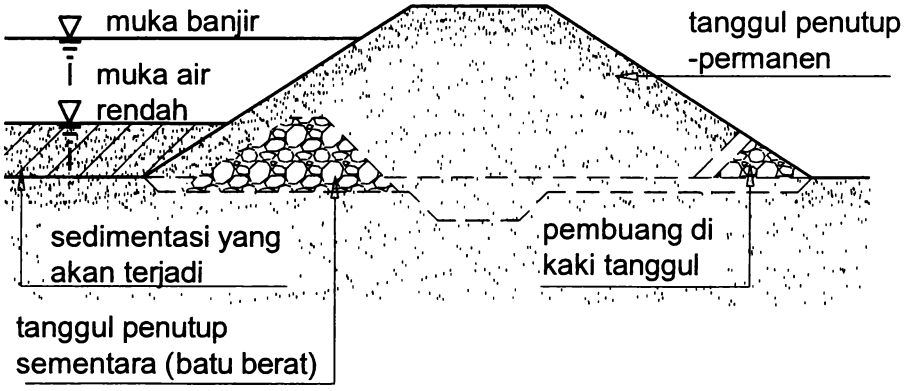
Penutupan dasar sungai lama dan pembelokan sungai tersebut ke atau melalui bangunan utama yang baru hendaknya direncanakan secara terinci.

Ada beberapa hal yang akan membantu dalam perencanaan ini, yaitu:

- aliran harus dibelokkan melalui sodetan (dan bangunan utama) dengan sedikit menaikkan muka air hulu.
- Penutupan sungai harus dilakukan pada waktu terjadi aliran kecil yang meliputi jangka waktu lama.
- Penutupan harus dilakukan dengan amat cepat
- Bahan yang dipakai untuk menutup sebaiknya bahan berat dan tersedia dalam jumlah yang cukup.

Bila penutupan awal telah berhasil, maka tanggul penutup itu diperkuat supaya menjadi permanen. Tanggul harus diberi lindungan terhadap erosi, terutama sisi yang terkena air sungai.

Dalam beberapa hal, tanggul penutup lebih baik dibuat jauh dari sodetan setelah aliran sungai berhasil dibelokkan. Dalam hal ini 'lengan' sungai yang mati di hulu tanggul penutup akan terisi sedimen dan menambah aman tanggul tersebut.



Gambar 8-8. Tipe Tanggul Penutup

BAB IX
PENYELIDIKAN MODEL HIDROLIS

9.1 Umum

Model hidrolis dipakai untuk mensimulasi perilaku hidrolis pada prototip bendung atau bendung gerak yang direncanakan dengan skala lebih kecil.

Kemungkinan lain untuk mensimulasi perilaku hidrolis adalah membuat model matematika pada komputer. Pengukuran langsung di lapangan atau dalam model fisik harus dilakukan untuk memantapkan hasil-hasil yang diperoleh dari perhitungan komputer.

Penyelidikan model dilakukan untuk meyelidiki perilaku (*performance*) hidrolis dari seluruh bangunan atau masing-masing komponennya. Model komputer dipakai untuk studi banjir dan gejala morfologi seperti agradasi dan degradasi yang akan terjadi di sungai itu.

Ahli yang bertanggung jawab atas perencanaan jaringan irigasi, harus memutuskan apakah penyelidikan model diperlukan atau tidak, berdasarkan pertimbangan-pertimbangan berikut:

- apakah kondisi lokasi sedemikian rupa sehingga akan timbul masalah-masalah yang tidak bisa dipecahkan dengan pengalaman yang ada sekarang.
- apakah masalah-masalah bangunan begitu kompleks sehingga dengan parameter-parameter dan standar perencanaan yang ada tidak mungkin dibuat suatu perencanaan akhir yang dapat diterima.
- apakah hasil-hasil penyelidikan model itu akan berarti banyak menghemat biaya.
- apakah aturan-aturan pendahuluan untuk eksploitasi dan pemeliharaan bangunan nanti tidak dapat ditetapkan berdasarkan pengalaman sebelumnya.
- Apakah biaya pelaksanaan penyelidikan model tidak besar dibandingkan dengan seluruh biaya pelaksanaan bangunan.

Subbab 9.2 menjelaskan komponen-komponen bangunan bendung yang dapat diselidiki dalam model hidrolis, dengan mempertimbangkan kondisi lokasi yang sebenarnya.

Kriteria untuk menentukan perlunya melakukan penyelidikan model diberikan pada subbab 9.3.

9.2 Penyelidikan Model untuk Bangunan Bendung

Komponen-komponen bangunan bendung berikut serta konstruksi-konstruksi pelengkapnya dapat diselidiki dalam model hidrolis:

- lokasi dan tata letak umum bangunan bendung
- pekerjaan pengaturan sungai di hulu bangunan
- bentuk mercu bendung pelimpah tetap
- pintu-pintu utama bendung gerak termasuk bentuk ambangnya
- kolam olak dan efisiensinya sebagai peredam energi
- eksploitasi pintu bendung gerak sehubungan dengan penggerusan lindungan dasar dan dasar sungai
- kompleks pembilas/pengambilan sehubungan dengan pengelakkan sedimen
- saluran pengarah dan kantong lumpur sehubungan dengan distribusi kecepatan yang seragam.

9.2.1 Lokasi dan Tata Letak

Sebelum memulai pelaksanaan model, lokasi harus dipilih dan tata letak umum harus dibuat. Kriteria yang harus dipertimbangkan untuk pemilihan lokasi dan penentuan dimensi-dimensi utama telah dibicarakan dalam Bab 3.

Penyelidikan model biasanya tidak dipakai untuk pemilihan lokasi. Alasan utamanya adalah bahwa perencanaan hidrolis hanyalah merupakan salah satu dari banyak kriteria yang menentukan pemilihan lokasi. Tata letak pendahuluan bangunan utama bisa dicek dalam model, yang dilakukan untuk pekerjaan-pekerjaan bangunanyang

besar dan rumit. Untuk bangunan utama yang sederhana, pengecekan semacam ini tidak perlu.

Apabila bangunan bendung akan dibuat di salah satu dari saluran cabang di daerah delta sungai, maka penyelidikan akan diperlukan untuk menentukan konsekuensi-konsekuensi hidrolik dan morfologi untuk jaringan sungai pada umumnya dan saluran cabang dari bangunan utama khususnya. Dalam hal ini, lokasi bangunan di sungai harus diselidiki secara lebih mendetail.

Walaupun masalah-masalah ini dapat diselidiki dalam model fisik, namun sudah tersedia pula model-model komputer untuk mensimulasi perilaku hidrolis dan morfologis sungai, dengan mengandaikan bahwa proyek berada di tempat yang benar. Penggunaan model-model komputer akan lebih murah, cepat dan tergantung pada data yang tersedia, hasil-hasilnya akan mempunyai tingkat ketepatan yang sama dibanding dengan hasil-hasil model fisik.

9.2.2 Pekerjaan Pengaturan Sungai

Mungkin diperlukan pekerjaan pengaturan sungai guna memperbaiki pola aliran di hulu bangunan atau untuk memantapkan tanggul sungai yang belum stabil.

Di ruas-ruas sungai bagian atas yang curam, palung kecil yang ada mungkin tidak stabil dan kadang-kadang melewati pengambilan. Jika demikian halnya, diperlukan krib untuk menstabilkan palung kecil dekat pengambilan. Ini adalah pekerjaan yang relatif kecil dan bisa rusak akibat banjir besar dan perlu diperbaiki sewaktu-waktu. Oleh sebab itu penyelidikan model bukan merupakan keharusan.

Pekerjaan lindungan tanggul biasanya dapat direncana menurut aturan-aturan umum perencanaan, tanpa penyelidikan dengan model.

Perlu diperhatikan agar kedalaman pondasi lingkungan cukup kuat, atau agar bagian-bagian konstruksi itu dapat mengikuti penggerusan dasar sungai tanpa mengurangi stabilitas bangunan secara keseluruhan.

Lokasi bendung biasanya akan dipilih di ruas sungai yang stabil. Tetapi pada sungai teranyam atau sungai dengan sistem tanggul pasir yang berpindah-pindah, ruas stabil seperti ini mungkin tidak ada.

Setelah pembuatan bendung atau bendung gerak di sungai semacam ini, dasar sungai di sebelah hulu akan naik dan cenderung kurang stabil daripada sebelumnya. Pekerjaan pengaturan sungai perlu dilaksanakan secara menyeluruh (ekstensif) guna menstabilkan aliran di hulu bendungan yang baru.

Dalam perencanaan pekerjaan pengaturan sungai, pola aliran yang menuju ke pengambilan harus diperhitungkan sehubungan dengan banyaknya sedimen yang akan masuk ke jaringan saluran irigasi. Hal ini penting khususnya bila air diambil pada kedua sisi sungai.

Oleh sebab itu, untuk bendung atau bendung gerak semacam ini, dianjurkan untuk menyelidiki pola aliran dan tata letak pekerjaan sungai dalam model hidrolis, karena sifatnya yang kompleks, perencanaan pendahuluan mungkin tidak bisa memenuhi semua persyaratan dan penyelidikan model dapat menunjukan banyak kemungkinan untuk perbaikan. Hasil-hasil penyelidikan model akan banyak memungkinkan penghematan biaya pelaksanaan.

9.2.3 Bentuk Mercu Bendung Pelimpah

Sampai saat ini telah banyak dilakukan penyelidikan bentuk mercu bendung dengan model dan hasil-hasilnya telah banyak diterbitkan dalam buku-buku teks.

Mercu-mercu tipe *Ogee* dan tipe bulat yang umum dipakai di Indonesia telah banyak diselidiki; parameter-parameter perencanaannya diberikan dalam subbab 4.2.2.

Penyelidikan model diperlukan hanya Jika situasi tertentu menimbulkan masalah yang sulit dipecahkan dengan kemampuan yang ada serta parameter-parameter yang tersedia tidak dapat diterapkan.

9.2.4 Pintu Bendung Gerak dan Bentuk Ambang

Sudah banyak metode yang dipakai untuk merencanakan pintu bendung gerak, bergantung kepada persyaratan-persyaratan khusus proyek serta selera seni pada waktu perencanaan sedang dibuat.

Kebanyakan perencanaan modern menggunakan pintu radial atau pintu sorong; pintu sorong besar tidak praktis karena gaya gesekannya besar.

Pintu ini biasanya direncana sebagai pintu aliran bawah (*undershot*), dan asal saja beberapa kriteria dasar perencanaannya diikuti, maka tidak lagi diperlukan pengujian dengan model untuk mengecek harga-harga koefisien debit atau perilaku getaran (vibrasi) untuk ukuran-ukuran pintu yang biasa direncana.

Apabila digunakan pintu radial atau sorong sebagai gabungan antara pintu aliran bawah dan aliran atas, maka masalah-masalah hidromekanik yang timbul akan lebih rumit. Debit pembuang, misalnya yang digunakan untuk membersihkan benda-benda hanyut di pengempangan hulu, tidak akan memerlukan penyelidikan dengan model secara teliti. Tetapi pintu yang dapat diturunkan sampai rendah sekali, atau pintu yang mempunyai katup yang besar di bagian atasnya untuk mengatur tinggi muka pengempangan, biasanya harus diselidiki dengan model untuk mengecek unjuk kerja hidrolis dan perilaku hidromekanik pintu tersebut. Pengujian semacam ini amat rumit dan sedapat mungkin hindari perencanaan tipe pintu ini dalam perencanaan bangunan utama biasa untuk irigasi.

Perencanaan hidrolis ambang dapat dilakukan tanpa penyelidikan dengan model. Kecepatan aliran di hilir pintu dapat dihitung; bahan yang akan dipakai untuk menahan derasnya kecepatan aliran harus dipilih dengan seksama dengan mempertimbangkan abrasi akibat bahan-bahan dasar yang tajam.

9.2.5 Kolam Olak

Sudah banyak penyelidikan baik dengan prototip maupun dengan model yang telah dilakukan dengan menentukan parameter-parameter yang akan menghasilkan perencanaan yang andal dan irit biaya.

Kriteria utama yang harus dipenuhi agar kolam olak dapat berfungsi dengan baik adalah energi harus dapat diredam secara efisien di dalam air sehingga dasar sungai di sebelah hilir tidak akan tergerus terlalu dalam atau rusak berat sehingga usaha perbaikannya akan berada di luar jangkauan pekerjaan pemeliharaan biasa.

Kolam loncat air (*hydraulic jump basin*) telah banyak diselidiki dan keandalannya terbukti baik di lapangan. Kolam ini dapat direncana tanpa penyelidikan model, asal saja parameter-parameter perencanaan yang sesungguhnya berada dalam ruang lingkup penerapan. Masalah pokoknya adalah degradasi atau menurunnya dasar sungai setelah bendung atau bendung gerak dibangun. Besarnya degradasi ini harus diperkirakan dan kolam olak direncana sesuai dengan keadaan yang akan terjadi ini dan dengan keadaan tinggi muka air dan dasar sungai yang sekarang. Bila parameter-parameter perencanaan kolam olak ternyata tidak dapat memberikan cara pemecahan yang memuaskan atas kedua keadaan tersebut di atas, maka akan diperlukan tambahan penyelidikan dengan model guna memperoleh hasil perencanaan yang seimbang dan paling efektif dari segi biaya.

Peredam energi tipe bak tenggelam (*submerged bucked dissipator*) telah diselidiki oleh USBR. Sebagian besar dari penyelidikan itu dilakukan terhadap tipe bak berlubang (*slotted bucket*) untuk pelimpah energi tinggi.

Jika tinggi energi masih dapat dikerjakan dengan data-data yang diberikan oleh Puslitbang Air, maka data-data ini dapat dipakai untuk menyelesaikan perencanaan akhir. Dalam perencanaan ini degradasi dasar sungai yang mungkin akan terjadi di waktu yang akan datang, harus dipertimbangkan.

9.2.6 Eksploitasi Pintu Bendung Gerak

Untuk bendung gerak berpintu banyak dan mungkin dengan pengambilan di kedua sisi sungai, cara terbaik eksploitasi pintu-pintu ini dapat diselidiki dengan model. Ada dua fenomena/gejala yang akan diselidiki dengan model demikian, yakni: (1) masuknya sedimen ke dalam jaringan saluran irigasi, dan (2) kedalaman maksimum penggerusan sehubungan dengan cara eksploitasi pintu ini.

9.2.7 Pengambilan dan Pembilas

Untuk debit saluran dengan besaran normal, tidak diperlukan penyelidikan dengan model secara mendetail untuk pengambilan dan pembilas. Kini sudah banyak sekali tipe pengambilan untuk berbagai keadaan lapangan. Di samping itu juga telah tersedia hasil-hasil penyelidikan dengan model. Kriteria perencanaan untuk pengambilan dan pembilas, akan memberikan dasar yang cukup memadai untuk menyelesaikan perencanaan hidrolis akhir.

Bila sungai mengangkut batu-batu besar selama banjir, bisa dipertimbangkan untuk memasang saringan (*screen*) agar batu-batu tersebut tetap jauh dari pengambilan.

Kemampuan kerja saringan semacam itu dapat diselidiki dengan model. Kriteria perencanaan bagi saringan ini hampir tidak mungkin ditetapkan, karena melihat banyak faktor yang tidak diketahui.

9.2.8 Saluran Pengarah dan Kantong Lumpur

Saluran pengarah (*feeder canal*) biasanya berupa bagian saluran melengkung yang mengantarkan debit dari pengambilan ke kantong lumpur.

Kecepatan aliran di dalam saluran pengarah harus cukup tinggi untuk mengangkut semua fraksi sedimen yang masuk ke jaringan saluran pada pengambilan. Di mulut kantong lumpur, kecepatan aliran akan sangat diperlambat dan distribusinya merata di seluruh lebar kantong. Oleh sebab itu, peralihan antara saluran pengarah dan kantong

lumpur harus direncana secara seksama, dilengkapi dengan dinding pengarah dan alat-alat pengatur distribusi aliran lainnya.

Penyelidikan dengan model secara mendetail akan sangat membantu menciptakan distribusi aliran yang seragam/merata.

Kemampuan kerja kantong lumur tidak bisa diselidiki di laboratorium, karena adanya efek skala.

9.3 Kriteria untuk Penyelidikan dengan Model

Sebagaimana telah disebutkan dalam subbab 9.1, perencana harus memutuskan apakah diperlukan penyelidikan dengan model atau tidak.

Untuk dapat memilih kriteria yang dapat diterapkan untuk kondisi-kondisi tertentu di lapangan, klasifikasi situasi yang benar-benar dijumpai di lapangan diberikan pada Tabel A.3.1, A.3.2 dan A.3.3 (lihat Lampiran 3).

Klasifikasi tersebut didasarkan pada hal-hal berikut:

- ruas sungai; atas, tengah, bawah
- lebar rata-rata sungai dan aliran permukaan (*overland flow*)
- debit per lebar satuan sungai
- ukuran butir bahan dasar yang diangkut oleh sungai
- besar debit saluran.

Berdasarkan klasifikasi ini, dianjurkan agar penyelidikan model dilakukan untuk komponen-komponen bangunan utama berikut:

- lokasi dan tata letak umum
- pekerjaan pengaturan sungai
- pintu-pintu bendung termasuk ambang
- kolam olak
- eksploitasi pintu
- pengambilan dan pembilas
- saluran pengarah dan kantong lumpur
- bangunan pembilas

Pada tabel-tabel itu disebutkan apakah penyelidikan model dianjurkan atau tidak. Ruang lingkup proyek, yang dijelaskan pada tabel-tabel tersebut, berada di luar jangkauan bangunan yang dianggap sahih/valid bagi standar perencanaan. Hal ini dicantumkan karena, pertama: tidak dapat diberikan definisi yang tepat untuk istilah proyek "yaitu", dan kedua yaitu ruang lingkup itu memberikan indikasi mengenai penyelidikan model bagaimana yang diperlukan untuk bangunan-bangunan yang lebih besar.

BAB X
METODE PELAKSANAAN

10.1 Umum

Besarnya pekerjaan untuk sebuah bendung dan bangunan-bangunan pelengkapnya, serta kenyataan bahwa bendung tersebut harus dibangun di sungai, memaksa kita untuk mempertimbangkan persyaratan-persyaratan yang diperlukan selama pelaksanaan. Metode pelaksanaan yang akan diterapkan harus diperikan (dideskripsikan) dengan jelas agar tidak menimbulkan masalah selama pelaksanaan. Ada dua metode yang dapat dipertimbangkan: pelaksanaan di dasar sungai dan pelaksanaan yang sama sekali ada di luar dasar sungai.

10.2 Pelaksanaan di Sungai

Sungai harus dibelokkan selama pelaksanaan berlangsung. Untuk ini sebagian dari sungai tersebut dikeringkan, atau seluruh aliran sungai dibelokkan melalui saluran atau terowongan pengelak. Untuk merencanakan elevasi tanggul pengelak (*coffer dam*) yang menutup sungai dan melindungi ruang kerja, maka kemungkinan melimpahnya banjir dan banjir rencana selama pelaksanaan berlangsung harus ditentukan.

Untuk mengukur resiko ini dapat digunakan grafik pada Gambar 10-1. yang memberikan perhitungan resiko yang diterima selama umur bangunan.

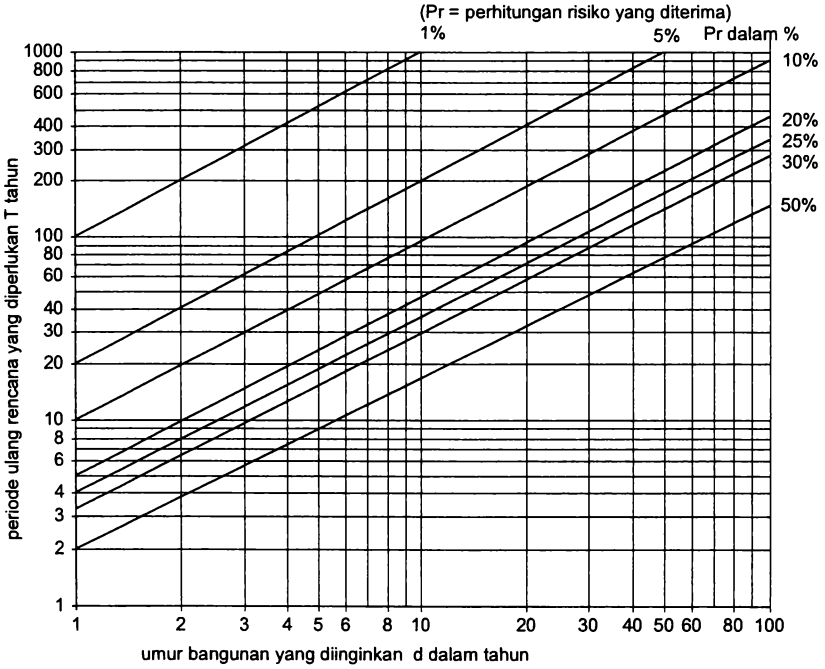
Umur sebuah saluran atau bendung pengelak biasanya dua sampai tiga tahun, bergantung kepada waktu pelaksanaan.

Apakah resiko melimpahnya bendungan pengelak akan menjadi tanggungan pihak kontraktor atau perencana diputuskan dengan jelas dalam dokumen kontrak. Pada umumnya itu menjadi tanggung jawab kontraktor dengan pihak Pemberi Pekerjaan menunjukkan tinggi keamanan yang terendah.

Selama perencanaan, pemilihan metode pelaksanaan harus juga didasarkan pada kelayakan dan biayanya. Dan tergantung pada keahlian Pelaksana Pekerjaan, harus diputuskan metode mana yang hendak diikuti.

Hal-hal yang harus dicek dan dipersiapkan selama perencanaan pendahuluan adalah:

- tanggul pengelak
- saluran atau terowongan pengelak
- pembuangan air (drainase).
- jadwal pelaksanaan
- tersedianya bahan bangunan
- debit maksimum sungai selama pelaksanaan
- pengeringan (*dewatering*) di lokasi pekerjaan



Gambar 10-1. Grafik untuk Menentukan Perhitungan Resiko yang Diterima

Berkenaan dengan jadwal waktu, kadang-kadang orang bisa bekerja di dasar sungai tanpa memerlukan terlalu banyak perlindungan dengan merencanakan pekerjaan itu menurut musim: kebanyakan daerah di Indonesia mempunyai musim kering dan penghujan yang berlainan dan dengan demikian terdapat perbedaan-perbedaan besar dalam hal ini debit sungai.

10.3 Pelaksanaan di Tempat Kering

Dalam banyak hal, metode pelaksanaan ini akan lebih disukai. Bangunan dibuat di luar dasar sungai, kemudian sungai itu dielakkan sesudah pelaksanaan selesai. Metode ini disebut "pelaksanaan pada sudetan" (kopur).

Resiko kerusakan yang diakibatkan oleh penggenaan ruang kerja, kecil saja dan dijumpai sedikit saja hambatan pelaksanaan.

Jika ternyata layak, maka metode pelaksanaan ini akan dipilih, bahkan Jika biayanya mahal sekali pun. Baik resiko kerusakan bahan maupun kerusakan-kerusakan lain selama pelaksanaan harus sedapat mungkin dihindari. Hal ini hendaknya mendapat perhatian khusus.

Pembelokan aliran sungai setelah pembuatan bendung atau bendung gerak selesai, dilakukan dengan tanggul penutup. Tanggul tersebut akan dibangun sedekat mungkin dengan mulut sodetan. Guna mengurangi beda muka air pada tanggul penutup selama pelaksanaan, muka air di depan bangunan utama yang baru harus dijaga agar tetap rendah, dengan cara membuka pintu pengambilan dan melewatkan air sebanyak mungkin melalui pintu-pintu itu. Tanggul penutup merupakan tanggul sementara saja, jika tanggul permanen akan dibuat di tempat lain mungkin lebih ekonomis.

DAFTAR PUSTAKA

BOS, M.G. (Ed); *Discharge Measurement Structures*. Publication 20, ILRI, Wageningen 1977.

BOS, M.G., REPLOGLEJA., and CLEMMENS, A.J.: *Flow Measuring Flumes for Open Channel Systems*. John Wiley, New York 1984.

BOUVARD,M: *Barrages Mobiles et Ouvrages de Derivation, a Partie de Rivieres Transportant des Materiaux Solides*. Eyrolles, Paris 1984.

BRADLEY, J.N., and PETERKA,A.J: *The Hydraulic Design of Stilling Basins. Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol.83, No.HY5*, 1957.

CAMP, T.R.: *Sedimentation and The Design of Settling Tanks*. Transactions ASCE, 1946.

CHOW,V.T.: *Open Channel Hydraulic*. McGraw-Hill, New York 1959.

CHOW,V.T.: *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw-Hill, London, 1964.

CREAGER,W.P., JUSTIN,J.D. & HINDS,J.: *Engineering for Dams, Volumes I,II & III*. John Wiley & Sons, New York, 1945.

DAVIDENKOFF,R.: *Unterlaufigkeit von Stauwerken*. Wernerverlag Dusseldorf, 1970.

DPMA: *Pengamanan Sungai Serta Pengendalian Aliran (Diutamakan Penggunaan Konstruksi Bronjong)*, 1978.

FORSTER,J.W., SKRINDE,R.A.: *Control of The Hydraulic Jump by Sills Transactions ASCE, Vol.115*, 1950.

JASSEN,P.P.(Ed).; *Principles of River Engineering*. Pitman, London 1979.

LANE,E.W.: *Security from Under-Seepage of Masonry Dams on Earth Foundations. Transactions ASCE, Vol.100*, 1935.

LANGKEMME IRRIGATION PROJECT: *Hydraulic Model Test and Related Study Design Note*, Nippon Koei, PT Buana Archicon.

MEMED,M.: *Cara-cara Konstruksi untuk Mengurangi Angkutan Sedimen yang Akan Masuk ke Intake dan Saluran Pengairan*. DPMA Bandung, 1981.

MEMED,M. and ERMAN,M.: *Penggunaan Lapisan Batu "Candi" Sebagai Perkuatan Terhadap Bahaya Benturan Batu dan Mengurangi Kerusakan Akibat Abrasi/Goresan oleh Pasir Batu yang Terbawa Aliran pada Bendung.* DPMA Bandung, 1980.

MEMED,M. and ERMAN,M., and SYARIF S.: *Pengelak Angkutan Sedimen Tipe Undersluice dengan Perencanaan Hidrolisnya, Jilid I & II.* DPMA Bandung, 1981.

PETERKA,A.J.: *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators.* USBR, Washington DC 1958 (rev.1964)

PRESS,H.: *Stauanlagen und Wasserkraftwerke, Teil II : Wehre. Wilhelm Ernst & Sohn*, Berlin 1959).

SCHOKLITSCH,A.: *Handbuch des Wasserbaues, Volumes I and II.* Springer Verlag, Vienna, 1962.

SCS: *Design of Open Channels, Technical Release No.25.* USDA Soil Conservation Service, Washington DC, 1977.

SOENARNO: *Perhitungan Bendung Tetap.* Directorate of Irrigation, Bandung 1972.

USBR: *Design of Small Dams.* Denver, USA

VLUGTER,H.: *Het Transport van Vaste Stoffen Door Stroomend Water.* De Ingenieur in Ned-Indie No.3,1941.

LAMPIRAN I

Daftar instansi-instansi yang dapat diminta data

Umum:

Perpustakaan PU	Jl. Pattimura, 20 Jakarta
LIPI	Jl. Jend. Sudirman, Jakarta
	Jl. Sangkuriang Cisitu, Bandung

Data Topografi:

BAKOSURTANAL - Peta-peta topografi dan foto-foto udara	Jl. Raya Jakarta Bogor, Km. 46 Cibinong, Tlp. 82062-82063
DPUP	Di Ibukota Propinsi
PU SEKSI PENGUKURAN	Jl. Pattimura 20, Jakarta
PENGUKURAN GEOLOGI INDONESIA	Jl. Diponegoro 59, Tlp. 73205/8, Bandung

Data Hidrologi:

DPMA seksi Hidrologi - Data sebagian besar sungai pusat koleksi data juga kumpulan data-data dari masa sebelum P.D.II	Jl. Ir.H.Juanda 193, Bandung
PLN Bagian Tenaga Air	Jl. Hasan Mustopo 55, Tlp.72053, Bandung
Bina Program Pengairan	Jl. Pattimura 20, Jakarta

LAMPIRAN II

Tabel A.2.1 . Nilai-Nilai Banding Tanpa Dimensi untuk Loncat Air
(dari *Bos, Replogle* dan *Clemmens*, 1984)

$\frac{\Delta H}{H_1}$	$\frac{Y_d}{Y_u}$	$\frac{Y_u}{H_1}$	$\frac{v_u^2}{2gH_1}$	$\frac{H_u}{H_1}$	$\frac{Y_d}{H_1}$	$\frac{v_d^2}{2gH_1}$	$\frac{H_d}{H_1}$
0,2446	3,00	0,3669	1,1006	1,4675	1,1006	0,1223	1,2229
0,2688	3,10	0,3599	1,1436	1,5035	1,1157	0,1190	1,2347
0,2939	3,20	0,3533	1,1870	1,5403	1,1305	0,1159	1,2464
0,3198	3,30	0,3469	1,2308	1,5777	1,1449	0,1130	1,2579
0,3465	3,40	0,3409	1,2749	1,6158	1,1590	0,1103	1,2693
0,3740	3,50	0,3351	1,3194	1,6545	1,1728	0,1077	1,2805
0,4022	3,60	0,3295	1,3643	1,6938	1,1863	0,1053	1,2916
0,4312	3,70	0,3242	1,4095	1,7337	1,1995	0,1030	1,3025
0,4609	3,80	0,3191	1,4551	1,7742	1,2125	0,1008	1,3133
0,4912	3,90	0,3142	1,5009	1,8151	1,2253	0,0987	1,3239
0,5222	4,00	0,3094	1,5472	1,8566	1,2378	0,0967	1,3345
0,5861	4,20	0,3005	1,6407	1,9412	1,2621	0,0930	1,3551
0,6525	4,40	0,2922	1,7355	2,0276	1,2855	0,0896	1,3752
0,7211	4,60	0,2844	1,8315	2,1159	1,3083	0,0866	1,3948
0,7920	4,80	0,2771	1,9289	2,2060	1,3303	0,0837	1,4140
0,8651	5,00	0,2703	2,0274	2,2977	1,3516	0,0811	1,4327
0,9400	5,20	0,2639	2,1271	2,3910	1,3723	0,0787	1,4510
1,0169	5,40	0,2579	2,2279	2,4858	1,3925	0,0764	1,4689
1,0957	5,60	0,2521	2,3299	2,5821	1,4121	0,0743	1,4864
1,1763	5,80	0,2467	2,4331	2,6798	1,4312	0,0723	1,5035
1,2585	6,00	0,2417	2,5372	2,7789	1,4499	0,0705	1,5203
1,3429	6,20	0,2367	2,6429	2,8796	1,4679	0,0687	1,5367
1,4280	6,40	0,2321	2,7488	2,9809	1,4858	0,0671	1,5529
1,5150	6,60	0,2277	2,8560	3,0837	1,5032	0,0655	1,5687
1,6035	6,80	0,2235	2,9643	3,1878	1,5202	0,0641	1,5843
1,6937	7,00	0,2195	3,0737	3,2932	1,5368	0,0627	1,5995
1,7851	7,20	0,2157	3,1839	3,3996	1,5531	0,0614	1,6145
1,8778	7,40	0,2121	3,2950	3,5071	1,5691	0,0602	1,6293
1,9720	7,60	0,2085	3,4072	3,6157	1,5847	0,0590	1,6437
2,0674	7,80	0,2051	3,4723	3,7254	1,6001	0,0579	1,6580
2,1641	8,00	0,2019	3,6343	3,8361	1,6152	0,0568	1,6720
2,2620	8,20	0,1988	3,7490	3,9478	1,6301	0,0557	1,6858
2,3613	8,40	0,1958	3,8649	4,0607	1,6446	0,0548	1,6994

Tabel A.2.1 . Nilai-Nilai Banding Tanpa Dimensi untuk Loncat Air
(dari *Bos, Replogle* dan *Clemmens*, 1984) (Lanjutan)

$\frac{\Delta H}{H_1}$	$\frac{Y_d}{Y_u}$	$\frac{Y_u}{H_1}$	$\frac{v_u^2}{2gH_1}$	$\frac{H_u}{H_1}$	$\frac{Y_d}{H_1}$	$\frac{v_d^2}{2gH_1}$	$\frac{H_d}{H_1}$
2,4615	8,60	0,1929	3,9814	4,1743	1,6589	0,0538	1,7127
2,5630	8,80	0,1901	4,0988	4,2889	1,6730	0,0529	1,7259
2,6656	9,00	0,1874	4,2171	4,4045	1,6869	0,0521	1,7389
2,7694	9,20	0,1849	4,3363	4,5211	1,7005	0,0512	1,7517
2,8741	9,40	0,1823	4,4561	4,6385	1,7139	0,0504	1,7643
2,9801	9,60	0,1799	4,5770	4,7569	1,7271	0,0497	1,7768
3,0869	9,80	0,1775	4,6985	4,8760	1,7402	0,0489	1,7891
3,1949	10,00	0,1753	4,8208	4,9961	1,7530	0,0482	1,8012
3,4691	10,50	0,1699	5,1300	5,2999	1,7843	0,0465	1,8309
3,7491	11,00	0,1649	5,4437	5,6087	1,8146	0,0450	1,8594
4,0351	11,50	0,1603	5,7623	5,9227	1,8439	0,0436	1,8875
4,3267	12,00	0,1560	6,0853	6,2413	1,8723	0,0423	1,9146
4,6233	12,50	0,1520	6,4124	6,5644	1,9000	0,0411	1,9411
4,9252	13,00	0,1482	6,7437	6,8919	1,9268	0,0399	1,9667
5,2323	13,50	0,1447	7,0794	7,2241	1,9529	0,0389	1,9917
5,5424	14,00	0,1413	7,4189	7,5602	1,9799	0,0379	2,0178
5,8605	14,50	0,1381	7,7625	7,9006	2,0032	0,0369	2,0401
6,1813	15,00	0,1351	8,1096	8,2447	2,0274	0,0361	2,0635
6,5066	15,50	0,1323	8,4605	8,5929	2,0511	0,0352	2,0863
6,8363	16,00	0,1297	8,8153	8,9450	2,0742	0,0345	2,1087
7,1702	16,50	0,1271	9,1736	9,3007	2,0968	0,0337	2,1305
7,5081	17,00	0,1247	9,5354	9,6601	2,1190	0,0330	2,1520
7,8498	17,50	0,1223	9,9005	10,0229	2,1407	0,0323	2,1731
8,1958	18,00	0,1201	10,2693	10,3894	2,1619	0,0317	2,1936
8,5438	18,50	0,1180	10,6395	10,7575	2,1830	0,0311	2,2141
8,8985	19,00	0,1159	11,0164	11,1290	2,2033	0,0305	2,2339
9,2557	19,50	0,1140	11,3951	11,5091	2,2234	0,0300	2,2534
9,6160	20,00	0,1122	11,7765	11,7765	2,2432	0,0295	2,2727

LAMPIRAN III

Tabel A.3.1. Penyelidikan dengan Model untuk Bangunan Utama di Ruas Atas Sungai

Data Sungai	Lokasi dan Tata Letak Umum	Pekerjaan Pengaturan Sungai	Bentuk Mercu Bendung	Kolam Olak	Pengambilan dan Pembilas	Saluran Pengarah dan Kantong Lumpur
- Bendung Tetap - Lebar Dasar sungai ≤ 50 m - debit Q ≤ 10 m3/dt/m - sungai mengangkut berangkal/bongkah, 64 - 500 mm, bahan dasar 2000mm - debit saluran ≤ 10 m3/dt	- penyelidikan model tak - lokasi dan tata letak bergantung pada kondisi - pilihan terbaik pada ruas stabil, palung kecil di tepi pengambilan	- penyelidikan model tidak - pengaturan palung kecil di hulu dengan krib - lokasi krib berdasarkan kondisi	- penyelidikan model tidak	- penyelidikan model tidak dianjurkan - tipe bak tenggelam yang dianjurkan - pasangan batu candi	- penyelidikan model tidak	- penyelidikan model tidak
- Bendung Tetap - Lebar Dasar sungai 20 - 100 m - debit Q 10 - 20 m3/dt/m - sungai mengangkut berangkal/bongkah ukuran 1500 mm - debit saluran 5 - 20 m3/dt	- penyelidikan model tak - lokasi dan tata letak bergantung pada kondisi lapangan - pilihan terbaik pada ruas stabil, palung kecil di tepi pengambilan	- penyelidikan model tak - pengaturan palung kecil di hulu dengan krib - lokasi krib berdasarkan kondisi - perbaikan krib perlu sering dilakukan	- penyelidikan model diperlukan untuk hal-hal - pengaruh kemiringan/mercu bertangga (jika direncanakan) terhadap kemampuan kolam olak di selidiki dgn - muka hulu terhempas bongkah, lindungan berat dianjurkan	- penyelidikan model diperlukan untuk hal-hal istimewa - penyelidikan model tiga dimensi dianjurkan untuk penggerusan di hilir bendung tanpa kolam olak	- penyelidikan model diperlukan - pengendapan batu-batu besar di depan pengambilan - efektivitas pembilas, saringan - alternatif pengambilan tipe saringan bawah	- penyelidikan model tak

Tabel A.3.2. Penyelidikan dengan Model untuk Bangunan Utama di Ruas Tengah Sungai

Data Sungai	Lokasi dan Tata Letak Umum	Pekerjaan Pengaturan Sungai	Bentuk Mercu Bendung	Kolam Olak	Pengambilan dan Pembilas	Saluran Pengarah dan Kantong Lumpur
- Bendung Tetap - Lebar Dasar sungai ≤ 50 m tidak ada aliran permukaan selama banjir - debit Q 12 - 14 m3/dt/m - sungai mengangkut kerikil sampai ukuran 64 mm - debit saluran ≤ 10 m3/dt	- penyelidikan model tak dianjurkan	- penyelidikan model tak dianjurkan	- penyelidikan model tak dianjurkan	- penyelidikan model tak dianjurkan	- penyelidikan model tak dianjurkan - sebaiknya dipakai pembilas bawah	- penyelidikan model tak dianjurkan
- Bendung Tetap - Lebar Dasar sungai 50 - 150 m tidak ada aliran permukaan selama banjir - debit Q 14 - 18 m3/dt/m - sungai mengangkut kerikil sampai ukuran 64 mm - debit saluran 5 - 30 m3/dt	- penyelidikan model tak dianjurkan	- penyelidikan model tak dianjurkan	- penyelidikan model dianjurkan	- penyelidikan model dianjurkan untuk hal-hal khusus - selidiki gerusan lokal bila debit bervariasi sepanjang	- penyelidikan model dianjurkan - sebaiknya dipakai pembilas bawah	- penyelidikan model tak dianjurkan

Tabel A.3.2. Penyelidikan dengan Model untuk Bangunan Utama di Ruas Tengah Sungai (Lanjutan)

Data Sungai	Lokasi dan Tata Letak Umum	Pekerjaan Pengaturan Sungai	Bentuk Mercu Bendung	Kolam Olak	Eksploitasi Pintu	Pengambilan dan Pembilas	Saluran Pengarah dan Kantong Lumpur
- Bendung Tetap - dasar sungai sangat lebar - debit per m lebar relatif rendah - sungai teranyam dengan banyak serokan terpisah - debit saluran 5 - 20 m3/dt	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model dianjurkan lokasi dan dimensi pekerjaan pengaturan sungai sebaiknya lebih dimantapkan dengan model	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model dianjurkan - efek variasi debit harus diselidiki dengan model tiga dimensi		- penyelidikan model tak - sebaiknya dipakai pembilas bawah	- penyelidikan model tak
- Bendung Gerak - Lebar Dasar sungai ≤ 50 m - debit Q ≤ 10 m3/dt/m - sungai mengangkut kerikil sampai ukuran 64 mm - debit saluran 10 m3/dt - elevasi pengempangan tinggi	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model tak - pintu direncana berdasarkan parameter perencanaan yang ada	- penyelidikan model tak - pakai kolam loncat air - lindungi blok halang dan blok muka dengan plat	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model tak - sebaiknya dipakai pembilas bawah	- penyelidikan model tak

Data Sungai	Lokasi dan Tata Letak Umum	Pekerjaan Pengaturan Sungai	Bentuk Mercu Bendung	Kolam Olak	Eksploitasi Pintu	Pengambilan dan Pembilas	Saluran Pengarah dan Kantong Lumpur
- Bendung Gerak - Lebar Dasar sungai 50 - 150 m - debit Q 10 - 15 m3/dt/m - sungai mengangkut pasir dan kerikil sampai ukuran 64 - debit saluran 10 - 50 m3/dt - elevasi pengempangan tinggi	- penyelidikan model dianjurkan - tata letak dan lokasi di cek dengan model	- penyelidikan model dianjurkan - pekerjaan pengaturan sungai di optimasi	- penyelidikan model dianjurkan - untuk pintu-pintu khusus (tipe gabungan aliran atas dan aliran bawah), uji untuk fungsi gabungan	- penyelidikan model dianjurkan - verifikasi hasil perencanaan pendahuluan dengan model	- penyelidikan model dianjurkan - aturan eksploitasi pintu - sedimen yang masuk saluran irigasi sedikit - gerusan lokal terbatas	- penyelidikan model dianjurkan - sebaiknya dipakai pembilas bawah	- penyelidikan model dianjurkan - selidiki tata letak & morfologi saluran pengarah & peralihan untuk kolam yang sangat lebar

Tabel A.3.3. Penyelidikan dengan Model untuk Bangunan Utama di Ruas Bawah Sungai

Data Sungai	Lokasi dan Tata Letak Umum	Pekerjaan Pengaturan Sungai	Bentuk Mercu Bendung	Kolam Olak	Eksploitasi Pintu	Pengambilan dan Pembilas	Saluran Pengarah dan Kantong Lumpur
- Bendung Tetap - Lebar Dasar sungai 50 - 150 m - debit Q 14 - 18 m3/dt/m - sungai mengangkut pasir - debit saluran 5 - 30 m3/dt	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model diperlukan dalam hal-hal khusus untuk debit yg bervariasi diperlukan tes dgn model dasar gerak,		- penyelidikan model tak - sebaiknya dipakai pembilas bawah	- penyelidikan model tak
- Bendung Gerak - Lebar Dasar sungai ≤ 50 m - debit Q ≤ 10 m3/dt/m - sungai mengangkut pasir dan lanau - debit saluran 10 m3/dt - elevasi pengempangan lebih tinggi dari tanah sekitarnya	- penyelidikan model dianjurkan	- penyelidikan model dianjurkan	- penyelidikan model tak	- penyelidikan model tak dianjurkan sebaiknya pakai kolam loncat air	- penyelidikan model tak dianjurkan	- penyelidikan model tak - sebaiknya dipakai pembilas bawah - boleh tidak pembilas bawah, kecuali sungai hanya mengangkut pasir, lanau, dan lempung sangat	- penyelidikan model tak

Data Sungai	Lokasi dan Tata Letak Umum	Pekerjaan Pengaturan Sungai	Bentuk Mercu Bendung	Kolam Olak	Eksploitasi Pintu	Pengambilan dan Pembilas	Saluran Pengarah dan Kantong Lumpur
- Bendung Gerak - Lebar Dasar sungai 50 - 150 m - debit Q 10 - 15 m3/dt/m - sungai mengangkut pasir dan lanau - debit saluran ≤ 10 m3/dt - elevasi pengempangan lebih tinggi dari tanah sekitarnya	- penyelidikan model dianjurkan - tata letak dan lokasi di cek dengan model	- penyelidikan model dianjurkan - pekerjaan pengaturan sungai di optimasi	- penyelidikan model dianjurkan - untuk pintu-pintu khusus (tipe gabungan aliran atas dan aliran bawah), uji untuk fungsi gabungan	- penyelidikan model dianjurkan - verifikasi hasil perencanaan pendahuluan dengan model	- penyelidikan model dianjurkan - aturan eksploitasi pintu	- penyelidikan model dianjurkan - selidiki & tingkatkan efisiensi sistem pengelak - dianjurkan pembilas bawah, kecuali sungai hanya mengangkut pasir, lanau, dan lempung sangat	- penyelidikan model dianjurkan - untuk kantong yg lebar, selidiki tata letak & morfologi saluran pengarah & peralihan ke kantong lumpur dengan model, jika diperkirakan ada masalah

ISBN 978-602-17627-1-4