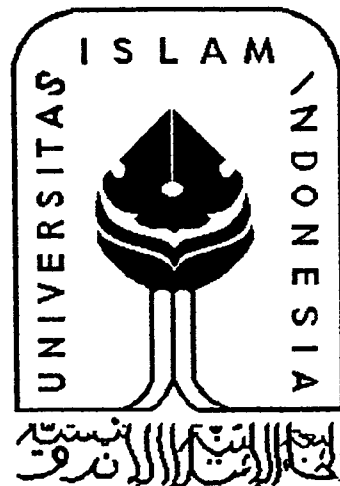


TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN *SUB STRUCTURE*
DAN METODE PELAKSANAAN PADA
TEKNOLOGI BENDUNG KARET**



disusun oleh :

MELIA DAMAYANTI

No. Mhs. 94 310 104

Nirm. 940051013114120103

FAUZI BUDI SETIAWAN

No. Mhs. 94 310 318

Nirm. 940051013114120308

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999**

TUGAS AKHIR

**PERENCANAAN *SUB STRUCTURE*
DAN METODE PELAKSANAAN PADA
TEKNOLOGI BENDUNG KARET**

*Diajukan kepada Universitas Islam Indonesia
Untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh
Derajat Sarjana Teknik Sipil*

Disusun Oleh :

Melia Damayanti
No Mhs. 94 310 104
Nirm. 940051013114120103

Fauzi Budi Setiawan
No Mhs. 94 310 318
Nirm. 940051013114120308

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
1999**

TUGAS AKHIR

PERENCANAAN *SUB STRUCTURE*
DAN METODE PELAKSANAAN PADA
TEKNOLOGI BENDUNG KARET

Disusun Oleh :

Melia Darmayanti
No Mhs. 94 310 104
Nim. 940051013114120163

Fauzi Budi Setiawan
No Mhs. 94 310 318
Nim. 940051013114120308

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Ir. Bambang Sulistiono, MSCE

Dosen Pembimbing I

Ir. Tadjuddin BM Aris, MS

Dosen Pembimbing II



Tanggal : 22-04-1999.

Tanggal : 22-4-99

Untaian Kata Mutiara

Dan barang siapa yang menyerahkan dirinya kepada Allah, sedang dia orang yang berbuat kebaikan, maka sesungguhnya ia telah berpegang kepada buhul tali yang kokoh. Dan hanya kepada Allah-lah kesudahan segala urusan (Lugman 22)

Dan orang-orang yang berjihad untuk (mencari keridhoan) Kami, benar-benar akan Kami tunjukkan kepada mereka jalan-jalan Kami. Dan sesungguhnya Allah benar-benar beserta orang yang berbuat baik (Al Ankabut 69)

- ❖ *Nilai seseorang sesuai kadar tehadnya*
- ❖ *Ketulusannya sesuai dengan kadar kemanusiaannya*
- ❖ *Keberaniannya sesuai dengan kadar penolakannya terhadap perbuatan kejahatan*
- ❖ *Dan kesucian hati nuraninya sesuai dengan kadar kepehaan dirinya akan kehormatan dirinya*

(Mutiara Nahjul Balaghah)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap (Al-Insyiroh)

“Fastabiqul khairaat”, Berlomba-lombalah di dalam kebaikan

Persembahan

Dari Melia Damayanti

Dengan cinta yang mendalam tugas akhir ini kupersembahkan kepada :

❖ **Mama dan Papa**

*Juwa agung yang mencintai angin sepoiaku ,
yang berlari bersama badaiku.*

*Yang meletakkan kebaikan pada jari-jemariku ,
yang memberi kekuatan pada sayap-sayapku,
dan menuntunku untuk melihat diri serta
memperlihatkannya kembali kepada dunia. ...*

❖ **Mas Iwan dan adikku Adhit.**

*Kalian adalah cahaya dalam kehidupanku
kebaikan, motivasi, simpati, dan maaf.....*

Terima kasih untuk segala-galanya

Dari Fauzi Budi Setiawan

Baktiku akan untaian kebaikan, mutiara kasih, ketulusan akan kebersamaan selama ini, terima kasihku untukmu.....

❖ **Bapak dan Ibu**

*Keterharuan atas doamu selama ini, segala tenaga
& keringat telah tumpah. Kesabaranmu,
bimbinganmu, serta untaian petuahmu merupakan
motivasi tak ternilai. Kupersembahkan semua
hanya & baktiku untuk kebahagiaanmu.*

❖ **Mas Rizal (ST, Alumni UII), adikku Haris (Cah UGM), & Fifin (arek ITS)**

*Kebersamaan dalam kebaikan, kearifan, keceriaan
selalu terjalin diantara kita.*

❖ **Saudaraku di Yogya, H Antung, Bu Am, Galang, Nuri, and H Jundi's Family.**

Terimakasih atas perhatiannya selama ini

❖ **Sesama Ustady dan Santri TPA Al-Husna**

*Adik-adikku Kak Fauzi sudah lulus, semoga
kalian semakin rajin mendalami Al Qur'an*

❖ **Bapak Ibu Dosenku**

*Special untuk dosen yang membimbingku selama
menjadi Asisten, selama TA, dan selama kuliah.*

❖ **Teman-teman seperjuanganku**

*Teman E & F Class 94, and My love D' Ime,
tanpa kalian saya tidak berarti.*

Terima kasih atas kebersamaan selama ini

PRAKATA

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji dan syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT atas berkah, rahmat, dan hidayah-Nya. Sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Sholawat dan salam semoga tetap terlimpahkan pada Nabi Muhammad SAW beserta keluarga, sahabat, dan umatnya yang senantiasa menegakkan Ad-Din dimuka bumi ini.

Tugas akhir kami dengan judul “ Perencanaan *Sub Structure* dan Metode Pelaksanaan Pada Teknologi Bendung Karet” , disusun dan diajukan sebagai salah satu persyaratan guna memperoleh gelar sarjana (S1) Teknik Sipil, khususnya pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Banyak pihak yang telah membantu, baik moril atau secara langsung dan tidak langsung terlibat, memberi saran ataupun kritik mulai dari ide sampai penulisan Tugas Akhir ini. Oleh karena itu dalam kesempatan ini sebagai rasa hormat dan penghargaan serta ucapan terima kasih disampaikan khususnya kepada yang terhormat :

1. Bapak Ir. Widodo, MSCE, Phd, selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
2. Bapak Ir. Bambang Sulistiono, MSCE, selaku Pembantu Dekan I Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sekaligus Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, saran, dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
3. Bapak Ir. Tadjuddin BM Aris, MS, selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, saran, dan pengarahan dalam penyelesaian Tugas Akhir.
4. Ibu Ir. Sri Amini YA, MT, selaku Dosen Penguji Tugas Akhir yang telah memberikan saran dan pengarahan untuk penyempurnaan laporan Tugas Akhir ini.

5. Dosen dan karyawan Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
6. Orang tua dan saudara-saudaraku tercinta yang selalu memberikan dorongan, motivasi, dan semangatnya dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa dan semua pihak yang tidak dapat kami sebutkan namanya satu persatu, yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Segala daya dan upaya serta kemampuan telah penulis curahkan semuanya demi terselesaikannya tugas akhir ini, namun kesemuanya ini tidak terlepas dengan kekurangan yang ada. Untuk itu penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi yang membacanya, serta bagi penulis pada khususnya. Akhir kata semoga Allah selalu melimpahkan rahmat serta hidayah-Nya kepada kita semua. *Amin-amin yaa robbal alamin*
Wabillahittaufiq Wal Hidayah
Wassalamu,alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, April 1999

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
UNTAIAN KATA MUTIARA.....	iii
PERSEMBAHAN.....	iv
PRAKATA.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xviii
INTISARI.....	xx
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan.....	2
1.3 Ruang Lingkup dan Batasan	2
BAB II LANDASAN TEORI	
2.1 Pengertian Bendung.....	4
2.2 Desain Bendung.....	6
2.2.1 Penelitian yang Diperlukan.....	6
2.2.2 Pemilihan Tempat Kedudukan Bendung.....	7
2.2.3 Desain Bendung Gerak.....	9
2.3 Bendung Karet.....	9
2.3.1 Umum.....	9

2.3.2	Susunan Perlengkapan Bendung Karet.....	10
2.3.3	Tinggi dan Bentangan.....	11
2.3.4	Tinggi Bendung.....	11
2.3.5	Pengisi Badan Bendung.....	12
2.3.6	Koefisien Debit.....	12
2.3.7	Getaran Badan Bendung.....	13
2.3.8	Akibat Gerusan.....	15
2.3.9	Cara Pemasangan.....	16
2.3.10	Badan Bendung dan Lempeng Logam Penjepit.....	17
2.3.11	Peralatan.....	20
2.3.12	Perbandingan Bendung Karet Isi Udara dan Isi Air.....	22

BAB III DASAR-DASAR PERENCANAAN

3.1	Umum.....	24
3.2	Tinggi Bendung dan Panjang Bentang.....	24
3.3	Tinggi Jepit Pada Dinding Tepi.....	25
3.4	Kedalaman Limpasan Maksimum.....	26
3.5	Sistem Penjepit.....	27
3.6	Perhitungan Tubuh Bendung.....	28
3.6.1	Tegangan pada Tubuh Bendung.....	28
3.6.2	Perhitungan Baut Angkur.....	29
3.6.3	Perhitungan Plat Pengikat.....	30
3.7	<i>Sub Structure</i>	32
3.7.1	Pondasi Bendung.....	32

3.7.2	Pilar, Abutment, dan Apron.....	33
3.7.3	Koperan.....	34
3.7.4	Tiang Penahan Rembesan.....	34
3.7.5	Kontrol Tebal Lantai Pondasi dan Apron Hilir.....	37
3.7.6	Konsolidasi Dasar Sungai.....	37
3.8	Analisis Stabilitas.....	38
3.9	Pondasi Tiang Pancang.....	46
3.9.1	Perhitungan Tiang.....	46
3.9.2	Penulangan.....	47
3.9.3	Menentukan Daya Dukung Tiang.....	50
3.9.4	Kuat Dukung Pondasi Tiang terhadap Gaya Aksial....	51
3.9.5	Kuat Dukung Pondasi Tiang terhadap Gaya Lateral....	56
3.9.6	Penurunan (<i>Settlement</i>).....	57

BAB IV PERANCANGAN SUB STRUCTURE

4.1	Karakteristik Bendung Karet.....	59
4.1.1	Tinggi Bendung dan Panjang Bendung.....	59
4.1.2	Tinggi Jepit pada Dinding Tepi.....	60
4.1.3	Sistem Penjepit.....	60
4.1.4	Spesifikasi Tubuh Bendung.....	61
4.1.5	Kedalaman Limpasan Maksimum.....	62
4.2	Perhitungan Tubuh Bendung.....	62
4.2.1	Tegangan yang Bekerja pada Tubuh Bendung.....	63
4.2.2	Perhitungan Baut Angkur.....	63

4.2.3	Perhitungan Plat Pengikat.....	64
4.3	Struktur Bawah.....	65
4.3.1	Pondasi Bendung.....	65
4.3.2	Abutment, Pilar, dan Lantai Lindung.....	66
4.3.3	Koperan.....	67
4.3.4	Tiang Penahan Rembesan.....	68
4.3.5	Kontrol Tebal Lantai Pondasi dan Lantai Lindung Hilir.....	69
4.3.6	Konsolidasi Dasar Sungai.....	70
4.4	Analisis Stabilitas.....	71
4.4.1	Perhitungan Gaya-gaya yang Bekerja.....	71
4.4.2	Perhitungan Stabilitas Pondasi.....	74
4.4.3	Perhitungan Penulangan Lantai Bendung.....	89
4.5	Perhitungan Struktur Abutment.....	90
4.6	Pondasi Tiang.....	93
4.6.1	Penulangan Tiang Pancang.....	93
4.6.2	Tegangan Saat Pengangkatan.....	95
4.6.3	Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang.....	99

BAB V METODE PELAKSANAAN

5.1	Umum.....	103
5.2	Studi Kelayakan dan Penelitian.....	103
5.2.1	Studi Kelayakan.....	103
5.2.2	Penelitian yang Diperlukan dan Tahapannya.....	104

5.3	Perencanaan Bendung Karet.....	106
5.4	Lingkup Pekerjaan.....	106
5.5	Pekerjaan Persiapan.....	107
5.6	Kondisi Kerja.....	107
5.7	Metode Pelaksanaan.....	109
5.7.1	Pekerjaan Persiapan.....	109
5.7.2	Pelaksanaan Badan Bendung Karet.....	113
5.7.3	Pekerjaan Pelindung Tebing.....	124
5.8	Operasi, Pemeliharaan, dan Pengamanan.....	124
5.8.1	Operasi.....	124
5.8.2	Pemeliharaan.....	135
5.8.3	Pengamanan terhadap Kerusakan Bendung.....	142

BAB VI PEMBAHASAN

6.1	Tinjauan Tubuh Bendung.....	145
6.1.1	Tinjauan Baut Angkur dan Plat Penjepit.....	145
6.1.2	Pengaruh Jarak dan Jumlah Angkur terhadap Gaya yang Bekerja pada Baut Angkur dan Plat penjepit.....	146
6.2	Tinjauan Pelaksanaan Pekerjaan.....	152
6.2.1	Kegiatan yang Perlu Diperhatikan pada Pelaksanaan Pekerjaan.....	152
6.2.2	Mencegah Kerusakan Akibat Banjir.....	153
6.2.3	Kelebihan dan Kelemahan Bendung Karet.....	154

BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan.....	156
7.2 Saran-saran.....	158
DAFTAR PUSTAKA.....	xxi
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Contoh Usaha Pengamanan, jika Elevasi Kenaikan Muka Air pada Bendung Lebih Tinggi dari Elevasi Dataran Sekitar Bendung.....	8
Gambar 2.2	Perlengkapan Bendung Karet.....	10
Gambar 2.3	Tinggi Baku dan Panjang Bendung.....	11
Gambar 2.4	Alat Pencegah Getaran Tipe Sirip Pengarah.....	14
Gambar 2.5	Alat Pencegah Getaran Tipe Sirip Penjungkit.....	15
Gambar 2.6	Grafik Besarnya Jumlah Gerusan terhadap Pengaruh Besarnya Kecepatan Aliran.....	16
Gambar 2.7	Lempeng Pengikat Satu Baris pada Penjepitan Baris Tunggal.....	17
Gambar 2.8	Lempeng Pengikat Dua Baris pada Penjepitan Baris Ganda...	17
Gambar 2.9	Bendung Karet Jenis Bersirip.....	18
Gambar 2.10	Bendung Karet Jenis Tanpa Sirip.....	18
Gambar 2.11	Contoh Pengangkuran.....	19
Gambar 3.1	Tinggi, dan Jepitan sisi pada Bendung	25
Gambar 3.2	Penambahan Sirip pada Bendung Karet.....	27
Gambar 3.3	Rencana Elevasi DWL dan NWL.....	27
Gambar 3.4	Gaya-gaya yang Bekerja pada Baut Angkur.....	29
Gambar 3.5	Gaya-gaya pada Plat Pengikat Bendung.....	31

Gambar 3.6	Koefisien Letak Geografis Berdasarkan Peta Zone Seismik untuk Perencanaan Bangunan Air Tahan Gempa.....	42
Gambar 3.7	Tiang Pancang sebagai Point Bearing dan Friction Pile.....	47
Gambar 3.8	Momen saat Pengangkatan Tiang Pancang.....	47
Gambar 3.9	Momen saat Pemasangan Tiang Pancang.....	48
Gambar 3.10	Diagram Perhitungan dari Intensitas Daya Dukung Ultimate Tanah Pondasi pada Ujung Tiang.....	55
Gambar 4.1	Rencana Tinggi dan Panjang Bendung.....	59
Gambar 4.2	Rencana Kedalaman Koperan.....	67
Gambar 4.3	Panjang Lantai Bendung.....	70
Gambar 4.4	Penempatan Tiang Penahan Rembesan.....	71
Gambar 4.5	Diagram Gaya Tekanan Sedimen.....	74
Gambar 4.6	Posisi titik tinjauan pada pondasi.....	79
Gambar 4.7	Gaya-gaya yang Terjadi pada Kondisi NWL.....	83
Gambar 4.8	Gaya-gaya yang Terjadi pada Kondisi DWL.....	85
Gambar 4.9	Gaya-gaya yang Terjadi pada Kondisi DFWL.....	87
Gambar 4.10	Diagram Tegangan Tanah.....	89
Gambar 4.11	Tegangan saat Pengangkatan.....	95
Gambar 4.12	Rencana Pondasi Bendung.....	99
Gambar 4.13	Rencana Abutment.....	101
Gambar 5.1	Bendung Pengelak Konstruksi Turap Baja.....	112
Gambar 5.2	Tahapan Pembangunan Bendung Elak Sementara.....	112

Gambar 5.3	Bendung Karet dibangun diatas Bangunan Lama dalam Keadaan Kembang.....	114
Gambar 5.4	Bendung Karet dibangun diatas Bangunan Lama dalam Keadaan Kempis.....	115
Gambar 5.5	Bendung Karet Jenis Bersirip.....	117
Gambar 5.6	Bendung Karet Jenis Tanpa Sirip.....	117
Gambar 5.7	Potongan Pemasangan Angkur Baut, Karet dan Plat Penjepit.	118
Gambar 5.8	Pemasangan Angkur dan Plat penjepit.....	119
Gambar 5.9	Detail Angkur Bendung Karet.....	120
Gambar 5.10	Gulungan Karet yang Dijepitkan pada Seluruh Permukaan Plat Baja dengan Bantuan Baut Angkur.....	121
Gambar 5.11	Detail Plat Penjepit, Angkur dan Jalan Udara.....	121
Gambar 5.12a	Skema Diagram Udara dan Metode Pengoperasian (Type A, Pengapung).....	127
Gambar 5.12b	Potongan Melintang Bendung Karet Type A.....	128
Gambar 5.12c	Denah dan Pandangan Hilir Bendung Karet Type A.....	129
Gambar 5.13a	Skema Diagram Udara dan Metode Pengoperasian (Type B, Tipe Timba).....	130
Gambar 5.13b	Potongan Melintang Bendung Karet Type B untuk Penjepit Satu Baris.....	131
Gambar 5.13c	Denah dan Pandangan Hilir Bendung Karet Type B untuk Penjepit Satu Baris.....	132

Gambar 5.13d	Potongan Melintang Bendung Karet Type B untuk Penjepit Dua Baris.....	133
Gambar 5.14	Skema Proses Pengempisan Badan Bendung.....	134
Gambar 5.15	Contoh Kerusakan Kecil pada Tubuh Bendung Akibat Tusukan atau Tembakan.....	136
Gambar 5.16	Contoh Perbaikan Sobekan Lubang Kecil pada Tubuh Bendung dengan Karet Penyumbat.....	136
Gambar 5.17	Contoh Perbaikan Sobekan Lebih dari 1 cm pada Tubuh Bendung.....	137
Gambar 5.18	Pengontrolan Tekanan Udara di Dalam Tubuh Bendung.....	140
Gambar 5.19	Susunan Peralatan Pengontrolan Tekanan Udara.....	141
Gambar 5.20	Pemasangan Trash Rack atau Kisi-kisi di Hulu Bendung Karet.....	143
Gambar 5.21	Skematis Bendung Karet.....	144
Gambar 6.1	Baut Angkur dan Plat Penjepit Bendung Karet.....	145
Gambar 6.2	Gaya-gaya pada Plat Penjepit.....	146
Gambar 6.3	Grafik Pengaruh Jarak Baut Angkur terhadap Besarnya Gaya yang Ditahan Baut Angkur.....	148
Gambar 6.4	Grafik Pengaruh Jarak Angkur terhadap Gaya yang Bekerja Akibat Tarikan Tubuh Bendung.....	148
Gambar 6.5	Grafik Pengaruh Jarak Angkur terhadap Tegangan pada Baut Angkur.....	148

Gambar 6.6	Grafik Pengaruh Jumlah Angkur terhadap Gaya Reaksi Persatuan Lebar pada Satu Plat penjepi.....	150
Gambar 6.7	Grafik Pengaruh Jumlah Angkur terhadap Bending Moment Maximum yang Terjadi pada Sumbu X-X pada Plat Penjepit.....	150
Gambar 6.8	Grafik Pengaruh Jumlah Angkur Dalam 1 Plat Penjepit terhadap Besarnya Tegangan Bengkok (<i>Bending Stress</i>).....	151

INTISARI

Salah satu usaha memanfaatkan sumber daya air di wilayah persungai adalah pembangunan bendung. Pemilihan jenis bendung berdasarkan klasifikasi fungsi, tujuan, dan beberapa keperluan yang direncanakan. Bendung gerak sering dipilih karena dapat mengatur debit dan tinggi muka air sungai. Pemilihan jenis bendung gerak dipertimbangkan terhadap analisis teknis, ekonomis, dan biaya operasional. Bendung karet adalah salah satu alternatif bendung gerak yang dikembangkan di Indonesia. Dari pertimbangan teknis dan biaya operasional bendung karet akan lebih baik dibandingkan bendung gerak tipe yang lainnya.

Bendung karet dapat dikembungkempiskan. Badan bendung dikembungkan melalui hembusan udara dengan menghidupkan mesin yang ada di rumah kontrol (*Control House*), setelah dikembungkan akan menyerupai tabung karet dengan bagian bawah terikat pondasi dan bagian samping terikat tebing sungai atau pilar. Sistem pengempisan secara otomatis berdasarkan gerakan ember pelampung. Pada saat kondisi muka air hulu berada pada ambang batas banjir, maka lubang pipa yang menghubungkan ketinggian air di hulu akan terisi air, dan tuas katub akan bergerak dan pelampung terangkat, otomatis katub akan terbuka dan badan bendung akan mengempis. Katub akan menutup jika pelampung turun, dan pelampung akan turun saat muka air hulu sudah tidak berada pada ambang batasan banjir. Dengan mengatur ketinggian muka air saat banjir maka tanggul dibagian hulu tidak setinggi tanggul banjir pada bendung tetap.

Perencanaan pondasi bendung karet direncanakan aman terhadap stabilitas terhadap penggulingan, penggeseran, rembesan dan gerusan. Kekuatan badan bendung karet dipengaruhi oleh kekuatan baut angkur dan kekuatan plat penjepit. Kekuatan baut angkur ditentukan oleh gaya yang bekerja pada baut angkur dan dipengaruhi oleh tegangan pada baut angkur serta faktor keamanan (*SF*). Sedangkan kekuatan plat penjepit ditentukan oleh *bending moment* maksimum pada sumbu memanjang dan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi dan faktor keamanan (*SF*).

Hasil perhitungan jumlah baut angkur dan plat penjepit dengan memperhitungkan gaya pengangkutan (F_a) 4800 kg, gaya tarikan karet (T) 34,375 kg/cm, dan luas penampang baut angkur (A_b) 4,515 cm², ternyata menghasilkan nilai paling efisiensi untuk jarak angkur 20 cm dengan jumlah angkur 6 buah per plat dan digunakan ukuran plat penjepit panjang 120 cm. Panjang jarak angkur akan mempengaruhi besarnya gaya yang ditahan setiap angkur, semakin banyak angkur akan memperkuat plat penjepit menahan tarikan karet badan bendung. Jarak angkur harus diperhitungkan dengan angka aman agar tidak terlalu dekat karena dapat menimbulkan daerah retak pada penampang plat penjepit.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara agraris, yang sebagian penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Untuk itu diperlukan pengelolaan sumber daya air untuk kebutuhan pengairan yang memadai. Dalam rangka memenuhi kebutuhan sumber daya air yang semakin besar dan meningkat. Pemerintah berusaha meningkatkan sarana fisik penunjang ketersediaan kebutuhan sumber daya air. Salah satunya adalah perbaikan bangunan sungai dan pengaturannya yang juga merupakan sarana penunjang bagi sektor-sektor lainnya, seperti pertanian, industri, pariwisata, dan lingkungan hidup.

Prasarana penyediaan air yang ada belum memadai dan masih jauh dari kebutuhan saat ini maupun dimasa mendatang. Masalah sumber daya air yang dihadapi oleh daerah yang terdapat disisi kanan dan kiri sepanjang wilayah sungai umumnya masalah banjir di musim hujan dan kekeringan di musim kemarau. Untuk mengatasi biasanya diupayakan bangunan waduk penampungan air sungai, tetapi diketahui bahwa biaya pembangunan waduk cukup besar. Pembangunan waduk perlu ditinjau waktu, biaya, dan masalah sosial lainnya, karena itu perlu dicari pemecahan masalah prioritas dalam waktu dekat. Untuk mengatasi masalah tersebut dalam waktu dekat sampai jangka waktu menengah alternatif

pembangunan bendung gerak disepanjang wilayah sungai perlu dipertimbangkan, guna mendapatkan tampungan air memanjang (*long storage*).

Pemilihan tipe bendung gerak harus dipertimbangkan dari sudut teknis dan ekonomis. Dari pertimbangan teknis dan biaya operasional ternyata bendung karet akan lebih baik dari bendung gerak tipe lainnya. Tetapi bagaimanapun juga sebuah bendung karet harus dipertimbangkan segi kekuatan dan umur perencanaan, karena badan bendung rentan terhadap kerusakan akibat rusaknya lapisan karet. Teknologi bendung karet pada saat ini masih relatif baru, karena itu studi masalah perencanaan dan metoda pelaksanaan perlu dikembangkan.

1.2 Tujuan

Tujuan dari studi perencanaan dan metoda pelaksanaan teknologi bendung karet adalah :

1. mengenalkan sistem bendung gerak tipe bendung karet sebagai salah satu alternatif dalam mengatasi masalah ketersediaan air di wilayah persungai ditinjau dari segi ekonomis dan kemudahan pelaksanaannya,
2. mempelajari perencanaan bendung karet tipe pengisian udara,
3. mempelajari metoda pelaksanaan pembuatan bendung karet.

1.3 Ruang Lingkup dan Batasan

Perencanaan dan metoda pelaksanaan pada teknologi bendung karet yang akan dibahas dibatasi oleh ketentuan-ketentuan sebagai berikut :

1. Tipe bendung karet adalah sistem bendung karet pengisian udara.

2. Disain perencanaan dititikberatkan pada perencanaan sub struktur bangunan, sedangkan biaya dan parameter hidrologi yang berpengaruh dalam perencanaan tidak dibahas.
3. Metoda pelaksanaan dititikberatkan pada pelaksanaan pekerjaan pemasangan karet, untuk pekerjaan struktur pendukung lainnya hanya dibahas secara garis besar.
4. Bendung karet yang direncanakan merupakan bendung dengan bentang kecil, yakni antara 20 sampai dengan 50 meter.

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Pengertian Bendung

Bendung pada umumnya merupakan bangunan yang dibuat untuk menahan atau menaikkan muka air, dengan tujuan agar air dapat dinaikkan ke tempat yang jauh atau mendapatkan volume air tertentu di palung sungai yang akan dipakai untuk beberapa keperluan yang direncanakan. Bendung dapat dibagi menjadi dua klasifikasi, yakni berdasarkan fungsi dan tipe konstruksinya.

Klasifikasi bendung berdasarkan fungsi terdiri dari bendung pembagi banjir, penahan air pasang, penyadap, dan bendung tipe khusus. Bendung pembagi banjir dibangun pada percabangan sungai untuk mengatur muka air, sehingga terjadi pemisahan antara debit banjir dan debit rendah sesuai dengan kapasitas yang telah ditetapkan sebelumnya. Bendung penahan air pasang dibangun di bagian sungai yang dipengaruhi pasang surut air laut untuk mencegah masuknya air asin dan untuk menjamin agar aliran air sungai senantiasa dalam keadaan normal. Bendung penyadap dibangun di dalam sungai guna untuk memudahkan penyadapan airnya untuk keperluan air minum, air perkotaan, air irigasi, dan pembangkit tenaga listrik. Terdapat pula beberapa tipe khusus, antara lain bendung untuk mengatur muka air debit sungai, bendung yang berfungsi sebagai ambang untuk mencegah turunnya dasar sungai yang biasanya dibangun pada

suatu saluran pembuang, saluran banjir atau sudetan, bendung untuk menjaga dasar sungai pada kedalaman tertentu yang diperlukan bagi lalu lintas sungai, dan bendung serbaguna lainnya.

Klasifikasi bendung berdasarkan tipe konstruksi terdiri dari bendung tetap dan bendung gerak. Bendung tetap tidak dapat mengatur tinggi debit air sungai, mempunyai konstruksi tetap tak dapat digerakkan, dengan ciri-ciri mempunyai pelimpah dan air yang tak diperlukan melimpah di atasnya. Pada waktu banjir muka air naik mengikuti ketinggian air yang melimpah di atas mercu, sehingga perlu dibangun tanggul banjir dibagian hulu. Bendung gerak dapat dipergunakan untuk mengatur tinggi dan debit air sungai dengan pembukaan pintu-pintu yang terdapat pada bendung tersebut, atau dengan mengatur ketinggian badan bendung. Bendung gerak mempunyai bagian yang bisa digerakkan, berupa pintu air atau tubuh bendung. Ketinggian muka air banjir dapat dikendalikan dengan membuka pintu atau menurunkan badan bendung. Demikian pula pada musim kemarau muka air dapat dinaikkan dengan menutup pintu-pintu atau menaikkan mercu badan bendung. Dengan mengatur tinggi muka air saat banjir maka tanggul dibagian hulu tidak setinggi tanggul banjir pada bendung tetap.

Sistem pengoperasian bendung gerak diantaranya bergerak sendiri dan digerakkan . Bendung gerak akan bergerak sendiri pada saat muka air mencapai ketinggian tertentu. Sistem pengoperasian yang lain adalah digerakkan dengan tenaga manusia atau dibantu dengan peralatan tertentu. Cara melewatkan air pada muka air tinggi yaitu dengan merebahkan, menggeser, atau mengangkat dari bagian bangunan yang berfungsi sebagai bendung. Bendung karet termasuk tipe

bendung gerak dengan badan bendung terbuat dari gabungan benang nylon dan karet. Pengoperasiannya dengan dikembangkan dengan pompa kompresor dan mengempis secara otomatis bila air telah mencapai ketinggian tertentu.

2.2 Disain Bendung

2.2.1 Penelitian yang diperlukan

Dalam rangka disain bendung dilakukan penelitian untuk mengumpulkan data dasar selengkapnya, sehingga dapat diketahui kondisi lokasi tempat kedudukan bendung. Data yang diperlukan adalah data mengenai cuaca, topografi, dan mekanika tanah. Melalui berbagai penelitian pada lokasi kedudukan bendung rencana, maka dapat diperoleh data sebagai berikut :

- a. Data hujan daerah pengaliran dan data debit sungai yang bersangkutan.
- b. Data tata guna tanah di daerah pengaliran dan data rencana perubahan tata guna tanah di masa mendatang.
- c. Variasi sekuler (pergeseran) dasar sungai di sekitar rencana tempat kedudukan bendung, perubahan bentuk alur sungai dan kapasitas sedimen yang melintasinya.
- d. Data geologi, mekanika tanah dan muka air tanah sekitar rencana tempat kedudukan bendung.
- e. Bentuk dan tipe pondasi bangunan-bangunan yang sudah didirikan.
- f. Data jumlah air sungai yang sudah dimanfaatkan dan perspektifnya di masa mendatang.

- g. Data mengenai ukuran, jumlah dan data lainnya mengenai kapal-kapal yang berlayar melalui sungai pada waktu kondisi sekarang dan proyeksi di masa mendatang.
- h. Data jenis ikan yang telah ada dan kemungkinan pengembangan.
- i. Kemungkinan data yang lain yang diperlukan.

Penelitian tersebut dilakukan untuk mengumpulkan dan mencatat data dasar untuk pembuatan rencana bangunan. Rencana bendung adalah permulaan dari analisa dasar dan sudah mencakup perkiraan bentuk dan dimensi bendung secara kasar dan perkiraan-perkiraan biayanya serta jangka waktu pelaksanaannya.

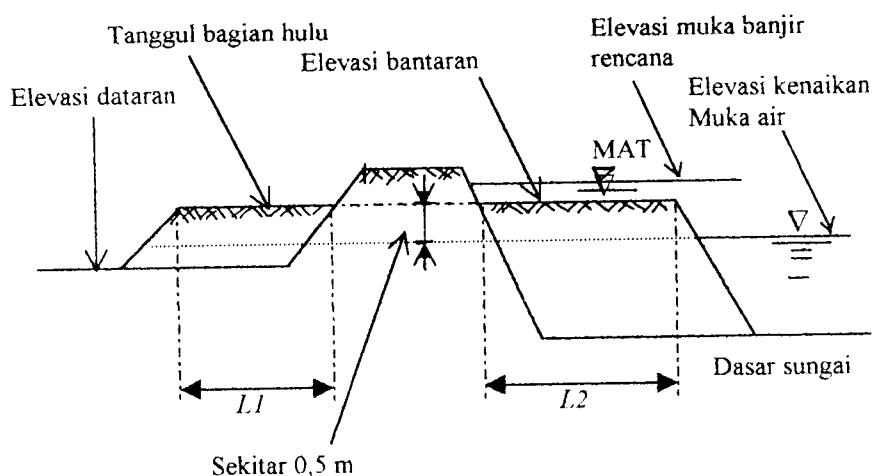
2.2.2 Pemilihan tempat kedudukan bendung

Pada hakekatnya antara kegiatan pengendalian banjir dan pemanfaatan potensi sungai saling berkaitan erat, dengan demikian merencanakan bendung pada sebuah sungai harus dengan sungguh-sungguh memperhatikan pula kaitannya dengan bangunan-bangunan persungai lainnya baik yang sudah didirikan ataupun yang sedang direncanakan, sehingga dalam penentuan tempat kedudukan, formasi dan dimensi bendung supaya diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- a. Bendung diusahakan ditempatkan pada ruas sungai yang lurus dengan penampang yang konstan, dengan perubahan kecepatan arus tidak terlalu drastis.
- b. Bendung supaya ditempatkan pada ruas sungai yang alurnya stabil dan perubahan dasar sungai tidak menyolok

- c. Pengaruh air balik (*back water*) akibat bendung diusahakan tidak terlalu jauh ke hulu.
- d. Bendung sebaiknya terletak pada tanah pondasi baik.

Tinggi aliran rencana yang melintasi bendung dianjurkan tidak melebihi tinggi dataran di kanan-kiri sungai dan sebaiknya tidak kurang dari 50 Cm di bawah elevasi bantaran. Contoh pengamanan yang dilakukan apabila tinggi air yang melintasi mercu bendung lebih tinggi dari elevasi permukaan tanah dan permukaan tanggul senantiasa mengalami tekanan air diperlihatkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh usaha pengamanan, jika elevasi kenaikan muka air pada bendung lebih tinggi dari elevasi dataran sekitar bendung, maka tanggul senantiasa akan menerima tekanan air

Bentangan bendung gerak harus diperhitungkan sedemikian agar arus banjir dapat melintasi bendung secara aman. Bentangan standar yang digunakan oleh perencanaan bendung di Jepang sesuai tabel 2.1.

Tabel 2.1 Debit banjir rencana dan bentangan bendung gerak

Debit banjir rencana (m ³ /detik)	Bentangan (m)
<500	15
500-2000	20
2000-4000	30
Bentangan pada alur sungai debit >4000	40
Bentangan pada bagian lain >4000	30

Sumber : Perbaikan dan Pengaturan Sungai, Suyono Sosrodarsono (1994)

2.2.3 Disain bendung gerak

Disain bendung gerak bermacam-macam tergantung tipe bendung gerak tersebut. Untuk bendung gerak tipe pintu air terdiri dari lantai, pilar bendung, pilar pintu, daun pintu, mekanisme pengatur pintu, panel pengatur pintu, ruang operasi pintu dan jembatan inspeksi. Untuk bendung tipe klep yang dioperasikan secara hidrolis, peralatan hidroliknya dipasang di pilar bendung. Untuk bendung tipe karet ada peralatan operasi untuk memompa udara ke tubuh bendung. Lantai pondasi dan pilar bendung gerak biasanya dari beton bertulang dan aman terhadap bahaya gelincir, guling, dan geser.

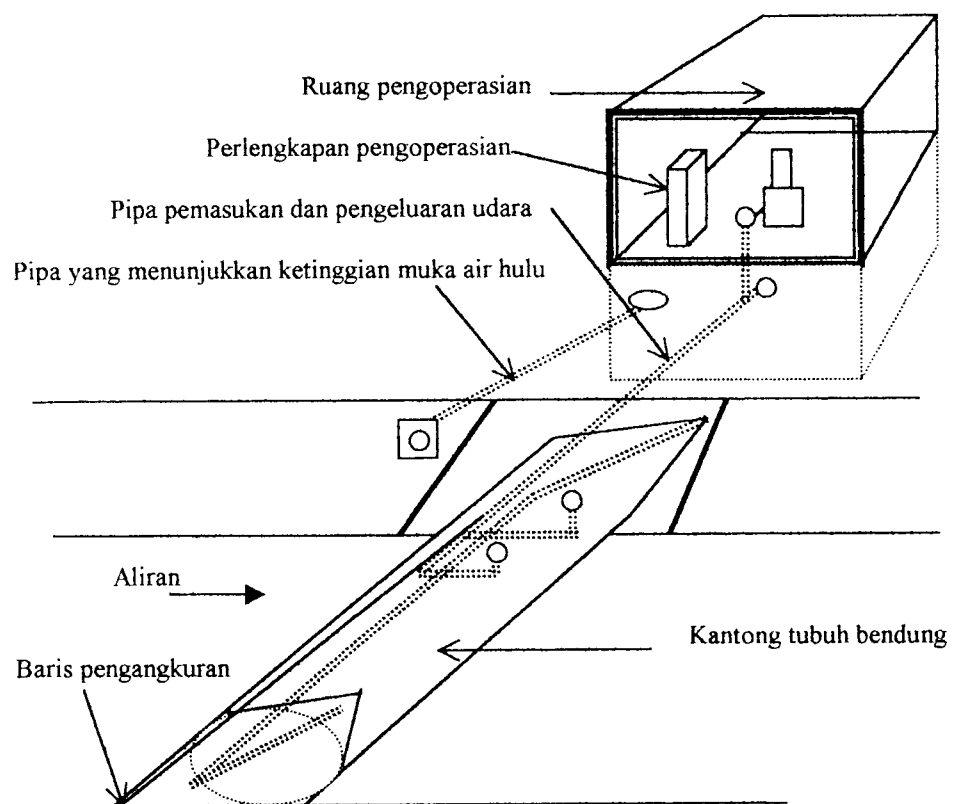
2.3 Bendung Karet

2.3.1. Umum

Bendung karet merupakan salah satu jenis bendung gerak, dengan badan bendung dapat dikembungkempiskan dan terbuat dari karet yang diperkuat dengan benang-benang nylon. Badan bendung dikembungkan dengan menghembuskan udara dengan menghidupkan mesin yang ada di rumah kontrol (*Control House*), atau dengan mengalirkan air kedalam badan bendung, setelah dikembungkan akan menyerupai tabung karet dengan bagian bawah terikat pondasi dan bagian samping terikat tebing sungai atau pilar.

2.3.2. Susunan Perlengkapan Bendung Karet

Susunan perlengkapan bendung karet terdiri badan bendung yang terbuat dari karet dengan benang-benang nylon, plat beserta baut dan mur pengikat badan bendung ke pondasi dasar dan ke tebing sungai, dan sistem peralatan pengoperasian untuk mengembangkan dan mengempiskan karet termasuk pipa-pipa, katub-katub udara atau air serta peralatan lainnya. Sistem pengoperasiannya berada pada bilik pengoperasian atau rumah kontrol. Susunan perlengkapan bendung karet ditunjukkan pada gambar 2.2.



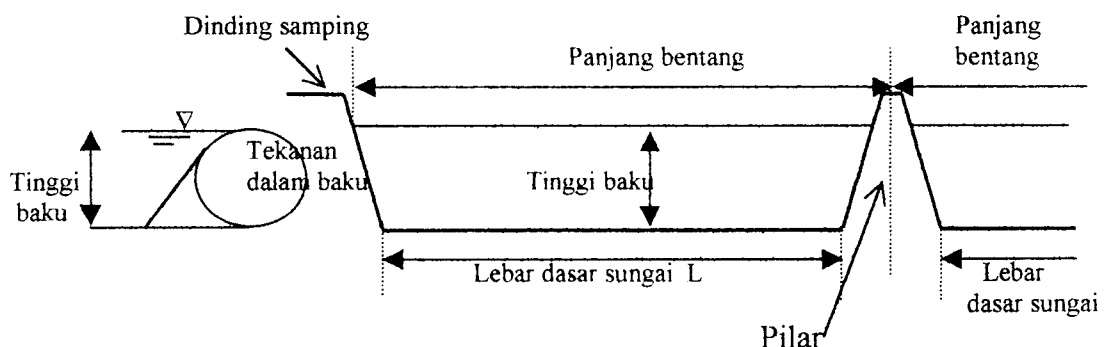
Gambar 2.2. Perlengkapan bendung karet

2.3.3 Tinggi dan Bentangan

Bendung karet merupakan konstruksi yang luwes (fleksibel). Perubahan bentuk akibat tekanan dalam, perubahan muka air di bagian hulu dan hilirnya akan menyebabkan perubahan tinggi mercu, sehingga istilah tinggi bendung disini harus jelas, pada keadaan yang mana tingginya dianggap baku (standar). Bendung karet bagian tepinya dipasang pada tebing kanan dan kiri sungai, jadi bentangnya adalah tetap.

2.3.4. Tinggi bendung.

Tinggi baku (standar) bendung karet adalah dalam keadaan air di bagian hulu setinggi mercu bendung dan bagian hilir pada keadaan kosong. Dalam keadaan tersebut tinggi mercu merupakan tinggi baku (standar) bila tekanan di dalam bendung mencapai tekanan baku (standar), yaitu setinggi tekanan air terbungung. Sebagai contoh bila tinggi air 1 m maka tekanan dalam mendekati $0,1 \text{ kg gaya/cm}^2$.



Gambar 2.3. Tinggi baku dan panjang bendung

2.3.5. Pengisi Badan Bendung

Pengisi badan bendung karet dapat berupa air, udara, atau gabungan dari keduanya. Pemilihan jenis pengisi yang dipakai dipertimbangkan terhadap sifat tiap jenis dan keadaan setempat, yakni :

1. Keadaan alam lokasi rencana bangunan bendung karet, antara lain suhu, geologi, aliran sungai, mutu air, dan sedimen.
2. Tujuan pembangunan dan aturan pengoperasian pekerjaan yang diperlukan serta jangka waktu pengoperasian.
3. Pemeliharaan dan pengelolaan.
4. Biaya.

2.3.6 Koefisien Debit

Koefisien debit bendung karet berbeda-beda, tergantung pada tinggi muka air di bagian hulu dan bagian hilirnya, tekanan dalam, pengisian, dan cara mengikat pada sisi samping atau tebing sungai. Sebagai satu alat ukur untuk koefisien debit pada bendung karet biasanya dipakai rumus empiris dari percobaan-percobaan yang dikerjakan dengan $P/H = 1,0-2,0$ untuk yang diisi udara dan $P/H = 1,5-2,5$ untuk yang diisi air.

Rumus empiris koefisien debit bendung karet adalah :

1. Peluap sempurna

$$Q = C \cdot B \cdot h^{3/2} \quad (2.1)$$

Jenis yang diisi udara :

$$C = 1,77 \cdot h/H + 1,05 \text{ dimana } 0 < h/H < 0,6 \quad (2.2)$$

Jenis yang diisi air :

$$C = 1,37 \cdot \frac{h}{H} + 0,96 \text{ dengan } 0 < \frac{h}{H} < 1,0 \quad (2.3)$$

2. Peluap tak sempurna

$$Q = C' \cdot B \cdot h^{3/2} \quad (2.4)$$

$$C' = \left(-0,2 \cdot \frac{hd - H}{h} + 1,1 \right) \cdot C \text{ dengan } 0,5 \leq \frac{hd - H}{h} < 0,85 \quad (2.5)$$

3. Peluap menyelam

$$Q = C'' \cdot B \cdot h^{3/2} \quad (2.6)$$

$$C'' = \left(2,82 \cdot \frac{hd - H}{h} \right) \cdot \sqrt{1 - \frac{hd - H}{h}} \cdot C \text{ dengan } 0,5 \leq \frac{hd - H}{h} < 0,85 \quad (2.7)$$

Dengan :

Q = debit (m³/detik)

C, C', C'' = koefisien debit

B = lebar peluapan (m)

H = tinggi bendung (m)

h = tinggi peluapan (m)

hd = kedalaman air di hilir (m)

2.3.7 Getaran Badan Bendung

Getaran badan bendung timbul pada waktu terjadi peluapan pada saat muka air naik. Peningkatan getaran badan bendung mendekati fluktuasi tegangan pada kulit badan bendung yang naik turun sekitar 10 %. Umumnya bila tegangan dalam badan bendung makin tinggi makin sulit untuk bergetar dan untuk bendung yang berisi air makin tinggi air bagian hilir makin mudah bergetar.

Peluapan tertinggi pada bendung berisi udara sebesar $h = 0,2 \cdot H$,
sedangkan yang berisi air $h = 0,5 \cdot H$, atau :

$$h = 0,4 \cdot H \text{ untuk } (P/H = 2,5 - 3,0)$$

$$h = 0,3 \cdot H \text{ untuk } (P/H = 2,0 - 2,5)$$

$$h = 0,2 \cdot H \text{ untuk } (P/H = 1,5 - 2,0)$$

dengan :

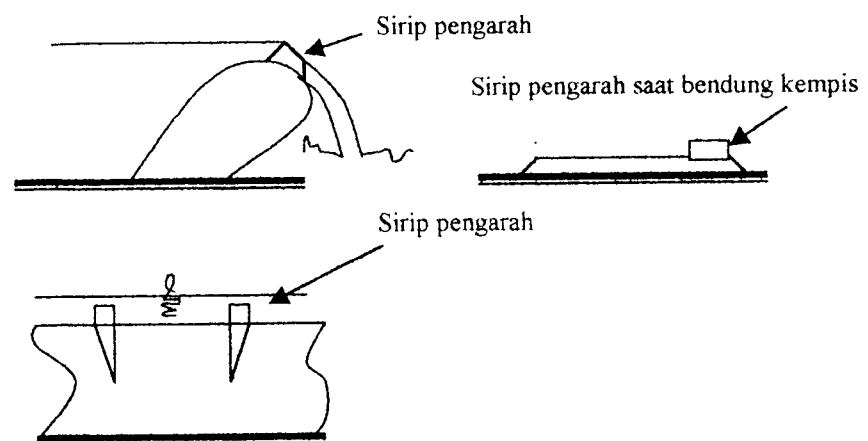
h = tinggi peluapan (m)

H = tinggi bendung (m)

P = tekanan air dalam badan bendung (m)

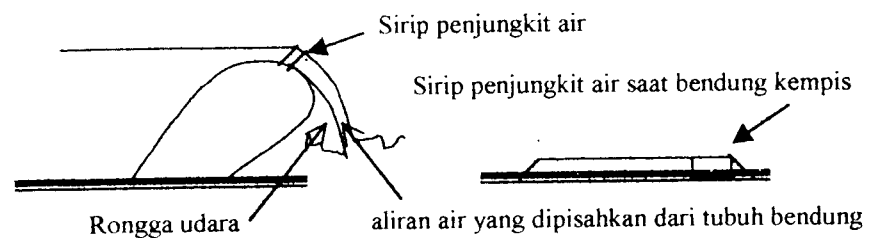
Dalam keadaan air yang meluap tertinggi lebih dari ketentuan di atas dan dikhawatirkan akan timbul getaran maka perlu disediakan alat pencegah getaran. Alat tersebut dapat berupa sirip pengarah. Sirip pengarah ditunjukkan pada gambar 2.4 dan 2.5.

Tipe sirip pengarah



Gambar 2.4 Contoh alat pencegah getaran tipe sirip pengarah

Tipe penjungkit



Gambar 2.5. Contoh alat pencegah getaran tipe sirip penjungkit

2.3.8 Akibat Gerusan

Rumus atau teori yang digunakan untuk menghitung lecet-lecet atau goresan pada badan bendung akibat benturan batu, kerikil tajam, pasir dan benda-benda tajam dalam aliran sungai belum ada. Untuk itu dipakai data pengujian secara empiris dan pengalaman yang dipublikasikan sampai saat ini. Data berbagai pengujian dilapangan dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$W = k \cdot d_{50} \cdot V^2 \cdot q \quad (2.8)$$

Dengan :

W = jumlah gerusan (mm)

d_{50} = diameter butiran pasir diambil diameter nilai tengah butiran (mm)

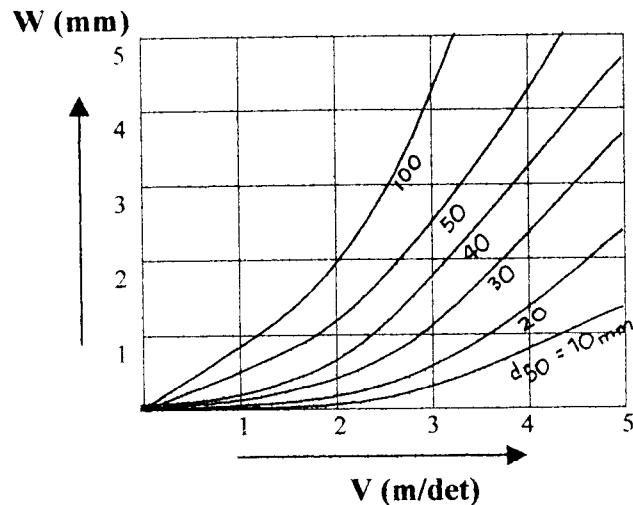
V = kecepatan aliran (m/det)

q = debit aliran per meter lebar (m^2/det)

k = koefisien gerusan

Koefisien “k” dipengaruhi oleh ketajaman kerikil atau batu. Dari uji lapangan yang dilakukan di sungai Peinan Taiwan, maka dapat digunakan nilai $k = 9 \times 10^{-9}$. Grafik dibawah ini menunjukkan jumlah gerusan pada badan

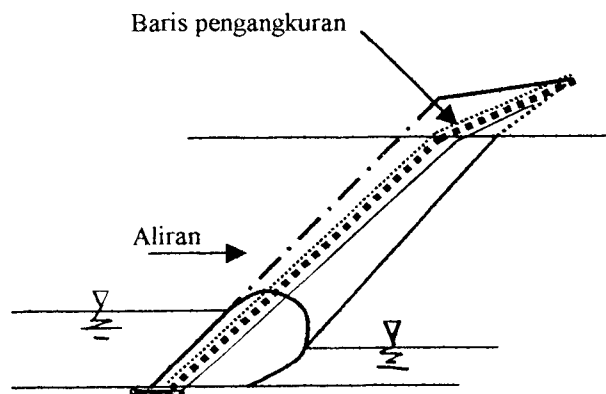
bendung dengan asumsi angkutan sedimen pasir sebesar 5000 meter kubik per meter lebar sungai per tahunnya dan umur bendung adalah 30 tahun, sehingga selama itu telah diangkut 150.000 meter kubik / meter lebar.



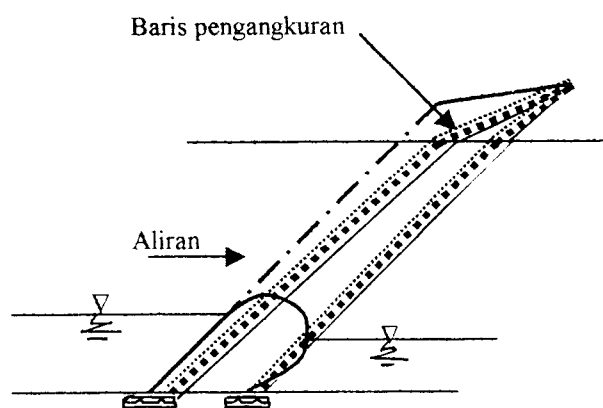
Gambar 2.6 : Grafik besarnya jumlah gerusan terhadap pengaruh besarnya kecepatan aliran

2.3.9 Cara Pemasangan

Cara pemasangan badan bendung yaitu dengan lempeng pengikat (klemp) yang menekan karet kulit badan bendung ke pondasi dan tebing sungai dalam satu baris atau dua baris lempeng penekan tersebut. Untuk bendung yang digunakan untuk menahan air pasang atau instruksi air laut karena menderita tekanan dari dua arah maka perlu dipasang dengan dua baris lempeng pengikat (klemp). Letak posisi pemasangan lempeng pengikat ditunjukkan pada gambar 2.7 dan 2.8.



Gambar 2.7. Lempeng pengikat satu baris dengan penjepitan Baris tunggal



Gambar 2.8. Lempeng pengikat dua baris dengan penjepitan Baris ganda

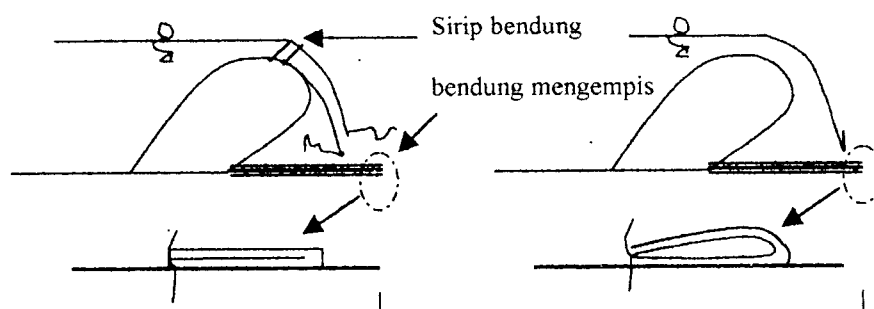
2.3.10 Badan Bendung dan Lempeng Logam Penjepit

1. Badan Bendung

Badan bendung terbuat dari karet tipis dilapisi anyaman atau kanvas nylon. Anyaman bekerja menahan regangan yang disebabkan oleh tekanan dari dalam dan tekanan air dari luar. Anyaman atau kanvas selain terbuat dari nylon dapat pula dibuat atau dicampuri bahan lainnya sesuai dengan tujuan bangunan dan keadaan setempat. Lapisan karet menjaga agar tetap kedap udara atau air dan melindungi anyaman. Karet yang dipakai dibuat tahan terhadap cuaca, ozon, air

tawar, air asin, dibuat kedap air dan kedap udara, dan lain-lain kemampuan yang membuat bendung karet awet.

Bentuk badan bendung berbeda-beda tergantung dari cara pembuatannya. Secara garis besar ada dua bentuk, yaitu yang menggunakan sirip dan tanpa sirip atau bentuk terusan. Badan bendung yang bersirip pada waktu kempes dapat rata dengan dasar sungai dan siripnya akan terletak lurus dan waktu mengembang menjadi alat pencegah getaran seperti tampak pada gambar 2.9. Badan bendung tanpa sirip pada waktu mengembang bentuknya membulat dan waktu mengempis pada ujung badan bendung terbentuk lipatan seperti pada gambar 2.10.



Gambar 2.9 Jenis bersirip

Gambar 2.10 Jenis tanpa sirip

Dinding badan bendung bersirip relatif lebih tebal, sedangkan yang tidak bersirip relatif tipis seperti tercantum pada tabel 2.2 dan 2.3.

Tabel 2.2. Badan bendung bersirip

Tinggi bendung (m)	Ketebalan (mm)	Jumlah lapisan	Kuat regangan (Kg/cm)	Berat (Kg/m ³)
1.0	10.0	2	200	13
1.1-1.6	11.5	2	200	14
1.7-2.4	12.5	2	390	16
2.5-2.9	14.5	2	450	18
3.0-3.4	16.5	2	650	21
3.5-4.0	16.5	2	900	21
4.1-5.0	16.5	2	1.200	21
5.1-6.0	18.5	2	2.000	23

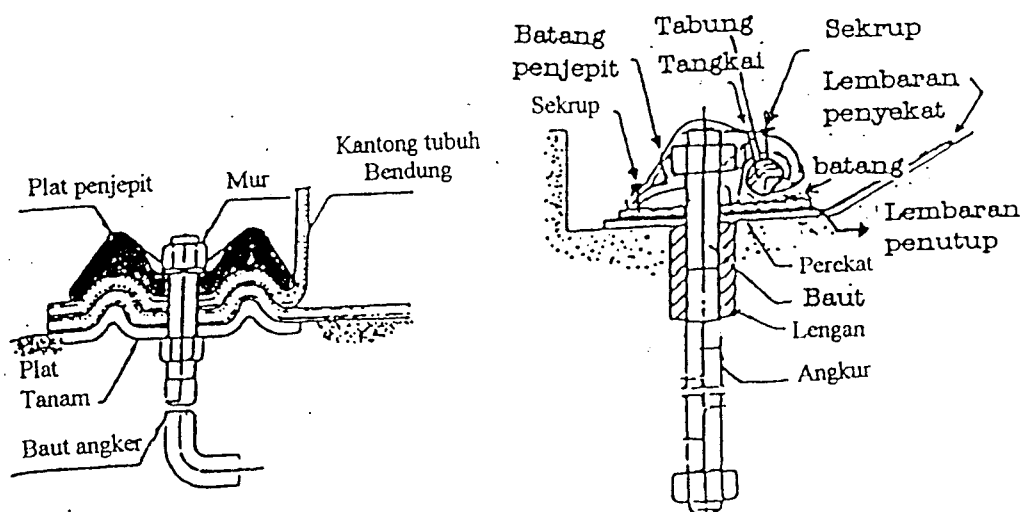
Tabel 2.3. Badan bendung tanpa sirip

Tinggi bendung (m)	Ketebalan (mm)	Jumlah lapisan	Kuat regangan (Kg/cm)	Berat (Kg/m ³)
2.0	4.1	2	250	6
2.1-3.0	5.5	3	430	8
3.1-4.0	9.0	3	900	13
5.0-7.0	16.0	3	2.000	19

Sumber : Bendung Karet Kembang Kempis Serbaguna, Sudjarwo (1993)

2. Logam Penahan / Penjepit

Badan bendung dilekatkan dengan pondasi dan tebing sungai menggunakan logam-logam jepit yang ditanam pada beton pondasi pada dasar sungai dan tebing. Logam-logam tersebut ada yang tertanam dalam beton berupa baut jangkar, lempeng logam yang menekan kulit badan bendung, dan mur yang menekan lempengan. Logam penahan dibuat dari baja yang dilapisi (*galvaniz*) atau baja tahan karat dipakai bila di daerah pantai atau air yang mudah membuat karat. Contoh bentuk dan cara penempatan badan bendung menggunakan angkur, lempengan, dan baut, dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11. Contoh pengankuran

2.3.11 Peralatan

1. Alat Pengembung

Alat pengembung memasukkan udara atau air ke dalam badan bendung. Untuk jenis yang berisi udara dapat menggunakan pompa udara atau kompresor, sedangkan yang berisi air menggunakan pompa air. Perlengkapan yang lain adalah pipa-pipa dan katub-katub. Waktu yang digunakan untuk mengembungkan tergantung ukuran badan bendung dan jenis pompa yang dipakai normalnya antara 10 menit sampai 1 jam.

2. Alat Pengempis

Alat pengempis mengeluarkan udara dari badan bendung dan mengempiskan badan bendung. Alat pengempis otomatis bekerja dengan digerakkan oleh pelampung atau ember yang berisi air. Alat-alat ini dihubungkan dengan muka air dibagian hulu. Pada jenis pelampung bekerjanya karena pelampung yang ada didalam bilik terangkat oleh air dan menggerakkan tuas katub selama pelampung terangkat katub terbuka dan badan bendung mengempis. Katub akan menutup bila pelampung turun di tempat semula. Pada jenis ember bila ember terisi air menjadi berat, menggerakkan tuas katub, maka udara dari bawah bendung dan mengempis. Air dalam ember akan keluar kembali melalui pipa air luwes (fleksibel), bila air turun dan ember terangkat oleh pegas maka katub menutup kembali.

Untuk pengaman ada peralatan tambahan yang digerakkan dengan tenaga listrik. Bila muka air mencapai tinggi tertentu karena suatu sebab katub yang dihubungkan dengan muka air tidak mau membuka, ada katub lain yang

digerakkan dengan listrik akan segera membuka. Ada katub lain yang digerakkan dengan tenaga manusia apabila kedua sistem gagal, ketiga-tiganya adalah satu sistem keamanan. Waktu pengempisan umumnya adalah dari 10 menit sampai dengan 1 jam untuk memberikan waktu penyesuaian aliran air di bagian hulu dan hilir bendung.

3. Alat Pengaman

Ada alat pengaman untuk mencegah kerusakan akibat kelebihan tekanan dalam badan bendung dan alat pengempis otomatis bila terjadi kegagalan pada sistem pengempisan hidrolis. Alat pengaman difungsikan untuk menjaga keawetan dan bekerjanya tubuh bendung.

4. Perpipa

Perpipa dihubungkan dengan badan bendung dan bilik operasi diantaranya pipa pemasukan, pipa pengempisan, pemantauan tekanan dalam badan bendung, pipa drainasi, pipa pemantauan muka air hulu dan pipa pengeluaran air untuk jenis yang diisi air.

2.3.12 Perbandingan Antara Bendung Karet Isi Udara dan Isi Air

Perbandingan antara bendung karet yang berisi air dan yang berisi udara ditinjau dari beberapa segi dapat dilihat dari tabel 2.3, yang disarikan dari Standar Teknik *Rubber Dam* dari Departemen Pembangunan Jepang.

Tabel 2.3 Perbandingan bendung karet berisi air dan udara

Uraian	Bendung karet berisi udara	nilai	Bendung karet berisi air	Nilai
Temperatur	Tekanan udara didalam tubuh bendung berubah-ubah pada daerah dengan perubahan temperatur yang besar antara siang dan malam	Δ	Air didalam tubuh bendung volumenya akan berubah-ubah, karena air tidak dapat ditahan maka badan bendung akan membesar/menciut dan semua gaya ditahan oleh badan bendung.	Δ
Beban pondasi	Lebih ringan cocok untuk dasar yang lembek	O	Lebih berat kurang cocok untuk dasar yang lembek.	□
Penyediaan air / udara	Tidak diperlukan peralatan khusus	O	Diperlukan tandon air dan saluran penangkap pasir, biaya pekerjaan sipil lebih besar	□
Keliling tubuh bendung	Sekitar 3.5 x tinggi bendung dalam keadaan kembang sempurna	O	Sekitar 4.8 x tinggi bendung dalam keadaan kembang sempurna	□
Ukuran pondasi dasar sungai	Lebih sempit, biaya pekerjaan sipil lebih kecil	O	Lebih besar, biaya pekerjaan sipil lebih besar	□
Tinggi limpasan	Max 0,2 x H, Untuk pelimpasan lebih besar lagi (max 0.4 x H) diperlukan konstruksi sirip	□	Max + 0.5 x H	O
Stabilitas terhadap bentuk tubuh	Pengaruh dari V-notch (penyempitan berbentuk V) dapat terjadi saat bendung dikempiskan.	□	Distribusi/ Penyebaran yang merata dan tekanan air di dalam tubuh bendung akan membentuk permukaan yang datar sepanjang mercu bendung.	O
Kontrol terhadap debit limpasan	Biasanya sulit jika V Notch terjadi	Δ	Masih mungkin untuk kondisi tertentu	Δ

Uraian	Bendung karet berisi udara	Nilai	Bendung karet berisi air	Nilai
Waktu pengembangan dan pengempisan	Lebih singkat 1. Kebutuhan daya pompa lebih kecil 2. Biaya perawatan lebih kecil 3. Lebih aman terhadap kejadian banjir mendadak	O	Lebih lama 1. Kebutuhan daya pompa lebih besar 2. Biaya perawatan lebih besar 3. Kurang aman terhadap kejadian banjir mendadak	□
Peralatan pipa untuk pengembangan dan pengempisan	1. Tidak macet atau tersumbat 2. Kemungkinan korosi lebih kecil	O	1. Mudah tersumbat oleh pasir dan lumpur dari tandon penyedia air 2. Lebih mudah terjadi korosi karena air 3. Diperlukan peralatan secara teratur (biaya perawatan lebih mahal)	□
Kebocoran tubuh bendung	Mudah terjadi	Δ	Lebih mudah terjadi	Δ
Biaya kulit tubuh bendung	Lebih kecil karena keliling lebih pendek	O	Lebih besar karena keliling lebih panjang	□
Biaya pipa-pipa dan pompa	Lebih kecil karena tekanan kerja lebih rendah	O	Lebih besar karena tekanan kerja lebih tinggi	□
Biaya pekerjaan sipil	Lebih kecil	O	Lebih besar karena dibutuhkan volume beton lebih besar dan kolam tandon air	□
Biaya perawatan	Lebih kecil	O	Lebih besar	□

Keterangan

- Δ = Tidak dianjurkan
 O = Lebih dianjurkan
 □ = Disesuaikan dengan kondisi

BAB III

DASAR-DASAR PERENCANAAN

3.1 Umum

Pada perencanaan bendung karet terutama perencanaan *sub structure* berbeda dengan perencanaan bendung gerak lainnya, dikarenakan perbedaan bahan dasar utama pembuat bendung. Bendung karet merupakan bendung gerak dengan badan bendung terbuat dari gabungan benang nylon dan karet. Anyaman atau kanvas nylon digunakan untuk melapisi karet, dan berfungsi untuk menahan regangan yang disebabkan oleh tekanan dari dalam dan tekanan air di luar. Biasanya karet yang dipakai dibuat tahan terhadap cuaca, ozon, air tawar, air asin, dibuat kedap air, kedap udara, yang membuat badan bendung menjadi awet. Dalam perencanaan bendung karet diperlukan data-data mengenai cuaca, topografi, geologi, dan mekanika tanah.

3.2 Tinggi Bendung dan Panjang Bentang

Tinggi bendung standar adalah tinggi dari lantai dasar sampai dengan mercu bendung pada kondisi muka air hulu sama tinggi dengan mercu, sedang di hilir tidak terdapat air. Panjang bentang direncanakan dengan memperhatikan lebar sungai yang akan dibuat bendung.

3.3 Tinggi Jepit pada Dinding Tepi

Tinggi jepit tubuh bendung pada bagian abutment dan pilar ditentukan berdasarkan kemiringan panjang vertikal (V) dan panjang horizontal (H) atau side slope (V:H) yang direncanakan.

$$H_t = n \cdot \frac{H_t}{H_r} \quad (3.1)$$

Dengan :

H_r = Tinggi bendung pada saat mengembang

H_t = Tinggi jepitan pada sisi

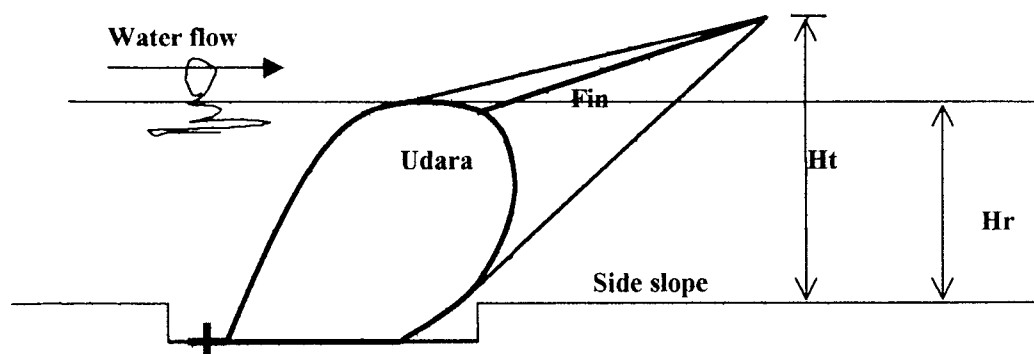
n = Tinggi bendung

Tabel 3.1 Tinggi bendung dan jepitan pada sisi berdasarkan *side slope*

Side Slope (V: H)	H_t / H_r
1 : 0 – 1 : 0,30	1,20
1 : 0,30 – 1 : 0,50	1,17
> 1 : 0,50	1,10

*) Sumber : Bridgestone Corporation, Technical Standard of Infatable Rubber Dam (2 nd Draft)

Hubungan antara tinggi bendung dan jepitan sisi dapat dilihat seperti pada gambar 3.1.



Gambar 3.1. Tinggi dan jepitan sisi pada bendung

3.4 Kedalaman Limpasan Maksimum

Kedalaman limpasan air di atas mercu bendung berkaitan erat dengan getaran dan adanya perubahan tinggi pada tubuh bendung. Pada tekanan awal yang konstan, penambahan kedalam limpasan sampai keadaan tertentu akan mengakibatkan terjadinya getaran (*oscillation*) pada tubuh bendung. Getaran yang berkepanjangan dapat mempercepat kerusakan tubuh bendung, sehingga batas toleransi limpasan adalah sebagai berikut :

- Type media udara (h) = 0,20 Hr
- Type media air
 - kondisi aliran hilir "*Super critical flow*" (h) = 0,50 . Hr
 - kondisi air di hilir tinggi
 - 0,4 Hr untuk (P/Hr = 2,5-3,0) (3.2)
 - 0,3 Hr untuk (P/Hr = 2,0-2,5) (3.3)
 - 0,2 Hr untuk (P/Hr = 1,5-2,0) (3.4)

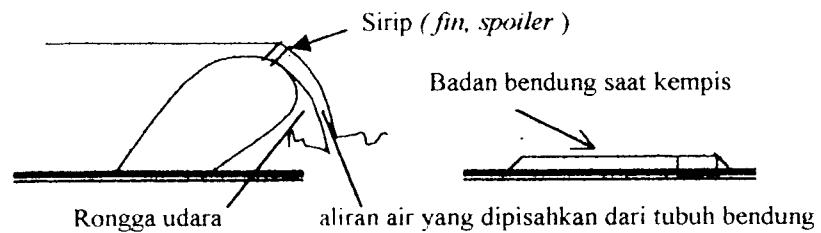
Dengan :

h = Kedalaman limpasan (m),

Hr= Tinggi mercu saat ada limpasan (m),

P = Tekanan air dalam tubuh bendung

Untuk mengurangi/mencegah adanya getaran, pada tubuh bendung ditambahkan sirip (*fin, spoiler*), seperti pada gambar 3.2 berikut ini.

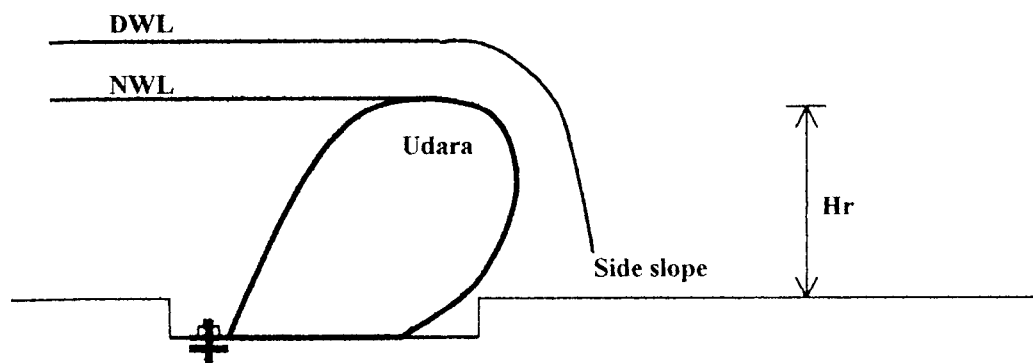


Gambar 3.2. Penambahan sirip pada bendung karet

$$\text{Kedalaman limpahan (h) pada saat DWL} = 0,20 \times \text{Hr} \quad (3.5)$$

$$\text{Elevasi DWL} = \text{Elevasi NWL} + 0,20 \text{ Hr} \quad (3.6)$$

Letak muka air pada saat NWL ataupun DWL dijelaskan seperti pada gambar 3.3 berikut ini.



Gambar 3.3. Rencana elevasi DWL dan NWL

3.5 Sistem Penjepit

Ada dua sistem penjepit yang biasa digunakan pada bendung karet yaitu penjepit tunggal (*Single Anchor*) dan penjepit ganda (*Double Anchor*). Sistem penjepit tunggal biasa digunakan apabila muka air dihilir bendung tidak berpengaruh terhadap tubuh bendung, sedang penjepit ganda digunakan bila tinggi muka air hilir berpengaruh terhadap tubuh bendung.

3.6 Perhitungan Tubuh Bendung

Perhitungan tubuh bendung meliputi perhitungan tegangan yang bekerja pada tubuh bendung, perhitungan baut angkur, dan perhitungan plat pengikat. Perincian perhitungan-perhitungan tersebut adalah sebagai berikut ini.

3.6.1 Tegangan yang bekerja pada tubuh bendung

1. Tekanan Udara

$$P = \alpha \cdot \gamma_w \cdot H_r \quad (3.7)$$

Dengan :

$$P = \text{Tekanan Udara, kg/cm}^2$$

$$\alpha = \text{Koefisien internal pressure, biasa digunakan 1,0}$$

$$\gamma_w = \text{Berat volume air, 1 g/cm}^3$$

$$H_r = \text{Tinggi total Rubber Dam}$$

2. Tegangan (tension) pada tubuh bendung (T)

$$T = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H_r^2 \cdot k \quad (3.8)$$

Dengan :

$$T = \text{Tegangan pada tubuh bendung}$$

$$\gamma_w = \text{Berat volume air, 1 g/cm}^3$$

$$H_r = \text{Tinggi total Rubber Dam}$$

$$k = \text{Faktor Koreksi, 1,1}$$

3. Faktor Keamanan (SF)

$$T_s/T > SF \quad (3.9)$$

Dengan :

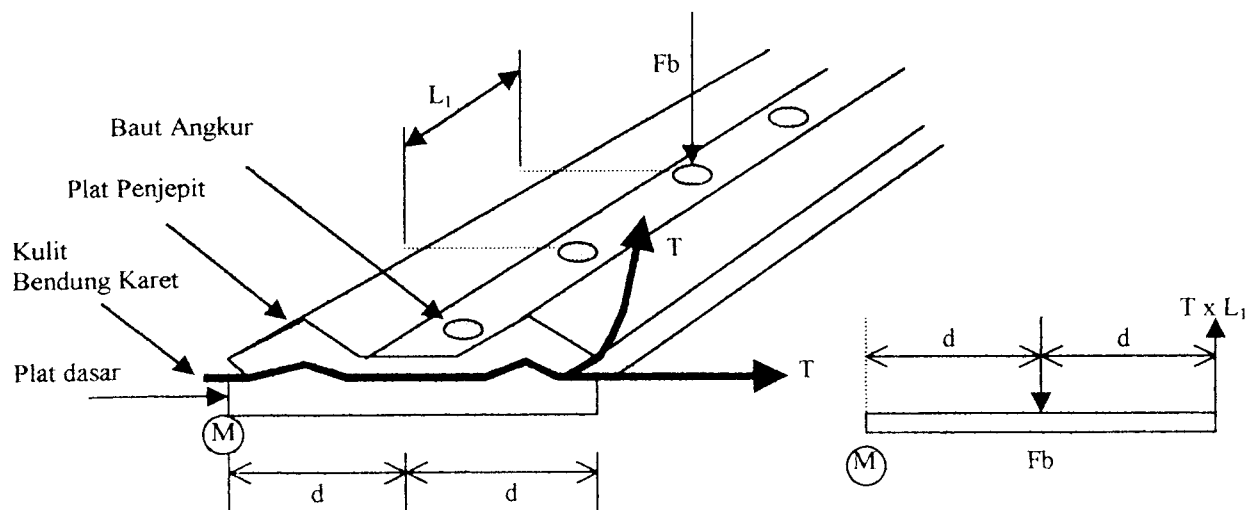
T_s = Tegangan tarik Rubber Dam, Kgf/cm (udara)

SF = Faktor Keamanan min =8

3.6.2 Perhitungan Baut Angkur

1. Gaya yang bekerja pada baut angkur (F_b)

Gaya yang bekerja pada baut angkur dipengaruhi oleh gaya jepitan angkur dan jarak antar angkur, seperti dijelaskan pada gambar 3.4.



Gambar 3.4. Gaya gaya yang bekerja pada baut angkur

$$F_b = F_a + F_o \quad (3.10)$$

Dengan :

F_b = Gaya yang bekerja pada baut angkur , kg

F_a = Gaya jepitan yang disebabkan oleh puntiran karena pengencangan baut, kg

F_o = Gaya yang bekerja akibat tarikan bendung karet,kg

$$F_o = 2.T.L_1 \quad (3.11)$$

Dengan :

T = Gaya tarikan tubuh bendung, dalam perencanaan besarnya dengan memperhitungkan tarikan karet saat adanya tekanan air hulu bendung pada kondisi maksimum, kg/cm

L_1 = jarak, cm

Jadi besarnya gaya pada baut angkur :

$$F_b = F_a + 2.T.L_1 \quad (3.12)$$

2. Tegangan pada baut angkur (σ) dan Faktor Keamanannya (SF)

$$\sigma = F_b / A_b \quad (3.13)$$

$$SF = \sigma_b / \sigma > 3 \quad (3.14)$$

Dengan :

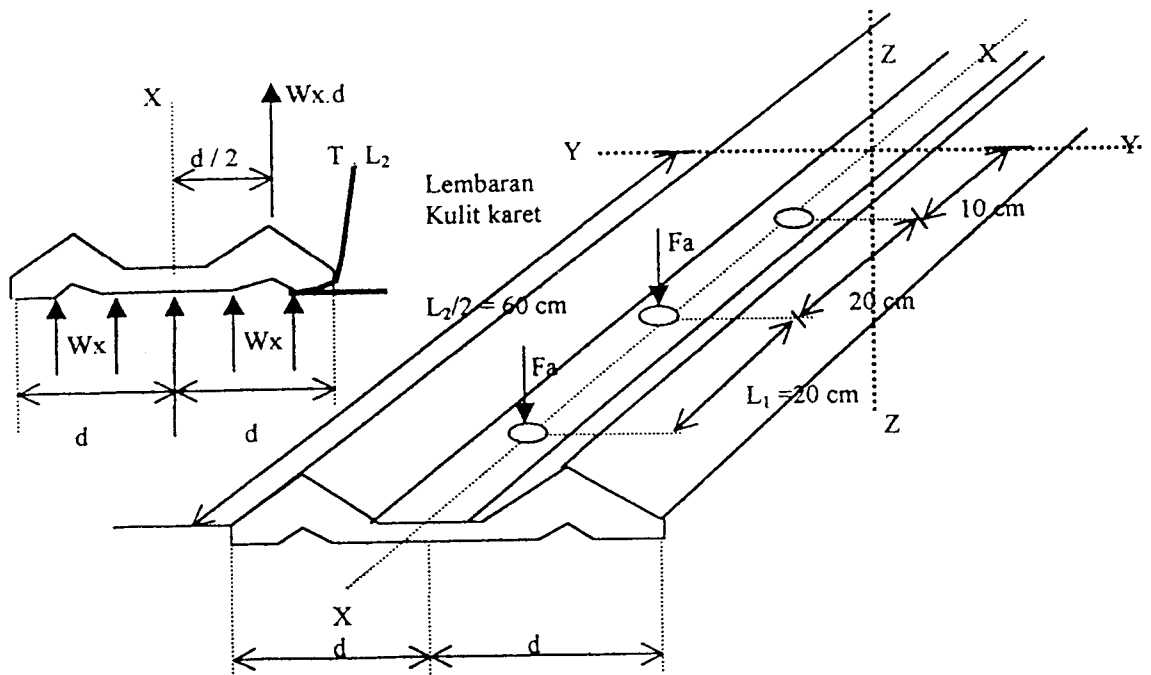
σ = Tegangan pada baut angkur, kg/cm²

σ_b = Tegangan ultimate baut angkur, kg/cm²

A_b = Luas potongan melintang, cm²

3.6.3 Perhitungan Plat Pengikat

Perhitungan plat pengikat diperhitungkan terhadap sumbu memanjang (x-x) seperti pada gambar 3.5 berikut ini.



Gambar 3.5 Gaya-gaya pada plat pengikat bendung

1. Momen bengkok (*bending moment*) maksimum terhadap sumbu memanjang (x-x) untuk satu plat penjepit (M_x).

$$M_x = (T \cdot L_2 \cdot d) + (W_x \cdot d \cdot d/2) \quad (3.15)$$

Dengan :

M_x = Momen bengkok (*bending moment*) maksimum, kg/cm

L_2 = Panjang satu buah plat penjepit, cm

W_x = Gaya reaksi per unit lebar dari satu plat penjepit, akibat dari ikatan baut angkur, kg/cm

$$W_x = n \cdot F_a / (2 \cdot d) \quad (3.16)$$

n = Jumlah baut

2. Tegangan bengkok (*bending stress*) dan faktor keamanan (SF)

$$\sigma = Mx / Zx \quad (3.17)$$

Dengan :

$$\sigma = \text{Tegangan bengkok, kg/cm}^2$$

$$Zx = \text{Modulus penampang } 130,10 \text{ cm}^3$$

3. Faktor Keamanan untuk plat penjepit

$$SF = \sigma_b / \sigma \quad (3.18)$$

$$\text{Atau } 3 > SF > 5$$

3.7 Sub Structure

Sub structure yang harus diperhitungkan dalam perencanaan meliputi antara lain : pilar, abutment, pondasi bendung, apron, koperan, tiang panahan rembesan, dan tiang pancang.

3.7.1 Pondasi Bendung

Pondasi slab untuk bendung direncanakan sedemikian sehingga betul-betul kedap air dan stabil, untuk itu sambungan konstruksi harus berupa tulangan dengan pondasi tak langsung (pondasi tiang pancang).

Data-data meliputi : tinggi bendung karet (Hr), elevasi Normal Water Level (NWL), elevasi dasar bendung, panjang lantai pondasi, panjang apron hulu, panjang apron hilir, tebal lantai pondasi, elevasi Deflating Water Level (DWL), dan elevasi Design Flood Water Level (DFWL). Untuk menentukan elevasi-elevasi muka air dalam perencanaan bendung dilakukan melalui suatu perhitungan hidrolika dengan tinjauan-tinjauan pada debit rencana dari berbagai

kondisi. Untuk menentukan panjang lantai, dan apron pondasi serta tebal pondasi, digunakan langkah-langkah perhitungan seperti pada sub bab selanjutnya.

3.7.2 Pilar, Abutment dan Apron (Lantai Lindung)

Abutment dan pilar dibuat dengan slope tertentu (V : H). Panjang pilar dan abutment dibuat sama dengan panjang *concrete slab*. Lantai lindung harus direncanakan dengan mempertimbangkan kedalaman limpasan, debit aliran, beda tinggi muka air hulu-hilir, kedalaman air di hilir, kecepatan aliran material dasar sungai, kemiringan dasar sungai dan juga *uplift pressure*.

Panjang lantai lindung yang akan ditempatkan di hulu dan di hilir bendung bervariasi, tetapi umumnya panjang lantai lindung hulu kurang lebih sepertiga dari panjang lantai lindung hilir dengan ketebalan $2/3$ tebal lantai lindung hilir. Total panjang lantai dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini.

1. Bligh

$$L = 0,67 Co. (dh . q)^{0,5} \quad (3.19)$$

Dengan :

L = Total panjang lantai, m

Co= Koefisien rembesan Bligh

dh= Perbedaan maksimum antara muka air di hulu dan di hilir, m

q = Debit per satuan lebar, m³/detik/m

2. Standart Perencanaan

$$L = 0,90 . Co . D^{0,5} \quad (3.20)$$

Dengan :

L = Total panjang rantai, m

D = Tinggi bendung (Hr)

3.7.3 Koperan

Kedalam koperan direncanakan dengan memperhitungkan lubang gerusan lokal yang terjadi. Kedalam gerusan lokal, dihitung dengan rumus empiris. Rumus yang dipakai untuk menghitung kedalam gerusan menggunakan *Empiris Lacey*.

$$R = 0,47 (Q/F)^{1/3} \quad (3.21)$$

Dengan :

R = Kedalam gerusan dibawah permukaan banjir, m

Q = Debit rencana, m³/detik

F = Faktor lumpur Lacey = $1,76 D_m^{0,5}$

D_m =Diameter butir tanah 50 % lolos saringan, mm

SF=Faktor Keamanan = 1,30

3.7.4 Tiang Penahan Rembesan (*Sheet Pile*)

Perencanaan tiang penahan rembesan diperlukan untuk mencegah rembesan yang mungkin terjadi dibawah pondasi akibat beda tinggi energi. Kedalaman total tiang penahan rembesan yang diperlukan dihitung dengan menggunakan metode Bligh maupun Lane, dengan rumus dasar seperti berikut ini.

1. Metode Bligh :

$$D = (H \cdot C - LH) / 2 \quad (3.22)$$

Dengan :

D = Total kedalaman tiang penahan yang diperlukan, m

H = Beda tinggi muka air, m

C = Koefisien rembesan Bligh

LH = Total panjang lantai (horizontal), m

$$\Sigma LV + \Sigma LH > C \cdot H \quad (3.23)$$

Dengan :

ΣLV = Panjang total jalur rembesan vertikal (m)

ΣLH = Panjang total jalur rembesan horizontal (m)

C = Koefisien rembesan Bligh

H = Beda tinggi muka air (m)

Harga koefisien rembesan Bligh untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel 3.2 berikut ini.

Tabel 3.2 Harga minimum angka rembesan Bligh

No	Jenis Material	C
1	Pasir sangat halus	18
2	Pasir halus	15
3	Pasir kasar	12
4	Pasir campur kerikil	9
5	Batu-batu kecil dan kerikil	4

2. Metode Lane

Metode ini membandingkan jalur rembesan dibawah bangunan sepanjang bidang kontak bangunan / pondasi dengan beda tinggi muka air antara

kedua sisi bangunan. Disepanjang jalur rembesan , kemiringan yang lebih curam 45° dianggap vertikal dan yang kurang dari 45° dianggap horizontal. Jalur vertikal dianggap memiliki daya tahan terhadap aliran 3 kali lebih kuat dari pada jalur horizontal.

Rumus yang dipakai :

$$Cl^\circ = \frac{\sum Lv + 1/3 \sum LH}{H} \geq CL \quad (3.24)$$

Dengan :

Cl° = Angka rembesan lane yang terjadi

Lv = Panjang total jalur rembesan vertikal, m

LH = Panjang total jalur rembesan horizontal, m

H = Beda tinggi muka air hulu dan hilir, m

CL = Beda minimum angka rembesan lane

Harga minimum angka rembesan lane (CL) untuk berbagai jenis tanah dapat dilihat pada tabel 3.3 berikut ini.

Tabel 3.3 Harga minimum angka rembesan Lane

Pasir 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 brangkal	3,0
Brangkah dengan sedikit brangkal dan kerikil	2,5
Lempung lunak	3,0
Lempung sedang	2,0
Lempung keras	1,8
Lempung sangat keras	1,8

*) Sumber : Standar Perencanaan Irigasi (KP-06 Parameter Bangunan) Direktorat Irigasi I, Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum, Desember 1986.

3.7.5 Kontrol Tebal Lantai Pondasi dan Lantai Lindung Hilir

Tiap bagian konstruksi diasumsikan berdiri sendiri dan tidak ada distribusi gaya-gaya melalui momen lentur (*bending moment*), serta ditinjau pada kondisi yang paling berbahaya, yaitu air dibagian hulu setinggi mercu bendung sedangkan dibagian hilir tidak terdapat air.

Rumus yang dipakai :

$$dx > S \frac{U_x - W_x}{\gamma} \quad (3.25)$$

Dengan :

dx = Tebal lantai pada titik x , m

U_x = Gaya angkat pada titik x , kg/m^2

W_x = Kedalaman air pada titik x

γ = Berat jenis bahan, kg/m^3

S = Faktor Keamanan (1,50 untuk kondisi normal, 1,25 untuk kondisi ekstrim)

3.7.6 Konsolidasi Dasar Sungai

Fungsi konsolidasi dasar sungai adalah untuk menenangkan kembali aliran air setelah melintasi pelimpah bendung dan mengalir ke sungai dalam keadaan normal kembali, tanpa menimbulkan gerusan. Panjang konsolidasi dasar sungai sebaiknya diambil minimum 4 kali kedalaman lubang gerusan lokal.

3.8 Analisis Stabilitas

Pada perencanaan pondasi bendung, konstruksi harus aman terhadap bahaya guling, geser, patah, tegangan ekstrim, dan bahaya piping. Gaya-gaya yang bekerja pada konstruksi dapat dibagi menjadi gaya-gaya vertikal dan gaya-gaya horizontal. Gaya-gaya vertikal yang bekerja adalah berat sendiri konstruksi, berat air, tekanan air keatas, tekanan udara dan tarikan karet sedangkan gaya-gaya horizontal yang bekerja adalah gaya akibat tekanan hidrostatis, hidrodinamis, tekanan sedimen, tekanan tanah aktif dan tekanan tanah pasif. Perincian gaya-gaya yang bekerja adalah sebagai berikut ini.

1. Tekanan air statis

$$P_h = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h^2 \quad (3.26)$$

Dengan :

$$P_h = \text{Tekanan air statis, t/m}^3$$

$$\gamma_w = \text{Berat volume air, t/m}^3$$

$$h = \text{Tinggi air, m}$$

2. Tekanan air dinamis

$$P_d = \frac{7}{12} \cdot \gamma_w \cdot h^2 \quad (3.27)$$

Dengan :

$$P_d = \text{Tekanan hidrodinamis}$$

$$\gamma_w = \text{Berat volume air, t/m}^3$$

$$h = \text{Tinggi air, m}$$

3. Tekanan air ke atas pada pondasi bendung (*uplift Pressure*)

$$Hx - \left[\frac{Lx}{L} \cdot \Delta H \right] \cdot \gamma_w \quad (3.28)$$

Dengan :

P_x = Gaya angkat pada titik x mulai dari hulu bendung, m

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

γ_w = Berat volume air, t/m³

4. Tekanan tanah

Menentukan berat isi efektif, rumus yang dipakai adalah :

$$\gamma_{sub} = \gamma_{sat} - \gamma_w \quad (3.29)$$

Dengan :

γ_{sub} = Berat isi efektif, kg/m³

$$\gamma_{sat} = \frac{(G + e \cdot S) \cdot \gamma_w}{1 + e} \quad (3.30)$$

= Berat isi tanah dalam keadaan jenuh air (kg/m³)

G = *Specific gravity* (berat jenis)

e = angka pori

S = *Degree of Saturation* (derajat kejenuhan)

γ_w = Berat volume air, kg/m³

Menentukan tekanan tanah aktif dan pasif

$$P_{ax} = \gamma_{sub} \cdot h \cdot \text{tg}^2 (45^\circ - \phi/2) \quad (3.31)$$

$$P_{px} = \gamma_{sub} \cdot h \cdot \text{tg}^2 (45^\circ + \phi/2) \quad (3.32)$$

Dengan :

P_{ax} = Tekanan tanah aktif pada titik x kearah horizontal (kg/m^2)

P_{px} = Tekanan tanah pasif pada titik x kearah horizontal (kg/m^2)

γ_{sub} = Berat isi efektif (kg/m^3)

h = kedalaman tanah (m)

5. Tekanan sedimen

$$P_s = \frac{1}{2} \cdot \gamma_s \cdot h^2 \quad (3.33)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{G + e \cdot S}{1 + e} \right] \cdot \gamma_w \cdot h^2 \quad (3.34)$$

dengan :

P_s = Tekanan sedimen, kg/m

γ_s = Berat lumpur, kg

h = kedalaman sedimen, m

G = *Specific Gravity*

e = angka pori

S = Derajat kejenuhan

γ_w = Berat volume air, kg/m^3

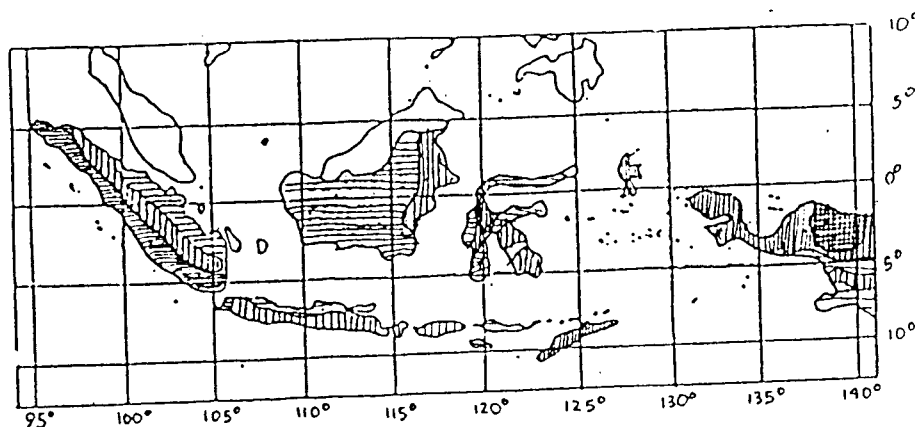
6. Gaya akibat gempa

Besarnya gaya akibat gempa (PG) didasarkan pada peta Indonesia yang menunjukkan berbagai daerah dan resiko seperti pada gambar 3.6. Faktor

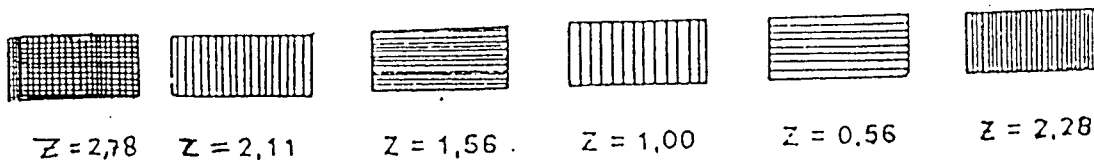
Tabel 3.5 Percepatan gempa dasar dalam berbagai periode ulang

No	Periode ulang (tahun)	Ac (m/dt ²)
1	20	0,85
2	100	1,60
3	500	2,25
4	1000	2,75

*) Sumber : Standar Perencanaan Irigasi (KP-06, Parameter bangunan) Direktorat Irigasi I Jakarta Departemen Pekerjaan Umum, Desember 1986.



Keterangan



Gambar 3.6 Koefisien letak geografis berdasarkan Peta Zone Seismik untuk Perencanaan Bangunan Air Tahan Gempa di Indonesia

minimum yang disyaratkan adalah 0,10 dari gaya percepatan gravitasi sebagai harga percepatan dan harus dikalikan dengan berat total bendung. Gaya-gaya yang terjadi pada bendung akibat gempa, bekerja ke arah horizontal menuju daerah yang paling berbahaya yaitu ke arah hilir bendung.

Rumus yang dipakai adalah :

$$PG = E \cdot \Sigma RVG \quad (3.35)$$

Dengan :

PG = Gaya akibat gempa, kg

ΣRVG = Berat total bendung

E = Koefisien gempa

$$= Ad/g$$

g = Percepatan gravitasi bumi, 9,80 m/dt²

Ad = Percepatan gempa rencana, m/dt²

$$= n \cdot (Ac \cdot z)^m$$

n = 1,56 = Koefisien jenis tanah (tabel 5-1)

m = 0,89 = Koefisien jenis tanah (tabel 5-1)

z = Koefisien letak geografis

Ac = Percepatan gempa dasar, m/dt²

Tabel 3.4 Koefisien jenis tanah untuk menentukan percepatan gempa rencana.

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

M_g = Momen total sesungguhnya yang menyebabkan terjadinya guling

F_g = Faktor Keamanan terhadap guling

Harga-harga faktor keamanan terhadap bahaya guling (overtuning) untuk berbagai kombinasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Faktor Keamanan terhadap guling

No	Kombinasi Pembebanan	Faktor Keamanan
1	M + H + K + T + Thn	1,5
2	M + H + K + T + Thn + G	1,3
3	M + H + K + T + Thb	1,3
4	M + H + K + T + Thb + G	1,1
5	M + H + K + T + Thb + Ss	1,2

*) Sumber : Standar Perencanaan Irigasi (KP-06, Parameter bangunan) Direktorat Irigasi I Jakarta Departemen Pekerjaan Umum, Desember 1986.

Dengan :

M = Beban mati

H = Beban hidup

K = Beban kejut

T = Beban tanah

Thn = Tekanan air normal

Thb = Tekanan air selama banjir

G = Beban gempa

Ss = Pembebanan sementara selama pembebanan.

3. Keamanan terhadap gelincir

Syarat kestabilan terhadap gelincir :

$$f \cdot (RV / RH) > S \quad (3.38)$$

Dengan :

f = Koefisien (lihat tabel)

RV = Keseluruhan gaya vertikal, dikurangi gaya tekan ke atas yang bekerja pada bangunan, kg

RH = Keseluruhan gaya horizontal yang bekerja pada bangunan, kg

S = Faktor keamanan

Harga-harga faktor keamanan terhadap gelincir (sliding) untuk berbagai kombinasi pembebanan dapat dilihat pada tabel 3.8.

Tabel 3.7 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

Tabel 3.8 Faktor Keamanan terhadap gelincir

No	Kombinasi Pembebanan	Faktor Keamanan
1	$M + H + K + T + Thn$	1,5
2	$M + H + K + T + Thn + G$	1,3
3	$M + H + K + T + Thb$	1,3
4	$M + H + K + T + Thb + G$	1,1
5	$M + H + K + T + Thb + Ss$	1,2

*) Sumber : Standar Perencanaan Irigasi (KP-06, Parameter bangunan) Direktorat Irigasi I, Jakarta, Departemen Pekerjaan Umum, Desember 1986.

4. Keamanan terhadap tegangan tanah

Keamanan terhadap tegangan tanah dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini.



$$\sigma = \frac{RV}{L} \left(1 \pm \frac{6 \cdot e}{L} \right) \quad (3.39)$$

$$e = \frac{L}{2} - \frac{M}{RV} < 1/6 \cdot L \quad (3.40)$$

Dengan :

σ = Tegangan tanah yang terjadi, kg/cm^2

RV = Keseluruhan gaya vertikal termasuk tekanan ke atas, kg

L = Panjang telapak pondasi, m

e = Eksentrisitas pembebanan atau jarak dari pusat gravitasi dasar sampai titik potong resultante dasar

M = Momen, kgm

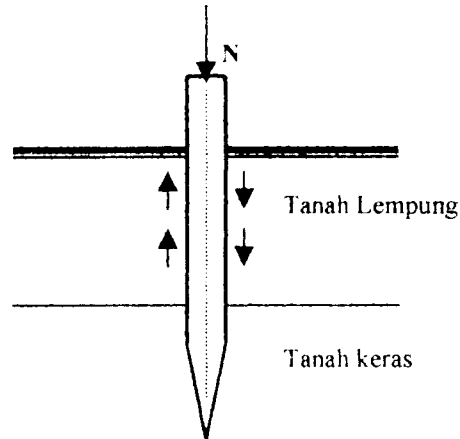
3.9 Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang adalah suatu konstruksi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. Pondasi tiang dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang pancang dengan konstruksi pondasi. Pondasi tiang dipergunakan apabila lapisan-lapisan tanah bagian bawah pondasi begitu lembek, sehingga tidak cukup kuat untuk memikul bangunan dengan memakai pondasi langsung atau pondasi plat. Pondasi tiang berfungsi untuk memindahkan beban-beban dari konstruksi di atasnya ke lapisan tanah yang lebih dalam dan keras.

3.9.1 Perhitungan tiang

Tiang pancang direncanakan sebagai Point Bearing and Friction Pile seperti pada gambar 3.7. Untuk mencapai tanah keras melalui lapisan tanah lanau,

perhitungan daya dukung tiang selain didasarkan pada tahanan ujung (point bearing) maupun friction pile, juga harus diperhitungkan terhadap kekuatan bahan tiang pancang itu sendiri.



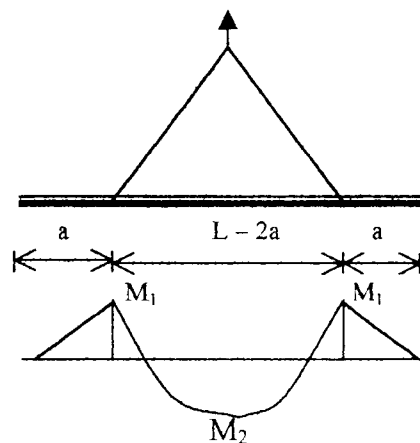
Gambar 3.7 Tiang pancang sebagai Point Bearing and Friction Pile

3.9.2 Penulangan

Penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan kebutuhan pada waktu pengangkatan dan sistem pemasangan tiang pancang

1. Pengangkatan tiang pancang

Momen saat pengangkatan tiang pancang dijelaskan seperti gambar berikut ini.



Gambar 3.8 Momen saat pengangkatan tiang pancang

$$\begin{aligned}
 M_1 &= M_2 \\
 \frac{1}{2} \cdot g a^2 &= \frac{1}{8} \cdot g \cdot (L - 2a)^2 - \frac{1}{2} \cdot g a^2 \\
 4a^2 + 4aL - L^2 &= 0 \\
 a &= 0,209 L \qquad (3.41)
 \end{aligned}$$

Dengan :

M_1, M_2 = Momen, kgm

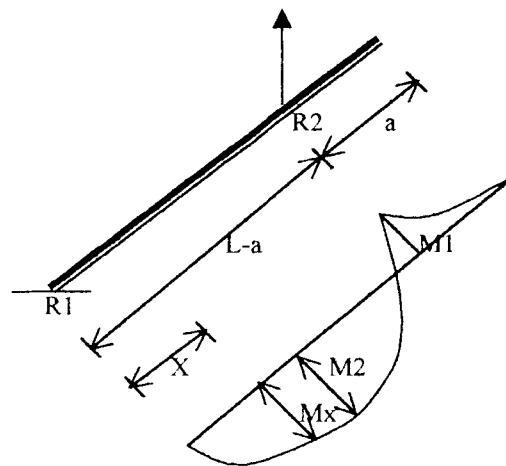
g = Berat tiang pancang, kg/m

a = Jarak dari tumpuan ke ujung bebas, m

L = Panjang tiang pancang, m

2. Sistem Pemasangan Tiang Pancang

Momen saat pemasangan tiang dijelaskan seperti gambar 3.9 di bawah ini.



Gambar 3.9. Momen pada pemasangan tiang pancang

$$M_1 = \frac{1}{2} g a^2$$

$$M_{\max} = M_2 = \frac{1}{2} g \left[\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right]^2$$

$$M_{\max} = M_2 = \frac{1}{2} g a^2 = \frac{1}{2} g \left[\frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)} \right]^2$$

$$a = \frac{1}{2} g \frac{L^2 - 2aL}{2(L-a)}$$

$$2a^2 - 4aL + L^2 = 0$$

$$a = 0,29 L \quad (3.42)$$

Tegangan yang terjadi pada saat pengangkatan dihitung dengan persamaan

$$\sigma_b = M/Wd < \sigma_b', \text{ kg/cm}^2 \quad (3.43)$$

$$\sigma_a = M/We < \sigma_a', \text{ kg/cm}^2 \quad (3.44)$$

Dengan:

$$\sigma_b = \text{Tegangan beton yang terjadi, kg/cm}^2$$

$$\sigma_a = \text{Tegangan baja yang terjadi, kg/cm}^2$$

$$M = \text{Momen, kgm}$$

$$\sigma_b' = \text{Tegangan beton ijin, kg/cm}^2$$

$$\sigma_a' = \text{Tegangan baja ijin, kg/cm}^2$$

$$Wd, We = \text{Momen penahan, cm}^3$$

$$Wd = Ix / x, \text{ cm}^3$$

$$We = \frac{Ix}{n(h-x)}, \text{ cm}^3$$

$$x = \frac{2n}{b} Fe + \frac{2n}{b} Fe^2 + \frac{c}{2n} \cdot Fe \cdot h \quad (3.45)$$

Dengan :

n = Angka ekivalen

F_e = Luas tulangan, cm^2

b = Lebar penampang, cm

h = Tinggi manfaat penampang, cm

3.9.3 Menentukan Daya Dukung Tiang

Dalam perencanaan pondasi ini digunakan tipe pondasi tiang pancang, dengan kedalaman tanah keras 25 – 30 m. Untuk menentukan daya dukung tergantung pada kekuatan tiang sendiri dan dapat dihitung dari tegangan yang diperbolehkan pada bahan tiang dan kekuatan tanah. Kemampuan tiang terhadap kekuatan bahan tiang dirumuskan seperti berikut ini.

$$P_{\text{tiang}} = \sigma_{\text{bahan}} \times A_{\text{tiang}} \quad (3.46)$$

Dengan :

P_{tiang} = Kekuatan yang diijinkan pada tiang pancang, kg

σ_{bahan} = Tegangan tekan ijin bahan tiang, kg/cm^2

A_{tiang} = Luas penampang tiang pancang, cm^2

Berdasarkan kekuatan tanah, daya dukung keseimbangan tanah dirumuskan seperti berikut ini.

$$Q_{\text{tiang}} = \frac{A_{\text{tiang}} \cdot P}{3} + \frac{O.C}{5} \quad (3.47)$$

Dengan :

Q_{tiang} = Daya dukung keseimbangan tiang, kg

A_{tiang} = Luas tiang, cm^2

- P = Harga konus pada kedalaman yang direncanakan, kg/cm^2
- O = Keliling tiang, cm
- C = Jumlah hambatan pelekat pada kedalaman yang direncanakan, kg/cm^2

3.9.4 Kuat Dukung Pondasi Tiang terhadap Gaya aksial

Untuk menentukan kuat dukung pondasi tiang digunakan beberapa metode. Tiang berupa tiang beton bertulang dengan tampang segi empat. Metode-metode untuk menentukan kuat dukung pondasi tiang adalah sebagai berikut ini.

1. Metoda Belanda (Suryolelono, 1993)

Cara analisis kuat dukung tiang terhadap gaya aksial berdasarkan metode Belanda adalah sebagai berikut ini.

Ditentukan panjang tiang L meter. Dicari nilai konus setinggi 8 x diameter tiang di atas ujung tiang dan 4 x diameter tiang di bawah ujung tiang maka diperoleh :

$$R_{p1} = \frac{\Sigma R_p}{n_1} \quad \text{8 x diameter tiang} \quad (3.48)$$

$$R_{p2} = \frac{\Sigma R_p}{n_2} \quad \text{4 x diameter tiang} \quad (3.49)$$

Dengan :

R_{p1} = nilai rata-rata dari nilai konus yang ada pada jarak 8 x diameter tiang di atas ujung tiang,

n_1 = jumlah pembacaan nilai konus yang ada pada jarak 8 x diameter tiang di atas ujung tiang,

R_{p2} = nilai rata-rata dari nilai konus yang ada pada jarak 4 x diameter tiang di bawah ujung tiang,

n_2 = jumlah pembacaan nilai konus yang ada pada jarak 4 x diameter tiang di bawah ujung tiang.

Kuat dukung tiang terhadap gaya aksial diperoleh dari hubungan sebagai berikut :

$$P_d = \frac{A_p \cdot q_c}{SF_1} + \frac{k \cdot q_r}{SF_2} - B_T \quad \text{dan} \quad (3.50)$$

$$P_1 = \frac{k \cdot q_r}{SF_1} \quad (3.51)$$

Dengan :

P_d = kuat dukung tiang desak aksial yang diijinkan (ton)

P_1 = kuat dukung tiang tarik aksial yang diijinkan (ton)

A_p = luas tampang tiang (m^2)

q_c = $(R_{p1} + R_{p2}) / 2$, (ton/m^2)

k = keliling tiang (m)

q_r = hambatan lekatan total pada dinding tiang (ton/m^2)

B_T = berat sendiri tiang (ton)

SF_1 = angka keamanan diambil = 2

SF_2 = angka keamanan diambil = 10 untuk tanah lempung

2. Metode Wesley (Bowles, 1992)

Metode ini lebih sederhana dari metode 1 dengan cara sebagai berikut ini.

$$P_d = \frac{A_p \cdot \sigma_{ult}}{SF_1} + \frac{k \cdot q_r}{SF_2} - B_T \quad \text{dan} \quad (3.52)$$

$$P_1 = \frac{k \cdot q_r}{SF_2} \quad (3.53)$$

Dengan :

P_d = kuat dukung tiang desak aksial yang diijinkan (ton)

P_1 = kuat dukung tiang tarik aksial yang diijinkan (ton)

A_p = luas tampang tiang (m^2)

σ_{ult} = nilai konus pada kedalaman yang ditentukan (ujung tiang)

k = keliling tiang

q_r = hambatan lekatan total pada dinding tiang (ton/m')

B_T = berat sendiri tiang (ton)

SF_1 = angka keamanan diambil = 2

SF_2 = angka keamanan diambil = 10 untuk tanah lempung

3. Metode Suyono Sudarsono (Mekanika tanah dan Pondasi , 1984)

Daya dukung tiang pada tanah pondasi diperoleh dari jumlah daya dukung terpusat dan tahapan geser pada dinding tiang. Besarnya daya dukung tiang yang diijinkan (R_a) diperoleh dari persamaan sebagai berikut ini.

$$R_a = 1/n \cdot R_u \quad (3.54)$$

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i \cdot f_i \quad (3.55)$$

Dengan :

R_a = Daya dukung tiang yang diijinkan (ton)

n = Faktor keamanan = 3

R_u = Daya dukung batas pada tanah pondasi (ton)

q_d = Daya dukung terpusat tiang (ton)

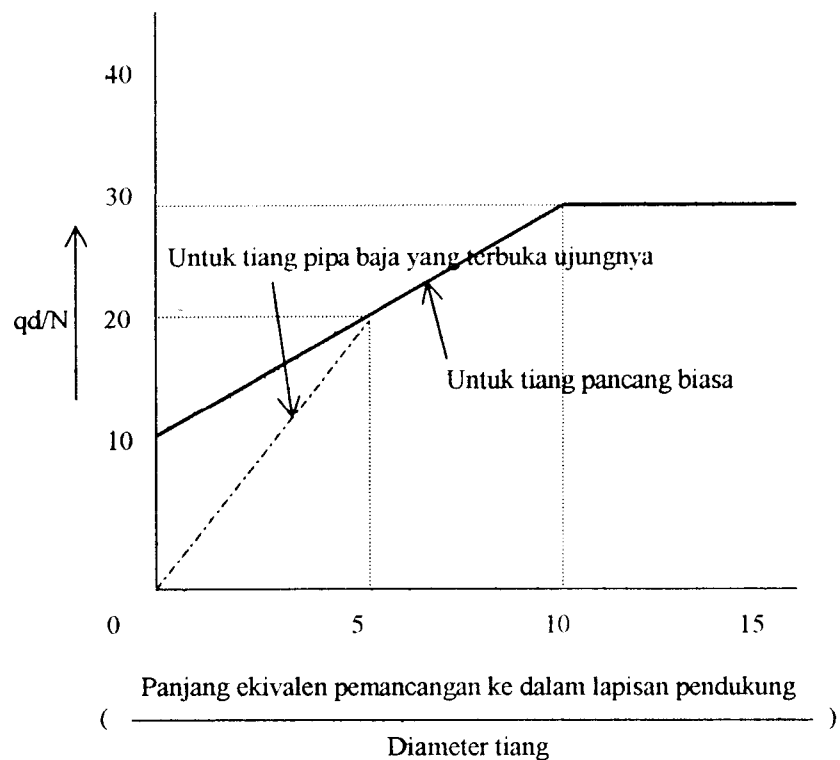
A = Luas ujung tiang (m^2)

U = Panjang keliling tiang (m)

l_i = Tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran dinding tiang

f_i = Besarnya gaya geser maksimum dari lapisan tanah yang mempertimbangkan geseran dinding tiang (ton/m^2)

Perkiraan satuan (unit) daya dukung terpusat q_d diperoleh dari hubungan antara L/D dan q_d/N' seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 3.10 Diagram perhitungan dari intensitas daya dukung ultimate tanah pondasi pada ujung tiang

Dengan :

L = Panjang ekivalen penetrasi pada lapisan pendukung

D = Diameter tiang (m)

N' = Harga rata-rata N pada ujung tiang = $(N_1 + N_2)/2$

N_1 = Harga N pada ujung tiang

N_2 = Harga rata-rata N pada jarak $4 D$ dari ujung tiang

Tabel 3.9 intensitas gaya geser dinding tiang

Jenis Pondasi / Jenis Tanah Pondasi	Tiang Pracetak	Tiang yang dicor di tempat
Tanah berpasir	$N/5 (\leq 10)$	$N/2 (\leq 12)$
Tanah kohesif	C atau $N (\leq 12)$	$C/2$ atau $N/2 (\leq 12)$

*) Sumber : Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi, Suyono Sosrodarsono (1988)

Kuat dukung pondasi tiang terhadap gaya aksial dari dua teori tersebut diatas nilai kuat dukung ijin diambil nilai yang kecil.

3. 9. 5 Kuat Dukung Tiang terhadap Gaya Lateral

Untuk menentukan kuat dukung pondasi tiang terhadap gaya lateral digunakan metode Broms, 1964 (dalam Poulons dkk, 1980). Jenis tiang adalah tiang panjang serta kohesif. Menurut Broms (1964), kuat dukung tiang terhadap gaya lateral untuk tipe panjang ($L/D > 12$) dan tanah kohesif diperhitungkan sebagai berikut ini.

$$f = \frac{H_u}{9 c_u \cdot d} \quad (3.56)$$

$$M_y = 2,25 c_u \cdot d \cdot g^2 - 9 c_u \cdot d \cdot f (e + 1,5 d + 0,5) \quad (3.57)$$

$$H_u = \frac{2M_y}{(e + 1,5 d + 0,5)} \quad (3.58)$$

Dengan :

c_u = Kohesi tanah ($\text{ton} \cdot \text{m}^2$)

d = diameter/lebar tiang (m)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

e = eksentrisitas gaya lateral terhadap dasar poer (m)

f = panjang tiang yang mengalami defleksi (m)

H_u = gaya lateral ultimit (ton)

M_y = momen puncak (ton m)

3.9.6 Penurunan (settlement)

Tegangan pada tanah akibat berat bangunan dapat diperhitungkan merata pada bidang yang melalui ujung bawah tiang. Kemudian tegangan yang terjadi dianggap merata ke lapisan tanah sebelah bawah dengan sudut 30° . Lapisan di bawah ujung tiang pancang sampai lapisan tanah keras dibagi menjadi beberapa lapis, kemudian dihitung penurunan (settlement) untuk tiap-tiap lapisan dengan langkah sebagai berikut ini.

1. Dihitung P_0 dan p potongan masing-masing lapisan dengan rumus :

$$P_0 = (\gamma_{\text{sat}} - 1) \cdot z \quad (3.59)$$

$$p = \frac{A}{A_1} \cdot q \quad (3.60)$$

Dengan :

P_0 = Tegangan tanah sebelum ada bangunan, ton/m^2

γ_{sat} = Berat jenis tanah kenyang air, ton/m^3

z = Kedalam lapisan, m

p = Penambahan tegangan setelah ada bangunan

A = Luas kelompok pondasi tiang, m^2

A_1 = Luas tanah pada setiap lapisan, m^2

q = Beban merata, $\text{ton/m}^2 = W/A$

W = Berat total konstruksi, ton

2. Dihitung P_1 (total regangan yang terjadi)

$$P_1 = P_0 + p \quad (3.61)$$

3. Dari hasil perhitungan P_1 dan P_0 dihitung penurunan yang terjadi pada setiap lapisan dengan menggunakan rumus :

$$S = \frac{e_0 - e_1}{1 + e_0} \cdot H \quad (3.62)$$

Dengan :

S = Penurunan yang terjadi, m

e_0 = Angka pori mula-mula

e_1 = Angka pori setelah mendapat tambahan tekanan

H = Tinggi tanah pada lapisan tersebut, m

BAB IV

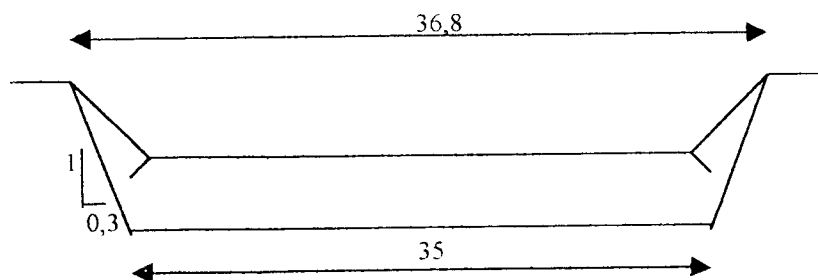
PERANCANGAN *SUB STRUCTURE*

4.1 Karakteristik Bendung Karet

Karakteristik bendung karet ini meliputi perencanaan tinggi bendung dan panjang bendung, tinggi jepit pada dinding tepi, sistem penjepit, spesifikasi tubuh bendung, dan kedalaman limpasan maksimum. Data-data perencanaan dan elevasi muka air direncanakan, sedang data-data karakteristik tanah diambil dari data sungai Bengawan Solo daerah Cepu – Padangan.

4.1.1 Tinggi Bendung dan Panjang Bendung

Tinggi bendung (Hr) direncanakan = 2,50 m. Panjang bentang dasar = 35 m. Rencana tinggi dan panjang bendung seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Rencana Tinggi dan Panjang Bendung

4.1.2 Tinggi Jepit pada Dinding Tepi

Tinggi jepit tubuh bendung pada bagian abutment ditentukan berdasarkan side slope (V : H) yang direncanakan.

Bendung karet direncanakan dengan side slope :

$$\begin{aligned} V : H &= 1 : 0,3 \\ H_r &= 2,5 \text{ m} \\ H_t/H_r &= 1,20 \\ H_t &= 2,5 \times 1,2 \\ &= 3,00 \text{ m} \end{aligned}$$

4.1.3 Sistem Penjepit

Sistem penjepit direncanakan dengan menggunakan tipe penjepit tunggal (single anchor line) dan dianggap muka air di hilir tubuh bendung tidak terpengaruh terhadap tubuh bendung.

Spesifikasi anker yang digunakan adalah sebagai berikut :

1. Claping plate :

- Galvanized ductile cast iron JIS FCD 50
- Tegangan geser ijin (breaking stress) $b > 5000 \text{ kg/cm}^2$
- Lebar 186 mm menjepit diatas karet bendung

2. Embedded plate :

- Galvanized rolled steel JIS-SS 41
- Plat baja st 37 (3700 kg/cm^2)
- Lebar 186 mm menjepit di bawah karet bendung kontak dengan beton apron

3. Anchor bolt :

- Galvanized chrome molybdenum steel JIS-SCM 435
- Dipasang tiap jarak 20 cm
- Tegangan tarik $> 7.000 \text{ kg/cm}^2$
- Diameter ditentukan dari gaya yang timbul dengan Safety Factor (SF) > 3

4. Nut :

- Galvanized carbon steel JIS S45C
- Ring pengencang tahan karat, pasangan dari anchor bolt sebagai pegas penekan (spring washet)

5. Pegas penekan :

- Stainless steel sprinh washer JIS SUS 304
- Ring pegas pada anchor bolt untuk memperketat jepitan clamping plate.

4.1.4 Spesifikasi Tubuh Bendung

- a. Material = Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)
- b. Tebal = 15,80 cm
- c. Lapis perkuatan = 4 lapis kanvas jalinan nilon
- d. Tensile stress = max tensile stress Rubber Sheet $S_r = 275 \text{ kgf/cm}^2$. Tensile stress per cm lebar $T_s = 275 \times 1,58 = 434,5 \text{ kgf/cm}^2$.
- e. Tinggi bendung karet = 2,50 m
- f. Lebar dasar bendung karet = 35,00 m
- g. Berat bendung karet = $V = 5120,578 \text{ kg}$

h. Spesifikasi fisik material

1. Berat isi $= T = 1,15 \text{ kg/cm}^3$
2. Tegangan batas retak $= 120 \text{ kg/cm}^2$
Elongasi tegangan batas putus $> 40 \%$
3. Tes keausan pada temperatur 100°C selama 4 hari
Tegangan batas retak 100 kg/cm^2
Elongasi tegangan batas putus $> 300 \%$
4. Test peroksida dengan ozone test (100 ppm, 40°C , 96 jam, Elongasi 50%) tanpa retakan.
5. Batas kerut $< -40^\circ\text{C}$ tanpa kerutan
6. Kembang susut pada 70°C selama 4 hari perubahan volume $< 20 \%$
7. Tahanan gesek dengan abrasion Resistance Test Abration Disc H 16 pembebanan 1000gr/1000 rotasi. Volume terabrasi $< 0,50 \text{ ml}$.

4.1.5 Kedalaman Limpahan Maksimum

Bendung karet direncanakan dengan media udara.

Type media udara (h) = 0,20 Hr.

Kedalaman limpahan (h) pada saat DWL = $0,20 \times \text{Hr}$

$$= 0,20 \times 2,50$$

$$= 0,50 \text{ m}$$

4.2 Perhitungan Tubuh Bendung

Perhitungan tubuh bendung meliputi perhitungan tegangan yang bekerja pada tubuh bendung, perhitungan baut angkur, dan perhitungan plat pengikat.

Perincian perhitungan adalah seperti berikut ini.

4.2.1 Tegangan yang Bekerja pada Tubuh Bendung

$$\begin{aligned}
 1. \text{ Tekanan Udara (P)} &= \alpha \cdot \gamma_w \cdot H_r \\
 &= 1,0 \cdot 0,001 \cdot 250 \\
 &= 0,25 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. \text{ Tegangan (tension) pada tubuh bendung (T)} \\
 &= 0,5 \cdot \gamma_w \cdot H_r^2 \cdot k \\
 &= 0,5 \cdot 0,001 \cdot 250^2 \cdot 1,1 \\
 &= 34,375 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$

$$3. \text{ Faktor Keamanan (Sf) = } T_s/T > 8$$

T_s = Tegangan tarik Rubber Dam untuk media udara = 434,50 kg/cm

$$\begin{aligned}
 Sf &= 434,50 / 34,375 \\
 &= 12,64 > 8 \text{ -----OK}
 \end{aligned}$$

4.2.2 Perhitungan Baut Angkur

$$1. \text{ Gaya-gaya yang bekerja pada baut angkur (Fb)}$$

$$F_a = 4.800 \text{ kg} \quad \text{dipakai jarak angkur } L_1 = 20 \text{ cm}$$

$$A_b = 4,515 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 F_b &= F_a + 2 \cdot T \cdot L_1 \\
 &= 4.800 + 2 \cdot 34,375 \cdot 20 \\
 &= 6.175 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$2. \text{ Tegangan pada baut angkur (} \sigma \text{) dan faktor kemanannya (Sf)}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma &= F_b / A_b \\
 &= 6.175 / 4,515 \\
 &= 1367,66 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Tegangan putus untuk baut angkur, $\sigma_b = 7.000 \text{ kg/cm}^2$

$$S_f = \sigma_b / \sigma$$

$$= 7.000 / 1.367,66$$

$$= 5,12 > 3 \text{ _____ OK}$$

4.2.3 Perhitungan Plat Pengikat

1. Momen bengkok (bending momen) maksimum terhadap sumbu x-x untuk satu plat penjepit (M_x)

W_x = Gaya reaksi per unit lebar dari suatu plat penjepit, akibat dari ikatan baut angkur (7 buah baut per plat)

$$W_x = 6 \cdot F_a / (2 \cdot d)$$

$$= 6 \cdot 4.800 / (2 \cdot 12,1)$$

$$= 1.190,083 \text{ kg/cm}$$

$$M_x = (T \cdot L_2 \cdot d) + (W_x \cdot d \cdot d/2)$$

$$= (34,375 \times 120 \times 12,1) + (1.190,083 \times 12,1 \times 12,1/2)$$

$$= 137.032,5 \text{ kg cm}$$

2. Tegangan bengkok (bending momen) dan faktor keamanannya

$$\sigma = M_x / Z_x$$

$$= 137.032,5 / 130,10$$

$$= 1053,286 \text{ kg/cm}^2$$

$$Z_x = \text{modulus penampang } 130.10 \text{ cm}^3 \text{ (JIS FCD 500)}$$

Tegangan batas putus untuk plat penjepit (σ_b) digunakan JISFCD 500,

$$\sigma_b = 5.000 \text{ kg / cm}^2$$

$$Sf = \sigma_b / \sigma$$

$$= 5.000 / 1053,286$$

$$= 5 > 4,75 > 3 \text{ _____ OK}$$

4.3 Struktur Bawah

Struktur bangunan bawah meliputi pondasi bendung, abutment, pilar, tiang penahan rembesan dan konsolidasi dasar sungai. Perincian perhitungan struktur bawah adalah sebagai berikut ini.

4.3.1 Pondasi Bendung

Sambungan konstruksi direncanakan berupa tulangan dan dengan pondasi tak langsung (tiang pancang). Data-data direncanakan sendiri, sedangkan data karakteristik tanah diambil dari Bengawan Solo daerah Cepu-Padangan.

Bendung karet direncanakan sebagai berikut :

- Tinggi bendung karet = 2,50 m
- Elevasi Normal Water Level = 21,00 m
- Elevasi dasar bendung = 18,50 m
- Panjang lantai pondasi = 20,00 m
- Tebal Lantai Pondasi = 1,40 m
- Elevasi Deflating Water Level = 21,5 m
- Elevasi Design Flood Water Level = 28,85 m
- Diameter pilar pintu = 1,00 m

4.3.2 Abutment, Pilar, dan Lantai Lindung

Abutment dan pilar bendung dibuat dengan slope 1 : 0,3 (V : H). Panjang abutment dibuat sama dengan panjang *concrete slab* tubuh bendung yaitu 20,00 m dengan ketinggian 24,5 m dan panjang pilar dibuat 14 m sedangkan elevasi DFWL = 28,85 m.

Total panjang lantai dihitung dengan menggunakan rumus-rumus :

1. Bligh :

$$L = 0,67 \cdot C_o \cdot (dh \cdot q)^{0,5}$$

q = Debit persatuan lebar

$$= (1,77 \times h/Hr + 1,05) \cdot B \cdot h^{3/2} \text{ m}^3/\text{detik/m}$$

$$L = 0,67 \cdot 15 [2,5 \times (1,77 \times 0,5/2,5 + 1,05) \cdot 1 \cdot 0,5^{3/2}]^{0,5}$$

$$= 11,19 \text{ m} \text{ _____ diambil } L = 12 \text{ m}$$

2. Standart Perencanaan

$$L = 0,90 \cdot C_o \cdot D^{0,5}$$

$$= 0,90 \cdot 15 \cdot (2,50)^{0,5}$$

$$= 21,34 \text{ m} \text{ _____ diambil } L = 23 \text{ m}$$

Panjang lantai direncanakan 23 m (hasil perhitungan menurut rumus Standart Perencanaan).

Panjang lantai bendung karet = 20,00 m

Panjang lantai bendung karet dari terjunan ke hilir = 9,00 m

Panjang lantai lindung hilir = 23 - 9 = 14 m

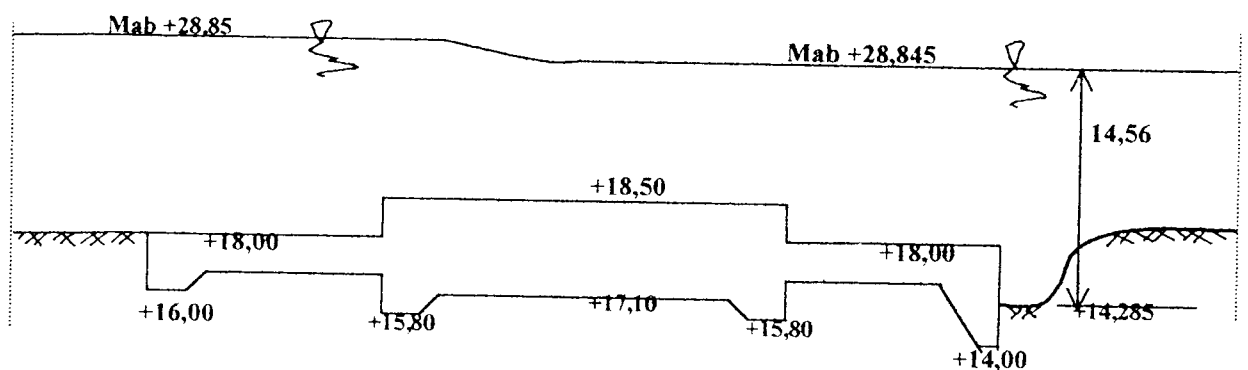
Panjang lantai lindung hulu = 1/3 x 14 = 4,67 m diambil 5 m

4.3.3 Koperan

Koperan direncanakan dengan memperhitungkan kedalaman gerusan lokal yang terjadi seperti pada gambar 4.1. Kedalaman gerusan lokal diperhitungkan seperti berikut ini.

$$\begin{aligned}
 R &= 0,47 \cdot (Q/F)^{1/3} \\
 &= 0,47 \cdot \left[\frac{3980}{1,76 \cdot 0,28^{0,5}} \right]^{1/3} \\
 &= 11,20 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk angka keamanan disarankan } R \cdot 1,3 &= 11,20 \cdot 1,3 \\
 &= 14,56 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.2 Rencana kedalaman koperan

Kedalaman gerusan lokal yang terjadi pada bagian hilir mencapai kedalaman 14,56 m dari muka air banjir dengan elevasi 14,285 m, kedalaman koperan direncanakan sedalam 2 m pada bagian hulu dan 4 m pada bagian hilir.

4.3.4 Tiang Penahan Rembesan (Sheet Pile)

1. Dengan Metode Bligh :

$$\begin{aligned} D &= (H \cdot C - LH) / 2 \\ &= (3 \cdot 15 - 39) / 2 \\ &= 3,00 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Dengan Metode Lane :

$$\begin{aligned} C &= 8,50 \\ H &= 3,00 \text{ m} \\ LH &= 38,8 \text{ m} \\ D &= (3,0 \cdot 8,50 - \frac{38,8}{3}) / 2 \\ &= 6,28 \text{ m} \text{ _____ diambil } 7 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas diambil total kedalaman tiang penahan yang terbesar yaitu $D = 7,00$ m. Tiang penahan rembesan ditempatkan pada koperan apron hulu tengah dan hilir dengan masing-masing kedalaman 3,0 m di koperan hulu, 2,0 m di koperan lantai bendung bagian hilir dan 2,0 m di koperan apron hilir.

Kontrol terhadap gaya rembesan diperhitungkan dengan menggunakan metode Bilgh dan metode Lane seperti berikut ini.

1. Metode Bligh

$$\begin{aligned} \Sigma LV + \Sigma LH &\geq C \cdot H \\ 30 + 39 &> 15 \cdot 3,00 \\ 69,00 &> 45,00 \text{ _____ konstruksi aman terhadap rembesan} \end{aligned}$$

2. Metode Lane

$$\Sigma LV + 1/3 \Sigma LH \geq C \cdot H$$

$$30 + (1/3 \cdot 38,8) > 8,5 \cdot 3,00$$

$$42,93 > 25,50 \text{ _____ konstruksi aman terhadap rembesan}$$

4.3.5 Kontrol Tebal Lantai Pondasi dan Lantai Lindung Hilir

$$dx > Fs \cdot \frac{Px - Wx}{\gamma}$$

Perhitungan :

Pada titik 12

$$dx = 1,40 \text{ m}$$

$$P_{12} = 2.469 \text{ kg/m}^2$$

$$\gamma \text{ beton} = 2.500 \text{ kg/m}^3$$

$$Fs = 1,50 \text{ (diambil pada kondisi normal)}$$

$$Wx = 0$$

$$1,40 > 1,5 \cdot \frac{2.469 - 0}{2500}$$

$$1,40 > 1.059 \text{ _____ ok}$$

Pada titik 18

$$dx = 1,00 \text{ m}$$

$$P_{18} = 2.103 \text{ kg/m}^2$$

$$\gamma \text{ beton} = 2.500 \text{ kg/m}^3$$

$$Fs = 1,50$$

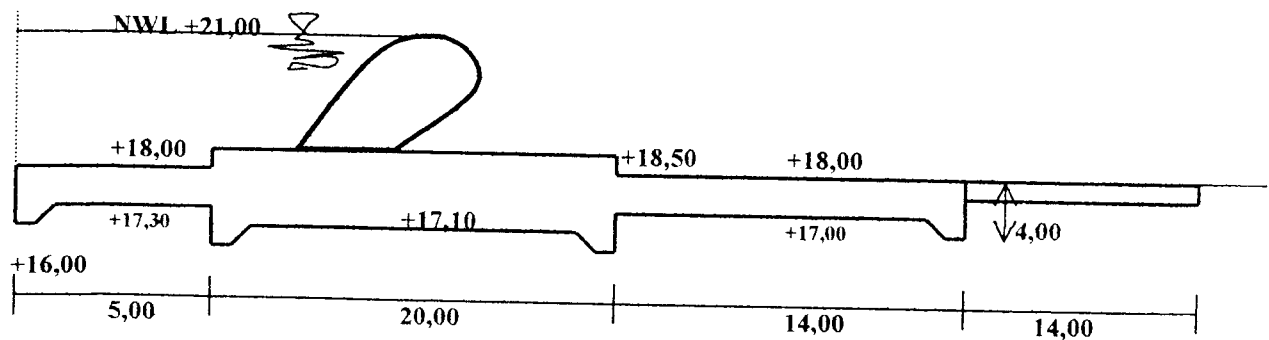
$$W_x = 0$$

$$1,00 > 1,5 \cdot \frac{2.103 - 0}{2500}$$

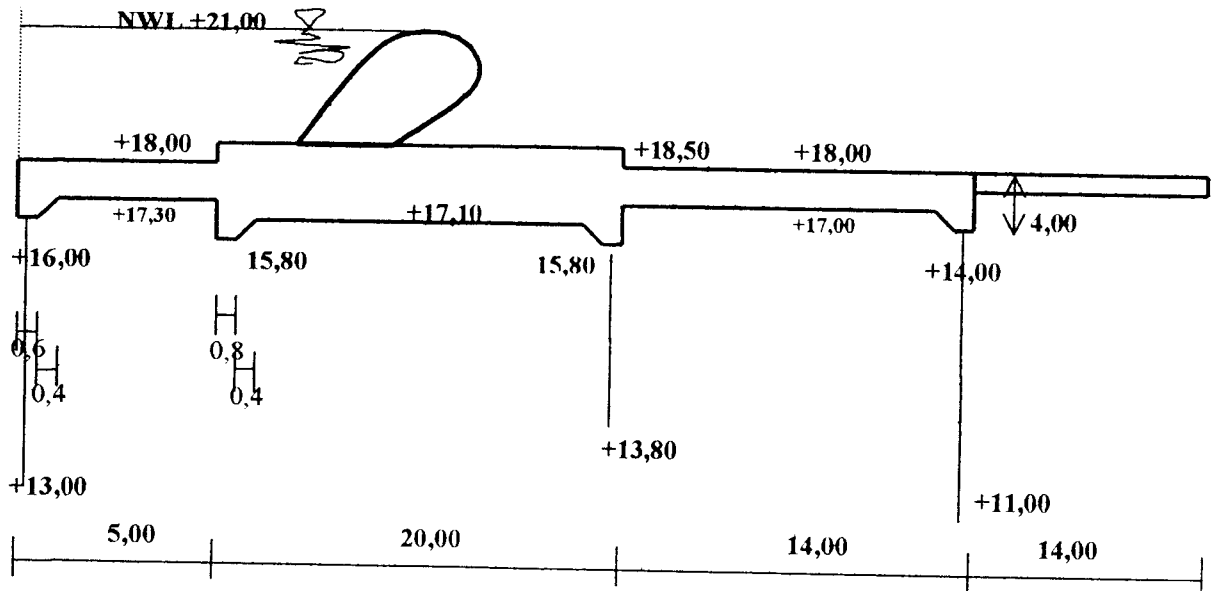
$$1,00 > 0,95 \text{ m} \quad \text{ok}$$

4.3.6 Konsolidasi Dasar Sungai

Konsolidasi dasar sungai direncanakan dengan menggunakan bronjong ukuran 3,00 x 1,00 x 0,50 m. Panjang konsolidasi dasar sungai bagian hilir direncanakan 14,00 m, diperkuat dengan tiang pancang dolken dari kayu jati dengan diameter 15 cm tiap jarak 2,00 m. Rencana panjang lantai bendung dan penempatan tiang penahan rembesan seperti pada gambar 4.3 dan 4.4 berikut ini.



Gambar 4.3 Panjang Lantai Bendung



Gambar 4.4 Penempatan Tiang Penahan Rembesan

4.4 Analisis Stabilitas

Analisis Stabilitas meliputi perhitungan gaya-gaya yang bekerja dan tinjauan stabilitas pondasi. Perinciannya adalah sebagai berikut ini.

4.4.1 Perhitungan Gaya-gaya yang Bekerja

1. Tekanan Air Statis

$$P_h = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot h^2$$

2. Tekanan Air Dinamis

$$P_d = \frac{7}{12} \cdot \gamma_w \cdot h^2$$

3. Tekanan Air (Uplift Pressure)

$$P_x = \left[Hx - \left[\frac{Lx}{L} \times H \right] \right] \gamma_w$$

Gaya-gaya yang terjadi pada bendung akibat tekanan air kearah horizontal maupun vertikal dapat dilihat pada gambar 4.7 sedangkan hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 4.2.

4 Tekanan tanah

Untuk menentukan Berat Isi Efektif langkah-langkah yang digunakan adalah seperti berikut ini.

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

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(G + e \cdot s)}{1 + e} \cdot \gamma_w$$

$$G = 2,47 \text{ (berat jenis)}$$

$$e = 1,44$$

$$S = 1,00 \text{ (Degree of Saturation)}$$

$$\gamma_w = 1000 \text{ kg/m}^3 \text{ (berat volume air)}$$

$$\gamma_{\text{sat}} = \frac{(2,47 + 1,44 \cdot 1,00)}{1 + 1,44} \cdot 1000 = 1.667,71 \text{ kg/m}^3$$

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

$$= 1.667,71 - 1000$$

$$= 667,71 \text{ kg/m}^3$$

Rumus yang digunakan untuk menentukan tekanan tanah aktif dan pasif adalah sebagai berikut ini.

$$P_{\text{ax}} = \gamma_{\text{sub}} \cdot h \cdot \text{tg}^2 (45^\circ - \theta/2)$$

$$P_{\text{px}} = \gamma_{\text{sub}} \cdot h \cdot \text{tg}^2 (45^\circ + \theta/2)$$

$$\theta = 26,3354^\circ \text{ (sudut geser dalam)}$$

Langkah perhitungan besarnya tekanan tanah aktif dan pasif adalah seperti berikut ini.

$$\begin{aligned} \text{Pa 8} &= 667,71 \times 0,70 \times \text{tg}^2 (45^\circ - 26,3354^\circ/2) \\ &= 180,135 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pa 9} &= 667,71 \times 2,2 \times \text{tg}^2 (45^\circ - 26,3354^\circ/2) \\ &= 540,41 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pa 12} &= 667,71 \times 0,90 \times \text{tg}^2 (45^\circ - 26,3354^\circ/2) \\ &= 231,60 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pa 13} &= 667,71 \times 2,20 \times \text{tg}^2 (45^\circ - 26,3354^\circ/2) \\ &= 540,41 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

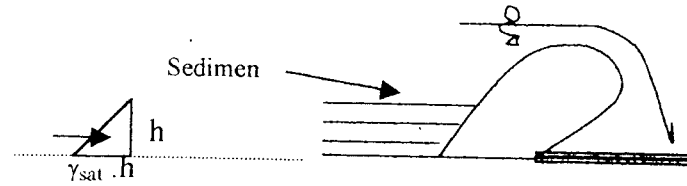
$$\begin{aligned} \text{Pp 10} &= 667,71 \times 2,20 \times \text{tg}^2 (45^\circ + 26,3354^\circ/2) \\ &= 3638,26 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pp 11} &= 667,71 \times 0,90 \times \text{tg}^2 (45^\circ + 26,3354^\circ/2) \\ &= 1559,26 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pp 17} &= 667,71 \times 2,20 \times \text{tg}^2 (45^\circ + 26,3354^\circ/2) \\ &= 3638,26 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pp 18} &= 667,71 \times 1,00 \times \text{tg}^2 (45^\circ + 26,3354^\circ/2) \\ &= 1732,51 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Tekanan sedimen bekerja terhadap muka hulu bendung seperti pada gambar 4.5 di bawah ini. Perhitungan tekanan sedimen adalah sebagai berikut ini.



Gambar 4.5 Diagram Gaya Tekanan Sedimen

$$\begin{aligned}
 P_s &= \frac{1}{2} \cdot \gamma_s \cdot h^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{G + e \cdot S}{1 + e} \right] \cdot \gamma_w \cdot h^2 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \left[\frac{2,61 + 1,41 \cdot 1}{1 + 1,41} \right] \cdot 1000 \cdot 0,5^2 \\
 &= 208,51 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

4.4.2 Perhitungan Stabilitas Pondasi

Perhitungan stabilitas pondasi ditinjau dari beberapa kondisi yaitu kondisi NWL, DWL, dan DFWL. Perhitungan gaya-gaya dan momen yang bekerja dipermudah dengan membuat blok-blok. Setiap blok dicari besar gayanya dan dihitung nilai momennya terhadap titik tinjau yaitu titik 17. (Lihat gambar 4.8). Hasil perhitungannya seperti pada tabel 4.2.

Besarnya gaya dan momen yang terjadi :

$$\Sigma RVG = 73.440,00 \text{ kg}$$

$$\Sigma RV = 28.310,65 \text{ kg}$$

$$\Sigma RH = 12.283,997 \text{ kg}$$

$$\Sigma MV = 349.529,26 \text{ kg}$$

$$\Sigma MH = 36.119,088 \text{ kg}$$

$$\Sigma M = 312.410,18 \text{ kg}$$

Gaya tangkap gaya resultante dapat ditentukan sehubungan dengan titik 17

$$Y = \frac{\Sigma MH}{\Sigma RH} = \frac{36.119,088}{12.283,997} = 2,94 \text{ m}$$

$$X = \frac{\Sigma MV}{\Sigma RV} = \frac{348.529,27}{28.310,65} = 12,31 \text{ m}$$

Eksentrisitas diperhitungkan dengan rumus seperti berikut ini.

$$L \text{ pondasi} = 20 \text{ m}$$

$$e = \frac{L}{2} - \frac{\Sigma M}{\Sigma RV} < \frac{1}{6} \cdot L$$

$$e = \frac{20}{2} - \frac{312.410,18}{28.310,65} < \frac{1}{6} \cdot 20$$

$$= -1,035 < 3,33 \text{ m} \text{ ok}$$

Untuk memperhitungkan tegangan tanah adalah sebagai berikut ini.

$$\sigma_{\text{mak}} = \frac{RV}{L} \cdot \left[1 \pm \frac{6 \cdot e}{L} \right]$$

$$\sigma_{\text{mak}} = \frac{28.310,65}{20} \left[1 \pm \frac{6 \cdot 1,035}{20} \right]$$

$$= 1.855,05 \text{ kg/m}^2$$

$$= 0,1855,05 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{ijin}} = 0,280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{\text{min}} = 0,0976 \text{ kg/cm}^2 > 0 \text{ OK}$$

Keamanan terhadap guling diperhitungkan sebagai berikut ini.

$$\frac{\Sigma MV}{\Sigma MH} > F_s \longrightarrow F_s = 1,5$$

$$\frac{348.529,26}{36.119,088} = 9,64 > 1,5 \text{ ok}$$

Keamanan terhadap gelincir meliputi bagian tanah pasif. Gaya yang bekerja diperhitungkan sebagai berikut ini.

$$Pp1 = (1.386,00 \times 1,30 \times 1,00) + (2.079 \times 0,65 \times 1,00)$$

$$= 3.153,15 \text{ kg}$$

$$Pp2 = (1.732,51 \times 1,20 \times 1,00) + (1.905,75 \times 0,60 \times 1,00)$$

$$= 3.272,46 \text{ kg}$$

$$\Sigma Pp = 6.425,61 \text{ kg}$$

$$f = 0,60$$

$$\Sigma RV = 28.310,65 \text{ kg}$$

$$\Sigma RH = 12.283,997 - 6.425,61 = 5.858,387 \text{ kg}$$

$$\frac{f \cdot \Sigma RV}{\Sigma RH} > 1,50$$

$$\frac{0,60 \cdot 28.310,65}{5.858,387} = 2,899 > 1,5 \text{ ok}$$

Keamanan terhadap gempa diperhitungkan dengan memperhatikan koefisien letak geografis. Perhitungan keamanan terhadap gaya gempa adalah seperti berikut ini.

$$PG = \text{Gaya akibat gempa}$$

$$RVG = 73.440 \text{ kg}$$

$$n = 1,56 \text{ (tabel)}$$

$$m = 0,89 \text{ (tabel)}$$

$$z = 0,56 \text{ (gambar)}$$

$$g = 9,80 \text{ m/dt}^2$$

$$Ac = 1,13 \text{ m/dt}^2$$

$$Ad = n \cdot (Ac \cdot z)^m$$

$$= 1,56 \cdot (1,13 \cdot 0,56)^{0,89}$$

$$= 1,038 \text{ m/dt}^2$$

$$E = Ad/g$$

$$= 1,038/9,80 = 0,11$$

$$PG = E \cdot RVG$$

$$= 0,11 \cdot 73.440 = 8.078,40 \text{ kg}$$

$$MPG = 8.078,40 \times 2,943 = 23.774,7312 \text{ kgm}$$

$$\Sigma M = 312.410,18 - 23.774,7312$$

$$= 288.635,449 \text{ kgm}$$

Eksentrisitas yang terjadi :

$$L \text{ pondasi} = 20 \text{ m}$$

$$e = \frac{L}{2} - \frac{\Sigma M}{\Sigma RV} < \frac{1}{6} \cdot L$$

$$e = \frac{20}{2} - \frac{288.635,449}{28.310,65} < \frac{1}{6} \cdot 20$$

$$= -0,19 < 3,33 \text{ m} \text{ ok}$$

Keamanan terhadap erosi bawah tanah (pipng) diperhitungkan sebagai berikut ini.

$$S = \frac{h (1 + a/h)}{hx}$$

S = Faktor erosi bawah tanah

h = Kedalaman tanah ,m'

a = Tebal lantai pelindung, m

hx= Px – h

Px= Tekanan air pada titik x dimulai dari hulu bendung, kg/m²

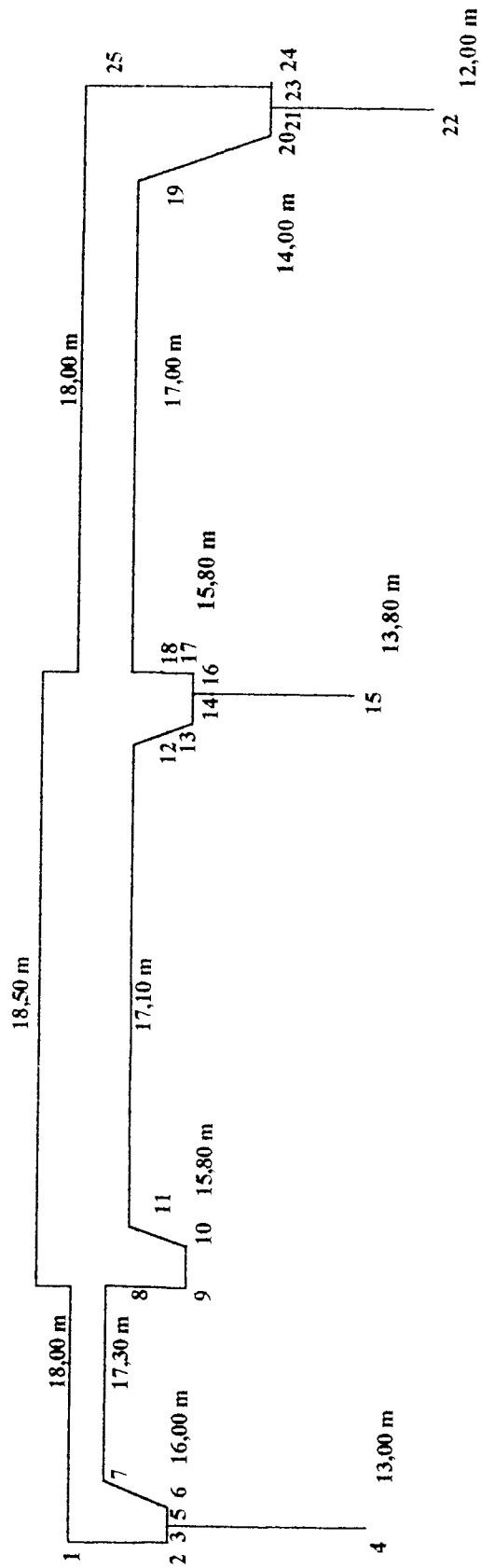
h = 3,00 m

a = 0

P24 = 4.276 kg/cm²

$$\begin{aligned} hx &= \frac{P24}{\gamma_w} - h \\ &= \frac{4.276}{1000} - 3 = 1,276 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S &= \frac{h (1 + a/h)}{hx} \\ &= \frac{3,00 (1 + 0/3,00)}{2,276} \\ &= 2,35 > 2 \text{ _____ ok} \end{aligned}$$



Gambar 4.6 Posisi Titik Tinjauan pada Pondasi

Tabel 4.1 Gaya Tekan ke Atas untuk kondisi NWL, DWL, dan DFWL

TITIK	GRS	LV (m)	LH (m)	1/3 LH	LX (m)	Tinggi			Energi	X1 (m)	X2 (m)	X3 (m)	Gaya		Tekan		Ke atas DFWL (Kg/m ²)
						Hx NWL (m)	Hx DWL (m)	Hx DFWL (m)					Px NWL (Kg/m ²)	Px DWL (Kg/m ²)	Px DFWL (Kg/m ²)		
1					0,00	3,00	3,50	10,85	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	3,000	3,500	10,850		
2	1-2	2,00	0,00	0,00	2,00	5,00	5,50	12,85	0,138	0,119	0,00023	0,00023	4,862	5,381	12,849,77		
3	2-3	0,00	0,36	0,10	2,10	5,00	5,50	12,85	0,145	0,126	0,00024	0,00024	4,855	5,374	12,849,76		
4	3-4	3,00	0,00	0,00	6,10	-	-	-	0,42	0,366	0,00007	0,00007	(420)	(366)	(0,70)		
5	4-5	3,00	0,00	0,00	9,10	5,00	5,50	12,85	0,627	0,545	0,001	0,001	4,373	4,955	12,849		
6	5-6	0,00	0,30	0,10	9,20	5,00	5,50	12,85	0,634	0,551	0,0011	0,0011	4,366	4,949	12,848,9		
7	6-7	1,30	0,00	0,00	10,5	3,70	4,20	11,55	0,723	0,629	0,0012	0,0012	2,977	3,571	11,548,8		
8	7-8	0,00	4,00	1,33	11,83	3,70	4,20	11,55	0,815	0,709	0,0013	0,0013	2,885	3,491	11,548,7		
9	8-9	1,50	0,00	0,00	13,33	5,20	5,70	13,05	0,918	0,799	0,00153	0,00153	4,282	4,901	13,048,47		
10	9-10	0,00	0,80	0,27	13,6	5,20	5,70	13,05	0,937	0,815	0,00156	0,00156	4,263	4,885	13,048,44		
11	10-11	1,30	0,00	0,00	14,9	3,90	4,40	11,75	1,027	0,893	0,00171	0,00171	2,873	3,507	11,748,29		
12	11-12	0,00	17,6	5,87	20,77	3,90	4,40	11,75	1,431	1,245	0,00238	0,00238	2,469	3,155	11,747,62		
13	12-13	1,30	0,00	0,00	22,07	5,20	5,70	13,05	1,521	1,323	0,00253	0,00253	3,679	4,377	13,047,47		
14	13-14	0,00	0,40	0,13	22,20	5,20	5,70	13,05	1,529	1,331	0,00255	0,00255	3,671	4,369	13,047,45		
15	14-15	2,00	0,00	0,00	24,20	-	-	-	1,667	1,451	0,00278	0,00278	(1,667)	(1,451)	(2,78)		
16	15-16	2,00	0,00	0,00	26,20	5,20	5,70	13,05	1,805	1,57	0,003	0,003	3,395	4,130	13,047		

17	16-17	0,00	0,40	0,13	26,33	5,20	5,70	13,05	1,814	1,578	0,003	3,386	4,122	13,047
18	17-18	1,20	0,00	0,00	27,53	4,00	4,50	11,85	1,897	1,71	0,0032	2,103	2,790	11,846,8
19	18-19	0,00	14	4,67	32,30	4,00	4,50	11,85	2,218	1,93	0,0037	1,782	2,570	11,846,3
20	19-20	3,00	0,00	0,00	35,20	7,00	7,50	14,85	2,425	2,11	0,0040	4,575	5,390	14,846
21	20-21	0,00	0,50	0,17	35,37	7,00	7,50	14,85	2,437	2,12	0,0041	4,563	5,380	14,845,9
22	21-22	2,00	0,00	0,00	37,37	-	-	-	2,575	2,24	0,0043	(2,575)	(2,240)	(4,30)
23	22-23	2,00	0,00	0,00	39,37	7,00	7,50	14,85	2,713	2,360	0,0045	4,287	5,140	14,845,5
24	23-24	0,00	0,50	0,17	39,54	7,00	7,50	14,85	2,724	2,37	0,0045	4,276	5,130	14,845,5
25	24-25	4,00	0,00	0,00	43,54	3,00	3,50	10,85	3,00	2,61	0,005	0,00	890	10,845
	TOTAL	29,6	38,8	12,94										

Keterangan :

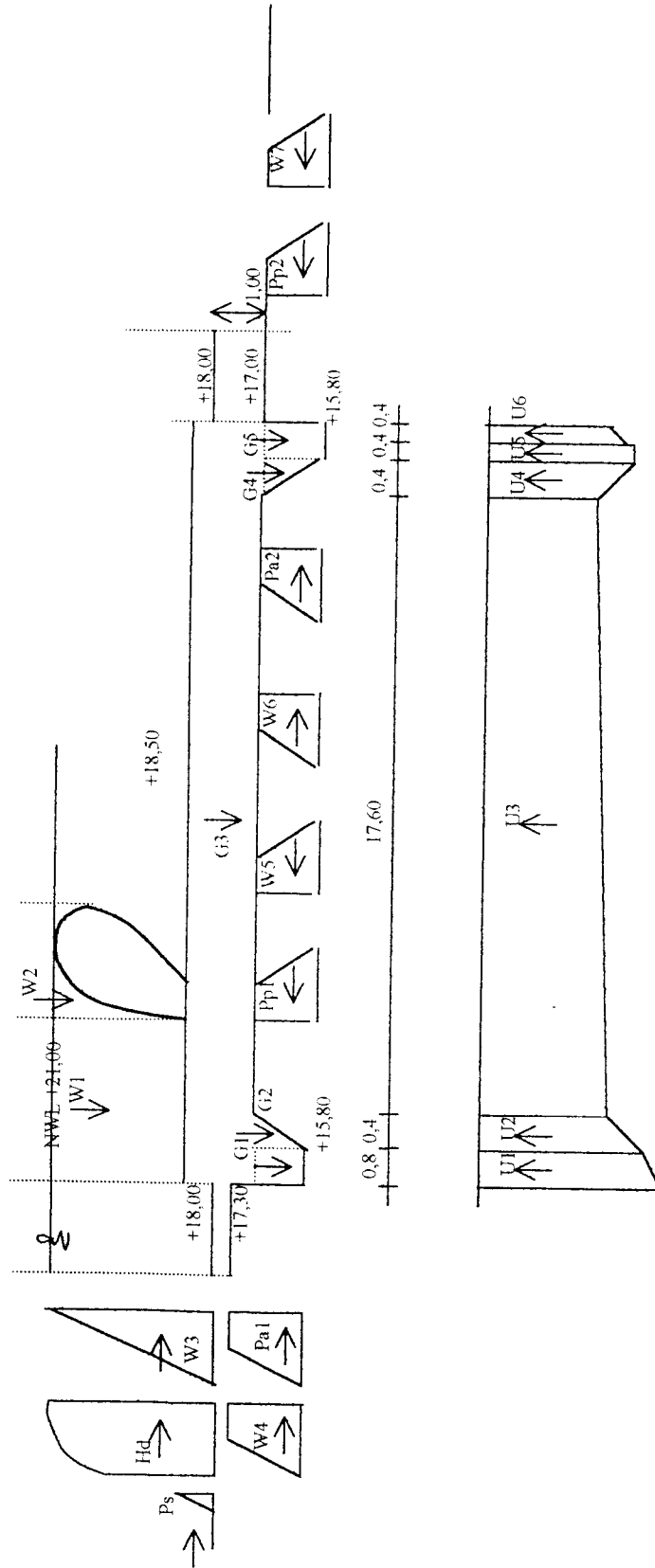
- Px = Gaya tekan ke atas pada X (kg/m^2) = $Hx - Xn$
 Hx = Tinggi energi di hulu bendung (m)
 Lx = Jarak sepanjang bidang kontak dari hulu sampai ke X (m)
 Lt = Panjang total bidang kontak bendung dengan tanah (m)
 Hn = Beda TMA di hulu dan di hilir bendung

Dimana :

- H1 = $21,00 - 18,00 = 3,00$ m
 H2 = $21,5 - 18,89 = 2,61$ m
 H3 = $28,85 - 28,845 = 0,005$ m
 CL = Harga minimum angka rembesan Lane untuk pasir atau lanau = 8,50

Tabel 4.2 Perhitungan Gaya dan Momen pada Kondisi NWL

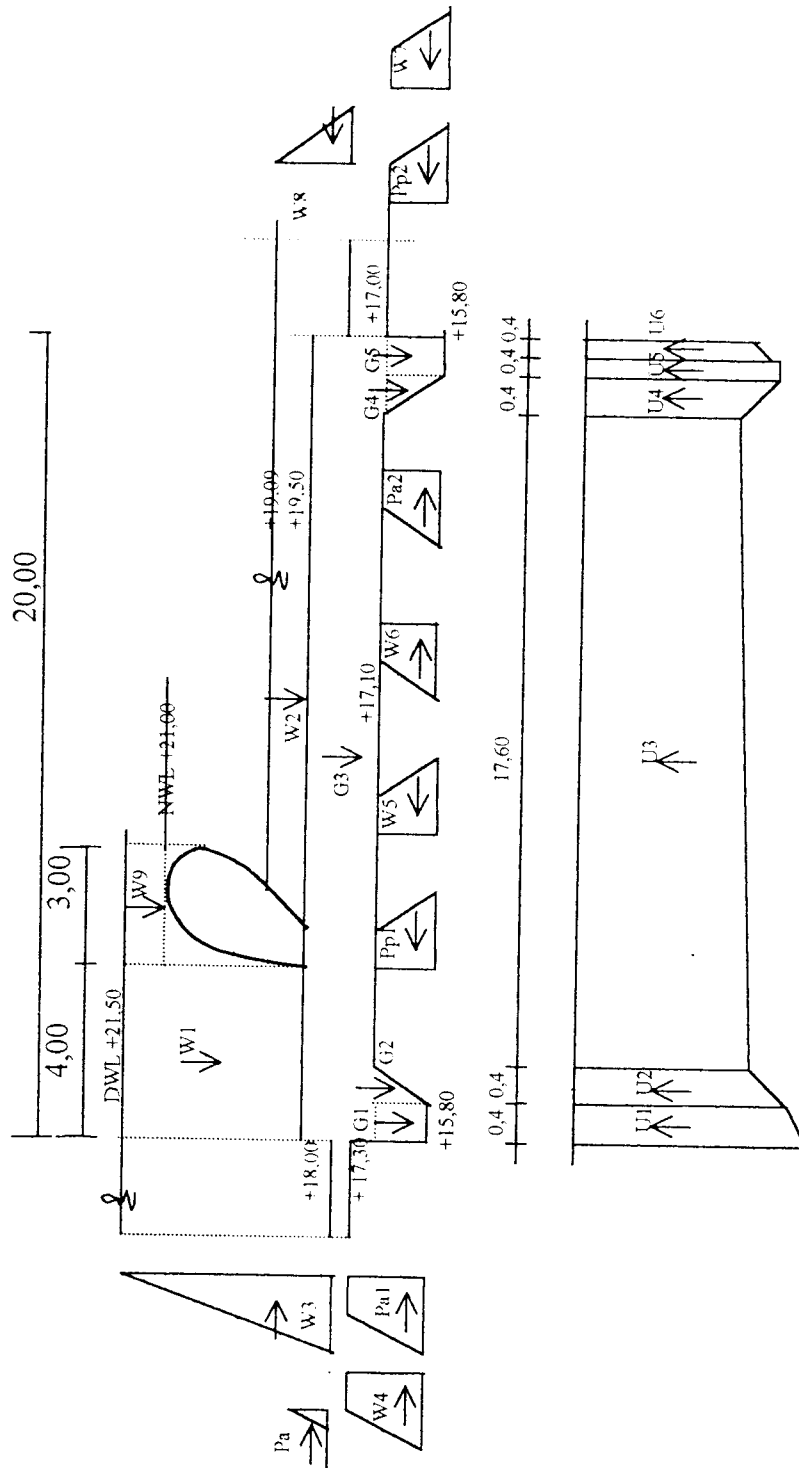
GAYA	URAIAN PERHITUNGAN GAYA	GAYA V (kg)	GAYA H (kg)	TERHADAP TITIK 17			
				X (m)	Y (m)	Mv (kg m)	Mh (kg m)
I	BERAT SENDIRI						
G1	0,8 x 1,3 x 2400	2.496,00		19,60		48.921,60	
G2	0,4 x 1,3 x 2.400 x 0,5	624,00		19,07		11.899,68	
G3	1,4 x 20,00 x 2.400	67.200,00		10,00		672.200,00	
G4	0,4 x 1,3 x 2.400 x 0,5	624,00		0,93		580,32	
G5	0,8 x 1,3 x 2.400	2.496,00		0,40		998,40	
	RVG	73.440,00			MVG	734.400,00	
II	BERAT AIR						
W1	2,5 x 4,00 x 1.000	10.000,00		18,00		180.000,000	
W2	0,5 x 1,25 x 1,25 x 1.000	781,25		15,67		12.242,187	
	RVW	10.781,25			MVW	192.242,187	
III	TEKANAN AIR HIDROSTATIS						
W3	3.000 x 3,0 x 1,00 x 0,5		4.500,00		3,20		14.400,000
W4	2.885 x 1,5 x 1,00		4.327,50		0,75		3.245,625
	1.397 x 1,5 x 1,00 x 0,5		1.047,75		0,50		532,875
W5	2.873 x 1,3 x 1,00		(3.734,90)		0,65		(2.427,685)
	1.390 x 1,3 x 1,0 x 0,5		(903,50)		0,43		(388,505)
W6	2.469 x 1,3 x 1,00		3.209,70		0,65		2.086,305
	1.210 x 1,3 x 1,00 x 0,5		786,50		0,43		338,195
W7	2.103 x 1,2 x 1,00		(2.532,60)		0,60		(1.514,160)
	1.283 x 1,2 x 1,00 x 0,5		(769,80)		0,40		(307,920)
IV	TEKANAN UPLIFT						
U1	4.263 x 0,8 x 1,00	(3.410,40)		19,60		(66.843,840)	
	19 x 0,8 x 1,00 x 0,5	(7,60)		19,73		(149,948)	
U2	2.873 x 0,4 x 1,00	(1.149,20)		19,00		(21.834,800)	
	1.390 x 0,4 x 1,00 x 0,5	(278,00)		19,27		(5.357,060)	
U3	2.469 x 17,6 x 1,00	(45.454,40)		10,00		(434.544,000)	
	404 x 17,6 x 1,00 x 0,5	(3.555,20)		12,93		(45.968,736)	
U4	2.469 x 0,4 x 1,00	(987,60)		1,00		(987,600)	
	1.210 x 0,4 x 1,00 x 0,5	(242,00)		1,13		(273,460)	
U5	3.671 x 0,4 x 1,00	(1.468,40)		0,60		(881,040)	
	8 x 0,4 x 1,00 x 0,5	(1,60)		0,67		(1,072)	
U6	3.386 x 0,4 x 1,00	(1.354,40)		0,20		(270,880)	
	9 x 0,4 x 1,00 x 0,5	(1,80)		0,27		(0,486)	
	RVU	55.910,60			MVU	577.112,922	
V	TEKANAN HIDRODINAMIS						
Hd	3.000 x 3,0 x 7/12 x 1,0		5.250,00		3,70		19.425,000
VI	TEKANAN SEDIMEN						
Ps	208,52 x 0,5 x 1,0 x 0,5		52,13		2,27		118,329
VII	TEKANAN AKTIF						
Pa1	180,135 x 1,5 x 1,00		270,203		0,75		202,652
	360,275 x 1,5 x 1,0 x 0,5		270,206		0,50		135,103
Pa2	231,60 x 1,30 x 1,00		301,080		0,65		195,960
	308,81 x 1,30 x 1,00 x 0,50		200,730		0,43		86,314
	JUMLAH	RV 28.310,65	RH 12.267,267			MV 348.529,265	MH 36.119,088



Gambar 4.7 Gaya-Gaya yang Terjadi pada Kondisi NWL

Tabel 4.3 Perhitungan Gaya dan Momen pada Kondisi DWL

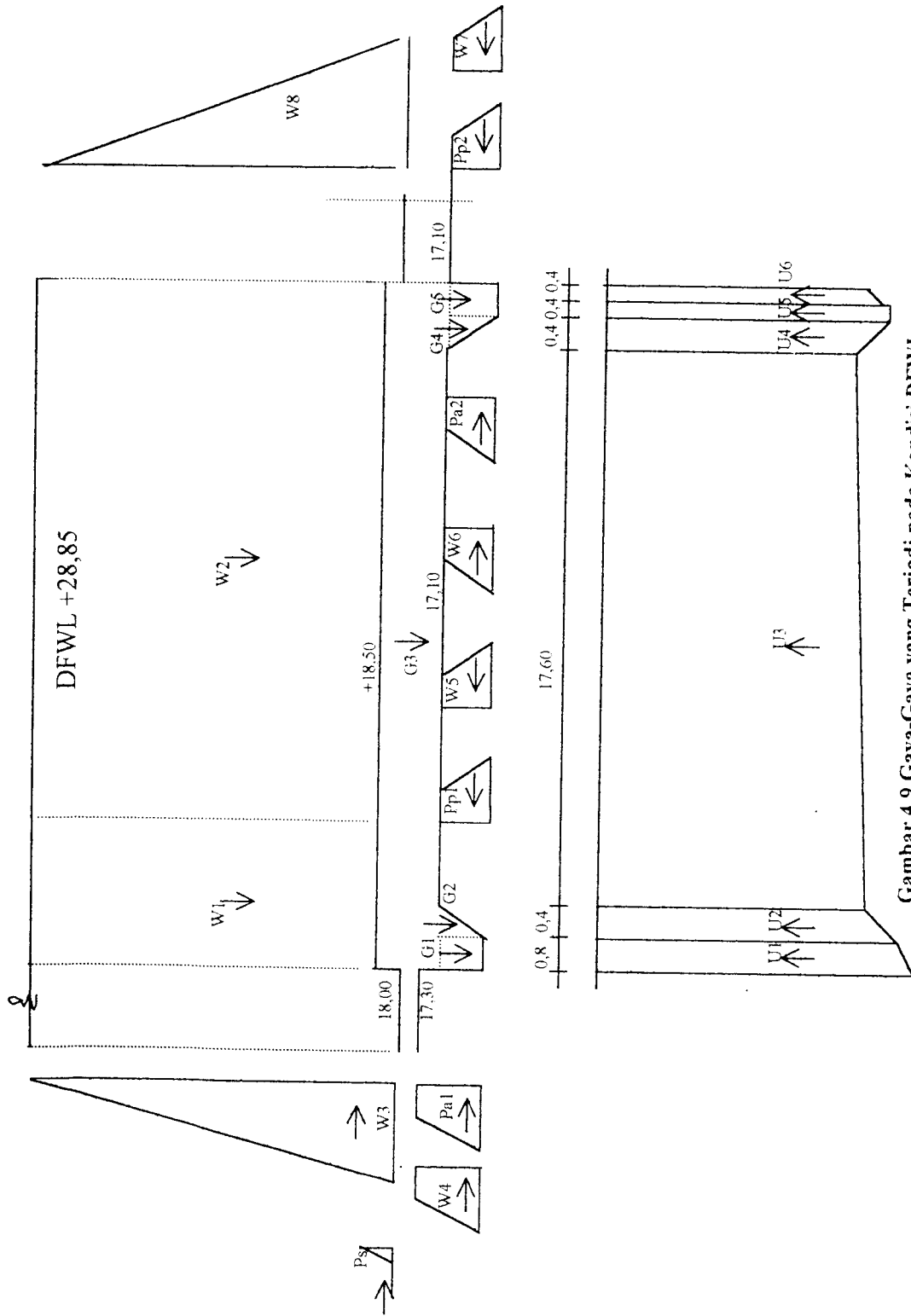
GAYA	URAIAN PERHITUNGAN GAYA	GAYA V (kg)	GAYA H (kg)	TERHADAP TITIK 17			
				X (m)	Y (m)	Mv (kg m)	Mh (kg m)
I	BERAT SENDIRI						
G1	0,8 x 1,3 x 2400	2.496,00		19,60		48.921,60	
G2	0,4 x 1,3 x 2.400 x 0,5	624,00		19,07		11.899,68	
G3	1,4 x 20,00 x 2.400	67.200,00		10,00		672.200,00	
G4	0,4 x 1,3 x 2.400 x 0,5	624,00		0,23		580,32	
G5	0,8 x 1,3 x 2.400	2.496,00		0,40		998,40	
	RVG	73.440,00			MVG	734.400,00	
II	BERAT AIR						
W1	3,0 x 4,00 x 1.000	12.000,00		18,00		216.000,000	
W2	0,49 x 14,00 x 1.000	6.860,00		7,00		48.020,000	
W3	0,5 x 3,00 x 1.000	1.500		14,50		21.750,000	
	RVW	20.360,00			MVW	285.770,000	
III	TEKANAN AIR HIDROSTATIS						
W3	3.500 x 3,50 x 1,00 x 0,5		6.125,00		3,37		20.641,250
W4	3.491 x 1,5 x 1,00		5.236,50		0,75		3.927,375
	1.410 x 1,5 x 1,00 x 0,5		1.057,50		0,50		528,750
W5	3.507 x 1,3 x 1,00		(4.559,10)		0,65		(2.963,415)
	1.378 x 1,3 x 1,0 x 0,5		(895,70)		0,43		(385,151)
W6	3.155 x 1,3 x 1,00		4.101,50		0,65		2.665,975
	1.222 x 1,3 x 1,00 x 0,5		794,30		0,43		341,549
W7	2.796 x 1,2 x 1,00		3.627,00		0,60		2.176,200
	1.332 x 1,2 x 1,00 x 0,5		(865,80)		0,40		(346,320)
W8	890,0 x 0,99 x 1,00 x 0,5		(440,55)		2,53		(1.114,592)
IV	TEKANAN UPLIFT						
U1	4.885 x 0,8 x 1,00	(3.908,00)		19,60		(76.596,800)	
	16 x 0,8 x 1,00 x 0,5	(6,400)		19,73		(126,272)	
U2	3.507 x 0,4 x 1,00	(1.402,80)		19,00		(26.653,200)	
	1.378 x 0,4 x 1,00 x 0,5	(275,60)		19,27		(5.310,812)	
U3	3.155 x 17,6 x 1,00	(55.528,00)		10,00		(555.280,000)	
	352 x 17,6 x 1,00 x 0,5	(3.097,60)		12,93		(40.051,968)	
U4	3.155 x 0,4 x 1,00	(1.262,00)		1,00		(1.262,000)	
	1.222 x 0,4 x 1,00 x 0,5	(244,40)		1,13		(276,172)	
U5	4.369 x 0,4 x 1,00	(1.747,60)		0,60		(1.048,560)	
	8 x 0,4 x 1,00 x 0,5	(1,60)		0,67		(1,072)	
U6	4.122 x 0,4 x 1,00	(824,40)		0,20		(164,880)	
	8 x 0,4 x 1,00 x 0,5	(1,60)		0,27		(0,432)	
	RVU	68.300,00			MVU	706.771,168	
V	TEKANAN SEDIMEN						
Ps	208,52 x 0,5 x 1,0 x 0,5		52,13		2,27		118,329
VI	TEKANAN AKTIF						
Pa1	180,135 x 1,5 x 1,00		270,203		0,75		202,652
	360,275 x 1,5 x 1,0 x 0,5		270,206		0,50		135,103
Pa2	231,60 x 1,30 x 1,00		301,08		0,65		195,960
	308,81 x 1,30 x 1,00 x 0,50		200,73		0,43		86,314
	JUMLAH	RV 25.500	RH 8.020,999			MV 313.398,832	MH 21.857,579



Gambar 4.8 Gaya-Gaya yang Terjadi pada Kondisi DWL

Tabel 4.4 Perhitungan Gaya dan Momen pada Kondisi DFWL

GAYA	URAIAN PERHITUNGAN GAYA	GAYA V (kg)	GAYA H (kg)	TERHADAP TITIK 17			
				X (m)	Y (m)	Mv (kg m)	Mh (kg m)
I	BERAT SENDIRI						
G1	0,8 x 1,3 x 2400	2.496,00		19,60		48.921,60	
G2	0,4 x 1,3 x 2.400 x 0,5	624,00		19,07		11.899,68	
G3	1,4 x 20,00 x 2.400	67.200,00		10,00		672.200,00	
G4	0,4 x 1,3 x 2.400 x 0,5	624,00		0,93		580,32	
G5	0,8 x 1,3 x 2.400	2.496,00		0,40		998,40	
	RVG	73.440,00			MVG	734.400,00	
II	BERAT AIR						
W1	10,35 x 4,0 x 1.000	41.400,00		18,00		745.200,000	
W2	10,345 x 16,00 x 1.000	165.520,00		8,00		1.324.160,000	
	RVW	206.920,00			MVW	2.069.360,000	
III	TEKANAN AIR HIDROSTATIS						
W3	10.850 x 10,85 x 1,0 x 0,5		58.861,25		5,82		342.572,475
W4	11.548,7 x 1,5 x 1,00 x 1.499,77 x 1,5 x 1,00 x 0,5		17.323,05 1.124,83		0,75 0,50		12.992,288 562,413
W5	11.748,29 x 1,3 x 1,0 1300,15 x 1,3 x 1,0 x 0,5		(15.272,77) (845,08)		0,65 0,43		(9.927,305) (363,392)
W6	11.747,62 x 1,3 x 1,0 1299,85 x 1,3 x 1,0 x 0,5		15.271,91 844,90		0,65 0,43		9.926,739 363,308
W7	11.846,8 x 1,3 x 1,0 1.200,2 x 1,3 x 1,0 x 0,5		15.400,84 (780,13)		0,60 0,40		9.240,504 (312,052)
W8	10,845 x 10,845 x 1,0 x 0,5		(58.807,00)		5,82		(342.256,843)
IV	TEKANAN UPLIFT						
U1	13.048,44 x 0,8 x 1,0 0,03 x 0,8 x 1,0 x 0,5	(10.438,750) (0,012)		19,60 19,73		(204.599,540) (0,237)	
U2	13.048,44 x 0,4 x 1,0 1300,15 x 0,4 x 1,0 x 0,5	(5.219,370) (260,030)		19,00 19,27		(99.168,144) (5.010,778)	
U3	11.747,62 x 17,60 x 1,0 0,67 x 17,60 x 1,0 x 0,5	(206.758,112) (5,896)		10,00 12,93		(2.067.581,120) (76,235)	
U4	11.747,62 x 0,4 x 1,0 1.299 x 0,4 x 1,0 x 0,5	(4.699,050) (259,970)		1,00 1,13		(4.699,050) (293,766)	
U5	13.047,45 x 0,4 x 1,0 0,02 x 0,4 x 1,0 x 0,5	(5218,980) (0,004)		0,60 0,67		(3.131,388) (0,027)	
U6	13.047 x 0,4 x 1,0	(5.218,800)		0,20		(1.043,760)	
	RVU	238.078,974			MVU	2.382.604,043	
V	TEKANAN SEDIMEN						
Ps	208,52 x 0,5 x 1,0 x 0,5		52,13		2,27		118,329
VI	TEKANAN AKTIF						
Pa1	180,135 x 1,5 x 1,0 360,275 x 1,5 x 1,0 x 0,5		270,203 270,206		0,75 0,50		202,652 135,103
Pa2	231,60 x 1,30 x 1,0 308,81 x 1,30 x 1,00 x 0,50		301,080 200,730		0,65 0,43		195,960 86,314
	JUMLAH	RV 42.281,026	RH 3.499,883			MV 421.155,957	MH 5263,982



Gambar 4.9 Gaya-Gaya yang Terjadi pada Kondisi DFWL

Tabel 4.5 Analisis Stabilitas pada Kondisi DWL dan DFWL

NO	URAIAN	KONDISI DWL	KONDISI DFWL
1	Besar Gaya dan Momen RVG RV RH MV MH M	73.440,00 kg 25.500 kg 8.020,999 kg 313.398,832 kg.m 21.857,579 kg.m 291.541,253 kg.m	73.440,00 kg 42.281,026 kg 3.499,883 kg 421.155,957 kg.m 5.263,485 kg.m 415.891,975 kg.m
2	Garis tangkap gaya Resultante Y = MH/RH X = MV/RV	0,36 m 12,29 m	1,5 m 9,96 m
3	Eksentrisitas, L = 20 m $e = 1/2L - M/R_v < 1/6 L$	-1,43 < 3,33 _____ ok	0,16 < 3,33 _____ ok
4	Tegangan Tanah T max = $RV/L \times ((1 \pm (6e/L)))$ T min = $RV/L \times ((1 \pm (6e/L)))$	0,1822 kg/cm ² 0,0728 kg/cm ²	0,2215 kg/cm ² 0,10 kg/cm ²
5	Kontrol terhadap guling MV/MH > SF	14,34 > 1,50 _____ ok	80 > 1,50 _____ ok
6	Kontrol terhadap gelincir f = 0,6, Pp = 6.425,61 kg $f \times RV / (RH - Pp) > SF$	9,59 > 1,50 _____ ok	8,67 > 1,50 _____ ok

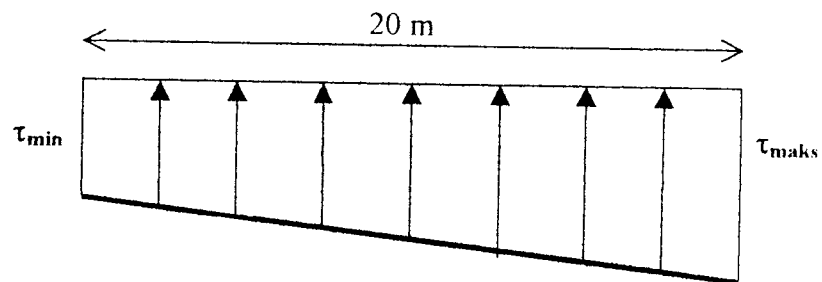
4.4.3 Perhitungan Penulangan Lantai Bendung

Perhitungan penulangan lantai bendung meliputi perhitungan momen dan perhitungan tulangan. Perincian dari perhitungan penulangan lantai bendung adalah seperti berikut ini.

Dari hasil analisa stabilitas telah dihitung besarnya tegangan tanah yaitu sebagai berikut ini, dan dijelaskan dengan diagram tekanan tanah pada gambar 4.10.

$$\tau_{\text{maks}} = 0,1870 \text{ kg/cm}^2 = 1870 \text{ kg/m}^2$$

$$\tau_{\text{min}} = 0,096 \text{ kg/cm}^2 = 960 \text{ kg/m}^2$$



Gambar 4.10 Diagram Tegangan Tanah

Momen yang terjadi akibat tegangan tanah :

$$\begin{aligned} M1 &= 0,5 \cdot \tau_{\text{min}} \cdot L^2 + (\tau_{\text{maks}} - \tau_{\text{min}}) \cdot 0,5 \cdot L \cdot 1/3L \\ &= 0,5 \cdot 960 \cdot 20^2 + (1870 - 960) \cdot 0,5 \cdot 20 \cdot 20/3 \\ &= 252.666,67 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Momen akibat berat sendiri dan tekanan air keatas

$$M2 = 348.529,265 \text{ kgm}$$

$$\Sigma M = M2 - M1$$

$$= 348.529,265 - 252.666,67$$

$$= 95.862,595 \text{ kgm}$$

Untuk perhitungan tulangan direncanakan seperti berikut ini.

$$\text{Mutu beton K225} \quad \sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\text{Mutu baja U32} \quad \sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 21$$

$$\begin{aligned} \xi &= \frac{\sigma_b}{\sigma_b + \frac{\sigma_a}{n}} \\ &= \frac{70}{70 + \frac{1850}{21}} = 0,443 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha_o &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot \sigma_b \cdot \xi \cdot (1 - \xi/3)}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{2} \cdot 70 \cdot 0,443 \cdot (1 - 0,443/3)}} = 0,2751 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{h}{\sqrt{M/b}} \\ &= \frac{135}{\sqrt{95.862,595 / 100}} = 0,44 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_b' &= \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot \xi \cdot (1 - 1/3 \cdot \xi) \cdot \alpha^2} \\ &= \frac{1}{\frac{1}{2} \cdot 0,443 \cdot (1 - 1/3 \cdot 0,443) \cdot 0,44^2} = 27,36 \end{aligned}$$

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \sigma_b' / \sigma_a \cdot \xi = \frac{1}{2} \cdot 27,36 / 1850 \cdot 0,443 = 3,27 \cdot 10^{-3}$$

$$h = 140 \text{ cm}$$

$$h_t = 140 - 5 = 135 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

Direncanakan tulangan $\phi = 1,00'$

$$\phi = 2,539 \text{ cm}$$

$$A_s = \omega \cdot b \cdot h = 3,27 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 135 = 44,22 \text{ cm}^2$$

Dipakai tulangan pokok D25 – 10 = 49,09 cm² > 44,22 cm² (Ok)

Dipakai tulangan bagi D16 – 20 = 10,00 cm² > 20% . A = 8,84 cm² (Ok)

4.5. Perhitungan Struktur Abutment

Perhitungan struktur abutment ditabelkan seperti berikut ini.

Tabel 4.6 Perhitungan Momen Abutment

No	Data-data perencanaan	Sketsa gaya yang bekerja		
	γ beton = 2400 kg/m ³ γ pas = 2200 kg/m ³ γ sat = 1667,71 kg/m ³ γ sub = 667,71 kg/m ³ ϕ = 26°33'54" $K_a = \text{tg}^2(45 - \alpha/2) = 0,385$ $K_p = \text{tg}^2(45 + \alpha/2) = 2,595$ $E = 0,11$ (koeff. Gempa) Q diambil = 1000 kg/m ²			
No	Perhitungan Besarnya Gaya	Gaya (kg)	Terhadap Titik A	
			Lengan (m)	Momen (kgm)
G1	Berat Sendiri 0,83 x 6,00 x 2.400,00	11.952,00	1,10	13.147,20
G2	1,20 x 6,00 x 2.400,00	17.280,00	2,25	38.880,00
	Berat akibat jembatan	1.300,00	2,25	2.925,00
		RVG = 30.532,00		MVG = 54.952,20
Pa1	Tekanan Tanah Aktif 0,385 x 6,00 x 1.000,00	2.310	3,00	6.930,00
Pa2	0,385 x 3,50 x 1,75 x 1.667,71	3.932,67	3,67	14.432,89
Pa3	0,385 x 2,50 x 1,75 x 1.667,71	2.407,76	1,25	3.009,70
Pa4	0,385 x 2,50 x 1,25 x 667,71	803,34	0,83	666,77
Pa5	0,385 x 2,50 x 1,25 x 1.000,00	1203,115	0,83	998,59
		RH = 10.656,895		MH = 26.037,95

$$\text{Momen akibat gempa} = MG = MH + (MH/RH \cdot E \cdot RVG)$$

$$= 34.243,81 \text{ kgm}$$

Jadi pada potongan I-I gaya yang bekerja adalah :

- Gaya = 30.532 kg

- Momen = 34.243,81 kgm

Perhitungan tulangan direncanakan seperti berikut ini.

$$\text{Mutu beton K225} \quad \tau_b = 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Mutu baja U 32} \quad = 1850 \text{ kg/cm}^2$$

$$n = 21$$

$$\xi = 0,443$$

$$\alpha_o = 0,2751$$

$$\alpha = 1,513$$

$$\sigma_b' = 2,318$$

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \sigma_b' / \sigma_a \cdot \xi = 2,77 \cdot 10^{-4}$$

$$h = 285 \text{ cm}$$

$$h_t = 285 - 5 = 280 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

$$A = \omega \cdot b \cdot h = 2,77 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 280 = 7,77 \text{ cm}^2$$

$$\text{Dipakai tulangan pokok D20} - 20 = 15,71 \text{ cm}^2 > 7,77 \text{ cm}^2 \text{ (Ok)}$$

$$\text{Dipakai tulangan bagi D10} - 20 = 3,93 \text{ cm}^2 > 20\% \cdot A = 0,78 \text{ cm}^2 \text{ (Ok)}$$

4.6 Pondasi Tiang

Perkuatan pondasi direncanakan dengan tiang pancang. Direncanakan panjang tiang (L) = 25,0 m, dengan ukuran tiang pancang ϕ 30 cm x 30 cm.

4.6.1. Penulangan Tiang Pancang

Perhitungan penulangan tiang pancang dihitung berdasarkan pada pengangkatan tiang dan sistem pemasangannya. Dari kedua cara perhitungan tersebut kemudian dipilih momen yang paling besar untuk menentukan jumlah

dan besarnya diameter tulangan. Mengingat panjangnya tiang pancang maka didalam pelaksanaan tiang pancang dapat dibuat panjang $L = 15,0$ m dan $L = 10,0$ m, sehingga diperlukan penyambungan dan didalam perhitungan penulangan panjang tiang pancang $L = 15,0$ m.

1. Sistim pengangkatan tiang pancang

$$M_1 = M_2 = 0,5 \cdot q \cdot a^2$$

$$a = 0,209 L$$

Direncanakan tiang pancang dengan ukuran $0,30 \times 0,30 \times 15,00$ m

$$a = 0,209 \times 15,00 = 3,14 \text{ m}$$

$$q = 0,30 \times 0,30 \times 1 \times 2400 = 216 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned} M_1 = M_2 &= 0,5 q a^2 = 0,5 \times 216 \times 3,14^2 \\ &= 1.064,84 \text{ kgm} \end{aligned}$$

2. Sistem Pemasangan Tiang Pancang

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{2} q a^2$$

$$a = 0,29 L$$

$$a = 0,29 \cdot 15 \text{ m} = 4,35 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} M_1 = M_2 &= \frac{1}{2} \cdot q a^2 = \frac{1}{2} \cdot 216 \cdot 4,35^2 \\ &= 2.043,63 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Dari persamaan a). $M_1 = M_2 = 1.064,84 \text{ kgm}$

b). $M_1 = M_2 = 2.043,63 \text{ kgm}$

maka diambil $M = 2.043,63 \text{ kgm}$

Ukuran tiang pancang = $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$

Direncanakan mutu beton K225 $\tau_b = 70 \text{ kg/cm}^2$

Mutu baja U 32 = 1850 kg/cm²

$$n = 21$$

$$\xi = 0,443$$

$$\alpha_o = 0,2751$$

$$\alpha = 3,03$$

$$\sigma_b' = 0,576$$

$$\omega = \frac{1}{2} \cdot \sigma_b' / \sigma_a \cdot \xi = 6,89 \cdot 10^{-3}$$

$$h_t = 30 \text{ cm}$$

$$h = 30 - 5 = 25 \text{ cm}$$

$$b = 100 \text{ cm}$$

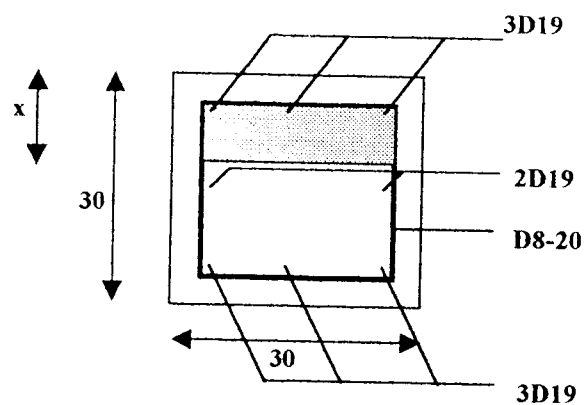
Direncanakan tulangan $\delta = 1,00' = 2,539 \text{ cm}$ $A = A'$

$$A = \omega \cdot b \cdot h = 6,68 \cdot 10^{-3} \cdot 30 \cdot 25 = 5,17 \text{ cm}^2$$

Dipakai tulangan pokok 3D19 = 8,52 cm² > 5,17 cm² (Ok)

$$A = A' = 3D19$$

4.6.2 Tegangan yang terjadi pada saat pengangkatan



Gambar 4.11 Tegangan saat pengangkatan

Ukuran = 30 cm x 30 cm

$$q = 0,30 \cdot 0,30 \cdot 2400 = 216 \text{ kg/m}^2$$

Direncanakan mutu beton K225 $\sigma_{bk} = 225 \text{ kg/cm}^2$

Mutu baja U 32 $\sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2$

$n = 21$ $\sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$

$$a = 0,29l = 0,29 \cdot 15 = 4,35 \text{ m}$$

$$M_1 = M_2 = \frac{1}{2} qa^2 = \frac{1}{2} \cdot 216 \cdot 4,35^2 = 1729,73 \text{ kgm}$$

$$x = -\frac{2n}{b} \cdot Fe + \frac{2n}{b} \left[Fe^2 + \frac{b}{2n} \cdot Fe \cdot h \right]^{0,5}$$

$$x = -\frac{2 \times 21}{30} \cdot 8,52 + \frac{2 \times 21}{30} \left[8,52^2 + \frac{30}{2 \times 21} \cdot 8,52 \cdot 25 \right]^{0,5}$$

$$x = -11,93 + 20,99 = 9,06 \text{ cm}$$

$$Ix = \frac{1}{3} \cdot b \cdot x^3 = \frac{1}{3} \cdot 30 \cdot 9,06^3 \text{ cm}^4 = 7.436,77 \text{ cm}^4$$

$$n \cdot Fe (x - 5)^2 = 21 \cdot 8,52(9,06 - 5)^2 \text{ cm}^4 = 2.949,25 \text{ cm}^4$$

$$n \cdot Fe (h - x)^2 = 21 \cdot 8,52(30 - 9,06)^2 \text{ cm}^4 = 78.453,49 \text{ cm}^4$$

$$\Sigma = 88.839,51 \text{ cm}^4$$

$$Wd = \frac{Ix}{X} = \frac{88.839,51}{9,06} = 9.805,69 \text{ cm}^3$$

$$We = \frac{Ix}{n(h - x)} = \frac{88.839,51}{21(25 - 9,06)} = 265,40 \text{ cm}^2$$

$$\text{Beton } (\sigma_b) = \frac{M}{Wd} = \frac{172.973}{9.805,69} = 17,64 < \sigma_b = 70 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Tulangan } (\tau_a) = \frac{M}{We} = \frac{172.973}{265,4} = 651,74 < \sigma_a = 1850 \text{ kg/cm}^2$$

4.6.3 Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang

Perhitungan kebutuhan tiang pancang meliputi perhitungan daya dukung ijin tiang pancang dan kebutuhan tiang. Perincian perhitungan tiang adalah seperti berikut ini.

1. Perhitungan Daya Dukung Ijin Tiang Pancang

- a. Daya Dukung Tiang akibat berat sendiri

$$\begin{aligned} \text{Nilai boring } N &= 10,25 \quad C = 0,1 \times 10,25 = 1,025 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 10,25 \text{ ton/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= \frac{1}{5} \times K \times Z \times C \longrightarrow K = 4 \times 0,3 = 1,20 \text{ m} \\ &= \frac{1}{5} \times 1,20 \times 25 \times 10,25 = 61,50 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\text{Berat sendiri tiang} = 0,30 \times 0,30 \times 25 \times 2,50 = 5,625 \text{ ton}$$

$$P \text{ ijin} = 61,50 - 5,625 = 55,875 \text{ ton}$$

- b. Daya dukung ijin tiang pancang berdasarkan mekanika tanah dan pondasi oleh Ir Suyoso Sosrodarsono.

1. Rumus yang digunakan

$$R_a = \frac{1}{n} \cdot R_u = \frac{1}{n} \cdot q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i \cdot f_i$$

Dengan :

R_a = daya dukung yang diijinkan

R_u = daya dukung batas pada tanah pondasi, ton

q_d = daya dukung terpusat tiang, ton

A = luas tampang tiang, m^2

U = panjang keliling tiang, m

l_i = tebal lapisan tanah dengan memperhitungkan geseran

dinding tiang

f_i = besarnya gaya geser maksimum pada lapisan tanah

dengan memperhitungkan geseran dinding tiang, ton/m^2

2. Panjang ekivalen dari pondasi tiang N value = 15

3. Daya dukung pada ujung tiang

$$L/D = 0,60/0,30 = 2,0$$

$$q_d/N = 8$$

$$q_d = 8 N = 8 \cdot 15 = 120 \text{ ton}$$

$$q_d \cdot A = 120 \cdot 0,30 \cdot 0,30 = 10,80 \text{ ton}$$

4. Gaya geser maksimum dinding tiang (didasarkan data sondir pada sungai Bengawan Solo daerah Cepu-Padangan seperti pada gambar 4.7)

Tabel 4.7 Data Sondir

Kedalaman	Ketebalan Lap. l_i (m)	Tanah	Harga rata-rata N	$l_i \times f_i$ (ton/m^2)
10-17	5	Pasir	8,25	8,25
17-20	3	Pasir	10,00	6,00
20-35	15	lempung	11,43	171,45
Total	25			185,70

$$U \cdot \sum l_i \cdot f_i = 0,30 \times 4,0 \times 1,85,70 = 222,84 \text{ ton}$$

5. Daya dukung ultimate

$$R_u = q_d \cdot A + U \cdot \sum l_i \cdot f_i = 10,80 + 222,84 = 233,64 \text{ ton}$$

6. Daya dukung ijin 1 tiang

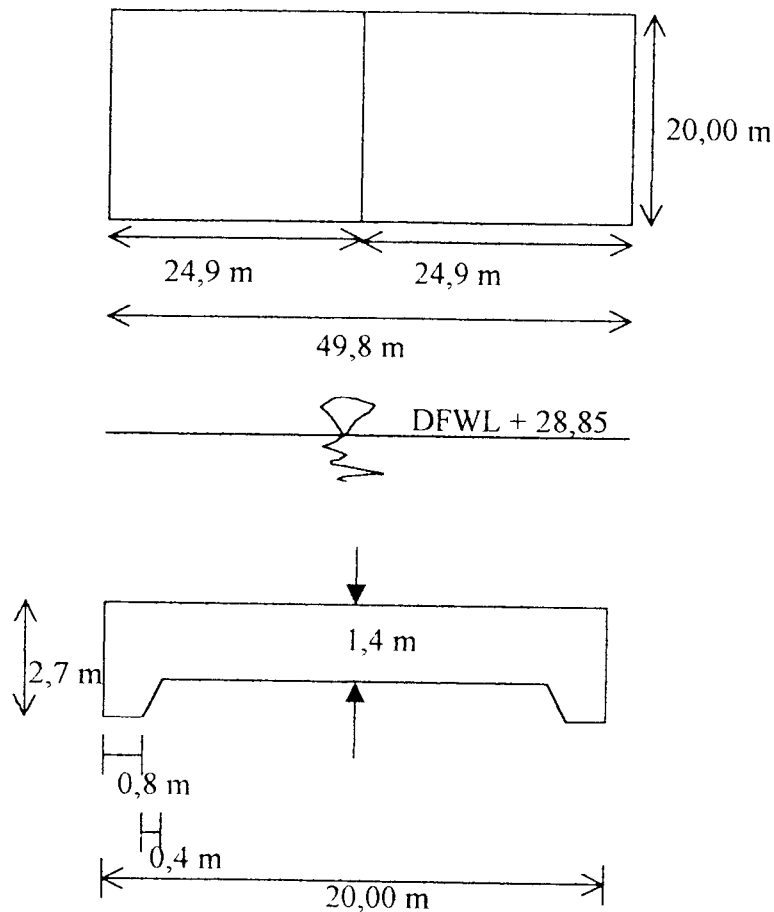
$$R_a = 1/n \cdot R_u = 1/5 \cdot 233,64 = 46,726 \text{ ton}$$

Jadi daya dukung ijin 1(satu) tiang pancang yang dipakai sebagai

perhitungan : $P_{ijin} = 46,726 \text{ ton}$.

2. Perhitungan Kebutuhan Tiang Pancang

Perhitungan kebutuhan tiang pancang pada lantai bendung didasarkan pada panjang dan lebar lantai yang direncanakan seperti pada gambar 4.12 berikut ini.



Gambar 4.12 Rencana Pondasi Bendung

- a. Lebar Pondasi (B1) = 24,9 m
- Pondasi = $[(1,4 \times 20) + ((1,2+0,8)/2 \times 1,3 \times 2)] \times 24,9 \times 2,5$
= 1904,85 ton
 - Abutment = $(1,20 + 2,85)/2 \times 6,00 \times 20 \times 2,5 = 607,5$ ton
 - Tanah samping = $\frac{1}{2} \cdot 1,74 \times 6,00^2 \tan 26^\circ \times 20 \times 2 = 611,03$ ton
 - Air = $10,35 \times 20 \times 24,9 \times 1,00 = 5154,3$ ton

Jumlah total = 8277,68 ton.

- Uplift = $11,75 \times 20 \times 24,9 \times 1,00 = 5851,5$ ton

Total beban = $8277,68 - 5851,5 = 2426,2$ ton

Tegangan akibat beban = $2426,2 / (24,9 \times 20) = 4,87$ ton/m²

Nilai boring N value = 7

Daya dukung ijin (q) = $1/n \cdot N/5 = 1/5 \times 7/5 = 0,28$ kg/cm²

= $2,8$ ton/m² < $4,87$ t/m² _____ (tidak aman)

Beban yang diterima tiang pancang = $(4,87 - 2,8) \times 24,9 \times 20 = 1030,86$ ton

Ukuran tiang pancang = $0,30 \times 0,30 \times 25$ m

Daya dukung ijin untuk satu tiang pancang = 46,728 ton

Jumlah tiang pancang = $1030,86 / 46,728 = 22,06 \approx 24$ batang

Dibuat 3 baris masing-masing 8 batang.

b. Lebar Pondasi (B2) = 24,9 m

- Pilar pintu = $1,2 \times 6,00 \times 14,00 \times 2,5 = 252$ ton

= $(1,2 + 2,7) / 2 \times 6,00 \times 14 \times 2,5 = 409,5$ ton

- Asumsi beban jembatan pelayanan = 20 ton

Total beban = $2426,2 + 409,5 + 20 = 2855,7$ ton

Tegangan akibat beban = $2855,7 / (20 \times 24,9) = 5,73$ t/m² > $2,8$ t/m²

Beban yang diterima tiang pancang = $(5,73 - 2,80) \times 24,9 \times 20$

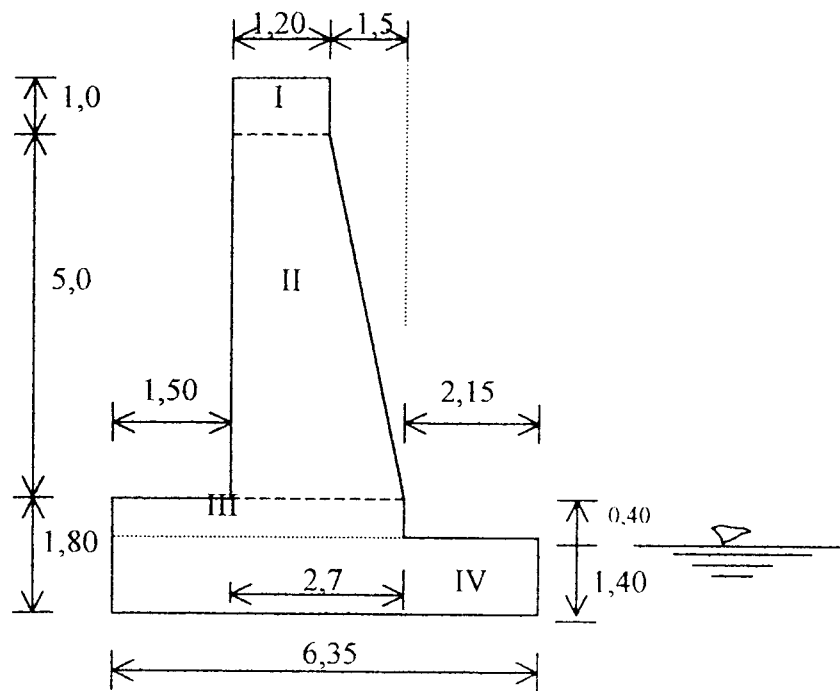
= 1459,14 ton

Jumlah tiang pancang = $1459,14 / 46,728 = 31,2 \approx 33$ batang

Dibuat 3 baris masing-masing 11 batang

c. Perkuatan Tebing kiri Hulu Bendung

Perhitungan berat sendiri abutment dibagi menjadi beberapa bagian seperti pada gambar berikut ini.



Gambar 4.13 Rencana Abutment

Berat beton

$$\text{I. } 1,20 \times 1,00 \times 20,00 \times 2,50 = 60,00 \text{ ton}$$

$$\text{II. } (1,20+2,7)/2 \times 5,0 \times 20,00 \times 2,50 = 487,50 \text{ ton}$$

$$\text{III. } 0,40 \times 4,2 \times 20,00 \times 2,50 = 84,00 \text{ ton}$$

$$\text{IV. } 1,40 \times 6,35 \times 20,00 \times 2,5 = 444,50 \text{ ton}$$

$$\text{Tanah samping} = \frac{1}{2} \times 1,74 \times 6,00^2 \tan 26^\circ \times 20 = 305,51 \text{ ton}$$

$$\text{Uplift} = 1,40 \times 20 \times 6,00 \times 1,0 = -168,00 \text{ ton}$$

$$\text{Total beban} = 1.213,51 \text{ ton}$$

$$\text{Tegangan akibat beban} = 1.213,51 / (20 \times 6,35) = 9,555 \text{ t/m}^2 > 2,8 \text{ t/m}^2$$

Beban yang diterima tiang pancang = $(9,555 - 2,8) \times 20 \times 6,35 = 857,885 \text{ t}$

Jumlah tiang pancang = $857,885/46,728 = 18,36 \approx 21 \text{ batang}$

BAB V

METODE PELAKSANAAN

5.1. Umum

Metode pelaksanaan pada bendung karet berbeda dengan pelaksanaan bendung gerak lainnya. Dilihat dari segi waktu, pelaksanaan pekerjaan biasanya lebih cepat. Pelaksanaan pekerjaan yang akan dibahas dititikberatkan pada pekerjaan pemasangan karet, karena pekerjaan struktur lainnya tidak jauh berbeda dengan bendung gerak lainnya. Secara umum tahapan pelaksanaan pekerjaan bendung karet meliputi studi kelayakan dan penelitian, lingkup pekerjaan, pekerjaan persiapan, kondisi kerja, dan metode pelaksanaan (*construction method*).

5.2. Studi Kelayakan dan Penelitian

Sebelum pelaksanaan pekerjaan diperlukan studi kelayakan dan penelitian dengan tujuan agar bangunan dapat dioperasikan dengan baik dan bermanfaat, secara teknis layak dibangun, dapat dihitung keseimbangan masukan air, dan sebagai dasar perencanaan tahap berikutnya.

5.2.1. Studi Kelayakan

Studi dilaksanakan untuk mengetahui manfaat bangunan dilihat dari analisis teknis dan ekonomis. Bangunan dinilai layak bila bermanfaat dalam mengatasi kebutuhan ekonomi daerah, dapat memenuhi kebutuhan air irigasi

persawahan, penanggulangan banjir, dan kebutuhan air di musim kemarau. Manfaat ekonomi yang diperoleh dapat mengimbangi biaya yang dikeluarkan. Masyarakat setempat dapat menerima keberadaan bangunan serta menekan dampak sosial kultural dan dampak lingkungan.

Pengaruh sosial kultural harus diperhatikan, karena bendung karet membutuhkan pengawasan bersama unsur masyarakat, badan bendung dari bahan karet sangat rentan terhadap kerusakan akibat ulah manusia, karet akan mudah tembus oleh tusukan atau goresan benda tajam. Perluasan studi akan sangat mungkin sekali bila lokasi ternyata tidak cocok dan perlu diadakan studi baru.

5.2.2. Penelitian yang diperlukan dan tahapannya

Tahapan studi sangat tergantung pada besarnya ukuran bangunan yang direncanakan dan keadaan lokasi tempat bendung akan didirikan. Diperlukan tiga tahapan penelitian sampai perencanaan. Tahapan tersebut adalah studi pengenalan, studi kelayakan, dan perencanaan detail.

Studi pengenalan merupakan tahapan pra-rencana untuk mendukung pekerjaan penelitian yang lebih detail pada tahap selanjutnya. Kegiatan yang dilaksanakan termasuk survey lokasi, keadaan topografi, kondisi suatu daerah, medan, serta pengenalan teknik perencanaan dan struktur bangunan yang akan direncanakan. Studi kelayakan seperti yang telah diuraikan di atas dipakai sebagai dasar pengambilan sebuah keputusan terhadap terselenggaranya pelaksanaan pekerjaan. Perencanaan detail merupakan tahapan merencanakan bangunan secara rinci berdasarkan studi yang dilakukan pada studi kelayakan, termasuk merencanakan dokumen pelelangan dan penelitian akhir untuk tahap persiapan

pembangunan, studi lingkungan berupa Analisis Dampak Lingkungan (AMDAL), dan Rencana Pengelolaan Lingkungan (RPL). Penelitian yang diperlukan antara lain :

1. Mempelajari peta dan hasil pengukuran yang sudah ada, yaitu : peta topografi, peta udara, peta pengukuran pada sungai, peta transportasi, peta geologi, peta penggunaan tanah, klasifikasi tanah dan kemampuan tanah, peta cuaca termasuk peta curah hujan, peta pemerintahan dengan kepadatan penduduk dan demografi.
2. Menyiapkan data yang ada meliputi data cuaca, data hidrologi dan aliran sungai, data sedimen, kualitas air, irigasi dan drainasi, penggunaan air dan sungai, laporan terdahulu, data lingkungan, peraturan-peraturan setempat terutama dalam penggunaan dan pengaturan air. Data penunjang lainnya berupa data klimatologi (temperatur dan curah hujan, evaporasi, angin) dan data geoteknik (berupa : geologi permukaan dan formasi geologi, penelitian muka air tanah, data kemampuan dan sifat tanah untuk merencanakan pondasi).
3. Penelitian dan pengukuran meliputi pemetaan rencana tapak bangunan termasuk tampang lintang dan memanjang, data hidrologi meliputi catatan sungai harian dan volume bulanan, serta volume tampungan dan aliran yang mengisi genangan akibat pembendungan. Penelitian dan pengukuran pemakaian dan keseimbangan air, kehilangan karena rembesan dan penguapan, pemakaian untuk irigasi dan tambak, dan kebutuhan air untuk kepentingan penduduk. Analisa studi banjir

termasuk banjir rencana dan banjir yang perlu diperkirakan selama pembangunan. Studi sedimen tentang jenis yang dihitung dan volume yang diperkirakan. Pengukuran tinggi muka air tanah dan kualitasnya yang mungkin mempengaruhi genangan bendung karet

5.3. Perencanaan Bendung Karet

Setelah tahapan studi kelayakan dan penelitian dilakukan, maka perencanaan struktur bendung karet dapat dilaksanakan. Bagian terpenting dalam perencanaan bendung adalah bagian struktur pondasi yang mendukung komponen bendung karet. Perencanaan pondasi bendung karet harus dikontrol agar aman terhadap penggulingan (stabilitas internal dan eksternal), penggeseran, rembesan, dan gerusan. Tubuh bendung direncanakan dari bahan yang cukup tahan terhadap kerusakan yang mungkin timbul akibat gerakan gelinding (*rolling*) dari batu besar atau batu bongkah (*boulder*) atau benda lain yang cukup besar. Kerusakan tersebut dipengaruhi oleh energi tumbukan dan ketajaman sudut batu.

Kekuatan dari badan bendung karet dipengaruhi oleh kekuatan dari baut angkur dan kekuatan plat penjepit. Kekuatan baut angkur ditentukan oleh gaya yang bekerja pada baut angkur dan dipengaruhi oleh tegangan pada baut angkur dan faktor keamanan (SF). Kekuatan plat penjepit ditentukan oleh bending momen maksimum pada sumbu memanjang dan dipengaruhi oleh tegangan yang terjadi serta faktor keamanan (SF).

5.4. Lingkup Pekerjaan

Suatu pelaksanaan pekerjaan bendung karet perlu pendataan tentang lingkup pekerjaan dan volume pekerjaan. Lingkup pekerjaan bendung karet terdiri

dari pekerjaan pondasi, pilar dan abutmen, *rubber dam* dan instalasinya, jembatan pelayananan, pintu pelepasan air di hilir bendung, jalan inspeksi dan rumah jaga, pengarah arus, *apron* hilir dan hulu, *control house* dan instalasinya.

5.5. Pekerjaan Persiapan

Pelaksanaan pekerjaan persiapan pada pekerjaan bendung karet dapat meliputi : penyiapan kontrak, sistem pelaksanaan pekerjaan konstruksi, ganti rugi bangunan, survey investigasi, dan penyiapan gambar pelaksanaan

5.6. Kondisi Kerja

Kondisi tempat lokasi pembuatan bendung karet dilaksanakan sangat berpengaruh terhadap proses pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Data yang perlu diperhatikan agar dapat memperkirakan kondisi medan adalah sebagai berikut :

1. Iklim

Iklim dari suatu lokasi dapat dilihat dari data klimatologi yang ada didekat kawasan bendung dibangun. Hal-hal yang perlu diketahui yaitu : suhu udara, kecepatan angin, angka evaporasi rerata, kelembaban nisbi, dan curah hujan.

2. Kondisi Geoteknik

Data karakteristik tanah digunakan sebagai data pendukung dalam pekerjaan pondasi, data tersebut dapat diteliti lewat penyelidikan geologi dan penyelidikan mekanika tanah, data yang diperlukan meliputi berat isi basah rata-rata (γ_b), berat isi kering maksimum (γ_k), kadar air, kohesi (C), sudut geser tanah rata-rata (ϕ).

3. Material

Pekerjaan bangunan air membutuhkan jenis material yang benar-benar telah teruji kualitasnya, hal tersebut karena bahan material akan dikondisikan pada daerah yang mungkin sekali terendam oleh air (mengalami perubahan suhu), dan mengalami tekanan saat bekerjanya bendung. Oleh karena itu dalam pelaksanaan pekerjaan jangan sampai kebutuhan material kualitas baik tidak terpenuhi dan harus diperhatikan lokasi sumber bahan material tersebut. Untuk material bendung karet yang perlu diperhatikan yaitu : semen portland PC dengan kualitas baik untuk konstruksi beton, baja lembaran (plat), baja profil, besi tulangan, pasir, kerikil, batu, dan bahan timbun. Bahan timbun perlu direncanakan sumbernya dan biasanya diambil di daerah bantaran sungai dengan terlebih dahulu dianalisa teknis dengan penyelidikan mekanika tanah.

4. Fasilitas Listrik, Air, Hari dan Jam Kerja

Dalam setiap pelaksanaan pekerjaan bangunan air perlu diupayakan fasilitas listrik ke lokasi dan ketersediaan air tawar yang sesuai dengan standar. Hari dan jam kerja harus telah ditentukan dan untuk proyek bendung karet dapat digunakan hari dan jam kerja sesuai dengan metode *Lower Solo River Improvement Project (LSRIP)*. Hari Minggu dan hari libur nasional dianggap sebagai hari libur. Hujan dengan intensitas 5 mm/jam dianggap pekerjaan yang mengganggu pekerjaan tanah (tertunda 1 hari). Jam kerja dihitung 10 jam perhari, dan jam kerja efektif dihitung dengan mempertimbangkan efisiensi sebesar 0,8.

5. Produksi Alat

Produksi alat dihitung sesuai dengan kondisi kerja dan faktor muai material. Faktor muai material bersumber dari *Construction Method and Schedule LSRIP*, Februari 1994 sebagai berikut (tabel 5.1):

Tabel 5.1. Faktor muai material

MATERIAL	ASLI	LEPAS	DIPADATKAN
Tanah Lempung	1	1,25	0,9
Lempung berpasir	1	1,2	0,9
Pasir	1	1,15	0,95
Kerikil	1	1,15	1
Batu belah	1	1,2	0,95

5.7. Metode Pelaksanaan

Pelaksanaan pekerjaan konstruksi bendung karet sebagian besar menggunakan tenaga manusia, terkecuali untuk pekerjaan galian pondasi, pengadaan dan pemancangan tiang pancang, pemasangan pintu pengatur dan jalan inspeksi menggunakan bantuan alat berat seperti *Buldozer D 65 E*, *Back Hoe PC 200*, *Dump truck*, *pile hammer*, *pile driver*, *crawle crene*, *truck crane*, *vibro hammer* dan lainnya. Tahapan metode pelaksanaan meliputi pekerjaan persiapan, pelaksanaan badan bendung karet, dan pekerjaan pelindung tebing.

5.7.1. Pekerjaan Persiapan

Pekerjaan persiapan meliputi pengukuran, investigasi sebelum dimulainya pekerjaan pemasangan profil, pelaksanaan bangunan sementara, pembersihan serta pekerjaan sementara termasuk pembuatan jalan masuk dan pembuatan

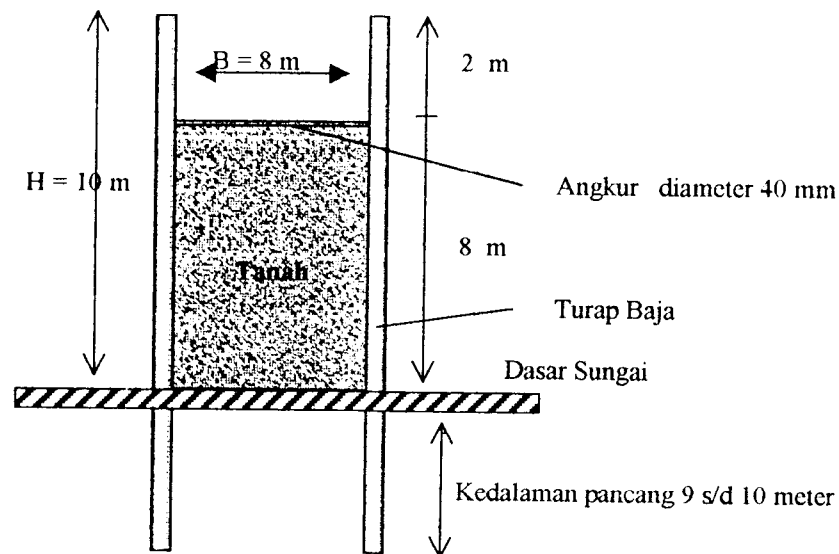
bendung pengelak. Konstruksi bangunan sementara haruslah direncanakan sesuai dengan penggunaannya, lamanya direncanakan secara rasional.

1. Pekerjaan persiapan awal.

Merupakan pekerjaan yang dilaksanakan pada setiap awal proyek konstruksi dan mendukung berlangsungnya kegiatan selanjutnya, antara lain meliputi pembuatan jalan kerja (*Acces Road*), pembuatan kantor lapangan, pembuatan bengkel pool kendaraan, dan pembuatan gudang.

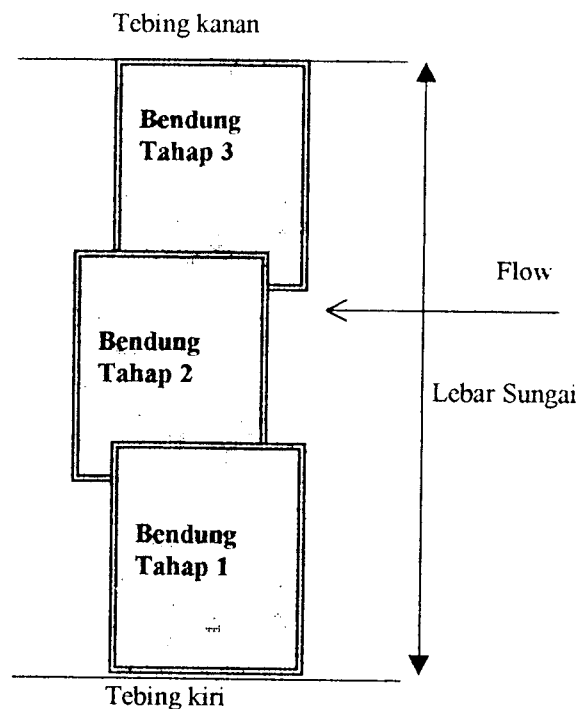
2. Pembuatan bendung pengelak sementara

Sebelum pekerjaan galian tanah untuk rencana pondasi bendung karet dan *apron* hilir maupun *apron* hulu dimulai terlebih dahulu membuat bendung pengelak, disain bendung pengelak direncanakan menurut debit air kala ulang tertentu, misal direncanakan untuk kala ulang 5 tahun. Konstruksi bendung pengelak bermacam-macam tergantung kedalaman dan kecepatan aliran sungai. Misal sebagai contoh untuk bendung karet yang dibangun pada daerah sungai yang dalam dan kecepatan aliran cukup besar, maka digunakan konstruksi bendung pengelak turap rangka baja dengan desain kala ulang 5 tahun. Contoh data perencanaan ditunjukkan gambar 5.1.



Gambar 5.1 Bendung pengelak konstruksi turap baja

Pekerjaan bendung pengelak dibuat dalam beberapa bagian tergantung lebar sungai, misal untuk sungai yang lebar digunakan tiga tahap pelaksanaan dalam 1(satu) musim kemarau pada tahun pertama dalam waktu pelaksanaan, yaitu $\pm 1/3$ bagian bentang konstruksi dimulai dari kiri ke kanan sungai, dengan tujuan agar $\pm 2/3$ bagian bentang sungai diharapkan dapat mengalirkan debit kala ulang 5 tahunan, sehingga pelaksanaan pekerjaan tidak terganggu adanya debit lebih kecil dari pada Q_5 tahunan. Tahapan pembuatan bendung pengelak ditunjukkan gambar 5.2.



Gambar 5.2 Tahapan pembangunan bendung pengelak sementara

Bendung metode tersebut merupakan bendung elak sementara lapis ganda. Sekat baja dipasang dalam dua baris dan diperkuat dengan batang tarik kemudian ruangan diantaranya diisi dengan galian timbunan tanah, sehingga terbentuk konstruksi yang kekar dan menyatu. Bendung pengelak tersebut tahan terhadap gaya-gaya luar sehingga sangat cocok digunakan untuk pembuatan konstruksi bendung karet.

3. Pekerjaan Galian Bendung

Pekerjaan pengeringan untuk pemasangan pondasi bendung karet dikerjakan dengan membuat bendung pengelak terlebih dahulu, berfungsi mengalirkan aliran sungai, sehingga tidak mengganggu pelaksanaan galian tanah dan pengecoran pondasi. Penggalian dikonsentrasikan pada musim kemarau (Mei-

November), dengan menggunakan bantuan alat berat berupa *Back Hoe*, *Buldozer*, dan *Dump truck*. Hasil galian digunakan sebagai bahan timbun dan sisanya harus dapat dibuang ke tempat pembuangan (*spoil area*) dengan menggunakan bantuan alat *Dump Truck*.

4. Pondasi Bendung Karet

Pelaksanaan pondasi dapat dimulai setelah pekerjaan bendung pengelak dan galian tanah selesai. Sebelum pekerjaan pembuatan abutment, pilar, dan pengecoran pondasi, terlebih dahulu dilaksanakan pemancangan tiang pancang dan *steel sheet* ukuran tertentu sesuai dengan data perencanaan. Alat yang dipakai untuk pemancangan digunakan jenis alat berat *pile hammer*, *pile driver*, atau juga *crawler crane*, sedangkan alat yang digunakan untuk pemancangan *sheet pile* digunakan *vibro hammer*, *crawler crane*, dan *truck crane*.

5. Pemasangan slab beton landasan bendung karet.

Setelah pekerjaan tiang pancang selesai dan di atasnya telah dibangun pondasi bendung, maka di atas pondasi dipasang slab beton sebagai landasan badan karet yang akan dijepit dengan angkur dan lempengan plat.

5.7.2. Pelaksanaan Badan Bendung Karet

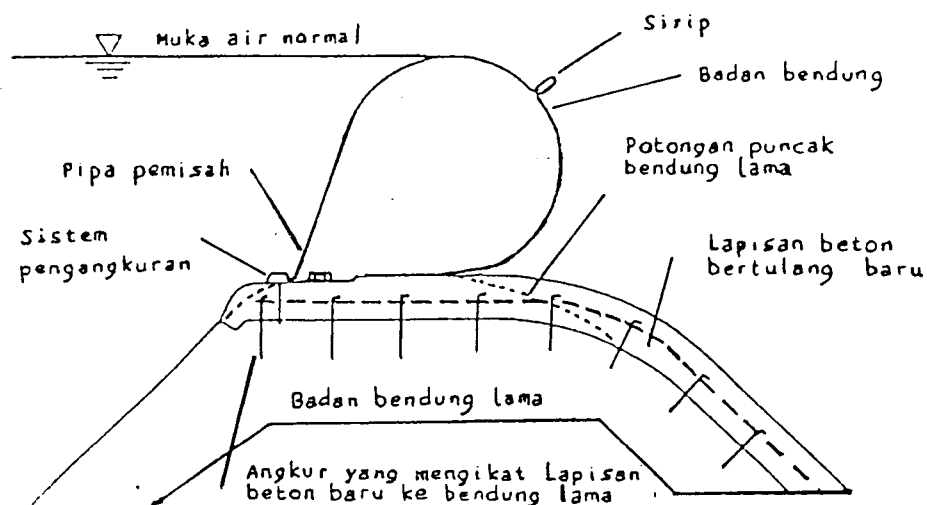
Hal yang terpenting dalam metode pelaksanaan pekerjaan bendung karet adalah pelaksanaan pemasangan badan bendung, karena pekerjaan awal bangunan pelengkap struktur dan bangunan sementara menggunakan metode pelaksanaan yang relatif sama dengan metode pelaksanaan bangunan bendung gerak lainnya.

Pemasangan bendung karet memerlukan ketelitian, kesalahan pemasangan dapat merubah kekuatan karet yang telah ditentukan oleh pabrik. Inti

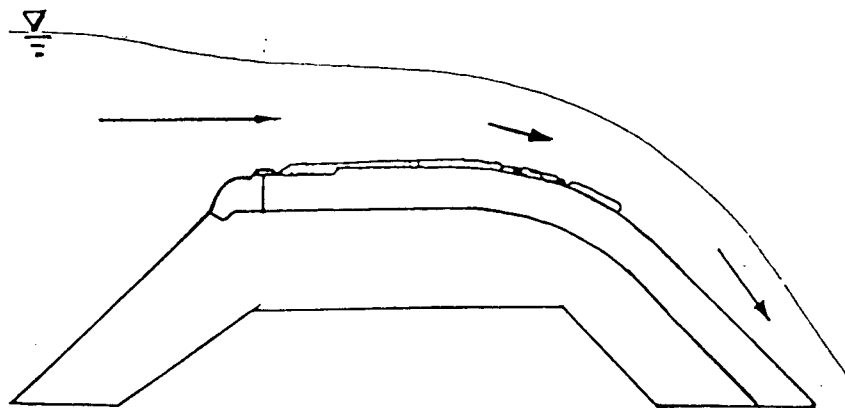
permasalahan adalah membuat suatu konstruksi *rubber dam* dengan kekuatan bendung sesuai spesifikasi karet dari pabrik dan sedapat mungkin dengan pemasangan yang sesuai serta mempunyai kekuatan yang lebih baik dari standar kekuatan ijin pabrik.

1. Cara Pemasangan

Bendung karet dapat di pasang dalam dua kondisi yang berbeda. Pada kondisi pertama bendung karet dipasang di atas landasan yang direncanakan. Pada kondisi kedua bendung karet dapat dipasang pada bangunan pelimpah lama dengan tujuan menaikkan muka air dan daya tampung, tetapi masih mempunyai angka keamanan yang sama untuk melimpahkan debit banjir rencana. Hal tersebut dapat dilakukan dengan cara menurunkan elevasi mercu pelimpah lama dan memasang bendung karet pada mercu bendung yang telah diturunkan. Dengan demikian daya tampung waduk di hulunya akan naik, sedangkan angka keamanan terhadap banjir juga lebih tinggi dan meningkat. Bendung karet dipasang pada bendung pelimpah lama ditunjukkan pada gambar 5.3 dan 5.4.



Gambar 5.3 Bendung karet dibangun diatas bangunan lama dalam keadaan kembang



Gambar 5.4 Bendung karet dibangun diatas bangunan lama dalam keadaan Kempis

2. Tahap Pemasangan

a. Pekerjaan Landasan

Untuk landasan bendung karet yang baru dibuat dari beton bertulang dengan prinsip hitungan yang agak berbeda dengan perhitungan landasan biasa. Pondasi dan tanah harus mampu menahan beban bangunan, juga harus mampu menahan agar bendung karet tidak terangkat pada saat mengembang penuh. Perlu dicek dan disesuaikan dengan daya dukung atau komposisi butiran tanah setempat. Pada saat pembuatan pondasi harus diperhatikan angkur-angkur pengikat tubuh bendung karet dengan landasannya. Untuk menjamin pemasangan angkur tetap rapi dan tepat, dapat dipasang plat baja penghubung (*Embedded Plate*). Demikian juga dengan pipa-pipa pada landasan yang

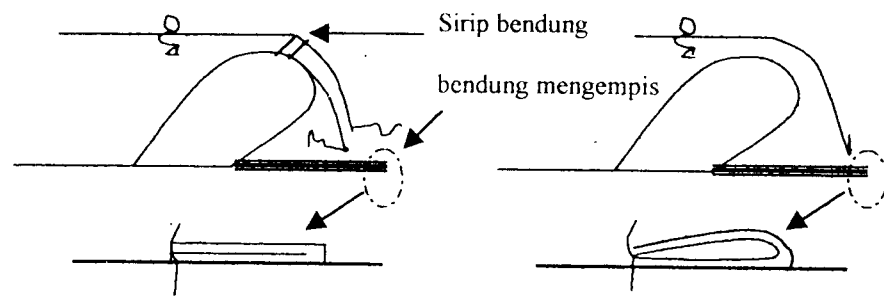
menghubungkan pompa udara harus tetap rapi dan tepat. Setelah siap barulah beton landasan dicor.

Untuk pemasangan pada bendung pelimpah yang telah ada, bagian atas bangunan dibongkar (biasanya diratakan), lalu dibor untuk penempatan ankur-ankur. Ankur dipasang dengan bantuan grouting pada seluruh bagian yang akan dilapisi dengan beton baru. Kemudian dengan cara yang sama dapat dipasang ankur baut, pipa dan peralatan lainnya. Setelah itu dilaksanakan pengecoran sehingga badan bendung lama dapat menyatu dengan lapisan yang baru.

b. Badan Bendung

Badan bendung terbuat dari karet dilapisi anyaman atau serat nylon. Anyaman bekerja menahan regangan yang disebabkan tekanan dari dalam dan tekanan air dari luar. Bahan anyaman terbuat dari kanvas dan nylon, serta dapat digunakan campuran sesuai dengan tujuan bangunan dan keadaan setempat. Lapisan karet dibuat agar tetap kedap udara dan melindungi anyaman. Biasanya karet yang digunakan dibuat tahan terhadap cuaca, ozon, air tawar, air asin, kedap udara, dan lain-lain kemampuan yang membuat badan bendung lebih awet. Bentuk badan bendung berbeda-beda tergantung dari cara pembuatannya. Secara garis besar ada dua bentuk yaitu yang menggunakan sirip dan tanpa sirip. Bentuk sirip pada saat kempes akan rata dengan dasar lantai dan sirip akan terletak lurus horizontal pada saat mengembang serta menjadi alat pencegah getaran, seperti tampak pada gambar 5.5. Pada

bendung tanpa sirip pada waktu mengembung bentuknya bulat sedangkan waktu mengempis akan berbentuk ujung lipatan seperti pada gambar 5.6. Dari uraian tersebut maka terlihat bendung dengan sirip akan lebih baik dan lebih unggul.



Gambar 5.5. Jenis bersirip

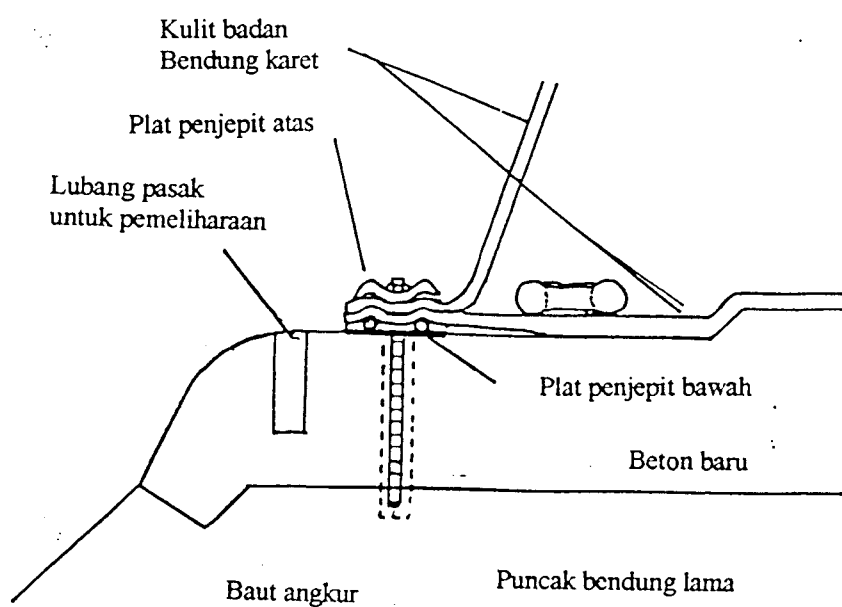
Gambar 5.6. Jenis tanpa sirip

Pelaksanaan pemasangan tubuh bendung dapat dilakukan setelah lembaran karet telah sampai di lokasi beserta peralatannya. Karet biasanya berupa gulungan yang digelar pada slab beton diatas pondasi. Kemudian lembar yang berada diatas disingkap, sedangkan bagian bawah lubang-lubangnya dipasang tepat pada baut-baut yang terpasang dibawah. Pipa-pipa yang berada dibawah bendung dipasang diatas lembar bawah. Selanjutnya lembar atas ditutupkan lagi seperti lembaran bawah. Pelat penutup dipasang dan mur baut dikencangkan.

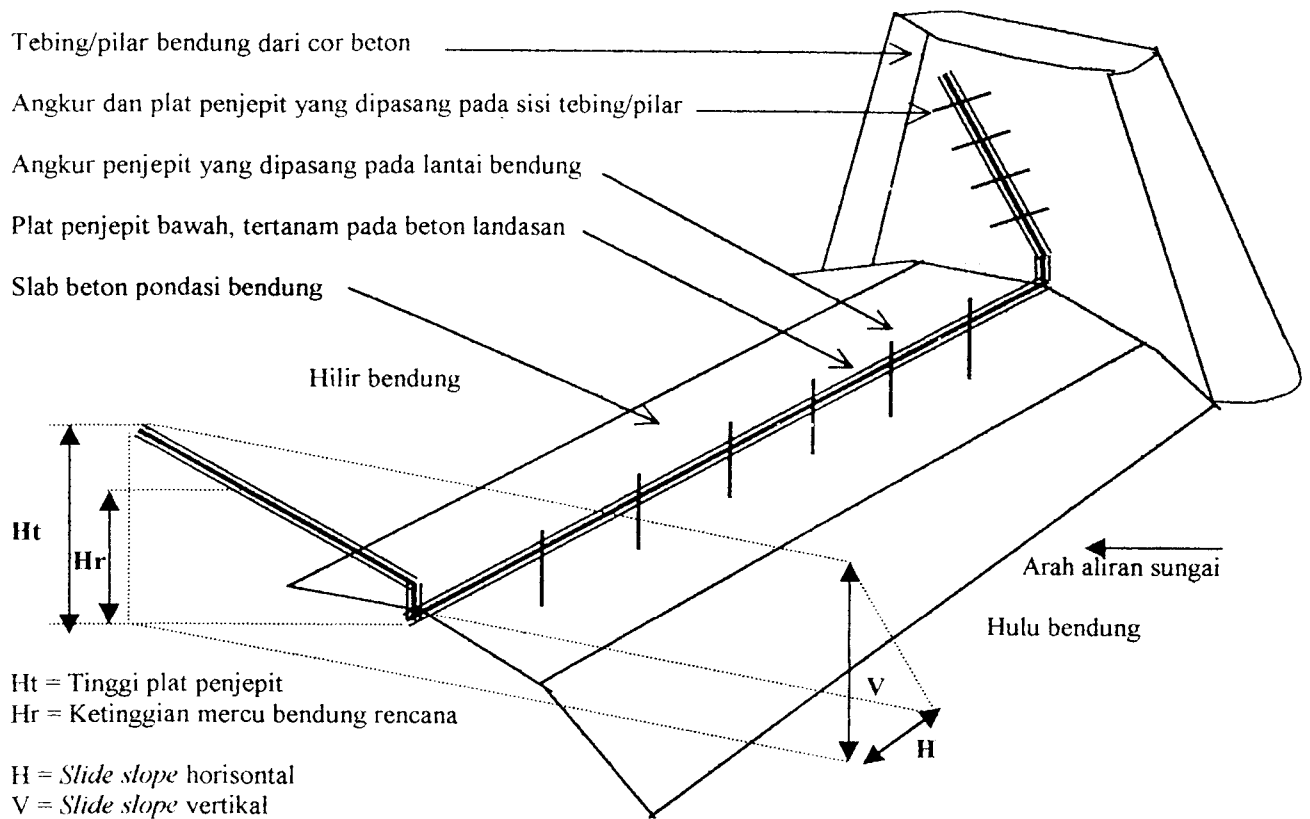
Mur baut dikencangkan lagi setelah 24 jam, dilanjutkan dengan pengujian penggembungan dan pengempisan bendung. Apabila tidak terjadi sesuatu kesalahan dan semua berjalan normal maka bendung dapat difungsikan dan dikembungkan.

c. Logam Penahan dan Penjepit

Badan bendung karet dilekatkan pada pondasi, pilar, dan abutment menggunakan logam-logam penjepit yang ditanam pada beton pondasi pada dasar sungai dan tebing. Logam-logam tersebut ada yang tertanam dalam beton pondasi berupa baut jangkar, lempengan logam yang menekan kulit bendung, dan mur yang menekan lempengan. Penjepit dibuat dari baja yang dilapisi (*galvanis*) atau baja tahan karat. Bentuk dan cara penempatan badan bendung menggunakan angkur, lempengan penjepit, dan baut dapat dilihat pada gambar 5.7, 5.8, 5.9, 5.10, dan 5.11.



Gambar 5.7 Potongan pemasangan angkur baut, karet, dan plat penjepit



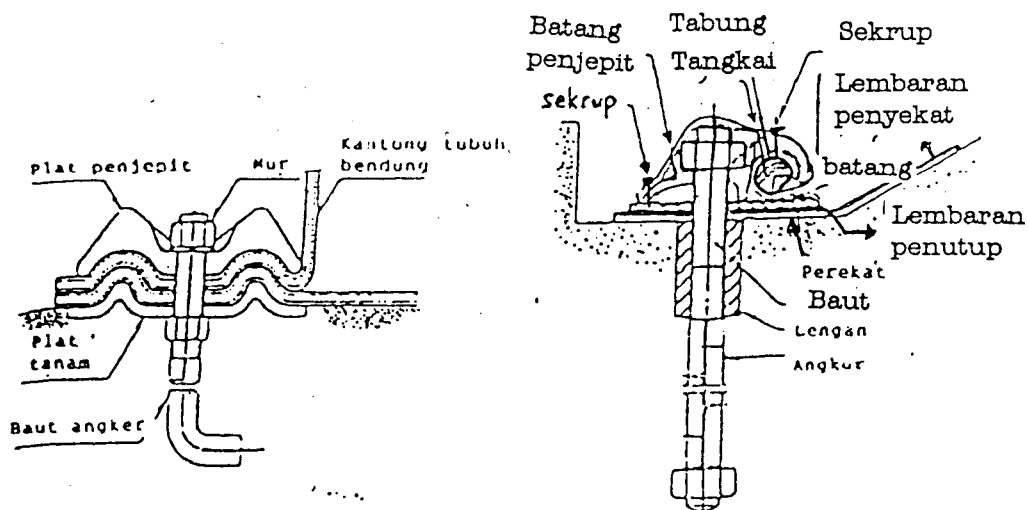
Gambar 5.8. Pemasangan ankur dan plat penjepit

Tahapan pelaksanaan pengangkutan sesuai gambar 5.7 dapat dijelaskan sebagai berikut:

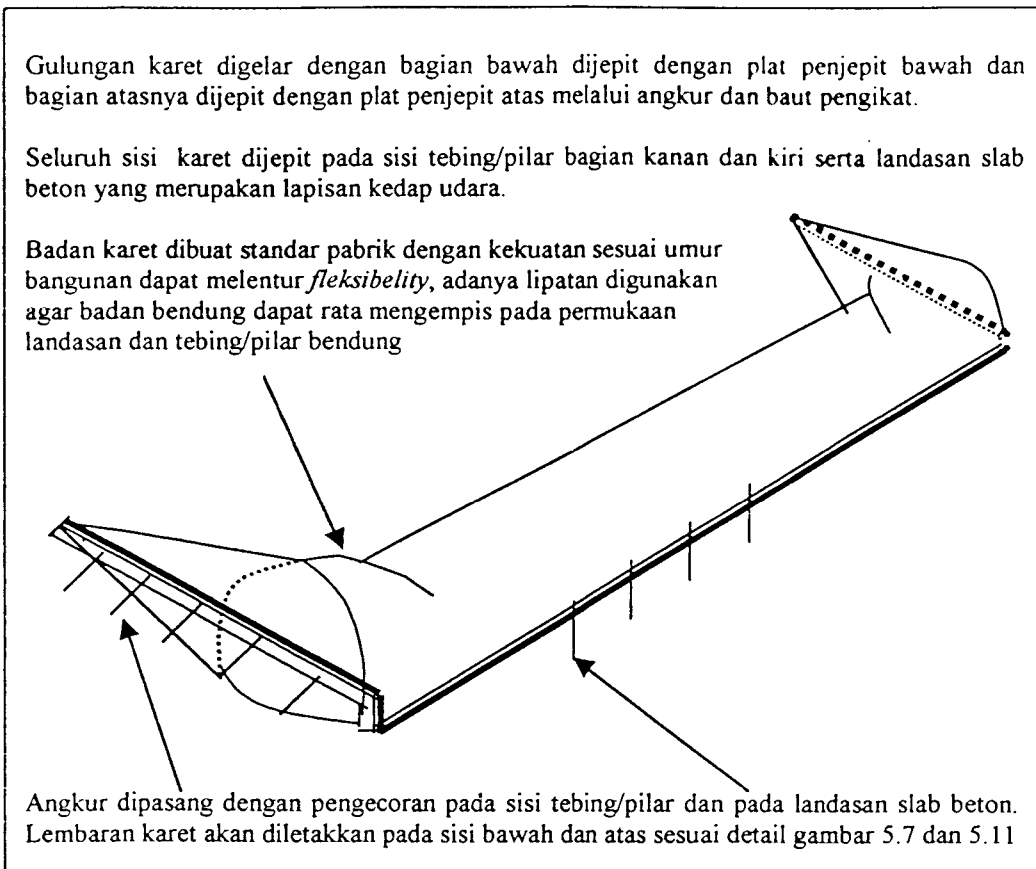
- 1) Pembuatan tulangan dan bekisting pondasi slab beton dan tebing/pilar bendung
- 2) Pemasangan plat baja galvanis bagian bawah yang telah dilubangi sebagai tempat ankur tepat pada posisi badan bendung yang direncanakan dan ditanam pada landasan slab beton rencana sebelum pengecoran, ukuran plat sesuai dengan perhitungan perencanaan dan telah disesuaikan standar pabrik serta ukuran badan karet, untuk posisi

plat perhatikan ketinggian plat penjepit (H_t) dan ketinggian mercu bendung rencana (H_r). Kemiringan plat pada tebing juga harus disesuaikan dengan *slide slope* perbandingan H dan V yang direncanakan dalam perhitungan.

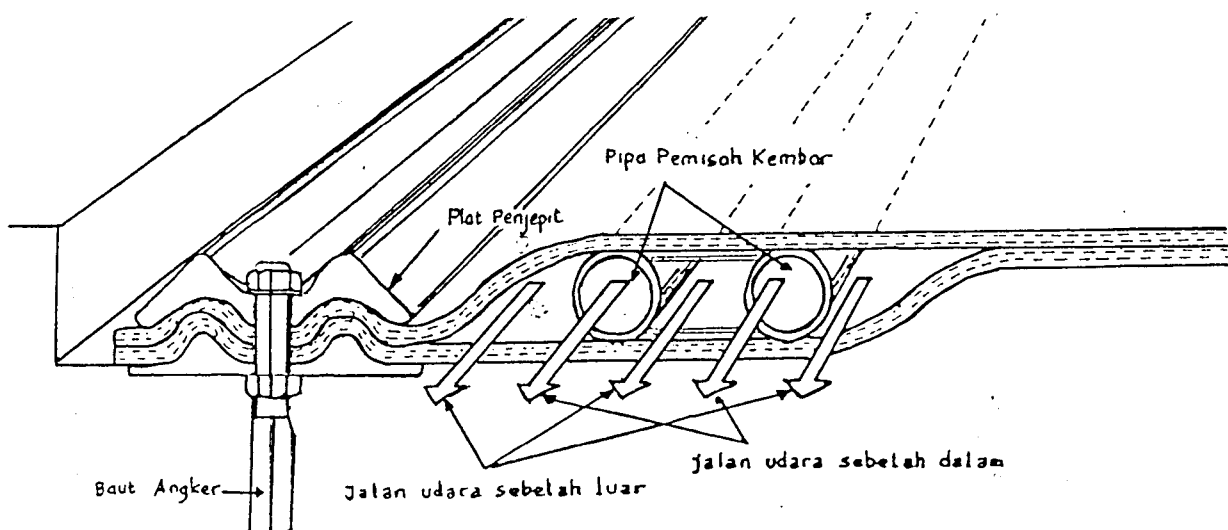
- 3) Penancapan angkur pada plat penjepit bawah dan pemasangan pipa yang berada diluar badan bendung, yaitu pipa udara dan drainasi .
- 4) Tahapan pengecoran landasan dan pilar/tebing.
- 5) Pemasangan gulungan karet tepat pada lubang-lubang angkur dilaksanakan setelah pengecoran kering, tahapan pertama adalah penempatan lembaran karet pada angkur yang terletak pada landasan pondasi dan selanjutnya pada plat tebing kiri dan kanan. Gulungan karet dilipat dan ujung lipatan dipertemukan pada ujung angkur, setelah itu dipasang plat pejepit atas dan baut pengikat.



Gambar 5.9 Detail Angkur Bendung Karet



Gambar 5.10 Gulungan karet yang dijepitkan pada seluruh permukaan plat baja dengan bantuan angkur



Gambar 5.11. Detail plat penjepit, angkur dan jalan udara

d. Peralatan Bendung Karet

1) Alat pengembung

Alat pengembung untuk memasukkan udara ke dalam badan bendung dapat menggunakan pompa udara atau kompresor. Perlengkapan yang lainnya berupa pipa dan katub penyalur udara. Waktu yang diperlukan untuk mengembung dari badan bendung tergantung ukuran badan bendung dan jenis pompa yang dipakai, berkisar antara 10 menit sampai dengan 1 jam.

2) Alat Pengempis

Alat pengempis mengeluarkan udara dari badan bendung dan mengempiskan badan bendung. Alat pengempis bekerja otomatis dengan gerakan ember pelampung yang berisi air, dihubungkan dengan muka air dibagian hulu.

Pada jenis pelampung bila kondisi muka air pada bagian hulu berada pada ambang batas banjir, maka air akan mengisi katub lubang, dan tuas katub akan bergerak sehingga pelampung terangkat, otomatis katup akan terbuka dan badan bendung akan mengempis. Katub akan menutup jika pelampung turun, dan pelampung akan turun saat muka air di hulu sudah tidak berada pada ketinggian ambang batasan banjir.

Pada jenis ember bila ember terisi air akan menjadi berat dan menggerakkan tuas katub, maka udara akan keluar dari bawah bendung sehingga badan bendung mengempis. Air di ember akan

keluar kembali melalui lubang pipa air (*fleksibel*), bila air turun dan ember terangkat oleh pegas maka katub menutup kembali.

Untuk keamanan tersedia peralatan lain yang digerakkan oleh listrik. Bila muka air mencapai tinggi tertentu karena salah satu sebab katub yang dihubungkan dengan tinggi muka air hulu tidak mau membuka, maka ada katub lain yang digerakkan dengan tenaga listrik akan membuka. Tersedia juga katub yang digerakkan dengan tenaga manusia jika kedua sistem tersebut gagal. Dan ketiga-tiganya merupakan salah satu sistem keamanan bendung. Waktu pengempisan umumnya 10 menit sampai dengan 1 jam untuk memberikan waktu kesempatan penyesuaian aliran dibagian hulu dan hilir bendung.

3) Alat Perpipaan

Perpipaan yang dihubungkan dengan bilik operasi diantaranya pipa pemasukan dan pengempisan, pemantauan dari badan bendung, pipa drainase, pipa pemantauan muka air hulu.

4) Sistem Kontrol

Fasilitas kontrol berada dalam rumah kontrol, termasuk bilik air untuk pelampung dan penggerak kompresor (listrik atau diesel pipa-pipa, katub, pegas, panel-panel kontrol, pengukuran tekanan udara, dan lain-lain), bila sumber tenaga listrik dari PLN maka pemasangan instalasi listrik termasuk dalam tahapan ini.

e. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam pelaksanaan

- 1) Pelaksanaan dibagi dalam dua tahap, yakni tahap pekerjaan landasan, baut angkur, pipa-pipa yang ditanam dalam beton dan tahap pemasangan bendung karet
- 2) Tidak memerlukan keahlian khusus dalam pelaksanaannya, tetapi memerlukan pengawasan khusus pada saat pemasangan badan bendung, pemasangan cepat dengan tenaga sedikit.

5.7.3. Pekerjaan Pelindung Tebing

Pelaksanaan pekerjaan pelindung tebing hampir bersamaan dengan pekerjaan pengecoran lantai bendung bagian tepi kiri dan tepi kanan, pada kaki bangunan (pondasi) sebelum dikerjakan harus diadakan pengeringan terlebih dahulu dengan menggunakan alat pompa air dan dibuatkan bendung pengelak untuk mengalihkan aliran sementara, setelah pondasi pelindung tebing telah selesai segera dipasang tiang pancang, turap, dan bronjong kawat untuk menghindari hal-hal yang tidak diinginkan. Pekerjaan pelindung tebing dilaksanakan dengan tenaga manusia.

5.8. Operasi, Pemeliharaan, dan Pengamanan

5.8.1. Operasi

Bendung karet adalah bendung gerak yang bekerja secara otomatis dan sederhana. Dikembangkan dengan kompresor dan dikempiskan dengan membuka katub. Sistem operasinya mudah sekali. Keuntungan yang lainnya tidak perlu pengecatan dan tahan terhadap air laut dan mudah pemeriksaannya. Dioperasikan dengan manusia jika sistem otomatisnya mengalami kegagalan.

1. Cara pengoperasian

a. Pengembungan

- 1) Membuka katub pemberian udara dan menutup katub-katub pengempisan/pengeluaran udara.
- 2) Menghidupkan mesin/motor listrik yang menggerakkan pompa udara
- 3) Badan bendung akan terisi udara, setelah badan bendung mengembung penuh, periksa pengukur tekanan udara bendung,, bila air di hulu bendung tidak penuh, maka tekanan dalam badan bendung adalah 0,7 kali tinggi tekanan air yang membendung.
- 4) Tutup katub pemberian udara dan matikan mesin/motor listrik.

b. Pengempisan

- 1) Buka katub pengeluaran udara untuk pengempisan bukan otomatis (dilakukan oleh manusia).
- 2) Pengempisan dapat dipercepat dengan membalik arah putaran pompa udara (fungsi pompa jadi mengisap).

c. Sistem drainase (khusus untuk bendung berisi udara)

Bila karena suatu hal (misal karena bocor) di dalam tubuh bendung terisi air sehingga secara berkala perlu dikeringkan agar badan bendung dapat dikembungkan dan dikempiskan secara sempurna sesuai dengan yang direncanakan. Cara pematusan drainase adalah sebagai berikut :

- 1) Untuk bendung karet berisi udara tipe A

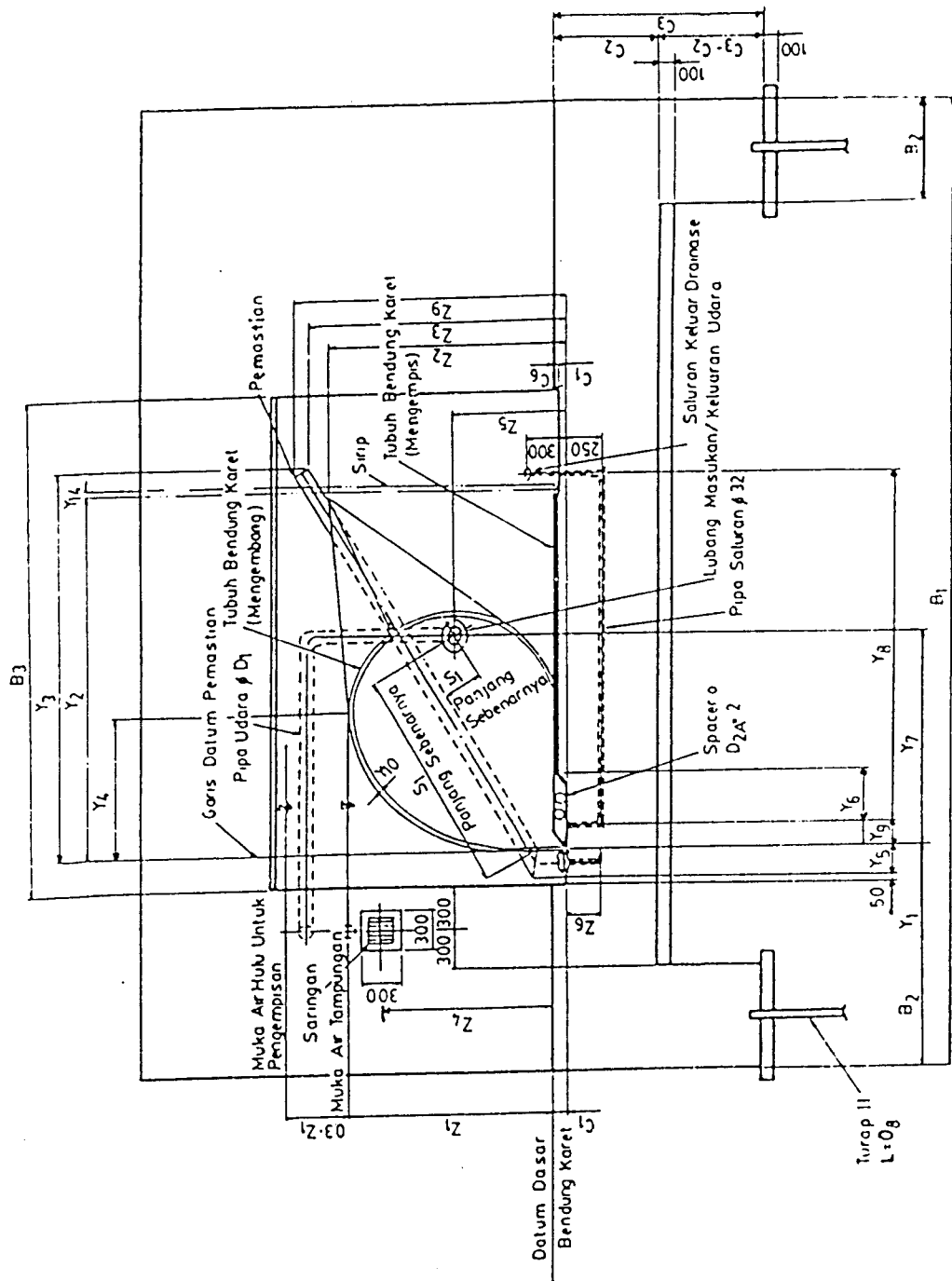
Bendung dikembungkan dan sumbat pematusan/drainase dibuka untuk pengeluaran air dari dalam tubuh bendung, sesuai gambar 5.12a.

2) Untuk bendung karet berisi udara tipe B

Pematusan air dari dalam tubuh bendung berlangsung secara otomatis, bersamaan dengan pengeluaran udara dari dalam tubuh bendung, sesuai dengan gambar 5.13a.

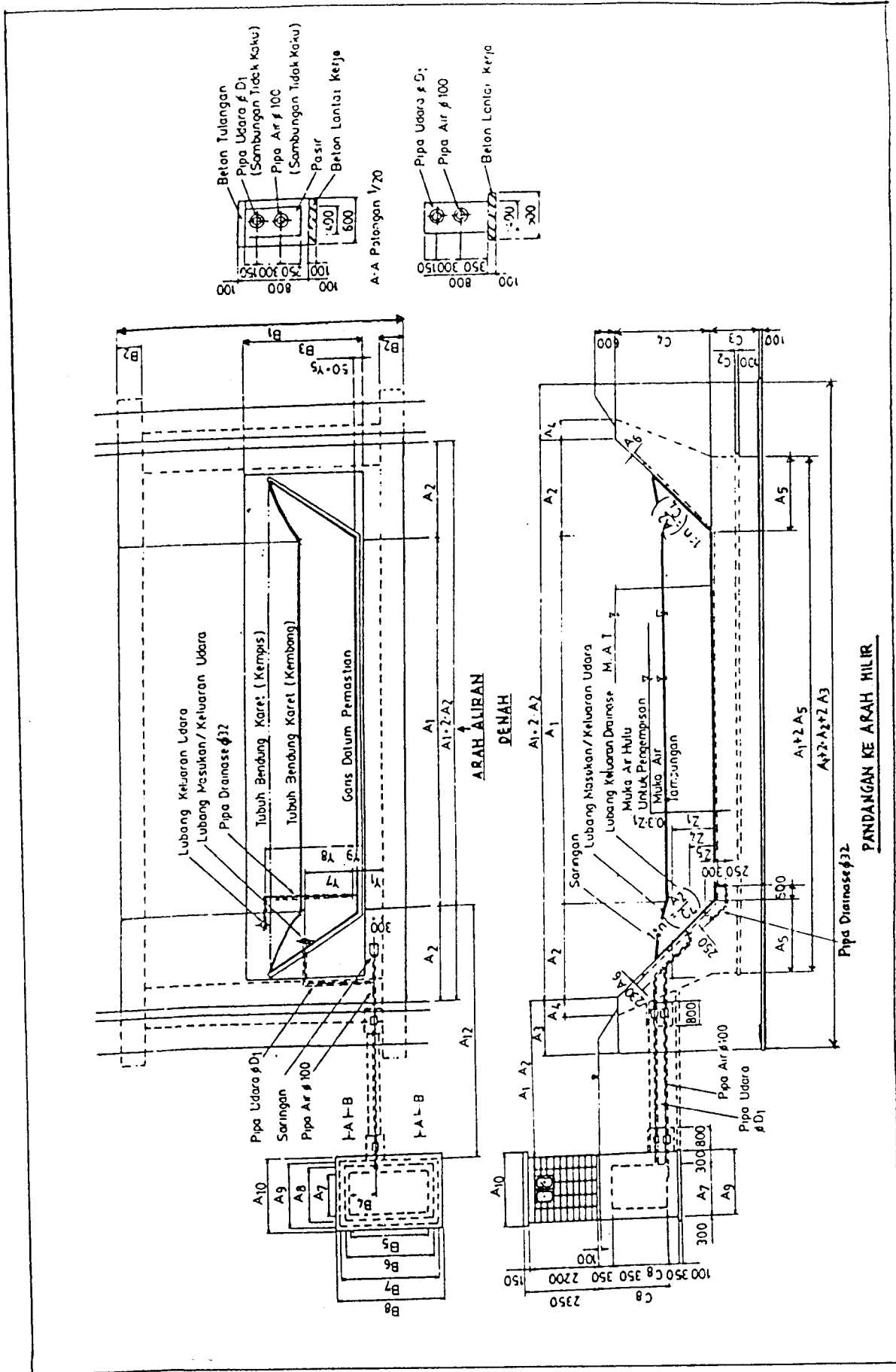
Tipe, ukuran, denah, dan potongan bendung, ditunjukkan pada gambar 5.12b, 5.12c, 5.13b, 5.13c, dan 5.13d. Untuk skema proses pengempisan bendung dijelaskan pada gambar 5.14.

M
UN
P
K

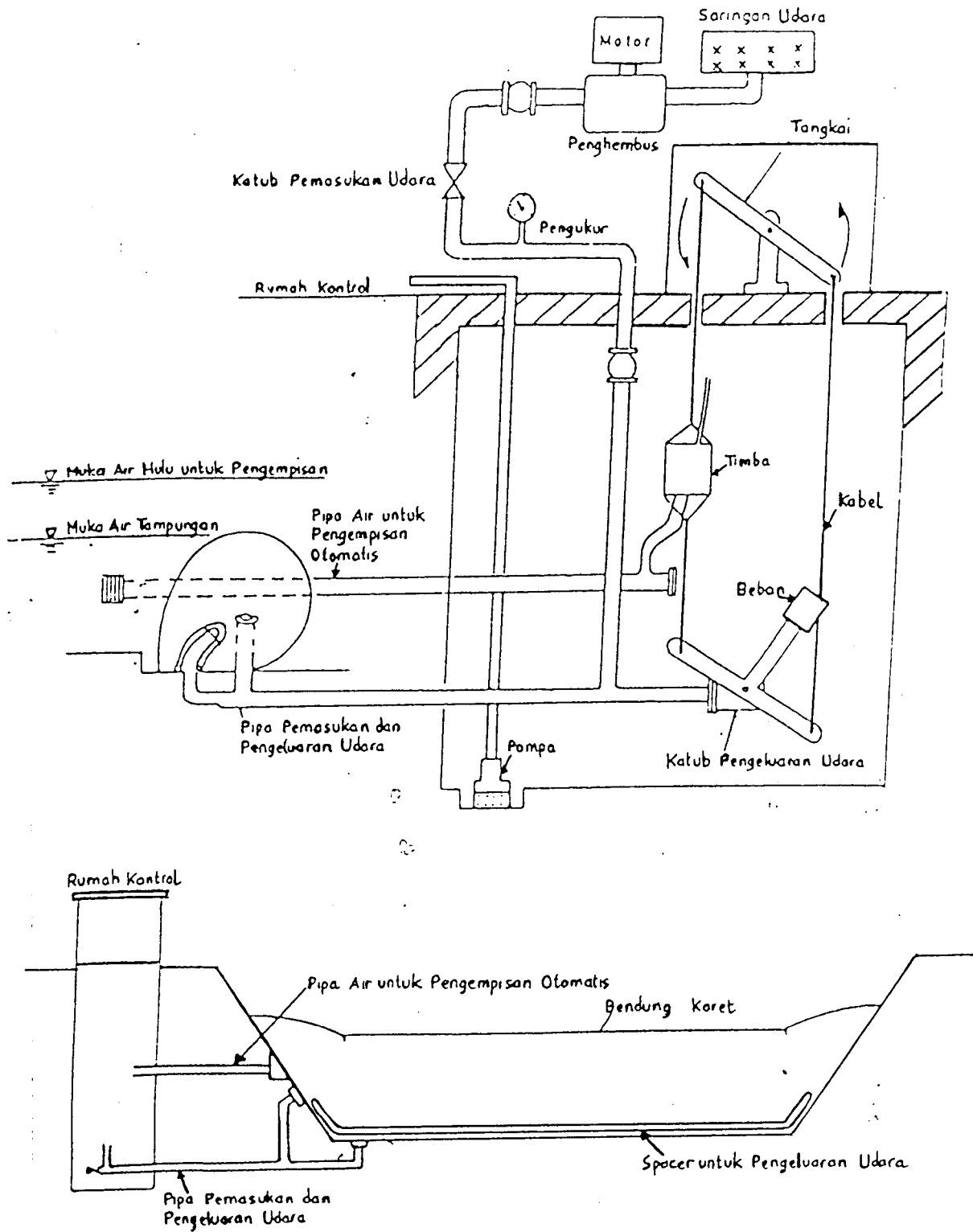


POTONGAN MELINTANG

Gambar 5.12b. Potongan Melintang Bendung Karet Tipe A

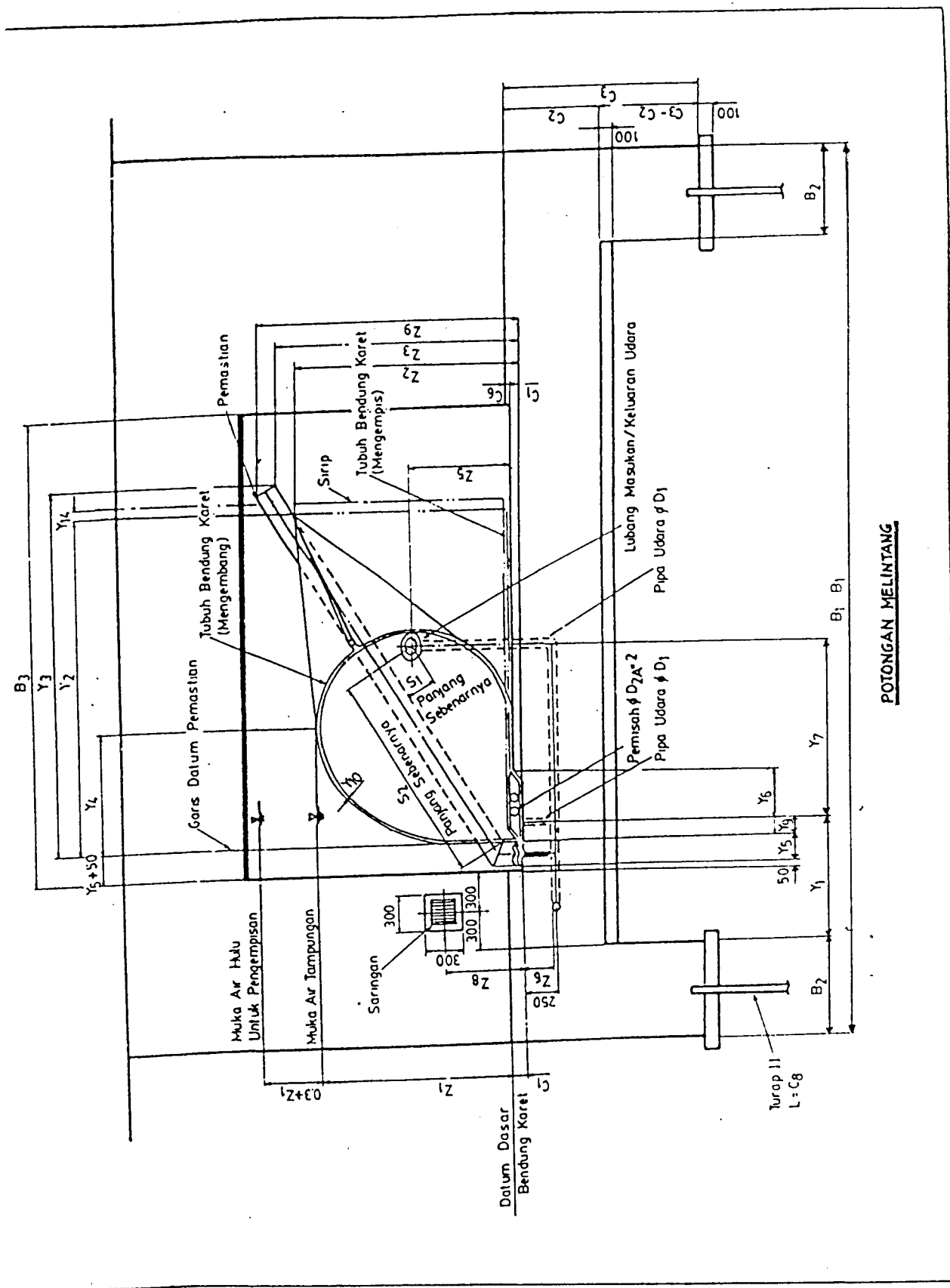


Gambar 5.12c. Denah dan Pandangan Hilir Bendung Karet Tipe A



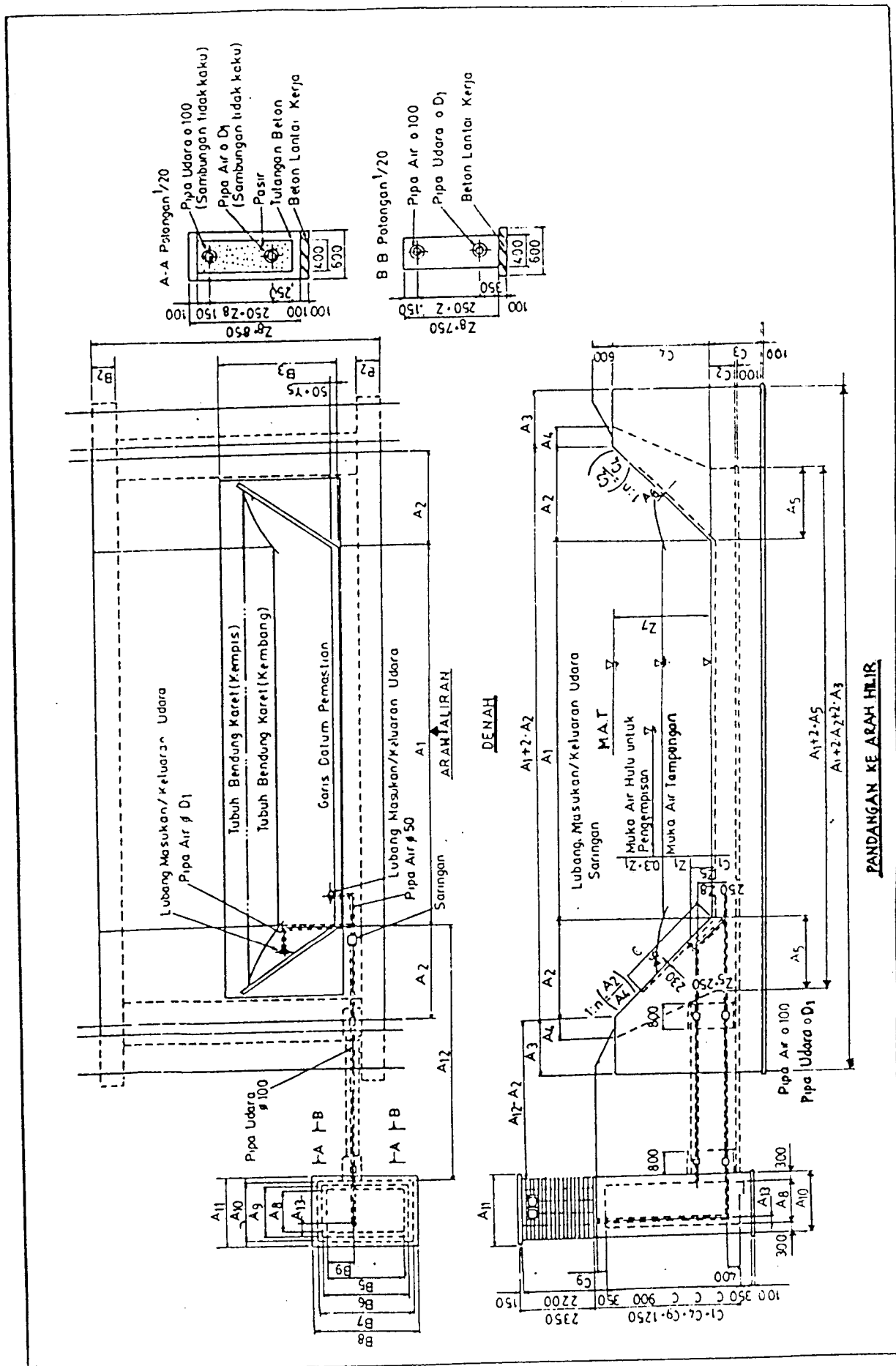
Fauzi 99

Gambar 5.13a. Skema Diagram Udara dan Metode Pengoperasian (Tipe B, Tipe Timba)

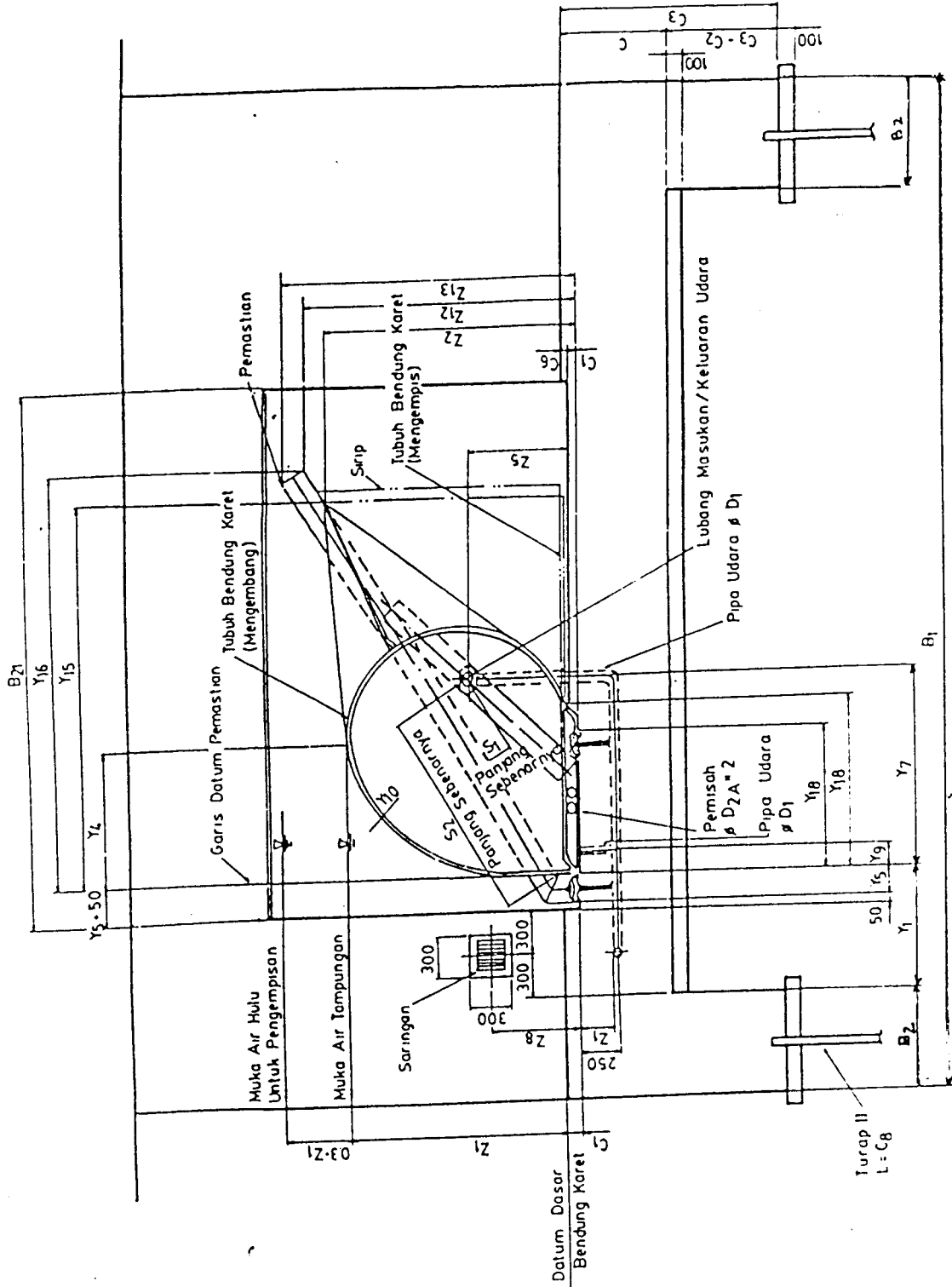


POTONGAN MELINTANG

Gambar 5.13b. Potongan Melintang Bending Karet Tipe A Untuk Penjepit Satu Baris

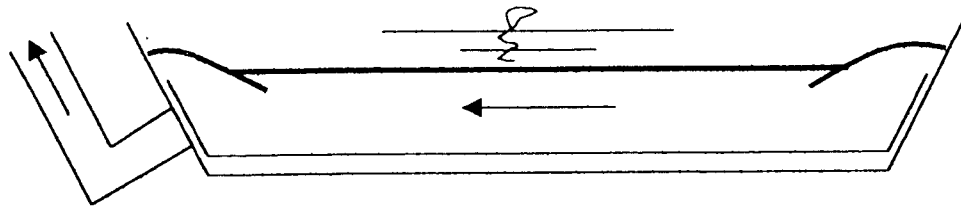


Gambar 5.13c. Denah dan Pandangan Hilir Bendung Karet Tipe B Untuk Penjepit Satu Baris

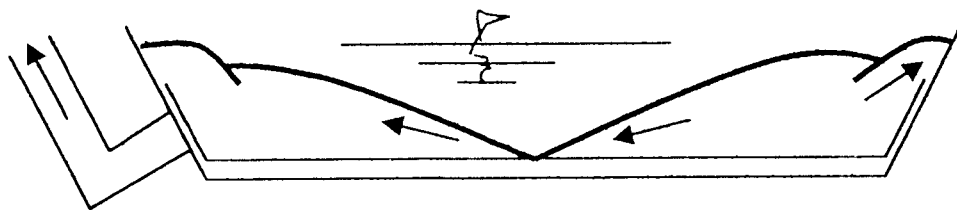


POTONGAN MELINTANG

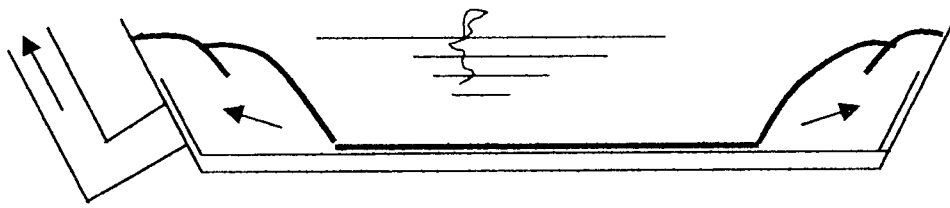
Gambar 5.13d. Potongan Melintang Bendung Karet Tipe B Untuk Penjepit Dua Baris



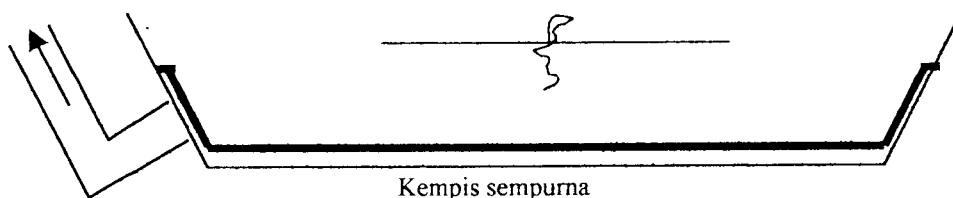
Saat katub pengeluaran terbuka, udara secara berangsur-angsur menuju ke lubang pengeluaran udara



Ketika salah satu titik menutup, udara dikeluarkan melalui sebelah dalam dan sebelah luar pipa pemisah



Walaupun hambatan bertambah, jalan udara dijamin cukup dan udara tetap dapat dikeluarkan sekalipun terdapat peningkatan pengembunan yang menghalangi di jalan udara sebelah luar pipa pemisah, udara masih dapat dikeluarkan melalui sebelah dalam pipa pemisah



Kempis sempurna

Gambar 5.14. Skema Proses Pengempisan Badan Bendung

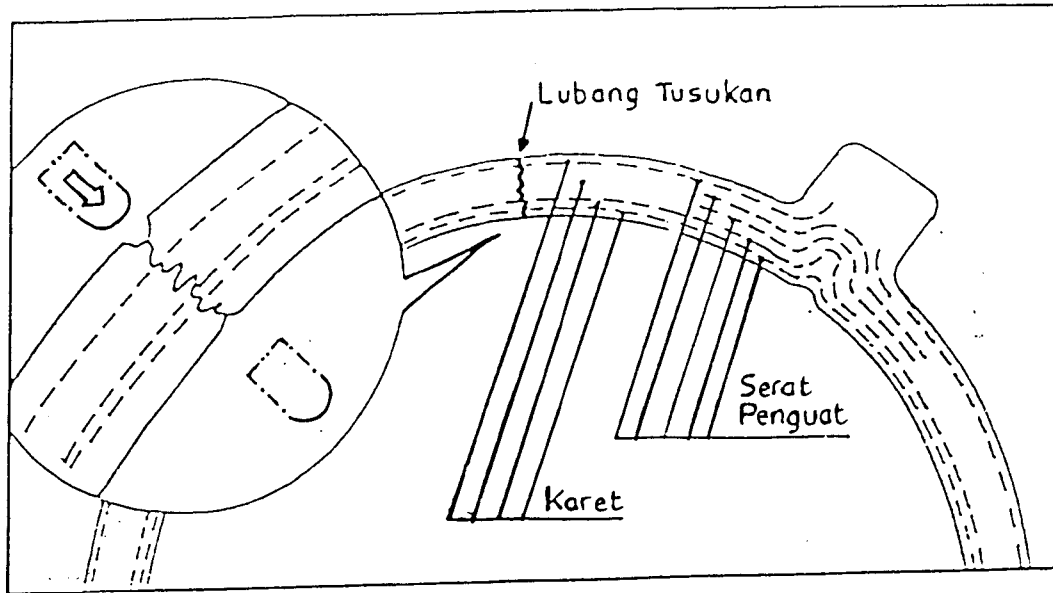
d. Pengurasan Pasir di Hulu Bendung

Pasir yang terkumpul dapat dibersihkan sampai tingkat tertentu dengan mempercepat pengempisan dan pengembangan beberapa kali. Bila dengan cara tersebut sulit, dapat dilakukan dengan cara-cara lain, yaitu dengan tenaga manusia atau mekanis.

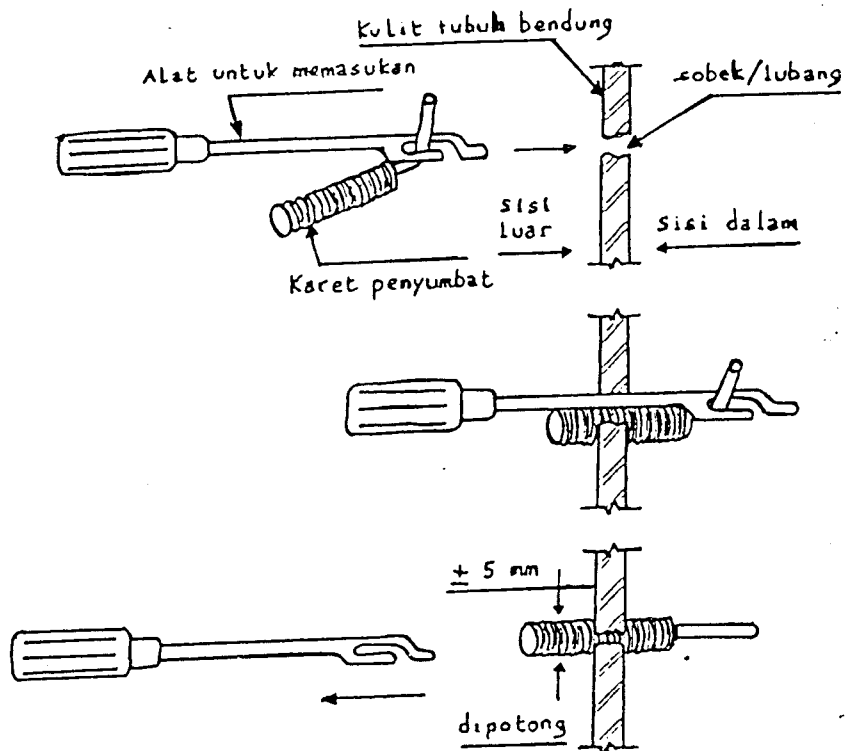
5.8.2. Pemeliharaan

1. Perbaikan Kebocoran

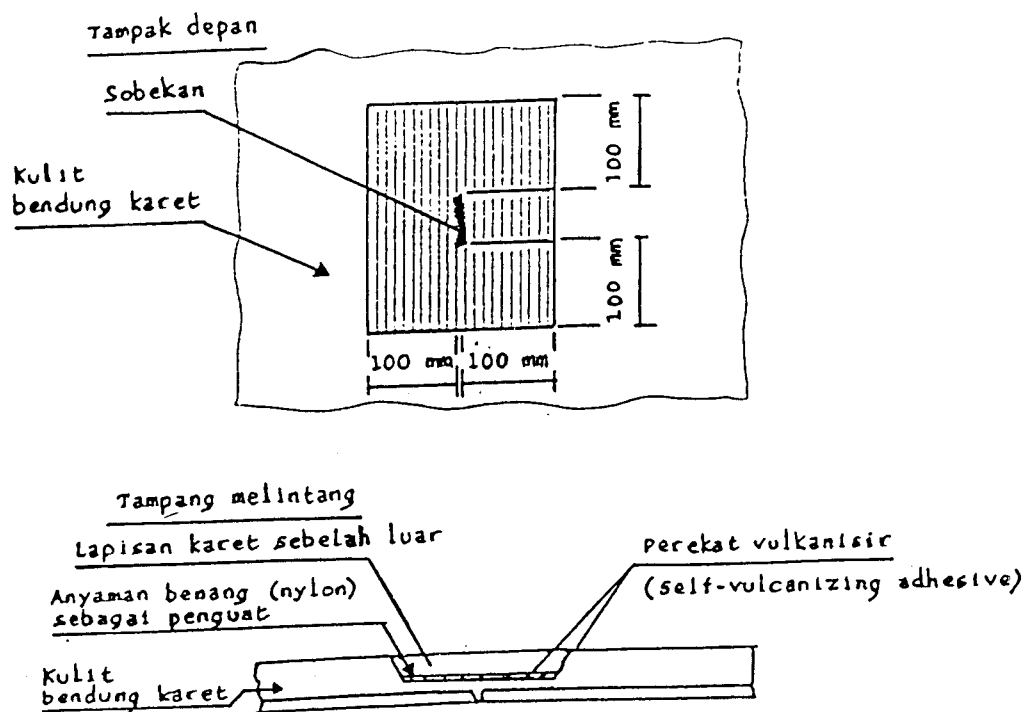
Bila dijumpai kerusakan-kerusakan harus segera diperbaiki. Bila terjadi kerusakan kecil pada karet bendung (kurang dari 1 cm), dapat diperbaiki dengan sumbat karet, seperti memperbaiki ban tanpa ban dalam (*tubeless*). Walaupun cara perbaikan bergantung pada letak kerusakan dan aliran sungai, perbaikan dilakukan dalam keadaan bendung dikembungkan, lain halnya bila kerusakan relatif besar (lebih dari 1 Cm). Perbaikan sama dengan sabuk *konveyor* dan dilakukan dalam keadaan kempes dan kering. Gambar 5.15 dan 5.16 memperlihatkan contoh-contoh cara memperbaiki kerusakan-kerusakan kecil, sedangkan gambar 5.17 memperlihatkan cara memperbaiki lubang besar (lebih dari 1 cm).



Gambar 5.15. Contoh Kerusakan Kecil Pada Tubuh Bendung Akibat Tusukan atau Tembakan



Gambar 5.16. Contoh Perbaikan Lubang Kecil Pada Tubuh Bendung Dengan Karet Penyumbat



Gambar 5.17. Contoh Perbaikan Sobekan Lebih Dari 1 cm Pada Tubuh Bendung

2. Pemeliharaan dan Pemeriksaan Harian

Badan bendung karet harus dijaga dari kerusakan, misalnya badan karet yang melepuh, adanya kebocoran ditandai dengan keluarnya gelembung udara dari badan bendung, harus dibersihkan daerah sekitar dari puing-puing reruntuhan yang berbahaya, tumpukan pasir, serta kerikil. Logam lempengan plat perlu pemeriksaan dari karatan atau kerusakan yang lain. Bagian pipa-pipa dihindari adanya bagian yang retak, buntu/tersumbat, dan berkarat. Pada sistem pengempisan otomatis perlu dikontrol saringan pipa air untuk penggerak pengempesan, dibersihkan dari sumbatan akibat lumpur, pasir, kerikil, atau lainnya. Pengontrolan gerakan katub, normalnya katub akan terbuka jika tuas

digerakkan. Untuk tipe ember harus dihindari adanya endapan dalam ember. Untuk tipe pelampung harus diperiksa apakah ketinggian muka air memang sudah cocok dengan rencana saat katub mulai terbuka. Pada mesin kompresor perlu diperhatikan bagian motor dinamo listrik, diusahakan berjalan normal dan tersedia cukup bahan bakar, pelumas dan air pendingin. Pada peralatan operasional selalu dikontrol petunjuk tekanan, pipa-pipa udara, dan katub, seluruhnya dapat digerakkan dengan mudah tanpa hambatan. Peralatan yang rusak karena karatan harus segera diperbaiki atau diganti.

Meskipun badan bendung dibuat tahan terhadap batuan yang menggelinding dalam aliran, namun masih ada kemungkinan bocor bila ditusuk atau diiris oleh benda tajam, peluru, pisau, atau alat pemotong lainnya. Perlu dicegah kerusakan yang disengaja atau hal-hal yang menjurus dapat terjadinya kerusakan karena ulah manusia.

Badan bendung dibuat dengan puncak yang kasar agar tidak licin dan mudah dilalui, namun tidak mudah berjalan diatas tubuh bendung terutama bila ada air yang meluap diatasnya. Sebaiknya dipasang papan peringatan mengenai bahayanya melewati/berjalan diatas badan bendung. Peralatan yang berada di rumah kontrol harus selalu dijaga dan dipelihara.

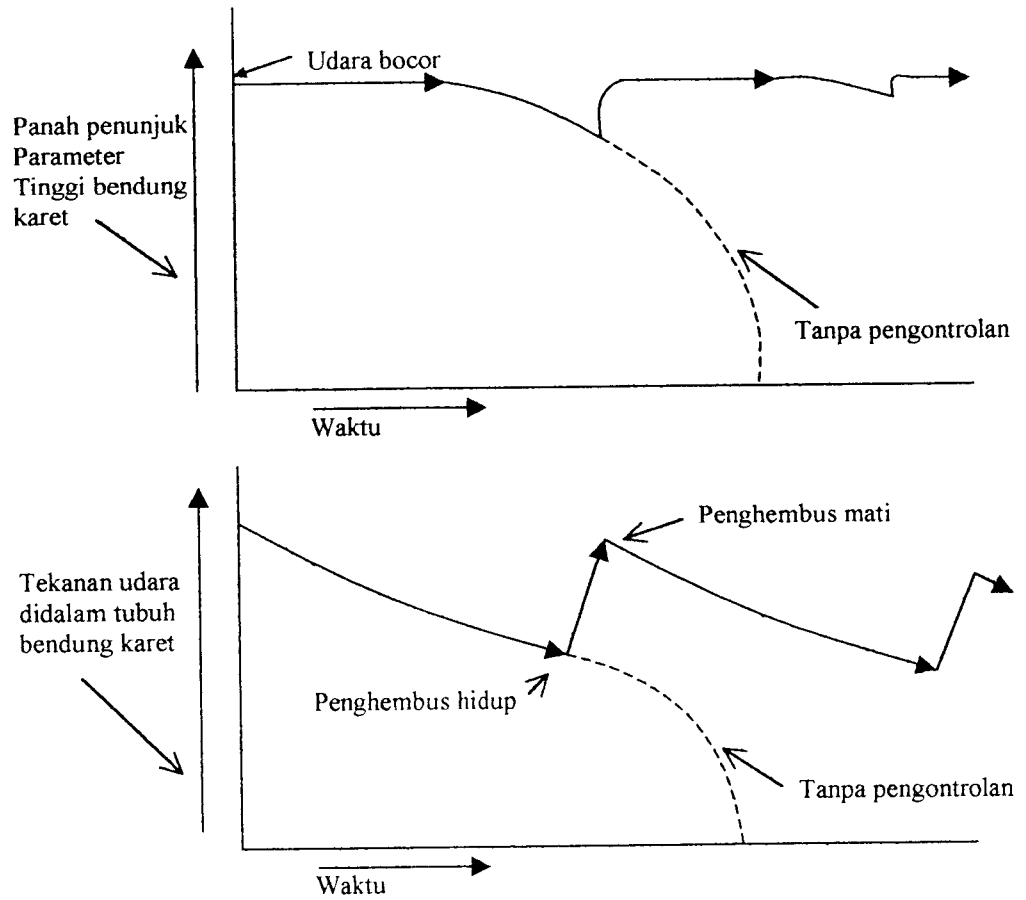
3. Pengendalian Tekanan Udara Dalam Badan Bendung (Peralatan Tambahan)

Bila badan bendung terkena tusukan atau benda tajam atau tertembus peluru akan terjadi lubang, tetapi karena badan bendung diperkuat dengan anyaman benang-benang sebagai ototnya, maka lubang tidak akan membuat

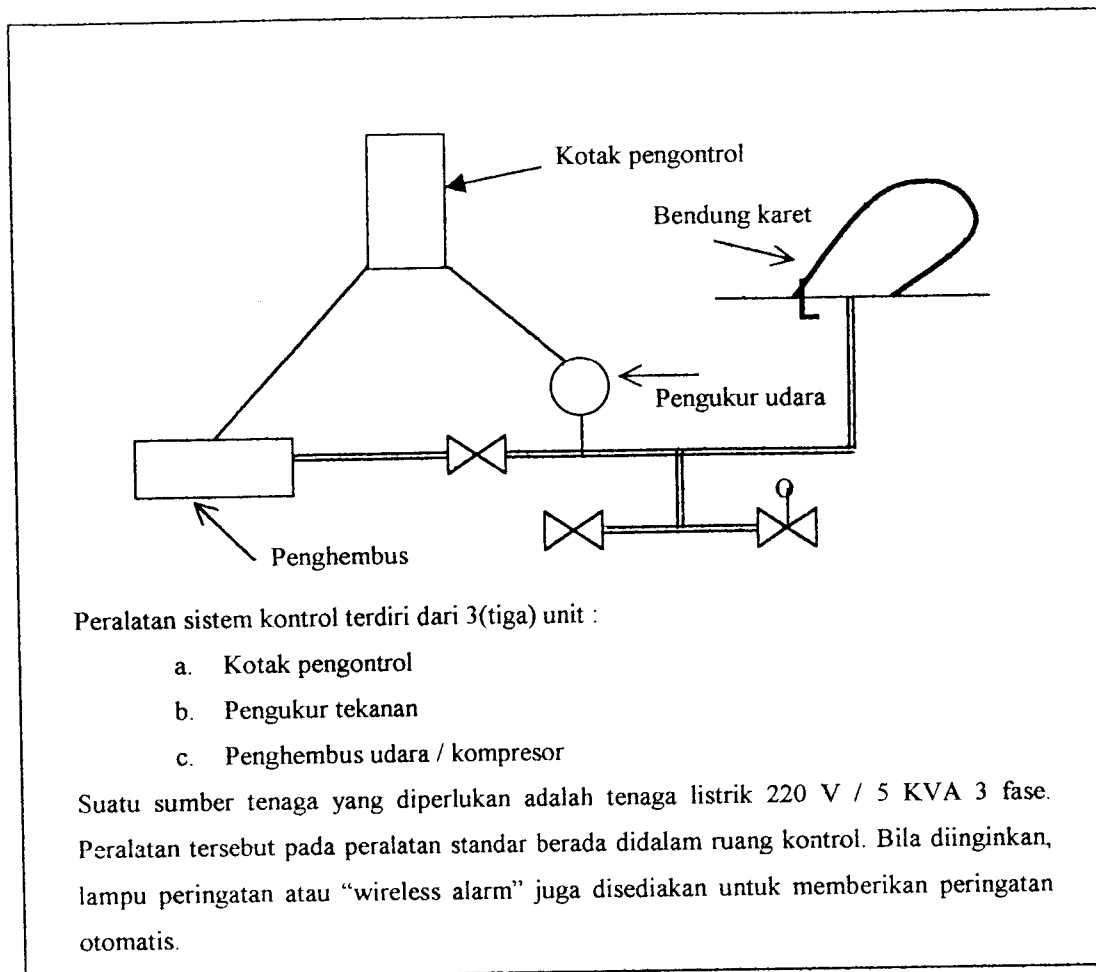
bendung meledak seperti balon. Bekas tusukan atau tembusan akan berupa sebuah lubang. Tubuh bendung menjadi bocor dan udara bertekanan akan menerobos keluar dari dalam tubuh bendung, yang akhirnya membuat bendung kempes rata dengan pondasi. Badan bendung dapat dikembungkan kembali dengan menghembuskan/memompakan udara kompresor ke dalam badan bendung, karena pada umumnya udara yang keluar akibat tusukan atau peluru lebih kecil dari isian kompresor.

Dalam kasus seperti itu sebuah sistem peralatan pengendali yang dapat memantau tekanan udara dalam badan bendung akan bekerja dengan sendirinya atau otomatis untuk memompakan udara ke dalam tubuh bendung untuk menjaga tekanan udara dalam tubuh bendung seperti yang telah ditetapkan (direncanakan) dan menjaga agar tetap mengembang.

Untuk memperbaiki atau menghambat badan bendung karet dapat dilakukan seperti pada butir sub bab 5.8.2. bagian pertama diatas, atau mengikuti petunjuk dari pabrik pembuat bendung karet, karena tiap pabrik selalu menerbitkan buku petunjuk untuk operasi dan pemeliharaan yang mungkin berbeda antara pabrik yang satu dengan pabrik yang lainnya atau produk yang satu dengan produk lainnya.



Gambar 5.18. Pengontrolan Tekanan Udara Didalam Tubuh Bendung



Gambar 5.19. Susunan Peralatan Pengontrolan Tekanan Udara

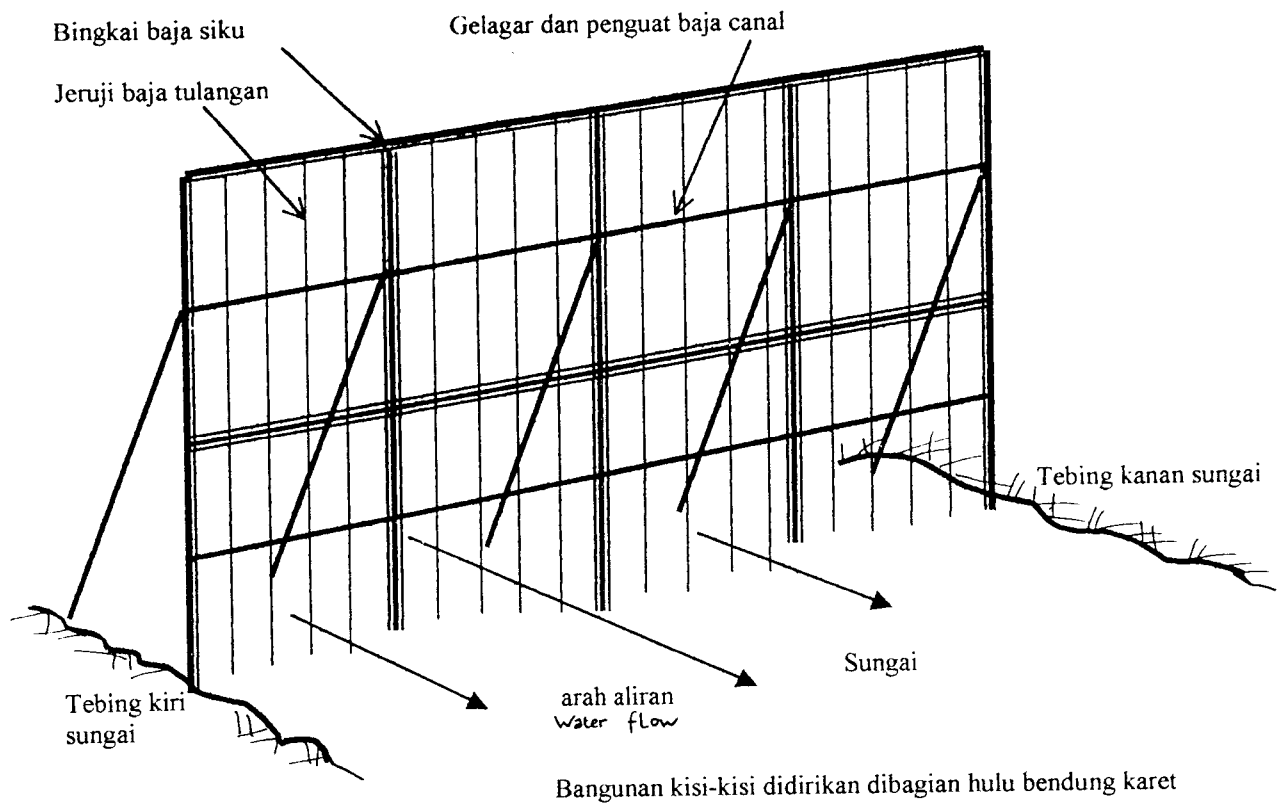
5.8.3 Pengamanan Bendung Karet Terhadap Kerusakan Bendung

Bendung karet yang telah rusak karena robek akan memerlukan bahan karet yang baru dan merupakan pekerjaan pemeliharaan yang mahal. Pada bendung karet yang telah diperbaiki juga tidak ada jaminan bahwa bendung tersebut akan dapat berfungsi dengan baik sampai umur teknis dan ekonomis yang direncanakan tercapai.

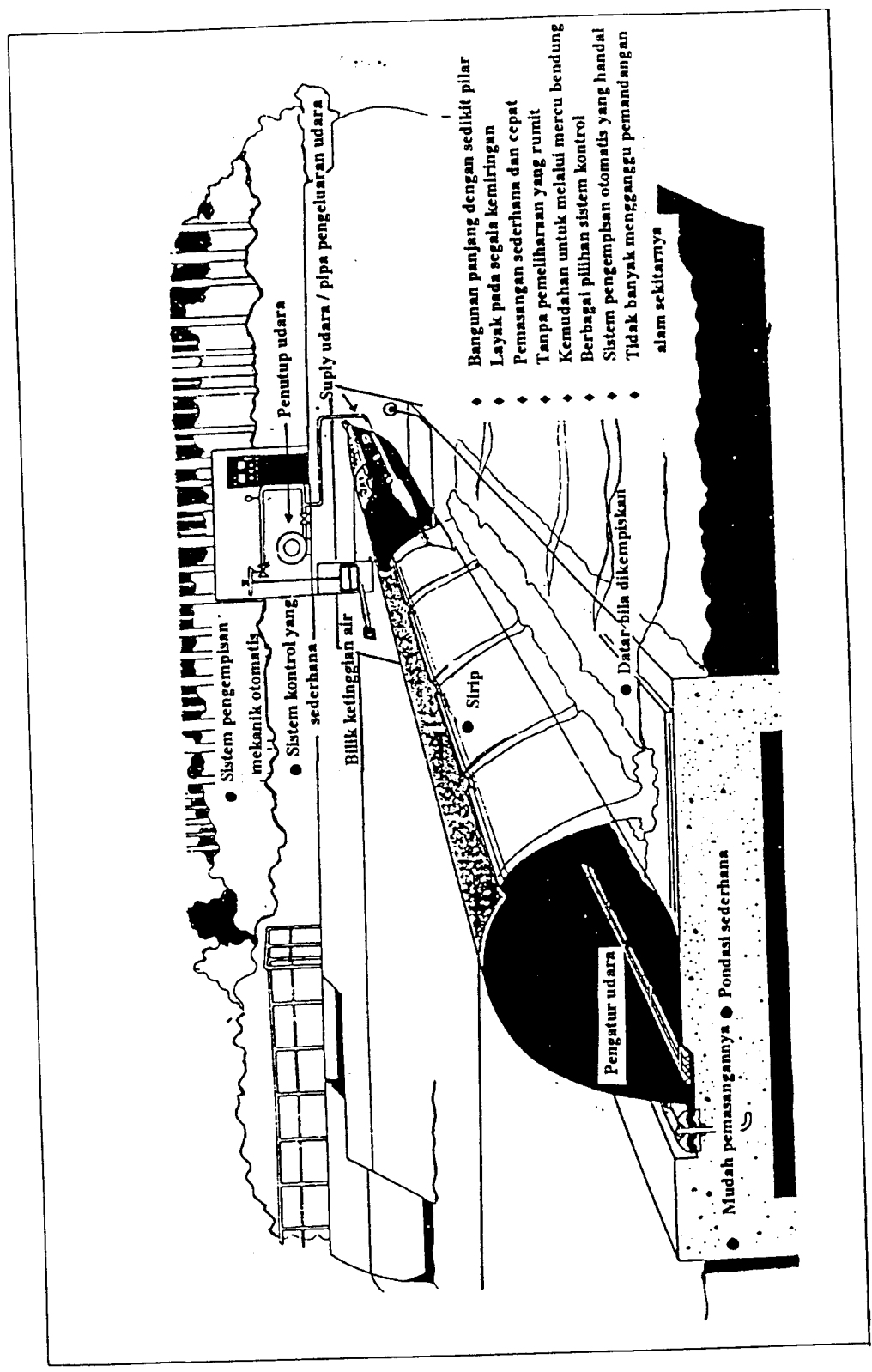
Adanya angkutan sedimen padat atau mengapung dapat merusakkan badan bendung sewaktu-waktu. Oleh karena itu dibutuhkan fasilitas rehabilitasi dan pengamanan. Metode pengamanan dapat dilakukan dengan penerapan *trash rack* atau kisi-kisi. *Trash rack* biasa digunakan pada saluran atau bangunan pengambilan untuk menangkap sampah atau benda apung lainnya agar tidak masuk atau menyumbat gorong-gorong. Di negara maju *trash rack* juga di pasang di sungai untuk melindungi turbin pembangkit listrik dari angkutan sedimen padat melayang dan mengapung. Sedimen yang terangkut pada *trash rack* tersebut diambil secara mekanik dan kontinyu dan ditampung di tempat pembuangan.

Trash rack di pasang dengan jarak tertentu di hulu bendung karet. Hal tersebut agar diketahui jenis sedimen yang terangkut dan dapat menyesuaikan ukuran kisi-kisi *trash rack*. Kisi-kisi ini terbuat dari bahan baja dipasang dengan bentang sesuai lebar sungai, dan ketinggian sebaiknya lebih tinggi dari elevasi permukaan air maksimum. Terdiri dari beberapa rangkaian, masing-masing rangkaian diberi bingkai dan batang penguat pada setiap ketinggian tertentu. Bingkai digunakan baja siku, jeruji dari baja tulangan, dan bentang gelagar penguat dari baja canal tipe tertentu. Pemasangan *Trash Rack* atau kisi-kisi

ditunjukkan pada gambar 5.20, sedangkan untuk mengakhiri uraian metode pelaksanaan ditunjukkan susunan skematis bendung karet pada gambar 5.21.



Gambar 5.20 Pemasangan Trash Rack atau Kisi-kisi di Hulu Bendung Karet



Gambar 5.21. Skematis Bendung Karet

BAB VI

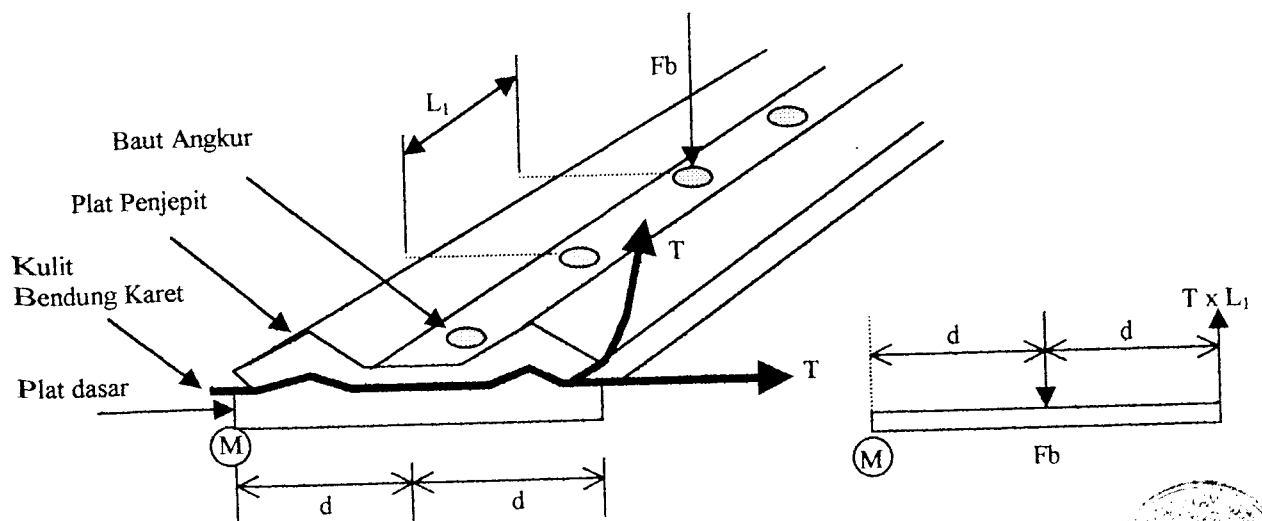
PEMBAHASAN

Untuk lebih memperjelas uraian-uraian yang telah disampaikan pada bab-bab terdahulu, akan dibahas beberapa hal mengenai perencanaan dan pelaksanaan bendung karet, dimaksudkan agar didapat suatu gambaran yang lebih jelas mengenai masalah perencanaan dan pelaksanaan bendung karet itu sendiri.

6.1. Tinjauan Tubuh Bendung

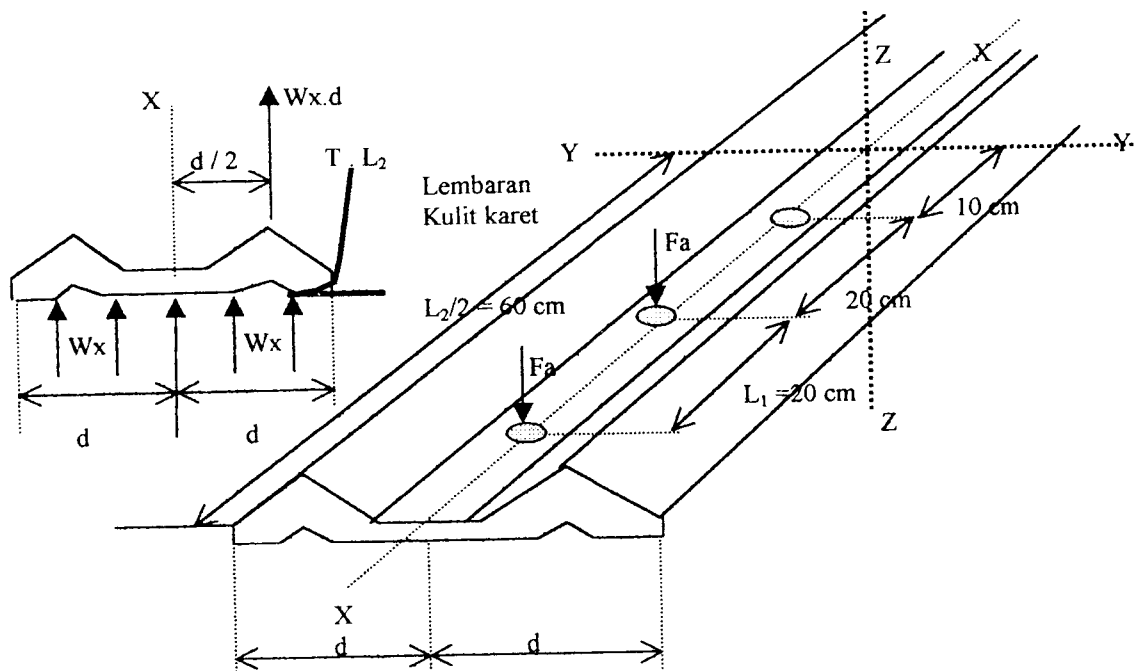
6.1.2 Tinjauan Baut Angkur dan Plat Penjepit

Pemasangan tubuh bendung karet ke pondasi digunakan plat penjepit yang ditahan oleh baut angkur. Peranan plat penjepit dan angkur adalah sebagai kekuatan tumpuan utama bendung selain kekuatan pondasi beton. Gaya-gaya yang bekerja pada angkur dan plat penjepit ditunjukkan gambar 6.1 dan 6.2.



Gambar 6.1. Baut angkur dan plat penjepit bendung karet





Gambar 6.2 Gaya-gaya pada plat penjepit

6.1.3 Pengaruh Jarak dan Jumlah Angkur Terhadap Gaya yang Bekerja pada Baut Angkur dan Plat Penjepit

Berdasarkan rumusan persamaan dalam menghitung baut angkur dan plat penjepit, maka dapat mencari jarak dan jumlah baut angkur pada plat penjepit tubuh bendung yang efisien dan aman. Hasil perhitungan besarnya gaya-gaya pada baut angkur dan plat penjepit untuk masing-masing perubahan jumlah dan jarak baut ditunjukkan pada tabel 6.1 dan tabel 6.2. Sedangkan grafik pengaruh setiap perubahan jarak angkur terhadap gaya-gaya yang terjadi ditunjukkan pada gambar 6.3, 6.4 dan 6.5. Grafik pengaruh setiap perubahan jumlah baut angkur untuk satu plat penjepit ditunjukkan pada gambar 6.7 s/d 6.9.

Tabel 6.1. Pengaruh jarak angkur terhadap gaya-gaya yang bekerja pada baut angkur

Jarak baut (L ₁) Cm	F _a (kg)	F _o = 2.T.L ₁ (kg)	F _b = F _a + F _o (kg)	A _b (cm ²)	σ = F _b /A _b (kg/cm ²)	SF σ _b / σ
5	4800	343.75	5143.75	4.515	1139.26	6.14
10	4800	687.50	5487.50	4.515	1215.39	5.76
15	4800	1031.25	5831.25	4.515	1291.53	5.42
20	4800	1375.00	6175.00	4.515	1367.66	5.12
25	4800	1718.75	6518.75	4.515	1443.80	4.85
30	4800	2062.50	6862.50	4.515	1519.93	4.61
35	4800	2406.25	7206.25	4.515	1596.07	4.39
40	4800	2750.00	7550.00	4.515	1672.20	4.19
45	4800	3093.75	7893.75	4.515	1748.34	4.00
50	4800	3437.50	8237.50	4.515	1824.47	3.84
55	4800	3781.25	8581.25	4.515	1900.61	3.68
60	4800	4125.00	8925.00	4.515	1976.74	3.54
65	4800	4468.75	9268.75	4.515	2052.88	3.41
70	4800	4812.50	9612.50	4.515	2129.01	3.29
75	4800	5156.25	9956.25	4.515	2205.15	3.17
80	4800	5500.00	10300.00	4.515	2281.28	3.07

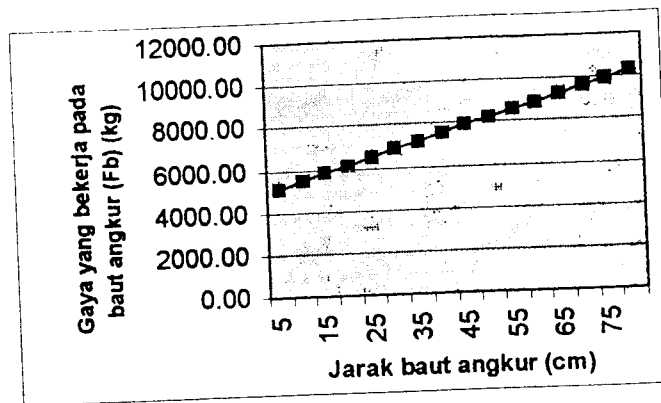
Dalam perhitungan memakai jenis baut dan bahan karet yang memiliki kekuatan sebagai berikut :

F_a = Gaya penjepitan akibat puntiran baut = 4800 kg

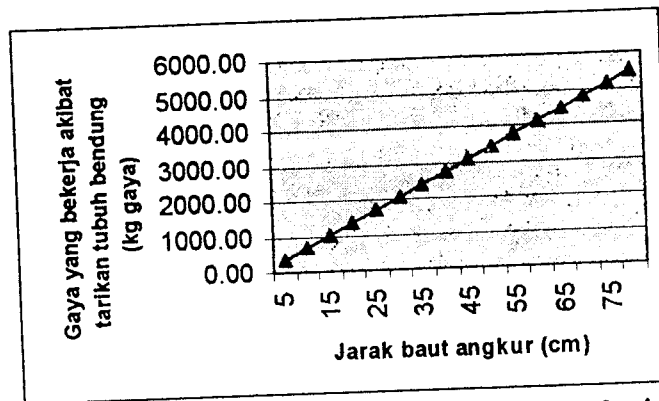
T = gaya tarikan tubuh bendung = 34,375 kg/cm

A_b = Luas penampang angkur = 4,515 cm²

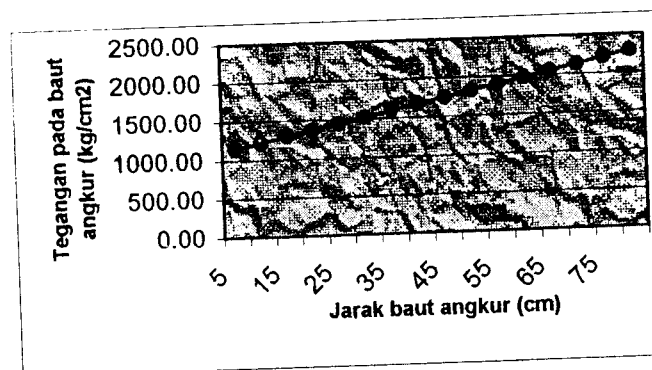
Dengan menggunakan jarak baut pada plat sampai dengan 80 cm ternyata nilai SF masih aman yaitu diatas 3(tiga). Hal tersebut disebabkan digunakannya jenis baut angkur yang baik, tetapi jarak baut masih harus dikombinasikan dengan perhitungan kekuatan plat penjepit dan dikontrol aman terhadap kerapatan jepitan dan terhadap pengaruh rembesan air pada tubuh bendung.



Gambar 6.3. Grafik pengaruh jarak baut ankur terhadap besarnya gaya yang ditahan baut ankur



Gambar 6.4. Grafik pengaruh jarak ankur terhadap gaya yang bekerja akibat tarikan tubuh bendung



Gambar 6.5. Grafik pengaruh jarak ankur terhadap tegangan pada baut ankur

Tabel 6.2. Pengaruh jumlah angkur terhadap gaya reaksi yang terjadi pada plat penjepit

Jumlah baut	W (kg/cm)	Mx (kg cm)	σ (kg/cm ²)	SF
1	198.347	64432.50	495.25	10.10
2	396.694	78952.50	606.86	8.24
3	595.041	93472.50	718.47	6.96
4	793.388	107992.50	830.07	6.02
5	991.736	122512.50	941.68	5.31
6	1190.08	137032.50	1053.29	4.75
7	1388.43	151552.50	1164.89	4.29
8	1586.78	166072.50	1276.50	3.92
9	1785.12	180592.50	1388.11	3.60
10	1983.47	195112.50	1499.71	3.33

Dengan :

W_x = Gaya reaksi per satuan lebar pada satu plat penjepit

M_x = Momen maksimum pada arah sumbu x-x

Z_x = Modulus penampang = 130,10 cm³ (JIS FCD)

σ = Tegangan bengkok (*bending stress*)

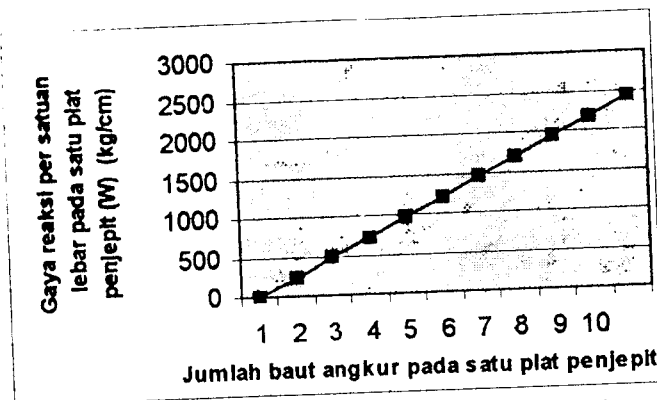
n = Jumlah baut

d = Setengah lebar plat penjepit (12,1 cm)

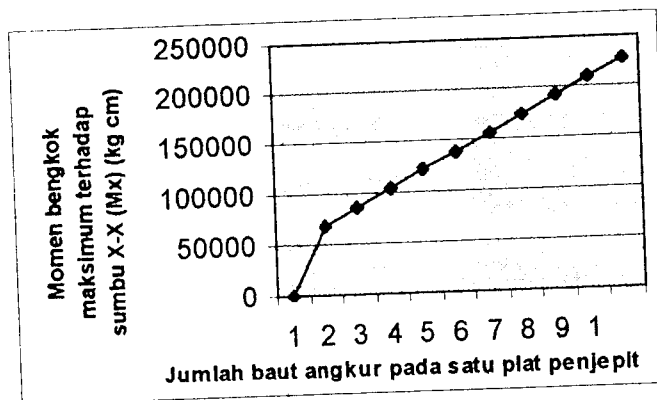
L_2 = Panjang satu plat penjepit (120 cm)

Dengan menggunakan panjang plat penjepit standar dengan ukuran panjang (L_2) 120 cm, untuk satu plat penjepit ternyata dapat dipakai jumlah baut paling efisien dan aman antara 6 sampai dengan 10, karena memiliki angka keamanan SF lebih besar atau sama dengan 3(tiga) dan lebih kecil dari 5(lima). Besar angka keamanan yang diijinkan antara 3(tiga) sampai dengan 5(lima) merupakan angka pendekatan *safety factor* yang nilainya telah diperhitungkan

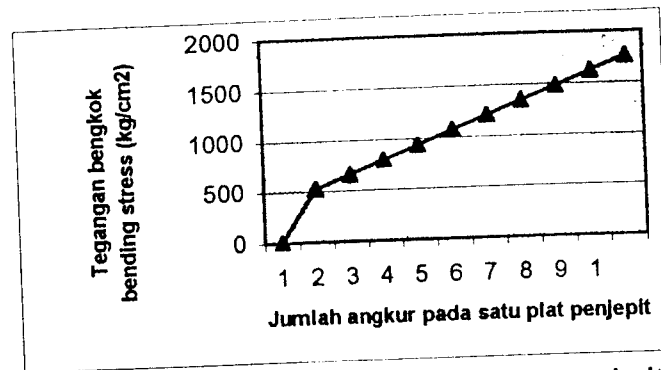
dengan jarak minimal baut angkur dan batas kekuatan plat penjepit maksimal menahan besarnya jumlah gaya tekanan baut.



Gambar 6.6 : Grafik pengaruh jumlah angkur terhadap gaya reaksi per satuan lebar pada satu plat penjepit



Gambar 6.7 : Grafik pengaruh jumlah angkur terhadap bending momen maksimum yang terjadi pada sumbu memanjang x-x pada plat penjepit



Gambar 6.8 : Grafik pengaruh jumlah angkur dalam satu plat penjepit terhadap besarnya tegangan bengkok *bending stress*

Hasil rumusan tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa jarak angkur akan sangat berpengaruh pada besarnya gaya yang ditahan baut angkur. Semakin pendek jarak angkur (L_1) akan memperkecil besarnya gaya yang akan ditahan masing-masing baut angkur, demikian juga sebaliknya bila jarak angkur semakin panjang akan memperbesar gaya yang akan ditahan masing-masing baut angkur. Besarnya gaya penjepitan (F_a) dan gaya tarikan tubuh bendung (T) merupakan besaran yang telah ditentukan oleh standar pabrik. Berarti untuk menambah kekuatan yang ditahan angkur perencanaan hanya pada penempatan jarak angkur memanjang (L_1) dengan masih memperhitungkan faktor keamanan *Safety Factor* > 3 . Kekuatan plat penjepit sangat berpengaruh terhadap ketahanan struktur bendung karet keseluruhan. Panjang plat penjepit merupakan standar pabrik, biasanya dipakai panjang (L_2) 120 cm. Hasil rumusan diatas dapat diambil kesimpulan bahwa kekuatan gaya reaksi yang dapat ditahan plat penjepit akan sangat tergantung sekali dengan banyaknya baut angkur. Semakin banyak angkur dipasang maka semakin tinggi kekuatan plat penjepit menahan gaya tarikan tubuh

bendung. Memperbanyak angkur berarti memperkecil jarak antar angkur, hal tersebut sama dengan usaha untuk memperkecil gaya yang ditahan masing-masing angkur, tetapi harus diperhitungkan batas minimal jarak baut angkur pada plat penjepit jangan sampai terlalu dekat karena dapat mengakibatkan tegangan pada plat penjepit yang berlebihan dan dikhawatirkan akan timbul keretakan, sehingga dalam konsep perencanaan angkur dan plat penjepit ditekankan pada pengaturan jarak dan jumlah baut angkur yang dipasang, dengan tetap memperhatikan angka keamanan *safety factor (SF)*.

6.2 Tinjauan Pelaksanaan Pekerjaan

6.2.1 Kegiatan Yang Perlu Diperhatikan Pada Pelaksanaan Pekerjaan

Untuk bangunan air termasuk bendung karet di dalam sungai, ketelitian pekerjaan adalah sangat penting sekali dan merupakan keharusan. Bangunan harus cukup kokoh dan kuat menahan bebannya, tahan terhadap penggulingan dan penggeseran. Berat bangunan tidak hanya tergantung pada ukurannya, tetapi juga kepada berat jenis bahan yang digunakan. Maka penting sekali bahwa pembuatan bangunan benar-benar memenuhi dan sesuai dengan ketentuan menurut perhitungan. Misalnya bendung karet dalam perhitungan digunakan pasangan batu dengan berat jenis $1,8 \text{ t/m}^2$, maka tidak boleh memakai campuran batu kali dan batu karang. Ketahanan terhadap tegangan-tegangan sangat dipengaruhi kualitas dari pasangannya. Terlalu banyak mortel dan penggunaan batu kecil mengurangi ketahanan itu, juga bila batunya kurang keras.

Hal lain yang sangat mempengaruhi ketahanan terhadap tegangan ialah kekokohan pasangan. Untuk ini, batu-batu harus benar-benar terikat oleh mortel

menjadi satu kesatuan yang padat dan keras. Oleh sebab itu jangan sampai terjadi adanya dua buah batu bersinggungan tanpa mortel yang bekerja sebagai pengikat diantaranya. Mortel harus benar-benar melekat pada batunya, untuk itu batu-batu harus bersih. Ingat susunan struktur bendung karet selain menahan gaya berat beban juga menahan gaya angkat ke atas akibat karet terisi udara.

Kokohnya pasangan dapat pula terganggu oleh pecahnya mortel waktu mengeras, Karena air di dalam mortelnya dihisap oleh batu-batu. Untuk mencegahnya batu-batu harus cukup basah waktu dipasang dengan disiram air. Struktur pondasi harus terhindar dari rongga-rongga pasangan, sebaiknya rongga diisi dan ditutup dengan mortel dan pecahan batu. Pasangan batu harus terus menerus dibasahi untuk menghindari pengerasan yang terlalu cepat dan pecah.

6.2.3. Mencegah Kerusakan Akibat Banjir

Bendung karet yang dibuat di sungai harus diingat akan bahaya banjir sewaktu pelaksanaan pekerjaan. Berhubung dengan hal tersebut pekerjaan secepatnya diselesaikan pada musim kemarau. Pekerjaan persiapan sudah dapat dimulai sebelum musim kemarau datang.

Akan tetapi bendung karet besar biasanya memakan waktu lama daripada panjangnya musim kemarau. Bangunan bendung pengelak sebaiknya diselesaikan paling sedikit setinggi beberapa desimeter diatas air banjir. Tubuh bendung harus dapat diselesaikan sebelum banjir datang. Demikian pula apron/lantai-lantainya, sedangkan pilar bendung dan lindungan tebing harus sudah selesai setinggi beberapa desimeter di atas air banjir

Meskipun demikian lebih baik kita memperhitungkan kemungkinan-kemungkinan terburuk, yaitu pada saat musim hujan mulai lebih cepat dari biasanya. dan seandainya badan bendung karet belum selesai dan banjir-banjir pertama mulai datang, besar kemungkinan bendung yang belum selesai itu akan rusak oleh air yang mengalir lewat tepi atasnya. Terhadap bahaya-bahaya tersebut kita harus cukup *viligent*. Harus diadakan tindakan-tindakan penyelamatan pendahuluan *precautionary measures* yang dapat mencegah kerusakan. Untuk itu perlu dilakukan penggalian saluran induk untuk membatasi ketinggian muka air banjir. Hal ini dimungkinkan karena banjir yang datang pertama belum akan merupakan banjir-banjir normal. Seandainya hal tersebut masih membahayakan perlu dibuatkan saluran tambahan. Untuk pekerjaan bendung karet besar yang memakan waktu lama, tindakan-tindakan penyelamatan seperti itu perlu diadakan. Pada pembuatan rencana kerjanya harus dengan petunjuk dari jawatan meteorologi.

6.2.5 Kelebihan dan Kelemahan Bendung Karet

Kelebihan yang terdapat pada bendung karet bila dibandingkan dengan bendung gerak tipe lain, antara lain dapat dipasang pada bentang yang panjang, sehingga mengurangi jumlah pilar. Tidak diperlukan sarana pengangkat pintu untuk mengalirkan tampungan air. Sistem pengoperasian yang sederhana, berdasarkan perbedaan muka air sungai dihilu bendung. Pondasi lebih sederhana, karena badan bendung ringan. Kebutuhan pemeliharaan yang kecil atau hampir tidak ada. Kemiringan tebing pada lokasi bendung karet dapat mengikuti kemiringan sungai yang ada sehingga tanggul banjir tidak tinggi. Kerapatan air

terjamin, kebocoran air ke hilir tidak terjadi. Tidak banyak mengganggu pemandangan alam sekitarnya.

Sedangkan kelemahan bendung karet antara lain tidak dapat mengukur tinggi muka air (TMA) secara akurat, tidak dapat melimpahkan debit secara akurat, harga koefisien pelimpah debit akan berubah sesuai perubahan bentuk apabila dikembungkan sempurna/sebagian/kosong, dan apabila dikembungkan sebagian maka pelimpah tiap unit akan berubah sehingga rumus besaran debit yang melimpah akan berbeda.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

7.1 Kesimpulan

Dari hasil analisa yang telah dibahas, yaitu mulai dari landasan teori, dasar-dasar perencanaan, sampai dengan pembahasan perhitungan desain dan metode pelaksanaan maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Bendung karet mempunyai sistem kerja yang berbeda dengan bendung gerak lainnya, dimana badan bendung dapat mengempis secara otomatis mengikuti ketinggian muka air hulu.
2. Struktur pondasi bendung karet harus kuat, karena menahan gaya angkat badan bendung yang ringan. Bendung karet direncanakan aman terhadap gaya guling, gaya geser (horizontal), dan piping. Gaya stabilitas yang bekerja pada bendung karet adalah berat sendiri pondasi bendung, gaya apung, gaya angkat, berat air diatas pondasi, tekanan air, dan spesifikasi khas bendung karet adalah perhitungan stabilitas gaya tarikan oleh tubuh bendung serta tekanan dalam pada tubuh bendung.
3. Kekuatan bendung karet sangat tergantung pada kekuatan tubuh bendung, pondasi pendukung struktur, serta kekuatan angkur dan plat penjepit. Kekuatan tubuh bendung karet dipengaruhi energi tumbukan dan ketajaman sudut dari batu sedimen. Perhitungan plat penjepit

- direncanakan terhadap gaya yang bekerja (gaya penjepitan dan tarikan bendung), tegangan baut ankur, dan faktor aman (SF).
4. Metode pelaksanaan bendung karet hampir sama dengan bendung gerak umumnya, perbedaannya pada pelaksanaan landasan karet, pemasangan pipa dan ankur, dan pembangunan rumah kontrol serta peralatan pengoperasiannya.
 5. Pelaksanaan pekerjaan badan bendung dibagi dalam dua tahap, yaitu :
 - a. Tahap pekerjaan landasan, baut ankur, pipa-pipa yang ditanam dalam beton
 - b. Tahap pemasangan badan bendung karet.
 6. Tidak diperlukan keahlian dan peralatan khusus dalam pelaksanaannya, tetapi memerlukan pengawasan khusus pada saat pemasangan lembaran bendung karetnya. Umumnya pemasangan cepat dengan tenaga sedikit.
 7. Pengoperasian bendung dapat secara otomatis, dengan bantuan listrik, serta dapat secara manual. Sangat sederhana dan tidak membutuhkan tenaga yang banyak. Kebutuhan pemeliharaan sangat kecil hanya pada saat bendung mengalami kebocoran.
 8. Kelemahan bendung karet adalah tubuh bendung sangat peka terhadap kebocoran. tidak dapat mengukur ketinggian muka air secara akurat, tidak bisa melimpahkan debit secara akurat, dan harga koefisien debit akan berubah sesuai pengembangan karet sempurna/kosong/sebagian oleh karena itu diperlukan perlindungan dasar sungai yang kuat.

7.2 Saran

1. Konstruksi bendung karet bahan utama tubuh bendung adalah lembaran karet, bagaimanapun juga adanya struktur tersebut tergantung ketersediaan lembaran karet pabrik. Perlu dikembangkan penelitian dan pengembangan karet, sehingga pabrik akan mengeluarkan jenis karet dengan ukuran bermacam-macam dengan kekuatan yang baik.
2. Perlu studi kelayakan dan penelitian yang lebih panjang mengenai penggunaan bendung karet dibanding bendung gerak tipe lain. Perlu adanya penelitian mengenai umur rencana bangunan, bagaimanapun juga struktur karet rentan terhadap kondisi cuaca dan iklim. Sebaiknya dikembangkan pengamanan bendung seperti metode *Trash Rack* atau kisi-kisi.
3. Ketebalan lembaran karet dan ketepatan pemasangan akan mempengaruhi kekuatan bendung karet.
4. Sangat perlu penelitian lebih lanjut mengenai aplikasi bendung karet pada kondisi persungai yang berbeda-beda, dan dengan karakteristik tanah dan beban bervariasi.

DAFTAR PUSTAKA

1. Bambang Triatmodjo, 1995, HIDRAULIKA, Beta Offset, Yogyakarta.
2. Bridgestone Corporation, April 1988, TECHNICAL STANDARD OF INFLATABLE RUBBER DAM (2-ND DRAFT), Tokyo, Japan.
3. Bridgestone Corporation : Technical Proposal on Bridgestone Rubber Dam for Madiun River, Urgen Flood Control Project, March 1993, JATI DAM PROJECT BENGAWAN SOLO.
4. Chow, VT., 1984, HIDROLIKA SALURAN TERBUKA (Terjemahan Ir. Suyatman dkk), Penerbit Erlangga.
5. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, 1986, STANDAR PERENCANAAN IRIGASI, KRITERIA PERENCANAAN, BAGIAN UTAMA, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
6. Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Pengairan, 1986, STANDAR PERENCANAAN IRIGASI, KRITERIA PERENCANAAN, BAGIAN PARAMETER BANGUNAN, Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
7. Directorate General of Water Resource Development : Tirtonadi Rubber Dam, Design Note, August 1992, BENGAWAN SOLO RIVER BASIN DEVELOPMENT PROJECT.
8. Isdiyana, 1998, PENGAMANAN BENDUNG KARET TERHADAP KERUSAKAN TUBUH BENDUNG, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum, Bandung.
9. Kabul Basah Suryolelono, TEKNIK PONDASI I, PT Gramendia, Jakarta.
10. Kabul Basah Suryolelono, TEKNIK PONDASI II, PT Gramendia, Jakarta.
11. Moegijantoro, 1997, Makalah Seminar Teknologi Bendung Karet, Surakarta.

12. Proyek Induk Pengembangan Wilayah Sungai Bengawan Solo, 1993, PENGEMBANGAN WILAYAH SUNGAI BENGAWAN SOLO, Surakarta.
13. Sardjono HS, 1988, PONDASI TIANG PANCANG, Cetakan Pertama.
14. Sudjarwo, 1993, BENDUNG KEMBANG KEMPIS SERBA GUNA, Semarang.
15. Suyono Sosrodarsono, Masateru Tominaga, 1985, PERBAIKAN DAN PENGATURAN SUNGAI, PT. Pradnya Paramita, Jakarta.
16. Suyono Sosrodarsono, 1988, MEKANIKA TANAH DAN PONDASI, PT. Pradnya Paramita, Cetakan keempat.



UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Kaliurang Km. 14,4 Telp. 95330 Yogyakarta

KARTU PESERTA TUGAS AKHIR

Nama	No. Mhs.	N.I.R.M.	Bidang Studi
FAUZI BUDI SETIAWAN	94 310 318		M.KONSTRUKSI
MELIA DAMAYANTI	94 310 104		STRUKTUR

TUGAS AKHIR : ANALISIS PERENCANAAN DAN METODA PELAKSANAAN PADA
 TEKNOLOGI BENDUNG KARET.

Penyusunan Pembimbing I : : IR.BAMBANG SULISTIONO, MSCE
 Penyusunan Pembimbing II : : IR.H.TADJUDDIN EM ARIS, MS

1



2



Yogyakarta, 02 Nopember 1998
 An. Dekan,
 Ketua Jurusan Teknik Sipil,

IR. H. TADJUDDIN BMA., MS

CATATAN - KONSULTASI

No.	Tanggal	Konsultasi ke :	KETERANGAN	Paraf
	30/11-98	1	<p>Revisi Ap</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Pada Bab Perencanaan tampilkan persamaan / rumus yang dipakai dan cara perhitungannya. 2. Setiap rumus harus ada nomor urut. 3. Setiap yang ditulis harus diulangi maknanya. 4. Format penulisan perbaikan: 	
		2.	<p>Revisi gambar</p> <p>Perubahan gambar cara menggambar 2 bentuk benda dan lebih</p>	Ap
		3.	<p>Perubahan penulisan lebih detail</p>	
		4.	<p>Perubahan di bagian lain.</p>	
		5.	<p>Revisi</p>	Ap
		6.	<p>Lampirkan ke DPI</p> <p>Agenda Daftar.</p>	Ap