



LEMBAR PERSETUJUAN

TUGAS AKHIR

EVALUASI STABILITAS *MAINDAM* BENDUNGAN JRAGUNG *PRA-IMPOUNDING* MENGGUNAKAN *FINITE ELEMENT* *METHOD* YANG TERKALIBRASI INSTRUMENTASI BENDUNGAN

Telah disetujui oleh pembimbing untuk dilaksanakan ujian

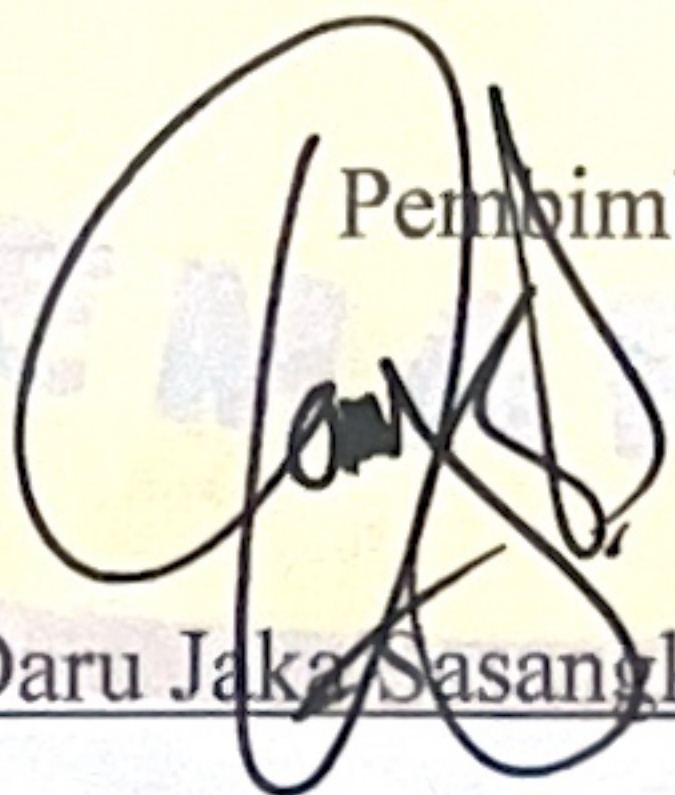
1. Gavin Adneey Roluris
NIM. 231042

2. Dinggatanta
NIM. 231046

Program Studi Teknologi Konstruksi Bangunan Air

Semarang, 31 Juli 2026

Pembimbing


Daru Jaka Sasangka, ST, M.Eng

NIP 198808182014021001

**PROGRAM STUDI
TEKNOLOGI KONSTUKSI BANGUNAN AIR
POLITEKNIK PEKERJAAN UMUM
TAHUN 2026**

**EVALUASI STABILITAS MAINDAM BENDUNGAN
JRAGUNG PRA-IMPOUNDING MENGGUNAKAN FINITE
ELEMENT METHOD YANG TERKALBRASI
INSTRUMENTASI BENDUNGAN**

**Tugas Akhir disusun untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh
Gelar Ahli Madya Teknik (A.Md.T)
Politeknik Pekerjaan Umum Semarang**

Oleh :

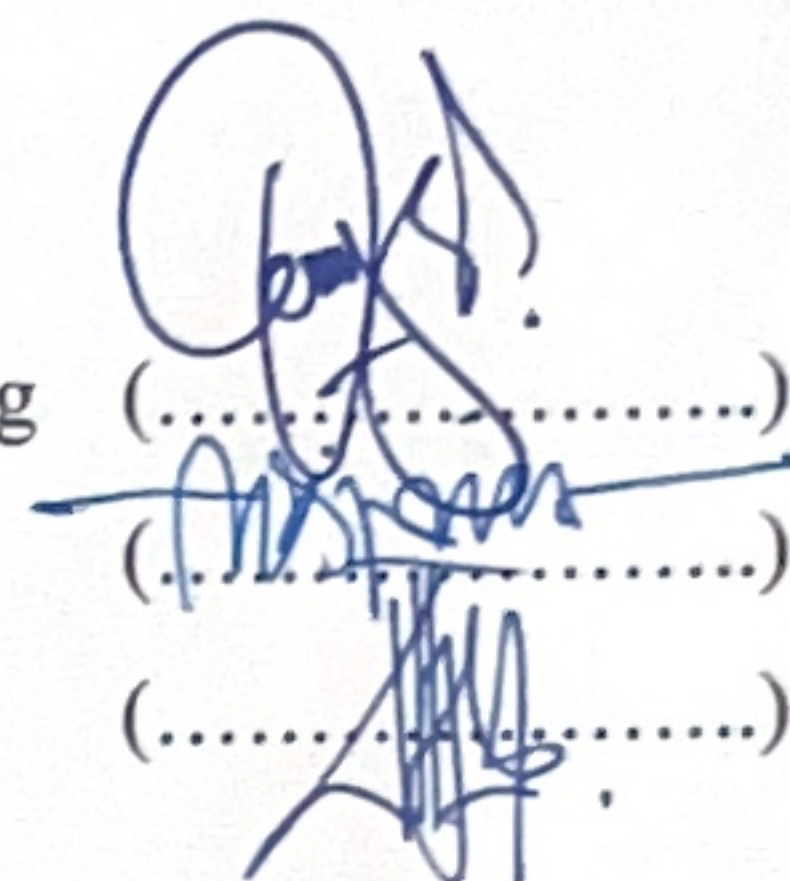
1. Gavin Adneey Roluris
NIM. 231042

2. Dinggatanta
NIM. 231046

Tanggal Ujian : 31 Juli 2026

Menyetujui,

Ketua Penguji	:	Daru Jaka Sasangka, ST, M.Eng	(.....)
Penguji 1	:	Andi Patiroi, ST, M.Eng.	(.....)
Penguji 2	:	Pranu Arisanto, ST, MT	(.....)

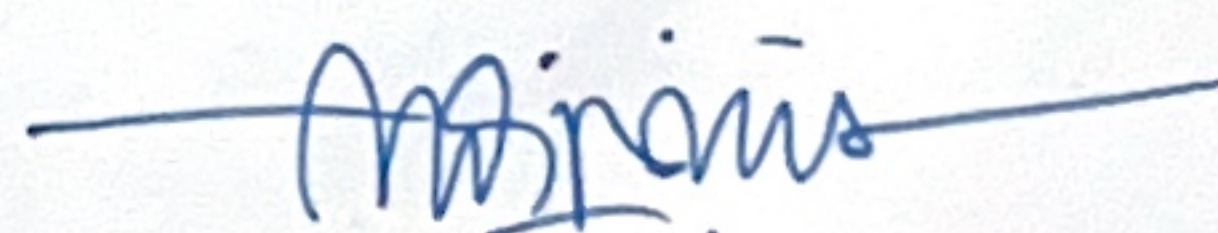


Mengesahkan,
Direktur Politeknik Pekerjaan Umum



Ir. Brawijaya, S.E., M.Eng.I.E, MSCE, Ph.D.,
IPU. ASEAN.Eng.
NIP. 196606101995021001

Mengetahui,
Ka Prodi Teknologi
Konstruksi Bangunan Air



Andi Patiroi, ST, M.Eng.
NIP. 198410142010121004

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa 1 / NIM : Gavin Adneey Roluris / 231042

Nama Mahasiswa 2 / NIM : Dinggatanta / 231046

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang berjudul “Evaluasi Stabilitas Maindam Bendungan Jragung Pra-*Impounding* Menggunakan *Finite Element Method* Yang Terkalibrasi Instrumentasi Bendungan” ini adalah benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi mana pun, serta bukan karya jiplakan/plagiat. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Semarang, 14 Agustus 2026

Yang menyatakan,



Gavin Adneey Roluris
NIM. 231042



Dinggatanta
NIM. 231046

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya, sehingga Tugas Akhir berjudul “Evaluasi Stabilitas Maindam Bendungan Jragung *Pra-impounding* Menggunakan *Finite Element Method* yang Terkalibrasi Instrumentasi Bendungan” dapat diselesaikan dengan baik. Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan pada program studi Teknologi Konstruksi Bangunan Air, Politeknik Pekerjaan Umum.

Dalam penyusunannya, penulis menghadapi berbagai tantangan, mulai dari pengujian mekanis tanah *Triaxial Consolidated Undrained (CU)* di laboratorium yang membutuhkan beberapa kali percobaan akibat kendala teknis, hingga proses kalibrasi pemodelan 2D finite element yang memakan waktu lama. Namun, berkat bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak, hambatan tersebut dapat dilewati dengan baik. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Daru Jaka Sasangka, ST, M.Eng, selaku Dosen Pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan ilmu, kesabaran, serta arahan berharga dari awal pengerjaan hingga selesai.
2. Direktur, seluruh dosen, dan staf pengajar Politeknik Pekerjaan Umum, khususnya program studi Teknologi Konstruksi Bangunan Air, atas bekal ilmu yang telah diberikan.
3. Kedua orang tua tercinta dan keluarga besar, atas doa yang tiada putus, kasih sayang, serta motivasi terbesar bagi penulis untuk menyelesaikan studi.
4. Pihak Manajemen dan Seluruh Tim Proyek Bendungan Jragung Paket 5, yang telah memberikan izin, memfasilitasi data instrumentasi, serta memberikan arahan teknis yang sangat membantu penulis di lapangan.
5. Tim Laboratorium Mekanika Tanah, atas bantuan, kerja sama, dan kesabarannya mendampingi penulis selama proses trial and error pengujian sampel tanah.
6. Rekan-rekan mahasiswa Teknologi Konstruksi Bangunan Air, serta semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu atas semangat dan kebersamaannya.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Akhir kata, semoga karya ini dapat memberikan manfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan di bidang konstruksi bangunan air.

Semarang, 2026

Penulis



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	ix
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.4.1 Peneliti.....	5
1.4.2 Institusi Pendidikan	5
1.4.3 Masyarakat Secara Umum.....	6
BAB II.....	7
2.1 Bendungan Urugan.....	7
2.1.1 Klasifikasi Bendungan Urugan.....	7
2.1.2 Anatomi Bendungan Urugan Zonal Inti Tegak	8
2.1.3 Perilaku Struktural pada Fase Konstruksi dan <i>Pra-impounding</i>	10
2.2 Parameter Geoteknik Tanah	11
2.2.1 Kuat Geser Tanah	11
2.2.2 Berat Volume Tanah.....	13
2.2.3 Permeabilitas	14
2.3 Pengujian Laboratorium/Lapangan	15
2.3.1 Pengujian <i>Triaxial Consolidated Undrained (CU)</i>	15
2.3.2 Pengujian Densitas Lapangan <i>Water Replacement Method</i>	17
2.3.3 Pengujian Densitas Lapangan <i>Sand Code Method</i>	18
2.3.4 Pengujian Permeabilitas Lapangan (Constant Head)	20
2.3.5 Pengujian Permeabilitas Lapangan (<i>Falling head</i>)	21
2.4 Landasan Teori Pemodelan Numerik Metode Elemen Hingga (FEM)	24
2.4.1 Prinsip Dasar Metode Elemen Hingga pada Mekanika Tanah.....	24

2.4.2	Simulasi Pelaksanaan Bertahap (<i>Staged construction Analysis</i>) dan Teori Konsolidasi	25
2.4.3	Metode Penentuan Faktor Keamanan (<i>Safety factor</i>) dan Bidang Gelincir 27	
2.5	Sistem Instrumentasi Bendungan	28
2.5.1	<i>Vibrating Wire Piezometer</i>	28
2.5.2	<i>Inklinometer</i>	28
2.5.3	<i>Sistem Monitoring Rembesan (Rumah V-Notch)</i>	29
2.5.4	<i>Magnetic extensometer</i>	29
2.6	Analisis Hidrolis dan Pembebanan Dinamis pada Bendungan	29
2.6.1	Analisis Kondisi Tanpa Pengisian (<i>Pra-impounding</i>).....	29
2.6.2	Analisis Kondisi Muka Air Minimum (MAM), Muka Air Normal (MAN) dan Analisis Kondisi Muka Air Banjir (MAB)	30
2.6.3	Teori Penurunan Muka Air Cepat (<i>Rapid drawdown</i>)	31
2.6.4	Analisis Beban Gempa pada Bendungan.....	32
2.6.5	<i>Root Mean Square Error (RMSE)</i>	36
BAB III		38
METODOLOGI PENELITIAN		38
3.1	Bagan Alir dan Jenis Penelitian.....	38
3.2	Waktu dan Tempat Penelitian	41
3.2.1	Waktu Penelitian	41
3.2.2	Tempat Penelitian.....	41
3.3	Metode Pengumpulan Data	43
3.3.1	Data Primer.....	43
3.3.2	Data Sekunder	43
3.4	Metode Pengolahan dan Analisis Data.....	43
BAB IV		46
4.1	Pengujian Data Primer	46
4.1.1	Kadar Air	46
4.1.2	Pengujian Specific Gravity Zona <i>Random</i>	49
4.1.3	Pengujian <i>Triaxsial</i> CU	52
4.1.4	Kuat Tekan Bebas (Unconfined Compressive Strength - UCS).	77
4.2	Data Teknis Bendungan Jragung	81
4.2.1	Bendungan Utama	81

4.2.2	Waduk.....	81
4.3	Tahapan Modeling Plaxis.....	82
4.3.1	Modeling Timbunan masa konstruksi	82
4.3.2	Data Properti Zona.....	91
4.3.3	Kalibrasi Model Plaxis	96
4.3.4	Properti Zona Hasil Kalibrasi	108
4.4	Hasil Modeling Maindam	113
4.4.1	Hasil Analisis Garis Freatik.....	113
4.4.2	Hasil Analisis Debit Rembesan	116
4.4.3	Hasil Deformasi Maindam	120
4.4.4	Hasil Stabilitas Lereng	126
4.4.5	Hasil Stabilitas Lereng Gempa.....	129
4.4.6	Stabilitas Lereng gempa kondisi muka air banjir (HWL)	135
4.5	Pembahasan Hasil	136
4.5.1	Pembahasan Garis Freatik	136
4.5.2	Pembahasan Rembesan.....	136
4.5.3	Pembahasan Deformasi	138
4.5.4	Pembahasan Stabilitas	141
BAB V		144
5.1	Kesimpulan.....	144
5.2	Saran	146
DAFTAR PUSTAKA		147
LAMPIRAN		150

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Faktor risiko untuk evaluasi keamanan bendungan	32
Tabel 2. 2 Kelas risiko bendungan dan bangunan air	33
Tabel 2. 3 Kriteria beban gempa untuk desain bendungan	33
Tabel 4. 1 Tabel hasil kadar air	49
Tabel 4. 2 Tabel Berat Jenis	51
Tabel 4. 3 Data hasil pengujian triaxsial cu	62
Tabel 4. 4 Pengolahan E50 tiap sample	73
Tabel 4. 5 Tabel pengolahan E50 ref	74
Tabel 4. 6 Tabel properti zona <i>Random</i>	91
Tabel 4. 7 Tabel properti zona inti	92
Tabel 4. 8 Properti zona filter halus	93
Tabel 4. 9 Properti zona filter kasar	94
Tabel 4. 10 Properti zona Riprap	94
Tabel 4. 11 Properti pondasi zona dasar	95
Tabel 4. 12 Data timbunan pada pemodelan plaxis	96
Tabel 4. 13 Data Rembesan Plaxis dan V-Notch	98
Tabel 4. 14 Properti zona <i>Random</i> setelah kalibrasi	108
Tabel 4. 15 Properti zona inti setelah kalibrasi	109
Tabel 4. 16 Properti zona filter halus setelah kalibrasi	110
Tabel 4. 17 Properti zona filter kasar setelah kalibrasi	111
Tabel 4. 18 Properti zona riprap setelah kalibrasi	112
Tabel 4. 19 Properti zona batuan dasar setelah kalibrasi	112
Tabel 4. 20 Tabel perhitungan Gempa	131
Tabel 4. 21 Rekapitulasi analisis rembesan	136
Tabel 4. 22 Data ringkasan Deformasi model plaxis	140
Tabel 4. 23 Rekapitulasi nilai SF stabilitas Maindam	142

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Ilustrasi bendungan zona inti tegak.....	8
Gambar 2. 2 Kriteria Keruntuhan Mohr dan Coulomb	13
Gambar 2. 3 Lingkaran Mohr dan Garis Keruntuhan	13
Gambar 2. 4 Ilustrasi Pengujian Permeabilitas <i>Falling head</i>	22
Gambar 2. 5 Peta Percepatan Puncak (PGA) untuk periode ulang gempa 100 th di batuan dasar.....	34
Gambar 2. 6 Peta Percepatan Puncak (PGA) untuk periode ulang gempa 10.000 th di batuan dasar.....	35
Gambar 3. 1 Bagan alir penelitian.....	40
Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian	42
Gambar 3. 3 Letak lokasi penelitian dalam wilayah Kabupaten Semarang.....	42
Gambar 4. 1 Cawan Kosong	47
Gambar 4. 2 Cawan + sampele kadar air	47
Gambar 4. 3 Sample dalam oven	48
Gambar 4. 4 Berat Sample kadar air	48
Gambar 4. 5 Picno Kosong	50
Gambar 4. 6 Picno + Air	51
Gambar 4. 7 Remould Sample <i>Triaxsial</i>	53
Gambar 4. 8 Mengeluarkan Sample dari Moulding.....	54
Gambar 4. 9 Pemasangan membrane	54
Gambar 4. 10 Pemasangan sample <i>triaxial</i>	55
Gambar 4. 11 Pemasangan <i>Cell pressure</i>	55
Gambar 4. 12 Proses <i>docking</i>	56
Gambar 4. 13 Skema Alat <i>triaxial</i>	56
Gambar 4. 14 Set tekanan awal.....	57
Gambar 4. 15 Proses vakum sample	57
Gambar 4. 16 Tampilan <i>software</i> untuk <i>new station</i>	58
Gambar 4. 17 Proses memasukan dimensi sample	58
Gambar 4. 18 Proses saturasi	59
Gambar 4. 19 Proses <i>B-Check</i>	59
Gambar 4. 20 Proses konsolidasi	60

Gambar 4. 21 Proses pembebanan atau <i>shearing</i>	60
Gambar 4. 22 Sample setelah pengujian	61
Gambar 4. 23 Lingkaran <i>Mohr</i> hasil pengujian <i>triaxial</i>	61
Gambar 4. 24 Grafik regangan dan tegangan deviator	72
Gambar 4. 25 Sample batuan	77
Gambar 4. 26 Proses Kuat tekan batuan	78
Gambar 4. 27 Sample batuan setelah di test	79
Gambar 4. 28 <i>Report</i> pengujian UCS	80
Gambar 4. 29 Geometri tubuh bendungan	81
Gambar 4. 30 <i>Software plaxis</i>	82
Gambar 4. 31 <i>Project setigings plaxis</i>	82
Gambar 4. 32 Proses menyalin koordinat geometri maindam	83
Gambar 4. 33 Hasil koordinat geometri maindam	83
Gambar 4. 34 Proses pembuatan poligon tanah	84
Gambar 4. 35 Proses pembuatan layer timbunan	84
Gambar 4. 36 Proses memasukkan data general	85
Gambar 4. 37 Proses memasukan parameter mekanis tanah	85
Gambar 4. 38 Memasukkan data permeabilitas	86
Gambar 4. 39 Memasukkan data <i>initial phase</i>	86
Gambar 4. 40 Proses <i>generate mesh</i>	87
Gambar 4. 41 Memasukkan muka air	87
Gambar 4. 42 Memasukkan berbagai kondisi muka air	87
Gambar 4. 43 Proses membuat <i>phase</i>	88
Gambar 4. 44 Proses membuat <i>phase</i> timbunan final	88
Gambar 4. 45 Proses membuat <i>phase shafety</i>	89
Gambar 4. 46 Pemilihan muaka air setiap <i>phase</i>	89
Gambar 4. 47 Pemilihan <i>node</i> dan <i>stress point</i>	90
Gambar 4. 48 Kalkulasi Plaxis	90
Gambar 4. 49 Hasil pemodelan <i>ekstensometer</i>	91
Gambar 4. 50 Grafik timbunan model dan lapangan	97
Gambar 4. 51 Grafik debit rembesan V-Notch dan plaxis	98
Gambar 4. 52 Grafik deformasi elevasi timbunan 73.25m	100

Gambar 4. 53 Grafik deformasi elevasi timbuanan elevasi 80m	101
Gambar 4. 54 Grafik deformasi elevasi timbuanan elevasi 82.25m	102
Gambar 4. 55 Grafik deformasi elevasi timbuanan elevasi 88m	103
Gambar 4. 56 Grafik deformasi elevasi timbuanan elevasi 96m	104
Gambar 4. 57 Grafik deformasi elevasi timbuanan elevasi 102m	105
Gambar 4. 58 Grafik deformasi ekstensometer.....	107
Gambar 4. 59 Grafik deformasi vertikal modeling plaxis.....	107
Gambar 4. 60 Pemodelan garis freatik selesai konstruksi.....	113
Gambar 4. 61 Pemodelan garis freatik kondisi LWL	114
Gambar 4. 62 Pemodelan garis freatik kondisi NWL	115
Gambar 4. 63 Pemodelan garis freatik Kondisi HWL	115
Gambar 4. 64 Pemodelan debit rembesan kondisi selesai konstruksi.....	116
Gambar 4. 65 Pemodelan debit rembesan kondisi LWL	117
Gambar 4. 66 Pemodelan debit rembesan kondisi NWL	118
Gambar 4. 67 Pemodelan debit rembesan kondisi HWL	119
Gambar 4. 68 Deformasi maindam $ u $	120
Gambar 4. 69 Deformasi maindam u_x	121
Gambar 4. 70 Deformasi maindam u_y	122
Gambar 4. 71 Deformasi ketika HWL	123
Gambar 4. 72 Deformasi u_x ketika HWL	124
Gambar 4. 73 Deformasi u_y ketika HWL	125
Gambar 4. 74 Pemodelan stabilitas maindam kondisi selesai konstruksi.....	126
Gambar 4. 75 Pemodelan stabilitas maindam kondisi LWL.....	127
Gambar 4. 76 Pemodelan stabilitas maindam kondisi NWL	127
Gambar 4. 77 Pemodelan stabilitas maindam kondisi HWL	128
Gambar 4. 78 Pemodelan stabilitas maindam kondisi <i>rapid drawdown</i>	129
Gambar 4. 79 Pemodelan stabilitas maindam OBE kondisi selesai konstruksi. 131	
Gambar 4. 80 Pemodelan stabilitas maindam MDE kondisi selesai konstruksi. 132	
Gambar 4. 81 Pemodelan stabilitas maindam OBE kondisi LWL.....	132
Gambar 4. 82 Pemodelan stabilitas maindam MDE kondisi LWL.....	133
Gambar 4. 83 Pemodelan stabilitas maindam OBE kondisi NWL	134
Gambar 4. 84 Pemodelan stabilitas maindam MDE kondisi NWL	134

Gambar 4. 85 Pemodelan stabilitas maindam OBE kondisi HWL	135
Gambar 4. 86 Pemodelan stabilitas maindam MDE kondisi HWL	135

