

**ANALISIS STABILITAS LERENG BENDUNGAN JATIGEDE
DENGAN PARAMETER GEMPA TERMODIFIKASI**

USULAN SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST.)

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

**ZAID RAMADHAN HANAN
NIM. 105060407111004**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK PENGAIRAN
MALANG
2013**

KATA PENGANTAR

Puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga penyusun dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir atau Skripsi yang berjudul **“Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Jatigede dengan Parameter Gempa Termodifikasi”**.

Laporan Tugas Akhir atau Skripsi ini disusun dalam rangka memenuhi sebagai persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Sampai tersusunnya laporan ini penyusun mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. **Allah** Subhannahu Wa Ta'ala (هللا من احب سى ل اع تو) atas segala rahmat dan berkah yang telah diberikanNya sehingga dituntun kepada jalan yang terbaik yang membuat penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan kondisi **sebaik-baiknya**.
2. Bapak Pitojo Tri Juwono dan Bapak Anggara Wit Wiyono Saputra sebagai Dosen Pembimbing yang telah banyak membantu secara dukungan, bimbingan maupun masukan kepada penulis dan Tugas Akhir ini, mulai dari awal penulisan hingga Tugas Akhir ini dikatakan layak sebagai sebuah ilmu untuk dipelajari.
3. Bapak Andre Primantyo Hendrawan dan Bapak Runi Asmaranto sebagai Dosen Penguji yang telah membantu dalam proses evaluasi Tugas Akhir ini dari awal penulisan hingga akhir. Kritik dan masukan kalian merupakan pembelajaran untuk penulis. Dan tidak lupa seluruh Dosen dan Staff Pengajar di Jurusan Teknik Pengairan untuk semua kegiatan belajar mengajar.
4. Orang Tua tercinta, Bapak Abdul Hanan Akhmad dan Ibu Marlinda Hanan yang tidak henti-hentinya memberikan dukungan dalam maupun luar, pagi maupun siang kepada penulis agar tercapai menyandang gelar Sarjana Teknik yang diinginkan penulis. Tidak lupa juga Muzie Hikmah sebagai Kakak, Suri Karuniawati dan Madina Ade Rahma yang selalu mendukung, memotivasi dan mengingatkan penulis untuk cepat menyelesaikan Tugas Akhir **sebaik-baiknya** agar cepat kembali berkumpul di rumah.
5. Teman-teman di Jurusan Teknik Pengairan 2010 yang telah membantu secara moril maupun materi, terutama Keluarga Tujuh Delapan Nando Prananca Winarto, Faris Ardianto, Dicky Dwi Prakoso, M. Noorwantoro dan Andigora Prasetya, terimakasih atas dukungan kalian yang tiada henti, penulis

berterimakasih atas pengalaman 4 tahun yang luar biasa bersama kalian “Sakduluran Bro!”.

6. Teman-teman AIESEC UKM Universitas Brawijaya yang memberikan saya pengembangan diri yang tidak terlupakan, tanpa kalian penulis hanya bisa merasakan pengalaman yang biasa saat berada di kampus UB ini. Terutama Member of AIESEC UB, BDER Department 1314, EB LIONS 1314, MC Indonesia 1415, Manda, Maep dan tidak lupa Intan Aisyah cil untuk dukungan tidak henti secara personal, dukungan ketika jatuh bangun menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman Kontrakan 25, Yudha, Gazhi, Randy, Topan atas susah senangnya bersama di satu tempat tinggal secara tak terpisahkan selama 4 tahun.
8. Semua pihak yang tak dapat disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini.

Dalam penyusunan laporan ini, penyusun menyadari akan segala kekurangan yang ada dalam laporan ini. Oleh karena itu penulis mengharapkan sekali adanya masukan-masukan baik berupa saran maupun kritik yang membangun.

Akhir kata penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat dan dapat dijadikan referensi dalam menambah wawasan ilmu pengetahuan.

Malang, July 2014

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR ISTILAH DAN DEFINISI.....	viii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Rumusan Masalah.....	3
1.5. Maksud dan Tujuan	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1. Umum	5
2.2. Bendungan Tipe Urugan.....	6
2.2.1. Bendungan Urugan Tanah	6
2.2.2. Bendungan Urugan Tanah	7
2.3. Bendungan Zonal Inti Tegak.....	9
2.4. Stabilitas Lereng.....	10
2.4.1. Metode Analisis	10
2.4.2. Gaya-Gaya Yang Diperhitungkan	12
2.4.2.1. Beban Berat Sendiri Tubuh Bendungan.....	12
2.4.2.2. Beban Hidrostatik	13
2.4.2.3. Tegangan Air Pori.....	14
2.4.2.4. Beban Seismik (<i>Seismic Force</i>).....	14
2.4.3. Stabilitas Lereng Bendungan Urugan.....	16
2.4.3.1. Kondisi Merugikan Pada Sebuah Bendungan.....	16
2.4.3.2. Metode Perhitungan Stabilitas Tubuh Bendungan.....	17
2.5. Petunjuk Umum Pemilihan Parameter Gempa Untuk Desain Bendungan	21
2.5.1. Faktor Utama Yang Perlu Dipertimbangkan Dalam Desain ...	21

2.5.1.1. Geologi Regional	21
2.5.1.2. Sejarah Kejadian Gempa.....	21
2.5.1.3. Geologi Lokal	22
2.5.2. Pemilihan Besaran Gempa Untuk Analisis.....	22
2.5.2.1. Penjelasan Umum	22
2.5.2.2. Evaluasi Penentuan Beban Gempa	22
2.5.3. Pemilihan Parameter Gempa	23
2.5.3.1. Umum.....	23
2.5.3.2. Parameter Guncangan Maksimum Di Tanah Dasar (<i>Peak Ground Motion Parameter</i>).....	24
2.5.3.3. Durasi Gempa	24
2.5.3.4. Ragam Sambutan Gempa.....	24
2.5.3.5. Sejarah Waktu Percepatan Gempa (<i>Acceleration Time History</i>)	25
2.5.3.6. Evaluasi Probabilistik Bencana Gempa (<i>Probabilistic Seismic Hazard Evaluation</i>)	25
2.5.4. Faktor- Faktor Yang Mempengaruhi Pemilihan Parameter Evaluasi Gempa	26
2.5.4.1. Umum.....	26
2.5.4.2. Pengaruh Tingkat Kerusakan	26
2.5.4.3. Pengaruh Tingkat Risiko Bangunan	28
2.5.4.3.1. Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan.....	28
2.5.4.4. Pengaruh Tipe Bendungan.....	29
2.6. Peta Zona Gempa.....	30
2.6.1. Risiko Gempa (<i>Seismic Risk</i>)	30
2.7. Metode Analisis Stabilitas Bendungan Urugan Akibat Beban Gempa.....	32
2.7.1. Tinjauan Umum	32
2.7.2. Analisis Dengan Cara Koefisien Gempa (<i>pseudostatic analyses</i>)	32
2.7.2.1. Cara Koefisien Gempa.....	33
2.7.2.2. Cara Koefisien Gempa Termodifikasi	33
2.8. Metode untuk Menentukan Faktor Keamanan pada Bendungan.....	35

2.8.1. Metode Irisan <i>Fellinius</i>	35
2.8.2. Metode <i>Bishop</i>	35
2.8.3. Metode <i>Janbu</i>	35
2.9. Pengujian Sifat Material pada Bendungan.....	36
2.9.1. Umum.....	36
2.9.2. Uji Triaksial.....	36
2.10. Program <i>Plaxis 8.2 2 Dimensi</i>	36
2.10.1. <i>Plaxis Input</i>	37
2.10.2. <i>Plaxis Output</i>	37
2.11. Program <i>GeoSlope</i>	37
BAB III METODOLOGI ANALISIS	39
3.1 Umum	39
3.2 Data Teknis Bendungan Jatigede.....	40
3.3 Pembagian Material (<i>Zoning</i>) Bendungan Jatigede	46
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN.....	50
4.1 Umum	50
4.2 Koefisien Gempa Termodifikasi.....	51
4.2.1 Penetapan Besaran Parameter Gempa Desain.....	51
4.2.2 Analisis koefisien gempa pada T = 100 tahun	53
4.2.3 Analisis koefisien gempa pada T = 10.000 tahun	56
4.3 Analisis Kestabilan Lereng Bendungan dengan Simulasi	59
4.3.1 <i>Input</i> Data Simulasi.....	60
4.3.1.1 <i>Input</i> Data pada Simulasi Manual Metode <i>Fellinius</i> ..	62
4.3.1.2 <i>Input</i> Data pada Simulasi Program <i>Geostudio Slope/W</i>	62
4.3.1.3 <i>Input</i> Data pada Simulasi Program <i>Plaxis 2 Dimensi</i>	64
4.3.2 Analisa Proses Simulasi Stabilitas	67
4.3.2.1 Proses pada Simulasi Manual Metode <i>Fellinius</i>	67
4.3.2.2 Proses pada Simulasi Program <i>Geostudio Slope/W</i> ...	71
4.3.2.3 Proses pada Simulasi Program <i>Plaxis 2D</i>	73
4.3.3 Analisa Hasil Simulasi Stabilitas	76
BAB V KESIMPULAN.....	79
5.1. Kesimpulan.....	79
5.2. Saran.....	80

DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Bendungan Urugan Tanah Dengan Drainase Kaki.....	7
Gambar 2.2.	Bendungan Urugan Batu Berlapis-Lapis (Bendungan <i>Ouchi</i> di Jepang).....	8
Gambar 2.3.	Inti Miring Pada Bendungan Urugan Batu	9
Gambar 2.4.	Bendungan Zonal Inti Tegak	9
Gambar 2.5.	Bidang Longsor Pada Bendungan Urugan Tanah.....	11
Gambar 2.6.	Beban Bendungan Sendiri Dengan Jaringan Aliran Air.....	13
Gambar 2.7.	Skema Tekanan Hidrostatik Pada Bidang Luncur Bendungan	13
Gambar 2.8.	Perhitungan Metode Irisan.....	19
Gambar 2.9.	Bentuk Bidang Geser Di Daerah Hulu dan Hilir	20
Gambar 2.10.	Pusat Bidang Geser.....	20
Gambar 2.11.	Peta Zona Gempa Indonesia	31
Gambar 2.12.	Profil Bendungan Tipikal.....	34
Gambar 2.13.	<i>Plaxis Input Icon</i>	37
Gambar 2.14.	<i>Plaxis Output Icon</i>	37
Gambar 2.15.	<i>GeoSlope Starting Icon</i>	38
Gambar 3.1.	Peta Lokasi Bendungan Jatigede, Sumedang	41
Gambar 3.2.	Wilayah Sungai Cimanuk - Cisanggarun.....	42

Gambar 3.3.	Denah Tubuh Bendungan Jatigede	48
Gambar 3.4.	Potongan Memanjang Tubuh Bendungan Jatigede	48
Gambar 3.5.	Potongan Melintang Tubuh Bendungan Jatigede	49
Gambar 4.1.	Zona Timbunan Material Bendungan Jatigede	60
Gambar 4.2.	Input Koordinat Bendungan Jatigede pada Geostudio Slope/W	62
Gambar 4.3.	<i>Input</i> Data Material Bendungan pada <i>Geostudio Slope/W</i>	63
Gambar 4.4.	<i>Input</i> Beban Seismik pada <i>Geostudio Slope/W</i>	63
Gambar 4.5.	<i>Input</i> Tekanan Air Pori di Bendungan pada <i>Geostudio Slope/W</i>	64
Gambar 4.6.	<i>Input</i> Koordinat Bendungan Jatigede pada <i>Plaxis 2D</i>	65
Gambar 4.7.	<i>Input</i> Data Material Bendungan pada <i>Plaxis 2D</i>	65
Gambar 4.8.	<i>Input</i> Tekanan Air Pori di Bendungan pada <i>Plaxis 2D</i>	66
Gambar 4.9.	<i>Input</i> Beban Seismik pada <i>Plaxis 2D</i>	67
Gambar 4.10.	Perhitungan Simulasi Manual Metode <i>Fellinius</i>	69
Gambar 4.11.	Proses Peletakan <i>Grid</i> dan <i>Radius</i>	72
Gambar 4.12.	Proses Pencarian Titik Kritis dengan Kontur	72
Gambar 4.13.	Proses Akhir Pemilihan <i>Safety Factor</i>	73
Gambar 4.14.	Proses Penentuan Tegangan Tanah Awal	74

Gambar 4.15. Proses Iterasi Kurva Pembebanan.....
74
Gambar 4.16. Kurva Pembebanan untuk Simulasi Dinamik.....
75
Gambar 4.17. Proses Perhitungan Reduksi Φ -C.....
76



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Percepatan Horisontal Gempa Bumi	15
Tabel 2.2. Tingkat Kerusakan Menurut Besarnya Percepatan Gempa Maksimum Pada MDE	27
Tabel 2.3. Kelas Risiko Bendungan Dan Bangunan Air	28
Tabel 2.4. Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan.....	29
Tabel 2.5. Risiko Gempa Untuk Berbagai Masa Guna Dan Periode Ulang.....	30
Tabel 2.6. Koefisien Zona Pada Zona A,B,C,D,E,F.....	32
Tabel 2.7. Nilai α Untuk Menentukan Titik Pusat Longsoran Kritis Metode <i>Fellinius</i>	35
Tabel 3.1. Parameter <i>Shear Strength Parameters</i> Pada Material Timbunan Bendungan Jatigede.....	47
Tabel 4.1. Kriteria Faktor Risiko untuk Evaluasi Keamanan Bendungan.....	51
Tabel 4.2. Perhitungan Faktor Resiko Bendungan Jatigede.....	51
Tabel 4.3. Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air	52
Tabel 4.4. Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan.....	52
Tabel 4.5. Periode Ulang dan Percepatan Gempa Dasar.....	53
Tabel 4.6. Faktor Koreksi Pengaruh Jenis Tanah / Batuan.....	55
Tabel 4.7. Rekap Koefisien Gempa Bendungan Jatigede.....	58
Tabel 4.8. Kondisi Simulasi Stabilitas Bendungan Jatigede.....	59
Tabel 4.9. Data Spesifik Material Bendungan Jatigede.....	61
Tabel 4.10. Pengerjaan Manual <i>Sliding Surface</i> Metode <i>Fellinius</i>	70
Tabel 4.11. Hasil <i>Safety Factor</i> dengan Simulasi Manual Metode <i>Fellinius</i>	76
Tabel 4.12. Hasil <i>Safety Factor</i> dengan Simulasi <i>Geostudio Slope/W</i> untuk T = 100 tahun.....	77
Tabel 4.13. Hasil <i>Safety Factor</i> dengan Simulasi <i>Geostudio Slope/W</i> untuk T = 10,000 tahun.....	77
Tabel 4.14. Hasil <i>Safety Factor</i> dengan Simulasi Simulasi <i>Plaxis 2D</i> untuk T = 100 tahun.....	78
Tabel 4.15. Hasil <i>Safety Factor</i> dengan Simulasi Simulasi <i>Plaxis 2D</i> untuk T = 10,000 tahun.....	78
Tabel 4.16. Hasil Perbandingan <i>Safety Factor</i>	78
Tabel 5.1. Nilai Faktor Keamanan Bendungan Jatigede	79

Abstrak

Stabilitas suatu bendungan merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam pembangunannya. Bendungan Jatigede adalah bendungan dengan tinggi 114 meter dari galian terdalam dengan tampungan sebesar 1 milyar meter kubik. Merupakan bendungan terbesar kedua di Indonesia membuat Bendungan Jatigede sangat diperhatikan dalam perhitungan stabilitasnya yang mencakup aspek keamanan teknis dan non teknis. Adapun pembahasan kestabilan lereng Bendungan Jatigede lebih lanjut mengenai pengaruh gempa bumi yang mungkin terjadi di daerah bendungan tersebut, dengan menggunakan metode parameter gempa termodifikasi terhadap kestabilan bendungan. Simulasi yang digunakan adalah dengan menggunakan gempa kala ulang 100 tahun (OBE) dan gempa kala ulang 10,000 tahun (MDE) dengan mencakup 4 kondisi bendungan yaitu kondisi waduk kosong, muka air normal, *Intermediate*, banjir dan surut cepat. Adapun dalam metode gempa termodifikasi ini, kekuatan gempa diukur dengan fungsi ketinggian gempa yaitu $Y/H = 0.25, 0.50, 0.75, 1.00$. Dimana akselerasi gempa yang digunakan mulai dari yang terkecil 0.129 g hingga 0.318 g yang tertinggi, akselerasi gempa tersebut didapatkan dari perhitungan menggunakan peta gempa *Fukushi & Tanaka*.

Hasil dalam analisa ini adalah dengan *Limit Equilibrium Methods* simulasi manual didapatkan faktor keamanan sebesar 1.451, sedangkan dengan *Limit Equilibrium Methods* simulasi program *Geostudio Slope/W* didapatkan faktor keamanan mulai dari 0.975 hingga 1.637, namun dengan *Finite Element Method* simulasi program *Plaxis 2D* didapatkan faktor keamanan mulai dari 1.649 – 1.722. Dimana Bendungan Jatigede dikatakan tidak aman hanya pada simulasi *Geostudio Slope/W* dengan gempa kala ulang 10,000 tahun (MDE) pada kondisi muka air *Intermediate* di hulu, muka air normal di hulu dan kondisi surut cepat di hulu karena nilai faktor keamanan dibawah satu ($SF < 1$). Adapun dengan melakukan simulasi ini dapat diketahui potongan bendungan dengan longsor di hulu dan hilir juga deformasi pada tubuh Bendungan Jatigede. Untuk kondisi yang tidak aman, dapat dilakukan perhitungan lanjutan dengan metode *Newmark* dan *Makdisi-Seed*.

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Dalam kehidupan sehari-hari, air merupakan salah satu unsur yang paling penting di dunia ini, terkait keberlangsungan kehidupan yang membutuhkan air diantaranya kebutuhan irigasi, air minum, industri, pembangkit listrik dan kebutuhan hidup lainnya. Menyadari kepentingan air, maka keberadaannya harus dipertahankan secara kualitas maupun kuantitas. Indonesia adalah negara dengan musim penghujan dan musim kemarau yang pada saat tertentu menyebabkan air yang melimpah atau kekurangan air di beberapa daerah. Maka dari itu timbul suatu upaya untuk menampung kelebihan air tersebut dimana akan digunakan pada saat musim kemarau berlangsung, salah satunya ialah dengan membangun suatu bangunan air bernama bendungan.

Bendungan merupakan bangunan air berskala besar yang difungsikan untuk menampung air untuk memenuhi kebutuhan manusia. Dikarenakan skalanya yang besar, dalam kegiatan pembangunannya memerlukan ketelitian yang kompleks dari segi teknis maupun ekonomis. Bendungan disamping mempunyai manfaat yang besar, juga dapat menyebabkan potensi bahaya yang besar pula. Bila suatu bendungan rusak atau runtuh, maka akan menimbulkan banjir bandang yang mengakibatkan timbulnya korban jiwa, harta benda dan kerusakan lingkungan yang parah.

Stabilitas suatu bendungan merupakan salah satu persyaratan yang harus dipenuhi dalam pembangunan suatu bendungan, dimana jika syarat stabilitas tersebut tidak terpenuhi, maka akan mengakibatkan masalah keamanan bendungan yang meliputi pelimpahan (*overtopping*), kebocoran, rembesan, longsor, erosi dan retakan. Stabilitas ini dipengaruhi oleh banyak faktor, diantara lain adalah material pembentuk tubuh bendungan, penentuan zona tubuh bendungan, kemiringan tebing, gelombang atau beban gempa dan lain-lain.

Pada hakekatnya pemilihan parameter gempa untuk evaluasi keamanan bendungan merupakan proses bertahap dimana faktor utama dalam pemilihan parameter desain bendungan tahan gempa tergantung pada kondisi geologi dan kegempaan di daerah sekitar bendungan. Uraianya mencakup faktor-faktor penting yang relatif lengkap, tetapi format dan terperinciannya harus tetap fleksibel dan disesuaikan dengan kondisi lokal, dimensi bendungan, fungsi bangunan, serta konsekuensi kerusakan atau keruntuhan total.

Menurut pedoman analisis stabilitas bendungan urugan akibat beban gempa, penentuan faktor keamanan bendungan menggunakan koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar, perlu dimodifikasi karena bendungan tipe urugan bersifat lebih fleksibel sehingga percepatan gempa seharusnya semakin membesar di puncak. Oleh karena itu, pada studi kasus di Bendungan Jatigede dilakukan penentuan faktor keamanan melalui cara koefisien gempa termodifikasi. Penentuan koefisien gempa termodifikasi ini diawali dengan penggunaan cara dari Jepang “*Seismic Design Guideline for Fill Dam*” dengan perhitungan koefisien gempa desain yang merupakan fungsi dari kedalaman bendungan.

Selanjutnya dalam bidang pemrograman, banyak sekali aplikasi yang digunakan untuk menyelesaikan masalah di bidang perancangan yang semakin berkembang. Penerapan penggunaan program dapat menghemat waktu dan keefektifan pekerjaan sehingga waktu yang diperlukan dalam perancangan semakin singkat dengan kualitas yang memuaskan. Sehingga dibutuhkan suatu analisis untuk menghitung kestabilan bendungan dalam parameter gempa menggunakan rumus empiris dan aplikasi pemrograman komputer.

1.2. Identifikasi Masalah

Suatu bendungan dengan skala volume air yang besar membutuhkan perencanaan dan pembangunan yang teliti secara teknis maupun non teknis. Di Indonesia, Bendungan Jatigede merupakan salah satu bendungan terbesar setelah Bendungan Jatiluhur. Dengan tampungan total sebesar $979,50 \times 10^6 \text{ m}^3$, Bendungan Jatigede banyak dilakukan pengamatan dalam kestabilan tubuh bendungannya, misalnya pengamatan air pori, konsolidasi tanah, serta pengamatan seismik (gempa) yang merupakan standar perencanaan suatu bendungan. Pengamatan dilakukan dengan alat-alat instrumentasi yang dipasang pada tubuh bendungan ataupun dengan cara perhitungan dengan rumus empiris.

Beban seismik pada tubuh bendungan akan timbul pada saat terjadinya gempa bumi. Beberapa faktor yang penting untuk menentukan besaran beban seismik yang akan ditahan oleh sebuah bendungan urugan adalah karakteristik gempa, karakteristik pondasi bendungan, karakteristik bahan pembentuk bendungan, tipe bendungan, dan lain-lain. Sedangkan dalam pemilihan parameter gempa dapat dilakukan dengan cara deterministik atau probabilistik ataupun keduanya. Parameter gempa tersebut akan mencerminkan besaran beban gempa yang akan digunakan sebagai data masukan untuk

analisis numerik pada bendungan. Hasil dari analisis numerik tersebut akan digunakan untuk evaluasi perilaku bendungan dan keamanan bendungan yang menghasilkan besaran guncangan yang akan terjadi pada bendungan.

Menganalisis stabilitas bendungan terhadap parameter gempa dapat dilakukan dengan cara pemrograman. Salah satunya adalah dengan menggunakan program di bidang geoteknik, yaitu program *geostudiodan plaxis* yang dapat menghitung stabilitas suatu bendungan dengan analisis dinamis bendungan parameter gempa. Sehingga hasil dari memasukkan parameter gempa dan koefisien gempa tersebut diketahui bahwa Bendungan Jatigede aman atau tidak terhadap pengaruh beban seismik yang akan terjadi di lokasi tersebut.

1.3. Batasan Masalah

Adapun batasan-batasan masalah penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Analisis yang dilakukan adalah studi kasus pada Bendungan Jatigede, Sumedang
2. Analisis Stabilitas dilakukan menggunakan aplikasi *geoslopedan plaxis 8.2 2* dimensi, mengacu pada “Pedoman Konstruksi & Bangunan Analisis & Dinamis Bendungan Urugan” dengan parameter gempa termodifikasi
3. Dalam perhitungannya tidak dilakukan analisis alihan tetap dengan cara *Makdisi-Seed*
4. Tidak membahas ataupun menghitung gempa imbas (*reservoir induced earthquake, RIE*)

1.4. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan-batasan masalah diatas, maka permasalahan dalam kajian ini dapat dirumuskan :

1. Menentukan potongan bendungan untuk analisis stabilitas lereng bendungan.
2. Berapakah nilai faktor keamanan Bendungan Jatigede dengan perhitungan stabilitas menggunakan program komputer *geoslopedan plaxis 8.2 2* dimensi ?
3. Setelah perhitungan dan analisis dilakukan, apakah Bendungan Jatigede aman terhadap pengaruh gempa ?

1.5. Maksud dan Tujuan

Penulisan Tugas akhir dengan judul “Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Jatigede dengan Parameter Gempa Termodifikasi” adalah sebagai berikut :

1. Menganalisisstabilitas lereng Bendungan Jatigede dengan parameter gempa termodifikasi
2. Mengetahui keamanan Bendungan Jatigede terhadap parameter gempa termodifikasi menggunakan aplikasi *geoslope* dan *plaxis8.2* 2dimensi

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Umum

Menurut pasal 1 ayat 1 Peraturan Pemerintah RI No. 37 tahun 2010, “Bendungan selalu bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, beton, dan/atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang (*tailing*), atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk”. Sedangkan menurut Pedoman Kajian Keamanan Bendungan, bendungan adalah setiap penahan buatan, jenis urukan atau jenis lainnya, yang menampung air atau dapat menampung air secara alamiah maupun buatan, termasuk fondasi, bukit/tebing tumpuan dan bangunan pelengkap beserta peralatannya. Dalam pengertian ini termasuk juga bendungan limbah. Juga pada bukunya “Bendungan Serta Bangunan Air Pembantu Lainnya” C.D. Soemarto menulis bahwa “definisi bendungan adalah suatu penghalang (*barrier*) yang dibangun melintang di sungai untuk:

1. Menampung air di musim hujan yang kemudian digunakan di musim kemarau
2. Mengadakan ketinggian air (*head*) bagi pembangkitan tenaga listrik
3. Menimbulkan kedalaman air bagi pelayaran
4. Mengendalikan aliran untuk memberikan perlindungan terhadap banjir
5. Mengelakkan aliran lewat jalan air (*conduit*) ke daerah pengaliran lain
6. Menciptakan danau buatan untuk rekreasi, perlindungan terhadap margasatwa atau untuk tujuan lain
7. Menyebarkan atau menampung air permukaan guna menaikkan infiltrasi dan perkolasi untuk memperbesar penampungan air tanah
8. Berbagai tujuan lain

Menurut pasal 3 ayat 2 Peraturan Pemerintah RI No. 37 tahun 2010, “Pembangunan bendungan dan pengelolaan bendungan beserta waduknya sebagaimana dimaksud pada ayat (1) meliputi:

- a) Bendungan dengan tinggi 15 (lima belas) meter atau lebih diukur dari dasar fondasi terdalam;
- b) Bendungan dengan tinggi 10 (sepuluh) meter sampai dengan 15 (lima belas) meter diukur dari dasar fondasi terdalam dengan ketentuan:
 - a. Panjang puncak bendungan paling sedikit 500 (lima ratus) meter;

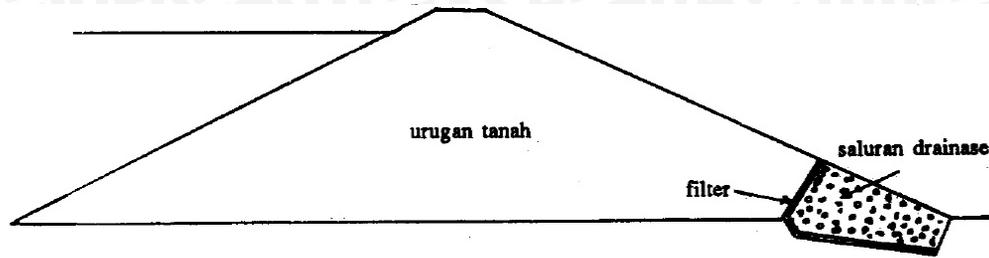
- b. Daya tampung waduk paling sedikit 500.000 (lima ratus ribu) meter kubik; atau
- c. Debit banjir maksimal yang diperhitungkan paling sedikit 1.000 (seribu) meter kubik per detik; atau
- c) Bendungan yang mempunyai kesulitan khusus pada fondasi atau bendungan yang didesain menggunakan teknologi baru dan/ atau bendungan yang mempunyai kelas bahaya tinggi.

2.2. Bendungan Tipe Urugan

Suatu bendungan yang dibaangun dengan cara menimbunkan bahan-bahan seperti: batu, krakal, pasir, dan tanah pada komposisi tertentu dengan fungsi sebagai pembendung satu pengangkat permukaan air serta penyimpan air di dalam waduk bagian hulunya disebut bendungan tipe urugan atau “bendungan urugan” (ibid, 1981:11). Fungsi utama bendungan urugan sebagai pengempang atau sebagai sarana meninggikan permukaan air yang terdapat pada waduk. Ada dua tipe bendungan urugan yaitu : bendungan urugan tanah (*earth fill dam*) dan bendungan urugan batu (*rock fill dam*).

2.2.1. Bendungan Urugan Tanah

Bendungan urugan tanah dapat didefinisikan sebagai bendungan yang terbuat dari timbunan tanah dan sejumlah volume batuan yang tidak melebihi dari volume yang dibutuhkan untuk membuat drain, dan rip-rap. Dimana terdapat material yang cukup banyak bendungan tanah dapat dibangun dengan biaya yang lebih murah dari biaya yang diperlukan untuk membangun beton tipe apapun. Namun kerugiannya adalah puncak tidak dapat dilimpasi air, pelaksanaan timbunannya tidak dapat dilakukan di musim hujan, dan bangunan pelimpahnya harus dibuat di tempat terpisah dari bendungan (C.D. Soemarto, I-7).



Gambar 2.1. Bendungan Urugan Tanah Dengan Drainase Kaki

Sumber : Soedibyo, 1993 (41)

2.2.2. Bendungan Urugan Batu

Bendungan urugan batu dapat didefinisikan sebagai bendungan yang dibangun dengan batu-batu yang ditumpahkan (*dumped*) dan mengandung tanah yang volumenya tidak melebihi volume yang dibutuhkan untuk membuat inti kedap air. Adapun keuntungan dan kerugiannya dalam pemilihan bendungan urugan batu adalah sebagai berikut :

Keuntungannya :

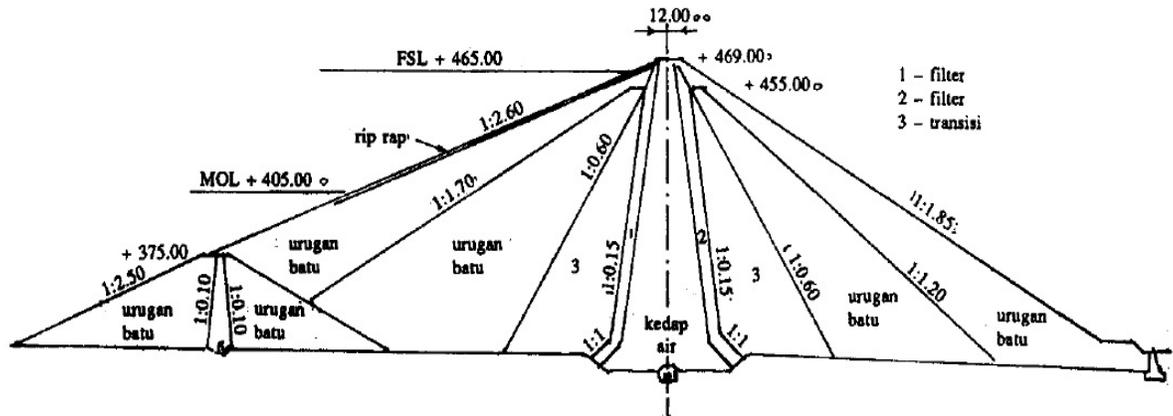
1. Timbunan batunya dapat dilaksanakan di musim hujan
2. Puncaknya dapat dilimpasi sampai ketebalan beberapa centimeter
3. Lereng hilir maupun hulu dapat dibuat lebih tegak dibanding dengan bendungan urugan tanah

Kerugiannya :

1. Pondasinya harus cukup kuat agar tidak terjadi penurunan, terutama pada bagian intinya
2. Karena diperlukan volume material timbunan batu cukup besar, maka diperlukan quarry, tempat pengambilan batu yang umumnya terletak berjauhan dari lokasi bendungan. Diperlukan alat pengangkut berat (*heavy dumptruck*) yang dengan sendirinya diperlukan jalang angkut (*haul road*) dua jalur
3. Bangunan pelimpahnya dibuat secara terpisah dari tubuh bendungan di atas permukaan tanah pondasi yang kuat

Bendungan urugan batu mempunyai dua macam tipe dalam penentuan inti kedapnya, yaitu :

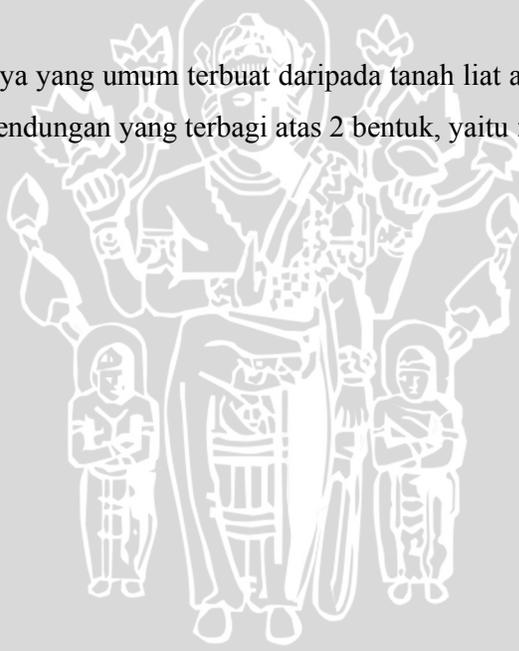
1. Bagian kedap air diletakkan di lereng hulu, yang pada umumnya terbuat daripada beton bertulang, baja atau aspal beton



Gambar 2.2. Bendungan Urugan Batu Berlapis-Lapis (Bendungan *Ouchi* di Jepang)

Sumber : Soedibyo, 1993 (50)

2. Inti kedap airnya yang umum terbuat daripada tanah liat atau beton, berada di dalam tubuh bendungan yang terbagi atas 2 bentuk, yaitu :
 - a. Inti tegak
 - b. Inti miring



Secara teknis, bendungan dengan inti tegak mempunyai kelebihan-kelebihan sebagai berikut :

1. Berhubungan inti kedap air berposisi vertikal, bidang longsor pada inti kecil dan karena inti kedap air merupakan zona yang terlemah, maka kondisi tersebut akan menguntungkan stabilitas tubuh bendungan, terutama untuk bendungan urugan yang tinggi dengan demikian kedua lerengnya dapat dibuat lebih curam.
2. Dapat menyesuaikan dengan perbedaan tingkat konsolidasi dan getaran sehingga dapat dihindarkan timbulnya rekahan-rekahan pada tubuh bendungan
3. Kebutuhan bahan inti kedap air relatif lebih sedikit dibandingkan dengan kebutuhan yang sama pada bendungan tirai
4. Gradien hidraulik relatif rendah, sehingga relatif aman terhadap gejala sufosi (piping), dengan demikian ketebalan inti kedap air dapat dipertipis.

2.4. Stabilitas Lereng

2.4.1. Metode Analisis

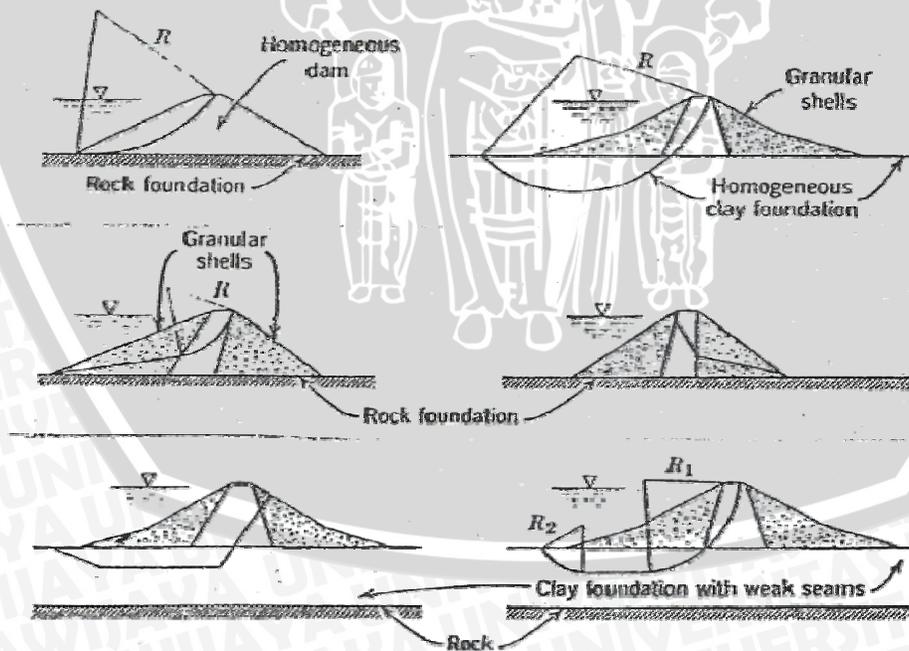
Dari metode-metode yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng, yang telah dipergunakan selama lebih dari 40 tahun ini, ada dua kategori umum yang hingga kini masih banyak dipakai untuk bendungan urugan tanah dan pondasi, yaitu :

- a. Metode A (metode *sliding surface*) : kategori umum ini meliputi prosedur-prosedur dalam mana dianggap adanya bidang longsor potensial akibat geseran yang menerus di dalam timbunan dan pondasi. Perhitungan dilakukan terhadap tegangan geser sepanjang bidang longsor potensial tersebut yang seharusnya dalam keadaan seimbang oleh gaya geser yang bekerja pada permukaan yang sama.
- b. Metode B (metode unit stress) : kategori umum ini meliputi prosedur-prosedur dimana unit stressnya didekati dengan menggunakan teori elastis dan plastis. Batas keamanannya ditentukan dengan membandingkan unit shear stress dibidang yang dihitung dengan gaya geser.

Kedua cara tersebut memerlukan asumsi-asumsi yang disederhanakan yang berlakunya tidak langsung dapat dievaluasikan, dan belum dapat dipastikan metode mana yang dapat dipandang yang paling baik. Metode A dinamakan metode

FELINIUS yang diubah (*Modified FELLENIUS method*). Berikut ini adalah prosedur analisis stabilitasnya :

- a. Masalahnya dipandang sebagai berdimensi dua
- b. Bidang longsoran akibat geser potensial yang menerus dianggap memotong pondasi dan/atau timbunan. Bentuk dan lokasi bidang dipilih secara sembarang berdasarkan perkiraan yang dianggap mungkin terjadi sebagai permukaan longsoran. Untuk merunut bentuk bidang longsoran pada penampang melintang dapat berupa lingkaran, sederet garis lurus, atau lengkung sembarang. Bagian dari timbunan dan timbunan bendungan yang berada di atas permukaan longsoran yang diasumsikan disebut “massa longsor yang dicoba”
- c. Tegangan-tegangan geser diatas permukaan longsoran potensial yang diperlukan untuk mencegah terjadinya longsoran dihitung
- d. Gaya-gaya geser yang ada untuk melawan gerak longsor dihitung
- e. Batas keamanan diperoleh dari membandingkan tegangan geser yang dibutuhkan untuk keseimbangan dengan gaya geser yang ada
- f. Prosedur ini diulang-ulang untuk bidang longsor potensial hingga diperoleh bidang kritis yang memberaikan faktor keamanan minimal.



Gambar 2.5. Bidang Longsor Pada Bendungan Urungan Tanah

Sumber : C.D. Soemarto (V-2)

Kondisi-kondisi yang harus ditinjau dalam perhitungan adalah :

1. Kondisi “selama pembangunan” : faktor keamanan baik untuk lereng hilir maupun hulu mungkin menjadi yang terendah selama waktu pembangunan. Hal ini dibenarkan untuk bendungan yang dibangun di atas pondasi lembek
2. Kondisi “waduk penuh” : bila waduk sudah cukup lama terisi penuh sehingga air rembesan sudah berpekolasi ke segala arah, yang dengan demikian tegangan air pori di bagian hilir mencapai titik tertinggi. Dalam keadaan ini faktor keamanan terhadap longsor untuk lereng hilir mencapai titik terendah
3. Kondisi “penurunan air mendadak” : setelah waduk dioperasikan selama beberapa waktu dan air rembesan sudah menembus tubuh bendungan, lereng hulu dapat longsor kalau permukaan air waduk diturunkan dengan mendadak

2.4.2. Gaya-Gaya Yang Diperhitungkan

Gaya-gaya atau beban utama yang bekerja pada bendungan urugan yang akan mempengaruhi stabilitas tubuh bendungan dan pondasi adalah :

- a. Berat sendiri tubuh bendungan yang akan membebani lapisan-lapisan yang lebih bawah tubuh bendungan dan pondasi
- b. Tekanan hidrostatis yang akan membebani tubuh bendungan dan pondasinya, baik dari air yang berada di dalam waduk di hulu bendungan maupun dari air di dalam sungai untuk bagian hilir bendungan
- c. Tegangan air pori yang terkandung di antara butir-butir tanah dalam zona-zona tubuh bendungan
- d. Gaya-gaya seismik yang menimbulkan beban-beban dinamik baik yang bekerja pada tubuh bendungan maupun pondasinya

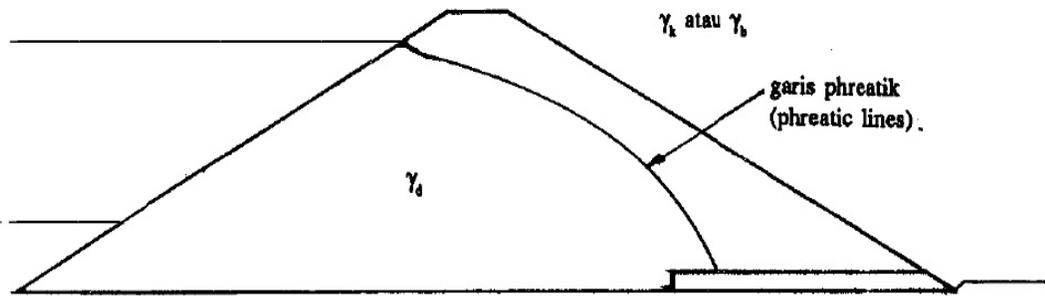
2.4.2.1. Beban Berat Sendiri Tubuh Bendungan

Untuk mengetahui besarnya beban berat sendiri tubuh bendungan, maka diambil beberapa kondisi yang paling tidak menguntungkan, yaitu :

1. Pada kondisi lembab segera setelah tubuh bendungan selesai dibangun
2. Pada kondisi sesudah permukaan air waduk mencapai elevasi penuh, dimana bagian bendungan yang terletak di atas garis rembesan dalam kondisi lembab, sedang bagian yang terletak di bawah garis rembesan dalam keadaan jenuh

3. Pada kondisi dimana terjadi penurunan permukaan air waduk secara mendadak, sehingga semua bagian bendungan semula terletak di bawah garis rembesan tetap dianggap jenuh

Adapun berat bendungan sendiri harus ditentukan dalam keadaan kering, basah atau di bawah air. Untuk menentukan batas-batasnya digunakan jaringan aliran air (*flow net*), yaitu pada garis phreatik.

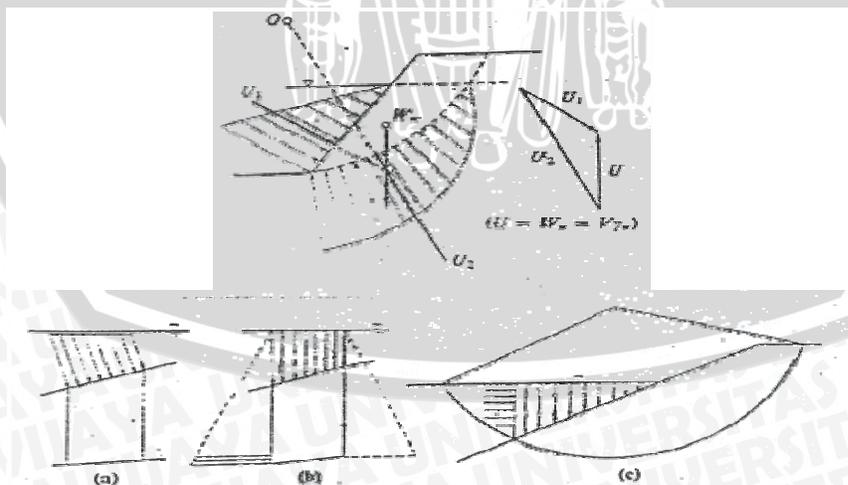


Gambar 2.6. Beban Bendungan Sendiri Dengan Jaringan Aliran Air

Sumber : Soedibyo, 1993 (71)

2.4.2.2. Beban Hidrostatik

Pada perhitungan stabilitas tubuh bendungan dengan metode irisan (*slice method*), biasanya beban hidrostatik yang bekerja pada lereng hulu bendungan dapat digambarkan dalam 3 cara pembebanan. Pemilihan cara pembebanan yang paling cocok untuk suatu perhitungan, harus disesuaikan dengan pola semua gaya-gaya yang bekerja pada tubuh bendungan, yang akan diikuti sertakan dalam perhitungan.



Gambar 2.7. Skema Tekanan Hidrostatik Pada Bidang Luncur Bendungan

Sumber : C.D. Soemarto (V-5)

Pada kondisi dimana garis freatik rembesan tampaknya mendekati garis yang horisontal, maka dalam perhitungan biasanya langsung dianggap horisontal dan berat bagian tubuh bendungan yang terletak di bawah garis freatik rembesan tersebut diperhitungkan sebagai berat bahan yang terletak dalam air (*submerged weight*). Akan tetapi perhitungan dalam kondisi kegempaan, biasanya berat bagian ini dianggap dalam kondisi jenuh.

2.4.2.3. Tegangan Air Pori

Gaya-gaya yang timbul dari tegangan air pori dianggap bekerja tegak lurus terhadap lingkaran bidang lurus. Kondisi yang paling tidak bagus dari gaya-gaya tersebut yang perlu disertakan dalam perhitungan stabilitas tubuh bendungan adalah :

1. Gaya-gaya yang timbul dari tegangan air pori dalam kondisi tubuh bendungan sedang dibangun
2. Gaya-gaya yang timbul dari tegangan air pori dalam kondisi waduk terisi penuh dan permukaan air sedang menurun secara berangsur-angsur
3. Gaya-gaya yang timbul dari tegangan air pori dalam keadaan terjadinya penurunan mendadak permukaan air waduk hingga mencapai permukaan terendah, sehingga besarnya tegangan air pori dalam tubuh bendungan

2.4.2.4. Beban Seismik (*Seismic Force*)

Beban seismik akan timbul pada saat terjadinya gempa bumi, akan tetapi berhubung banyaknya faktor-faktor yang berpengaruh pada beban seismik tersebut, maka sangatlah sukar memperoleh kapasitas beban seismik secara tepat pada saat timbulnya gempa bumi.

Faktor-faktor terpenting yang menentukan besarnya beban seismik pada sebuah bendungan urugan adalah :

- Karakteristik, lamanya dan kekuatan gempa yang terjadi
- Karakteristik pondasi bendungan
- Karakteristik bahan pembentuk tubuh bendungan
- Tipe bendungan
- Dan lain-lain

Sebagai contoh, gempa bumi mempunyai gelombang longitudinal dan gelombang transversal dengan intensitas getaran, periode getaran dan panjang gelombang yang berbeda-beda. Dengan demikian gambaran gaya-gaya seismik di

2.4.3. Stabilitas Lereng Bendungan Urugan

Jebolnya suatu bendungan urugan, biasanya dimulai dengan terjadinya suatu gejala longsoran baik pada lereng hulu, maupun lereng hilir bendungan tersebut, yang disebabkan kurang memadainya suatu bendungan urugan, stabilitas lerengnya merupakan kunci dari stabilitas tubuh bendungan secara keseluruhan.

Dengan demikian dalam merencanakan suatu bendungan, maka faktor-faktor yang diperkirakan akan berpengaruh terhadap stabilitas lereng bendungan tersebut supaya diketahui semuanya demikian pula dimensinya, arahnya, serta karakteristik lainnya dan dalam perhitungannya supaya diambil suatu kombinasi pembebanan yang paling tidak menguntungkan. Biasanya konstruksi tubuh bendungan direncanakan pada tingkat stabilitas dengan faktor keamanan 1,2 atau lebih pada kondisi normal dan 1,1 pada kondisi gempa, sebagai syarat untuk dapat diizinkan pembangunannya.

2.4.3.1. Kondisi Merugikan Pada Sebuah Bendungan

1. Waduk dalam keadaan penuh dan aliran rembesan dalam tubuh bendungan bersifat laminar (*steady seepage*)
2. Dalam tubuh bendungan dianggap masih terdapat tegangan air pori yang timbul pada saat segera setelah bendungan selesai dibangun
3. Waduk dalam keadaan terisi setengah dan aliran air rembesan dalam tubuh bendungan bersifat laminar
4. Dalam keadaan permukaan air dalam waduk berfluktuasi dengan intensitas yang besar, tetapi dengan periode yang pendek. Demikian pula pada saat terjadinya gejala penurunan mendadak permukaan air waduk dari elevasi permukaan penuh ke elevasi permukaan terendah
5. Pada waduk yang relatif kecil biasanya terjadi kenaikan-kenaikan permukaan air waduk yang melebihi permukaan air penuhnya, maka diperlukan pemeriksaan stabilitas tubuh bendungan pada saat permukaan air waduk mencapai elevasi tertinggi tersebut
6. Walaupun elevasi permukaan air direncanakan dalam keadaan konstan, tetapi diperlukan pemeriksaan jika penurunan mendadak dapat juga terjadi dari elevasi permukaan air tersebut ke elevasi permukaan air terendah
7. Pada bendungan urugan dengan zona-zona kedap air yang relatif tebal, sisa tegangan air pori yang timbul pada saat dilaksanakannya penimbunan terkombinasikan dengan tekanan hidrostatik dari air dalam waduk yang pengisiannya dilakukan dengan cepat

8. Pada bendungan yang waduknya direncanakan untuk menampung banjir besar abnormal, maka stabilitas bendungan perlu diperiksa pada elevasi permukaan air tertinggi guna menampung volume banjir abnormal tersebut

Dalam kondisi seperti yang tertera pada (2), (3), (4) dan (5), perhitungan stabilitas dilakukan hanya untuk lerenghulu. Sedangkan dalam kondisi yang tertera pada (6), (7) dan (8) perhitungan dilakukan dengan memberi beban seismik, beban tegangan air pori dan beban-beban lainnya yang dianggap akan berpengaruh dalam kondisi tersebut. Agar dalam perhitungan stabilitas bendungan dengan sistem coba-coba pada beberapa alternatif susunan tubuh dan kombinasi pembebanan sesuai dengan kondisi tersebut di atas, sehingga dapat dicapai suatu stabilitas tubuh bendungan dengan faktor keamanan standard, $F \geq 1,2$.

2.4.3.2. Metode Perhitungan Stabilitas Tubuh Bendungan

Perhitungan stabilitas tubuh bendungan biasanya dilakukan dengan metode irisan bidang lurus lingkaran (*slice method on circular slip surface*). Akan tetapi jika garis lingkaran suatu bidang lurus memotong bagian-bagian yang paling lemah, baik pada tubuh bendungan, maupun pada pondasinya, maka digunakan bidang lurus kombinasi. Apabila lereng hulu maupun lereng hilir suatu bendungan urugan ditutup oleh lapisan bahan-bahan yang tidak bersifat kohesif (batu, kerikil atau pasir), maka dilakukan perhitungan dengan bidang lurus lingkaran berjari-jari besar.

Diasumsikan sebuah bidang lurus lingkaran dibagi dalam beberapa irisan vertikal, maka faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsoran dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut :

$$F_s = \frac{\sum \{C.l + (N - U - N_e) \operatorname{tg} \phi\}}{\sum (T + T_e)} \quad (2-3)$$

$$= \frac{\sum C.l + \sum \{[\gamma.A(\cos \alpha - e \sin \alpha) - U] \operatorname{tg} \phi\}}{\sum \gamma.A(\sin \alpha + e \cos \alpha)} \quad (2-4)$$

Dimana :

F_s = Faktor keamanan

N = Beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang lurus ($\gamma.A \cos \alpha$)

T = Beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang lurus ($\gamma.A \sin \alpha$)

U = Gaya angkat akibat adanya tegangan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur

N_e = Komponen vertikal beban seismik yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur($e.\gamma.A \sin\alpha$)

T_e = Komponen tangensial beban seismik yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ($e.\gamma.A \cos\alpha$)

Φ = Sudut gesekan dalam (*internal friction angle*) dari bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur

C = angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur

b = Lebar setiap irisan bidang luncur

e = Intensitas seismik horisontal

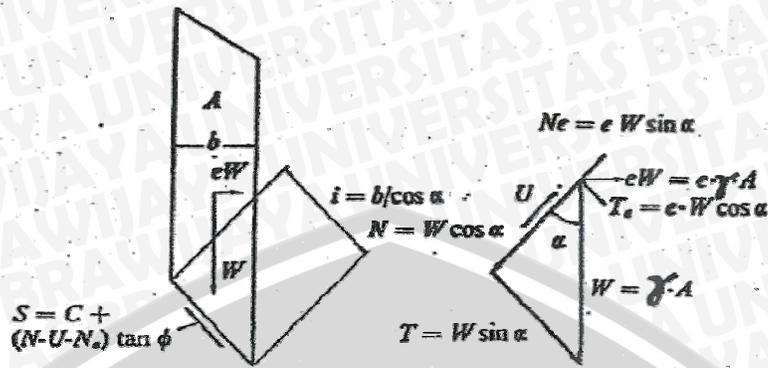
γ = Berat volume dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur

A = Luas setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur

α = Sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur

Prosedur perhitungan metode irisan bidang luncur lingkaran skema perhitungan dilakukan dengan urutan sebagai berikut :

1. Andaikan bidang luncur lingkaran dibagi menjadi beberapa irisan vertikal dan walaupun bukan merupakan syarat mutlak, biasanya lebar setiap irisan dibuat sama. Disarankan agar irisan bidang luncur tersebut dapat melintasi perbatasan dari dua buah zona penimbunan atau memotong garis freatik aliran rembesan.



Gambar 2.8. Perhitungan Metode Irisan

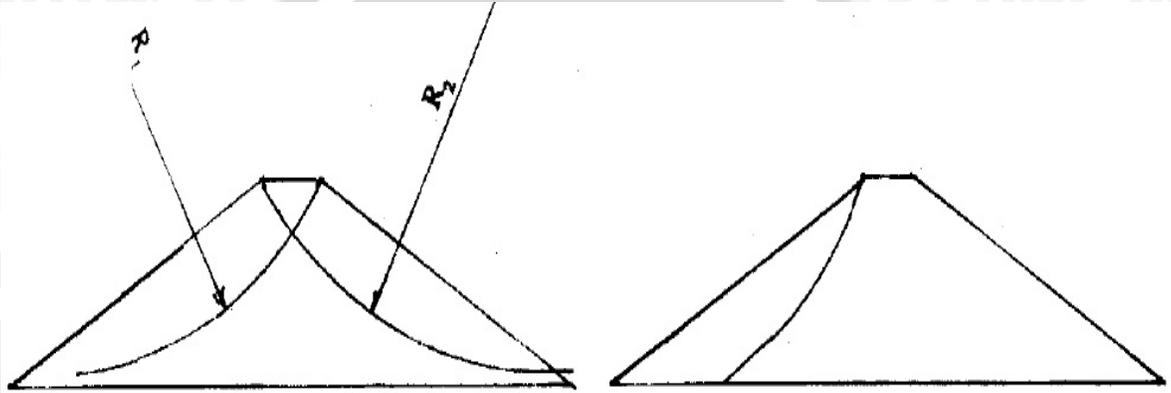
Sumber : C.D. Soemarto (V-17)

2. Gaya-gaya yang bekerja pada setiap irisan dapat digambarkan sebagai berikut :
 - a. Berat irisan W dihitung berdasarkan hasil perkalian antara luas irisan A dengan berat volume bahan pembentuk irisan γ , jadi $W = \gamma \cdot A$
 - b. Komponen vertikal beban berat yang bekerja pada dasar irisan (N) dapat diperoleh dari hasil perkalian antara berat irisan W dengan cosinus sudut rata-rata tumpuan α pada irisan yang bersangkutan, jadi $N = W \cos \alpha$
 - c. Beban tekanan hidrostatik yang bekerja pada dasar irisan U dapat diperoleh dari hasil perkalian antara lebar dasar irisan $b/\cos \alpha$ dengan tekanan air rata-rata U pada dasar irisan tersebut, jadi $U = U b/\cos \alpha$
 - d. Komponen tangensial beban berat T diperoleh dari hasil perkalian antara berat irisan W dengan sinus sudut rata-rata tumpuan dasar irisan tersebut, jadi $T = W \sin \alpha$
 - e. Kekuatan tahanan kohesi terhadap gejala peluncuran C , diperoleh dari hasil perkalian antara angka kohesi c' dengan panjang dasar irisan $b/\cos \alpha$, jadi $C = c' b/\cos \alpha$
 - f. Kekuatan tahanan geser terhadap gejala peluncuran irisan adalah kekuatan tahanan geser yang terjadi pada saat irisan akan meluncur meninggalkan tumpuannya.
3. Dengan cara menjumlahkan semua gaya-gaya yang menahan (T) dan gaya-gaya yang mendorong (S) dari setiap irisan bidang luncur, dimana T dan S dari masing-masing irisan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$T = W \sin \alpha$ dan $S = C + (N - U) \operatorname{tg} \phi$. Luas bidang T, N dan U dapat diukur dengan planimeter.

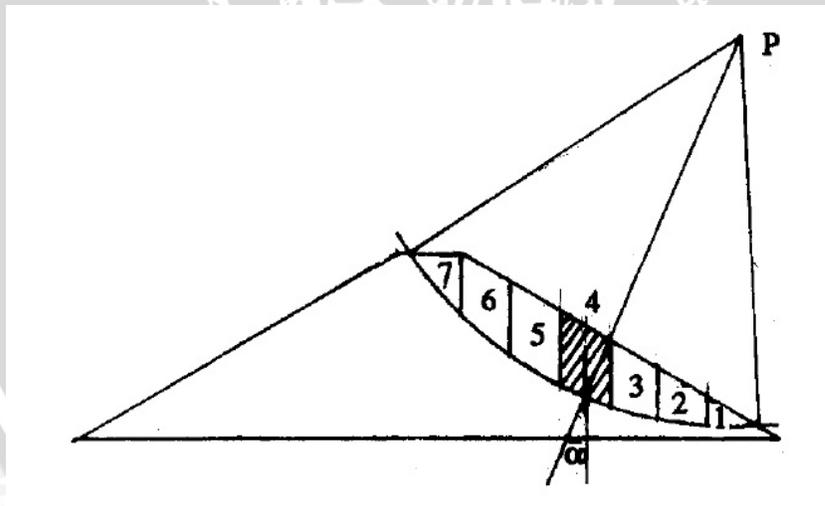
4. Faktor keamanan dari bidang luncur yang bersangkutan adalah perbandingan antara semua gaya pendorong dan jumlah semua gaya penahan yang bekerja pada bidang luncur tersebut, seperti pada persamaan :

$$F_s = \frac{\sum S}{\sum T} = \frac{\sum \{C + (N - U) \operatorname{tg} \phi\}}{\sum W \sin \alpha} \quad (2-5)$$



Gambar 2.9. Bentuk Bidang Geser Di Daerah Hulu dan Hilir

Sumber : Soedibyo, 1993 (73)



Gambar 2.10. Pusat Bidang Geser

Sumber : Soedibyo, 1993 (73)

2.5. Petunjuk Umum Pemilihan Parameter Gempa Untuk Desain Bendungan

2.5.1. Faktor Utama Yang Perlu Dipertimbangkan Dalam Desain

Faktor utama dalam pemilihan parameter desain bendungan tahan gempa tergantung pada kondisi geologi dan kegempaan di daerah sekitar bendungan. Uraian mencakup faktor-faktor penting yang relatif lengkap, tetapi format dan terperinciannya harus tetap fleksibel dan disesuaikan dengan kondisi lokal, dimensi bendungan, fungsi bangunan, serta konsekuensi kerusakan atau keruntuhan total.

Pada hakekatnya pemilihan parameter gempa untuk evaluasi keamanan bendungan baru ataupun lama merupakan proses bertahap yang minimal harus mencakup persyaratan yang akan diuraikan berikut ini.

2.5.1.1. Geologi Regional

Studi geologi dan kegempaan umumnya dilakukan dengan cara mempertimbangkan aspek-aspek regional dan kondisi lokal. Untuk mengerti keseluruhan masalah geologi dan sejarah kegempaan di suatu tempat, diperlukan adanya suatu pendekatan. Oleh karena itu, perlu dilakukan studi regional pada beberapa tempat yang mencakup seluruh kondisi geologi utama dan mempertimbangkan kondisi khusus lainnya. Studi geologi regional harus mencakup radius minimum sekitar 200 km dari lokasi bendungan dan dapat juga diperluas sampai dengan dengan 300 km yang mencakup adanya sesaran utama atau karakteristik atenuasi khusus.

2.5.1.2. Sejarah Kejadian Gempa

Untuk keperluan identifikasi pola kejadian gempa dari suatu daerah, dan penyediaan data dasar untuk memperkirakan batas bawah dari besaran guncangan gempa pada lokasi yang ditinjau, diperlukan pengumpulan data tentang sejarah kejadian gempa. Hal ini didasarkan atas anggapan bahwa kejadian serupa yang pernah terjadi pada masa lalu dapat terulang di dekat lokasi yang sama. Kekurangan atau ketidaklengkapan data sejarah kejadian gempa tidak berarti bahwa daerah tersebut bukan daerah gempa. Data kejadian gempa yang dikumpulkan harus mencakup daerah dengan radius minimum 200 km dan berpusat di lokasi bangunan yang ditinjau. Kejadian gempa khusus dapat diperluas lebih dari 200 km agar mencakup data terkait lainnya, misalnya sesaran kuat yang aktif.

Sejarah kejadian gempa dan pertimbangan geologi dapat digunakan untuk menentukan besarnya laju aktivitas gempa (jumlah kejadian setiap tahun) pada daerah yang diteliti, jika mungkin untuk setiap sesaran atau daerah sumber gempa di daerah

studi. Data sejarah kejadian gempa harus diproses secara statistik untuk mendapatkan hubungan regional dengan frekuensi kejadian gempa.

2.5.1.3. Geologi Lokal

Informasi geologi di lokasi tinjauan diperlukan untuk menentukan karakteristik guncangan tanah dasar yang akan terjadi di tempat bendungan dan untuk mengevaluasi potensi gerakan sesaran utama pada fondasi bendungan. Setiap kondisi geologi pada atau di dekat lokasi tinjauan yang mengidentifikasi adanya gerakan sesaran atau aktivitas gempa yang baru terjadi harus didokumentasikan. Data geologi lokal dapat diperoleh dari literatur, laporan teknik tentang proyek tersebut, inspeksi di lokasi tinjauan, eksplorasi lapangan dan pengamjikan serta uji contoh batuan dan tanah.

2.5.2. Pemilihan Besaran Gempa Untuk Analisis

2.5.2.1. Penjelasan Umum

Untuk keperluan analisis, besaran gempa harus ditentukan untuk memilih parameter gempa yang sesuai, seperti percepatan, ragam sambutan gempa, durasi dan lainnya. Proses pemilihan parameter dapat dilakukan dengan menggunakan, baik prosedur deterministik ataupun evaluasi probabilitas bencana gempa.

Pemilihan parameter evaluasi gempa, besaran dan jarak tidak dapat ditentukan dengan prosedur deterministik. Besaran gempa yang diperkirakan akan terjadi pada daerah sumber gempa (umumnya pada sesaran aktif atau daerah subduksi) lebih cocok ditentukan dengan cara probabilistik.

2.5.2.2. Evaluasi Penentuan Beban Gempa

Beban gempa yang akan digunakan untuk desain bendungan baru atau evaluasi keamanan bangunan yang ada diperoleh dari *MDE*, *OBE* dan kadang-kadang *RIE*. Tergantung pada kondisinya, suatu bendungan dapat dievaluasi terhadap satu atau beberapa beban gempa. Persyaratan utama desain bendungan tahan gempa ialah dapat memberikan perlindungan terhadap keamanan umum, kehidupan ataupun harta benda. Pada umumnya bendungan harus dapat menahan guncangan gempa kuat atau pergerakan sesaran yang mungkin terjadi di lokasi bendungan sehingga tidak terjadi pelimpahan air waduk yang tidak terkontrol (bobol). Pada kasus *CMCE*, jika terjadi kerusakan pada bendungan yang cukup besar, bendungan harus tetap dalam batasan keamanan yang dapat ditoleransi, dan tidak terjadi bencana banjir (*overtopping*).

Selain itu, faktor-faktor yang dibutuhkan untuk evaluasi keamanan bendungan terhadap gempa antara lain :

- 1) Tingkat bencana gempa di lokasi bendungan;

- 2) Tipe bendungan;
- 3) Kebutuhan fungsional;
- 4) Tingkat risiko bendungan dan waduk yang telah selesai;
- 5) Konsekuensi perkiraan risiko.

Sebagai contoh, pembangunan bendungan besar dengan penekanan fungsi ekonomis perlu dianalisis dengan ketentuan beban *MDE*, *OBE* dan *RIE*. Bendungan yang cukup tinggi dengan waduk yang digunakan untuk penyediaan air minum di daerah permukiman harus didesain dengan mempertimbangkan persyaratan beban baik pada *MDE* ataupun *OBE*. Bangunan yang rendah faktor ekonomisnya, tetapi keruntuhannya akan menyebabkan kehilangan nyawa manusia harus tetap dievaluasi dengan *MDE*. Untuk bendungan buri (*tailing dams*), bendungan limbah atau bangunan pengendali banjir dapat diperhitungkan hanya terhadap *OBE*, karena bendungan semacam ini kerap kali dikeringkan pada masa operasionalnya.

Penentuan analisis bendungan dengan menggunakan besaran *MDE*, *OBE*, dan atau *RIE* harus ditentukan bersama dengan pemilik bendungan, pendesain, dan instansi berwenang lainnya berdasarkan pertimbangan utama, yaitu kepentingan umum.

2.5.3. Pemilihan Parameter Gempa

2.5.3.1. Umum

Parameter gempa dapat terdiri atas salah satu atau beberapa karakteristik guncangan di permukaan tanah dasar, seperti percepatan, kecepatan atau alihan, dan ragam sambutan atau sejarah waktu percepatan gempa yang memberikan karakteristik tersendiri bagi *MDE*, *OBE* dan *RIE*.

Pemilihan parameter dapat dilakukan secara deterministik atau secara probabilistik bencana gempa atau kombinasi keduanya. Sebagai contoh, hubungan percepatan gempa dengan periode ulang untuk menentukan *MDE*, dan dengan *OBE* terdiri dari percepatan gempa maksimum (*Peak ground acceleration, PGA*) dan bentuk sambutan gempa (spektrum) yang spesifik.

Parameter gempa yang mencerminkan besaran *MDE*, *OBE* atau *RIE* sering digunakan sebagai data masukan untuk analisis numerik pada bendungan. Hasil dari analisis numerik tersebut digunakan untuk evaluasi perilaku bendungan dan keamanan bendungan yang menghasilkan besaran guncangan.

Banyak faktor yang mempengaruhi guncangan tanah dan parameter gempa, tetapi belum dapat dipahami sepenuhnya. Guncangan tanah dasar biasanya dipengaruhi oleh kondisi sumber gempa, jalur transmisi, dan kondisi lokal.

Faktor utama yang dipertimbangkan dalam persyaratan parameter gempa ialah :

- 1) Klasifikasi tempat (aluvium atau batuan);
- 2) Parameter fisik (physical properties) dan ketebalan lapisan fondasi;
- 3) Pengaruh dekatnya jarak terhadap sesaran (near field effects);
- 4) Jarak dari daerah pelepasan enersi;
- 5) Pemilihan magnetudo untuk desain.

2.5.3.2. Parameter Guncangan Maksimum Di Tanah Dasar (*Peak Ground Motion Parameter*)

Guncangan tanah dasar dapat ditandai dengan nilai maksimum dari perkiraan percepatan, kecepatan dan alihan. Hubungan empiris diperoleh dari data gempa yang tersedia dengan persamaan fungsi atenuasi yang berupa hubungan antara guncangan tanah maksimum dengan jarak dari pusat pelepasan enersi dan magnetudo gempa.

Percepatan gempa maksimum di permukaan tanah (*PGA*) dengan tidak memperhatikan pengaruh kedekatan lokasi (*near field*) atau banyaknya kejadian gempa dengan frekuensi tinggi tetap merupakan faktor penting yang digunakan untuk mencari karakteristik parameter gempa untuk bendungan.

2.5.3.3. Durasi Gempa

Durasi gempa yang berakibat langsung pada tingkat kerusakan bendungan merupakan salah satu parameter yang sangat penting untuk desain bendungan. Durasi gempa dapat diperkirakan dengan berbagai cara, tetapi yang terpenting ialah waktu pengukuran antara kejadian pertama sampai dengan akhir dengan percepatan lebih besar dari 0,05 g (*bracketed duration*), frekuensi di atas 2 Hz dan durasi getar sesuai dengan jumlah total enersi yang dilepaskan. *Chang dan Krinitzsky (1977)* telah meninjau ulang beberapa hubungan empiris antara magnetudo gempa dan durasi gempa serta mengembangkan kurva-kurva yang berhubungan dengan durasi gempa, magnetudo gempa dan jarak episentrum yang terjadi pada batuan dan tanah dasar.

2.5.3.4. Ragam Sambutan Gempa

Ragam sambutan gempa pada *MDE*, *OBE* dan *RIE* dapat ditentukan berdasarkan pertimbangan terhadap percepatan gempa maksimum, kecepatan dan alihan. *Seed, Ugas dan Lysmer (1974)* telah mengembangkan bentuk umum ragam sambutan sebagai nilai rata rata dan nilai rata-rata yang ditambah satu standar deviasi untuk digunakan pada lokasi batuan ataupun tanah lainnya. Hasil tersebut digunakan jika besaran gempa desain mendekati 6,5, dan data dasar mempunyai kisaran magnetudo gempa 6,5. Studi serupa telah dilakukan pula oleh *Mohraz (1976)*, *Kiremidjian*, dan *Shah (1978)*. *Mohraz*

(1978) memperluas studinya untuk evaluasi pengaruh dari magnetudo gempa dan waktu getar terhadap bentuk ragam sambutan gempa. Joyner dan Boore (1982), Donovan (1982) dan Idriss (1985) mengemukakan prosedur untuk mengembangkan bentuk-bentuk ragam sambutan gempa yang tergantung pada besaran gempa dan jarak, serta bentuk-bentuk ragam sambutan gempa vertikal.

2.5.3.5. Sejarah Waktu Percepatan Gempa (*Acceleration Time History*)

Dalam analisis bendungan dengan metode nonlinier tetap diperlukan data rekaman gempa berupa sejarah waktu percepatan gempa. Dalam desain disarankan untuk menggunakan beberapa sejarah waktu percepatan gempa untuk menggambarkan besaran *MDE*, *OBE*, dan *RIE*. Sejarah waktu percepatan gempa dapat berupa getaran horisontal atau vertikal, dan sebaiknya berupa rekaman akselerogram aktual dari lokasi yang kondisinya sama seperti di lokasi bendungan. Data rekaman akselerogram untuk gempa kuat yang tersedia pada saat ini tidak mencakup keseluruhan kisaran dari berbagai kondisi yang mungkin terjadi sehingga dalam desain perlu dirancang suatu rekaman akselerogram buatan yang sesuai dengan kondisi di lokasi bendungan.

2.5.3.6. Evaluasi Probabilistik Bencana Gempa (*Probabilistic Seismic Hazard Evaluation*)

Evaluasi probabilistik bencana gempa meliputi cara mendapatkan parameter guncangan gempa dengan proses matematik dan statistik, hubungan antara parameter guncangan permukaan tanah dasar dan kemungkinan terlampauinya pada periode ulang tertentu di lokasi bendungan dengan umur bendungan tertentu. Parameter yang akan digunakan untuk evaluasi keamanan bendungan ditentukan berdasarkan kriteria bangunan dan lokasinya. Model tersebut harus konsisten dengan kondisi geologi dan tektonik daerah yang kejadian gempanya sedang ditinjau.

Evaluasi bencana gempa di suatu tempat akibat sumber tunggal mencakup hubungan tiga fungsi probabilitas (Cornell, 1968; Mc.Guire, 1976; Donovan-Bornstein, 1977; Der-Kiurghian and Ang, 1977; Kulkarni dkk, 1979) yaitu :

- 1) Probabilitas terjadinya gempa dengan besaran tertentu pada suatu sumber gempa dalam interval waktu yang ditentukan.
- 2) Probabilitas terjadinya rekahan yang berkaitan dengan sumber gempa dan suatu kejadian dengan besaran dan jarak tertentu dari lokasi yang ditinjau.
- 3) Probabilitas terjadinya guncangan gempa di tanah dasar dengan suatu besaran gempadan jarak tertentu yang akan melebihi tingkat yang telah ditentukan pada lokasi itu.

- 4) Dengan kombinasi ketiga fungsi tersebut, untuk setiap sumber gempa dan pengaruh dari seluruh sumber gempa, maka probabilitas terlampauinya tingkat tertentu dari suatu guncangan di tanah dasar pada lokasi yang ditinjau harus dihitung pada interval waktu yang ditentukan.

2.5.4. Faktor- Faktor Yang Mempengaruhi Pemilihan Parameter Evaluasi Gempa

2.5.4.1. Umum

Dalam pemilihan parameter untuk evaluasi gempa ada tiga faktor yang perlu dipertimbangkan yaitu :

- 1) Tingkat kerusakan di lokasi bendungan.
- 2) Tingkat risiko dari bangunan yang sudah selesai dibangun.
- 3) Tipe bendungan dan potensi tipe keruntuhan.

Dalam menentukan metode yang paling tepat untuk evaluasi bendungan dan menentukan parameter gempa berdasarkan faktor-faktor tersebut diatas, diperlukan keputusan teknik dan pengalaman profesi yang memadai.

2.5.4.2. Pengaruh Tingkat Kerusakan

Klasifikasi tingkat kerusakan dapat dibuat berdasarkan percepatan gempa maksimum (*PGA*) yang mungkin terjadi pada *MDE*. Penentuan ini dapat dilakukan dengan menggunakan peta zona gempa. Tabel dibawah dapat diterapkan pada lokasi dengan material fondasi yang baik (batuan), namun, pada lokasi dengan material fondasi lanau pasiran lunak atau pasir lepas dengan kepadatan relatif rendah yang berpotensi mengalami likuifaksi harus diterapkan lebih berhati-hati. Tingkat kerusakan yang diuraikan dalam tabel tersebut dapat digunakan sebagai indikasi awal untuk menentukan parameter gempa yang berupa evaluasi awal, yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.2. Tingkat Kerusakan Menurut Besarnya Percepatan Gempa Maksimum Pada
MDE

Percepatan gempa maksimum ($PGA=a_d$)	Klasifikasi tingkat kerusakan
$PGA < 0,1 g$	I (Rendah)
$0,10 \leq PGA < 0,25g$	II (Moderat)
$PGA \geq 0,25g$ Tidak terdapat sesaran aktif dalam jarak 10km dari lokasi	III (tinggi)
$PGA \geq 0,25g$ Sesaran aktif lebih dekat dari 10 km dari lokasi	IV (ekstrem)

Sumber : Pedoman Konstruksi & Bangunan Analisis & Dinamis Bendungan Urugan

- 1) Pada lokasi dengan tingkat kerusakan I, parameter percepatan gempa maksimum terkorreksi pada *MDE* yang dapat digunakan untuk analisis di samping metode analisis sederhana dengan cara koefisien gempa. Jika sudah dianalisis dengan menggunakan *MDE*, maka pertimbangan terhadap besaran *OBE* ataupun *RIE* tidak diperlukan lagi.
- 2) Pada lokasi dengan tingkat kerusakan II, parameter gempa dapat ditentukan dengan percepatan gempa maksimum terkorreksi, ragam sambutan gempa, atau sejarah waktu percepatan gempa. Pertimbangan terhadap *OBE* tidak diperlukan karena bendungan-bendungan yang didesain dengan baik pada tingkat kerusakan III harus dapat menahan gempa *MDE* dengan asumsi hanya terjadi kerusakan sedikit.
- 3) Pada lokasi dengan tingkat kerusakan III, sebaiknya parameter gempa ditentukan dengan menggunakan sejarah waktu percepatan gempa meskipun kemungkinan sudah cukup dengan ragam sambutan gempa. Biasanya masih dibutuhkan pertimbangan secara terpisah untuk *OBE* dan *RIE*.
- 4) Pada lokasi dengan tingkat kerusakan IV, sejarah waktu percepatan gempa digunakan untuk menentukan dan memberikan dampak sesaran terhadap kedekatan lokasi (nearfield) atau pengaruh arah.

2.5.4.3. Pengaruh Tingkat Risiko Bangunan

Hal-hal yang perlu diperhatikan berkaitan dengan pengaruh tingkat risiko bangunan, meliputi klasifikasi kelas risiko dan kriteria beban gempa untuk desain bendungan urugan.

2.5.4.3.1. Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan

Menurut faktor risiko total, kelas risiko untuk desain seperti diuraikan dalam tabel dibawah yang terbagi atas kelas I (rendah), kelas II (moderat), kelas III (tinggi), dan kelas IV (ekstrem). Kriteria beban gempa ditinjau berdasarkan tabel 2.4 dan ditentukan menurut kelas risiko. Analisis dilakukan dengan dua tingkat gempa, yaitu sebagai berikut.

Tabel 2.3. Kelas Risiko Bendungan Dan Bangunan Air

Faktor risiko total	Kelas risiko
(0-6)	I (Rendah)
(7-18)	II (Moderat)
(19-30)	III (Tinggi)
(31-36)	IV (Ekstrem)

Sumber : Pedoman Konstruksi & Bangunan Analisis & Dinamis Bendungan Urugan

- 1) Persyaratan tanpa kerusakan dengan periode ulang T ditentukan (OBE), sehingga bebangempa dapat diperoleh dari peta zona gempa. Analisis dilakukan dengan cara koefisien gempa. Kestajikan bendungan harus lebih tinggi dari faktor keamanan minimum yang dipersyaratkan, bendungan tidak mengalami kerusakan yang serius, dan masih tetap beroperasi, serta tidak diperlukan pekerjaan perbaikan yang menyeluruh.
- 2) Persyaratan yang diperkenankan ada kerusakan tanpa terjadi keruntuhan dengan periodeulang T ditentukan untuk kelas I, II, III, dan IV sehingga percepatan gempa maksimum dipermukaan tanah dapat diperoleh dari peta zona gempa. Analisis dilakukan dengan cara dinamik dengan menggunakan ragam sambutan gempa atau sejarah waktu percepatan gempa.

Tabel 2.4. Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan

Kelas risiko dengan masa guna	Persyaratan tanpa kerusakan		Persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan	
	T (thn)	Metode Analisis	T (thn)	Metode Analisis
IV	100-200	koef gempa	10,000	Koef. Gempa atau dinamik *
N= 50-100	$ad \geq 0,1 \text{ g}$		(MDE)	
III	50 - 100	koef gempa	5,000	Koef. Gempa atau dinamik *
N= 50-100	$ad \geq 0,1 \text{ g}$		(MDE)	
II	50 - 100	koef gempa	3,000	Koef. Gempa atau dinamik *
N= 50-100	$ad \geq 0,1 \text{ g}$		(MDE)	
I	50 - 100	koef gempa	1,000	Koef. Gempa atau dinamik *
N= 50-100	$ad \geq 0,1 \text{ g}$		(MDE)	
Catatan :				
1) Untuk bendungan besar dengan kondisi geologi setempat yang khusus, Peta Zona Gempa tidak dapat digunakan, dan perlu dilakukan studi gempa tersendiri				
2) Analisis dinamik dapat dilakukan dengan analisis ragam sambutan gempa atau sejarah waktu percepatan gempa				

Sumber : Pedoman Konstruksi & Bangunan Analisis & Dinamis Bendungan Urugan

2.5.4.4. Pengaruh Tipe Bendungan

Pengaruh tipe bendungan, tipe keruntuhan, tingkat bahaya kerusakan pada lokasi dan kelas risiko bangunan harus dipertimbangkan dalam menentukan parameter gempa. Pengalaman profesi sangat diperlukan untuk menentukan faktor-faktor, yang dapat mempengaruhi persyaratan parameter evaluasi gempa. Dalam teori ini tidak secara khusus menguraikan metode analisis bendungan yang paling sesuai terhadap pengaruh kombinasi beban gempa dengan beban lainnya serta kriteria evaluasi perilaku yang dapat diterapkan. Tetapi, pengaruh dari berbagai macam analisis dan tipe bendungan urugan serta kemungkinan tipe keruntuhan yang diterapkan terhadap pemilihan parameter evaluasi gempa akan ditinjau secara umum dalam uraian berikut ini.

2.6. Peta Zona Gempa

2.6.1. Risiko Gempa (*Seismic Risk*)

Peta percepatan gempa boleh jadi untuk periode ulang 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1000,5000, dan 10000 tahun yang kemudian digabungkan menjadi satu peta zona gempa dapatdigunakan untuk memprediksi percepatan gempa untuk periode ulang tertentu. Tetapi,dalam prakteknya kadang-kadang diperlukan probabilitas terjadinya atau terlampauinyasuatu percepatan gempa maksimum di permukaan tanah untuk suatu masa guna bangunan.Beberapa persamaan penting yang dapat digunakan untuk menghitung probabilitas ataurisiko diuraikan sebagai berikut :

Tabel 2.5. Risiko Gempa Untuk Berbagai Masa Guna Dan Periode Ulang

T (thn)	RN (%) dengan masa guna bangunan dalam tahun						
	10	20	50	100	200	500	1000
5	89,3	98,9	100	100	100	100	100
10	65,1	87,8	98,5	100	100	100	100
20	40,1	64,2	92,3	99,4	100	100	100
50	18,3	33,2	63,6	86,7	98,2	100	100
100	9,6	18,2	39,5	63,4	86,6	99,3	100
200	4,9	9,5	22,2	39,4	63,3	91,8	99,3
500	2,0	3,9	9,5	18,1	33,0	63,3	86,5
1000	1,0	2,0	4,9	9,5	18,1	39,4	63,2
2000	0,5	1,0	2,5	4,9	9,5	22,1	39,4
5000	0,2	0,4	1,0	2,0	3,9	9,5	18,1
10000	0,1	0,2	0,5	1,0	1,6	4,9	9,5

Sumber : Pedoman Konstruksi & Bangunan Analisis & Dinamis Bendungan Urugan

$$T = 1 / R_A \tag{2-6}$$

$$R_N = 1 - (1 - R_A)^N \tag{2-7}$$

dengan :

T adalah periode ulang rata-rata (tahun)

R_A adalah risiko tahunan atau *annual risk*

N adalah masa guna bangunan (tahun)

R_N adalah risiko atau probabilitas terjadinya percepatan gempa dalam waktu N tahun.

Pada tabel diatas diperlihatkan hubungan antara RN, N dan T. Jika untuk desain ditentukan probabilitas terjadinya RN ialah 10% dalam 50 tahun (N), maka dari tabel diatas dapat diperoleh T= 475 tahun. Dengan demikian untuk memperkirakan percepatan gempa maksimum di permukaan tanah, maka dapat dipilih peta percepatan gempa boleh jadi dengan periode ulang yang mendekati 475 tahun atau peta dengan T=500 tahun.



Tabel 2.6. Koefisien Zona Pada Zona A,B,C,D,E,F

Zona	Koefisien zona Z
A	0,10 - 0,30
B	0,30 - 0,60
C	0,60 - 0,90
D	0,90 - 1,20
E	1,20 - 1,40
F	1,40 - 1,60

2.7. Metode Analisis Stabilitas Bendungan Urugan Akibat Beban Gempa

2.7.1. Tinjauan Umum

Untuk mencegah ketidakstajikan akibat penurunan kuat-geser, akibat peningkatan tekanan pori yang dapat menimbulkan terjadinya proses likuifaksi, deformasi berlebihan dan pengaruh gelombang tinggi, perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut :

- 1) Pemadatan urugan pada konstruksi bendungan urugan harus dilakukan dengan baiksesuai dengan spesifikasi yang ditentukan.
- 2) Kemiringan lereng untuk bendungan urugan tanah ialah 1:2,5 sampai dengan 1:3 (vertikal: horisontal). Untuk bendungan tipe urugan batu dengan inti tegak atau miring,kemiringan lereng dapat dibuat lebih curam.
- 3) Faktor keamanan beban statik untuk bidang longsoran kritis dari hasil analisis stabilitaslereng ialah 1,5 kali lebih besar daripada faktor keamanan minimum yang dipersyaratkan untuk kondisi pembebanan dengan gempa.
- 4) Tinggi jagaan minimum disesuaikan dengan melihat RSNI T-01-2002.

Jika kondisi tersebut tidak dapat dipenuhi, harus dilakukan analisis deformasi dengan menggunakan cara *Newmark* atau *Makdisi & Seed*.

2.7.2. Analisis Dengan Cara Koefisien Gempa (*pseudostatic analyses*)

Analisis gempa untuk desain bendungan dan bangunan pengairan tahan gempa dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

2.7.2.1. Cara Koefisien Gempa

Cara ini dilakukan dengan menghitung koefisien gempa dan gaya-gaya vibrasi yang bekerja dengan arah yang berubah-ubah yang diganti dengan satu gaya statik mendatar, seperti persamaan berikut ini.

$$F = K \cdot W \quad (2-12)$$

$$K_h = a_d / g \quad (2-13)$$

$$K = \alpha_1 \times K_h \quad (2-14)$$

$$a_d = Z \cdot a_c \cdot V \quad (2-15)$$

dengan :

- F adalah gaya gempa mendatar (kN) ;
- W adalah: berat (ton);
- K_h adalah koefisien gempa dasar yang tergantung pada periode ulang T ;
- a_d adalah percepatan gempa terkoreksi oleh pengaruh jenis tanah;
- a_c adalah percepatan gempa dasar 100 tahunan
- Z adalah koefisien zona gempa
- V adalah koefisien modifikasi yang tergantung kekerasan batuan
- α_1 adalah koreksi pengaruh daerah bebas (freefield) untuk bendungan tipe urugan = 0,7; namun, untuk bendungan beton dan pasangan batu = 1 ;
- K adalah koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas ;
- g adalah percepatan gravitasi (=980 cm/det²).

Dalam metode analisis ini, percepatan gempa dari dasar sampai dengan puncak bendungan dianggap sama. Anggapan ini sebetulnya kurang tepat karena bendungan tipe urugan bersifat lebih fleksibel sehingga percepatan gempa seharusnya makin membesar di puncak. Analisis stabilitas dilakukan dengan metode keseimbangan batas dengan koefisien gempa K yang keluarannya berupa faktor keamanan.

2.7.2.2. Cara Koefisien Gempa Termodifikasi

Cara koefisien gempa yang telah diuraikan perlu dimodifikasi karena sudah tidak sesuai lagi. Oleh karena itu, digunakan cara dari Jepang “*Seismic Design Guideline for Fill Dam*” dengan koefisien gempa desain $K_h = a_d/g$, yang diperoleh dari

persamaan (2-13) dan (2-14). Koefisien gempa desain pada tubuh bendungan yang merupakan fungsi dari kedalaman, dapat dihitung dengan persamaan :

$$K_o = \alpha_2 \times K_h \quad (2-16)$$

dengan :

K_o adalah koefisien gempa desain terkoreksi di permukaan tanah ;

α_2 adalah koreksi pengaruh jenis struktur, untuk (bendungan tipe urugan = 0,5) ;

K_h adalah koefisien gempa dasar yang tergantung periode ulang T.

Dalam analisis stabilitas ini koefisien gempa pada kedalaman Y dari puncak bendungan berbeda-beda. Untuk analisis stabilitas, peninjauan dilakukan pada $Y = 0.25H; 0.50H; 0,75H$ dan H (H ialah tinggi bendungan) dengan menggunakan K_h pada periode ulang sesuai dengan yang dipersyaratkan. Koefisien gempa rata-rata K pada Y yang berbeda-beda dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut (gambar 42) :

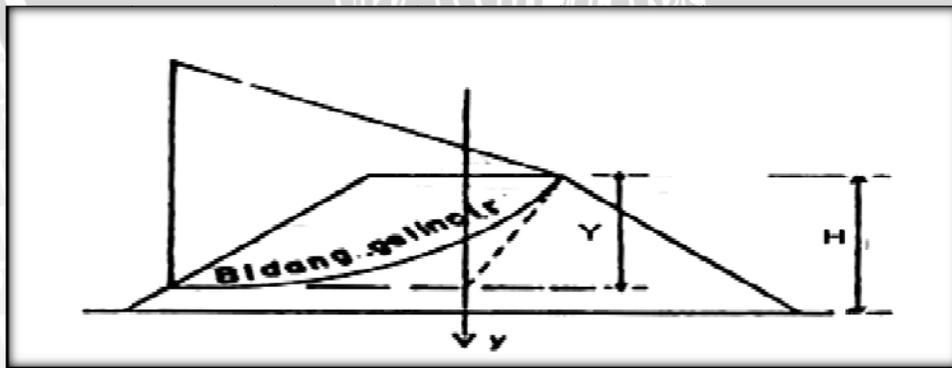
Untuk $0 < Y/H \leq 0,4$

$$K = K_o \times \{2,5 - 1,85 \times (Y/h)\} \quad (2-17)$$

Untuk $0,4 < Y/H \leq 1,0$

$$K = K_o \times \{2,0 - 0,60 \times (Y/h)\} \quad (2-18)$$

Analisis stabilitas dilakukan dengan metode keseimbangan batas dengan menggunakan koefisien gempa K yang keluarannya berupa faktor keamanan.



Gambar 2.12. Profil Bendungan Tipikal

Sumber : Pedoman Konstruksi & Bangunan Analisis & Dinamis Bendungan Urugan

2.8. Metode untuk Menentukan Faktor Keamanan pada Bendungan

2.8.1. Metode Irisan *Fellinius*

Analisis stabilitas menggunakan metode ini menggunakan lengkungan lingkaran sebagai permukaan bidang longsor. Tanah yang berada di atas idang longsor di bagi dalam beberapa irisan tegak. Lebar tiap-tiap irisan tidak harus sama, tetapi bidang longsor pada tiap irisan hanya terdiri dari satu jenis material, karena masing-masing material mempunyai fisik dan mekanik yang berbeda.

Tabel 2.7. Nilai α Untuk Menentukan Titik Pusat Longsoran Kritis Metode *Fellinius*

Kemiringan	β°	α_1	α_2
1 : 0.58	60°	29°	40°
1 : 1	45°	28°	37°
1 : 1.5	33.8°	26°	35°
1 : 2	26.56°	25°	35°
1 : 3	18.4°	25°	35°
1 : 5	11.3°	15°	37°

Sumber : *Konstruksi Bendungan Urugan (225)*

2.8.2. Metode *Bishop*

Cara analisa yang dibuat oleh A. W. Bishop (1995) menggunakan cara elemen dimana gaya yang bekerja pada setiap elemen. Merupakan metode yang sangat populer dalam analisis kestabilan lereng dikarenakan perhitungannya yang sederhana, cepat dan memberikan hasil perhitungan faktor keamanan yang cukup teliti. Kesalahan metode ini dibandingkan metode lainnya jarang lebih dari 5%. Metode ini sangat cocok digunakan untuk pencarian secara otomatis bidang runtuh kritis yang berbentuk busur lingkaran untuk mencari faktor keamanan terkritis. Metode ini juga memperhitungkan komponen gaya-gaya (horizontal dan vertikal) dengan memperhatikan keseimbangan momen dari masing-masing potongan, dimana dapat juga digunakan untuk menganalisa tegangan efektif. Faktor keamanan terhadap longsoran didefinisikan sebagai perbandingan kekuatan geser maksimum yang dimiliki tanah di bidang longsor dengan tahanan geser yang diperlukan untuk keseimbangan.

2.8.3. Metode *Janbu*

Metode ini digunakan untuk menganalisis lereng yang bidang longsornya tidak berbentuk busur lingkaran. Bidang longsor pada analisa metode ini ditentukan

berdasarkan zona lemah yang terdapat pada massa batuan atau tanah. cara lain yaitu dengan mengasumsikan suatu faktor keamanan tertentu yang tidak terlalu rendah. Kemudian melakukan perhitungan beberapa kali untuk mendapatkan bidang longsor yang memiliki faktor keamanan terendah.

2.9. Pengujian Sifat Material pada Bendungan

2.9.1. Umum

Salah satu parameter sifat mekanis yang didapat dari pengujian di laboratorium adalah parameter kuat geser tanah. beberapa cara metode pengujian di laboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan parameter kuat geser tanah, antara lain pengujian geser langsung (*direct shear test*), pengujian triaksial (*triaxial test*), pengujian tekan bebas (*unconfined compression test*) dan pengujian baling-baling (*vane shear test*).

2.9.2. Uji Triaksial

Uji laboratorium ini sering dilakukan untuk mengetahui nilai-nilai dari parameter kekuatan geser tanah yaitu nilai kohesi (C) serta nilai sudut perlawanan geser (ϕ) dengan cara memvisualisasikan grafik lingkaran Mohr, lalu tegangan geser ini digunakan untuk mengetahui bidang keruntuhan tanah yang diuji. Kelebihan-kelebihan yang dimiliki oleh jenis uji ini adalah kondisi pengaliran yang dapat dikontrol, tekanan pori yang dapat diukur dan tanah dapat dikondisikan menjadi jenuh dan terkonsolidasi. Pengujian triaksial ini dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu pengujian dengan cara *unconsolidated-undrained* (tanpa terkonsolidasi-tanpa drainase / UU), *consolidated-undrained* (terkonsolidasi-tanpa drainase / CU) dan *consolidated-drained* (terkonsolidasi dengan drainase / CD).

2.10. Program Plaxis 8.2 2 dimensi

Program *Plaxis* merupakan rangkaian program untuk menganalisis deformasi dan stabilitas dalam geoteknik. Prosedur *input data* (*rock properties*) yang sederhana memudahkan menciptakan model elemen yang kompleks dan tersedianya tampilan output secara detail berupa hasil perhitungan. Diharapkan dengan kelebihan ini dapat mempermudah analisis dan mendapat hasil yang akurat.

Dalam analisis, data yang dibutuhkan sebagai *input*-an program *Plaxis* antara lain :

- Nilai parameter batuan yang didapat dari hasil penyelidikan batuan
- Dimensi dan karakteristik gate shaft
- Nilai parameter konstruksi penahan

Program *Plaxis* ini terbagi empat program, yang masing masing program mempunyai fungsi yang berbeda, yaitu *Plaxis Input* , *Plaxis Calculation*, *Plaxis Output* dan *Plaxis Curve* .

2.10.1. *Plaxis Input*

Plaxis input merupakan tahap awal untuk membuat dan memodifikasi model geometri, mendefinisikan parameter model, menentukan kondisi batas (*boundary condition*), *meshing model* dan menentukan kondisi awal (*initial conditions*) dari model yang dibuat. Hal ini dapat dilakukan dengan memilih *plaxis input* icon pada menu program utama *windows* seperti yang terlihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.13. *Plaxis Input Icon*

Sumber : *Pedoman Plaxis82 Indonesia*

2.10.2. *Plaxis Output*

Plaxis output adalah fasilitas dalam *plaxis* yang menampilkan model yang telah dibuat pada *plaxis input* dan telah dianalisis pada *plaxis calculation*. Untuk membuka jendela *plaxis output* dapat memilih icon yang terdapat pada *plaxis calculation* seperti yang ditunjukkan gambar di atas ataupun dengan memilih *plaxis output* icon seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 2.14. *Plaxis Output Icon*

Sumber : *Pedoman Plaxis82 Indonesia*

2.11. Program *GeoSlope*

GEO-SLOPE Office adalah sebuah paket aplikasi untuk pemodelan geoteknik dan geo-lingkungan. Software ini meliputi SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W,

QUAKE/W, TEMP/W, danCTRAN/W.Yang sifatnya terintegrasi sehingga memungkinkanuntukmenggunakanhasil dari satu produk ke dalam produk yang lain. Ini unik dan fitur yang kuasanya sangat memperluas jenis masalah yang dapat dianalisis dan memberikan fleksibilitas untuk memperoleh modul seperti yang dibutuhkan untuk proyek yang berbeda.

SLOPE/W merupakan produk perangkat lunak untuk menghitung faktor keamanan tanah dan kemiringan batuan. Dengan SLOPE/W, kita dapat menganalisis masalah baik secara sederhana maupun kompleks dengan menggunakan salah satu dari delapan metode kesetimbangan batas untuk berbagai permukaan yang miring, kondisi tekanan pori-air, sifat tanah dan beban terkonsentrasi. Kita dapat menggunakan elemen tekanan pori air yang terbatas, tegangan statis, atau tekanan dinamik pada analisis kestabilan lereng. Anda juga dapat melakukan analisis probabilistik.



Gambar 2.15. *GeoSlope Starting Icon*

Sumber : www.geo-slope.com

BAB III

METODOLOGI ANALISIS

3.1. Umum

Sungai Cimanuk terletak di Propinsi Jawa Barat, sumber mata airnya berawal dari Gunung Papandayan (+ 2.662 m), yang terletak di wilayah Kabupaten Garut. Sungai tersebut mengalir ke arah Utara melewati kabupaten Garut, Sumedang, Majalengka, Cirebon, Indramayu dan kemudian bermuara di Laut Jawa.

Panjang sungai berkisar 130 km dengan catchment area sebesar 3.600 km². Curah hujan tahunan rata-rata sebesar 2.880 mm dan aliran permukaan yang tercatat di Bendung Gerak Rentang (Rentang Barrage) sebesar 4,30 Milyar m³ per tahun.

Lokasi proyek merupakan daerah tropis yang ditandai adanya musim hujan dan musim kemarau. Pada musim hujan, air amat banyak, sebagian besar terbuang ke laut, sementara pada musim kemarau, air permukaan sangat terbatas dan tidak mencukupi untuk memenuhi berbagai keperluan antara lain untuk mengairi 90.000 ha lahan pertanian. Masalah seperti ini terjadi disebabkan belum adanya bangunan pengendali/pengatur aliran yang dibangun di badan sungai, misalnya waduk penampung air.

Bendung Gerak Rentang (Rentang Barrage) merupakan satu-satunya bangunan penting di sungai Cimanuk yang berfungsi sebagai pengatur distribusi air. Bendung Gerak Irigasi Rentang dibangun tahun 1917, Bendung Rentang Baru dibangun kembali dibagian hulunya dan mulai beroperasi pada tahun 1981 untuk mengairi 90.000 ha lahan pertanian.

Pada saat ini, oleh karena kurangnya debit air sungai Cimanuk di musim kemarau, kapasitas bangunan tersebut hanya mampu mengairi sawah seluas 30.000 ha.

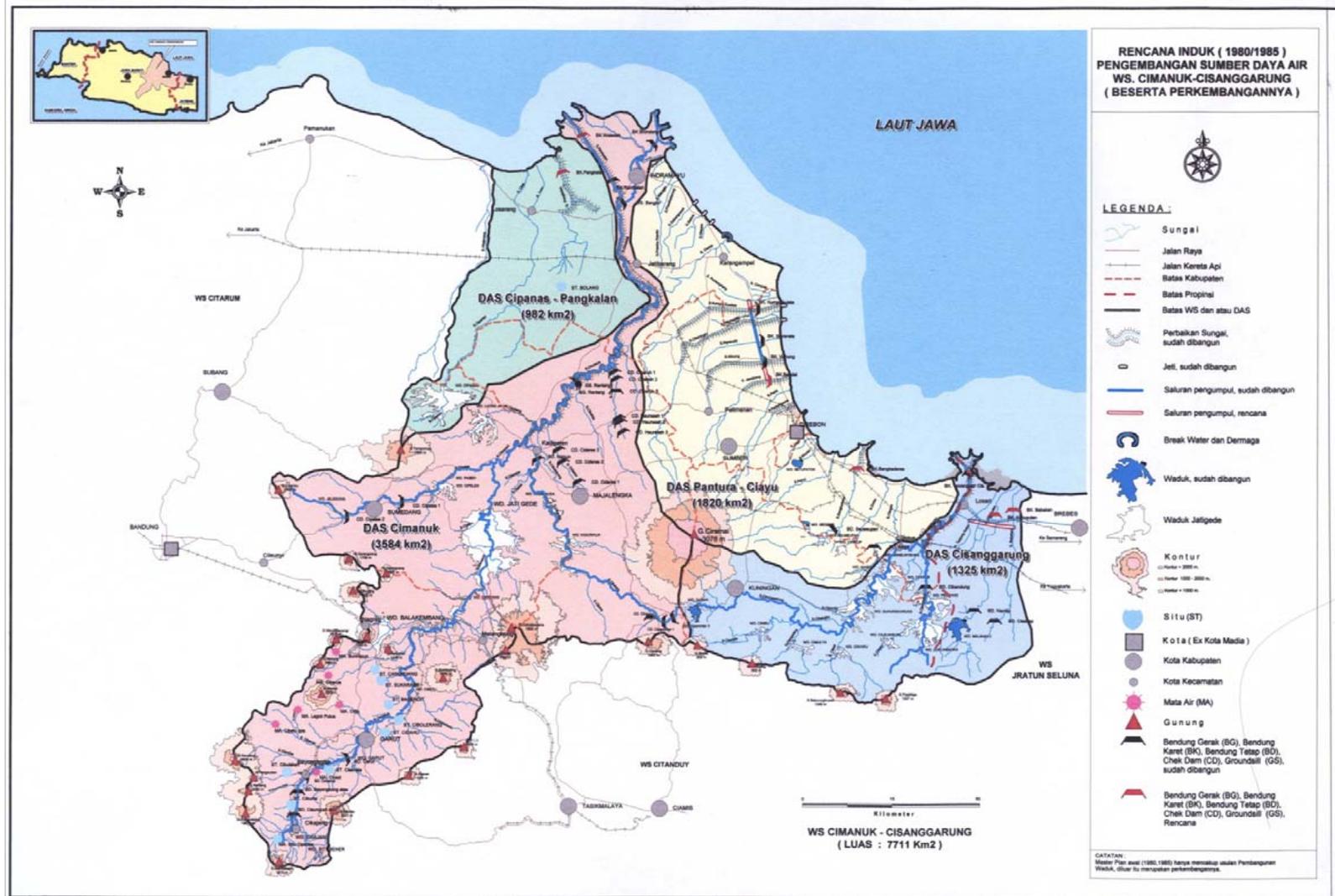
Pemerintah Indonesia melalui Departemen Pekerjaan Umum telah memulai suatu studi tentang Bendungan Jatigede pada tahun 1967. Produk yang dihasilkan adalah "Master Plan Bendungan Jatigede". Kemudian pada tahun 1986, disusun desain rinci Bendungan Jatigede dan direvisi pada tahun 2004, tetapi belum bisa diimplementasikan oleh karena aspek-aspek non teknis, seperti pembebasan lahan dan pemindahan penduduk.

Tujuan pembangunan Waduk Jatigede ini, disamping guna memenuhi kebutuhan air irigasi sebagai tujuan utama juga dimaksudkan untuk memenuhi kebutuhan air domestik, pengendali banjir dan pembangkit listrik tenaga air (PLTA).



Gambar 3.1. Peta Lokasi Bendungan Jatigede, Sumedang

Sumber : Studi Bendungan Jatigede



Gambar 3.2. Wilayah Sungai Cimanuk - Cisanggarun

Sumber Studi Bendungan Jatigede

3.2. Data Teknis Bendungan Jatigede

1. Hidrologi

LuasDAS	: 1.462 km ²
Volume aliran air tahunan	: 2,5 x 10 ⁹ m ³

2. Waduk

Muka Air (MA) banjir max	: El. +262
MA Operasi max (<i>FSL</i>)	: El. +260
MA Operasi min (<i>MOL</i>)	: El. +230
Luaspermukaanwaduk (El. 262)	: 41,22 km ²
Volume total(<i>gross</i>) (El. +260)	: 980 x 10 ⁶ m ³
Volume efektif (antara El.+221 Dan El+260)	: 877 x 10 ⁶ m ³

3. Bendungan

Tipe	: Timbunan batu dengan inti tanah kedap air tegak.
Panjang puncak	: 1.715,00 m
Puncak bendungan	: EL. 265,00 m dan EL. 266,10 m
Lebar puncak	: 12,00 m
Tinggi max. diatas dasar sungai	: 110,00 m
Volume timbunan	: 6,7 x 10 ⁶ m ³

4. Grouting Gallery

Struktur	: Beton bertulang
Ukuran	: Panjang : 1.771,00 m
	Lebar : 2,00 m
	Tinggi : 2,50 m (bagian atas ½ lingkaran)

5. Access Gallery

Struktur	: Beton bertulang
Ukuran	: Panjang : 217,00 m
	Tinggi : 2,50 m (bagian atas ½ lingkaran)
	Lebar : 2,00 m

6. Foundation Treatment

Curtain Grouting

Dalam : 55 m (di tengah/river bed) dan 40 m
(di sandaran kiri-kanan)

Jumlah Lajur : 2

Jarak Lubang : 2 m

Jarak Lajur : 1 m (0.5 m di hulu dan hilir AS
Bendungan)

Blanket Grouting

Di Luar Gallery

Jumlah Lajur : 3 di hulu, 2 di hilir

Jarak Lubang : 3 m

Kedalaman : 5 m

Di Dalam Gallery

Jumlah Lajur : 2 di hulu, 2 di hilir

Jarak Lubang : 3 m

Kedalaman : 3 m

7. Bangunan Pelimpah (Spillway)

Lokasi : Ditengah bendungan bagian tebing
kanan

Jenis (tipe) : Pelimpah dengan pintu dan saluran
peluncur

Panjang mercu : 62,00 m (4 x 15,50 m)

Permukaan mercu : EL. 247,00

Pintu radial : 4 unit (15,5m lebar x 14,50 m
tinggi)

Pintu stop log : 4 lembar / balok

Debit rencana Q PMF : 11.000,00 m³/detik

Debit keluaran rencana (Q out) : 4.442,00 m³/detik

Saluran peluncur

Lebar	: 68,00 m (dihulu) & 35,00 m (dihilir)
Panjang saluran peluncur	: 330,25 m
Permukaan lantai ujung hilir	: EL. 175,00

8. Terowongan Pengelak (Diversion Tunnel)

Lokasi	: Dibawah spillway
Tipe	: Penampang lingkaran berlapis beton bertulang
Panjang L	: 555,75 m
Diameter ϕ	: 10,00 m
Upstream conduit: panjang	: 173,75
Diameter	: 10,00 m
Muka dasar lantai inlet	: EL. 164,00
Debit rencana kala ulang 100 tahun Q100	: 3.200 m ³ /detik
Kapasitas debit keluar Q out	: 1.729 m ³ /detik
Pintu baja	: 2 set @ 4,5 m lebar & 10 m tinggi

9. Outlet Irigasi

Lokasi	: dibawah pondasi spillway
Tipe saluran pengambilan	: conduit beton bertulang
Diameter conduit	: 4,50 m
Kapasitas debit maximum Q max.	: 197,00 m ³ /detik
Permukaan lantai apron intake	: EL. 221,00
Permukaan lantai ujung hilir	: EL. 197,963
Pintu kontrol (intake gate)	: 2 unit plat baja tipe sluice
Pintu darurat (emergency gate)	: 1 unit plat baja tipe sluice

10. Power Waterway

Bangunan Pengambilan (Intake structure)

Struktur	: Beton bertulang dilengkapi dengan trash rack dan bubbler nozzle (desilting system)
Panjang	: 17,00 m
Permukaan lantai apron	: EL. 210,00
Mulut intake	: Tipe lingkaran diameter 4,50 m

Terowongan pengambilan (intake tunnel)

Tipe	: Terowongan bentuk lingkaran dilapis beton bertulang
Panjang	: 150 m
Diameter	: 4,50 m

Sumur pengendali pintu (gate control shaft)

Tipe / struktur	: Sumur tegak / beton bertulang
Pintu darurat	: 1 unit plat baja
Pintu kontrol	: 1 unit plat baja
Alat pengangkat	: tipe hidrolis
Lantai gedung kontrol pintu	: EL. 265,00

9. Pemindahan Jalan

Panjang	: 9 km
Lebar Perkerasan Jalan	: 7,00 m
Bahu Jalan	: 2,00 m
Jenis Perkerasan	: Perkerasan aspal.

3.3. Pembagian Material (Zoning) Bendungan Jatigede

Bendungan Jatigede direncanakan berupa bendungan urugan batuan intikedap air vertical di tengah (*vertical center core*) dengan enah, potongan melintang dan potongan memanjang seperti tampak pada Gambar 1-A, 1-B, dan 1-C. Pembagian bahan-bahan (*zoning*) yang diperlukan untuk pembangunan bendungan Jatigede adalah sebagai berikut :

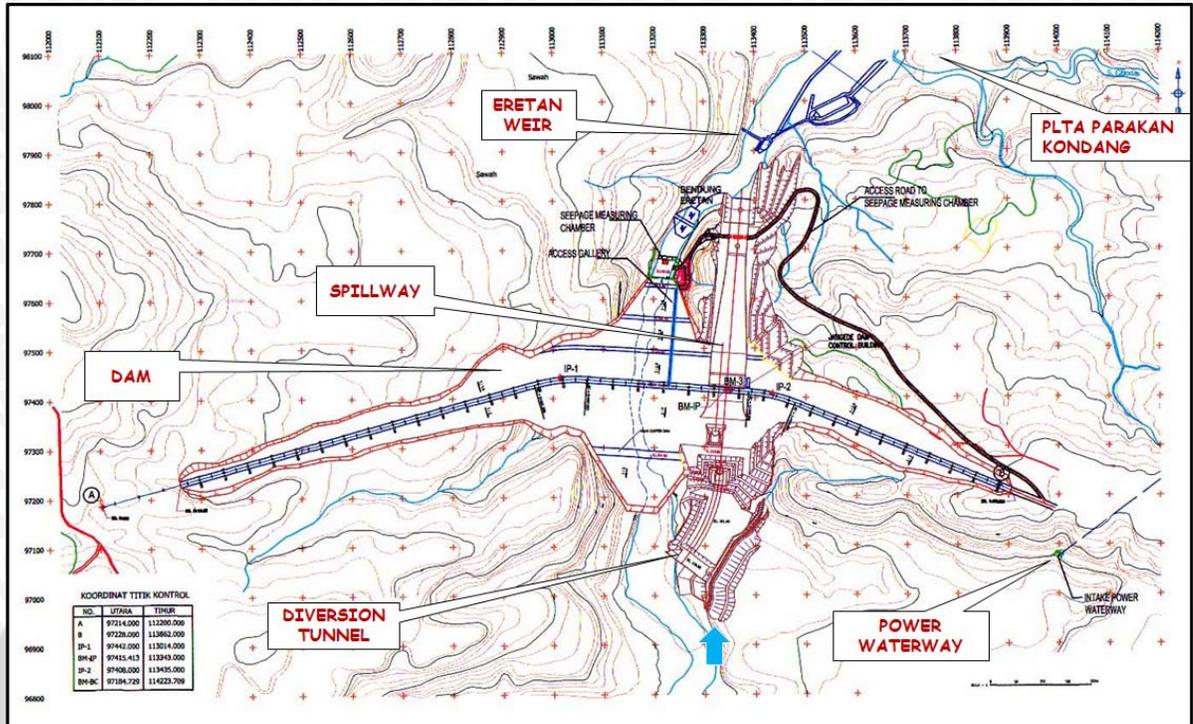
- **Zone 1** : berupa intikedap air untuk bendungan utamadan penutup kedap air untuk main cofferdam. Material kedap air direncanakan berasal dari borrow area Cijeunjing sebagai sumber material utamadan sumber material cadangan dari overburden Quarry G. Tiru. Volume timbunan intikedap air diperkirakan sebesar 983.165 m^3 untuk bendungan utamadan 66.046 m^3 untuk main cofferdam. Material yang tersedia di borrow area Cijeunjing diperkirakan sebesar $1.600.000 \text{ m}^3$.
- **Zona 2A** : berupa bahan filter halusterletak di bagian hilir timbunan intikedap air bendungan utamadan intikedap air main cofferdam. Material filter halus direncanakan berasal dari Quarry G. Surian sebagai sumber material utamadan sumber material cadangan dari Quarry G. Tiru. Volume timbunan filter diperkirakan sebesar 444.688 m^3 untuk bendungan utamadan 20.882 m^3 untuk main cofferdam.
- **Zona 2B** : berupa bahan filter kasar terletak di bagian hilir timbunan filter halus bendungan utama. Material filter kasar direncanakan juga berasal dari Quarry G. Surian sebagai sumber material utamadan sumber material cadangan dari Quarry G. Tiru. Volume timbunan filter diperkirakan sebesar 175.839 m^3 .
- **Zona 3A** : berupa bahan batu kecil terletak di bagian shell dalam bendungan utamadan sebagai tubuh main cofferdam. Material batu kecil direncanakan berasal dari Quarry G. Julang sebagai sumber material utamadan sumber material cadangan dari Quarry G. Tiru. Volume timbunan batu kecil diperkirakan sebesar $1.932.939 \text{ m}^3$ untuk bendungan utamadan 376.329 m^3 untuk main cofferdam.

- Zona 3B : berupakanbatubesarterletak di bagian shell luarbendunganutama. Material batubesardirencanakanberasaldari Quarry G. Julangsebagaisumber material utamadengansumber material cadangandari Quarry G. Tiru. Volume timbunanbatukecildiperkirakansebesar 1.900.789 m³.
- Zona 4 : berupakan rip-rap, merupakanbahanuruganbatuberdimensibesarsebagaiindungtubuhbendungan. Material rip-rap direncanakanberasaldari Quarry G. Julangsebagaisumber material utamadengansumber material cadangandari Quarry G. Tiru. Volume timbunanbatukecildiperkirakansebesar 279.085 m³.

Tabel 2.9. Parameter *Shear Strength Parameters* Pada Material Timbunan BendunganJatigede

Zona	Material		Dry Density (t/m ³)	CD		CU		UU	
				C (Mpa)	ϕ (°)	C (Mpa)	ϕ (°)	C (Mpa)	ϕ (°)
1	Inti Material	Cijeunjing	1.50	0.020	18.0	0.020	16.0	0.015	14.0
		Gunung Julang	1.50	0.015	15.0	0.010	12.0	0.015	10.0
2A	Filter Halus		2.20	0.030	36.0	0.040	35.0	0.050	32.0
2B	Filter Kasar		2.30	0.030	38.0	0.040	36.0	0.050	34.0
3A	Batu Kecil		2.20	0.040	36.5	0.050	34.5	0.060	32.0
3B	Batu Besar		2.20	0.040	36.0	0.050	34.0	0.060	32.0

Sumber : SWHI “Study Report on Dam Filling Material of Jatigede Dam Project”



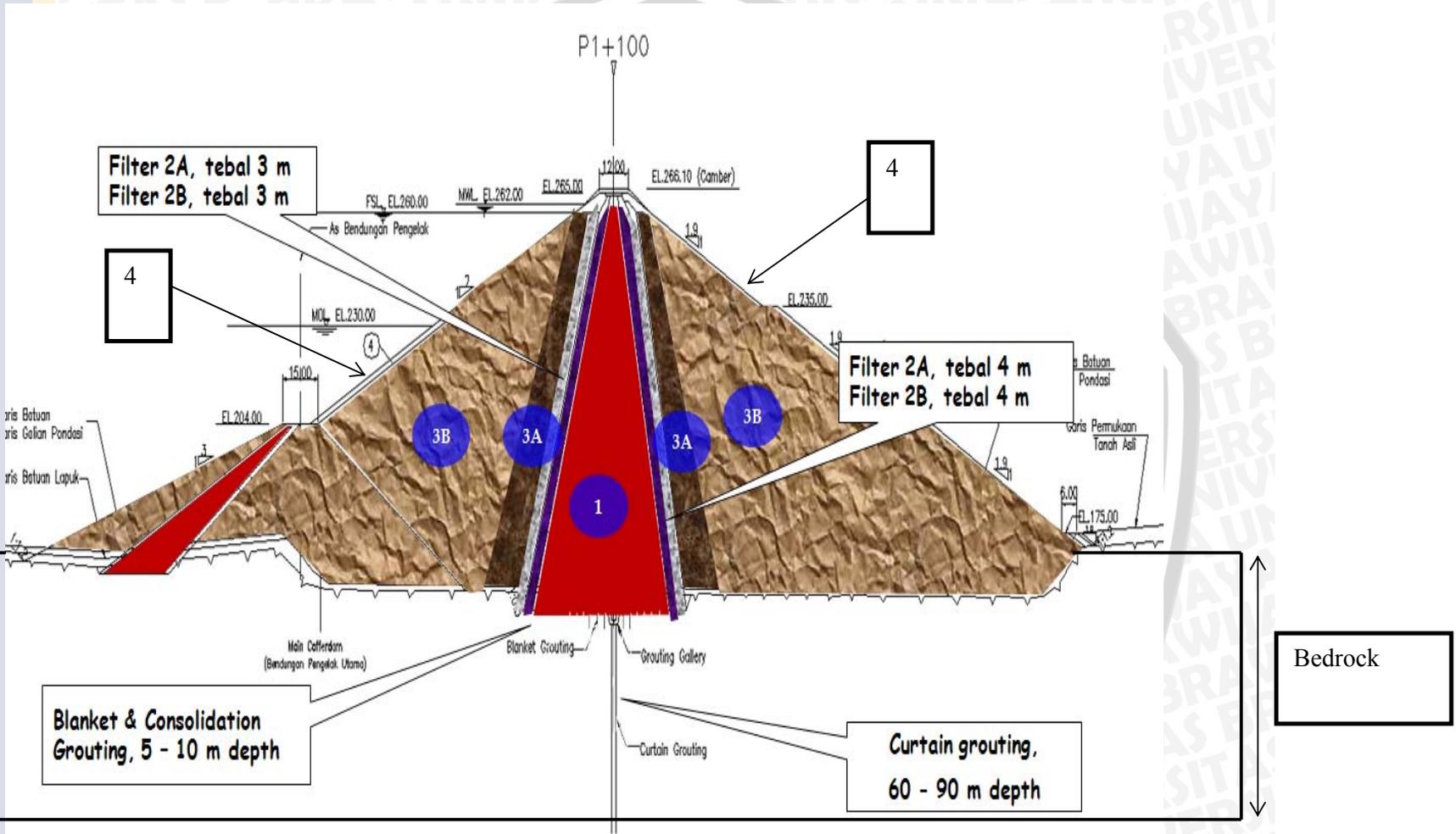
Gambar 3.3. Denah Tubuh Bendungan Jatigede

Sumber : Studi Bendungan Jatigede

Gambar 3.4. Potongan Memanjang Tubuh Bendungan Jatigede

Sumber : Studi Bendungan Jatigede





Gambar 3.5. Potongan Melintang Tubun Bendungan Jatigede
Sumber : Studi Bendungan Jatigede



BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Bendungan Jatigede ialah bendungan dengan tinggi 114 meter dari galian terdalam dengan tampungan sebesar 1 milyar meter kubik dan berfungsi sebagai penyedia air baku sebesar 3.500 l/dt untuk Kabupaten Cirebon dan Indramayu. Oleh karena itu, menurut pedoman analisis stabilitas bendungan urugan akibat gempa, suatu bendungan yang cukup tinggi dengan waduk yang digunakan untuk penyediaan air minum di daerah pemukiman harus didesain dengan mempertimbangkan persyaratan beban baik “persyaratandiperkenankanadakerusakantankeruntuhan” (MDE, *Maximum Design Earthquake*) ataupun “persyaratantankerusakan” (OBE, *Operating Basic Earthquake*). Dimana hasil dari parameter gempa tersebut di analisis untuk evaluasi perilaku bendungan dan keamanan bendungan terhadap besaran guncangan. Adapun kondisi bendungan yang akan dianalisis adalah dalam kondisi kosong, kondisi muka air normal, kondisi muka air banjir, kondisi muka air *Intermediate* dan kondisi surut cepat (*Rapid Drawdown*).

Adapun data-data yang digunakan adalah data sekunder, data-data tersebut bersumber dari :

1. Gambar *Shop Drawing*

Gambar *Shop Drawing* yang digunakan sebagai dasar permodelan dalam analisis menggunakan *software* Geostudio 2007 dan Plaxis 8.2 2 dimensi merupakan gambar *Shop Drawing* “0+820~1+222.56 *Figure Filling Workshop and Dam Structure Drawing*” yang dibuat oleh *Sinohydro – Jo – CIC Jatigede Dam Project*

2. Data hasil pengujian *Test of Dam Filling Material*

Data hasil pengujian atau tes ini untuk mengetahui bagaimana seberapa besaran *Dry Density*, kohesi dan sudut geser daripada material yang dipakai dalam penimbunan material-material di tubuh Bendungan Jatigede. Adapun pengujian atau tes pada material dilakukan dengan beberapa kondisi, yaitu dalam kondisi *Consolidated Drained*, *Consolidated Undrained*, dan *Unconsolidated Undrained*. Data data pengujian atau tes ini didapatkan dari tes yang dilakukan oleh *Sichuan Water Resources and Hydroelectric Investigation and Design Institute*.

3. Data Spektrum Gempa Indonesia

Data ini diperoleh dari U.S. Geological Survey (National Strong-Motion Project) yang diakses melalui internet, dimana data ini dibutuhkan dalam analisa menggunakan *software* Plaxis, karena data spektrum pada lokasi Jatigede tidak diperoleh. Dan dalam pengubahan data koefisien gempa rata-rata menjadi data spektrum gempa akan dibahas selanjutnya.

4.2. Koefisien Gempa Termodifikasi

4.2.1. Penetapan Besaran Parameter Gempa Desain

Penentuan besaran gempa desain bendungan mengikuti pedoman pada “Pedoman Pd-T- 14-2004 A” Analisa Stabilitas Bendungan Urugan akibat Gempa dimulai dengan menentukan faktor risiko keamanan bendungan.

Tabel 4.1. Kriteria Faktor Risiko untuk Evaluasi Keamanan Bendungan

Faktor Risiko	Angka bobot dalam kurung			
	Ekstrem	Tinggi	Moderat	Rendah
Kapasitas ($10^6 m^3$) (FR _k)	>100 (6)	100-1,25 (4)	1,00-0,125 (2)	< 0,125 (0)
Tinggi (m) (FR _t)	> 45 (6)	45-30 (4)	30-15 (2)	< 15 (0)
Kebutuhan evakuasi (jumlah orang) (FR _e)	> 1000 (12)	1000-100 (8)	100-1 (4)	0 (0)
Tingkat kerusakan hilir (FR _h)	Sangat Tinggi (12)	Tinggi (8)	Agak Tinggi (4)	Moderat (0)

Tabel 4.2. Perhitungan Faktor Risiko Bendungan Jatigede

Kriteria Bendungan Jatigede	Bobot Faktor Risiko
Kapasitas Waduk = $988 \times 10^6 m^3$	FR _k = 6
Tinggi Bendungan = 114 m	FR _t = 6
Kebutuhan Evakuasi > 1000 orang	FR _e = 12
Tingkat Kerusakan Hilir = Sangat Tinggi	FR _h = 12
Faktor Risiko Total	FR _{Total} = 36

Sumber : Rekap Perhitungan

Dengan faktor risiko total (FR_{Total}) = 36, maka berdasarkan tabel kelas risiko Bendungan dan Bangunan air, maka Bendungan Jatigede termasuk kelas risiko IV (Ekstrem)

Tabel 4.3. Kelas Risiko Bendungan dan Bangunan Air

Faktor Risiko Total	Kelas Risiko
(0-6)	I (Rendah)

(7-18)	II (Moderat)
(19-30)	III (Tinggi)
(> 31)	IV (Ekstrem)

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Berdasarkan kelas risiko bendungan dan bangunan air tersebut, maka kriteria beban gempa untuk desain bendungan dalam OBE dan MDE dapat ditentukan melalui tabel B dibawah ini :

Tabel 4.4. Kriteria Beban Gempa Untuk Desain Bendungan

Kelas risiko dengan masa guna	Persyaratan tanpa kerusakan		Persyaratan diperkenankan ada kerusakan tanpa keruntuhan	
	T (thn)	Metode Analisis	T (tahun)	Metode Analisis
IV N=50-100	100 – 200 $a_d \geq 0,1 g$	Koef Gempa	10.000 (MDE)	Koef.gempa atau dinamik *
III N=50-100	50 – 100 $a_d \geq 0,1 g$	Koef Gempa	5000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
II N=50-100	10 – 50 $a_d \geq 0,1 g$	Koef Gempa	3000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *
I N=50-100	5-10 $a_d \geq 0,1 g$	Koef Gempa	1000 (MDE)	Koef. gempa atau dinamik *

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Maka dengan kelas risiko yang didapat dari perhitungan sebelumnya, dimana Bendungan Jatigede termasuk kelas risiko IV (Ekstrem) maka dalam metode analisisnya dengan **T = 100 tahun** (untuk “persyaratantankerusakan” [OBE , *Operating Basic Earthquake*]) dan **T = 10.000** tahun (“persyaratandiperkenankanadakerusakantankeruntuhan” [MDE, *Maximum Design Earthquake*]).

4.2.2. Analisis koefisien gempa pada T = 100 tahun

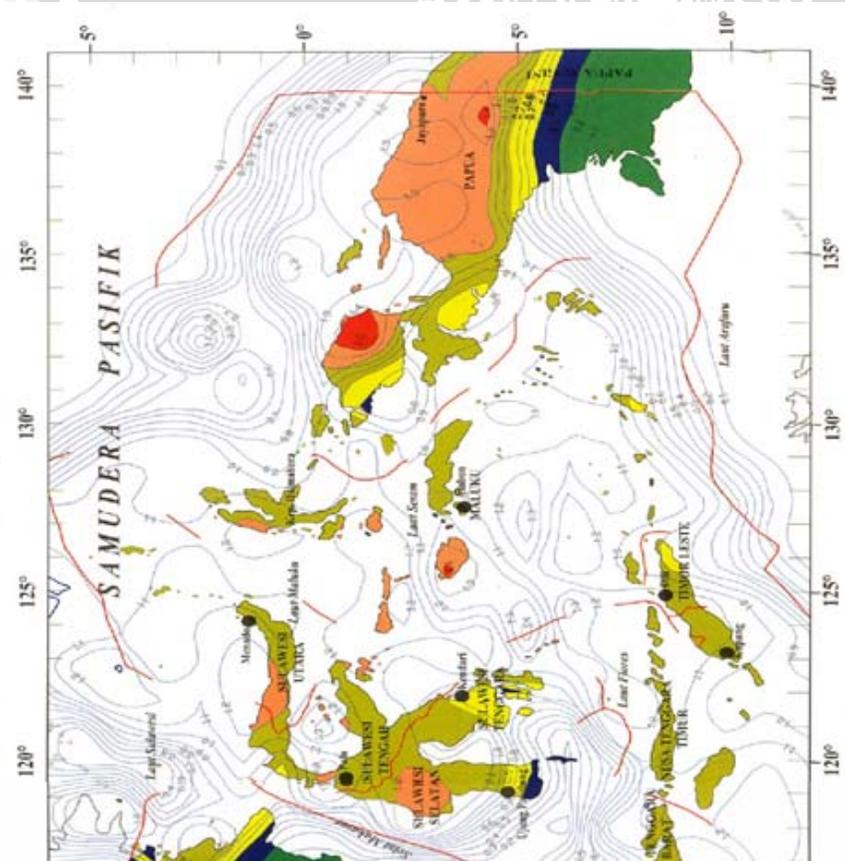
Lokasi Bendungan Jatigede terletak pada koordinat **LS 6° 51’ 29.7” BT 108° 06’ 09,6”**. Maka dengan melihat Peta Zona Gempa Indonesia, Bendungan Jatigede terletak pada Zona C, dengan **Z = 0.60 – 0.90** karena untuk perencanaan desain, diambil angka terbesar, yaitu **Z = 0.90**.

Analisis dilakukan pada **T = 100 tahun**, dengan tabel C maka didapatkan **ac sebesar 0.227 g**

Tabel 4.5. Periode Ulang dan Percepatan Gempa Dasar

Periode Ulang	ac
----------------------	-----------

PETA INDONESIA
 EMPA FUKUSHIMA dan TANAKA (1990)



PUSAT LITBANG SUMBER DAYA AIR, 2004

RUMUS

$$\Delta d = Z \cdot \Delta c \cdot V$$

isien Gempa
 isien Zona Gempa
 epatan Gempa Dasar (g)
 epatan Gravitasi (cm/det²)
 or Koreksi Pengaruh Jenis Tanah Setempat
 epatan Permukaan Tanah Terkoreksi (cm/det²)

ZONA	KOEFISIEN ZONA
A	Z = 0.00 - 0.30
B	Z = 0.30 - 0.60
C	Z = 0.60 - 0.90
D	Z = 0.90 - 1.20
E	Z = 1.20 - 1.40
F	Z = 1.40 - 1.60

T (tahun)	(g)
10	0.127
20	0.155
50	0.196
100	0.227
200	0.255
500	0.289
1,000	0.313
5,000	0.364
10,000	0.385

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Batuan pondasi rencana bendungan Jatigede berupa clay stoned and sand sandstone sehingga nilai **Modification Coefficient (V)** berdasarkan Tabel D diambil sebesar **0,9** (kondisi antara rock dan diluvium).

Tabel 4.6. Faktor Koreksi Pengaruh Jenis Tanah / Batuan

Jenis Batuan Dasar	Faktor Koreksi (V)
Rock (batuan)	0.8
Dilluvium (tanah kaku)	1.0
Alluvium (tanah sedang)	1.1
Softalluvium (tanah lunak)	1.2

Sumber : Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Maka dengan persamaan (2-13) dan (2-15) pada bab II, dapat dihitung :

$$a_d = Z \times a_c \times V$$

$$a_d = 0.90 \times 0.227 \times 0.90$$

$$a_d = 0.18387 \text{ g}$$

$$a_d = \mathbf{180.31487 \text{ cm/det}^2} \quad (\text{dimana } 1 \text{ g} = 980.665 \text{ cm/det}^2)$$

kemudian,

$$K_h = a_d/g$$

$$K_h = 180.31487 / 980.665$$

$$\mathbf{K_h = 0.18387}$$

Menurut teorip erhitungan stabilitas lereng bendungan urugan dengan cara koefisien gempatermodifikasi pada Pedoman Pd-T- 14-2004

A. Analisa Stabilitas Bendungan Urugan akibat Gempa, koefisien gempadesain pada tubuh bendungan yang merupakan fungsi dari kedalaman, dapat dihitung dengan persamaan (2-16) pada bab II, sebagai berikut:

$$K_o = \alpha_2 \times K_h$$

$$K_o = 0.5 \times 0.18387$$

$$\mathbf{K_o = 0.091935}$$

Analisis pada T = 100 tahun

Analisis stabilitas dalam koefisien gempa termodifikasi membutuhkan fungsi kedalaman Y dari puncak bendungan yang berbeda-beda. Maka dilakukan pada Y = 0.25H ; 0.50H ; 0.75H dan H (H adalah tinggi bendungan) dengan menggunakan koefisien gempa rata-rata K yang berbeda-beda. Koefisien gempa rata-rata dapat dihitung dengan persamaan (2-17) dan (2-18) pada bab II, sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Untuk } Y/H = 0.25, \quad K &= K_o \times (2.5 - 1.85(Y/H)) \\ &= 0.091935 \times (2.5 - 1.85(0.25)) \\ &= \mathbf{0.18731756} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } Y/H = 0.50, \quad K &= K_o \times (2.0 - 0.60(Y/H)) \\ &= 0.091935 \times (2.0 - 0.60(0.50)) \\ &= \mathbf{0.1562895} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } Y/H = 0.75, \quad K &= K_o \times (2.0 - 0.60(Y/H)) \\ &= 0.091935 \times (2.0 - 0.60(0.75)) \\ &= \mathbf{0.14249925} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk } Y/H = 1.00, \quad K &= K_o \times (2.0 - 0.60(Y/H)) \\ &= 0.091935 \times (2.0 - 0.60(1.00)) \\ &= \mathbf{0.128709} \end{aligned}$$

4.2.3. Analisis koefisien gempa pada $T = 10,000$ tahun

Nilai Z dan V sama dengan sebelumnya, yaitu $Z = 0.90$ dan $V = 0.90$

Analisis dilakukan pada $T = 10,000$ tahun, dengan tabel 4.5 maka didapatkan nilai a_c sebesar 0.385 g

Maka dengan persamaan (2-13) dan (2-15) pada bab II, dapat dihitung :

$$a_d = Z \times a_c \times V$$

$$a_d = 0.90 \times 0.385 \times 0.90$$

$$a_d = 0.31185 \text{ g}$$

$$\mathbf{a_d = 305.82038 \text{ cm/det}^2} \quad (\text{dimana } 1 \text{ g} = 980.665 \text{ cm/det}^2)$$

kemudian,

$$K_h = a_d/g$$

$$K_h = 305.82038 / 980.665$$

$$\mathbf{K_h = 0.31185}$$

Menurut teori perhitungan stabilitas lereng bendungan urugan dengan cara koefisien gempa permodifikasikan pada Pedoman Pd-T- 14-2004 A

Analisa Stabilitas Bendungan Urugan akibat Gempa,

koefisien gempa desain pada tubuh bendungan yang merupakan fungsi dari kedalaman, dapat dihitung dengan persamaan (2-16) pada bab II, sebagai berikut:

$$K_o = \alpha_2 \times K_h$$

$$K_o = 0.5 \times 0.31185$$

$K_0 = 0.155925$

Analisis pada $T = 10,000$ tahun

Analisis stabilitas dalam koefisien gempa termodifikasi membutuhkan kedalaman y dari puncak bendungan yang berbeda-beda. Maka dilakukan pada $Y = 0.25H$; $0.50H$; $0.75H$ dan H (H adalah tinggi bendungan) dengan menggunakan koefisien gempa rata-rata K yang berbeda-beda. Koefisien gempa rata-rata dapat dihitung dengan persamaan (2-17) dan (2-18) pada bab II, sebagai berikut :

Untuk $Y/H = 0.25$, $K = K_0 \times (2.5 - 1.85(Y/H))$
 $= 0.155925 \times (2.5 - 1.85(0.25))$
 $= \mathbf{0.31769719}$

Untuk $Y/H = 0.50$, $K = K_0 \times (2.0 - 0.60(Y/H))$
 $= 0.155925 \times (2.0 - 0.60(0.50))$
 $= \mathbf{0.2650725}$

Untuk $Y/H = 0.75$, $K = K_0 \times (2.0 - 0.60(Y/H))$
 $= 0.155925 \times (2.0 - 0.60(0.75))$
 $= \mathbf{0.24168375}$

Untuk $Y/H = 1.00$, $K = K_0 \times (2.0 - 0.60(Y/H))$
 $= 0.155925 \times (2.0 - 0.60(1.00))$
 $= \mathbf{0.218295}$

Tabel 4.7. Rekap Koefisien Gempa Bendungan Jatigede

T = 100 tahun				T = 10.000 tahun			
Y/H = 0.25	Y/H = 0.50	Y/H = 0.75	Y/H = 1	Y/H = 0.25	Y/H = 0.50	Y/H = 0.75	Y/H = 1
0.187 g	0.156 g	0.142 g	0.129 g	0.318 g	0.265 g	0.242 g	0.218 g

Sumber : Rekap Tugas Akhir

4.3. Analisis Kestabilan Lereng Bendungan Jatigede

Simulasi untuk mengetahui kestabilan Bendungan Jatigede menggunakan tiga kali simulasi, yaitu dengan simulasi manual dengan metode *Fellinius (Limit Equilibrium Method)*, simulasi program *GeostudioSlope/wd* dengan metode Bishop (*Limit Equilibrium Method*) dan simulasi program *Plaxis 2* dimensi dengan *Finite Element Method*. Ketiganya menggunakan data Bendungan Jatigede dan data parameter gempa yang sudah dihitung untuk simulasi.

Pada dasarnya *Limit Equilibrium Method* (LEM) merupakan metode yang menggunakan prinsip kesetimbangan gaya dengan mengasumsikan bidang kelongsoran yang biasanya disebut dengan metode irisan (*slice method*). Dengan nilai *Safety Factor* adalah hasil dari perbandingan antara kuat geser tanah dan gaya dorong / perbandingan momen tahan terhadap momen dorong. Sedangkan *Finite Element Method* (FEM) merupakan metode yang memperhitungkan keruntuhan tanah (diilustrasikan dengan diagram keruntuhan Mohr) dan metode ini biasa disebut "*Phi-c reduction*" pada program. Adapun nilai *Safety Factor* nya didapatkan dengan cara mengurangi nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah secara bertahap hingga tanah mengalami keruntuhan.

Pada simulasi perhitungan stabilitas Bendungan Jatigede menggunakan beberapa kondisi yang berbeda, hal ini disebabkan karena berbagai kondisi perubahan saat memuat timbunan dan rezim atau zona rembesan berhubungan langsung dengan stabilitas bendungan. Adapun kondisi yang digunakan juga mengacu pada standar perhitungan stabilitas menggunakan "pedoman analisis stabilitas bendungan urugan".

Tabel 4.8. Kondisi Simulasi Stabilitas Bendungan Jatigede

Kondisi	Elevasi	Keterangan
Waduk Kosong	El. +155	Kondisi setelah konstruksi
Muka Air <i>Intermediete</i>	El. +247	Untuk analisis jangka pendek
Muka Air Normal	El. +260	Untuk operasional jangka panjang
Muka Air Banjir	El. +262	Estimasi kondisi kritis
Muka Air Surut Cepat	El. +260 ke +221	Estimasi Hulu Kritis

Sumber : Rekap Tugas Akhir

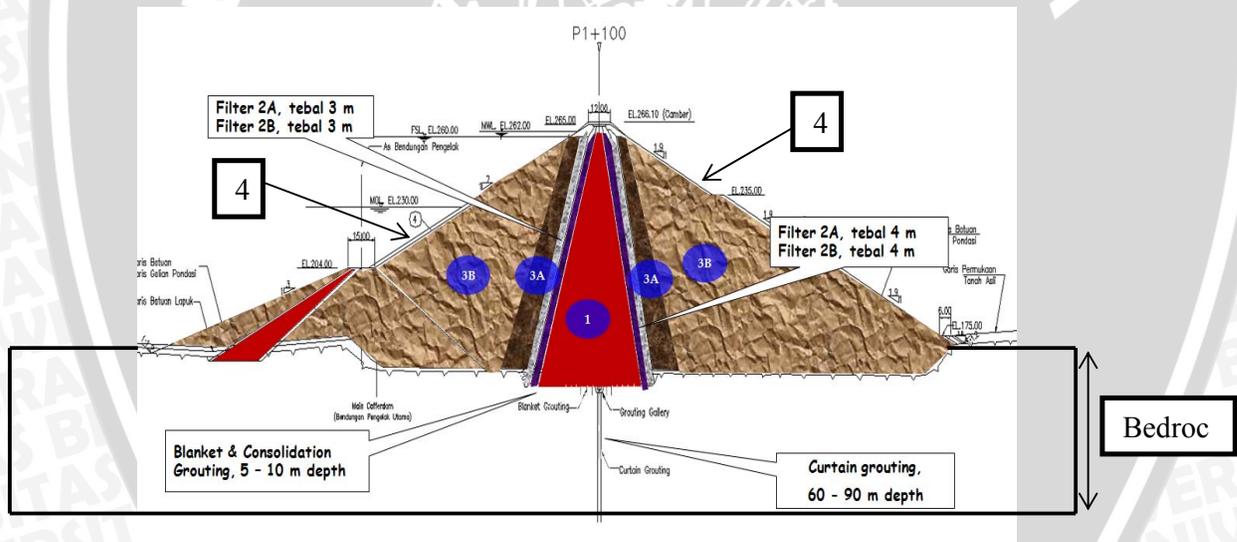
4.3.1. Input Data Simulasi

Pada simulasi yang dilakukan dengan simulasi manual dengan metode *Fellini*, simulasi program *Geostudio Slope/w* dan simulasi program *Plaxis 2* dimensi, seperti yang disebutkan sebelumnya akan menggunakan data gambar *Shop Drawing* Bendungan Jatigede, data hasil pengujian *Shear Strength Test of Dam Filling Material* dan data spektrum gempa. Adapun rincian penggunaan data adalah sebagai berikut :

1. Gambar *Shop Drawing*

Pada gambar Bendungan Jatigede akan diperoleh data-data sebagai yang selanjutnya akan digunakan pada proses simulasi.

- a) Gambar *Shop Drawing* Jatigede akan menampilkan zona material timbunan Bendungan Jatigede yang digunakan untuk menentukan zona timbunan pada simulasi Bendungan Jatigede,



Gambar 4.1. Zona Timbunan Material Bendungan Jatigede

Sumber : *Studi Bendungan Jatigede*

- b) Data spesifik Bendungan Jatigede seperti tinggi, lebar dan luas bendungan yang akan digunakan dalam penggambaran pada simulasi (dapat berupa koordinat maupun satuan panjang)
- c) Data kondisi yang akan digunakan pada simulasi, misalnya tinggi muka air normal, *Intermediete*, muka air banjir dan surut cepat.

2. Data hasil pengujian *Test of Dam Filling Material*

Data hasil pengujian atau tes ini untuk mengetahui bagaimana seberapa besaran *Dry Density*, kohesi dan sudut geser daripada material yang dipakai dalam penimbunan material-material di tubuh Bendungan Jatigede. Adapun pengujian atau tes pada material dilakukan dengan beberapa kondisi, yaitu dalam kondisi *Consolidated Drained*, *Consolidated Undrained*, dan *Unconsolidated Undrained*. Adapun yang data kekuatan tanah menggunakan kondisi *Consolidated Undrained* (CU) karena masa konstruksi Bendungan Jatigede yang termasuk lama yaitu lebih dari 5 tahun sehingga telah mengalami konsolidasi dan air pori telah terdisipasi, lalu hal lainnya adalah kondisi ini adalah kondisi yang mencerminkan kondisi bendungan dalam jangka waktu yang panjang.

Pada hasil pengujian tes akan diperoleh data-data sebagai yang selanjutnya akan digunakan pada proses simulasi.

a) Data spesifik material Bendungan Jatigede

Zona atau tipe material yang tercantum pada tabel mengacu pada gambar 4.1

Tabel 4.9. Data Spesifik Material Bendungan Jatigede

No.	Tipe	Keterangan Umum		Permeabilitas		Stiffness (Kekakuan)		Kekuatan Tanah	
		γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	k_x (cm/sec)	k_y (cm/sec)	E_{ref} <modulus elastisitas> (kN/m ²)	ν (nu)	C_{ref} (kN/m ²)	($^{\circ}$)
1	1 (<i>Blended Core</i>)	15	17	5×10^{-5}	1×10^{-5}	11,000	0.35	20	18
2	2A (<i>Filter Halus</i>)	22	23	6.5×10^{-4}	6.5×10^{-4}	13,000	0.30	40	32
3	2B (<i>Filter Kasar</i>)	23	24	3.6×10^{-3}	3.6×10^{-3}	13,000	0.30	40	35
4	3A (<i>Batu Kecil</i>)	22	23	1.0	1.0	15,000	0.30	50	38
5	3B (<i>Batu Besar</i>)	21	22	1.7	1.7	15,000	0.30	50	38
6	4	21	22	2.0	2.0	15,000	0.30	50	38
7	<i>Bedrock</i>	24	26	0	0	$2 \times 10^{+7}$	0.30	200	35

Sumber : Data Studi Bendungan Jatigede

3. Data Spektrum Gempa Indonesia

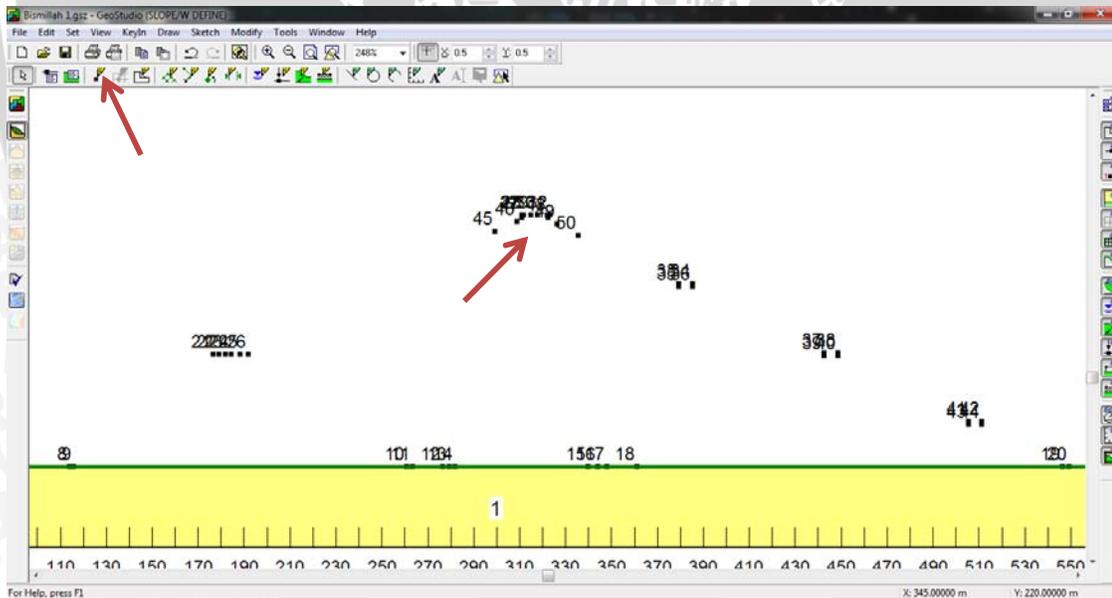
Data ini diperoleh dari U.S. Geological Survey (National Strong-Motion Project). Dalam penggunaannya harus melakukan perubahan data koefisien gempa rata-rata pada tabel 4.7 menjadi data spektrum gempa.

4.3.1.1. Input Data pada Simulasi Manual Metode *Fellinius*

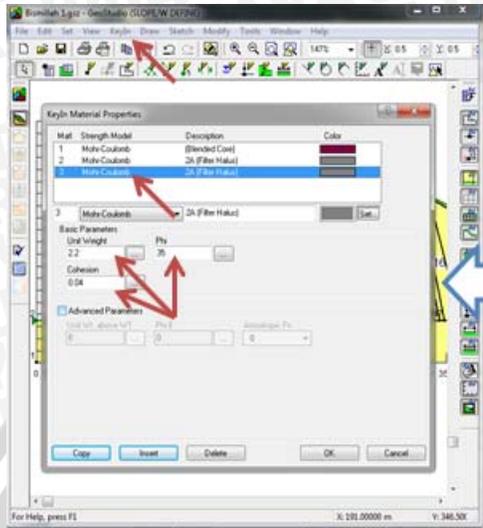
Data utama yang digunakan adalah data *Shop Drawing* karena data akan didapatkan setelah bidang longsor diketahui bentuk, luasan dan panjangnya yang akan di bahas pada subbab proses selanjutnya. Adapun data lain yang digunakan pada dasarnya mengacu pada general data material di tabel 4.9 seperti contohnya data kekuatan tanah (C dan $\tan \phi$), berat jenis tanah dan Intensitas beban seismik yang mengacu pada data tabel 4.7.

4.3.1.2. Input Data pada Simulasi Program *Geostudio Slope/W*

1. Memasukkan koordinat Bendungan Jatigede yang didapatkan dari data *Shop Drawing* Bendungan Jatigede. Koordinat-koordinat ini akan mewakili satuan panjang pada tubuh bendungan.



- Memasukkan data material bendungan berdasarkan zona timbunan mengacu pada tabel 4.9, dimana data yang dimasukkan adalah data berat jenis tanah, kohesi tanah dan ϕ (sudut geser tanah).



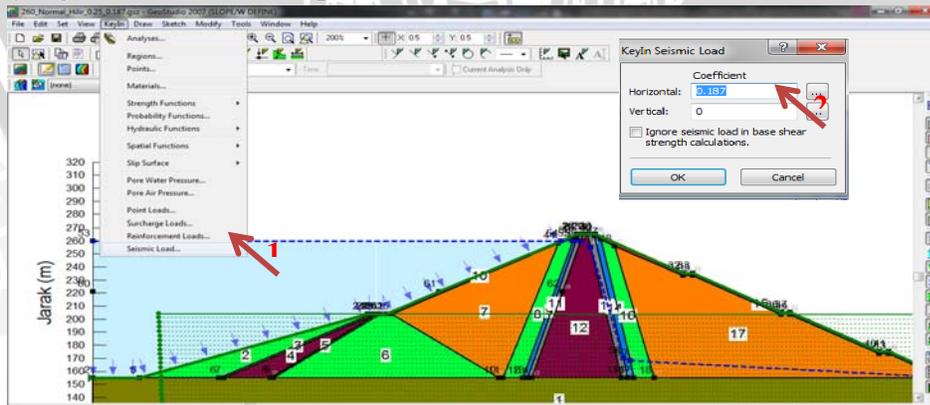
Tabel 4.8. Data Spesifik Material Bendungan Jatigede

Tipe	Keterangan Umum		Permeabilitas		Stiffness (Kekentalan)		Kekuatan Tanah	
	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{int} (kN/m ³)	k_v (cm/sec)	k_h (cm/sec)	E_{mod} <modulus elastisitas> (kN/m ²)	ν (nu)	C_{ed} (kN/m ²)	ϕ (°)
1 (Blended Core)	15	17	5×10^{-4}	1×10^{-4}	11,000	0.35	20	18
2A (Filter Halus)	22	23	6.5×10^{-4}	6.5×10^{-4}	13,000	0.30	40	32
2B (Filter Kasar)	23	24	3.6×10^{-3}	3.6×10^{-3}	13,000	0.30	40	35
3A (Batu Kecil)	22	23	1.0	1.0	15,000	0.30	50	38
3B (Batu Besar)	21	22	1.7	1.7	15,000	0.30	50	38
4	21	22	2.0	2.0	15,000	0.30	50	38
Bedrock	24	26	0	0	2×10^{-7}	0.30	200	35

Gambar 4.3. InputData Material Bendungan pada Geostudio Slope/W

Sumber : Simulasi Tugas Akhir

- Memasukkan data beban seismik sesuai dengan perhitungan yang sudah dilakukan, mengacu pada tabel 4.7. Dalam hal simulasi ini, hanya memasukkan beban gempa pada arah horizontal karena jika beban gempa dimasukkan pada arah vertikal maka akan membuat *SafetyFactor* lebih aman atau lebih besar, dan pada lapangan bendungan hanya ditinjau beban arah horizontal saja. Arah vertikal dipakai pada saat ingin mengetahui akibat beban gempa imbas (RIE) yang mana tidak dibahas pada simulasi ini.



- Memasukkan tekanan air pori / pore water pressure sesuai dengan kondisi simulasi pada tabel 4.8 sesuai dengan elevasi muka airnya. Stabilitas sangatlah dipengaruhi oleh estimasi dari tekanan pori air yang akan menyebabkan

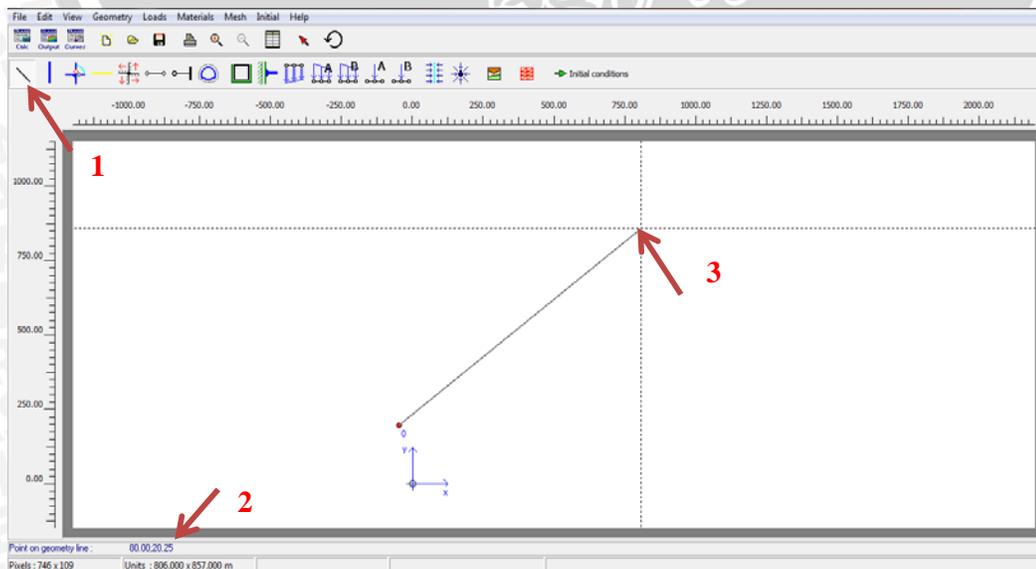
rembesan pada tubuh bendungan. Adapun rembesan tersebut juga dapat membawa butiran-butiran material tubuh bendungan, sehingga tekanan air pori juga mempengaruhi kekuatan tanah dan kekuatan geser tanah. Hal ini membuat tekanan air pori memegang peranan penting dalam perhitungan stabilitas bendungan untuk mencari nilai *Safety Factor*.

Gambar 4.5. *Input* Tekanan Air Pori di Tubuh Bendungan pada *Geostudio Slope/W*

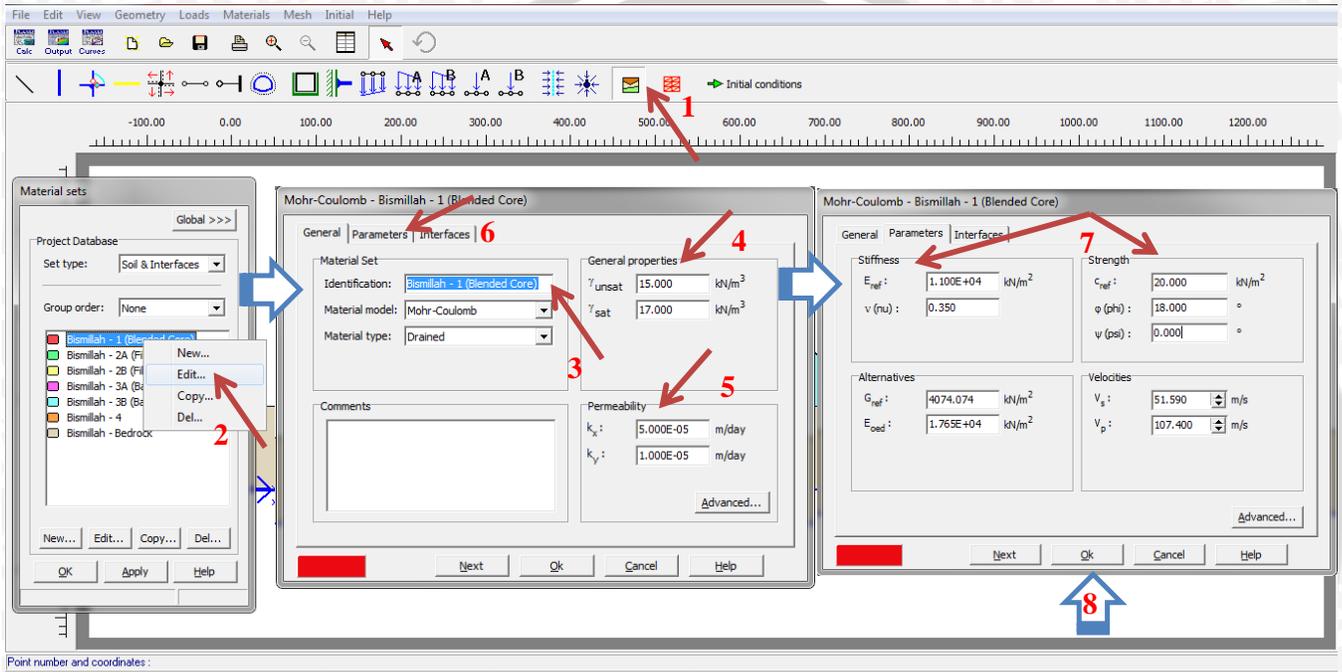
Sumber : *Simulasi Tugas Akhir*

4.3.1.3. *Input Data* pada *Simulasi Program Plaxis 2 Dimensi*

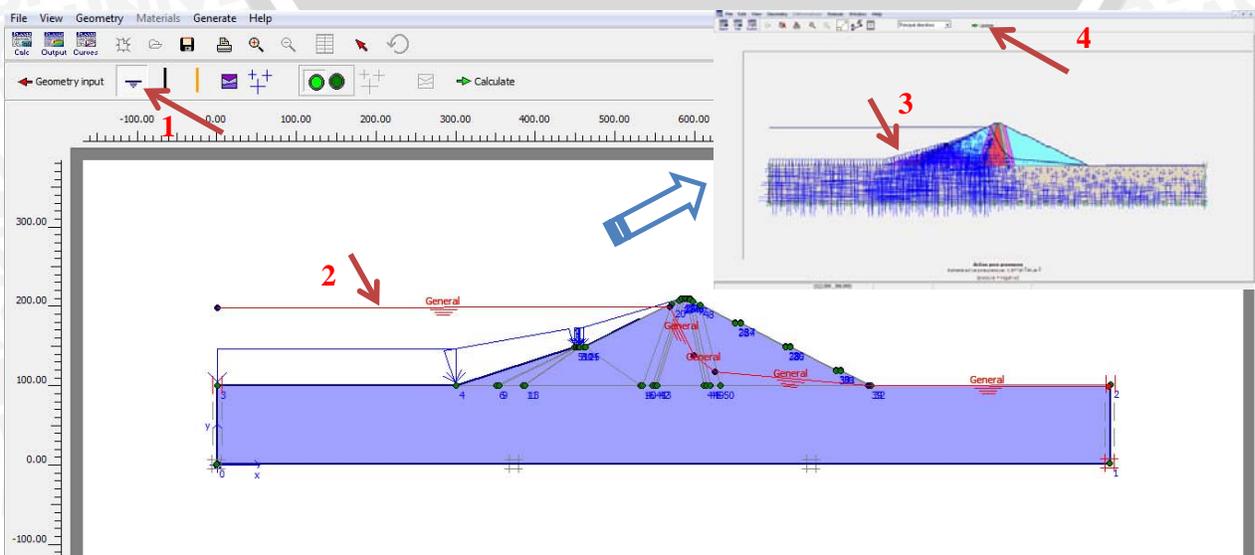
1. Memasukkan koordinat Bendungan Jatigede yang didapatkan dari data *Shop Drawing* Bendungan Jatigede menggunakan Titik Koordinat (XX.XX;YY.YY).



- Memasukkan data material bendungan berdasarkan zona timbunan mengacu pada tabel 4.9, dimana data yang dimasukkan adalah data berat jenis tanah, koefisien permeabilitas, modulus elastisitas, *Poisson's ratio*, kohesi tanah dan ϕ (sudut geser tanah). Data material input pada program ini lebih kompleks dibandingkan pada program *Geostudio Slope/W*. Hal ini disebabkan kebutuhan program ini dalam menghitung simulasi *Displacement* Bendungan Jatigede.



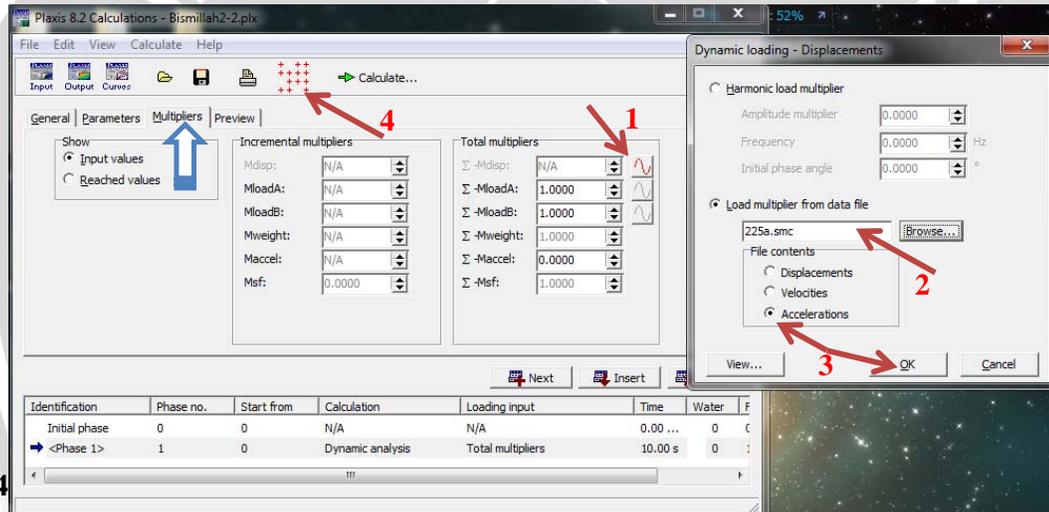
simulasi pada tabel 4.8 sesuai dengan elevasi muka airnya. Dalam program ini kelebihan dibandingkan yang lainnya adalah tumpuan tekanan air pada tubuh bendungan dapat terlihat terpusat dimana dan dengan melihat tumpuan tersebut dapat direncanakan perkuatan pada daerah tersebut. Dalam memasukkan garis tekanan air pori didalam tubuh bendungan, dapat menggunakan program *Geostudio Seep/W* atau dengan menggunakan analisa rembesan sesuai dengan karekteristik rembesan tiap zona timbunan material.



Gambar 4.8. *Input* Tekanan Air Pori di Tubuh Bendungan pada *Plaxis 2D*

Sumber : *Simulasi Tugas Akhir*

- Memasukkan data beban seismik sesuai dengan perhitungan yang sudah dilakukan, mengacu pada tabel 4.7. Adapun dalam memasukkan beban seismik pada program *Plaxis 2D* membutuhkan data spektrum gempa, yang dari koefisien gempa rata-rata dikonversi menjadi data spektrum dalam bentuk *SMC-files (Strong Motion CD)* data ini didapatkan dari *U.S. Geological Survey National Strong-Motion Project*.



4.3.2.1. Proses pada Simulasi Manual Metode *Fellinius*

Proses pada simulasi manual metode *Fellinius* mencakup pada 2 hal yaitu, penggambaran dan perhitungan.

- Pada proses penggambaran untuk metode ini dilakukan sesuai dengan teori penggambaran pada umumnya, yaitu menentukan titik pusat, menggambarkan bidang irisan, lalu mencari keterangan-keterangan dari tiap bidang irisannya tersebut. Setelah didapat setiap keterangan untuk bidang irisan maka bisa dihitung dengan rumus metode *Fellinius*.
- Proses perhitungan dilakukan dengan memasukkan rumus-rumus metode *Fellinius* dengan *Input* sesuai subbab 4.3.1.1, seperti contoh berikut :

Diketahui : - Jumlah dan Nomor Irisan (didapat dari penggambaran)

- Luasan Bidang Irisan (menghitung dengan program *AutoCad*)
- γ , berat jenis tanah (didapat dari tabel 4.9)
- α , Sudut pada irisan (didapat dari penggambaran)
- e , Beban Seismik (didapat dari tabel 4.7 = 0.218)
- u , Tekanan air rata-rata (didapat dari program *Geostudio*)
- b , panjang dasar irisan (didapat dari penggambaran)
- ϕ , sudut geser tanah (didapat dari tabel 4.9)

Proses Perhitungan (dengan mengambil contoh pada irisan bidang 1) :

$$\begin{aligned} \text{➤ } W &= A \times \gamma \\ &= 182.94 \times 2.2 \\ &= 402.47 \text{ t/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } T &= W \times \sin \alpha \\ &= 402.47 \times \sin(55.13) \\ &= 330.22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } N &= W \times \cos \alpha \\ &= 402.47 \times \cos(55.13) \\ &= 230.09 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } N_a &= e \times W \times \cos \alpha \\ &= 0.218 \times 402.47 \times \cos(55.13) \\ &= 71.99 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } U &= \frac{u \times b}{\cos \alpha} \\ &= \frac{25 \times 20.2}{0.57} \\ &= 883.33 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } (N - N_a - U) \times \tan \phi \\ &= (\sum N - \sum N_a - \sum U) \times 0.50 \\ &= (5305.58 - 1117.06 - 3029.65) \times 0.50 \\ &= 584.07 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{➤ } C \times l &= \frac{20 \times 20.2}{0.57} \\ &= 706.66 \end{aligned}$$

$$\text{➤ } F_s = \frac{C \times l + (N - N_a - U) \times \tan \phi}{T + T_e}$$

Tabel 4.10. Perhitungan Simulasi Manual Metode Fellinius

A	W = Ay	α	Sinα	Cosα	T = W sinα	N = W cosα	Na = eW sinα	U = Ub/ Cosα	Φ	TanΦ	(N-Na-U)TanΦ	C.I						
182.94	402.47	55.13	0.82	0.57	330.22	230.09	71.99	883.33				706.56						
744.93	1750.58	50.36	0.77	0.64	1348.12	1116.87	293.89	791.54	26.75	0.50	584.07	633.23						
238.01	2228.41	44.78	0.70	0.71	1569.70	1581.73	342.19	711.47				569.17						
441.85	3027.89	38.29	0.62	0.79	1876.08	2376.90	408.99	643.31				514.65						
461.53	3215.37	30.89	0.51	0.86	1650.77	2758.79	359.87											
409.05	2959.00	22.64	0.39	0.92	1139.21	2730.86	248.35											
406.56	2953.78	13.79	0.24	0.97	704.18	2868.71	153.51											
246.61	2742.53	4.73	0.08	1.00	226.26	2733.21	49.32											
086.64	2390.61	-4.12	-0.07	1.00	-171.65	2382.48	-37.42	0.00	38.00	0.78	13819.98	0.00						
939.86	2067.69	-19.77	-0.34	0.94	-700.32	1945.69	-152.67											
721.66	1587.64	-26.25	-0.44	0.90	-703.48	1422.53	-153.36											
461.46	1015.21	-31.83	-0.53	0.85	-535.01	862.83	-116.63											
162.92	358.42	-36.59	-0.60	0.80	-213.69	287.74	-46.58											
Jumlah											6520.39	23298.42	1421.44	3029.65	64.75	1.29	14404.06	2423.72

$$= \frac{(\sum C x l) + \sum[(N - Na - U) \times \tan \phi]}{(\sum T) + (\sum N x e)}$$

$$= \frac{(6520.39) + (23298.42 \times 0.218)}{(2423.72) + 14404.06}$$

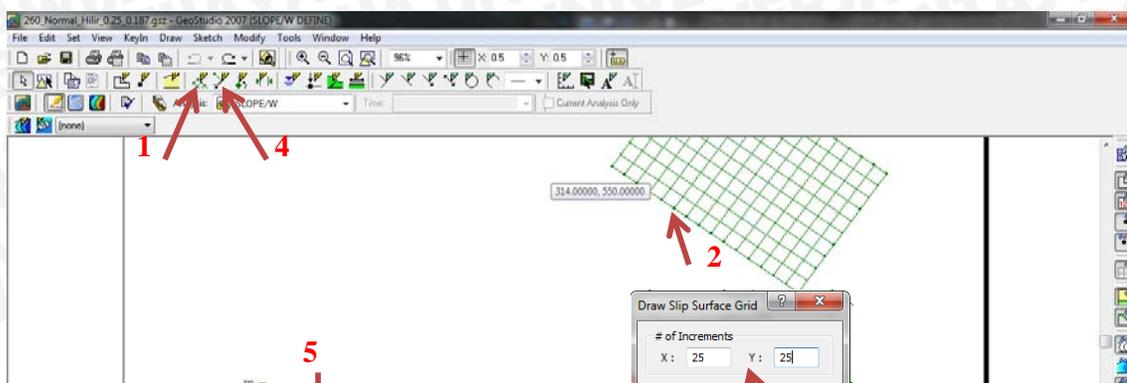
F_s



4.3.2.2. Proses pada Simulasi Program *Geostudio Slope/W*

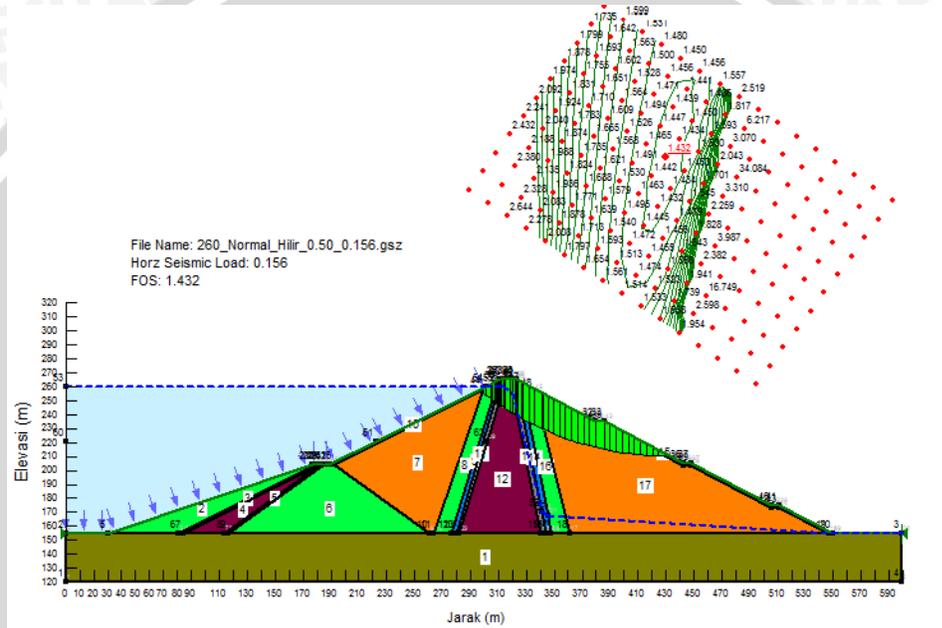
Dalam proses simulasi di program ini menggunakan metode *Limit Equilibrium Method* (LEM) yang menggunakan asumsi dua bidang kelongsoran dengan gaya normal antara irisan tanpa gaya geser antar irisan atau cara ini dikenal dengan nama Metode Bishop (*Simplified Bishop Method*). Berikut merupakan beberapa proses dengan metode Bishop yang digunakan para program *Geostudio Slope/W*.

1. Proses dalam penentuan titik pusat dari lingkaran yang akan menjadi busur bidang gelincir atau bidang irisan yang ada pada tubuh bendungan. Dalam metode ini dipilih metode *Grid and Radius* karena dalam penggunaan metode ini memudahkan untuk mencari titik pusat busur paling kritis dengan total percobaan titik yang sangat banyak. *Grid* adalah jaring-jaring yang akan ditempatkan oleh titik pusat busur lingkaran, sedangkan *Radius* adalah garis terujung yang dapat menentukan panjang terjauh dari diameter busur lingkaran longsor yang akan dibuat. Metode ini dapat menentukan titik diameter tidak lebih dari tubuh bendungan diatas tumpuan bendungan atau *Bedrock* (syarat longsor yang baik adalah tidak melebihi tubuh bendungan). Adapun titik maksimal yang dicoba pada simulasi ini adalah total 3696 titik yang menghasilkan 3696 bidang longsor. Lalu untuk mendapatkan titik ter kritis pun harus melakukan *trial* titik berkali-kali sampai titik yang ditemukan berada pada titik tengah atau terletak di kontur paling tengah (dikelilingi kontur), yang mana ini menunjukkan bahwa tidak ada titik yang lebih kecil / kritis lagi daripada titik yang ditemukan.



Gambar 4.11. Proses Pelatakan *Grid* dan *Radius*

Sumber : Simulasi Tugas Akhir

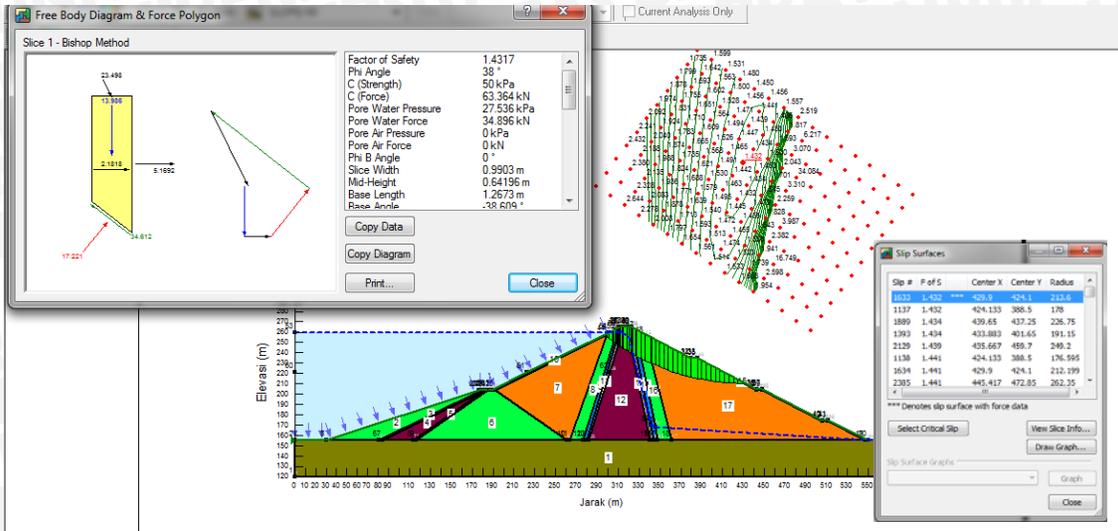


Gambar 4.12. Proses

s Pencarian Titik Kritis dengan Kontur

Sumber : Simulasi Tugas Akhir

- Proses paling terakhir adalah program ini melakukan perhitungan dalam metode *Bishop* kedalam setiap potongan irisan pada total 3696 longsor. Seperti yang terlihat pada gambar 4.13 perhitungan metode *Bishop* dilakukan pada setiap irisan untuk dicari *Safety Factor* yang paling kritis / paling kecil. Lalu dapat dilihat juga jumlah ataupun alternatif longsor lainnya yang bisa dipilih, karena terkadang jika menggunakan metode lain selain *Grid and Radius* ada hasil *Safety Factor* paling kritis namun melebihi tubuh bendungan dan kurang relevan dengan teori.



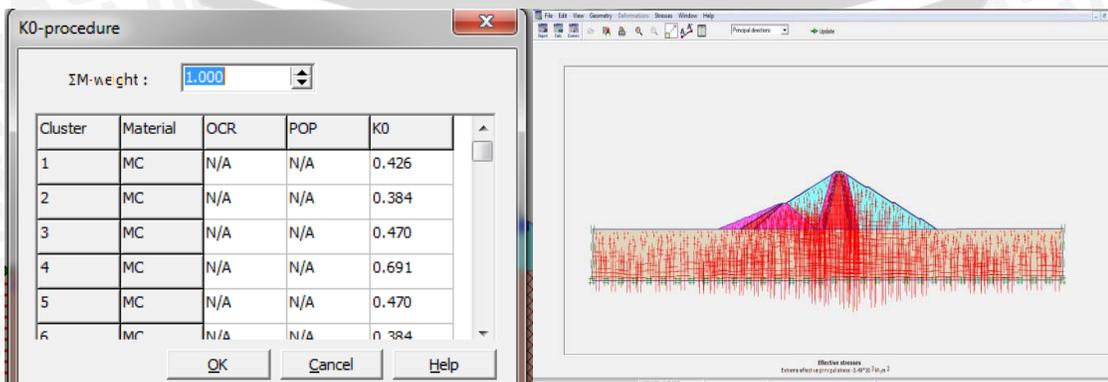
Gambar 4.13. Proses Akhir Pemilihan *Safety Factor*

Sumber : Simulasi Tugas Akhir

4.3.2.3. Proses pada Simulasi Program *Plaxis 2D*

Dalam proses simulasi di program ini menggunakan metode *Finite Element Method* (FEM) dimana metode ini memperhitungkan keruntuhan tanah (diilustrasikan dengan diagram keruntuhan Mohr) dan metode ini biasa disebut "*Phi-c reduction*" pada program. Adapun nilai *Safety Factor* nya didapatkan dengan cara mengurangi nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah secara bertahap hingga tanah mengalami keruntuhan. Berikut merupakan beberapa proses dalam simulasi perhitungan menggunakan program *Plaxis 2D*.

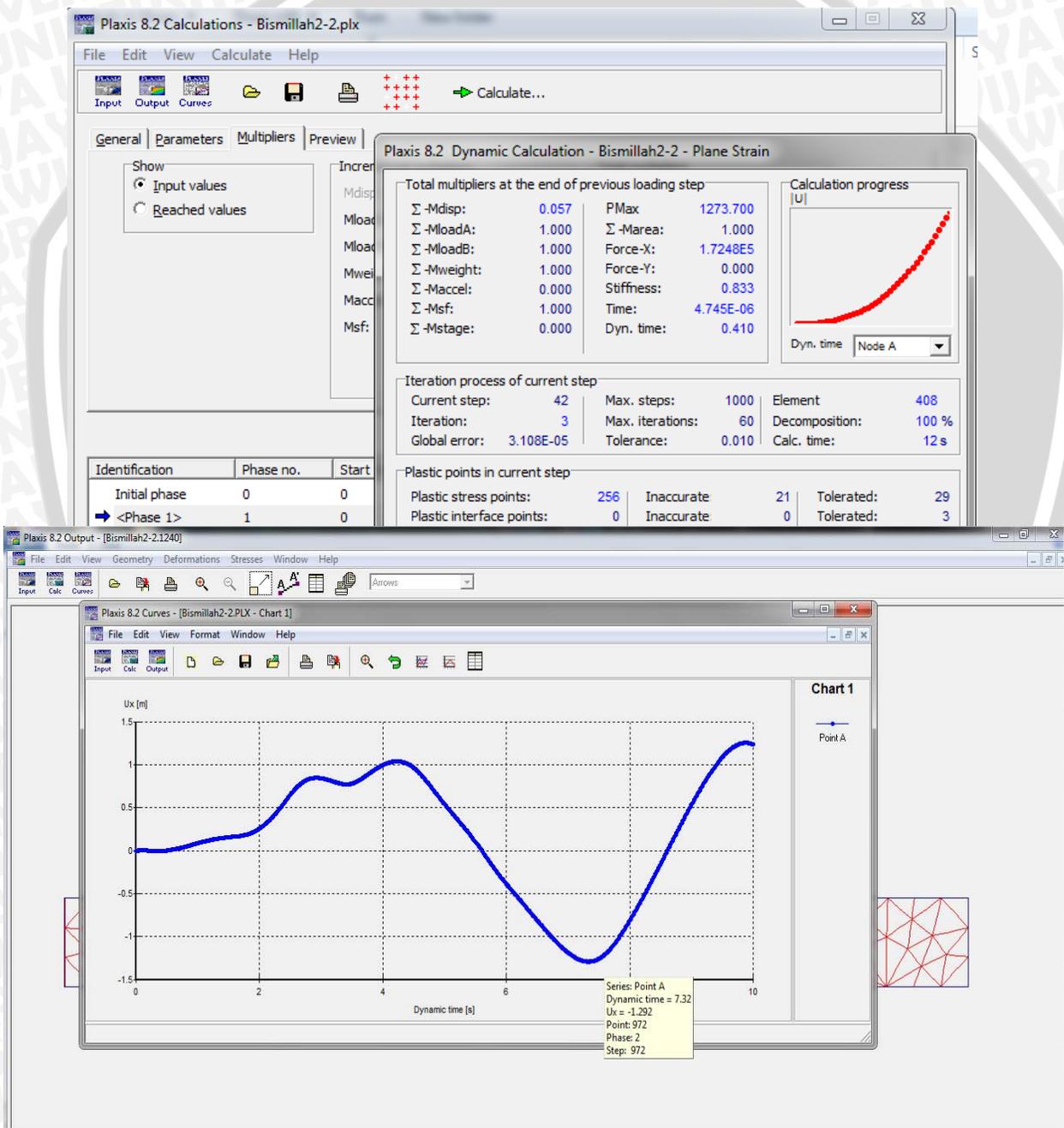
1. Proses untuk mengetahui tegangan tanah awal atau *Initial Soil Stresses* yang terjadi pada bendungan. Tegangan tanah ini belum dipengaruhi oleh beban-beban eksternal dan berat dari elemen struktur, hanya dipengaruhi oleh berat material sendiri, yang dinyatakan dengan tegangan vertikal efektif awal dan tegangan horisontal efektif awal. Adapun dari proses ini kita bisa mengetahui nilai K_0 . Dengan memasukkan $\Sigma Mweight 1.0$ berarti simulasi akan berimplikasi bahwa berat tanah secara penuh akan diaplikasikan.



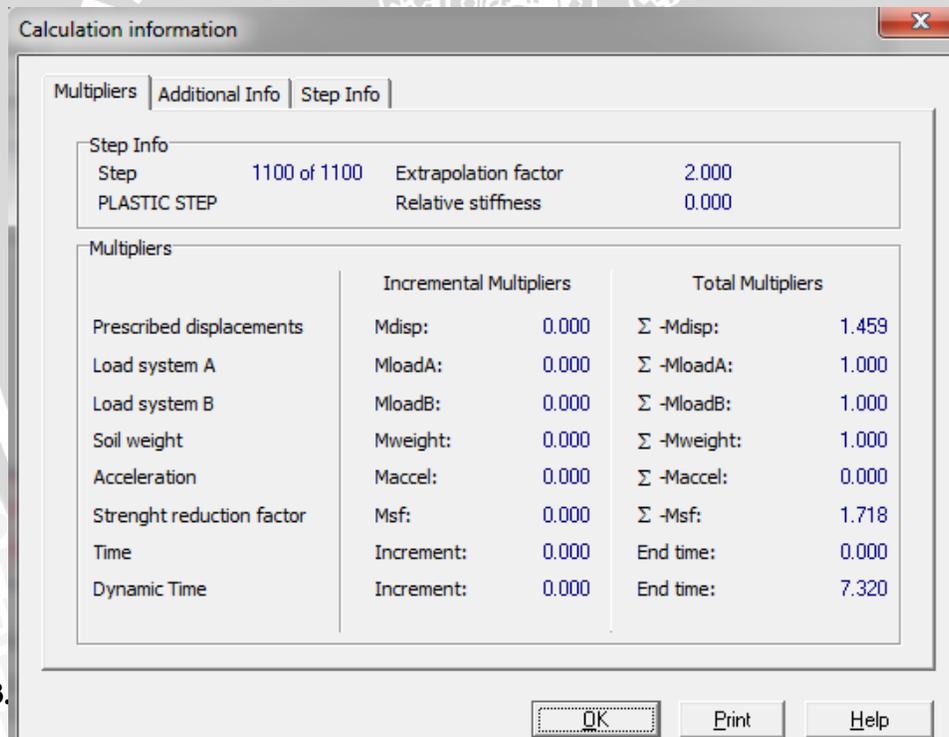
Gambar 4.14. Proses Penentuan Tegangan Tanah Awal

Sumber : Simulasi Tugas Akhir

2. Kurva beban perpindahan merupakan kurva yang menampilkan status geometri (antara elastis penuh dan keruntuhan) dengan perpindahan dari titik pertama yang dipilih digambarkan terhadap faktor pengali total dari sistem beban yang diaktifkan. Adapun dipengaruhi oleh beberapa hal berikut, jumlah langkah dan iterasi, titik tegangan plastis, titik tegangan tarik dan titik puncak.



Mohr-Coulomb standar karena sifat kekakuan yang tergantung dari tegangan dan sifat perkerasan tidak ikut dihitung. Kekakuan yang dihitung ialah kekakuan pada tahap awal perhitungan yang bernilai konstan hingga tahapan selesai. Dimana faktor pengali pada reduksi Φ -c merupakan penentu untuk mengetahui faktor keamanan bendungan. Faktor pengali total $\sum Msf$ didefinisikan sebagai hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap parameter kekuatan yang telah direduksi. Pendekatan reduksi Φ -c pada dasarnya menyerupai metode perhitungan faktor keamanan konvensional yang digunakan dalam analisis lingkaran gelincir.



4.3.

Dengan menggunakan data Bendungan Jatigede dan data seismik di lokasi, hasil dari simulasi manual dengan metode *Fellinius*, simulasi program *Geostudio Slope/w* dan simulasi program *Plaxis 2* dimensi adalah sebagai berikut

Tabel 4.11. Hasil *Safety Factor* dengan Simulasi Manual Metode *Fellinius*

T = 100 tahun
0.129 g
Y/H = 1.00

Faktor Keamanan (S.F.)
1.451

Tabel 4.12. Hasil *Safety Factor* dengan Simulasi *Geostudio Slope/W* untuk T = 100 tahun

No	Kondisi	Koefisien Gempa	Faktor Keamanan (S.F.)			
			Y/H = 0.25	Y/H = 0.50	Y/H = 0.75	Y/H = 1
			0.187 g	0.156 g	0.142 g	0.129 g
1	Waduk Kosong Hilir		1.586	1.445	1.386	1.361
2	Waduk Kosong Hulu		1.637	1.425	1.440	1.463
3	M. A. Intermediate, El. +247.00 m Hilir		1.583	1.447	1.385	1.361
4	M. A. Intermediate, El. +247.00 m Hulu		1.478	1.278	1.279	1.271
5	M. A. Normal, El. + 260.00 m Hilir		1.590	1.432	1.363	1.339
6	M. A. Normal, El. + 260.00 m Hulu		1.559	1.320	1.323	1.309
7	M. A. Banjir, El. + 262.00 m Hilir		1.551	1.416	1.352	1.330
8	M. A. Banjir, El. + 262.00 m Hulu		1.597	1.348	1.349	1.319
9	M. A. Surut Cepat dari El. +260 ke +221 Hilir		1.587	1.437	1.378	1.356
10	M. A. Surut Cepat dari El. +260 ke +221 Hulu		1.582	1.323	1.222	1.214

Tabel 4.13. Hasil *Safety Factor* dengan Simulasi *Geostudio Slope/W* untuk T = 10.000 tahun

No	Kondisi	Koefisien Gempa	Faktor Keamanan (S.F.)			
			Y/H = 0.25	Y/H = 0.50	Y/H = 0.75	Y/H = 1
			0.318 g	0.265 g	0.242 g	0.218 g
1	Waduk Kosong Hilir		1.262	1.184	1.147	1.144
2	Waduk Kosong Hulu		1.283	1.171	1.189	1.210
3	M. A. Intermediate, El. +247.00 m Hilir		1.264	1.185	1.145	1.142
4	M. A. Intermediate, El. +247.00 m Hulu		1.159	0.985	0.980	0.975
5	M. A. Normal, El. + 260.00 m Hilir		1.249	1.156	1.114	1.114
6	M. A. Normal, El. + 260.00 m Hulu		1.151	0.994	0.993	0.990
7	M. A. Banjir, El. + 262.00 m Hilir		1.225	1.141	1.105	1.108
8	M. A. Banjir, El. + 262.00 m Hulu		1.176	1.008	1.008	0.998
9	M. A. Surut Cepat dari El. +260 ke +221 Hilir		1.259	1.174	1.137	1.137
10	M. A. Surut Cepat dari El. +260 ke +221 Hulu		1.253	1.066	0.970	0.953

Tabel 4.14. Hasil *Safety Factor* dengan Simulasi *Plaxis 2D* untuk T = 100tahun

No	Kondisi	Koefisien	Faktor Keamanan (S.F.)
			Y/H = 1
			0.129 g
1	Waduk Kosong		1.714
2	M. A. Intermediate, El. +247.00 m		1.650
3	M. A. Nomal, El. + 260.00 m		1.720
4	M. A. Banjir, El. + 262.00 m		1.722

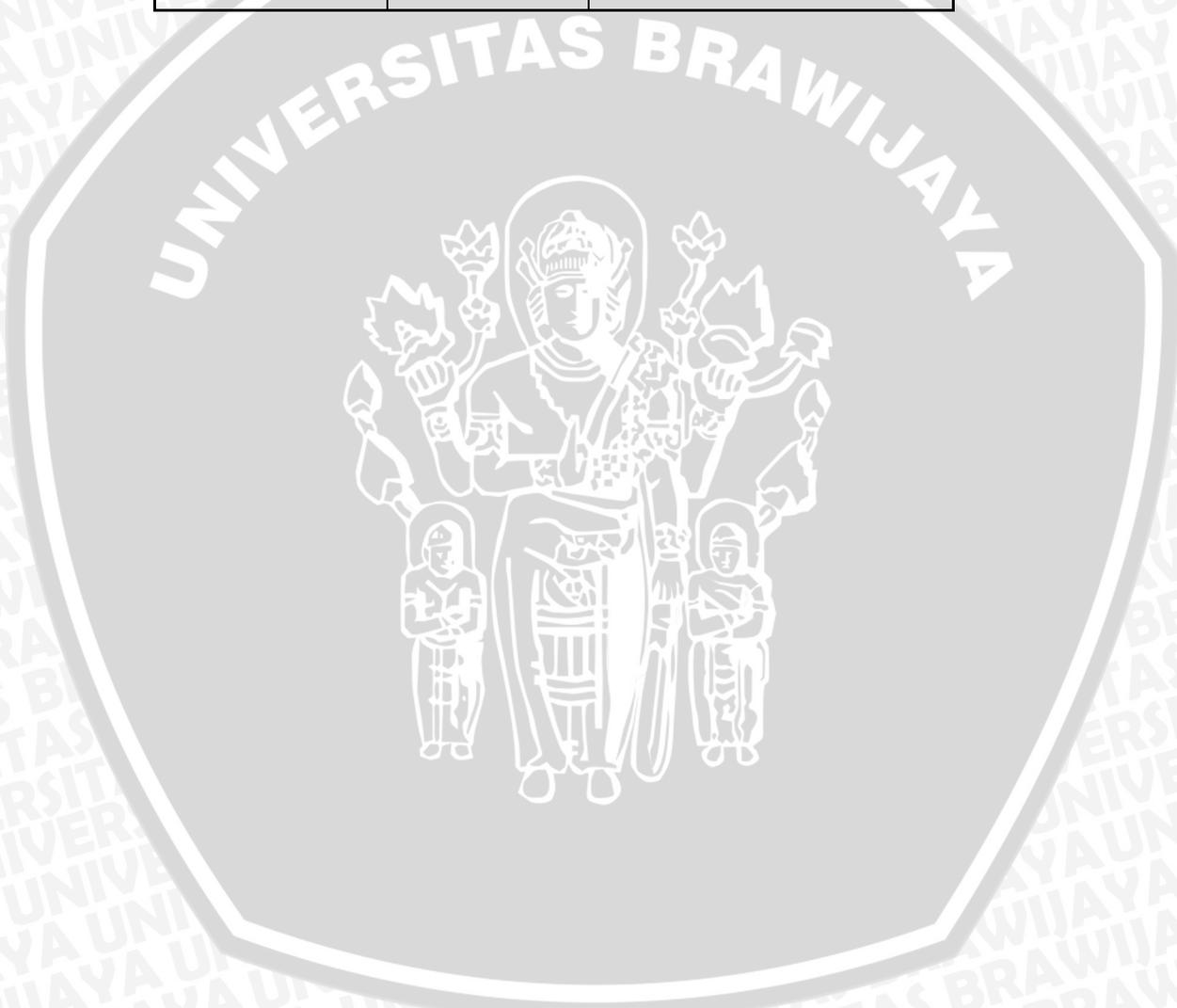
Tabel 4.15. Hasil *Safety Factor* dengan Simulasi *Plaxis 2D* untuk T = 10.000 tahun

No	Kondisi	Koefisien	Faktor Keamanan (S.F.)
			Y/H = 1
			0.218 g
1	Waduk Kosong		1.713
2	M. A. Intermediate, El. +247.00 m		1.649
3	M. A. Nomal, El. + 260.00 m		1.714
4	M. A. Banjir, El. + 262.00 m		1.710

Contoh perbandingan yang dapat disejajarkan dari ketiga simulasi adalah pada kondisi T = 100 tahun, dengan besaran gempa 0.129g, pada ketinggian gempa Y/H = 1.0 dan dalam keadaan waduk kosong adalah sebagai berikut

Tabel 4.16. Hasil Perbandingan *Safety Factor*

Simulasi	Faktor Keamanan	Metode
Manual (Fellinius)	1.451	LEM (Limit Equilibrium Method)
Geostudio Slope/W	1.463	LEM (Limit Equilibrium Method)
Plaxis 2D	1.714	FEM (Finite Element Method)



BAB V

KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Dalam analisis yang telah dilakukan pada kestabilan lereng Bendungan Jatigede dengan parameter gempa termodifikasi dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Gambar Potongan Bendungan Jatigede yang disimulasikan dengan ketiga simulasi terlampirkan pada lampiran *Geoslope* dan lampiran *Plaxis*, adapun cakupan dalam yang dimuat pada gambar potongan tersebut adalah :
 - a. Setiap kondisi yang diperlukan untuk analisis stabilitas (Waduk kosong, muka air Normal, *Intermediate*, Banjir dan Surut cepat)
 - b. Dua kondisi gempa yang diterapkan pada tubuh bendungan (*OBE100* tahunan *MDE10,000* tahun)
 - c. Garis rembesan air yang melewati material tubuh bendungan, dan
 - d. Lokasi daerah longsor pada tubuh bendungan maupun deformasi yang terjadi pada tubuh bendungan
2. Nilai faktor keamanan Bendungan Jatigede adalah :

Tabel 5.1. Nilai Faktor Keamanan Bendungan Jatigede

Simulasi	Faktor Keamanan	Standart Keamanan	Metode	Kesimpulan
Manual (Fellinius)	1.451	FK > 1	<i>LEM (Limit Equilibrium Method)</i>	Stabilitas Aman
Geostudio Slope/W	0.975 – 1.637	FK > 1	<i>LEM (Limit Equilibrium Method)</i>	Stabilitas tidak aman pada kondisi tertentu
Plaxis 2D	1.649 – 1.722	FK > 1	<i>FEM (Finite Element Method)</i>	Stabilitas Aman

Adapun hasil nilai faktor keamanan yang lebih lengkap dengan rincian per-kondisi simulasi dapat dilihat di bab. IV pada tabel 4.12 sampai tabel 4.16.

3. Pada ketiga simulasi, faktor keamanan menunjukkan bahwa Bendungan Jatigede kestabilan tubuhnya aman terhadap gempa dengan parameter termodifikasi, kecuali pada simulasi *GeoStudio Slope/W MDE Method* pada kondisi *intermediate* hilir, kondisi muka air normal hilir dan muka air surut cepat hulu yang menghasilkan nilai faktor keamanan kurang dari satu ($FK < 1$).

5.2. Saran

Adapun saran dalam analisis stabilitas Bendungan Jatigede dengan parameter gempa termodifikasi adalah sebagai berikut :

1. Tidak menggunakan Program Plaxis 2D untuk menghitung nilai faktor keamanan bendungan dengan metode parameter gempa termodifikasi, karena program ini tidak bisa menghitung deformasi tubuh bendungan terhadap fungsi ketinggian gempa Y/H , dikarenakan simulasi pada plaxis tidak bisa dibagi pada ketinggian mana yang akan ditinjau, hanya mensimulasikan terhadap seluruh tubuh bendungan atau kondisi $Y/H = 1$
2. Pemasangan Instrumentasi gempa yang lengkap dengan menggunakan *Akselograph* dan *Seismograph*
3. Melakukan simulasi atau perhitungan lanjut dengan menggunakan metode *Newmark* atau *Makdisi-Seed*



DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2013. *Laporan Penjelasan Pelaksanaan Konstruksi Bendungan Bajulmati Di*

Kabupaten Banyuwangi Dan Situbondo. Malang : PT. Indra Karya.

Balai Keamanan Bendungan, Dirjen Air, Dept. PU. 2003. *Pedoman Kajian Keamanan*

Bendungan. Jakarta.

Brinkgreve, R.B.J., dkk. 2007. *PedomanPlaxis82_Indonesian_Informasi Umum*. Belanda :

Microsoft Corp.

Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2004. *Pedoman Analisis Stabilitas*

Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa (Pd T-14-2004-A). Jakarta.

GEO-SLOPE International Ltd. 2008. *Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version Third Edition*. Canada.

ICOLD. 1987. *DAM SECURITY Guidelines*. Paris : CIGB ICOLD Bulletin 59.

ICOLD. 2005. *DAM FOUNDATIONS "Geologic considerations. Investigation methods.*

Treatments. Monitoring". Paris : CIGB ICOLD Bulletin 129.

JIID. 1988. *Engineering Manual for Irrigation and Drainage No.3 FILL DAM. The Japanese Institute of Irrigation and Drainage.*

Novak, P., dkk. 2004. *HYDRAULIC STRUCTURES Third Edition*. New York : Spon Press.

Sarwono, Sukardi., dkk. *PENGELOLAAN SUNGAI DI INDONESIA*. Indonesia : Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.

Sichuan Water Resources And Hydroelectric Investigation And Design Institute. 2010.

Study Report On Dam Filling Material Of Jatigede Dam Project. Jakarta : Government of

The Republic Of Indonesia Ministry Of Public Works Directorate General Of Water
Resource

Soemarto, C. D. *Bendungan Serta Bangunan Air Pembantu Lainnya.*

Soedibyo. 1993. *Teknik Bendungan.* Jakarta: Pradnya Paramita.

Sosrodarsono, Suyono dan Kensaku Takeda. 1989. *Bendungan Type Urugan.*

Jakarta:

Pradnya Paramita

Zainuddin. 2008. *PENYELIDIKAN GEOTEKNIK Pelatihan Perencanaan Bendungan.*

Jakarta : Balai Bendungan.

Liong, GOUW Tjie dan Dave Juven George Herman. *ANALISA STABILITAS LERENG LIMIT EQUILIBRIUM vs FINITE ELEMENT METHOD.* Universitas Bina Nusantara.



DAFTAR ISTILAH DAN DEFINISI

1. **Beban gempa** ialah beban atau gaya inersia yang timbul sebagai akibat adanya guncangan gempa di permukaan tanah.
2. **Gempa bumi tektonik** ialah gempa yang terjadi jika kekuatan geser batuan (batuan tanah) tidak dapat lagi menahan tegangan, yang meningkat secara perlahan-lahan dalam suatu lempeng tektonik atau pada sesaran aktif.
3. **Intensitas gempa** ialah suatu angka yang menunjukkan pengaruh kehebatan suatu gempa bumi terhadap bangunan buatan manusia di atas permukaan tanah, sehingga merupakan suatu bentuk kualitatif dari besar guncangan dan kerusakan di suatu tempat tertentu.
4. **Fokus gempa (hiposentrum)** ialah titik pada sesaran atau lempeng tektonik ketika patahan mulai terjadi.
5. **Episentrum** ialah titik di permukaan bumi yang tepat di atas fokus gempa.
6. **Gempa bolehjadi maksimum (*Maximum Credible Earthquake, MCE*)** ialah gempa terbesar yang dapat atau mungkin terjadi sepanjang sesaran atau di daerah subduksi yang ditentukan secara geografis dan telah diketahui atau diperkirakan sebelumnya. Gempa ini merupakan batas atas dari besaran gempa atau pada kasus khusus sebagai batas atas dari intensitas *Modified Mercally*. Kejadiannya bervariasi antara periode ulang 100 tahun sampai dengan puluhan ribu tahun. Setiap sesaran aktif di daerah geologi regional atau geologi lokal akan terkait dengan suatu gempa maksimum bolehjadi. Jika ditinjau secara geologi penentuan besaran gempa maksimum bolehjadi sangat penting jika dibandingkan dengan kejadian gempa pendek dengan sistem pendekatan *Paleoseismisiti* dan sangat berguna untuk memperkirakan perilaku sesaran aktif tertentu untuk jangka panjang.
7. **Gempa bolehjadi maksimum penentu (*Controlling maximum credible earthquake, CMCE*)** ialah gempa maksimum bolehjadi paling kritis yang dapat mempengaruhi suatu lokasi studi. *CMCE* ini ditentukan sesudah diperkirakan besarnya gempa maksimum bolehjadi yang terjadi sepanjang sesaran atau di daerah tektonik terdekat dengan daerah studi. Untuk daerah tektonik dengan laju aktivitas yang rendah dan tanda identifikasi yang kurang nyata, konsep *CMCE* merupakan gempa maksimum bolehjadi yang menjadi signifikan di daerah studi. Evaluasi untuk kondisi ini sebaiknya dilakukan dengan cara probabilistik bencana gempa.
8. **Gempa desain maksimum (*Maximum design earthquake, MDE*)** ialah gempa yang memberikan guncangan terbesar di lokasi studi yang akan digunakan untuk desain atau analisis. Untuk bendungan yang keruntuhannya akan mengancam kehidupan, gempa desain maksimum sebaiknya diambil pada batas yang sama dengan *CMCE*, untuk mempertahankan kapasitas pengisian waduk. Jika keruntuhan bendungan tidak mengancam kehidupan, dapat diambil gempa yang lebih kecil dari *CMCE* sebagai *MDE*.
9. **Gempa dasar operasi (*Operating basis earthquake, OBE*)** ialah gempa dengan batasan guncangan di permukaan tanah pada lokasi studi dengan 50% kemungkinan tidak terlampau dalam 100 tahun, yang sebaiknya ditentukan secara probabilistik. Bendungan dan bangunan pelengkap serta peralatannya harus tetap berfungsi dengan baik dan mudah diperbaikannya jika terjadi gempa dasar operasi, tetapi tanpa memperhitungkan tinjauan keamanan terhadap kehidupan manusia.
10. **Proses likuifaksi (*liquefaction*)** ialah proses meningkatnya tekanan air pori dalam bahan pasiran (tanah lanau pasiran atau pasir lanauan) sehingga kekuatan gesernya mengalami penurunan.

11. **Gempa imbas (*Reservoir induced earthquake, RIE*)** ialah gempa bumi yang terjadi akibat pengisian waduk yang memberikan tingkat guncangan permukaan maksimum di lokasi bendungan. Pengaruh gempa imbas hanya dipertimbangkan pada bendungan yang lebih tinggi dari 100 m atau waduk yang sangat besar dengan kapasitas lebih dari 10^9 m³ dan pada bendungan baru dengan ukuran lebih kecil di daerah yang sensitif terhadap pergerakan tektonik. Meskipun terdapat banyak perbedaan pendapat mengenai gempa imbas pada waduk, *RIE* harus tetap dipertimbangkan untuk menentukan beban gempa pada bendungan tinggi dengan waduk yang mengandung sesaran aktif di daerah hidrauliknya. Meskipun sesaran di daerah waduk tidak aktif terhadap tektonik, tetapi gempa imbas tidak boleh diabaikan, jika geologi lokal ataupun regional serta kegempaan bersifat signifikan. Besaran gempa imbas ditentukan berdasarkan *MCE* dan *OBE*, lokasi bendungan, dan kondisi seismotektonik sehingga gempa imbas dapat menjadi lebih kecil atau sama, ataupun lebih besar dari *OBE*, atau sama dengan *MDE*.
12. **Bangunan pelengkap** ialah fasilitas yang dibangun pada suatu bendungan yang berkemampuan untuk mengambil dan mengeluarkan air, antara lain, bangunan pelimpah untuk menjaga keamanan bendungan, bangunan pengeluaran untuk memenuhi fungsi bendungan, bangunan pengeluaran untuk pemeliharaan aliran di bagian hilir, serta bangunan pengeluaran untuk inspeksi, perbaikan, operasi dan pemeliharaan.
13. **Jarak episentrum** ialah jarak horisontal dari suatu lokasi bangunan terhadap episentrum gempa.
14. **Jarak hiposentrum** ialah jarak dari suatu tempat terhadap fokus gempa.
15. **Risiko gempa** ialah peluang terjadinya gempa dengan besaran gempa (percepatan, kecepatan, dan lama guncangan) serta kebesaran gempa pada periode ulang rata-rata tertentu selama masa guna bangunan yang dinyatakan dengan RN.
16. **Masa guna bangunan** ialah umur teknis suatu bangunan yang secara struktural masih dapat berfungsi dengan baik dan aman.
17. **Seismograph**: alat untuk merekam pergerakan tanah terhadap gempa bumi. Alat ini sangat sensitif dan dengan mudah akan mendeteksi pergerakan dalam jarak yang dekat dengan level pergerakan tanah yang kecil.
18. **Accelerograph**: alat ini mengukur kecepatan yang terjadi pada tanah. Alat ini tidak lebih sensitif daripada *seismograph*, namun dapat mengukur pergerakan tanah dengan jarak yang lebih luas. Alat ini lebih bagus untuk mengukur pergerakan tanah yang kuat yang dapat menimbulkan kerusakan pada daerah yang terjadi.
19. **Kestajikan**: Keamanan / kestabilan
20. **Simplifikasi**: penyederhanaan
21. **Erosi** : adalah peristiwa pengikisan padatan (sedimen, [tanah](#), batuan, dan partikel lainnya) akibat transportasi [angin](#), [air](#) atau es, karakteristik [hujan](#), [creep](#) padatan dan material lain di bawah pengaruh gravitasi, atau oleh makhluk hidup semisal hewan yang membuat liang, dalam hal ini disebut [bio-erosi](#). Erosi tidak sama dengan pelapukan akibat cuaca, yang mana merupakan proses penghancuran mineral batuan dengan proses kimiawi maupun fisik, atau gabungan keduanya.
22. **Ebatmen** adalah bagian dari tumpuan kedua ujung bendungan
23. **Derajat kejenuhan** adalah perbandingan volume air (V_w) dengan volume total rongga pori tanah (V_v). Biasanya dinyatakan dalam persen.
24. **Lanau** adalah tanah atau butiran penyusutan tanah/batuan yang berukuran di antara [pasir](#) dan [lempung](#). Beberapa pustaka berbahasa Indonesia

menyebut objek ini sebagai **idebu**. Lina dapat membentuk **endapan** yang mengapung di permukaan **air** maupun yang tenggelam.

25. **Bangunan sadap** adalah bangunan bagi yang mempunyai pintu sadap ke petak tersier
26. **Bangunan silang** adalah bangunan yang membawa air buangan atau hujan dari Saluran atas ke saluran bawah melalui suatu hambatan alam misalnya sungai, jalan, dll. Saluran ini pada umumnya melintas pada bawah saluran.
27. **Periode ulang** adalah waktu hipotetik dimana hujan dengan suatu besaran tertentu ukandis amaia taudilampai.
28. **Fungsi tenuityasi** adalah suatu fungsi yang menggambarkan korelasi antara intensitas (i) gerak tanah setempat, magnitudo (M) dan jarak (R) dari sumber titik dalam daerah sumber gempa.
Memperkirakan fungsi tenuityasi untuk gerak tanah akibat gempa telah menjadi subjek yang menarik dalam penelitian bidang kegempaan. Fungsi tenuityasi merupakan alat yang penting dalam mengaplikasikan resiko kegempaan dalam perencanaan bangunan tanah gempa.
29. **Alluvium** adalah sejenis tanah liat, halus dan dapat menampung air hujan yang tergenang. Dengan demikian, pada sawah sangat sesuai ditanam di tanah jenis alluvium. Tanah alluvium biasanya terdapat di tebing sungai, delta sungai dan dataran yang tergenang banjir. Banjir yang melimpahkan menimbulkan endapan tanah alluvium di tepi sungai.
30. **Stokastik** adalah **model matematika** dimana gejala-gejala dapat diukur dengan derajat kepastian yang tidak stabil. Pada Model Stokastik disebut juga model probabilitistik peluang dari masing-masing kejadian benar-benar di hitung, menyusun sebuah model stokastik cenderung lebih sulit dari model deterministik. Kaidah-kaidah peluang adalah alat matematika yang cukup vital dalam menyusun model stokastik.