

Model Tanggul Fiber Apung Untuk Antisipasi Kenaikan Air Pasang

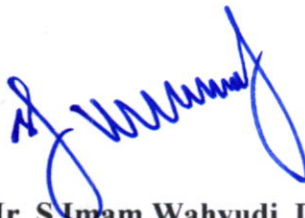


Oleh:

**Sunaryo
10201800008**

**Disetujui Untuk Diajukan dalam:
Sidang Terbuka Disertasi Hari/Tanggal: Jumat, 29 Agustus 2025**

Promotor



Prof. Dr. Ir. Sunam Wahyudi, DEA.

Ko – Promotor



Ir. Moh Faiqun Ni'am, M.T., Ph.D.

**PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, SEMARANG
2025**

LEMBAR PENGUJI

Sidang Terbuka

Hari : Jumat, 29 Agustus 2025

Promotor :



Prof. Dr. Ir. S Imam Wahyudi, DEA.

Ko-Promotor :



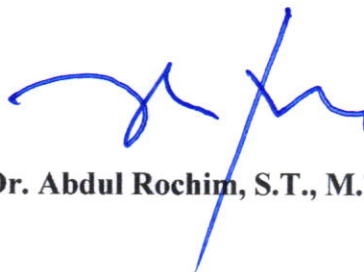
Ir. Moh Faiqun Ni'am, M.T., Ph.D.

Penguji Eksternal :



Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, M.T.

Penguji Internal :



Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T.

Penguji Internal :



Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D.

Penguji Internal:

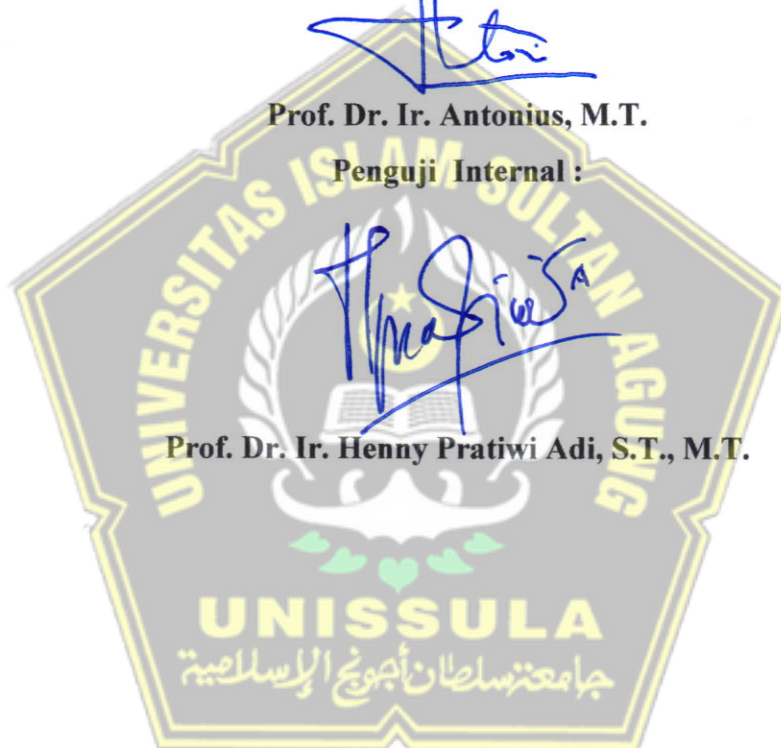


Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T.

Penguji Internal :



Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T.



MODEL TANGGUL FIBER APUNG UNTUK ANTISIPASI KENAIKAN AIR PASANG - Sunaryo

by disertasi ft



Submission date: 04-Sep-2025 10:24AM (UTC+0700)

Submission ID: 2691095948

File name: 19_Agustus_2025__Disertasi_Sunaryo_-_Rev.docx (18.56M)

Word count: 33039

Character count: 182294

**MODEL TANGGUL FIBER APUNG UNTUK
ANTISIPASI KENAIKAN AIR PASANG**

DISERTASI

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Mencapai Gelar Doktor



Sunaryo
1020110201800008

PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, SEMARANG
2025



HALAMAN PENGESAHAN

**MODEL TANGGUL FIBER APUNG UNTUK ANTISIPASI
KENAIKAN AIR PASANG**



Oleh :
Sunaryo
1020110201800008

Promotor :

¹⁰
Prof. Dr. Ir. H.S Imam Wahyudi, DEA

Ko – Promotor :

Ir. Moh. Faiqul Ni'am, M.T., Ph.D

¹⁰
PROGRAM DOKTOR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG, SEMARANG
2025

LEMBAR PENGUJI
SIDANG UJIAN TERBUKA DISERTASI

HARI : 2025

Promotor :

10. Prof. Dr. Ir. H.S Imam Wahyudi, DEA

Ko – Promotor :

Ir. Moh. Faiqun Ni'am, M.T., Ph.D

Penguji Internal:

27. Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D

Penguji Internal:

Prof. Dr. Ir Antonius, M.T

Penguji Internal :

46. Prof. Dr.Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T

Penguji Eksternal :

Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin., M.T.

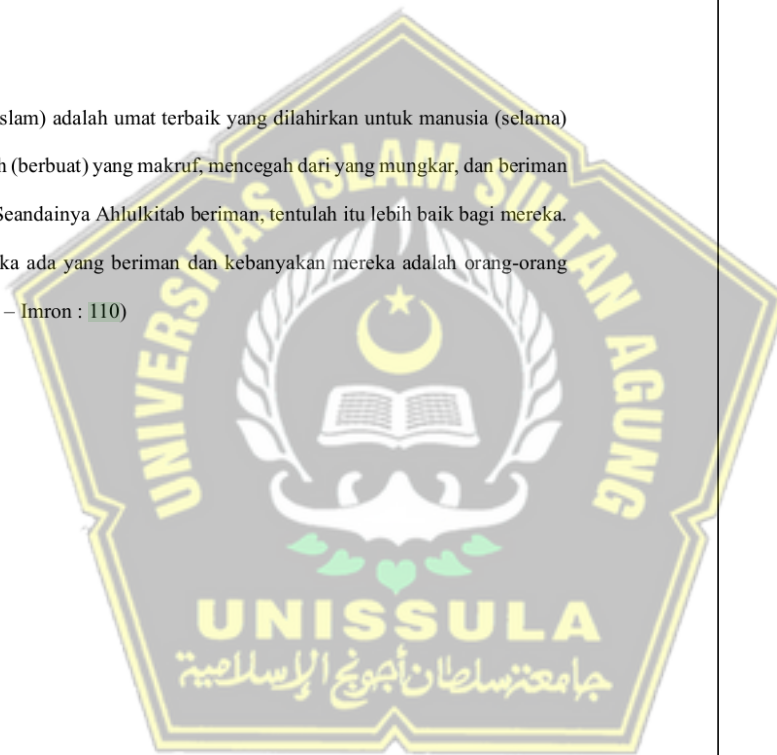
MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ

الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ

مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ أَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ ﴿١١٠﴾

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” (Qs. Ali – Imron : 110)



PERSEMBAHAN



Alhamdulillah, segala puji dan syukur kehadirat Allah SWT, atas ridho -Nya penulis dapat menyelesaikan disertasi ini. Serta sholawat dan salam tercurah kepada junjungan nabi Muhammad SAW.

Disertasi ini saya persembahkan kepada istri yang senantiasa mendoakan dan memberikan semangat tanpa henti, juga kepada anak – anak tercinta semoga kelak dapat sampai pada derajat tertinggi. Serta kepada pembimbing, dan semua pihak yang telah memberikan dukungan moril maupun materi selama proses penyusunan disertasi ini. Kepada saudara, rekan, dan sahabat yang telah mendukung dan mendoakan selama ini.

ABSTRAK

Perubahan iklim global telah meningkatkan risiko banjir rob di wilayah pesisir dan muara sungai akibat kenaikan muka air laut. Tanggul konvensional bersifat statis dan kurang adaptif terhadap dinamika pasang surut, sehingga diperlukan sistem proteksi yang lebih fleksibel dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengevaluasi kinerja tanggul apung berbahan fiber composite dengan sistem hidrolik/mekanik otomatis yang mampu menyesuaikan ketinggian secara dinamis.

Metode penelitian meliputi pembuatan prototipe skala laboratorium (1:20) serta analisis numerik menggunakan perangkat lunak ANSYS. Pengujian dilakukan pada empat kondisi muka air (2,5 cm; 3,75 cm; 5 cm; dan 7 cm) untuk menilai perilaku dan respons struktur terhadap beban hidrostatik, mencakup deformasi, tegangan, regangan dan kestabilan geser dan guling. Validasi silang dilakukan antara perhitungan manual, hasil eksperimen, dan simulasi numerik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ketinggian 3–5 cm, tanggul skala lab tetap stabil dengan deformasi maksimum $3,06 \times 10^{-5}$, tegangan $4.471,25 \text{ Kg/m.s}^2$ dan regangan $6,12 \times 10^{-7}$. Dengan *Safety Factor* Geser dan Guling 1,96 dan 4,91 ($>1,5$). Namun pada ketinggian 7 cm, kestabilan geser menurun dengan deformasi maksimum $1,18 \times 10^{-4}$, tegangan $12.269,109 \text{ Kg/m.s}^2$ dan regangan $1,68 \times 10^{-6}$. Dengan *Safety Factor* Geser 1,00 ($<1,5$) dan Guling 2,50 ($>1,5$). Simulasi numerik menghasilkan deviasi rata-rata 6% dibandingkan hasil uji laboratorium, menandakan reliabilitas model yang tinggi. Secara praktis, penggunaan material fiber composite dan sistem hidrolik adaptif berpotensi menurunkan biaya perawatan hingga 30% dibandingkan tanggul beton konvensional serta memperpanjang umur pakai struktur. Dapat disimpulkan, tanggul fiber apung berbasis sistem hidrolik terbukti lebih adaptif, efisien, dan ramah lingkungan dibandingkan sistem proteksi konvensional, sehingga dapat menjadi alternatif teknologi mitigasi banjir rob di wilayah pesisir Indonesia.

Kata Kunci: tanggul fiber, tekanan hidrostatik, tegangan, regangan, eksperimen.

ABSTRACT

Global climate change has increased the risk of tidal flooding in coastal and estuarine areas due to sea level rise. Conventional levees are static and less adaptive to tidal dynamics, thus requiring a more flexible and sustainable protection system. This study aims to design and evaluate the performance of a floating levee made of fiber composite materials with an automatic hydraulic/mechanical system capable of dynamically adjusting its height.

The research method involved the development of a 1:20 laboratory-scale prototype and numerical analysis using Ansys software. Tests were conducted under four water level conditions (2.5 cm, 3.75 cm, 5 cm, and 7 cm) to assess structural responses to hydrostatic loads, including deformation, stress, strain, and shear and overturning stability. Cross-validation was performed between manual calculations, experimental results, and numerical simulations.

The results showed that at water levels of 3–5 cm, the laboratory-scale levee remained stable with a maximum deformation of 3.06×10^{-5} , stress of 4,471.25 Kg/m², and strain of 6.12×10^{-7} . The safety factors against shear and overturning were 1.96 and 4.91 (>1.5), respectively. However, at 7 cm water level, shear stability decreased with a maximum deformation of 1.18×10^{-4} , stress of 12,269.109 Kg/m², and strain of 1.68×10^{-6} , where the shear safety factor dropped to 1.00 (<1.5) while the overturning safety factor remained 2.50 (>1.5). Numerical simulations yielded an average deviation of 6% compared with laboratory tests, indicating high model reliability. Practically, the application of fiber composite materials with adaptive hydraulic systems has the potential to reduce maintenance costs by up to 30% compared to conventional concrete levees and extend service life. In conclusion, the floating fiber levee with a hydraulic system proved more adaptive, efficient, and environmentally compatible than conventional protection systems, making it a promising alternative technology for tidal flood mitigation in Indonesian coastal areas.

Keywords: floating fiber levee, hydrostatic pressure, stress, strain, experiment.

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum, Wr. Wb

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Penelitian Disertasi pada tahapan Ujian Terbuka dengan judul “MODEL TANGGUL FIBER APUNG UNTUK ANTISIPASI KENAIKAN AIR PASANG” dengan lancar.

Disertasi ini disusun dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Doktor pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Shalawat serta salam semoga selalu tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad Shallallahu ‘alaihi wa sallam, keluarga, sahabat, dan seluruh umatnya hingga akhir zaman.

Penyusunan disertasi ini tentu tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.H, selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. H.S. Imam Wahyudi, DEA, selaku Promotor dan Kaprodi Program Doktor Universitas Islam Sultan Agung Semarang, atas segala arahan, ilmu, dan bimbingan yang sangat berarti selama proses penelitian dan penyusunan disertasi ini.
4. Bapak Ir. Moh. Faiqun Ni'am, M.T., Ph.D, selaku Ko-Promotor Program Doktor Universitas Islam Sultan Agung Semarang, atas segala arahan, ilmu, dan bimbingan yang sangat berarti selama proses penelitian dan penyusunan disertasi ini.
5. Bapak Prof. Ir. Pratikso, MST., Ph.D, selaku Penguji Internal Program Doktor

- ¹⁰ Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
6. Bapak Prof. Dr. Ir Antonius, M.T, selaku Penguji Internal Program Doktor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
 7. Ibu Prof. Dr.Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T, selaku Penguji Internal Program Doktor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
 8. Bapak Prof. Dr. Ir. Muhammad Mukhlisin, M.T, selaku Penguji Eksternal Program Doktor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
 9. Segenap dosen, staf akademik, dan pengelola Program Doktor Teknik Sipil UNISSULA, atas segala kemudahan dan fasilitas yang diberikan selama studi berlangsung.
 10. Istri Asti alpitalasari, dan kedua anaku tercinta Jadit subhan dan Alexander azis, menjadi sumber kekuatan dan inspirasi.
 11. Seluruh pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Semoga segala kebaikan menjadi amal jariyah di sisi Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa penyusunan Penelitian Disertasi ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak agar Penelitian disertasi ini menjadi lebih sempurna.

Wassalamualaikum, Wr. Wb

Semarang, 2025

SUNARYO

NIM.1020110201800008

UNISSULA

جامعة سلطان أبجوني الإسلامية

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGUJI.....	ii
MOTTO.....	iii
PERSEMBAHAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
ABSTRACT.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xxii
DAFTAR SIMBOL.....	xxvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi masalah.....	3
1.3 Perumusan masalah.....	4
1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Pembatasan Masalah.....	5
1.7 Originalitas dan Pembaharuan.....	5
1.8 Kesenjangan (Gap) Penelitian dan Novelty.....	5
1.9 Sistematika Penulisan.....	8
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	10

2.1	Tanggul.....	10
2.1.1	Definisi Tanggul.....	10
2.1.2	Fungsi Tanggul.....	10
2.1.3	Pengertian dan Jenis - Jenis Bangunan Tanggul Pelindung.....	12
2.2	Stabilitas Tanggul.....	17
2.3	<i>Breakwater</i>	19
2.4	<i>Jetty</i>	19
2.5	<i>Sand/Beach Nourishment</i>	20
2.6	Rob	20
2.7	Pasang Surut Laut	21
2.8	Material Komposit.....	25
2.8.1	Komposit	25
2.8.2	Serat.....	29
2.9	Sistem Hidrolik.....	34
2.10	Analisis Numerik.....	35
2.11	Kerangka Berpikir.....	36
2.12	Penelitian Terdahulu.....	37
BAB III	METODE PENELITIAN	54
3.1	Uraian Singkat Penelitian.....	54
3.1.1	Variabel Penelitian	55
3.1.2	Data Primer.....	55
3.1.3	Data Sekunder	56
3.2	Rencana Model Tanggul Apung.....	56
3.3	Bahan dan Model Fisik Tanggul Apung	61
3.4	Pengujian Laboratorium.....	64

3.4.1 Instrumen Pengujian.....	64
3.4.2 Tahapan Pengujian Laboratorium	64
3.5 Analisis Statis Struktur Tanggul Secara Manual.....	69
3.6 Analisis Numerik Struktur Tanggul Dengan <i>Software</i>	75
3.7 Analisis Perbandingan dan Validasi Data	76
3.7.1 Komparasi Hasil Laboratorium vs. Simulasi <i>ANSYS</i>	76
3.7.2 Analisis Perbedaan Hasil	76
3.8 Diagram Alir	76
BAB IV ANALISA DATA DAN HASIL ANALISIS.....	79
4.1 Umum	79
4.2 Uji Laboratorium	80
4.2.1 Uji Laboratorium Skenario I	80
4.2.2 Uji Laboratorium Skenario II	81
4.2.3 Uji Laboratorium Skenario III.....	82
4.2.4 Uji Laboratorium Skenario IV (Simulasi Kegagalan/ <i>Failure</i>).....	83
4.3 Data dan Hasil Pengamatan Uji Laboratorium.....	83
4.3.1 Data Pengamatan Uji Laboratorium.....	83
4.3.2 Hasil Uji Laboratorium	84
4.4 Analisis Manual Stabilitas Tanggul Skala Lab	86
4.4.1 Analisa struktur Tanggul Skala Lab Skenario I	86
4.4.2 Analisa struktur Tanggul Skala Lab Skenario II	92
4.4.3 Analisa struktur Tanggul Skala Lab Skenario III.....	97
4.4.4 Analisa struktur Tanggul Skala Lab Skenario IV (Simulasi Kegagalan/ <i>Failure</i>)	103
4.4.5 Rekapitulasi Karakteristik Tanggul Apung Skala Lab.....	108

4.5	Analisis <i>Software ANSYS</i> Stabilitas Tanggul Skala Lab	114
4.5.1	Pemodelan Tanggul Apung Skala Lab Skenario I	114
4.5.2	Pemodelan Tanggul Apung Skala Lab Skenario II	117
4.5.3	Pemodelan Tanggul Apung Skala Lab Skenario III	121
4.5.4	Pemodelan Tanggul Apung Skala Lab Skenario IV	124
4.5.5	Rekapitulasi Karakteristik Tanggul Apung Skala Lab Hasil Analisis Software	128

BAB V PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN133

5.1	Uraian umum	133
5.2	Analisis Stabilitas Manual Pada Tanggul Skala Riil	133
5.2.1	Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario I	133
5.2.2	Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario II	139
5.2.3	Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario III	144
5.2.4	Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario IV	149
5.2.5	Rekapitulasi Karakteristik Tanggul Skala Riil	155
5.3	Analisis Stabilitas <i>Software Ansys</i> Pada Tanggul Skala Riil	160
5.3.1	Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario I	160
5.3.2	Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario II	164
5.3.3	Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario III	168
5.3.4	Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario IV	172
5.3.5	Rekapitulasi Karakteristik Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Software	175
5.4	Perbandingan Hasil Analisis Tanggul Skala Lab	180
5.5	Perbandingan Hasil Analisis Tanggul Skala Riil	185
5.6	Perbandingan Hasil Analisis Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil	189

5.7	Korelasi Kebutuhan Tebal Fiber Terhadap Ketinggian Muka Air	198
BAB VI	KESIMPULAN, IMPLEMENTASI DAN REKOMENDASI	200
6.1	Kesimpulan	200
6.2	Implementasi	201
6.3	Rekomendasi	201
DAFTAR PUSTAKA		203



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Bagian-Bagian Tanggul (KP 04 Irigasi).....	12
Gambar 2. 2. Tanggul Sungai/Danau (Purbangsa, Yandi (2022)).....	15
Gambar 2. 3. Tanggul Sungai (Dokumentasi Penulis).....	15
Gambar 2. 4. Tanggul Laut (Rashidi et al. (2021))	16
Gambar 2. 5. Tanggul Laut Eretan Indramayu (Dokumentasi Penulis).....	16
Gambar 2. 6. Spur Dike Di Laut/Pantai (Safitri (2016))	17
Gambar 2. 7. Spur Dike Di Sungai (Li dkk., Water (2023))	17
Gambar 2. 8. Formasi Tombolo (Sub Direktorat Rawa dan Pantai, 1997)	19
Gambar 2. 9. Ilustrasi Fiber Continuous Composit (Yani dan Lubis, 2018).....	27
Gambar 2. 10. Ilustrasi Woven Fiber Composit (Yani dan Lubis, 2018).....	28
Gambar 2. 11. Ilustrasi Discontinuous Fiber Composite (Yani dan Lubis, 2018)	28
Gambar 2. 12. Ilustrasi Hybrid Fiber Composite (Yani dan Lubis, 2018).....	29
Gambar 2. 13. Ilustrasi Structural Composites Material (Yani dan Lubis, 2018)	29
Gambar 2. 14. Countinous Roving Fiber.....	32
Gambar 2. 15. Woven Roving Fiber	33
Gambar 2. 16. Chopped Strantd Mat Fiber	33
Gambar 3. 1. Ilustrasi Skema Bak Uji.....	56
Gambar 3. 2. Tanggul Apung Model 3D.....	57
Gambar 3. 3. Gambaran Layout Tanggul Apung.....	57
Gambar 3. 4. Dimensi Tanggul Apung (dalam cm).....	58
Gambar 3. 5. Ilustrasi 3D Dudukan Beton	58
Gambar 3. 6. Motor Hidrolik.....	59
Gambar 3. 7. Adaptor dan Kontroler Motor Hidrolik	59
Gambar 3. 8. Ilustrasi Pemasangan Model Tanggul Pada Sungai (Skenario I) ..	60
Gambar 3. 9. Ilustrasi Pemasangan Model Tanggul Pada Sungai (Skenario II) ..	60
Gambar 3. 10. Ilustrasi Pemasangan Model Tanggul Pada Sungai (Skenario III)	61

Gambar 3. 11. Ilustrasi Pemasangan Model Tanggul Pada Sungai (Skenario IV)	61
Gambar 3. 12. Strantd Mat Fiber	62
Gambar 3. 13. Model Skala Lab Tanggul Untuk Uji Laboratorium	63
Gambar 3. 14. Model Skala Lab Dudukan Beton Tanggul	63
Gambar 3. 15. Model Dudukan Beton Dalam Bak Uji Laboratorium	64
Gambar 3. 16. Persiapan Bak Uji	64
Gambar 3. 17. Persiapan Model Tanggul dan Dudukan	65
Gambar 3. 18. Perakitan Dudukan dan Tanggul Apung Skala Lab Ke Dalam Bak Uji	65
Gambar 3. 19. Ilustrasi Simulasi/Skenario I	66
Gambar 3. 20. Ilustrasi Simulasi/Skenario II	67
Gambar 3. 21. Ilustrasi Simulasi/Skenario III	68
Gambar 3. 22. Ilustrasi Skenario IV/ Simulasi Kegagalan (Failure)	69
Gambar 3. 23. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Lab Skenario I	70
Gambar 3. 24. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul skala lab Tanggul Skala Lab Skenario II	71
Gambar 3. 25. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul skala lab Tanggul Skala Lab Skenario III	71
Gambar 3. 26. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul skala lab Tanggul Skala Lab Skenario IV (Simulasi Kegagalan/ Failure)	72
Gambar 3. 27. Diagram Alir Penelitian	78
Gambar 4. 1. Pengisian Air Dalam Bak Uji Untuk Pengujian Skenario I	81
Gambar 4. 2. Dokumentasi Besar Kebocoran Pada Pengujian Skenario I	81
Gambar 4. 3. Dokumentasi Pengujian Skenario II	82
Gambar 4. 4. Dokumentasi Simulasi Skenario III dan Besar Kebocoran yang Terjadi	82
Gambar 4. 5. Dokumentasi Simulasi Skenario IV dan Besar Kebocoran yang Terjadi	83
Gambar 4. 6. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Lab Skenario I	87
Gambar 4. 7. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul skala lab Tanggul Skenario II	93

Gambar 4. 8. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Lab Skenario III	98
Gambar 4. 9. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Lab Skenario IV	104
Gambar 4. 10. Hasil Perhitungan Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Pada Skenario yang Diuji.....	109
Gambar 4. 11. Hasil Perhitungan Tegangan Tanggul Skala Lab Pada Skenario yang Diuji.....	110
Gambar 4. 12. Hasil Perhitungan Regangan Tanggul Skala Lab Pada Skenario yang Diuji.....	110
Gambar 4. 13. Hasil Perhitungan Deformasi Tanggul Skala Lab Pada Skenario yang Diuji.....	111
Gambar 4. 14. Stabilitas Geser Analisis Manual Tanggul Apung Skala Lab	113
Gambar 4. 15. Stabilitas Guling Analisis Manual Tanggul Apung Skala Lab...	113
Gambar 4. 16. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	114
Gambar 4. 17. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	114
Gambar 4. 18. Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	115
Gambar 4. 19. Total Deformasi Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	115
Gambar 4. 20. Gaya Geser Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	116
Gambar 4. 21. Momen Guling Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	117
Gambar 4. 22. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II.....	118
Gambar 4. 23. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II	118
Gambar 4. 24. Regangan Hasil Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II.....	119
Gambar 4. 25. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan	

ANSYS Skenario II	119
Gambar 4. 26. Gaya Geser Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II	119
Gambar 4. 27. Momen Guling Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II	120
Gambar 4. 28. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	121
Gambar 4. 29. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	122
Gambar 4. 30. Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	122
Gambar 4. 31. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	122
Gambar 4. 32. Gaya Geser Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	123
Gambar 4. 33. Momen Guling Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	124
Gambar 4. 34. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	125
Gambar 4. 35. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	125
Gambar 4. 36. Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	126
Gambar 4. 37. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	126
Gambar 4. 38. Gaya Geser Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	126
Gambar 4. 39. Momen Guling Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	127
Gambar 4. 40. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Ansys ..	129
Gambar 4. 41. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Ansys	129

Gambar 4. 42. Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Ansys	130
Gambar 4. 43. Deformasi Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Ansys	130
Gambar 4. 44. Stabilitas Geser Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Ansys	132
Gambar 4. 45. Stabilitas Guling Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Ansys	132
Gambar 4. 3. 1. Dokumentasi Tanggul Guling.....	86
Gambar 4. 3. 2. Dokumentasi kebocoran besar terjadi.....	86
Gambar 5. 1. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Riil Skenario I.....	134
Gambar 5. 2. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Riil Skenario II.....	139
Gambar 5. 3. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Riil Skenario III	144
Gambar 5. 4. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Riil Skenario IV	150
Gambar 5. 5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil.....	156
Gambar 5. 6. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Tanggul Skala Riil ...	156
Gambar 5. 7. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Regangan Tanggul Skala Riil ...	157
Gambar 5. 8. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Deformasi Tanggul Skala Riil ..	157
Gambar 5. 9. Stabilitas Geser Pada Tanggul Skala Riil	159
Gambar 5. 10. Stabilitas Geser Pada Tanggul Skala Riil	160
Gambar 5. 11. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario 1	161
Gambar 5. 12. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	161
Gambar 5. 13. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	162
Gambar 5. 14. Total Deformasi Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	162
Gambar 5. 15. Gaya Geser Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	163
Gambar 5. 16. Momen Guling Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I	164
Gambar 5. 17. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II	165

Gambar 5. 18. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II	165
Gambar 5. 19. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II	166
Gambar 5. 20. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II	166
Gambar 5. 21. Gaya Geser Tanggul Skala Riil Pada Skenario II	167
Gambar 5. 22. Momen Guling Tanggul Skala Riil Yang Terjadi Pada Skenario II	168
Gambar 5. 23. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	169
Gambar 5. 24. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	169
Gambar 5. 25. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	170
Gambar 5. 26. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III	170
Gambar 5. 27. Gaya Geser Tanggul Skala Riil Pada Skenario III	170
Gambar 5. 28. Momen Guling Tanggul Skala Riil Yang Terjadi Pada Skenario III	171
Gambar 5. 29. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	172
Gambar 5. 30. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	173
Gambar 5. 31. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	173
Gambar 5. 32. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan ANSYS Skenario IV	173
Gambar 5. 33. Gaya Geser Tanggul Skala Riil Pada Skenario IV	174
Gambar 5. 34. Momen Guling Tanggul Skala Riil Yang Terjadi Pada Skenario IV	175

Gambar 5. 35.	Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Ansys .176
Gambar 5. 36.	Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Ansys.....177
Gambar 5. 37.	Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Ansys.....177
Gambar 5. 38.	Deformasi Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Ansys.....178
Gambar 5. 39.	Stabilitas Geser Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Ansys179
Gambar 5. 40.	Stabilitas Guling Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Ansys.....180
Gambar 5. 41.	Perbandingan Nilai Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis Ansys.....182
Gambar 5. 42.	Perbandingan Nilai Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis Ansys.....182
Gambar 5. 43.	Perbandingan Nilai Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis Ansys.....183
Gambar 5. 44.	Perbandingan Nilai Deformasi Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis Ansys.....183
Gambar 5. 45.	Perbandingan Nilai SF Geser Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis Ansys.....184
Gambar 5. 46.	Perbandingan Nilai SF Geser Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis Ansys.....184
Gambar 5. 47.	Perbandingan Nilai Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan Ansys.....185
Gambar 5. 48.	Perbandingan Nilai Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan Ansys.....187
Gambar 5. 49.	Perbandingan Nilai Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan Ansys.....187
Gambar 5. 50.	Perbandingan Nilai Deformasi Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan Ansys.....188
Gambar 5. 51.	Perbandingan Nilai SF Geser Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan Ansys188
Gambar 5. 52.	Perbandingan Nilai SF Guling Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan Ansys.....189
Gambar 5. 53.	Perbandingan Nilai Tekanan Hidrostatik Pada Tanggul Skala Lab

dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual	191
Gambar 5. 54. Perbandingan Nilai Tegangan Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual.....	191
Gambar 5. 55. Perbandingan Nilai Regangan Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual.....	192
Gambar 5. 56. Perbandingan Nilai Deformasi Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual.....	192
Gambar 5. 57. Perbandingan Nilai Safety Factor Geser Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual	193
Gambar 5. 58. Perbandingan Nilai Safety Factor Guling Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual	193
Gambar 5. 59. Perbandingan Nilai Tekanan Hidrostatik Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Software Ansys.....	195
Gambar 5. 60. Perbandingan Nilai Tegangan Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Software Ansys	195
Gambar 5. 61. Perbandingan Nilai Regangan Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Software Ansys	196
Gambar 5. 62. Perbandingan Nilai Deformasi Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Software Ansys	196
Gambar 5. 63. Perbandingan Nilai SF Geser Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Software Ansys	197
Gambar 5. 64. Perbandingan SF Guling Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil.....	197
Gambar 5. 65. Hubungan Kebutuhan Tebal Fiber Terhadap Kenaikan Muka Air	199

95 DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Perbandingan Novelty VS Penelitian Terdahulu.....	7
Tabel 2. 1. Parameter Kemiringan Lereng	12
Tabel 2. 3. Kedudukan Air Laut.....	22
Tabel 2. 4. Komponen harmonik metode admiralty	23
Tabel 2. 5. Tipe pasang surut berdasarkan bilangan formzahl	24
Tabel 2. 6. Sifat-Sifat Serat Kaca-E dan Kaca-S (Callister, 2007).....	31
Tabel 2. 7. Penelitian Terdahulu.....	43
Tabel 3. 1. Data Primer Penelitian.....	55
Tabel 3. 2. Sifat-Sifat Serat Fiber (Agustina Gunawan, Sarah Yarden Palinggi, 2015)	62
Tabel 3. 3. Nilai Tegangan Berdasarkan Jenis Fiber (Ashby, M.F. Materials Selection in Mechanical Design)	62
Tabel 4. 1. Pengamatan Pengujian Laboratorium	83
Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Laboratorium.....	84
Tabel 4. 3. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab	88
Tabel 4. 4. Hasil Perhitungan Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab.....	89
Tabel 4. 5. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab	93
Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab.....	94
Tabel 4. 7. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab	99
Tabel 4. 8. Hasil Perhitungan Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab.....	99
Tabel 4. 9. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab	104
Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab.....	105
Tabel 4. 11. Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanggul Skala Lab Pada Skenario I – Skenario IV	109
Tabel 4. 12. Rekapitulasi Safety Factor Berdasarkan Kriteria Stabilitas Terhadap	

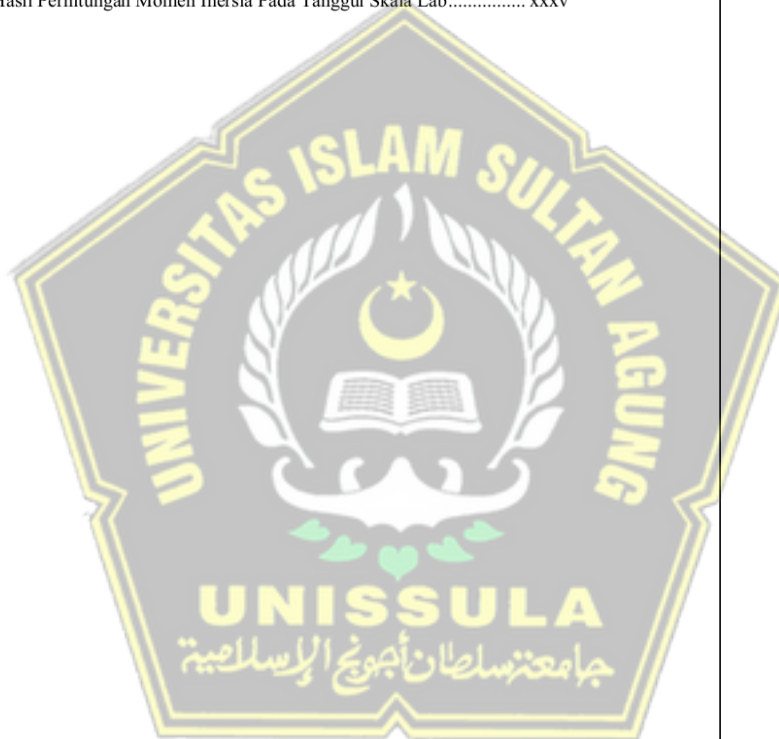
Gaya Apung Tanggul Skala Lab	111
Tabel 4. 13. Rekapitulasi Safety Factor Berdasarkan Kriteria Stabilitas Terhadap Gaya Geser Tanggul Skala Lab	112
Tabel 4. 14. Rekapitulasi Safety Factor Berdasarkan Kriteria Stabilitas Terhadap Guling Tanggul Skala Lab	112
Tabel 4. 15. Rekapitulasi Tanggul Apung Skala Lab Hasil Pemodelan Ansys ..	128
Tabel 4. 16. Rekapitulasi Safety Factor Stabilitas Tanggul Skala Lab Software ANSYS Terhadap Gaya Geser.....	131
Tabel 4. 17. Rekapitulasi Safety Factor Stabilitas Tanggul Skala Lab Software ANSYS Terhadap Momen Guling.....	131
Tabel 5. 1. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Riil	135
Tabel 5. 2. Hasil Perhitungan Momen Inersia Tanggul Skala Riil.....	136
Tabel 5. 3. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Tanggul Skala Riil.....	140
Tabel 5. 4. Hasil Perhitungan Momen Inersia Tanggul Skala Riil.....	141
Tabel 5. 5. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Tanggul Skala Riil.....	145
Tabel 5. 6. Hasil Perhitungan Momen Inersia Tanggul Skala Riil.....	146
Tabel 5. 7. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Tanggul Skala Riil.....	151
Tabel 5. 8. Hasil Perhitungan Momen Inersia Tanggul Skala Riil.....	152
Tabel 5. 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Tanggul Skala Riil Pada Skenario yang Diuji.....	155
Tabel 5. 10. Rekapitulasi Safety Factor Stabilitas Tanggul Skala Riil Terhadap Gaya Apung	158
Tabel 5. 11. Rekapitulasi Safety Factor Stabilitas Tanggul Skala Riil Terhadap Gaya Geser	158
Tabel 5. 12. Rekapitulasi Safety Factor Stabilitas Tanggul Skala Riil Terhadap Momen Guling	158
Tabel 5. 13. Rekapitulasi Hasil Pemodelan Ansys.....	175

Tabel 5. 14. Rekapitulasi Safety Factor Stabilitas Tanggul Skala Riil Software ANSYS Terhadap Gaya Geser.....	178
Tabel 5. 15. Rekapitulasi Safety Factor Stabilitas Tanggul Skala Riil Software ANSYS Terhadap Momen Guling.....	179
Tabel 5. 16. Hasil Analisis Tanggul Skala Lab.....	181
Tabel 5. 17. Hasil Analisis Tanggul Skala Riil.....	186
Tabel 5. 18. Hasil Analisis Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil (Manual).....	190
Tabel 5. 19. Hasil Analisis Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil (Ansys).....	194
Tabel 5. 20. Korelasi Tinggi Air Dengan Kebutuhan Tebal Fiber.....	198



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1: Tabel Perbandingan Hasil Analisis Manual dan Analisis Ansys Pada Tanggul Skala Lab	xxvii
Lampiran 2: Tabel Perbandingan Hasil Analisis Manual dan Analisis Pada Tanggul Skala Riil	xxviii
Lampiran 3: Tabel Dimensi dan Model Tanggul Skala Lab.....	xxix
Lampiran 4: Dokumentasi Pelaksanaan Uji Laboratorium	xxx
Lampiran 5: Hasil Perhitungan Nilai X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab	xxxii
Lampiran 6: Hasil Perhitungan Momen Inersia Pada Tanggul Skala Lab.....	xxxiii
Lampiran 7: Hasil Perhitungan Nilai X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Riil.....	xxxiv
Lampiran 8: Hasil Perhitungan Momen Inersia Pada Tanggul Skala Lab.....	xxxv



DAFTAR SIMBOL

σ	=	Tegangan ($\text{Kg/m} \cdot \text{s}^2$ atau Pa)
ε	=	Regangan
h	=	Tinggi muka air (m)
M	=	Momen lentur ($\text{Kg} \cdot \text{m}$)
E	=	Modulus elastisitas ($\text{Kg/m} \cdot \text{s}^2$ atau Pa)
δ	=	Displacement / Perpindahan (m)
V	=	Gaya geser (Kg)
F	=	Gaya / Beban (Kg)
W	=	Gaya Berat (Kg)
τ	=	Tegangan geser ($\text{Kg/m} \cdot \text{s}^2$ atau Pa)
I	=	Momen inersia penampang (m^4)
b	=	Lebar penampang (m)
t	=	Tebal tanggul / pelat fiber (m)
ρ (rho)	=	Massa jenis material (Kg/m^3)
g	=	Percepatan gravitasi (m/s^2)
HWL	=	High Water Level (Muka Air Tertinggi) (m)
LWL	=	Low Water Level (Muka Air Terendah) (m)
MSL	=	Mean Sea Level (Rata-rata Muka Laut) (m)

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Perubahan iklim global telah menyebabkan peningkatan suhu bumi yang berkontribusi pada kenaikan permukaan laut akibat pencairan es di kutub dan pemuatan termal air laut. Menurut IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2021), permukaan laut global diproyeksikan meningkat antara 26 cm hingga 98 cm pada akhir abad ke-21, yang berdampak pada daerah pesisir dan wilayah rendah di seluruh dunia.

Fenomena ini memicu banjir rob, yaitu banjir akibat naiknya permukaan air laut yang merendam kawasan pesisir. Menurut Nicholls & Cazenave (2010), banjir rob menjadi ancaman serius bagi daerah dataran rendah karena dapat menyebabkan kerusakan infrastruktur, erosi pantai, hilangnya lahan produktif, serta gangguan sosial-ekonomi masyarakat pesisir.

Di Indonesia, beberapa wilayah seperti Jakarta, Semarang, dan pesisir utara Jawa sering mengalami banjir rob akibat kenaikan permukaan laut dan penurunan muka tanah (*subsidence*). Berdasarkan penelitian Marfai & King (2008), wilayah pesisir Semarang mengalami penurunan tanah rata-rata 8 cm per tahun, yang memperburuk dampak banjir rob. Oleh karena itu, dibutuhkan solusi teknologi yang dapat mengatasi permasalahan kenaikan air pasang secara adaptif.

Tanggul merupakan salah satu sistem pertahanan utama yang digunakan untuk melindungi wilayah pesisir dan sungai dari banjir. Namun, tanggul konvensional memiliki berbagai keterbatasan, antara lain, kurang adaptif terhadap kenaikan air pasang. Tanggul konvensional memiliki ketinggian tetap, sehingga ketika permukaan air naik melebihi batas tanggul, air tetap akan meluap dan menyebabkan banjir. Menurut Pilarczyk (2000), tanggul statis kurang efektif dalam menghadapi banjir ekstrem dan perubahan jangka panjang pada permukaan air laut. Kemudian biaya konstruksi dan pemeliharaan tinggi, menurut penelitian Aerts, J. C. J. H. et al. (2018), pembangunan tanggul membutuhkan investasi besar, terutama

dalam aspek konstruksi dan perawatan jangka panjang, selain itu, tanah di sekitar tanggul sering mengalami erosi akibat tekanan air, sehingga memerlukan perbaikan rutin dan dampak lingkungan negatif yaitu tanggul beton dapat menghambat dinamika alami ekosistem pesisir, seperti pertumbuhan Mangrove dan migrasi biota laut (Temmerman et al., 2013). Selain itu, tanggul dapat mengubah pola aliran air, menyebabkan sedimentasi yang berlebihan di beberapa area.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan inovasi dalam sistem pertahanan pesisir yang lebih fleksibel, berkelanjutan, dan mampu beradaptasi dengan perubahan lingkungan. Salah satu solusi yang diusulkan dalam penelitian ini adalah model tanggul fiber apung berbasis tenaga motor hidrolik.

Konsepnya adalah tanggul fiber apung ini menggunakan material fiber *composite* yang ringan, tahan lama, dan memiliki ketahanan tinggi terhadap air serta tekanan hidrostatik. Struktur tanggul dirancang dapat menyesuaikan ketinggian secara otomatis seiring dengan kenaikan dan penurunan air pasang. Menggunakan Sistem hidrolik / mekanik sebagai penggerak adaptif. Sistem hidrolik / mekanik memungkinkan tanggul bergerak naik-turun secara otomatis sesuai ketinggian air. Dengan sistem ini, tanggul dapat memberikan perlindungan dinamis yang lebih efektif dibandingkan tanggul konvensional. Keunggulan tanggul fiber apung berbasis motor hidrolik / mekanik adalah lebih adaptif dapat menyesuaikan ketinggian air secara otomatis, biaya lebih rendah, mengurangi kebutuhan akan perawatan yang intensif, ramah lingkungan, tidak mengganggu ekosistem pesisir, berbeda dengan tanggul beton yang menghambat aliran alami air dan kehidupan biota laut.

Untuk itu dari penelitian ini adalah menawarkan solusi baru dalam mitigasi banjir akibat kenaikan air pasang berlebih dengan pendekatan yang lebih adaptif dan berkelanjutan. Mengembangkan teknologi berbasis material fiber dan Sistem hidrolik / mekanik untuk meningkatkan efektivitas tanggul dalam menghadapi pasang berlebih. Dengan penelitian ini, diharapkan dapat diperoleh model tanggul fiber apung berbasis motor hidrolik / mekanik yang inovatif dan aplikatif, sehingga dapat digunakan dalam berbagai skenario perlindungan terhadap ancaman kenaikan air pasang di masa depan.

1.2 Identifikasi masalah

Permasalahan rob atau naiknya muka air laut di wilayah pesisir merupakan ancaman yang semakin nyata terhadap kelangsungan aktivitas sosial, ekonomi, dan infrastruktur masyarakat. Genangan rob yang masuk ke permukiman dan ruang publik menyebabkan kerugian material, gangguan aktivitas harian, dan penurunan kualitas lingkungan hidup.

Fenomena ini terjadi akibat kombinasi berbagai faktor, di antaranya penurunan permukaan tanah (*land subsidence*) akibat pengambilan air tanah berlebih dan peningkatan beban permukaan dari alih fungsi lahan, kenaikan permukaan laut (*sea level rise*) akibat pemanasan global, sedimentasi sungai yang tinggi karena aliran material dari hulu dan penumpukan sampah di badan sungai dan juga buruknya sistem drainase dan sanitasi, serta minimnya tanggul yang mampu menahan tekanan dari pasang laut dan limpasan air sungai secara bersamaan.

Kondisi ini menuntut adanya solusi struktural yang inovatif, adaptif, dan ramah lingkungan untuk mengatasi ancaman rob secara berkelanjutan. Salah satu solusi yang berkembang adalah dengan menggunakan tanggul apung berbahan fiber, yang dirancang agar mampu menyesuaikan diri terhadap fluktuasi muka air serta memiliki kekuatan material yang cukup untuk menghadapi gaya air secara terus-menerus. Namun, penerapan tanggul apung ini masih memerlukan kajian ilmiah yang mendalam, baik dari segi desain, kekuatan material, kestabilan struktur, hingga respons terhadap kondisi ekstrem. Oleh karena itu, perlu dilakukan pembuatan model tanggul apung fiber dalam skala laboratorium untuk mempelajari perilaku dan efektivitas desain secara fisik, menganalisis regangan, tegangan, dan kestabilan struktur tanggul melalui metode manual dan simulasi numerik berbasis perangkat lunak teknik (*software*), dan juga dalam skala riil serta dilakukan perbandingan antara hasil analisis laboratorium dan skala riil, untuk menilai konsistensi, efektivitas, dan efisiensi tanggul fiber apung sebagai solusi penanganan rob.

Dengan demikian, permasalahan utama yang hendak dijawab melalui penelitian ini adalah bagaimana tanggul apung fiber dapat dikembangkan sebagai sistem proteksi muara sungai yang efektif, berdasarkan hasil uji laboratorium dan simulasi numerik, serta bagaimana hasil tersebut dapat diadaptasi dan diimplementasikan dalam skala riil.

1.3 Perumusan masalah

Beberapa Penelitian dengan tema sejenis telah banyak dilakukan dengan metode, hasil, dan rekomendasi yang berbeda-beda satu dengan yang lainnya. Salah satu penanganan kenaikan air pasang yang efektif dan ramah terhadap lingkungan adalah dengan membangun tanggul fiber apung di sepanjang tanggul muara / sungai / pantai agar air pasang / rob tidak melimpas. Atas dasar hal-hal tersebut di atas, maka perlu dilakukan penelitian / pemodelan tentang :

1. Bagaimanakah bentuk model laboratorium dan simulasinya.
2. Bagaimanakah analisis stabilitas dan kekuatan material terhadap regangan – tegangan yang terjadi pada skala laboratorium secara manual maupun numerik (*Software*).
3. Bagaimanakah analisis stabilitas dan kekuatan material terhadap regangan – tegangan yang terjadi pada skala riil secara manual maupun numerik (*Software*).
4. Bagaimanakah hasil analisis pada skala laboratorium dibandingkan dengan hasil analisis skala riil

1.4 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dari penelitian ini adalah merealisasikan dan menguji model tanggul apung fiber

Sedangkan Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Membuat model laboratorium dan simulasinya
2. Analisis stabilitas dan kekuatan material terhadap regangan – tegangan yang terjadi skala laboratorium secara manual dan numerik (*Software*).
3. Analisis stabilitas dan kekuatan material terhadap regangan – tegangan yang terjadi Skala Riil secara manual dan numerik

(Software).

4. Membandingkan hasil analisis pada skala laboratorium dan skala riil.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Manfaat keilmuan yaitu :
Ditemukanya rumus dan model tanggul fiber apung
2. Manfaat aplikasi yaitu :
Dapat digunakannya tanggul fiber apung sebagai alternatif dalam menangani kenaikan air pasang.

1.6 Pembatasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah pada muara sungai, dimana ketika muka air laut naik (pasang) maka wilayah yang terdampak terlebih dahulu adalah pada muara sungai, ketika muara sungai meluap maka akan menggenangi sekitarnya, untuk itu penelitian ini dilakukan dengan beberapa batasan sebagai berikut :

1. Pemodelan tanggul fiber apung dilakukan pada muara sungai
2. Tidak dilakukan analisis data hidrologi, geoteknik dan energi gelombang
3. Tidak memperhitungkan skala kinematik berupa aliran air
4. Tidak memperhitungkan skala dinamis berupa gaya hidrolik.

1.7 Originalitas dan Pembaharuan

Penelitian ini merupakan pengembangan dari beberapa penanganan dalam mengatasi rob atau pasang air laut berlebih, beberapa model yang sudah ada adalah tanggul beton, tanah urug, pasangan batu kali, bendung karet, bendung gerak, dan lain sebagainya. Berikut beberapa jenis penanganan kenaikan muka air laut.

1.8 Kesenjangan (Gap) Penelitian dan Novelty

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, beberapa celah (gap) yang belum sepenuhnya teratasi adalah:

1. Adaptivitas Terbatas pada Tanggul Konvensional

- Tanggul statis (batu kali, beton, tanah urug) tidak dapat menyesuaikan ketinggian secara dinamis terhadap fluktuasi muka air laut (Ko & Kang, 2020; Temmerman et al., 2013).
 - Bendung karet (*rubber dam*) dan *fusegate* hanya bisa dikontrol secara manual/semi-otomatis (BPPT, 2021; ITB & PUPR, 2019).
2. Ketergantungan pada Sistem Jangkar dan Instalasi Kompleks
- Tanggul apung modular memerlukan sistem jangkar yang kuat untuk stabilisasi (ITB & PUPR, 2019), tetapi belum ada solusi untuk mengurangi biaya dan kerumitan instalasi.
3. Material dan Desain yang Kurang Optimal
- Biopolimer (Park et al., 2020) dan serat optik (Nguyen et al., 2021) fokus pada pemantauan dan penguatan, bukan sistem apung otomatis.
 - Tanggul fiber apung sebelumnya belum terintegrasi dengan sistem hidrolik/mekanik untuk gerakan naik-turun otomatis (Guo, Y., et al, 2023; Kim, J., et al, 2024).
4. Kurangnya Pendekatan Terpadu
- Penelitian terdahulu hanya fokus pada aspek tertentu (material, pemantauan, atau desain) tanpa menggabungkan fleksibilitas material fiber, sistem hidrolik otomatis, dan analisis stabilitas dinamis (Chen et al., 2022; Garcia et al., 2025).

Penelitian ini juga menawarkan inovasi / kebaruan /*novelty* berikut untuk mengisi gap tersebut:

1. Integrasi Sistem Hidrolik/Mekanik Otomatis
 - Penggunaan motor hidrolik/mekanik untuk menggerakkan tanggul fiber apung secara otomatis sesuai ketinggian air, tanpa intervensi manusia.
 - Berbeda dengan bendung karet atau *fusegate* yang membutuhkan kontrol manual (*novelty* dibandingkan BPPT, 2021).
2. Desain Tanggul Apung Berbasis Fiber *Composite*

- Material fiber *composite* dipilih karena ringan, tahan korosi, dan mudah diproduksi secara modular (mengatasi kelemahan tanggul beton dan biopolimer).
- Kombinasi dengan sistem apung dan hidrolis belum pernah diujikan dalam penelitian sebelumnya (Lee & Kim, 2019; Smith & Johnson, 2025).

3. Analisis Stabilitas Dinamis Terhadap Beban Hidrostatik

- Penelitian ini tidak hanya menguji material, tetapi juga tegangan, regangan, dan defleksi tanggul apung *under pressure* (tidak dibahas mendalam pada studi Huang et al., 2016 atau Li et al., 2017).
- Pemodelan numerik dengan *ANSYS* untuk simulasi kondisi ekstrem (gelombang, pasang surut).

4. Solusi Ramah Lingkungan dan Berkelanjutan

- Berbeda dengan tanggul beton yang merusak ekosistem, desain fiber apung meminimalkan dampak lingkungan (mengisi gap dari Temmerman et al., 2013).

5. Aplikasi Spesifik untuk Muara Sungai

Fokus pada muara sungai sebagai area kritis yang rentan banjir rob (belum ada penelitian sebelumnya yang menggabungkan sistem apung otomatis untuk lokasi ini).

Tabel 1. 1. Perbandingan Novelty VS Penelitian Terdahulu

Aspek	Penelitian Terdahulu	Kebaruan dalam Penelitian
Material	Biopolimer, beton, karet (Park et al., 2020)	<i>Fiber composite</i> + sistem apung hidrolis
Sistem Kontrol	Manual (bendung karet) atau semi-otomatis (DTS)	Otomatis berbasis motor hidrolis/mekanik
Lokasi	Pantai/pelabuhan (Wang et al., 2021)	Muara sungai (area banjir rob)
Analisis	Pemantauan (serat optik) atau uji gelombang	Simulasi <i>ANSYS</i> + uji stabilitas, tegangan-regangan

1.9 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan dalam penelitian ini yang dibahas pada setiap bab disertasi adalah sebagai berikut:

- BAB I** : Merupakan bagian pendahuluan dari penelitian tentang model tanggul apung sebagai alternatif model tanggul penanganan air pasang, yang berisikan tentang latar belakang masalah, identifikasi masalah, perumusan masalah, maksud dan tujuan penelitian, manfaat penelitian, pembatasan masalah, dan orisinalitas serta pembaharuan.
- BAB II** : Merupakan bagian Kajian Pustaka, yang berisikan uraian terkait Tanggul, Jenis dan Definisi Tanggul Pelindung, Rob, Pasang Surut Air Laut, Gaya Hidrostatik, dan Analisis Numerik, serta Penelitian – Penelitian terdahulu.
- BAB III** : Merupakan Bagian Pembahasan Metode Penelitian, yang berisikan uraian singkat tata cara penelitian, Pra- Design Tanggul Apung, Identitas Bahan Tanggul yang digunakan, Analisa Stabilitas, Pengujian Karakteristik Kestabilan Tanggul Apung Fiber, Data Penelitian, Instrumen Penelitian, Metode Analisis, dan Diagram Alur Penelitian.
- BAB IV** : Merupakan bagian Penyajian Data Eksperimen, yang berisikan Pelaksanaan Pengujian Laboratorium dan Data Hasil Pengamatan dan Uji Laboratorium, Perhitungan Manual Terkait Stabilitas Tanggul Apung yang ditinjau berdasarkan Defleksinya, Tegangan dan Regangannya serta Tekanan Hidrostatik.
- BAB V** : Merupakan bagian hasil pembahasan penelitian, yang berisi perhitungan stabilitas *Prototipe* tanggul apung fiber yang juga ditinjau berdasarkan karakteristik tegangan dan regangan, defleksi, dan respons tekanan hidrostatik. Kemudian dalam bab ini dijelaskan juga terkait pemodelan dan analisis numerik tanggul apung menggunakan *software ANSYS Static Stuctur*.

BAB VI : Merupakan bagian kesimpulan dan rekomendasi, yang berisikan tentang garis besar simpulan yang dapat diambil berdasarkan keseluruhan penelitian yang telah dilakukan, serta saran atau rekomendasi yang muncul akibat dari penelitian yang dilakukan.

Adapun pada bagian akhir disertasi akan disertakan daftar pustaka, lampiran data dan lampiran hasil analisis.



BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Tanggul

Tanggul adalah suatu bangunan pelindung yang dibuat untuk mencegah luapan air ke dataran. Tanggul menahan aliran air untuk meluap keluar pembatas jagaan, sehingga menghasilkan aliran yang lebih deras dan muka air lebih tinggi. Tanggul dibuat untuk tujuan *empoldering* / membentuk batasan perlindungan untuk suatu area yang tergenang. Bangunan tanggul dapat ditemukan di sepanjang pantai atau sungai, dapat berupa gundukan tanah, pasir, pasangan batu, beton atau lainnya. Dimana fungsinya untuk melindungi daratan dari banjir.

2.1.1 Definisi Tanggul

Menurut (Sosrodarsono & Takeda, 1977), tanggul merupakan bendungan urugan homogen. Hal ini disebabkan tubuh tanggul tersusun atas tanah yang cenderung homogen atau sejenis dengan susunan ukuran butiran tanah yang cenderung seragam. Tanggul termasuk ke dalam tipe bendungan urugan homogen, hal ini disebabkan tanggul memiliki fungsi dan bentuk yang hampir sama dengan bendungan. Tanggul dibangun untuk melindungi kawasan irigasi dari banjir yang diakibatkan oleh sungai atau pembuang yang besar atau laut.

Tanggul merupakan salah satu bangunan air yang memiliki fungsi utama untuk mencegah tingginya debit air pada kawasan hilir maupun hulu. Pembuatan tanggul ini merupakan salah satu bentuk usaha untuk konservasi tanah dan air. Hal ini, disebabkan tanggul dapat mengatasi atau mencegah banjir maupun kekeringan dengan cara menampung sementara air yang mengalir melewati sungai.

2.1.2 Fungsi Tanggul

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, selain memiliki fungsi untuk menampung air sementara, tanggul memiliki fungsi proteksi, yaitu melindungi daerah hilir dan hulu suatu kawasan dari banjir atau debit air yang

tinggi. Berdasarkan KP 04 yang dikeluarkan oleh Pemerintah Indonesia, kegunaan tanggul adalah tanggul dipakai untuk melindungi daerah irigasi dari banjir yang disebabkan oleh sungai (tanggul sungai), pembuangan yang besar, atau laut (tanggul laut/seawall). Lebih rincinya, berdasarkan USAC (2013) menyebutkan bahwa sebuah tanggul memiliki tiga fungsi utama, diantaranya yaitu untuk menghindari terjadinya banjir pada suatu kawasan dengan membendung air untuk sementara dan menjaga ketinggian permukaan air hingga ketinggian tertentu. Menyalurkan debit banjir pada kawasan hilir untuk menghindari terjadinya banjir pada kawasan hulu, dan berfungsi sebagai *control release* dengan mengatur debit air yang keluar dari tanggul dan menghindari terjadinya banjir pada kawasan hilir (USAC, 2013).

Sedangkan menurut Barid & Yacob (2007), tanggul berguna untuk memperlancar aliran sungai dan merubah bantaran sungai menjadi lahan pemukiman. Selain itu, tanggul memiliki fungsi untuk memperlancar aliran sungai dan mengurangi resiko banjir akibat aliran volume berlebih dalam jangka waktu yang pendek pada daerah hilir dari suatu tanggul.

Dalam menjalankan fungsinya sebagai penahan banjir, tubuh tanggul harus memiliki tinggi jagaan minimal dari muka air banjir. Berikut bagian-bagian tubuh tanggul yang harus diperhatikan berdasarkan DPU (1986) :

a. Tinggi Tanggul (H_d)

Tinggi tanggul diartikan sebagai perbedaan tinggi tegak antara puncak dan bagian dasar dari pondasi tanggul.

b. Tinggi jagaan (H_j)

Tinggi jagaan ialah perbedaan ketinggian antara elevasi mercu tanggul dengan elevasi permukaan maksimum rencana air.

c. Kemiringan Lereng (Talud)

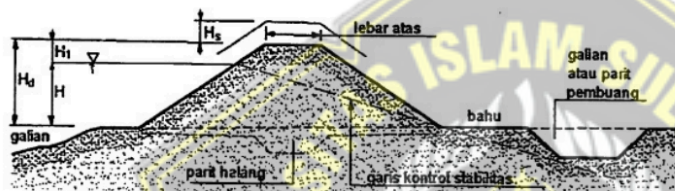
Kemiringan lereng ialah perbandingan antara panjang garis horizontal yang melewati tumit masing-masing lereng dan panjang garis vertikal yang melalui puncak.

Terdapat parameter yang harus dipenuhi untuk menentukan kemiringan lereng, yaitu yang menyangkut dengan material penyusun tanggul.

Tabel 2. 1. Parameter ¹⁵ Kemiringan Lereng

Material Urugan	Material Utama	Kemiringan Lereng Vertikal : Horizontal	
		Hulu	Hilir
Urugan Homogen	CH, CL, SC, GC, GM, SM	1 : 3	1 : 2.25
Urugan Majemuk	Pecahan batu	1 : 1.50	1 : 1.25
a. Urugan batu dengan inti lempung atau dinding diafragma			
b. Kerikil dengan inti lempung atau dinding diafragma	Kerikil	1 : 2.50	1 : 1.75

Sumber : Sosrodarsono & Takeda



Gambar 2. 1. Bagian-Bagian Tanggul (KP 04 Irigasi)

2.1.3 ² Pengertian dan Jenis - Jenis Bangunan Tanggul Pelindung

Alam pada umumnya telah menyediakan mekanisme perlindungan pantai secara alamiah yang efektif (Yuwono, 1998).

1. Pantai Pasir

Pantai pasir merupakan lindungan alamiah berupa hamparan pasir yang dapat berfungsi sebagai peredam energi gelombang yang efektif, serta bukit pasir (*sand dunes*) yang merupakan tempat penyimpanan pasir selama

air pasang dan juga berfungsi seperti tanggul/perlindungan untuk menghalangi air pasang dan gelombang yang merusak kawasan *backshore*. *Sand Dunes* merupakan salah satu pengaman pantai *non rigid* (tidak kaku) yang terbentuk secara alami. *Sand Dunes* terbentuk akibat kombinasi gerakan pasir, angin, dan tumbuhan pantai. Jika tidak terganggu oleh aktivitas manusia, *sand dunes* seringkali membentuk sistem perlindungan kontinu yang dapat diandalkan dalam jangka panjang.

2. Pantai Lumpur

Pantai berlumpur terjadi di daerah pesisir dengan banyak muara yang mengangkut sedimen suspensi dalam jumlah besar ke laut. Selain itu, karakteristik ombak pada jenis pantai ini relatif tenang sehingga tidak dapat membawa sedimen ke perairan dalam di laut lepas. Sedimen suspensi tersebut dapat tersebar pada hamparan air yang luas sehingga membentuk pantai yang luas, datar, dan dangkal. Kemiringan dasar laut pada jenis pantai ini sangat kecil. Umumnya, pantai berlumpur sangat rendah dan berawa yang tergenang air pada saat (pasang). Daerah ini sangat subur bagi tumbuhan pantai seperti pohon bakau (*Mangrove*) dimana, akar tunjang dan akar pernapasannya dapat menangkap lumpur sehingga terjadi sedimentasi. Daun dan ranting yang gugur dapat menjadi sampah organik sehingga mempersubur perairan pantai. Hutan yang terbentuk ini dapat berperan sebagai peredam energi gelombang, sehingga pantai dapat terlindungi dari erosi.

3. Pantai Karang

Gelombang sebelum mencapai pantai akan pecah di batu karang (*reef*), dan energinya berkurang atau hancur. Dengan demikian, gelombang yang mencapai tepi pantai relatif kecil sehingga tidak memiliki kemampuan untuk merusak pantai. Karang pelindung yang baik ialah karang yang masih tumbuh sehingga bila terjadi kerusakan akibat gempuran gelombang, terumbu karang tersebut dapat tumbuh kembali pada saat gelombang tenang. Jika perlindungan alami tersebut mengalami kerusakan dapat dilakukan perlindungan pantai buatan. Ada lima pendekatan dalam

perencanaan perlindungan buatan pada pantai, yaitu :

- a. Membangun *groyne* yang dapat merubah laju Transport sedimen sehingga sejajar pantai.
- b. Membangun *breakwater* sehingga energi gelombang dapat teredam dan tidak menghancurkan pantai.
- c. Membangun *revetment* atau *seawall* sebagai perkuatan tebing pantai.
- d. Menambah suplai sedimen ke pantai (dengan cara “*sand by passing*” atau “*beach nourishment*”).
- e. Melakukan penghijauan daerah pantai (dengan pohon bakau, api-api, atau nipah).

Surf Zone merupakan tempat transportasi sedimen di wilayah pesisir. Maju dan mundurnya posisi garis pantai sangat bergantung pada kecepatan dan arah angkutan sedimen di *surf zone*. Bangunan pemecah gelombang sangat diperlukan pada daerah ini untuk mereduksi kecepatan gelombang sehingga terhindar dari erosi yang dapat menimbulkan kerugian yang sangat besar dengan rusaknya kawasan di sekitarnya. Untuk menanggulangi erosi pantai, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mencari penyebab terjadinya erosi sehingga cara penanggulangan yang digunakan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi yang ada.

Berdasarkan implementasinya menurut Tygron (2018), tanggul dibagi menjadi tiga, diantaranya:

- a. Tanggul Perlindungan Banjir Sungai

Tipe tanggul ini bertujuan untuk menghindari terjadinya banjir di kawasan hilir dan hulu.



Gambar 2. 2. Tanggul Sungai/Danau (Purbangsa, Yandi (2022))



Gambar 2. 3. Tanggul Sungai (Dokumentasi Penulis)

b. Tanggul Perlindungan Banjir Laut

Tipe tanggul ini berfungsi untuk menghindari terjadinya banjir di kawasan pantai. Selain berfungsi untuk menghindari terjadinya banjir, tanggul ini bisa digunakan untuk memperluas lahan yang sebelumnya tergenang oleh air laut.



Gambar 2. 4. Tanggul Laut (Rashidi et al. (2021))



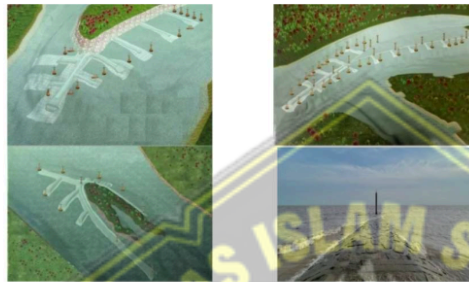
Gambar 2. 5. Tanggul Laut Eretan Indramayu (Dokumentasi Penulis)

c. Spur Dikes

Tipe tanggul ini berfungsi untuk mencegah terjadinya fenomena erosi. Tanggul ini secara umum dibangun di kawasan sempadan sungai atau sempadan laut.



Gambar 2. 6. *Spur Dike* Di Laut/Pantai (Safitri (2016))



Gambar 2. 7. *Spur Dike* Di Sungai (Li dkk., *Water* (2023))

2.2 Stabilitas Tanggul

Dalam perencanaan tanggul, tanggul didesain harus mampu menanggung beban sesuai fungsinya, yaitu menahan banjir di daerah irigasi atau penduduk. Maka dari itu, kekuatan dan keamanan tanggul harus benar-benar diselidiki dan direncanakan baik - baik. Berikut beberapa faktor yang mempengaruhi stabilitas tanggul menurut *USAC* (2013):

a. Erosi

Erosi dapat menyebabkan awal terjadinya ketidakstabilan dengan pembentukan lubang atau terbawanya material tanggul di bagian dasar tanggul

b. Aktivitas Seismik

Gaya seismik, baik vertikal maupun lateral dapat menyebabkan ketidakstabilan suatu tanggul. Gaya seismik yang menginduksi terjadinya *luquifikasi* dapat menyebabkan kegagalan struktur fondasi dari tanggul maupun struktur tanggul itu sendiri.

c. Tekanan Air/hidrostatik

Saat material tanggul menjadi tersaturasi oleh air akibat tingginya debit air dan air yang tersimpan di material tanggul tidak terdrainase ketika debit air menurun dapat menyebabkan meningkatnya berat tanggul dan menyebabkan terjadinya kegagalan kestabilan suatu tanggul.

d. Rembesan

Salah satu fenomena yang sering terjadi pada bendungan air tipe urugan, salah satunya tanggul ialah terjadinya rembesan pada bendungan tersebut. Rembesan pada tubuh tanggul dapat menyebabkan terangkutnya material-material halus. Terangkutnya material-material ini menyebabkan erosi bawah tanah (*piping*). Fenomena *piping* dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan turunnya tahanan aliran dan naiknya gradien hidrolis. Pengurangan tahanan aliran akan secara berangsur-angsur turun, sehingga aliran dalam tubuh tanggul akan membesar dan mengakibatkan erosi butiran yang lebih besar lagi. Secara berangsur-angsur, hal ini dapat menyebabkan keruntuhan pada bangunan akibat dari terbentuknya pipa-pipa di bawah tanah.

e. Aktivitas hewan

Selain disebabkan oleh rembesan, *piping* juga dapat disebabkan oleh aktivitas hewan yang cenderung untuk menggali lubang pada badan tanggul yang dapat menyebabkan ketidakstabilan suatu tanggul. Penggalian lubang ini dapat mengurangi kekuatan mekanis dari bendungan. Selain itu, faktor-faktor gaya yang mempengaruhi stabilitas tanggul diantaranya gaya aktif dan pasif, daya dukung tanah dan gaya angkat.

2.3 Breakwater

Breakwater atau pemecah gelombang lepas pantai merupakan bangunan yang dibangun sejajar pantai dengan jarak tertentu dari garis pantai. Bangunan ini dibangun untuk melindungi pantai yang terletak di belakangnya dari serangan gelombang. *Breakwater* dapat dibuat dari satu pemecah gelombang atau suatu seri bangunan yang terdiri dari beberapa ruas pemecah gelombang yang dipisahkan oleh celah. Perlindungan oleh *breakwater* terjadi karena berkurangnya energi gelombang yang sampai di perairan di belakang bangunan. Pengurangan energi gelombang di daerah terlindung dapat mengurangi transpor sedimen di daerah tersebut.

Transpor sedimen dari daerah di sekitarnya akan diendapkan di belakang bangunan. Pengendapan tersebut menyebabkan terbentuknya *tombolo* yang sebenarnya memerlukan waktu yang cukup lama. Selain itu, *breakwater* juga berfungsi untuk menahan sedimen yang terbawa arus pasang surut ke arah laut.



Gambar 2. 8. Formasi Tombolo (Sub Direktorat Rawa dan Pantai, 1997)

2.4 Jetty

Jetty adalah bangunan yang tegak lurus pantai dan terletak pada kedua sisi muara sungai. Fungsi utama *jetty* ialah untuk membendung kelokan di muara sungai dan memusatkan aliran pada alur yang telah ditentukan. Hal tersebut dapat mengikis endapan, sehingga pada awal musim penghujan saat debit besar (banjir)

belum terjadi, muara sungai telah terbuka. Selain itu *jetty* juga dapat mencegah pendangkalan di muara oleh sedimen pantai.

2.5 *Sand/Beach Nourishment*

Sand/Beach Nourishment dapat didefinisikan sebagai pengisian kembali pantai dengan bahan material sedimen (biasanya pasir). Hal ini dilakukan untuk menggantikan sedimen yang terbawa air laut. Biasanya pengisian dilakukan setiap tahun, sehingga cara ini kurang efisien. Bahan pengisi pasir dapat diambil dari pasir laut maupun pasir darat, tergantung ketersediaan bahan di lapangan dan kemudian diangkut dari tempat pengumpulan ke tempat pengisian.

2.6 **Rob**

Banjir rob merupakan kondisi dimana air laut meluap ke darat hingga menyebabkan banjir (*flooding*) dan menggenangi daratan yang ada di pesisir tersebut. Proses terjadinya banjir rob yang diakibatkan oleh adanya badai dimulai dari kemunculan gelombang badai (*storm surge*) yang dibangkitkan oleh badai serta gangguan atmosfer. Ketika terjadi badai, tekanan udara di pusat badai sangat rendah sehingga permukaan laut akan naik. Kenaikan permukaan air laut tersebut yang diakibatkan oleh melintasnya daerah tekanan atmosfer yang rendah akan membangkitkan gelombang yang menjalar keluar daerah pembangkitnya. Gelombang yang menjalar tersebut dinamakan *swell* dimana ketika ia sampai ke perairan pesisir ketinggian gelombang akan semakin meningkat seiring berkurangnya kedalaman di daerah tersebut. Semakin mendekati garis pantai seiring meningkatnya ketinggian gelombang, kecepatan gelombang akan berkurang serta memendeknya panjang gelombang. Ketinggian gelombang akan lebih meningkat apabila terjadi pasang tertinggi (*high tide*) bersamaan dengan *swell*. Adapun gelombang badai atau yang biasa disebut *storm tide* merupakan gabungan dari dua keadaan tersebut yang mengakibatkan terjadinya gelombang ekstrim dengan ketinggian bisa mencapai lebih dari 6 m. Kondisi ini dapat mengakibatkan fenomena banjir rob yang parah, terlebih apabila ketinggian tanah di daratan pesisir tersebut terbilang rendah (Ningsih & Wismarini, 2010).

Rob merupakan banjir yang terjadi akibat proses pasang surut air laut lalu mengenai lahan/kawasan pesisir yang ketinggiannya lebih rendah daripada permukaan air laut rata-rata. Proses terjadinya pasang surut merupakan pergerakan naik turunnya permukaan air laut secara vertikal akibat gaya tarik bulan-matahari serta benda angkasa terhadap bumi. Air yang bergerak terbantu oleh gaya gravitasi akan mengalir ke tempat yang rendah sehingga ruang-ruang yang ada ditempat rendah akan terisi. Fenomena inilah yang mengakibatkan banjir genangan efek dari pasang air laut pada kawasan pesisir, terutama pada daerah dengan morfologi landai. Kondisi ini akan diperparah apabila adanya intensitas curah hujan yang tinggi, banjir lokal maupun kiriman terlebih dengan kondisi drainase yang buruk. Terjadinya kenaikan muka air laut (*sea level rise*) yang diakibatkan oleh perubahan iklim dapat mempengaruhi suhu dan tekanan yang dapat menyebabkan badai sehingga muka air laut akan semakin meningkat (Suryanti & Marfai, 2008).

2.7 Pasang Surut Laut

Pasang surut laut adalah perubahan gerak relatif dari materi suatu planet, bintang dan benda langit lainnya yang disebabkan oleh tarikan gravitasi benda-benda langit dan materi eksternal. Berikut beberapa pengertian dan hal-hal yang berkaitan dengan pasang surut laut (Djunarsjah, 2005) adalah sebagai berikut :

- Pasang surut laut terjadi karena massa bulan melakukan tarikan gravitasi terhadap air laut dan menarik air laut menuju ke arah bulan yang diimbangi oleh gaya tarik bumi terhadap air laut.
- Pasang surut terjadi akibat rotasi bumi serta revolusinya mengelilingi matahari. Gerakan tersebut kemudian menciptakan gerakan air laut yang akan dimodifikasi oleh air laut.
- Pasang surut disebabkan oleh medan gaya yang dihasilkan oleh bulan dan matahari di permukaan bumi. Arah dan perbedaan gaya berubah secara periodik tergantung pada posisi kedua benda langit terhadap bumi. Selanjutnya gaya-gaya tersebut merupakan gaya yang menghasilkan pasang surut laut dapat disebut gaya pasang surut.
- Pasang Surut laut merupakan naik turunnya permukaan air laut secara

periodik yang disebabkan oleh gaya gravitasi antara bumi, bulan dan matahari.

Pasang surut merupakan gerakan naik turunnya muka air laut yang terjadi secara periodik. Ketika bumi-bulan-matahari berada pada satu garis lurus (bulan baru dan bulan purnama), maka pasang surut yang terbentuk berada pada ketinggian maksimal yang disebut dengan pasang purnama (*spring tide*). Sedangkan ketika posisi bumi-bulan-matahari berada pada tegak lurus maka akan terbentuk pasang perbani (*neap tide*). Resultan gaya antara gaya sentrifugal dan gaya tarik bulan inilah yang menjadi penyebab terjadinya fenomena pasang surut yang terjadi di laut (Azis, 2006).

Pasang surut terbentuk akibat adanya gaya tarik gravitasi dan efek sentrifugal. Efek sentrifugal merupakan dorongan ke arah luar pusat rotasi bumi. Gravitasi memiliki variasi secara langsung terhadap massa namun berbanding terbalik dengan jarak. Meskipun ukuran bulan lebih kecil dibandingkan dengan matahari, namun gaya tarik gravitasi oleh bulan dua kali lebih besar dibandingkan dengan gaya tarik matahari dalam pembangkitan pasang surut. Hal ini dikarenakan jarak antara bumi dengan bulan lebih dekat daripada jarak bumi dengan matahari. Gaya gravitasi menarik air laut ke arah bulan dan matahari sehingga menghasilkan dua tonjolan pasang surut gravitasi di lautan. Garis lintang dari tonjolan pasang surut tersebut ditentukan oleh deklinasi, yang merupakan sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari (Triatmodjo, 1999).

Menurut (Hidayati, 2017), terdapat beberapa definisi pasang surut seperti pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2. Kedudukan Air Laut

Parameter Elevasi	Keterangan
HWL (High Water Level)	Muka air tinggi saat air pasang dalam satu siklus pasut
LWL (Low Water Level)	Kedudukan air terendah saat air surut dalam siklus pasut

MHWL (Highest High Water Level)	Rerata muka air tinggi selama periode 19 tahun
MLWL (Mean Low Water Level)	Rerata muka air rendah selama periode 19 tahun
MSL (Mean Sea Level)	Rerata dari rerata muka air tinggi dan rerata mukaair rendah. Digunakan untuk elevasi daratan
HHWL (Highest High Water Level)	Air tertinggi saat pasut purnama
LLWL (Lowest Low Water Level)	Air terendah saat pasut purnama, keperluankedalaman digunakan untuk alur pelayaran dan kolam Pelabuhan

Kemudian untuk mengetahui perhitungan pasang surut di suatu perairan terdapat dua cara. Djaja (1989), menyatakan cara pertama adalah cara konvensional dengan mengambil rata-rata dari semua data pengamatan, dimana nilai yang didapatkan menyatakan ketinggian permukaan air laut rata-rata. Cara kedua adalah dengan pengolahan metode Admiralty, dimana permukaan air laut rata-rata diperoleh dengan menghitung konstanta komponen harmonik pasang surut. Tujuan adalah untuk menghasilkan komponen dinamik pasang surut berupa nilai konstanta harmonik seperti S, M, S, N, K, K, O, P, MS, dan M. Keterangan komponen harmonik hasil pengolahan metode admiralty dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 3. Komponen harmonik metode admiralty

No	Komponen Harmonik	Keterangan
1	So	Pasang surut tunggal utama yang dipengaruhi gaya tarik matahari

2	M_2	Pasang surut tunggal utama yang dipengaruhi gaya Tarik bulan
3	S_2	Pasang surut ganda utama yang dipengaruhi matahari
4	N_2	Pasang surut ganda utama yang dipengaruhi bulan
5	K_1	Pasang surut yang dipengaruhi deklimasi bulan dan matahari
6	K_2	Pasang surut yang dipengaruhi perubahan jarak matahari
7	O_1	Pasang surut yang dipengaruhi deklimasi bulan
8	P_1	Pasang surut yang dipengaruhi oleh deklimasi matahari terhadap sudut matahari
9	M_4	Pasang surut yang dipengaruhi ganda M_2
10	MS_2	Pasang surut yang dipengaruhi M , dan S .

Komponen harmonik dapat digunakan untuk menentukan datum vertikal dan menghitung nilai *formzahl* (F). Menurut (Yuwono & Qhomariyah, 2014) untuk mengetahui tipe pasang surut pada suatu perairan dapat ditentukan berdasarkan nilai *formzahl*. mendapatkan nilai ini dapat digunakan sebuah rumus yaitu:

$$F = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (2.7)$$

Menurut Fadilah (2014), nilai *formzahl* memiliki *range* tertentu yang digunakan untuk mengklasifikasi tipe pasang surut di suatu lokasi. *Range formzahl* dapat dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2. 4. Tipe pasang surut berdasarkan bilangan *formzahl*

Nilai <i>Formzahl</i>	Tipe Pasang Surut
$0,00 < F \leq 0,25$	Setengah Harian (Semidiurnal/Ganda)
$0,25 < F \leq 1,50$	Campuran Condong Harian Ganda (Condong Ganda)
$1,50 < F \leq 3,50$	Campuran Condong Harian Tunggal (Condong Tunggal)
$F > 3,00$	Harian (Tunggal)

2.8 Material Komposit

2.8.1 Komposit

Komposit ialah sebuah material yang terbuat dari dua bahan atau lebih dengan sifat mekanik lebih tinggi dari bahan pembentuknya. *Filler* sebagai pengisi komposit dan matriks sebagai pelindung atau pengikat komposit merupakan dua bagian dari komposit. *Organic fiber* merupakan komposit yang berbentuk serat. Serat yang berbentuk curah atau pendek akan berkekuatan lebih lemah daripada yang memiliki panjang secara alami. Serat panjang jarang memiliki cacat internal dan memiliki struktur kristal yang tersusun sepanjang sumbu erat sehingga strukturnya menjadi lebih sempurna dibandingkan serat yang berbentuk curah.

Fungsi serat ialah menjadi material rangka penyusun komposit, sementara matriks memiliki fungsi merekatkan serat supaya posisi serat tersebut tidak mengalami perubahan. Sifat dari matriks yaitu mudah diubah bentuknya melalui pemotongan dan dapat dilakukan pencetakan sesuai dengan kebutuhan desain yang diinginkan.

Sifat-sifat komposit yang dihasilkan juga bisa berubah tergantung dengan perbedaan pengaturan susunan seratnya. Pengaturan susunan serat ini dapat dimanfaatkan guna memperoleh sifat komposit yang diperlukan. Pembuatan matriks secara umum berbahan dasar resin dan katalis. Fungsi dari matriks ialah perekat material serat, supaya bisa merekat kuat tumpukan serat yang ada. Resin secara otomatis akan saling terjadi pengikatan dengan material serat, sehingga akan terjadi penyebaran secara merata dari beban yang dikenakan pada komposit tersebut. Fungsi resin juga sebagai pelindung serat dari kondisi cuaca ekstrem maupun bahan kimia yang berisiko bisa merusak (Muhajir, dkk., 2016).

Komposit memiliki kegunaan di berbagai keperluan, antara lain: bodi motor, bodi mobil, dinding peredam suara, bilah turbin angin, dan sebagai material penyimpanan dingin dan panas.

Material komposit menurut Yani dan Lubis (2018), meliputi pengikat dan penguat. Penguat (*filler*) memiliki karakter kurang elastis namun lebih kuat dan lebih kaku. Matriks atau pengikat lebih elastis di bandingkan penguat namun kekakuan dan kekuatannya lebih rendah. Komposit mempunyai sifat anisotropik

yaitu sifat material yang tergantung pada arah beban atau gaya yang dilakukan. Material konvensional memiliki sifat isotropik atau sifat yang tidak bergantung pada arah beban atau gaya yang dilakukan. ³² Dapat disimpulkan bahwa komposit memiliki sifat yang berbeda dengan material konvensional lainnya. sehingga serat menggunakan bahan yang getas, kaku, dan kuat, sementara matriks menggunakan bahan yang kuat, lunak, serta tahan akan perlakuan kimia.

Komposit secara umum dikelompokkan berdasarkan penguat dan matriksnya. Komposit berdasarkan unsur penguatnya, menurut (Harsi, dkk., 2010) dibedakan menjadi :

1. *Particulate Composite Material*

Particulate Composites adalah komposit yang memakai serbuk/partikel sebagai penguat yang secara merata terdistribusi pada matriksnya. Sifat-sifat komposit partikel dipengaruhi beberapa faktor yaitu terdiri dari ukuran serta bentuk partikel, rasio perbandingan antara partikel satu dengan yang lain, bahan partikel, dan jenis matriks yang digunakan. Komposit polimer yang memakai partikel memiliki keunggulan yaitu bisa menunjang peningkatan sifat fisis dari material seperti modulus elastisitas dan kekuatan mekanis (Banowati, 2010).

2. *Fibrous Composites Material*

Fibrous Composites ialah komposit yang meliputi satu lapisan atau satu laminat saja yang mempergunakan penguat berupa fiber/serat. Penggunaan fiber dapat berupa *aramid fibers polyaramide, carbon fibers, glass fibers*, serta lainnya. Penyusunan fiber ini menggunakan orientasi tertentu ataupun secara acak bahkan juga dapat berbentuk kompleks semacam anyaman.

Komposit menurut matriksnya dapat digolongkan menjadi tiga (Harsi, dkk., 2020) yaitu :

1. MMC (*Metal Matriks Composites*)

Metal matriks composites (MMC) merupakan komposit dengan matriks berbahan logam, jenis komposit ini mempunyai kelebihan dalam ketahanan serta kekuatan terhadap keausan (*using*).

2. CMC (*Ceramic Matriks Composite*)

Ceramic matriks composite (CMC) merupakan komposit yang bahan dasarnya dari keramik. Keramik yakni material dengan stiffness atau modulus elastisitas Young yang tinggi. Bahannya bisa menjadi alternatif dalam penggunaan bahan yang memerlukan ketegangan berat dan temperatur tinggi.

3. PMC (*Polymer Matriks Composites*)

Polymer matriks composites (PMC) adalah bahan komposit yang banyak digunakan, *Polymer matriks composites* (PMC) juga sering dinamakan *Fiber Reinforced Polymers of Plastics* (polimer berpenguat serat FRP). Komposit dari bahan ini umumnya menggunakan matriks polimer berbahan resin, serta sebagai penguatnya menggunakan serat semacam karbon, kaca, dan aramid.

Menurut Harsi, dkk. (2015) berdasarkan penempatannya tipe serat komposit dibedakan menjadi 4 tipe yaitu:

1. *Continuous Fiber Composite*

Serat penyusun *continuous fiber composite* lurus dan panjang, serta membentuk lamina yang terletak di antara matriknya. Kelemahan tipe ini yaitu pada pemisahan antara lapisannya. Kondisi tersebut disebabkan karena matrik mempengaruhi kekuatan antar lapisannya. Ilustrasi komposit *continuous fiber* ditunjukkan pada Gambar 2.10.

Gambar 2. 9. Ilustrasi *Fiber Continuous Composit* (Yani dan Lubis, 2018)

2. *Woven Fiber Composite*

Woven fiber composite tipe ini cukup sulit dipengaruhi oleh pemisahan antar lapisan sebab serat antar lapisannya tersusun mengikat. Namun, susunan seratnya panjang dan tidak cukup lurus berakibat pada tingkat kekakuan dan kekuatannya menjadi lemah. Ilustrasi komposit woven fiber ditunjukkan pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 10. Ilustrasi *Woven Fiber Composit* (Yani dan Lubis, 2018)

3. *Discontinuous Fiber Composite*

Discontinuous fiber composite ialah tipe komposit yang memiliki ciri serat yang pendek. Ilustrasi komposit *discontinuous fiber composite* ditunjukkan pada gambar 2.12.



Gambar 2. 11. Ilustrasi *Discontinuous Fiber Composite* (Yani dan Lubis, 2018)

4. *Hybrid Fiber Composite*

Hybrid fiber composite ialah komposit gabungan dari tipe serat acak dengan serat lurus. Penggunaan tipe ini agar bisa menggantikan kekurangan dari kedua sifat tipe serta bisa mengombinasikan kelebihan dari keduanya. Komposit serat ini memiliki bahan yang terdiri dari serat-serat yang saling berhubungan dan diikat oleh matriks. Terdapat dua macam bahan komposit serat ini yaitu serat pendek (*whisker* atau *short fiber*) dan serat panjang (*continuous fiber*). *Fiber composite* atau bahan komposit serat diambil pada

penelitian ini. Bahan komposit serat dalam penggunaannya sangat efisien dari menerima gaya dan beban. Bahan ini juga sangat kaku dan kuat jika diberi beban searah seratnya, kebalikannya bila beban yang diberikan tegak lurus serat maka akan sangat lemah (Harsi, dkk., 2020). Ilustrasi komposit *Hybrid Fiber Composite* ditunjukkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 12. Ilustrasi *Hybrid Fiber Composite* (Yani dan Lubis, 2018)

5. *Structural Composites Material*

Komposit ini sering disebut dengan komposit sandwich atau komposit berlapis yang meliputi dua beda material yang direkatkan. Ilustrasi *structural composites material* ditunjukkan pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 13. Ilustrasi *Structural Composites Material* (Yani dan Lubis, 2018)

6. *Laminated Composites*

Komposit *Laminated Composites* ialah suatu komposit yang meliputi dua atau lebih lapis yang kemudian digabungkan menjadi satu. Komposit ini terdapat karakteristik sifat tersendiri pada setiap lapisannya.

2.8.2 Serat

Serat ialah bahan utama yang menyusun komposit. Fungsi serat pada komposit ini sebagai penahan beban, maka kuat dan tidaknya bahan komposit

berpengaruh terhadap serat yang membentuknya. Apabila ukuran diameter seratnya semakin kecil yang digunakan justru bisa membuat bahan tersebut semakin kuat sebab meminimalisir cacat pada material (Triyono, dkk, 2019). Terdapat dua macam serat yaitu serat sintesis dan serat alam. Serat alam ialah serat yang berasal dari tumbuhan atau alam seperti, serat pohon pisang, eceng gondok, serabut kelapa, dan sonokeling. Sementara serat dari bahan-bahan anorganik yang mengandung komposisi bahan kimia disebut dengan serat sintesis. Serat sintesis yang sering dipergunakan yaitu serat karbon, kelvar, nylon, gelas, serat sebagainya (Schwartz, 1984).

Serat memiliki fungsi utama, yaitu:

- a. Menghantarkan listrik dengan baik pada komposit.
- b. Menghasilkan efek pada bahan menjadi memiliki sifat stabilitas panas, kekuatan, dan kekakuan.
- c. Sebagai pemberat atau pembawa beban.

Schwartz, (1984) menjelaskan bahwa persyaratan yang harus terpenuhi agar serat dapat menjadi penguat dalam struktur berikut ini:

- a. Serat memiliki diameter yang sama atau seragam.
- b. Stabil selama berlangsungnya penanganan proses produksi.
- c. Kekuatan yang sama diantara serat.
- d. Tingginya potensi kekuatan untuk.
- e. Modulus memiliki nilai elastisitas tinggi.

Berikut beberapa jenis serat yang sering digunakan:

A. Serat Gelas

Serat gelas ialah serat yang kerap digunakan dalam membuat komposit sebab sifat serat ini dirasa bagus dan memiliki kekuatan yang tangguh. Serat gelas bersifat tahan terhadap bakaran sehingga tidak akan mudah terbakar, memiliki kekuatan tarik yang tinggi dan sebagai isolasi listrik yang baik. Serat gelas dikelompokkan dalam beberapa jenis yaitu:

1. Serat gelas A

Serat ini memiliki kandungan alkali sehingga serat jenis ini sangat jarang dipilih sebagai bahan pembuatan komposit atau

reinforcement agent.

2. Serat Gelas E

Serat ini bersifat getas, tetapi serat ini merupakan isolator listrik yang baik sebab mempunyai kekuatan listrik, geser serta tekanan cukup tinggi. Selain itu serat ini mengandung kalsium, borosilikat, pasir silika, dan alumunium hidrosikda. Berbeda dengan serat gelas A, serat jenis ini justru memiliki kandungan alkali yang rendah.

3. Serat Gelas D

Serat ini merupakan salah satu serat yang kerap dipakai menjadi bahan untuk membuat alat elektronik karena memiliki sifat dielektrik yang baik.

4. Serat Gelas R & S

Serat ini digunakan untuk membuat pesawat terbang sebagai *reinforcement agent* karena serat ini memiliki kemampuan tinggi untuk bahan penguat. Kedua serat ini mempunyai perbedaan komposisi kimia. Serat gelas jenis R & S memiliki kemiripan massa jenis dengan serat gelas jenis E. Hanya saja tempat pembuatan serat tersebut berbeda serat gelas jenis E diproduksi di Eropa sedangkan diproduksi di Amerika untuk serat jenis R & S. Sifat-sifat serat Kaca-E dan Kaca-S ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Tabel 2. 5. Sifat-Sifat Serat Kaca-E dan Kaca-S (Callister, 2007)

Sifat	Kaca – E	Kaca - S
Masa Jenis (g/cm ³)	2,54	2,48
Koefisien muai termal linier ($\times 10^6$ °C)	4,7	5,6
Kuat tarik pada 22 °C (MPa)	3450	4585

Modulus tarik pada 22 °C(GPa)	72,4	85,5
Perpanjangan luluh (%)	4,8	5,7

Berdasarkan orientasi seratnya, serat *fiberglass* dibagi menjadi beberapa bentuk, di antaranya chopped strand mat, *Woven Roving*, dan *Countinous Roving*.

a. *Countinous Roving*

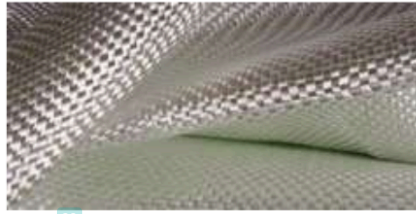
Countinous Roving ialah jenis serat *fiberglass* dengan serat berbentuk seperti benang panjang serta sifatnya kontinyu. *Countinous Roving* fiber ditunjukkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 14. *Countinous Roving* Fiber

b. *Woven Roving*

Woven Roving ialah jenis serat *fiberglass* dengan serat yang arahnya dipintal serat selanjutnya dilakukan penyusunan sampai bentuknya mirip anyaman. *Woven Roving* fiber ditunjukkan pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 15. *Woven Roving Fiber*

c. *Chopped Strand Mat*

Chopped Strand Mat ialah serat *fiberglass* yang tersusun dari bulu-bulu yang dijadikan satu, sehingga menghasilkan bentuk lembaran serat biasanya memiliki susunan yang acak atau tidak beraturan. *Chopped Strand Mat* fiber ditunjukkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 16. *Chopped Strand Mat Fiber*

B. Serat Karbon

Karbon merupakan serat dengan modulus elastisitas yang tinggi dan mempunyai koefisien serat kerapatan yang rendah. Serat karbon memiliki keunggulan diantaranya tahan lama, relatif kaku, tahan terhadap abrasi, stabil pada suhu tinggi, serta lingkungan yang agresif.

C. Serat Keramik

Keramik mempunyai satuan serat antara oksida aluminium (Al_2O_3) dan *Carbide Silicon* (SiC). Serat keramik mempunyai nilai modulus elastisitas tinggi pada satuan serat serta dipergunakan menjadi bahan penguat logam.

D. Serat Kevlar 49

Serat kevlar 49 digunakan sebagai bahan untuk polimer dengan beberapa sifat yang dimilikinya, yaitu :

- a. Rendah kerapatannya dan memberi kekuatan spesifik paling besar untuk suatu jenis fiber yang ada.
- b. Kekuatan dan kekakuan yang tinggi.
- c. Ringan.
- a. Penggunaan Kevlar 49 secara umum ada di industri seperti otomotif, marine, dan aerospace.

E. Serat Boron

Pembuatan serat Boron dari filamen karbon atau silika berlapis karbon. Modulus elastis dari serat ini tinggi, memiliki harga yang relatif tidak murah, serat memerlukan peralatan guna memosisikan serat dalam matriks dengan presisi (ketepatan) yang tinggi. Serat boron mempunyai pembatasan atas penggunaannya yakni pada komponen aerospace atau peralatan industri pesawat terbang.

2.9 Sistem Hidrolik

Sistem *hydraulic* adalah sistem pemindah tenaga dengan menggunakan zat atau fluida sebagai perantara, dimana fluida dinaikkan tekanannya oleh pompa kemudian diteruskan ke komponen kerja.

Prinsip dasar dari *hydraulic* adalah sifatnya yang sangat sederhana. Zat cair tidak mempunyai bentuk yang tetap, zat cair hanya dapat membuat bentuk menyesuaikan dengan yang ditempatinya. Zat cair memiliki sifat tak dapat dikompresi (*incompressible*). Karena fluida yang digunakan harus bertekanan, akan diteruskan ke segala arah secara merata dengan memberikan arah gerakan yang halus. Ini didukung dengan sifatnya yang selalu menyesuaikan bentuk yang ditempatinya dan tidak dapat dikompresi. Kemampuan yang diuraikan di atas akan menghasilkan peningkatan kelipatan yang besar pada gaya kerjanya. Karena sifat cairan yang selalu menyesuaikan bentuk yang ditempatinya, maka fluida akan mengalir ke segala arah dan dapat melewati berbagai ukuran dan bentuk. Untuk

menjamin bahwa komponen *hidraulik* harus aman dalam operasinya, dapat dipenuhi oleh sifat zat cair yang tidak dapat dikompresi. Apabila gaya di tekan ke arah silinder yang tertutup rapat maka pada silinder akan terjadi tekanan di permukaan dalam. Tempat terjadinya tekanan itu tentu akan merata ke seluruh bagian dalam silinder, disebabkan sifat zat cair yang meneruskan gaya ke segala arah.

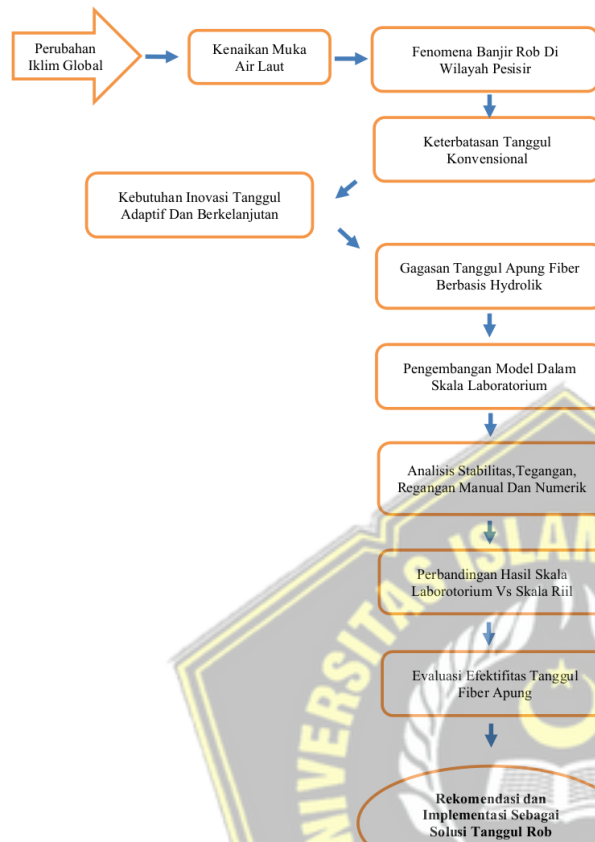
Hydraulic diartikan sebagai alat yang memindahkan tenaga dengan mendorong sejumlah cairan tertentu. Komponen pembangkit fluida bertekanan disebut pompa, dan komponen pengubah tekanan fluida (oli bertekanan) menjadi gerak mekanik disebut dengan elemen kerja. Prinsipnya elemen kerja akan menghasilkan gerak mekanis. Gerakan mekanis lurus (linear) dihasilkan dari elemen kerja berupa *hydraulic cylinder*, dan gerakan mekanis putar (*rotary*) dihasilkan oleh elemen kerja berupa *hydraulic motor*. Sebagai penggerak *hydraulic pump* dapat digunakan *engine* sebagai penggerak utama. Setelah oli *hydraulic* dipompa pada tekanan tertentu, kemudian disalurkan ke katup kontrol arah yang bertugas mengatur ke mana cairan motor hidrolik itu dialirkan.

2.10 Analisis Numerik

Pada pengerjaan penelitian ini digunakan *software ANSYS* dimana program tersebut adalah salah satu program komputer struktur pemodelan dengan metode elemen hingga (MEH), Metode elemen hingga mengombinasikan beberapa konsep matematika untuk menghasilkan persamaan sistem linier atau non linier. Jumlah persamaan yang dihasilkan biasanya sangat besar sehingga mencapai lebih dari 20.000 persamaan (Segerling, 1984). Karena itu, metode ini mempunyai nilai praktis dan cepat dalam suatu desain struktur. Nilai tegangan dan regangan pada suatu struktur dapat diketahui dengan cepat sehingga mampu untuk mencari alternatif yang terbaik dalam pemodelan.

2.11 Kerangka Berpikir

Berikut ini adalah kerangka berpikir dari penelitian penulis



2.12 Penelitian Terdahulu

Beberapa Penelitian sebelumnya dilakukan oleh Ko, D., & Kang, J. (2020) dengan judul “*Biopolymer-Reinforced Levee for Breach Development Retardation and Enhanced Erosion Control*”. Penelitian ini mengkaji penggunaan biopolimer sebagai material penguat untuk memperlambat perkembangan kerusakan pada tanggul akibat *overtopping* (limpasan air di atas tanggul). Dalam eksperimen ini, peneliti menambahkan lapisan biopolimer di atas permukaan tanah tanggul, lalu mensimulasikan aliran air tinggi untuk menguji daya tahan erosi dibandingkan dengan tanggul biasa. Hasilnya menunjukkan bahwa tanggul yang diperkuat biopolimer memiliki ketahanan erosi 3 hingga 5 kali lebih baik. Studi ini penting karena mengusulkan alternatif ramah lingkungan dibandingkan penggunaan beton atau geotekstil sintetis. Selain itu, teknik ini bisa diaplikasikan dengan biaya lebih rendah untuk daerah rawan banjir, karena biopolimer yang digunakan berbahan dasar alami dan biodegradable. Fokus mereka pada pengurangan kerusakan awal saat *overtopping* juga membuka kemungkinan kombinasi metode dengan teknologi monitoring dini.

Ko, D., & Kang, J. (2021) dengan judul “*Erosion Resistance Performance of Surface-Reinforced Levees Using Novel Biopolymers Investigated via Rtil-Scale Overtopping Experiments*”. Melanjutkan studi sebelumnya, penelitian ini fokus pada eksperimen skala nyata di mana tanggul diperkuat dengan berbagai jenis biopolimer diuji terhadap kondisi limpasan besar. Percobaan dilakukan dengan membuat replikasi tanggul di laboratorium besar, lalu dilakukan simulasi hujan deras dan aliran air deras di atas tanggul tersebut. Temuan utama dalam penelitian ini adalah bahwa struktur tanah yang diperlakukan dengan biopolimer memperlihatkan kekuatan ikatan partikel tanah yang lebih tinggi dan mengurangi pelepasan material akibat aliran air. Ini membuktikan efektivitas biopolimer tidak hanya dalam skala kecil (laboratorium) tapi juga pada level aplikasi lapangan. Penelitian ini juga menekankan perlunya perawatan berkala karena degradasi biopolimer dalam waktu tertentu.

Kim, J., et al (2025). juga melakukan penelitian lanjutan dengan judul

"Understanding Seepage in Levees and Exploring the Applicability of Using an Optical-Fiber Distributed Temperature System and Smoothing Technique as a Monitoring Method". Penelitian ini memperkenalkan penggunaan *Distributed Temperature Sensing* (DTS) berbasis serat optik untuk mendeteksi rembesan air dalam struktur tanggul. Teknologi DTS memanfaatkan perubahan suhu di sepanjang serat optik sebagai indikator adanya aliran air atau perubahan kelembapan di dalam tanggul. Eksperimen dilakukan dengan menginstal kabel serat optik dalam tanah tanggul dan menyimulasikan kebocoran rembesan. Hasilnya, pergerakan air bisa terdeteksi secara riil-time dengan akurasi spasial tinggi. Ini menjadi terobosan penting dalam upaya pemantauan dini stabilitas tanggul, yang biasanya sulit terdeteksi sebelum terjadi kerusakan besar.

Lee, C., & Kim, J (2019) dengan judul *"Design and Analysis of Floating Breakwaters Using Composite Materials"*. Penelitian ini fokus pada desain dan analisis tanggul apung yang menggunakan bahan komposit, termasuk dan fiberglass. Penelitian ini mencakup simulasi numerik dan pengujian fisik untuk menilai efektivitas material tersebut.

Wang, X., et al. (2021) dengan judul *"Performance of Floating Breakwaters in Wave Attenuation: A Case Study Using and Fiberglass Composites"*. Penelitian ini menyajikan studi kasus tentang penggunaan dan fiberglass dalam tanggul apung untuk mengurangi gelombang. Penelitian ini mencakup pengujian lapangan dan analisis data untuk mengevaluasi efektivitas material tersebut.

Smith, R., & Brown, T (2018) dengan judul *"Innovative Materials for Floating Breakwaters: A Focus on and Fiberglass"*. Penelitian ini membahas inovasi dalam material yang digunakan untuk tanggul apung, dengan fokus pada dan fiberglass. Penelitian ini mencakup analisis kekuatan material, daya tahan, dan kinerja dalam berbagai kondisi lingkungan.

Chen, L., et al (2022) dengan judul *"Numerical Modeling and Experimental Validation of Floating Breakwaters with Composite Materials"*. Penelitian ini menggabungkan pemodelan numerik dan validasi eksperimental untuk mengevaluasi kinerja tanggul apung yang menggunakan bahan komposit seperti dan fiberglass. Penelitian ini memberikan wawasan tentang optimasi desain dan



material.

Green, A., & White, D (2020) dengan judul "*Environmental Impact Assessment of Floating Breakwaters Made from and Fiberglass*". Penelitian ini mengevaluasi dampak lingkungan dari tanggul apung yang terbuat dari dan fiberglas. Penelitian ini mencakup analisis siklus hidup material dan rekomendasi untuk mengurangi dampak lingkungan.

Su, H., & Kang, Y. (2013) melakukan penelitian dengan judul "*Design of System for Monitoring Seepage of Levee Engineering Based on Distributed Optical Fiber Sensing Technology*". Penelitian tersebut berfokus pada meningkatkan deteksi dini untuk pergerakan tanah dan rembesan air di sepanjang badan tanggul, yang biasanya menjadi penyebab awal kegagalan struktur dengan desain sistem pemantauan tanggul menggunakan *Distributed Optical Fiber Sensing* (DOFS). Metode ini menggunakan serat optik yang tertanam di dalam tanah dan mampu memonitor deformasi atau perubahan tekanan dalam struktur tanah secara terus-menerus. Keunggulan utama adalah sistem ini dapat mendeteksi perubahan kecil sebelum terjadi kegagalan besar, sehingga sangat berguna dalam sistem tanggul darurat maupun permanen.

Leonardo, S., & Okdinawati, L. (2025). Penelitian ini berjudul "*Enhancing Embankment Stability Assessment in Mining Operations through Fiber Optic Instrumentations: A DMAIC Approach*". Studi ini menerapkan kombinasi antara *fiber optic instrumentation* dan metode manajemen kualitas DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve, Control*) untuk meningkatkan pemantauan stabilitas tanggul di area tambang. Studi ini berhasil mencatat pergerakan dan deformasi mikroskopis pada *embankment* (tanggul) sebelum terjadi keruntuhan atau longsor. Penggunaan pendekatan *Six Sigma* (DMAIC) membantu dalam sistematisasi data, mengoptimalkan interpretasi hasil pemantauan, dan mempercepat respon terhadap potensi kegagalan struktur dengan memanfaatkan sensor fiber optik.

du Roure, O., et al. (2019) melakukan penelitian juga dengan judul "*Dynamics of Flexible Fibers in Viscous Flows and Fluids*". Penelitian ini membahas tentang dinamika serat fleksibel di dalam aliran fluida viskos, relevan untuk desain sistem pelindung apung seperti tanggul serat atau barikade fleksibel.



Peneliti memodelkan bagaimana serat panjang berubah bentuk di bawah gaya fluida dan bagaimana itu mempengaruhi kinerjanya. Dimana penelitian ini ditemukan bahwa fleksibilitas serat sangat menentukan apakah suatu struktur mampu mengikuti aliran air atau justru mengalami kerusakan akibat tekanan fluida. Studi ini penting dalam desain tanggul apung berbahan fiber karena menginformasikan berapa tingkat kekakuan ideal agar tidak terjadi kegagalan struktural akibat beban gelombang atau arus deras.

Huang, Y., et al. (2016) dengan penelitiannya yang berjudul "*Development of a New Type of Floating Breakwater Using Fiber-Reinforced Polymer Materials*". Penelitian ini mengembangkan konsep *floating breakwater* berbahan *Fiber-Reinforced Polymer* (FRP). Fokus utamanya adalah menciptakan struktur apung yang kuat menahan gelombang laut dengan bobot ringan dan ketahanan korosi tinggi. Melalui uji laboratorium dan simulasi, hasilnya menunjukkan bahwa *breakwater* berbahan FRP mampu mengurangi energi gelombang hingga 70%, tergantung pada desain geometri dan beratnya. Ini menawarkan solusi efektif untuk melindungi pelabuhan, pantai, atau area konservasi tanpa membangun struktur permanen yang berat dan mahal.

Li, X., et al. (2017) melakukan penelitian berjudul "*Experimental Study on the Performance of Fiber-Reinforced Floating Breakwaters*". Dimana dilakukan uji eksperimental terhadap kinerja *breakwater* apung yang diperkuat serat dalam kondisi gelombang laut. Penelitian ini berfokus pada karakteristik penyerapan energi dan stabilitas struktur apung terhadap berbagai tinggi gelombang. Hasilnya, *breakwater* fiber ini sangat efektif untuk mengurangi tinggi gelombang di belakang struktur, bahkan saat menghadapi gelombang besar. Selain itu, kekuatan tarik dan ketahanan lentur material serat membuatnya lebih tahan lama dibanding *breakwater* tradisional berbahan kayu atau beton ringan. Struktur ini sangat cocok untuk aplikasi di daerah pesisir tropis yang rentan badai.

Zhang, L., & Wang, J. (2018) juga melakukan penelitian dengan judul "*Numerical Simulation of Floating Levee Structures Reinforced with Composite Materials*". Studi ini menggunakan simulasi numerik untuk menganalisis kinerja struktur tanggul apung berbahan komposit terhadap gelombang laut dan arus.



Penelitian ini memberikan gambaran tentang bagaimana material *fiber-reinforced composites* dapat mendistribusikan beban yang diterima oleh struktur tanggul secara merata, sehingga mengurangi potensi kerusakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa struktur komposit memiliki ketahanan terhadap deformasi yang lebih baik dibandingkan dengan struktur tradisional. Ini menunjukkan bahwa teknologi material komposit ringan dapat meningkatkan performa tanggul dalam menghadapi bencana alam seperti tsunami atau gelombang besar, sambil mempertahankan efisiensi biaya dan kemudahan instalasi.

Chen, H., et al. (2019) dengan judul penelitian "*Field Monitoring of Fiber-Reinforced Embankments Using Distributed Optical Fiber Sensors*". Penelitian ini mengaplikasikan teknologi *distributed optical fiber sensors* (DOFS) untuk memantau deformasi dan pergerakan dalam struktur tanggul yang diperkuat serat. Teknologi ini memungkinkan deteksi perubahan mikroskopis pada material tanggul yang biasanya sulit terdeteksi oleh sistem pemantauan konvensional. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa dengan menggunakan sensor serat optik, data yang lebih akurat dan tepat waktu mengenai kestabilan tanggul dapat diperoleh. Ini memungkinkan upaya pemeliharaan preventif yang lebih baik dan deteksi dini masalah yang bisa mengarah pada kegagalan struktur. Secara keseluruhan, sistem ini berpotensi menggantikan metode pemantauan manual yang lebih rawan kesalahan.

Institut Teknologi Bandung (ITB) & PUPR (2019), melakukan penelitian dengan judul "*Performance Evaluation of Floating Barriers for Coastal Protection in Jakarta Bay*". Dimana dalam penelitian ini ditemukan bahwa Tanggul apung fiber mengurangi energi gelombang hingga 35% pada kondisi pasang sedang. Namun, diketahui pula bahwa model tanggul yang diteliti memiliki kelemahan yaitu membutuhkan sistem jangkar yang kuat untuk stabilisasi.

Kemudian BPPT (2021) , melakukan penelitian berjudul "Uji Eksperimental Tanggul Apung Modular di Laboratorium Hidrodinamika". Penelitian ini menemukan bahwa Kombinasi fiber dan busa *poliuretan* meningkatkan daya apung dan mengurangi biaya produksi yang efektif untuk gelombang dengan tinggi < 1,5 meter.



Nugroho et al (2016), Kajian Kinerja Sistem Polder sebagai Model Pengembangan Drainase Kota Semarang Bagian Bawah dengan *Balanced Scorecard* yang merupakan salah satu teknologi pengendalian banjir dan rob di kota-kota besar adalah dengan sistem polder yang meliputi sistem drainase, kolam retensi, tanggul yang mengelilingi kawasan, serta pompa dan/ pintu air, sebagai kawasan pengelolaan tata air yang terpadu. Demikian juga dengan Kota Semarang beberapa polder yang telah beroperasi dan beberapa masih dalam tahap pembangunan. Untuk menilai keberhasilan pengelolaan polder, diperlukan adanya suatu kajian untuk mengetahui kinerja dari sistem tersebut dalam mengendalikan banjir dan rob di Kota Semarang. Penilaian kinerja dari sistem polder secara menyeluruh dalam penelitian ini digunakan konsep *Balanced Scorecard* (BSC). Hasil dari penelitian ini menunjukkan kinerja polder di Kota Semarang yang ideal adalah berturut-turut yaitu Polder Tanah Mas dengan nilai (73,81/100), Polder Banger (67,21/100), Polder Kali Semarang (58,70/100) dan Polder Tawang (58,65/100). Kinerja dari Sistem Polder di atas tidak dapat dilepaskan dari keberadaan badan pengelola yang mandiri dan yang telah dipersiapkan jauh sebelumnya. Sehingga keberadaan badan pengelola perlu dipersiapkan dalam pengembangan sistem polder. Untuk meningkatkan kinerjanya maka polder-polder yang sudah ada di Kota Semarang perlu ditingkatkan kinerjanya dengan meningkatkan kinerja: keuangan, badan pengelola, dan pembelajaran dan pengembangan.



Tabel 2. 6. Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
1	<i>Performance Evaluation of Biopolymer-Treated Soils for Levee Reinforcement</i>	Park, S., Kim, J., & Choi, H. Korea Selatan, 2020	Mengevaluasi penerapan biopolimer untuk memperkuat tanah dalam tanggul guna meningkatkan ketahanan terhadap erosi dan rembesan	Hasil percobaan menunjukkan bahwa tanah yang diperlakukan dengan biopolimer menunjukkan penurunan erosi yang signifikan, dengan ketahanan lebih baik terhadap penetrasi air. Hal ini sangat relevan untuk memperkuat tanggul di daerah yang rawan banjir tanpa memerlukan bahan kimia berbahaya atau metode konstruksi yang mahal.
2	<i>Application of Fiber Optic Sensing Technology in Monitoring Levee Stability</i>	Nguyen, T., Tran, P., Bui, V., & Pham, D. Vietnam, 2021	Perencanaan dan pemantauan dengan teknologi sensor serat optik	Sensor serat optik dipasang pada bagian dalam tanggul untuk mendeteksi perubahan suhu atau tekanan yang menunjukkan adanya pergeseran atau kerusakan struktural. Sistem pemantauan berbasis serat optik ini terbukti lebih efisien dalam mendeteksi deformasi mikroskopis dan perubahan kecil yang dapat mengarah pada

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
3	<i>Design and Analysis of Floating Levee Systems Using Advanced Composite Materials</i>	Kumar, R., & Singh, P. Indonesia Maret, 2003	Analisis Perencanaan	kegagalan lebih besar. Keunggulannya adalah deteksi riil-time dan monitoring jarak jauh, yang memungkinkan tindakan lebih cepat untuk memperbaiki atau menguatkan struktur tanggul sebelum kegagalan besar terjadi.
4	<i>Riil-Time Monitoring of Levee Seepage</i>	Lee, J., Kim, J., Park, S., Korea Selatan, 2025	Analisis Perencanaan	Mengembangkan sistem pemantauan berbasis <i>Distributed Temperature Sensing (DTS)</i> untuk mendeteksi rembesan air dan deformasi dalam

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
	<i>Using Distributed Temperature Sensing</i>			tanggul yang diperkuat dengan material komposit serat. Peneliti menginstal kabel fiber optik sepanjang tubuh tanggul untuk mendeteksi perubahan suhu yang terkait dengan aliran air atau pergerakan tanah. Hasilnya menunjukkan bahwa teknologi DTS dapat memberikan pengetahuan lebih awal jika terjadi perubahan suhu yang mengindikasikan kerusakan struktural atau kebocoran pada tanggul. Ini memungkinkan tindakan preventif yang lebih cepat, meningkatkan keandalan dan efisiensi pemeliharaan tanggul dalam jangka panjang.
5	<i>Analytical study on Self Closing Flood Barrier using ANSYS</i>	Krishnan, L., Mugesh, A., Pradeep Kumar, S., & Manivannan, R. International Journal	Self Closing Flood Barrier	<i>The SCFB was tested for critical hydrostatic pressure and the deformation and stress –strain characteristics were studied. It was found that aluminium alloy made SCFB has attained a</i>

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
6	A Review On Self-Closing Flood Barrier	Patil, P. S., Gupta. A. R., & Kate, S. S., International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science India.2022	Review SCBD	maximum total deformation was 1.4 mm and the maximum total strain was 4 x 10 ⁻³ . The maximum stress was observed about 24.5 N/mm ² . The fig.8 shows the maximum total deformation characteristics and the fig.9 shows the maximum total stress recorded and the fig.10 shows the maximum strain occurred This study provides analytical data to help determine the feasibility and feasibility of artificial sand in concrete as a partial replacement for fine aggregate. Steel barriers have proven to be cost-effective and lightweight. This allows for low cost and easy construction of barriers, the model of SCBD significantly reduces the man power since it is automatic and

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
7	<i>Innovative Use of Recycled Fibers in Floating Levee Construction</i>	Wang, Y., China, 2025	<i>Construction and Building Materials</i>	<i>it greatly minimize the hazards that cause loss of human lives. From the research and data study this solution is technically possible, economically feasible and environmentally acceptable flood defense system.</i> Studi ini meneliti penggunaan serat daur ulang untuk konstruksi tanggul apung. Fokus utama penelitian adalah untuk meningkatkan keberlanjutan dalam pembangunan tanggul dengan menggunakan material yang lebih ramah lingkungan dan mengurangi dampak limbah plastik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serat daur ulang dapat meningkatkan ketahanan terhadap gelombang dan beban struktural, dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan material komposit baru. Ini

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
8	<i>Experimental Study on the Performance of Floating Breakwaters with Different Structural Configurations".</i>	Zhang, L., & Wang, J. China 2020	<i>Experimental Floating Breakwaters</i>	memberikan jalan bagi pengembangan teknologi tanggul apung yang lebih ramah lingkungan, dengan kinerja yang tetap efisien dalam menghadapi cuaca ekstrem. Penelitian ini membahas berbagai konfigurasi struktural dari tanggul apung, termasuk penggunaan bahan seperti fiberglass. Studi eksperimental dilakukan untuk mengevaluasi kinerja tanggul apung dalam mengurangi gelombang.
9	<i>Hydrodynamic characteristics of inverse T-type floating</i>	Masoudi, E. (2019) Iran	Analisis Perencanaan	Jurnal ini fokus pada desain Desain baru seperti inverse T-type floating breakwater dikembangkan untuk meningkatkan kinerja dalam meredam gelombang laut dengan tetap

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
	<i>breakwaters. International Journal of Maritime Technology</i>			menjaga biaya dan material yang lebih efisien. Studi ini memberikan dasar numerik dan eksperimental untuk pengembangan desain breakwater apung berbahan alternatif, termasuk material ringan atau komposit di masa depan.
10	<i>Advancements in Fiber-Reinforced Floating Levee Technologies</i>	Smith, A., & Johnson, B 2025		Jurnal ini memberikan tinjauan komprehensif tentang desain, kinerja, dan aplikasi tanggul apung, termasuk penggunaan bahan seperti fiberglass. Jurnal ini berguna untuk memahami dasar-dasar teknologi tanggul apung.
11	<i>Performance of Floating Breakwaters in Wave Attenuation: A Case Study</i>	Wang, X 2021		Jurnal ini menyajikan studi kasus tentang penggunaan dan fiberglass dalam tanggul apung untuk mengurangi gelombang. Penelitian ini mencakup pengujian lapangan dan analisis data untuk mengevaluasi efektivitas material tersebut.

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
	<i>Using and Fiberglass Composites</i>			
12	<i>Innovative Materials for Floating Breakwaters: A Focus on and Fiberglass</i>	Smith, R., & Brown, T. 2018		Jurnal ini membahas inovasi dalam material yang digunakan untuk tanggul apung, dengan fokus pada dan fiberglass. Penelitian ini mencakup analisis kekuatan material, daya tahan, dan kinerja dalam berbagai kondisi lingkungan.
13	<i>Numerical Modeling and Experimental Validation of Floating Breakwaters with Composite</i>	Chen, L., Liu, M., & Zhang, X 2022		Jurnal ini menggabungkan pemodelan numerik dan validasi eksperimental untuk mengevaluasi kinerja tanggul apung yang menggunakan bahan komposit seperti dan fiberglass. Penelitian ini memberikan wawasan tentang optimasi desain dan material.

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
	<i>Materials</i>			
	<i>Environmental Impact Assessment of Floating Breakwaters Made from and Fiberglass</i>	Green, A., & White, D. 2020		Jurnal ini mengevaluasi dampak lingkungan dari tanggul apung yang terbuat dari dan fiberglass. Penelitian ini mencakup analisis siklus hidup material dan rekomendasi untuk mengurangi dampak lingkungan.
14	<i>Advancements in Fiber-Reinforced Floating Levee Technologies</i>	Smith, A., & Johnson, B. Amerika Serikat, 2025	Material Ekonomis	Penelitian ini memberikan ulasan terkini mengenai tanggul apung berbahan serat yang semakin populer karena ringan dan kuat. Penelitian ini memfokuskan pada berbagai aplikasi serat sintetis dalam pembuatan tanggul yang lebih ekonomis dan mudah dipasang.

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
15	<i>Performance of Floating Levees Under Extreme Weather Conditions</i>	Garcia, M., Johnson, Spanyol, 2025		Studi ini menunjukkan bagaimana desain tanggul apung berbahan serat dapat lebih tahan terhadap gerakan gelombang dan gangguan alam seperti badai dan tsunami. Selain itu, teknologi serat ini lebih mudah dipasang, dan struktur dapat dengan cepat dibongkar dan dipindahkan jika diperlukan, memberikan fleksibilitas lebih besar dibandingkan dengan struktur permanen. Penelitian ini mengkaji kinerja tanggul apung berbahan fiber dalam menghadapi cuaca ekstrem seperti badai besar, dengan fokus pada ketahanan material terhadap tingginya gelombang dan angin kencang (mensimulasikan kondisi saat bencana alam melanda). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa meskipun tanggul apung berbahan fiber mampu menahan

No	Judul	Penulis, Negara, Tahun	Metode	Hasil
				beban gelombang besar, penyesuaian desain dan pemilihan bahan sangat mempengaruhi efektivitasnya. Dengan desain yang tepat, tanggul apung ini terbukti cukup tangguh untuk melindungi daerah pesisir selama kondisi cuaca yang sangat ekstrem.

Dari beberapa model penanganan kenaikan muka air laut tipe tanggul Fiber apung, belum dilakukan penelitian ataupun pemodelan fisiknya, atas dasar itu bahwa penelitian ini adalah pembaharuan / inovasi baru dibidang sumber daya air.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Uraian Singkat Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental, yang melibatkan pengujian langsung di laboratorium dan simulasi numerik menggunakan perangkat lunak *ANSYS* untuk analisis validasi. Perbandingan dilakukan untuk melihat kesesuaian hasil antara eksperimen fisik dengan simulasi agar hasil dalam skala laboratorium dapat merepresentasikan dalam skala riil.

Pengujian eksperimental ini dilakukan sebagai dasar pengembangan konseptualisasi teoritis yang didasarkan pada data-data empiris dari aspek hidrolis untuk memperoleh hasil yang komprehensif dan menggali informasi selengkap mungkin, penelitian ini menggunakan satu model tanggul apung yang diuji dalam tiga skenario berbeda. Pendekatan ini diharapkan mampu memberikan gambaran yang lebih mendalam mengenai kinerja hidrolis tanggul serta kontribusi terhadap pemahaman perilaku sistem secara menyeluruh.

Tanggul apung di buat di laboratorium yaitu berupa bak / media isi air dengan material kaca transparan agar mudah diamati pergerakannya, pada ujungnya di buat tanggul apung dari bahan fiber. Perlu diketahui bahwa pemodelan ini dilakukan dengan tiga skenario yaitu pada saat pasang rendah (*Low Water Level*), pada saat pasang sedang (*Mean Sea Level*) dan pada saat pasang tinggi (*High Water Level*). Pasang rendah (*LWL*) yaitu pada saat tanggul mencapai ketinggian 2,5 cm dari top dudukan, pasang sedang (*MSL*) yaitu saat tanggul mencapai ketinggian 3,75 cm dari top dudukan sedangkan ketinggian maksimum (*HWL*) yaitu pada saat tinggi air 5 cm dari top dudukan, dan pada saat mencapai kepala tanggul yaitu 7 cm dari top dudukan.

Pada pengujian numeris dilakukan dengan metode elemen hingga yaitu menggunakan *software Ansys*, ini dilakukan untuk menganalisis percobaan tanggul apung di laboratorium dengan simulasi pemodelan dan pembebanan yang dilakukan, kemudian dibandingkan dengan pemodelan dan pembebanan hasil dari

analisis numeris, percobaan ini juga dilakukan untuk memperoleh pendekatan nilai dari tegangan regangan, nilai translasi dan rotasi di laboratorium berbanding analisis numeris.

3.1.1 Variabel Penelitian

Adapun variabel dalam penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- Variabel Bebas:** Tipe tanggul apung, Ketinggian dan frekuensi air pasang
- Variabel Terikat:** posisi dan deformasi tanggul, Gaya angkat dan tekanan pada tanggul
- Variabel Kontrol:** Bahan yang digunakan fiber, Luas permukaan dan massa tanggul

3.1.2 Data Primer

Pada penelitian ini data primer diperoleh dari observasi, eksperimen langsung, dan pengukuran lapangan. Data primer pada penelitian ini mencakup semua hasil pengukuran fisik di laboratorium dan lapangan yang berkaitan langsung dengan kinerja tanggul fiber apung. Data ini digunakan sebagai dasar validasi terhadap hasil simulasi numerik dan sebagai pembandingan antara model skala laboratorium dan skala riil. Berikut data primer dalam penelitian

Tabel 3. 1. Data Primer Penelitian

Jenis Data Primer	Metode Pengambilan	Alat Bantu	Hasil yang Diperoleh
Dimensi & volume model	Pengukuran langsung	Penggaris, jangka sorong	Data ukuran model tanggul
Berat & massa jenis	Penimbangan	Neraca digital	Massa jenis fiber, air, dll.
Gaya hidrostatik	Perhitungan manual dan pengujian tekanan air	Beban air	Besarnya tekanan air
Regangan & tegangan	Pengamatan eksperimen & software	Hasil analisis manual dan software	Grafik tegangan-regangan
Displacement /	Pengamatan	Hasil analisis	Grafik Perpindahan

Jenis Data Primer	Metode Pengambilan	Alat Bantu	Hasil yang Diperoleh
deformasi	eksperimen & software	manual dan software	tanggul saat diberi beban
Stabilitas guling/geser	Observasi gerakan model	Visual, kamera	Respon struktur saat diberi tekanan
Data Level air lapangan	Observasi & pencatatan	Water level, penggaris	Ketinggian muka air riil

3.1.3 Data Sekunder

Data yang diperoleh secara tidak langsung atau menggunakan informasi yang telah ada sebelumnya. Data ini telah dikumpulkan dan didokumentasikan oleh pihak lain sebelumnya untuk tujuan tertentu, dan kemudian digunakan kembali untuk penelitian baru. Adapun untuk memperoleh data sekunder, penulis melakukan pencarian kepada pihak – pihak terkait diantaranya:

1. Jurnal peneliti terdahulu
2. Prosiding peneliti terdahulu
3. Kajian pustaka lainnya.

3.2 Rencana Model Tanggul Apung

Untuk memperoleh data yang akurat pada saat uji laboratorium maka diperlukan perangkat sebagai berikut:

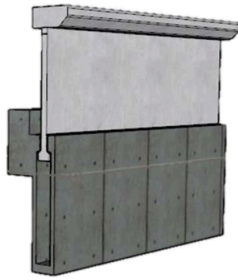
1. Skema Bak Uji

Pada penelitian kali ini, skema bak uji dibuat dengan menggunakan material kaca dengan lebar 12,5 cm , tinggi 17 cm, dan panjang 68 cm.

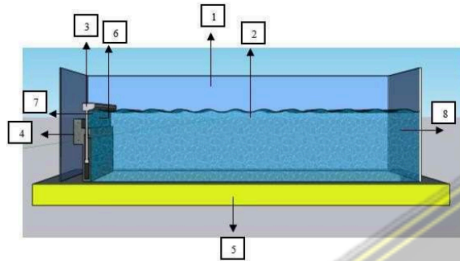


Gambar 3. 1. Ilustrasi Skema Bak Uji

2. Gambar Rencana Dimensi dan Konstruksi Model Tanggul Apung Fiber



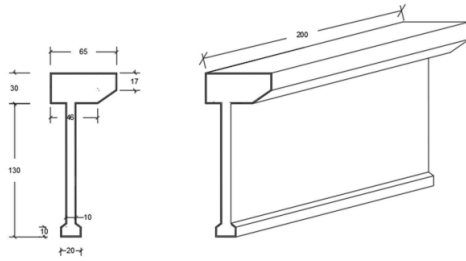
Gambar 3. 2. Tanggul Apung Model 3D



Gambar 3. 3. Gambaran Layout Tanggul Apung

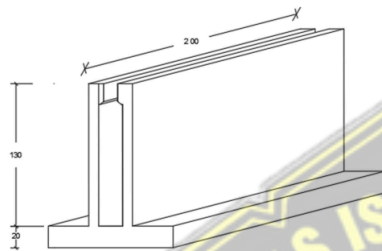
Keterangan :

- 1 : Bak Uji
- 2, 8 : Air
- 3 : Fiber
- 4 : Dudukan Fiber
- 5 : Dudukan Bak uji
- 6 : *Water Level*/Penggaris
- 7 : Hidrolik dan Motor



Gambar 3. 4. Dimensi Tanggul Apung (dalam cm)

Gambar 3.5 di atas merupakan gambaran riil model tanggul apung 1 yang akan dianalisis menggunakan *Software Ansys*. Adapun untuk analisis dan pengujian laboratorium model yang digunakan memiliki skala 1:20.



Gambar 3. 5. Ilustrasi 3D Dudukan Beton

Dudukan fiber ini diasumsikan kaku/stabil. Adapun materialnya adalah beton dengan mutu K250 dengan besi diameter 12 mm atau menyesuaikan kondisi di lapangan, pada proses pembuatannya beton ini bisa dicetak ditempat (site mix) ataupun dibuat secara fabrikasi sehingga mempermudah dalam pemasangan, beton ini adalah sebagai tumpuan /pondasi agar fiber apung dapat tertahan dan mampu melawan gaya

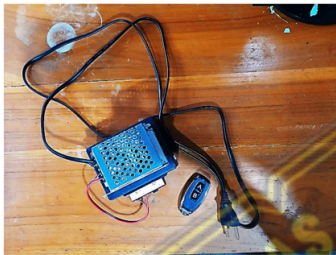
hidrostatik maupun hidrodinamis dari fluida.

3. Pemasangan mesin motor hidrolik

Mesin motor hidrolik ini diletakkan di bawah guna mengangkat tanggul fiber untuk menyesuaikan ketinggian muka air.

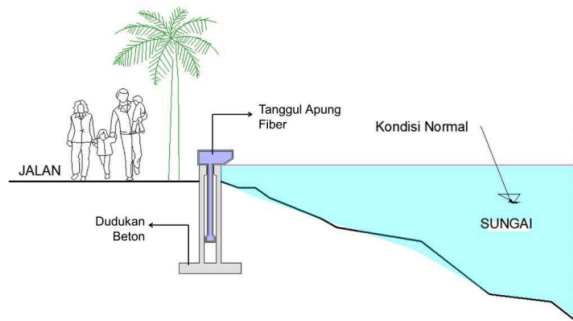


Gambar 3. 6. Motor Hidrolik

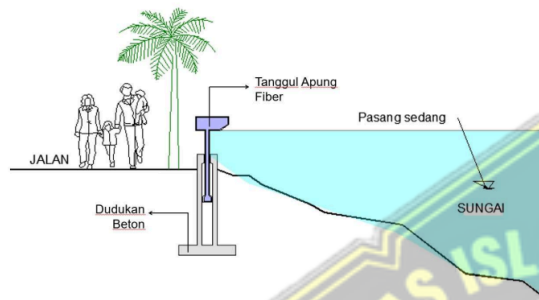


Gambar 3. 7. Adaptor dan Kontroler Motor Hidrolik

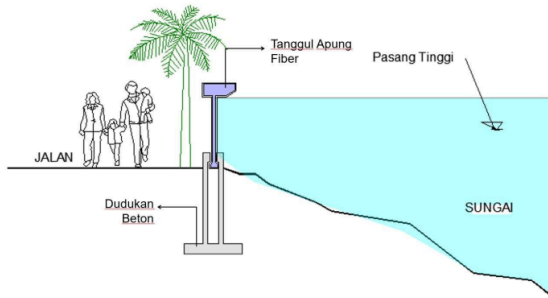
4. Skema Ilustrasi pemasangan tanggul apung pada muara sungai



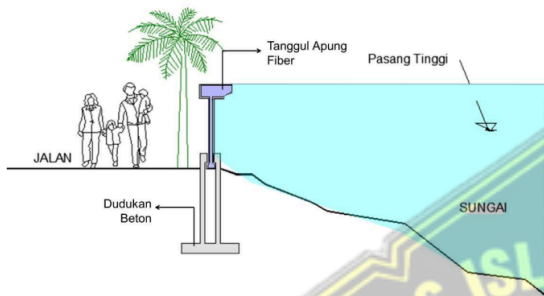
Gambar 3. 8. Ilustrasi Pemasangan Model Tanggul Pada Sungai (Skenario I)



Gambar 3. 9. Ilustrasi Pemasangan Model Tanggul Pada Sungai (Skenario II)



Gambar 3. 10. Ilustrasi Pemasangan Model Tanggul Pada Sungai (Skenario III)



Gambar 3. 11. Ilustrasi Pemasangan Model Tanggul Pada Sungai (Skenario IV)

3.3 Bahan dan Model Fisik Tanggul Apung

1. Fiber Berongga

Pada penelitian ini menggunakan bahan *fiberglass* sebagai model tanggulnya dimana fiber yang menjadi kriteria uji laboratorium adalah sebagai berikut :

Tabel 3. 2. Sifat-Sifat Serat Fiber (Agustina Gunawan, Sarah Yarden Palinggi, 2015)

Sifat	Nilai
Masa jenis (g/m ³)	2530 – 2600
Modulus Elastisitas (GPa)	7,3
Kekuatan Tarik (MPa)	350
Elongation (%)	4,8

Tabel 3. 3. Nilai Tegangan Berdasarkan Jenis Fiber (Ashby, M.F. Materials Selection in Mechanical Design)

Jenis Fiber Komposit	Tegangan Lentur Maksimum (MPa)	Tegangan Lentur Izin (MPa)
Glass Fiber (GFRP)	500 – 1200	100 – 300 (tergantung desain & FoS)
Carbon Fiber (CFRP)	600 – 1500+	200 – 400
Aramid Fiber (Kevlar)	500 – 1300	150 – 300
Natural Fiber (e.g. hemp)	40 – 150	10 – 50

Sedangkan dari orientasi seratnya, digunakan type, *chopped strand mat*, pada type ini seratnya tersusun dari bulu-bulu yang disatukan sehingga membentuk lembaran dan susunanya biasanya tidak beraturan atau acak. *Chopped Strand Mat* dapat dilihat pada Gambar .



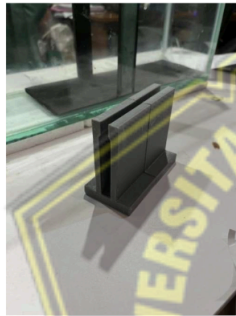
Gambar 3. 12. *Strand Mat Fiber*



Gambar 3. 13. Model Skala Lab Tanggul Untuk Uji Laboratorium

2. Dudukan Fiber

Dudukan fiber ini diasumsikan kaku/stabil. Adapun materialnya adalah beton dengan mutu K250 dengan besi diameter 12 mm atau menyesuaikan kondisi di lapangan, pada proses pembuatannya beton ini bisa dicetak ditempat (site mix) ataupun dibuat secara fabrikasi sehingga mempermudah dalam pemasangan, beton ini adalah sebagai tumpuan /pondasi agar fiber apung dapat tertahan dan mampu melawan gaya hidrostatik maupun hidrodinamis dari fluida.



Gambar 3. 14. Model Skala Lab Dudukan Beton Tanggul



Gambar 3. 15. Model Dudukan Beton Dalam Bak Uji Laboratorium

3.4 Pengujian Laboratorium

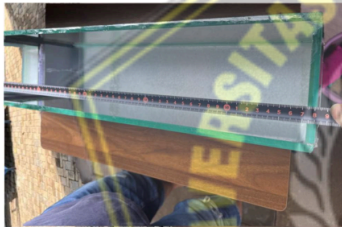
3.4.1 Instrumen Pengujian

Instrumen penelitian yang digunakan adalah bak uji yang diisi air dengan material tanggul fiber uji coba simulasi aliran. Jenis – jenis pengujian yang dilakukan dalam penelitian laboratorium antara lain sebagai berikut:

1. Pengujian gaya apung tanggul fiber
2. Stabilitas tanggul fiber
3. Efektivitas model tanggul fiber

3.4.2 Tahapan Pengujian Laboratorium

Sebelum melaksanakan pengujian, tahap pertama yang dilakukan adalah persiapan alat dan bahan. Adapun alat dan bahan yang diperlukan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3. 16. Persiapan Bak Uji



Gambar 3. 17. Persiapan Model Tanggul dan Dudukan

Persiapan uji eksperimen model tanggul apung fiber (dari serat karbon) dengan skala lab 1:20. Tanggul apung Skala Lab dicoba disusun diatas dudukan/pondasi beton.



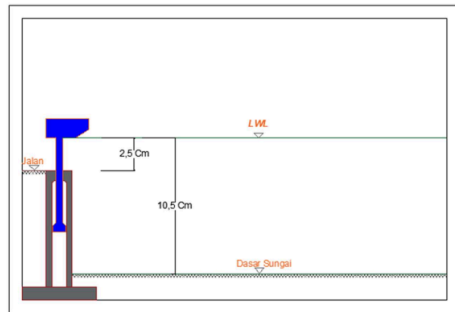
Gambar 3. 18. Perakitan Dudukan dan Tanggul Apung Skala Lab Ke Dalam Bak Uji

Setelah persiapan telah selesai dilaksanakan, berikut merupakan proses uji laboratorium tanggul apung fiber dengan mensimulasikan 4 skenario pada masing – masing model:

1. Uji Laboratorium Skenario I (Elevasi air saat surut)

Uji Model pada skenario I dilakukan dengan merakit tanggul apung beserta dudukannya dalam bak uji. Kemudian dialirkan air dengan

ketinggian pasang rendah (*LWL*) yaitu pada saat air setinggi 2,5 cm dari top dudukan atau 10,5 cm dari lantai dasar. Adapun ilustrasinya sebagai berikut:

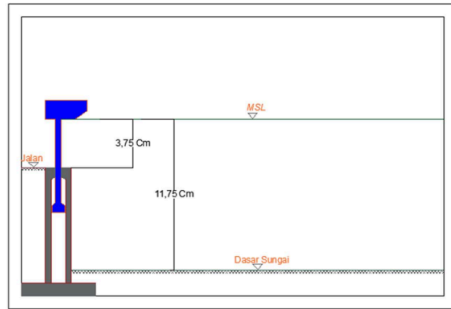


Gambar 3. 19. Ilustrasi Simulasi/Skenario I

Setelah tanggul apung selesai dirakit, tanggul tersebut siap diuji berdasarkan skenario uji seperti yang diilustrasikan di atas. Tubuh tanggul skenario I diuji dengan mengalirkan air dari hulu ke hilir sedikit demi sedikit hingga mencapai ketinggian 2,5 cm dari top dudukan atau 10,5 cm dari lantai dasar.

2. Uji Laboratorium Skenario II (Elevasi air saat rata-rata pasang)

Uji Model skenario II dilakukan dengan merakit tanggul apung beserta dudukannya dalam bak uji. Kemudian dialirkan air dengan ketinggian pasang sedang (*MSL*) yaitu pada saat air sampai setinggi 3,75 cm dari top dudukan atau 11,75 dari lantai dasar. Adapun ilustrasinya sebagai berikut:

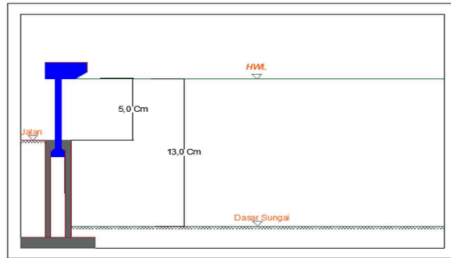


Gambar 3. 20. Ilustrasi Simulasi/Skenario II

Setelah tanggul apung selesai dirakit, tanggul tersebut siap diuji berdasarkan skenario uji seperti yang diilustrasikan di atas. Tubuh tanggul skenario II diuji dengan mengalirkan air dari hulu ke hilir sedikit demi sedikit hingga mencapai ketinggian 3,75 cm dari top dudukan atau 11,75 dari lantai dasar.

3. Uji Laboratorium Skenario III (Elevasi air saat pasang tinggi)

Uji Model skenario III dilakukan dengan merakit tanggul apung beserta dudukannya dalam bak uji. Kemudian dialirkan air dengan ketinggian pasang tinggi (*HWL*), dengan asumsi ketinggian bukaan fiber dalam kondisi maksimum. Jika dihitung berdasarkan skala laboratorium maka ketinggiannya adalah 5 cm dari top dudukan atau 13 cm dari lantai dasar. Adapun ilustrasinya sebagai berikut:

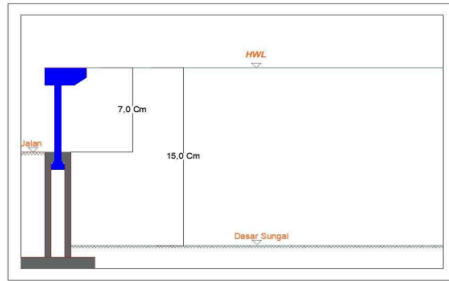


Gambar 3. 21. Ilustrasi Simulasi/Skenario III

Setelah tanggul apung selesai dirakit, tanggul tersebut siap diuji berdasarkan skenario uji seperti yang diilustrasikan di atas. Tubuh tanggul skenario III diuji dengan mengalirkan air dari hulu ke hilir sedikit demi sedikit hingga mencapai ketinggian 5 cm dari top dudukan atau 13 cm dari lantai dasar.

4. Uji Laboratorium Skenario IV (Uji Kegagalan Stabilitas/ *Failure*)

Uji kegagalan model ini dilakukan dengan merakit tanggul apung beserta dudukan dalam bak uji. Kemudian dialirkan air hingga melewati ketinggian pasang tinggi (*HWL*), dengan asumsi ketinggian bukaan fiber dalam kondisi maksimum. Jika dihitung berdasarkan skala laboratorium maka ketinggiannya adalah 7 cm dari top dudukan atau 15 cm dari lantai dasar. Adapun ilustrasinya sebagai berikut:



Gambar 3. 22. Ilustrasi Skenario IV/ Simulasi Kegagalan (*Failure*)

Setelah tanggul apung selesai dirakit, tanggul tersebut siap diuji berdasarkan skenario uji seperti yang diilustrasikan di atas. Tubuh tanggul diuji dengan mengalirkan air dari hulu ke hilir sedikit demi sedikit hingga mencapai ketinggian 7 cm dari top dudukan atau 15 cm dari lantai dasar.

3.5 Analisis Statis Struktur Tanggul Secara Manual

Analisis struktur Statis tanggul dilakukan dengan mempertimbangkan beban – beban yang terjadi baik beban normal, momen maupun torsi. Berikut merupakan skema gaya yang terjadi pada Model tanggul pada Skenario I, Skenario II, Skenario III dan Skenario IV (simulasi kegagalan/*failure*).

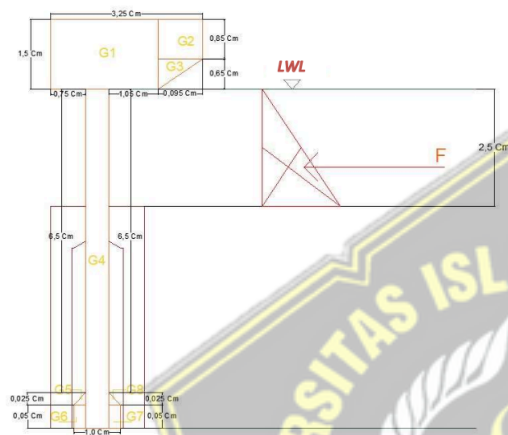
Gambar 3.19 menunjukkan analisis gaya pada model tanggul fiber apung saat muka air pasang rendah, dengan elevasi air 10,50 cm dari lantai dasar. Namun, dalam penelitian kali ini, material yang ditinjau adalah fiber sehingga diasumsikan tinggi air pasang rendah (*LWL*) yang terjadi adalah 2,50 cm dari top dudukan. Dimana gaya – gaya tersebut akan mengakibatkan adanya displacement dan tegangan pada dan lapisan fiber.

Gambar 3.20 menunjukkan analisis gaya pada model tanggul fiber apung saat muka air pasang sedang (*MSL*), dengan elevasi air 11,75 cm dari lantai dasar atau dalam penelitian ditinjau 3,75 cm dari top dudukan. Dimana gaya – gaya tersebut akan mengakibatkan adanya *displacement* dan tegangan pada dan lapisan

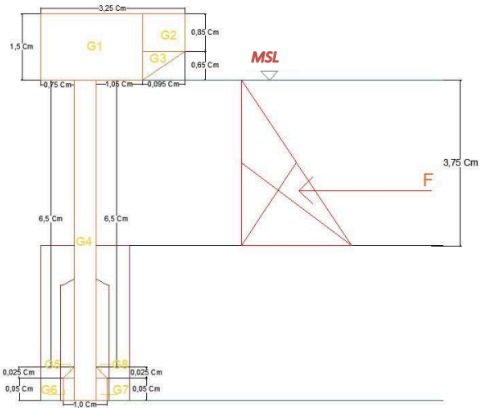
fiber.

Gambar 3.21 menunjukkan analisis gaya pada model tanggul fiber apung saat muka air pasang tinggi (*HWL*), dengan elevasi air 13,00 cm dari lantai dasar atau dalam penelitian ditinjau 5,00 cm dari top dudukan. Dimana gaya – gaya tersebut akan mengakibatkan adanya displacement dan tegangan pada dan lapisan fiber.

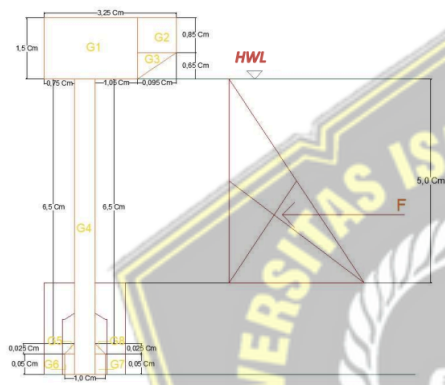
Gambar 3.22 menunjukkan analisis gaya pada model tanggul fiber apung saat muka air sampai pada top tanggul fiber, dengan elevasi air 15,00 cm dari lantai dasar atau dalam penelitian ditinjau 7,00 cm dari top dudukan. Dimana gaya – gaya tersebut akan mengakibatkan adanya displacement dan tegangan pada dan lapisan fiber.



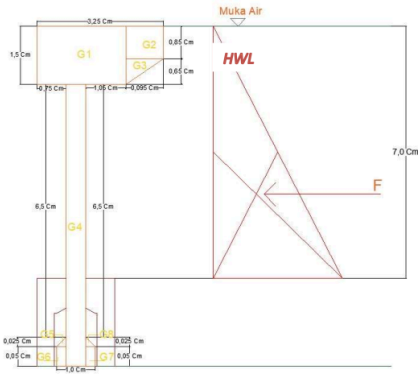
Gambar 3. 23. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Lab Skenario I



Gambar 3. 24. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul skala lab Tanggul Skala Lab Skenario II



Gambar 3. 25. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul skala lab Tanggul Skala Lab Skenario III



Gambar 3. 26. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul skala lab Tanggul Skala Lab Skenario IV (Simulasi Kegagalan/ *Failure*)

Adapun melalui pendekatan hitungan manual dapat digunakan rumus rumus berikut :

1. Tekanan Hidrostatik, Gaya Tekan Hidrostatik, dan Titik Tangkap

$$P = \rho \times g \times h \quad (3.1)$$

$$F = P \times A \quad (3.2)$$

$$y_c = 2/3 \times h \quad (3.3)$$

Dimana :

P = Tekanan Hidrostatik (Kg/ms^2)

γ = Berat Jenis Air (kg/m^3)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

h = Ketinggian Air (m)

y_c = Titik Tangkap Gaya Hidrostatik (m)

F = Gaya Tekan Hidrostatik (Kg/m/s²)

2. Persamaan Defleksi/ Displacement

$$\delta = \frac{F + h^3}{3E} \quad (3.4)$$

Dimana :

δ = Displacement (m)

F = Gaya Tekan Hidrostatik (Kg/m/s²)

h = Ketinggian Air (m)

E = Modulus Elastisitas (Kg/ms²)

I = Inersia Penampang (m⁴)

3. Persamaan Tegangan Normal

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

Dimana :

σ = Tegangan Normal (Kg/ms²)

A = Luas Penampang (m²)

g = Percepatan Gravitasi (m/s²)

h = Ketinggian Air (m)

4. Persamaan Tegangan Geser

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.6)$$

Dimana :

σ = Tegangan Geser (Kg/ms²)

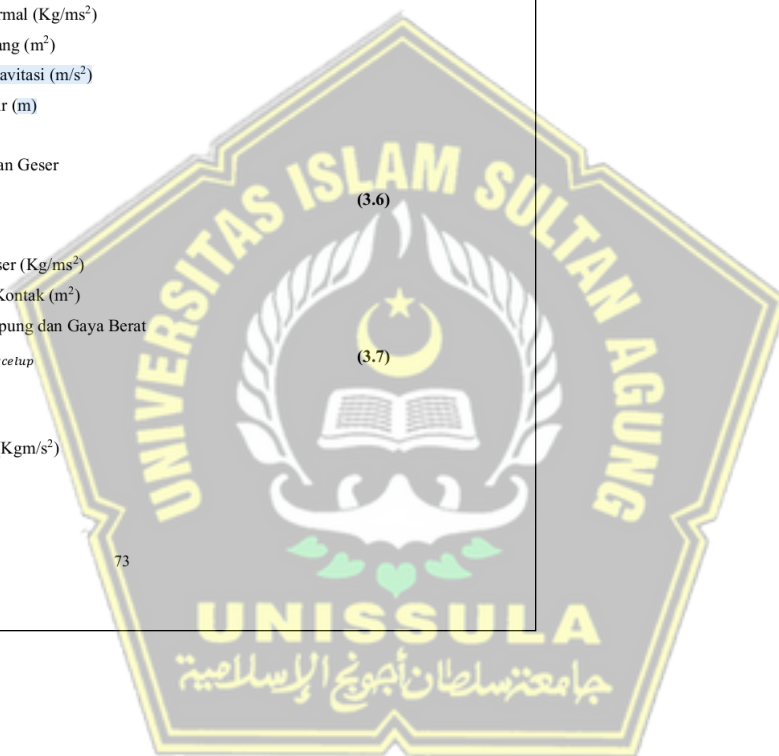
A = Luas Bidang Kontak (m²)

5. Persamaan Gaya Apung dan Gaya Berat

$$F_A = \rho \times g \times V_{tercetup} \quad (3.7)$$

Dimana :

F_A = Gaya Apung (Kg/m/s²)



V = Volume Benda Tercelup (m^3)

ρ = Berat Jenis Benda (kg/m^3)

g = Percepatan Gravitasi (m/s^2)

$$W = \rho \times V_{benda} \quad (3.8)$$

Dimana :

W = Gaya Berat (Kgm/s^2)

V = Volume Benda (m^3)

ρ = Berat Jenis Air (kg/m^3)

6. Syarat Stabilitas Terhadap Gaya Apung

$$\frac{F_a}{W} > 1 \quad (3.9)$$

Dimana :

F_a = Gaya Apung (Kgm/s^2)

W = Gaya Berat (Kgm/s^2)

7. Syarat Stabilitas Terhadap Gaya Geser

$$\frac{F_R}{F_H} > 1,5 \quad (3.10)$$

$$F_R = \mu \times W \quad (3.11)$$

Dimana :

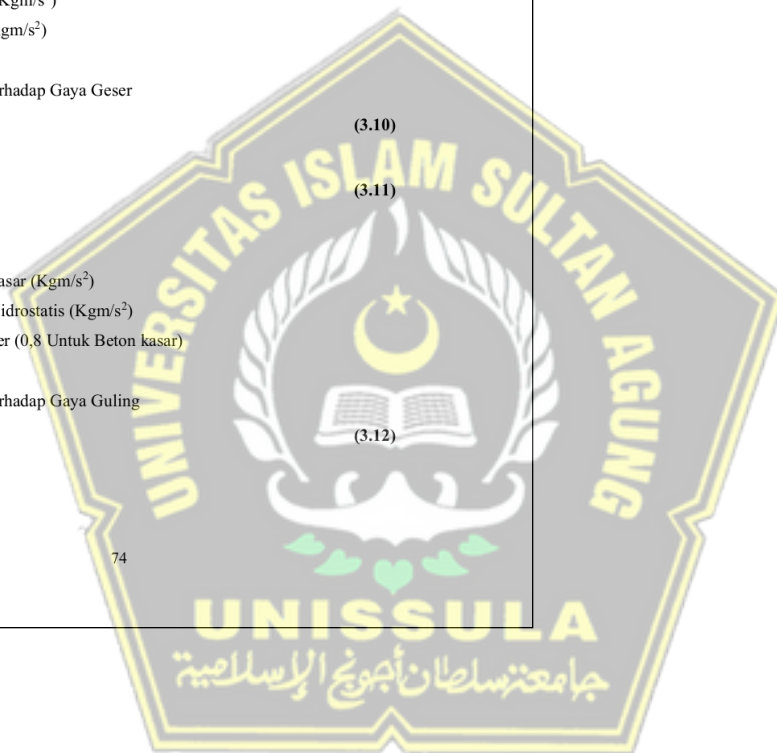
F_R = Gaya Geser Dasar (Kgm/s^2)

F_H = Gaya Tekan Hidrostatik (Kgm/s^2)

μ = Koefisien Geser (0.8 Untuk Beton kasar)

8. Syarat Stabilitas Terhadap Gaya Guling

$$\frac{MG}{MT} > 1,5 \quad (3.12)$$



$$M_G = FH \times \frac{1}{3}h \quad (3.13)$$

$$M_T = W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \quad (3.14)$$

Dimana :

M_G = Momen Guling (Kgm/s². m)

M_T = Momen Tahan (Kgm/s². m)

3.6 Analisis Numerik Struktur Tanggul Dengan Software

Untuk memperoleh data yang akurat, maka selain dilakukan pengujian laboratorium dilakukan pula pengujian numerik menggunakan *software Ansys* . Adapun tahapan simulasinya adalah sebagai berikut:

1. Pembuatan Model dalam *ANSYS*
 - a. Pembuatan geometri kedua model tanggul apung menggunakan *ANSYS Design Modeler*.
 - b. Kedua model tanggul dibuat secara virtual dengan dimensi dan sifat material yang sama dengan eksperimen di laboratorium.
2. Penerapan *boundary conditions*:
 - a. Kondisi ketinggian air dan gaya angkat yang sama dengan uji laboratorium.
 - b. Simulasi dilakukan dalam kondisi beban statis dan dinamis.
3. Pemilihan Modul *Ansys*
 Analisa struktural, modul ini digunakan untuk mensimulasikan respon *static* dari fiber terhadap gaya fluida. Dapat dilihat pula deformasi atau gaya – ya yang diterima oleh fiber.
4. Simulasi Dinamis dan Analisis Tekanan
 - a. Simulasi memprediksi:
 - i. Tekanan air terhadap tanggul
 - ii. Deformasi dan perpindahan tanggul
 - iii. Perilaku tanggul dalam kondisi gelombang dengan frekuensi yang

bervariasi.

5. Pengukuran dan Analisis Hasil Simulasi

Parameter yang dianalisis: deformasi, gaya angkat, dan tekanan.

3.7 Analisis Perbandingan dan Validasi Data

3.7.1 Komparasi Hasil Laboratorium vs. Simulasi ANSYS

1. Membandingkan hasil deformasi dan karakteristik dari kedua model berdasarkan data dari laboratorium dan simulasi *ANSYS*.
2. Parameter utama:
 - a. Perpindahan maksimum tanggul (deformasi horizontal dan vertikal).
 - b. Tekanan maksimum dan gaya angkat yang diterima tanggul.
 - c. Waktu yang dibutuhkan tanggul untuk kembali ke posisi stabil setelah diganggu oleh aliran air.

3.7.2 Analisis Perbedaan Hasil

Analisis ini dilakukan jika terdapat perbedaan antara hasil eksperimen dan simulasi, dilakukan analisis penyebab dengan faktor – faktor berikut:

1. Kemungkinan kesalahan pengukuran atau pengaturan di laboratorium
2. Faktor gesekan atau aliran turbulen yang tidak terukur secara sempurna
3. Kemungkinan keterbatasan dalam pemodelan numerik di *ANSYS*

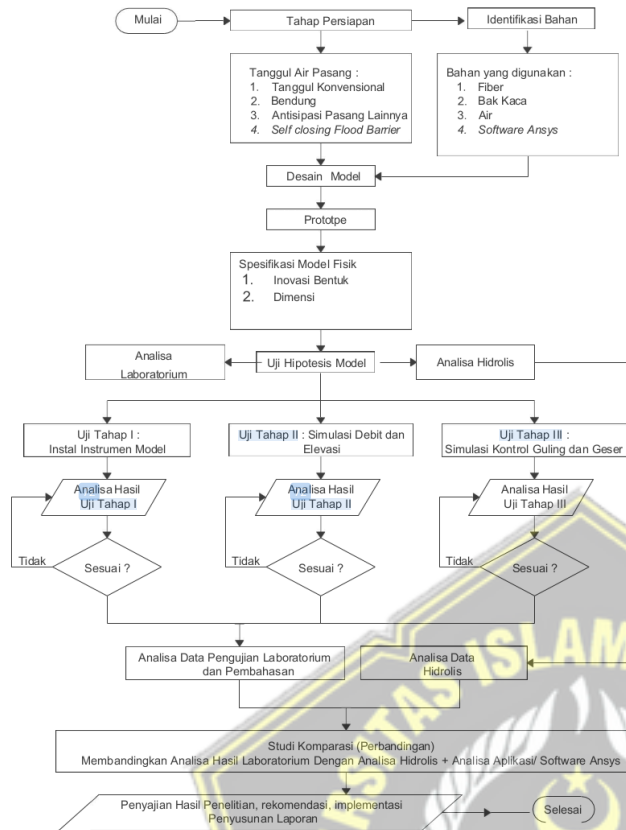
3.8 Diagram Alir

Secara garis besar penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yaitu tahap persiapan, tahap eksperimen atau uji laboratorium dan pengujian numerik dengan *software ANSYS*, tahap analisa hasil laboratorium dan *ANSYS*, kemudian tahap akhir atau kesimpulan dan saran.

Pada tahap persiapan dilakukan studi literatur mengenai segala hal yang berkaitan dengan model tanggul serta stabilitas dari tanggul. Kemudian, dilakukan pengujian di laboratorium menggunakan *Prototype* tanggul apung fiber yang ukurannya diperkecil. Setelah pengujian pada *Prototype* tersebut selesai dilaksanakan maka dilakukan pemodelan menggunakan *software ANSYS*. Data –

data dari kedua pengujian tersebut kemudian dikumpulkan dan dibandingkan sehingga diperoleh suatu kesimpulan yang akan dipaparkan pada bab selanjutnya. Pemaparan di atas juga dapat disajikan dalam diagram alir penelitian berikut ini.





16
Gambar 3. 27. Diagram Alir Penelitian

BAB IV

ANALISA DATA DAN HASIL ANALISIS

4.1 Umum

Bab ini menyajikan hasil pengujian laboratorium dan analisis stabilitas tanggul fiber apung untuk memahami perilaku struktur terhadap gaya guling dan geser dalam berbagai kondisi air pasang. Pemodelan tanggul fiber apung untuk mengatasi air pasang dengan menggunakan pengolahan data untuk perhitungan hidrostatik, maka didasarkan pada parameter – parameter statis maupun mekanis yang diperoleh dari hasil yang didapatkan dari pengujian lab dan pemodelan numerik (pengolahan data primer) serta hasil kajian literatur – literatur terkait (pengolahan data sekunder).

Untuk pelaksanaan pemodelan tanggul untuk mengatasi air pasang ditinjau dari segi keamanan atau stabilitas dari tanggul tersebut terhadap gaya guling dan gaya geser. Adapun tahap uji pemodelan laboratorium untuk antisipasi air pasang adalah sebagai berikut :

1. Penyusunan gambar sketsa bak uji serta model tanggul apung fiber. Dengan detail ukuran bak uji lebar 12,5 cm , tinggi 17 cm, dan panjang 68 cm. Adapun detail ukuran tanggul fiber dapat dilihat pada Gambar 3.3 - Gambar 3.5 dengan skala 1:20.
2. Pembuatan bak uji menggunakan material kaca
3. Pembuatan model tanggul apung fiber
4. Perakitan model uji
5. Uji model tanggul
6. Pengaturan ketinggian dan aliran air pada model uji
7. Dokumentasi uji laboratorium berupa foto dan video
8. Melakukan rekap hasil uji laboratorium dan uji analisis data.

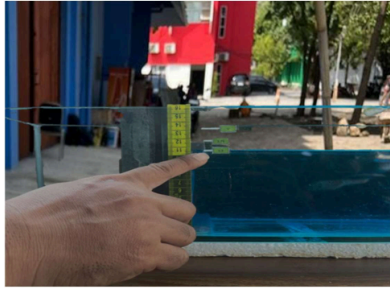
4.2 Uji Laboratorium

Pengujian laboratorium ini dilakukan pada empat situasi/skenario yang berbeda. Uji Model pada skenario I dilakukan dengan mensimulasi ketinggian air pasang rendah (*LWL*) yaitu pada saat air setinggi 2,5 cm dari top dudukan atau 10,5 cm dari lantai dasar. Kemudian pada skenario II dilakukan simulasi dengan ketinggian air pasang sedang (*MSL*) yaitu pada saat air sampai setinggi 3,75 cm dari top dudukan atau 11,75 dari lantai dasar. Kemudian pengujian model dilakukan dengan mensimulasi ketinggian air pasang tinggi (*HWL*) dengan asumsi ketinggian fiber dalam kondisi maksimum. Jika dihitung berdasarkan skala laboratorium maka ketinggiannya adalah 5 cm dari top dudukan atau 13 cm dari lantai dasar. Terakhir dilakukan simulasi tambahan hingga muka air berada pada top tanggul yaitu ketinggian 7 cm dari top dudukan atau 15 cm dari lantai dasar.

4.2.1 Uji Laboratorium Skenario I

Uji Model pada skenario I dilakukan dengan merakit tanggul apung beserta dudukannya dalam bak uji. Setelah tanggul apung selesai dirakit, tanggul tersebut siap diuji berdasarkan skenario uji seperti yang diilustrasikan di atas. Tubuh tanggul skenario I diuji dengan mengalirkan air dari hulu ke hilir sedikit demi sedikit hingga mencapai ketinggian 2,5 cm dari top dudukan atau 10,5 cm dari lantai dasar.





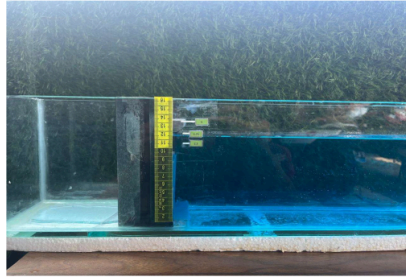
Gambar 4. 1. Pengisian Air Dalam Bak Uji Untuk Pengujian Skenario I



Gambar 4. 2. Dokumentasi Besar Kebocoran Pada Pengujian Skenario I

4.2.2 Uji Laboratorium Skenario II

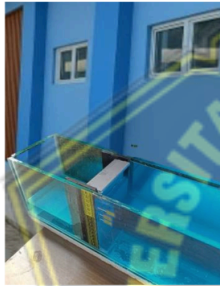
Uji Model skenario II dilakukan dengan merakit tanggul apung beserta dudukannya dalam bak uji. Setelah tanggul apung selesai dirakit, tanggul tersebut siap diuji berdasarkan skenario uji seperti yang diilustrasikan di atas. Tubuh tanggul skenario II diuji dengan mengalirkan air dari hulu ke hilir sedikit demi sedikit hingga mencapai ketinggian 3,75 cm dari top dudukun atau 11,75 dari lantai dasar.



Gambar 4. 3. Dokumentasi Pengujian Skenario II

4.2.3 Uji Laboratorium Skenario III

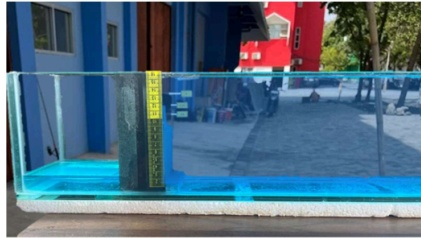
Uji Model skenario III dilakukan dengan merakit tanggul apung beserta dudukannya dalam bak uji. Kemudian dialirkan air dengan ketinggian pasang tinggi (*HWL*) dengan asumsi ketinggian fiber dalam kondisi maksimum. Jika dihitung berdasarkan skala laboratorium maka ketinggiannya adalah 5 cm dari top dudukun atau 13 cm dari lantai dasar.



Gambar 4. 4. Dokumentasi Simulasi Skenario III dan Besar Kebocoran yang Terjadi

4.2.4 Uji Laboratorium Skenario IV (Simulasi Kegagalan/Failure)

Uji Model Skenario IV dilakukan dengan merakit tanggul apung beserta dudukannya dalam bak uji. Kemudian dialirkan air dengan ketinggian melebihi pasang tinggi (*HWL*) dengan asumsi ketinggian air menyentuh top tanggul fiber. Jika dihitung berdasarkan skala laboratorium maka ketinggiannya adalah 7 cm dari top dudukan atau 15 cm dari lantai dasar.



Gambar 4. 5. Dokumentasi Simulasi Skenario IV dan Besar Kebocoran yang Terjadi

4.3 Data dan Hasil Pengamatan Uji Laboratorium

4.3.1 Data Pengamatan Uji Laboratorium

Analisis stabilitas tanggul apung untukantisipasi kenaikan air pasang harus dapat stabil terhadap gaya guling maupun gaya geser. tanggul apung fiber yang diuji juga ditinjau berdasarkan deformasi yang terjadi pada model. Berikut adalah tabel hasil pengamatan berdasarkan pengujian laboratorium yang telah dilakukan.

Tabel 4. 1. Pengamatan Pengujian Laboratorium

No	Pengujian	Pengamatan	Keterangan
1	Pengukuran Gaya Vertikal	Mengukur gaya vertikal (ΣRV) yang bekerja pada tanggul	Data digunakan untuk menghitung Tekanan Hidrostatik, tegangan dan

No	Pengujian	Pengamatan	Keterangan
			defleksi yang terjadi
2	Pengukuran Gaya Horizontal	Mengukur gaya horizontal (ΣRH) akibat tekanan air	Data digunakan untuk menghitung Tekanan Hidrostatik, tegangan dan defleksi yang terjadi
3	Perhitungan Inersia	Berdasarkan model yang dibuat	Diperlukan untuk menganalisis tegangan dan regangan yang terjadi

Sumber: Hasil Analisa, 2025

4.3.2 Hasil Uji Laboratorium

Pada pengujian model tanggul apung yang telah dilakukan di laboratorium Unissula, maka diperoleh data ketinggian air berdasarkan elevasi serta perilaku dan kestabilan model tanggul pada tiap – tiap kenaikan muka air tersebut.

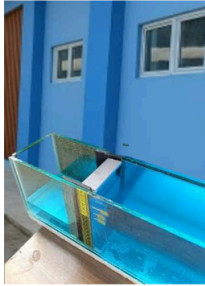
Tabel 4. 2. Hasil Pengujian Laboratorium

No	Pengujian	Pengamatan	Keterangan
1	Pemasangan Model Tanggul Skala Lab	Dilakukan pemasangan model Tanggul Skala Lab pada bak uji.	Pemasangan dilakukan dengan baik untuk menghindari kebocoran
2	Pengisian air pada bak uji untuk Model Tanggul	Dilakukan pengisian air pada bak uji yang	Model stabil, dan dapat mengangkat (bergerak)

No	Pengujian	Pengamatan	Keterangan
	(Skenario I)	telah dipasang model tanggul sampai ketinggian air 2,5 cm top dudukan	sesuai dengan perhitungan penulis. Tidak terjadi kebocoran berarti.
3	Pengisian air pada bak uji untuk Model Tanggul (Skenario II)	Dilakukan pengisian air pada bak uji yang telah dipasang model tanggul sampai ketinggian air mencapai 3,75cm dari top dudukan	Model stabil, dan dapat mengangkat (bergerak) sesuai dengan perhitungan penulis. Namun terjadi kebocoran yang sangat kecil.
5	Pengisian air pada bak uji untuk Model Tanggul (Skenario III)	Dilakukan pengisian air pada bak uji yang telah dipasang model tanggul sampai ketinggian air mencapai 5 cm dari top dudukan	Model stabil, dan dapat mengangkat (bergerak) sesuai dengan perhitungan penulis. Tidak terjadi kebocoran berarti. Dan posisi tanggul masih mampu menahan luapan air.
6	Pengisian air pada bak uji untuk Model Tanggul (Skenario IV/ Simulasi Kegagalan) yaitu pada posisi sama dengan kepala tanggul/limpas kecil	Dilakukan pengisian air pada bak uji yang telah dipasang model tanggul sampai ketinggian air 7 cm atau sampai ketinggian pas kepala tanggul dan limpas kecil	Model bergeser, kepala tanggul terangkat, miring, terjadi kebocoran berlebih.

No	Pengujian	Pengamatan	Keterangan

Sumber: Hasil Analisa, 2025



Gambar 4.3.1. Dokumentasi Tanggul Guling



Gambar 4.3.2. Dokumentasi kebocoran besar terjadi

4.4 Analisis Manual Stabilitas Tanggul Skala Lab

4.4.1 Analisa struktur Tanggul Skala Lab Skenario I

Skema gaya pada tanggul skala lab dengan Skenario I yaitu pada tinggi muka air pasang rendah (LWL) ($h = 2,5$ cm dari top dudukan) dapat dilihat pada gambar berikut:



$$= 0,613 \text{ Kg m/s}^2$$

$$\mathbf{F_H = 0,613 \text{ Kg m/s}^2}$$

b. Titik resultan gaya hidrostatik dari dasar:

$$y_{ct} = \frac{2}{3} \times h$$

$$= \frac{2}{3} \times 0,025$$

$$\mathbf{y_{ct} = 0,017 \text{ m}}$$

c. Momen akibat tekanan air :

$$M = F \times y_c$$

$$= 0,613 \times 0,017$$

$$\mathbf{M = 1,0 \times 10^{-2} \text{ Kg m/s}^2. \text{ M}}$$

3. Momen Inersia

Berdasarkan hasil hitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai inersia sebagai berikut:

Tabel 4. 3. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab

Bidang	Luas (cm ²)	Jarak x (cm)	A.x (cm ³)	Jarak y (cm)	A.y (cm ³)
G1	3,450	1,150	3,968	8,000	27,600
G2	0,808	2,780	2,245	8,300	6,702
G3	0,309	2,540	0,784	7,580	2,340
G4	7,250	1,000	7,250	3,630	26,318
G5	0,031	0,690	0,022	0,560	0,018
G6	0,125	0,630	0,079	0,250	0,031
G7	0,125	1,380	0,173	0,250	0,031
G8	0,031	1,310	0,041	0,560	0,018
Total	12,129	11,480	14,560	29,130	63,058

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data – data tersebut dapat diketahui bahwa :

$$\text{Xbar} = 1,20 \text{ cm}$$

$$\text{Ybar} = 5,20 \text{ cm}$$

Tabel 4. 4. Hasil Perhitungan Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab

Bidang	Luas	ix	d	Ad ²	ix + Ad ²
G1	3,450	0,647	3,000	31,050	31,697
G2	0,808	0,049	3,300	8,794	8,842
G3	0,309	0,022	2,580	2,055	2,077
G4	7,250	31,757	1,380	13,807	45,563
G5	0,031	0,000	4,440	0,616	0,616
G6	0,125	0,003	4,750	2,820	2,823
G7	0,125	0,001	4,750	2,820	2,821
G8	0,031	0,000	4,440	0,616	0,616
Total	12,129	32,478		62,578	95,056

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa momen inersia pada Tanggul Skala Lab tersebut adalah 95,056 cm⁴.

$$I = 95,056 \text{ cm}^4$$

$$I = 9,51 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Kemudian berdasarkan rumus berikut dapat diperoleh modulus penampang

:

$$S = I / c$$

$$= 95,056 / 5,20$$

$$= 18,283 \text{ cm}^3$$

$$S = 1,83 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

4. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

a. Gaya Geser Oleh Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned} \text{Bidang tekan air} &= 0,0025 \text{ m}^2 \\ \text{Tekanan Hidrostatik} &= 245,25 \text{ Pa} \\ \text{Tekanan Rerata} &= 0,5 \times P_{A1} \\ &= 122,625 \text{ Pa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H1 &= \text{Tekanan rerata} \times A \\ &= 122,625 \times 2,50 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$= 0,307 \text{ Kg m/s}^2$$

$$\mathbf{H1 = 0,307 \text{ Kg m/s}^2}$$

b. Gaya Geser Dasar

$$\text{Koefisien Geser, } \mu = 0,8 \text{ (untuk beton kasar)}$$

$$\text{FR} = \mu \times W$$

$$= 0,8 \times 3,010$$

$$= 2,41 \text{ Kg m/s}^2$$

$$\mathbf{FR = 2,41 \text{ Kg m/s}^2}$$

c. Syarat Stabilitas Geser

$$\text{SF Geser} = \text{FR} / \text{FH} > 1,5$$

$$= 7,9 > 1,5 \text{ ---- Stabil}$$

5. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

a. Momen Akibat Gaya Tekan Hidrostatik

$$\text{M}_{\text{guling}} = \text{FH} \times h/3$$

$$= 0,307 \times (0,025/3)$$

$$\mathbf{MG = 2,55 \times 10^{-3} \text{ Kg m/s}^2 .m}$$

b. Momen Tahanan Akibat Gaya Berat

$$\text{M}_{\text{tahan}} = W \times \text{pusat massa ke titik tumpu}$$

$$= 3,010 \times 0,017$$

$$\mathbf{MT = 0,05 \text{ Kg m/s}^2 .m}$$

c. Syarat Stabilitas Guling

$$\text{SF Guling} = \text{MT} / \text{MG} > 1,5$$

$$= 19,64 > 1,5 \text{ ---- Stabil}$$

6. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Apung

a. Gaya Apung

$$\text{V}_{\text{tercelup}} = \text{V}_{\text{tanggul}}$$

$$= 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$



$$\begin{aligned}
 F_a &= \rho_{\text{air}} \times V_{\text{tercelup}} \times g \\
 &= 1.000 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\
 &= 1,190 \text{ Kg m/s}^2 \\
 \mathbf{F_a} &= \mathbf{1,190 \text{ Kg m/s}^2}
 \end{aligned}$$

b. Gaya Berat Benda

$$\rho_{\text{fiber}} = 2530 \text{ Kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\
 &= 2.530 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\
 &= 3,010 \text{ Kg m/s}^2 \\
 \mathbf{W} &= \mathbf{3,010 \text{ Kg m/s}^2}
 \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Apung

$$\begin{aligned}
 \text{SF Apung} &= F_a / W > 1 \\
 &= 0,040 < 1 \text{ ---- Tenggelam}
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Tegangan

$$\begin{aligned}
 \sigma &= M / S \\
 &= 1,0 \times 10^{-2} / 1,83 \times 10^{-5} \\
 \mathbf{\sigma} &= \mathbf{558,906 \text{ Kg/m.s}^2} \\
 \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\
 &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \text{ ---- Memenuhi}
 \end{aligned}$$

8. Perhitungan Regangan

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas fiber, } E &= 7300 \text{ MPa} \\
 \epsilon &= \sigma / E \\
 &= 5,59 \times 10^{-4} / 7300 \\
 \mathbf{\epsilon} &= \mathbf{7,66 \times 10^{-8}}
 \end{aligned}$$

9. Perhitungan Deformasi

$$\begin{aligned}
 \delta &= \sigma L / E \\
 &= 5,59 \times 10^{-4} \times (0,025 \times 1000) / 7300
 \end{aligned}$$

$$\delta = 1,91 \times 10^{-6} \text{ m}$$

4.4.2 Analisa struktur Tanggul Skala Lab Skenario II

Selanjutnya, skema gaya pada tanggul skala lab dengan Skenario II yaitu pada tinggi muka air pasang sedang (*MSL*) ($h = 3,75 \text{ cm}$ dari top dudukan) dapat dilihat pada Gambar 4.7.

Adapun perhitungannya skenario II pada Model Skala Lab ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned} \rho &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\ h_1 &= 0,0375 \text{ m} \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ \gamma &= 9810 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}^2 \\ P_{A1} &= \gamma \times h \\ &= 9810 \times 0,0375 \\ &= 367,875 \text{ Kg/m.s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Hidrostatik Total

a. Gaya hidrostatik dihitung dengan:

$$\begin{aligned} \text{Lebar bidang tekan, } b &= 0,1 \text{ m} \\ F_{H2} &= P_{A2} \times A \\ &= 367,875 \times 3,75 \times 10^{-3} \\ &= 1,380 \text{ Kg m/s}^2 \\ F_{H2} &= 1,380 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

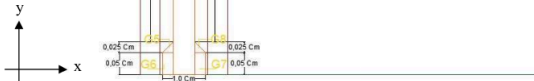
b. Titik resultan gaya hidrostatik dari dasar:

$$\begin{aligned} y_{c1} &= \frac{2}{3} \times h \\ &= 0,67 \times 0,0375 \\ &= 0,025 \text{ m} \\ y_{c1} &= 0,025 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Momen akibat tekanan air :

$$\begin{aligned} M &= F \times y_c \\ &= 1,380 \times 0,025 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 3,45 \times 10^{-2} \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m} \\ \mathbf{M} &= 3,45 \times 10^{-2} \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m} \end{aligned}$$



Gambar 4. 7. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul skala lab Tanggul Skenario II

3. Momen Inersia

Berdasarkan hasil hitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai inersia sebagai berikut:

Tabel 4. 5. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab

Bidang	Luas (cm ²)	Jarak x (cm)	A.x (cm ³)	Jarak y (cm)	A.y (cm ³)
G1	3,450	1,150	3,968	8,000	27,600
G2	0,808	2,780	2,245	8,300	6,702
G3	0,309	2,540	0,784	7,580	2,340
G4	7,250	1,000	7,250	3,630	26,318
G5	0,031	0,690	0,022	0,560	0,018

Bidang	Luas (cm ²)	Jarak x (cm)	A.x (cm ³)	Jarak y (cm)	A.y (cm ³)
G6	0,125	0,630	0,079	0,250	0,031
G7	0,125	1,380	0,173	0,250	0,031
G8	0,031	1,310	0,041	0,560	0,018
Total	12,129	11,480	14,560	29,130	63,058

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data – data tersebut dapat diketahui bahwa :

$$\bar{X} = 1,20 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = 5,20 \text{ cm}$$

Tabel 4. 6. Hasil Perhitungan Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab

Bidang	Luas	ix	d	Ad ²	ix + Ad ²
G1	3,450	0,647	3,000	31,050	31,697
G2	0,808	0,049	3,300	8,794	8,842
G3	0,309	0,022	2,580	2,055	2,077
G4	7,250	31,757	1,380	13,807	45,563
G5	0,031	0,000	4,440	0,616	0,616
G6	0,125	0,003	4,750	2,820	2,823
G7	0,125	0,001	4,750	2,820	2,821
G8	0,031	0,000	4,440	0,616	0,616
Total	12,129	32,478		62,578	95,056

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa Momen Inersia pada

Tanggul Skala Lab tersebut adalah 95,056 cm⁴.

$$I = 95,056 \text{ cm}^4$$

$$I = 9,51 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Kemudian berdasarkan rumus berikut dapat diperoleh modulus penampang

:

$$S = I / c$$

$$= 95,056 / 5,20$$

$$= 18,283 \text{ cm}^3$$

$$S = 1,83 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

4. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

a. Gaya Geser Oleh Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned}\text{Bidang tekan air} &= 3,75 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \\ \text{Tekanan Hidrostatik} &= 367,875 \text{ Kg/m.s}^2 \\ \text{Tekanan Rerata} &= 0,5 \times P_{A2} \\ &= 183,938 \text{ Kg/m.s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}H2 &= \text{Tekanan rerata} \times A \\ &= 183,938 \times 3,75 \times 10^{-3} \\ &= 0,690 \text{ Kg m/s}^2 \\ \mathbf{H2} &= \mathbf{0,690 \text{ Kg m/s}^2}\end{aligned}$$

b. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned}\text{Koefisien Geser, } \mu &= 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar}) \\ FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 3,010 \\ &= 2,408 \text{ Kg m/s}^2 \\ \mathbf{FR} &= \mathbf{2,408 \text{ Kg m/s}^2}\end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned}SF \text{ Geser} &= FR / FH > 1,5 \\ &= 3,5 > 1,5 \quad \text{----- Stabil}\end{aligned}$$

5. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

a. Momen Akibat Gaya Tekan Hidrostatik

$$\begin{aligned}M_{\text{guling}} &= FH \times h/3 \\ &= 0,690 \times (0,0375/3) \\ &= 8,62 \times 10^{-2} \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \\ \mathbf{MG} &= \mathbf{8,62 \times 10^{-2} \text{ Kg m/s}^2.\text{m}}\end{aligned}$$

b. Momen Tahanan Akibat Gaya Berat

$$M_{\text{tahan}} = W \times \text{pusat massa ke titik tumpu}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,010 \times 0,025 \\
 &= 0,075 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m} \\
 \mathbf{MT} &= \mathbf{0,075 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m}}
 \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned}
 \text{SF Guling} &= \text{MT} / \text{MG} > 1,5 \\
 &= 8,78 > 1,5 \text{ ---- Stabil}
 \end{aligned}$$

6. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Apung

a. Gaya Apung

$$\begin{aligned}
 V_{\text{tercelup}} &= V_{\text{tanggul}} \\
 &= 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\
 \rho_{\text{air}} &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\
 \\
 \text{Fa} &= \rho_{\text{air}} \times V_{\text{tercelup}} \times g \\
 &= 1.000 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\
 &= 1,190 \text{ Kg m/s}^2 \\
 \mathbf{Fa} &= \mathbf{1,190 \text{ Kg m/s}^2}
 \end{aligned}$$

b. Gaya Berat Benda

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{fiber}} &= 2530 \text{ Kg/m}^3 \\
 \\
 W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\
 &= 2530 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\
 &= 3,010 \text{ Kg m/s}^2 \\
 \mathbf{W} &= \mathbf{3,010 \text{ Kg m/s}^2}
 \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Apung

$$\begin{aligned}
 \text{SF Apung} &= \text{Fa} / W > 1 \\
 &= 0,395 < 1 \text{ ---- Tenggelam}
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Tegangan

$$\begin{aligned}
 \sigma &= M / S \\
 &= 3,45 \times 10^{-2} / 1,8283 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1.886,308 \text{ Kg/m.s}^2 \\
 \sigma &= \mathbf{1.886,308 \text{ Kg/m.s}^2} \\
 \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\
 &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi}
 \end{aligned}$$

8. Perhitungan Regangan

$$\text{Modulus elastisitas fiber, } E = 7300 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= \sigma / E \\
 &= 1,89 \times 10^{-3} / 7300 \\
 &= 2,58 \times 10^{-7} \\
 \varepsilon &= \mathbf{2,58 \times 10^{-7}}
 \end{aligned}$$

9. Perhitungan Deformasi

$$\begin{aligned}
 \delta &= \sigma L / E \\
 &= 1,89 \times 10^{-3} \times (0,0375 \times 1000) / 7300 \\
 &= 9,69 \times 10^{-6} \text{ m} \\
 \delta &= \mathbf{9,69 \times 10^{-6} \text{ m}}
 \end{aligned}$$

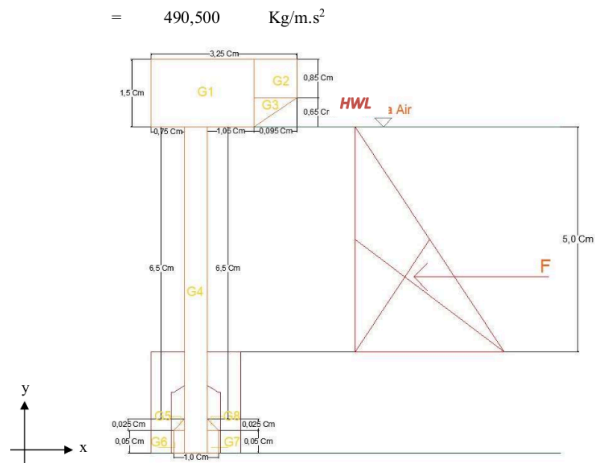
4.4.3 Analisa struktur Tanggul Skala Lab Skenario III

Selanjutnya, skema gaya pada tanggul skala lab dengan Skenario III yaitu pada tinggi muka air pasang tinggi (*HWL*) ($h = 5 \text{ cm}$ dari top dudukan) dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Adapun perhitungannya skenario III pada Model Skala Lab ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\
 h_1 &= 0,05 \text{ m} \\
 g &= 9,81 \text{ m/s} \\
 \gamma &= 9810 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}^2 \\
 P_{A3} &= \gamma \times h \\
 &= 9810 \times 0,05
 \end{aligned}$$



Gambar 4. 8. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Lab Skenario III

2. Gaya Hidrostatik Total

a. Gaya hidrostatik dihitung dengan:

lebar bidang tekan, b = 0,1 m

$$\begin{aligned} F_{H2} &= P_{A3} \times A \\ &= 490,500 \times 0,005 \\ &= 2,453 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

$$F_{H2} = 2,453 \text{ Kg m/s}^2$$

b. Titik resultan gaya hidrostatik dari dasar:

$$\begin{aligned} y_{c1} &= \frac{2}{3} \times h \\ &= 0,67 \times 0,05 \\ &= 0,033 \text{ m} \end{aligned}$$

$$y_{c1} = 0,033 \text{ m}$$

c. Momen akibat tekanan air :

$$\begin{aligned}
 M &= F \times y_c \\
 &= 2,453 \times 0,033 \\
 \mathbf{M} &= \mathbf{0,082 \text{ Kg m/s}^2. \text{ M}}
 \end{aligned}$$

3. Momen Inersia

Berdasarkan hasil hitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai inersia sebagai berikut:

Tabel 4. 7. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab

Bidang	Luas (cm ²)	Jarak x (cm)	A.x (cm ³)	Jarak y (cm)	A.y (cm ³)
G1	3,450	1,150	3,968	8,000	27,600
G2	0,808	2,780	2,245	8,300	6,702
G3	0,309	2,540	0,784	7,580	2,340
G4	7,250	1,000	7,250	3,630	26,318
G5	0,031	0,690	0,022	0,560	0,018
G6	0,125	0,630	0,079	0,250	0,031
G7	0,125	1,380	0,173	0,250	0,031
G8	0,031	1,310	0,041	0,560	0,018
Total	12,129	11,480	14,560	29,130	63,058

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data – data tersebut dapat diketahui bahwa :

$$\begin{aligned}
 \text{Xbar} &= 1,20 \text{ cm} \\
 \text{Ybar} &= 5,20 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 8. Hasil Perhitungan Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab

Bidang	Luas	ix	d	Ad ²	ix + Ad ²
G1	3,450	0,647	3,000	31,050	31,697
G2	0,808	0,049	3,300	8,794	8,842
G3	0,309	0,022	2,580	2,055	2,077
G4	7,250	31,757	1,380	13,807	45,563
G5	0,031	0,000	4,440	0,616	0,616
G6	0,125	0,003	4,750	2,820	2,823
G7	0,125	0,001	4,750	2,820	2,821
G8	0,031	0,000	4,440	0,616	0,616

Total	12,129	32,478		62,578	95,056
-------	--------	--------	--	--------	--------

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa Momen Inersia pada Tanggul Skala Lab tersebut adalah 95,056 cm⁴.

$$I = 95,056 \text{ cm}^4$$

$$I = 9,51 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Kemudian berdasarkan rumus berikut dapat diperoleh modulus penampang :

$$S = I / c$$

$$= 95,056 / 5,20$$

$$= 18,283 \text{ cm}^3$$

$$S = 1,83 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

4. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

a. Gaya Geser Oleh Tekanan Hidrostatik

$$\text{Bidang tekan air} = 0,005 \text{ m}^2$$

$$\text{Tekanan Hidrostatik} = 490,500 \text{ Kg/m.s}^2$$

$$\text{Tekanan Rerata} = 0,5 \times P_{A3}$$

$$= 245,250 \text{ Kg/m.s}^2$$

$$H_3 = \text{Tekanan rerata} \times A$$

$$= 245,250 \times 0,005$$

$$= 1,226 \text{ Kg m/s}^2$$

$$H_3 = 1,226 \text{ Kg m/s}^2$$

b. Gaya Geser Dasar

$$\text{Koefisien Geser, } \mu = 0,8 \text{ (untuk beton kasar)}$$

$$FR = \mu \times W$$

$$= 0,8 \times 3,010$$

$$= 2,408 \text{ Kg m/s}^2$$

$$FR = 2,408 \text{ Kg m/s}^2$$

c. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} SF \text{ Geser} &= FR / FH > 1,5 \\ &= 1,96 > 1,5 \text{ ---- Stabil} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

a. Momen Akibat Gaya Tekan Hidrostatik

$$\begin{aligned} M_{\text{guling}} &= FH \times h/3 \\ &= 1,226 \times (0,05/3) \\ &= 0,019 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m} \\ \mathbf{MG} &= \mathbf{0,019 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m}} \end{aligned}$$

b. Momen Tahanan Akibat Gaya Berat

$$\begin{aligned} M_{\text{tahan}} &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 3,010 \times 0,033 \\ &= 0,100 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m} \\ \mathbf{MT} &= \mathbf{0,100 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m}} \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} SF \text{ Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 5,34 > 1,5 \text{ ---- Stabil} \end{aligned}$$

6. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Apung

a. Gaya Apung

$$\begin{aligned} V_{\text{tercelup}} &= V_{\text{tanggul}} \\ &= 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ \rho_{\text{air}} &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\ Fa &= \rho_{\text{air}} \times V_{\text{tercelup}} \times g \\ &= 1.000 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \end{aligned}$$

$$= 1,190 \text{ Kg m/s}^2$$

$$\mathbf{Fa = 1,190 \text{ Kg m/s}^2}$$

b. Gaya Berat Benda

$$\rho_{\text{fiber}} = 2530 \text{ Kg/m}^3$$

$$W = \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g$$

$$= 2.530 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81$$

$$= 3,010 \text{ Kg m/s}^2$$

$$\mathbf{W = 3,010 \text{ Kg m/s}^2}$$

c. Syarat Stabilitas Apung

$$\text{SF Apung} = \text{Fa} / \text{W} > 1$$

$$= 0,395 < 1 \text{ ---- Tenggelam}$$

7. Perhitungan Tegangan

$$\sigma = M / S$$

$$= 0,082 / 1,8283 \times 10^{-5}$$

$$= 4.471,250 \text{ Kg/m.s}^2$$

$$\sigma = \mathbf{4.471,250 \text{ Kg/m.s}^2}$$

$$\text{syarat} = \sigma_{\text{ijin}} > \sigma$$

$$= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \text{ ---- Memenuhi}$$

8. Perhitungan Regangan

$$\text{Modulus elastisitas fiber, E} = 7300 \text{ MPa}$$

$$\epsilon = \sigma / E$$

$$= 4,47 \times 10^{-3} / 7300$$

$$= 6,12 \times 10^{-7}$$

$$\epsilon = \mathbf{6,12 \times 10^{-7}}$$

9. Perhitungan Deformasi

$$\delta = \sigma L / E$$

$$= 4,47 \times 10^{-3} \times (0,05 \times 1000) / 7300$$

$$= 3,06 \times 10^{-5} \text{ m}$$

$$\delta = 3,06 \times 10^{-5} \text{ m}$$

4.4.4 Analisa struktur Tanggul Skala Lab Skenario IV (Simulasi Kegagalan/*Failure*)

Selanjutnya, skema gaya pada tanggul skala lab dengan Skenario IV yaitu pada tinggi muka air berada pada top/ kepala tanggul ($h = 7 \text{ cm}$ dari top dudukan) dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Adapun perhitungannya Skenario IV pada Model Skala Lab ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$h_1 = 0,05 \text{ m}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}$$

$$\gamma = 9810 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}^2$$

$$P_{A3} = \gamma \times h$$

$$= 9810 \times 0,05$$

$$= 686,700 \text{ Kg/m.s}^2$$

2. Gaya Hidrostatik Total

a. Gaya hidrostatik dihitung dengan:

lebar bidang tekan, $b = 0,1 \text{ m}$

$$F_{H2} = P_{A3} \times A$$

$$= 686,700 \times 0,007$$

$$= 4,807 \text{ Kg m/s}^2$$

$$F_{H2} = 4,807 \text{ Kg m/s}^2$$

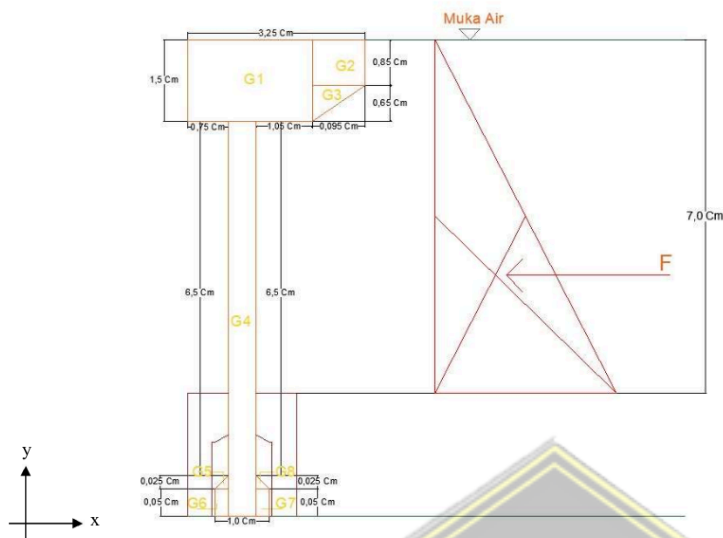
b. Titik resultan gaya hidrostatik dari dasar:

$$y_{c1} = \frac{2}{3} \times h$$

$$= 0,67 \times 0,07$$

$$= 0,047 \text{ m}$$

$$y_{c1} = 0,047 \text{ m}$$



Gambar 4. 9. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Lab Skenario IV

c. Momen akibat tekanan air :

$$\begin{aligned}
 M &= F \times y_c \\
 &= 4,807 \times 0,047 \\
 M &= 0,224 \text{ Kg m/s}^2. \text{ M}
 \end{aligned}$$

3. Momen Inersia

Berdasarkan hasil hitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai inersia sebagai berikut:

Tabel 4. 9. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab

Bidang	Luas (cm ²)	Jarak x (cm)	A.x (cm ³)	Jarak y (cm)	A.y (cm ³)
G1	3,450	1,150	3,968	8,000	27,600
G2	0,808	2,780	2,245	8,300	6,702

Bidang	Luas (cm ²)	Jarak x (cm)	A.x (cm ³)	Jarak y (cm)	A.y (cm ³)
G3	0,309	2,540	0,784	7,580	2,340
G4	7,250	1,000	7,250	3,630	26,318
G5	0,031	0,690	0,022	0,560	0,018
G6	0,125	0,630	0,079	0,250	0,031
G7	0,125	1,380	0,173	0,250	0,031
G8	0,031	1,310	0,041	0,560	0,018
Total	12,129	11,480	14,560	29,130	63,058

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data – data tersebut dapat diketahui bahwa :

$$\bar{X} = 1,20 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = 5,20 \text{ cm}$$

Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan Momen Inersia Model Tanggul Skala Lab

Bidang	Luas	ix	d	Ad ²	ix + Ad ²
G1	3,450	0,647	3,000	31,050	31,697
G2	0,808	0,049	3,300	8,794	8,842
G3	0,309	0,022	2,580	2,055	2,077
G4	7,250	31,757	1,380	13,807	45,563
G5	0,031	0,000	4,440	0,616	0,616
G6	0,125	0,003	4,750	2,820	2,823
G7	0,125	0,001	4,750	2,820	2,821
G8	0,031	0,000	4,440	0,616	0,616
Total	12,129	32,478		62,578	95,056

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa Momen Inersia pada Tanggul Skala Lab tersebut adalah 95,056 cm⁴.

$$I = 95,056 \text{ cm}^4$$

$$I = 9,51 \times 10^{-7} \text{ m}^4$$

Kemudian berdasarkan rumus berikut dapat diperoleh modulus penampang :

$$\begin{aligned}
 S &= I / c \\
 &= 95,056 / 5,20 \\
 &= 18,283 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

$$S = 1,83 \times 10^{-5} \text{ m}^3$$

4. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

d. Gaya Geser Oleh Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned} \text{Bidang tekan air} &= 0,007 \text{ m}^2 \\ \text{Tekanan Hidrostatik} &= 686,700 \text{ Kg/m.s}^2 \\ \text{Tekanan Rerata} &= 0,5 \times P_{A3} \\ &= 343,350 \text{ Kg/m.s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_3 &= \text{Tekanan rerata} \times A \\ &= 343,350 \times 0,007 \\ &= 2,403 \text{ Kg m/s}^2 \\ \mathbf{H_3} &= \mathbf{2,403 \text{ Kg m/s}^2} \end{aligned}$$

e. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Geser, } \mu &= 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar}) \\ \text{FR} &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 3,010 \\ &= 2,408 \text{ Kg m/s}^2 \\ \mathbf{FR} &= \mathbf{2,408 \text{ Kg m/s}^2} \end{aligned}$$

f. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} \text{SF Geser} &= \text{FR} / \text{FH} > 1,5 \\ &= 1,00 > 1,5 \quad \text{----- Geser} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

d. Momen Akibat Gaya Tekan Hidrostatik

$$\begin{aligned} M_{\text{guling}} &= \text{FH} \times h/3 \\ &= 2,403 \times (0,07/3) \\ &= 0,056 \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \\ \mathbf{MG} &= \mathbf{0,056 \text{ Kg m/s}^2.\text{m}} \end{aligned}$$

e. Momen Tahanan Akibat Gaya Berat

$$\begin{aligned} M_{\text{tahan}} &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 3,010 \times 0,047 \\ &= 0,140 \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \\ \mathbf{MT} &= \mathbf{0,140 \text{ Kg m/s}^2.\text{m}} \end{aligned}$$

f. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} \text{SF Guling} &= \text{MT} / \text{MG} > 1,5 \\ &= 2,50 > 1,5 \text{ ---- Stabil} \end{aligned}$$

6. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Apung

d. Gaya Apung

$$\begin{aligned} V_{\text{tercelup}} &= V_{\text{tanggul}} \\ &= 1,21 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \\ \rho_{\text{air}} &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\ \text{Fa} &= \rho_{\text{air}} \times V_{\text{tercelup}} \times g \\ &= 1,000 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\ &= 1,190 \text{ Kg m/s}^2 \\ \mathbf{Fa} &= \mathbf{1,190 \text{ Kg m/s}^2} \end{aligned}$$

e. Gaya Berat Benda

$$\begin{aligned} \rho_{\text{fiber}} &= 2530 \text{ Kg/m}^3 \\ W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2,530 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\ &= 3,010 \text{ Kg m/s}^2 \\ \mathbf{W} &= \mathbf{3,010 \text{ Kg m/s}^2} \end{aligned}$$

f. Syarat Stabilitas Apung

$$\begin{aligned} \text{SF Apung} &= \text{Fa} / W > 1 \\ &= 0,395 < 1 \text{ ---- Tenggelam} \end{aligned}$$

7. Perhitungan Tegangan

$$\begin{aligned}\sigma &= M / S \\ &= 0,224 / 1,8283 \times 10^{-5} \\ &= 12.268,109 \text{ Kg/m.s}^2 \\ \sigma &= \mathbf{12.268,109 \text{ Kg/m.s}^2} \\ \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi}\end{aligned}$$

8. Perhitungan Regangan

$$\begin{aligned}\text{Modulus elastisitas fiber, } E &= 7300 \text{ MPa} \\ \varepsilon &= \sigma / E \\ &= 1,23 \times 10^{-2} / 7300 \\ &= 1,68 \times 10^{-6} \\ \varepsilon &= \mathbf{1,68 \times 10^{-6}}\end{aligned}$$

9. Perhitungan Deformasi

$$\begin{aligned}\delta &= \sigma L / E \\ &= 1,23 \times 10^{-2} \times (0,07 \times 1000) / 7300 \\ &= 1,18 \times 10^{-4} \text{ m} \\ \delta &= \mathbf{1,18 \times 10^{-4} \text{ m}}\end{aligned}$$

4.4.5 Rekapitulasi Karakteristik Tanggul Apung Skala Lab

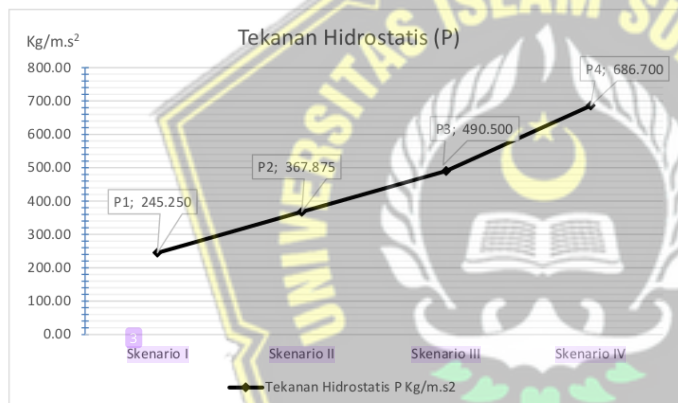
Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diketahui bahwa nilai perhitungan displacement, tegangan normal, dan lain sebagainya dapat direkap dalam sebuah tabel berikut.

Tabel 4. 11. Rekapitulasi Hasil Pengujian Tanggul Skala Lab Pada Skenario I – Skenario IV

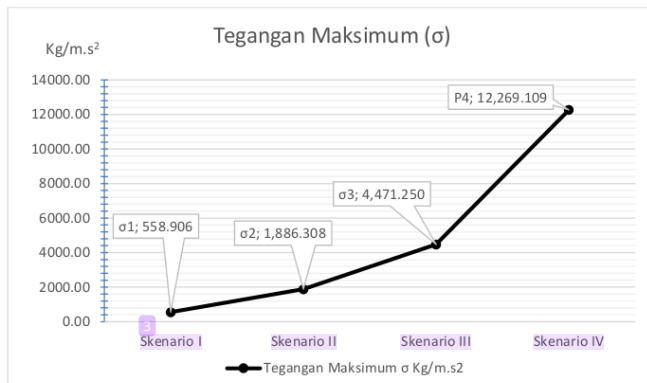
Item yang Ditinjau			Analisis Manual Skala Lab			
			Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Tekanan Hidrostatik	P	Kg/m.s ²	245,250	367,875	490,500	686,700
Tegangan Maksimum	σ	Kg/m.s ²	558,906	1.886,308	4.471,250	12.269,109
Regangan	ε		$7,66 \times 10^{-8}$	$2,58 \times 10^{-7}$	$6,12 \times 10^{-7}$	$1,68 \times 10^{-6}$
Deformasi	δ	m	$1,91 \times 10^{-6}$	$9,69 \times 10^{-6}$	$3,06 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$

Sumber: Hasil Analisa, 2025

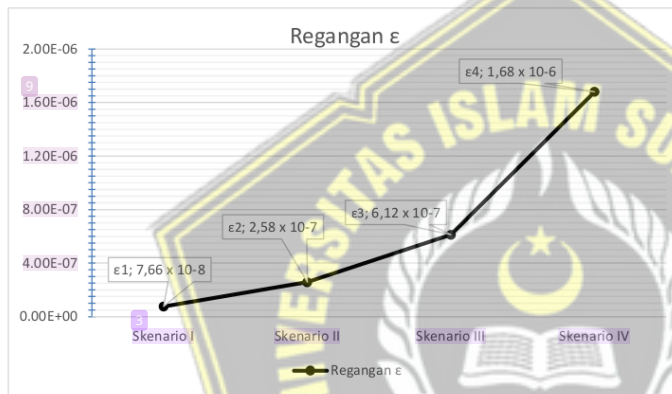
Berdasarkan analisa yang telah dilakukan diketahui bahwa nilai tekanan hidrostatik serta kriteria lainnya mengalami kenaikan pada Skenario III dan Skenario IV. Data pada Tabel 4.11 di atas juga dapat disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar – gambar berikut.



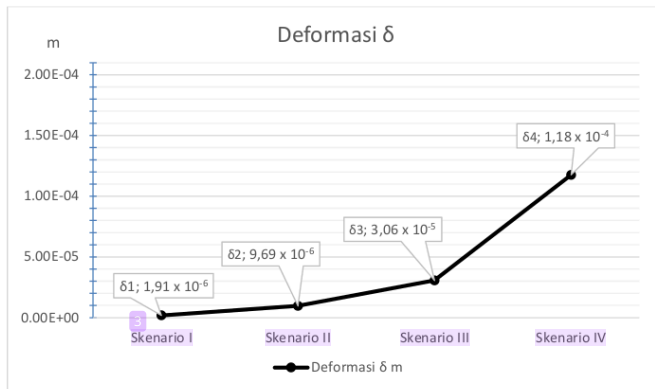
Gambar 4. 10. Hasil Perhitungan Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Pada Skenario yang Diuji



Gambar 4. 11. Hasil Perhitungan Tegangan Tanggul Skala Lab Pada Skenario yang Diuji



Gambar 4. 12. Hasil Perhitungan Regangan Tanggul Skala Lab Pada Skenario yang Diuji



Gambar 4. 13. Hasil Perhitungan Deformasi Tanggul Skala Lab Pada Skenario yang Diuji

Adapun hasil analisis stabilitas yang dilakukan pada model tanggul Skala Lab diperoleh hasil yang disajikan dalam Tabel 4.12 – Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4. 12. Rekapitulasi *Safety Factor* Berdasarkan Kriteria Stabilitas Terhadap Gaya Apung Tanggul Skala Lab

Skenario	Gaya Apung, FA (Kg m/s ²)	Gaya Berat, W (Kg m/s ²)	SF Apung	Ket
Skenario I	1,190	3,010	0,395	Tenggelam
Skenario II	1,190	3,010	0,395	Tenggelam
Skenario III	1,190	3,010	0,395	Tenggelam
Skenario IV	1,190	3,010	0,395	Tenggelam

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Tabel 4. 13. Rekapitulasi *Safety Factor* Berdasarkan Kriteria Stabilitas Terhadap Gaya Geser Tanggul Skala Lab

Skenario	Gaya Geser, FR (Kg m/s ²)	Gaya Geser Dasar, FR (Kg m/s ²)	SF Geser	Ket
Skenario I	0,307	2,408	7,86	Stabil
Skenario II	0,690	2,408	3,49	Stabil
Skenario III	1,226	2,408	1,96	Stabil
Skenario IV	2,403	2,408	1,00	Geser

Sumber: Hasil Analisa, 2025

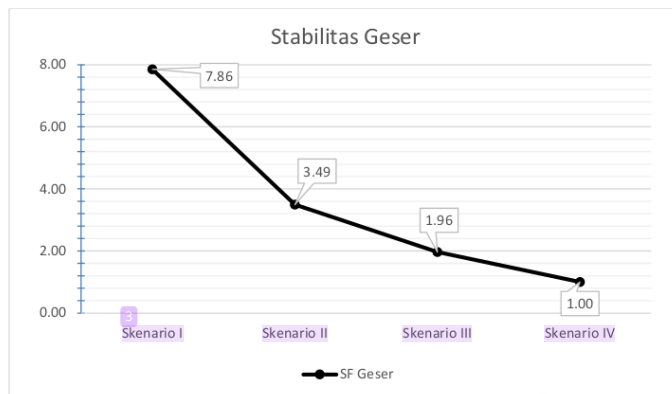
Tabel 4. 14. Rekapitulasi *Safety Factor* Berdasarkan Kriteria Stabilitas Terhadap Guling Tanggul Skala Lab

Skenario	Momen Guling, MG (Kg m/s ² .m)	Momen Tahanan, MT (Kg m/s ² .m)	SF Guling	Ket
Skenario I	0,003	0,050	19,64	Stabil
Skenario II	0,009	0,075	8,73	Stabil
Skenario III	0,020	0,100	4,91	Stabil
Skenario IV	0,056	0,140	2,50	Stabil

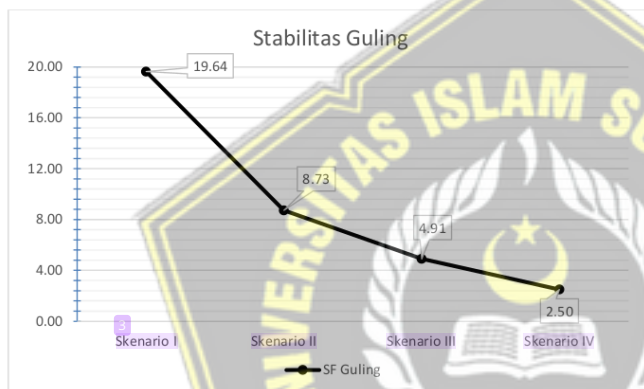
Sumber: Hasil Analisa, 2025

⁵³ Berdasarkan hasil analisis stabilitas yang telah dilakukan diketahui bahwa pada ketinggian 2,5 cm (Skenario I) hingga ketinggian 5 cm (Skenario III) tanggul apung tersebut masih stabil, Kemudian pada ketinggian muka air 7 cm (Skenario IV) terjadi kegagalan geser pada model tanggul apung. Adapun terkait stabilitas apungnya, tanggul skala lab tanggul apung tidak dapat mengapung dengan sendirinya. Hal tersebut bisa saja terjadi akibat adanya gesekan pada tepi fiber dengan bak uji yang dibuat rapat untuk memperkecil kemungkinan adanya kebocoran. Untuk menangani hal tersebut, maka dapat digunakan alat bantu seperti system motor hidrolik sehingga fiber tetap dapat mengapung sesuai dengan yang diinginkan.

Rekapitulasi dalam Tabel 4.12 dan Tabel 4.14 juga dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 4. 14. Stabilitas Geser Analisis Manual Tanggul Apung Skala Lab



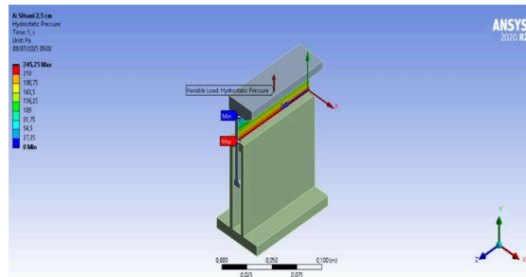
Gambar 4. 15. Stabilitas Guling Analisis Manual Tanggul Apung Skala Lab

Berdasarkan grafik – grafik tersebut dapat diketahui pula bahwa semakin tinggi air yang mengangkat tanggul maka stabilitas guling dari tanggul tersebut menurun, namun masih dikategorikan stabil karena *safety factor* > 1,5.

4.5 Analisis Software ANSYS Stabilitas Tanggul Skala Lab

4.5.1 Pemodelan Tanggul Apung Skala Lab Skenario I

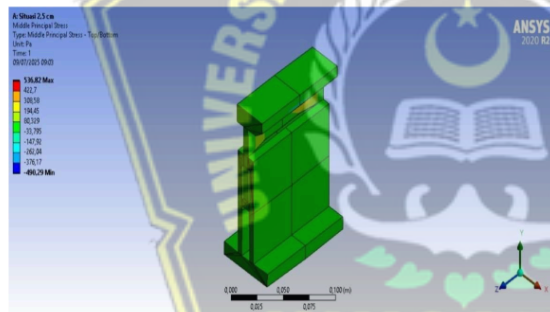
Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software Ansys* , dapat dilihat pada Gambar 4.16 bahwa tekanan hidrostatik maksimum terjadi pada dasar tanggul dengan nilai 245,25 Kg/m.s² atau 245,25 Pa.



Gambar 4. 16. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I

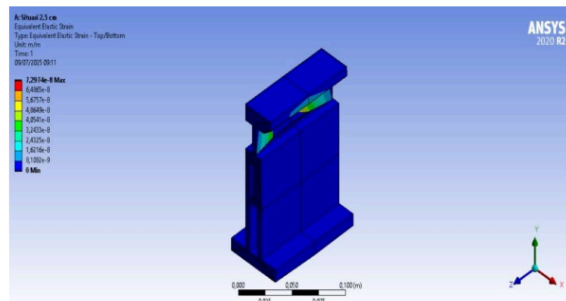
Kemudian hasil permodelan dan analisis numerik menggunakan *software ANSYS* juga dapat diketahui adanya Tegangan akibat tekanan air yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17. Dimana Tegangan yang terjadi adalah sebesar 536,82 Kg/m.s² atau 536,82 Pa.

$$\begin{aligned} \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi} \end{aligned}$$



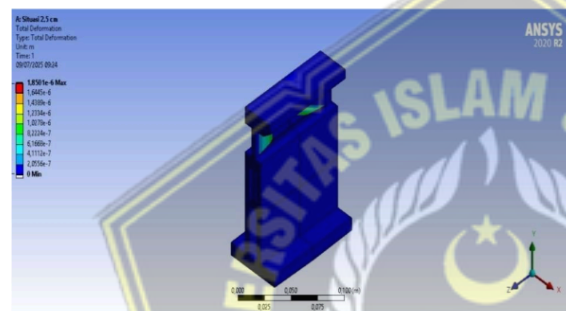
Gambar 4. 17. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario I

Adapun regangan yang terjadi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.18 yaitu sebesar $7,297 \times 10^{-8}$.



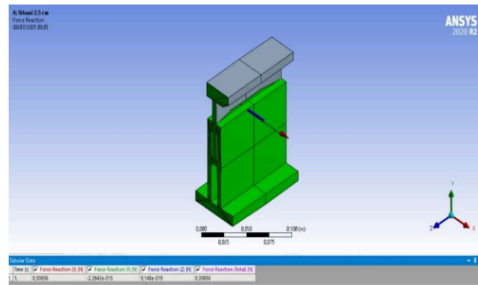
Gambar 4. 18. Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario I

Selanjutnya untuk total deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar $1,85 \times 10^{-6}$ m, dimana dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4. 19. Total Deformasi Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario I

Kemudian selain karakteristik bahan dan tekanan hidrostatik pada skenario I, dalam *software ANSYS* juga dianalisis Gaya Geser dan Momen Guling yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 4.20 dan Gambar 4.21.



Gambar 4. 20. Gaya Geser Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario I

Jika dilihat pada gambar 4.20, maka analisis stabilitas gesernya adalah sebagai berikut:

1. Gaya Geser Oleh Arus

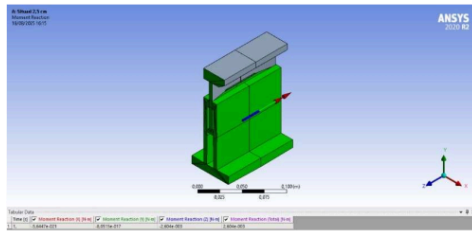
$$\begin{aligned} F_w &= 0,307 \text{ N} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 0,307 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Geser, } \mu &= 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar}) \\ FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 3,010 \\ &= 2,408 \text{ Kg m/s}^2 \\ \mathbf{FR} &= \mathbf{2,408 \text{ Kg m/s}^2} \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} \text{SF Geser} &= FR / F_w > 1,5 \\ &= 7,86 \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$



Gambar 4. 21. Momen Guling Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario I

Jika dilihat pada gambar 4.21, maka analisis stabilitas gulingnya adalah sebagai berikut:

1. Momen Akibat Gaya Hidrostatik

$$\begin{aligned} MG &= 2,60 \times 10^{-3} \text{ Nm (analisis } Ansys) \\ &= 2,60 \times 10^{-3} \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

2. Momen Tahanan

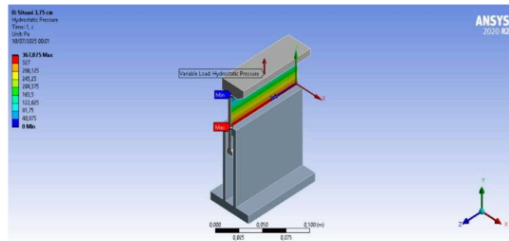
$$\begin{aligned} Mtahan &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 0,050 \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} SF \text{ Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 19,64 \text{ ----- Stabil} \end{aligned}$$

4.5.2 Pemodelan Tanggul Apung Skala Lab Skenario II

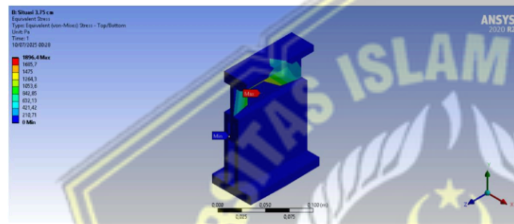
Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software Ansys*, dapat dilihat pada Gambar 4.22 bahwa tekanan hidrostatik maksimum terjadi pada dasar tanggul dalam skenario II memiliki nilai 367,875 Pa atau 367,875 Kg/m.s².



Gambar 4. 22. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

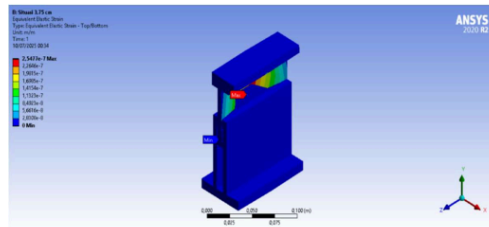
Kemudian hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software ANSYS* juga dapat diketahui adanya Tegangan akibat tekanan air yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.23. Dimana tegangan normal yang terjadi adalah sebesar 1896,4 Pa atau 1896,4 Kg/m.s².

$$\begin{aligned} \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi} \end{aligned}$$



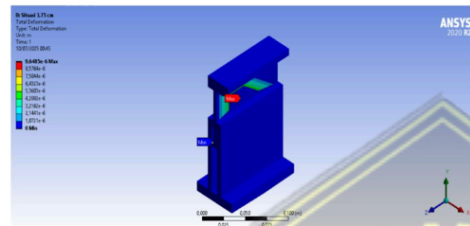
Gambar 4. 23. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

Adapun regangan yang terjadi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.24 yaitu sebesar $2,55 \times 10^{-7}$.



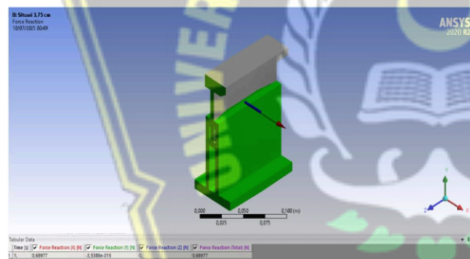
Gambar 4. 24. Regangan Hasil Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

Selanjutnya untuk total deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar $9,65 \times 10^{-6}$ m , dimana dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4. 25. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

Kemudian selain karakteristik bahan dan tekanan hidrostatik pada skenario II, dalam *software ANSYS* juga dianalisis Gaya Geser dan Momen Guling yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 4.26 dan Gambar 4.27.



Gambar 4. 26. Gaya Geser Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

Jika dilihat pada gambar 4.26, maka analisis stabilitas gesernya adalah sebagai berikut:

1. Gaya Geser Oleh Arus

$$\begin{aligned} F_w &= 0,69 \text{ N} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 0,69 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Geser Dasar

$$\rho_{\text{fiber}} = 2530 \text{ Kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2.530 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\ &= 3,010 \text{ N} \end{aligned}$$

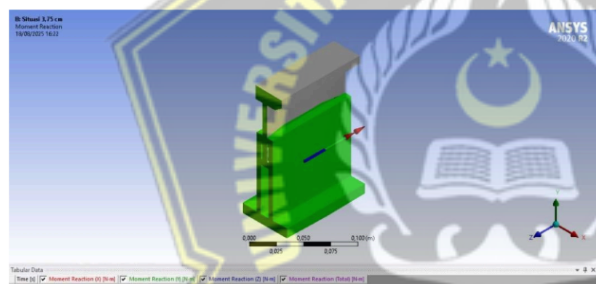
$$\mathbf{W} = \mathbf{3,010 \text{ Kg m/s}^2}$$

$$\mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\begin{aligned} FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 3,010 \\ &= 2,408 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} SF_{\text{Geser}} &= FR / FW > 1,5 \\ &= 3,49 \quad \text{-----} \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$



Gambar 4. 27.Momen Guling Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario II

Jika dilihat pada gambar 4.27, maka analisis stabilitas gulingnya adalah sebagai berikut:

1. Momen Akibat Gaya Hidrostatik

$$\begin{aligned} MG &= 8,6 \times 10^{-3} \text{ Nm (analisis Ansys)} \\ &= 8,6 \times 10^{-3} \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

2. Momen Tahanan

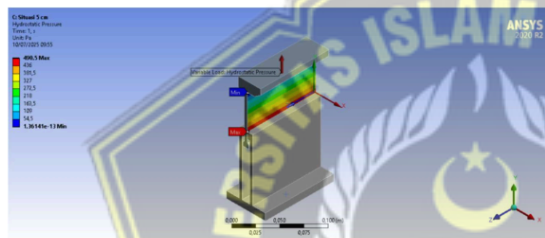
$$\begin{aligned} Mtahan &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 0,075 \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} \text{SF Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 8,73 \text{ ----- Stabil} \end{aligned}$$

4.5.3 Pemodelan Tanggul Apung Skala Lab Skenario III

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software Ansys*, dapat dilihat pada Gambar 4.28 bahwa tekanan hidrostatik maksimum terjadi pada dasar tanggul dalam skenario III memiliki nilai 490,5 Pa atau 490,5 Kg/m.s².

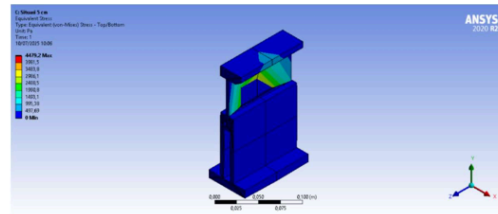


Gambar 4. 28.Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Kemudian hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software ANSYS* juga dapat diketahui adanya Tegangan akibat tekanan air yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.29. Dimana tegangan normal yang terjadi adalah sebesar 4479,2 Kg/m.s² atau 4479,2 Pa.

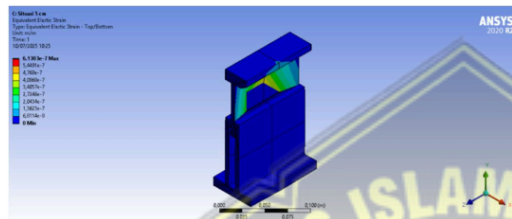
$$\text{syarat} = \sigma_{\text{ijin}} > \sigma$$

$$= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi}$$



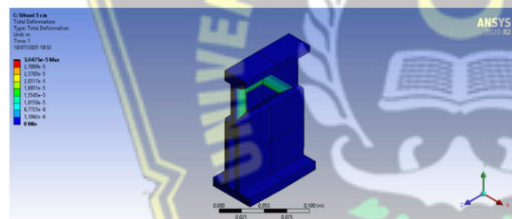
Gambar 4. 29. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Adapun regangan yang terjadi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.30 yaitu sebesar $6,13 \times 10^{-7}$.



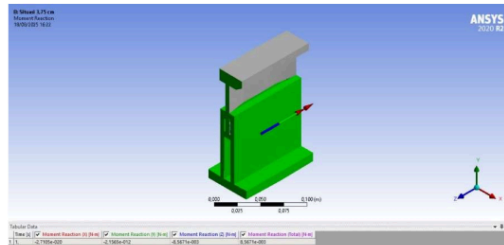
Gambar 4. 30. Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Selanjutnya untuk total deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar $3,05 \times 10^{-5}$ m, dimana dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4. 31. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Kemudian selain karakteristik bahan dan tekanan hidrostatik pada skenario II, dalam *software ANSYS* juga dianalisis Gaya Geser dan Momen Guling yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 4.32 dan Gambar 4.33.



Gambar 4. 32.Gaya Geser Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Jika dilihat pada gambar 4.32, maka analisis stabilitas gesernya adalah sebagai berikut:

1. Gaya Geser Oleh Arus

$$\begin{aligned} F_w &= 1,23 \text{ N} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 1,23 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Geser Dasar

$$\rho_{\text{fiber}} = 2530 \text{ Kg/m}^3$$

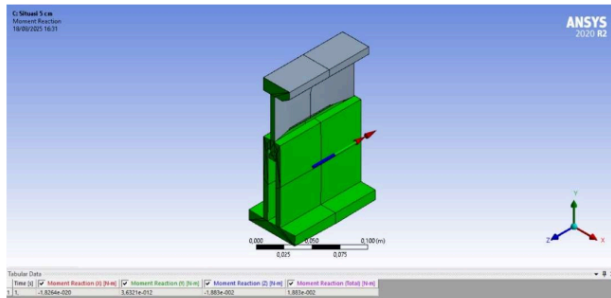
$$\begin{aligned} W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2,530 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\ &= 3,010 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\begin{aligned} FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 3,010 \\ &= 2,408 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} SF_{\text{Geser}} &= FR / FW > 1,5 \\ &= 1,96 \quad \text{-----} \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$



Gambar 4. 33.Momen Guling Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Jika dilihat pada gambar 4.33, maka analisis stabilitas gulingnya adalah sebagai berikut:

4. Momen Akibat Gaya Hidrostatik

$$\begin{aligned} MG &= 0,020 \text{ Nm (analisis Ansys)} \\ &= 0,020 \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

5. Momen Tahanan

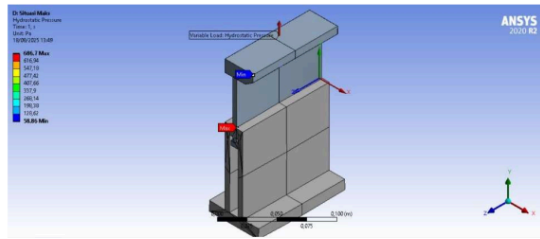
$$\begin{aligned} Mtahan &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 0,100 \text{ Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

6. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} SF \text{ Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 4,91 \text{ ----- Stabil} \end{aligned}$$

4.5.4 Pemodelan Tanggul Apung Skala Lab Skenario IV

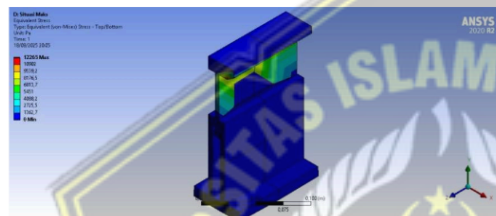
Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software Ansys* , dapat dilihat pada Gambar 4.34 bahwa tekanan hidrostatik maksimum terjadi pada dasar tanggul dalam skenario III memiliki nilai 686,700 Pa atau 686,700 Kg/m.s².



Gambar 4. 34. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

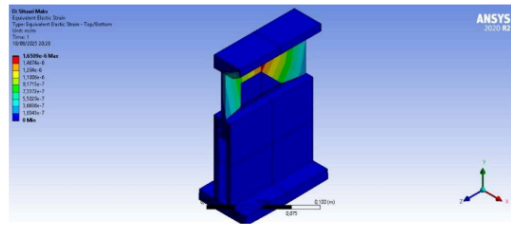
Kemudian hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software ANSYS* juga dapat diketahui adanya Tegangan akibat tekanan air yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.35. Dimana tegangan normal yang terjadi adalah sebesar 12.265 Kg/m.s² atau 12.265 Pa.

$$\begin{aligned} \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi} \end{aligned}$$



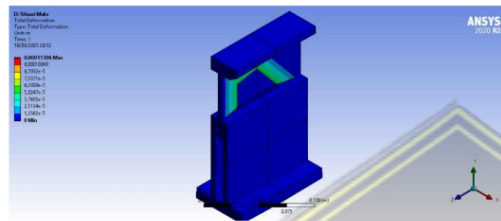
Gambar 4. 35. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

Adapun regangan yang terjadi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.36 yaitu sebesar $1,65 \times 10^{-6}$.



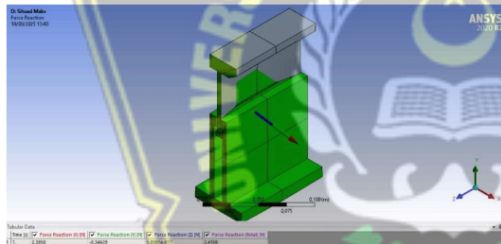
Gambar 4. 36.Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

Selanjutnya untuk total deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar $1,13 \times 10^{-4}$ m, dimana dapat dilihat pada Gambar 4.37.



Gambar 4. 37.Deformasi Maksimum Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

Kemudian selain karakteristik bahan dan tekanan hidrostatik pada skenario II, dalam *software ANSYS* juga dianalisis Gaya Geser dan Momen Guling yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 4.38 dan Gambar 4.39.



Gambar 4. 38.Gaya Geser Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

Jika dilihat pada gambar 4.38, maka analisis stabilitas gesernya adalah sebagai berikut:

1. Gaya Geser Oleh Arus

$$\begin{aligned} F_w &= 2,411 \text{ N} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 2,411 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Geser Dasar

$$\rho_{\text{fiber}} = 2530 \text{ Kg/m}^3$$

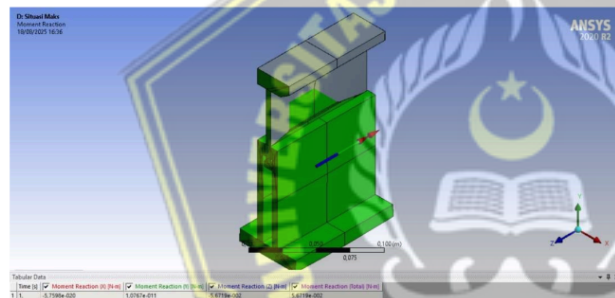
$$\begin{aligned} W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2.530 \times 1,21 \times 10^{-4} \times 9,81 \\ &= 3,010 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

$$\mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\begin{aligned} FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 3,010 \\ &= 2,408 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} SF_{\text{Geser}} &= \frac{FR}{FW} > 1,5 \\ &= 1,00 \quad \text{Geser} \end{aligned}$$



Gambar 4. 39.Momen Guling Tanggul Skala Lab Hasil Pemodelan ANSYS Skenario III

Jika dilihat pada gambar 4.39, maka analisis stabilitas gulingnya adalah sebagai berikut:

1. Momen Akibat Gaya Hidrostatik

$$\begin{aligned} MG &= 0,057 \text{ Nm} \quad (\text{analisis Ansys}) \\ &= 0,057 \text{ Kg m/s}^2\text{.m} \end{aligned}$$

2. Momen Tahanan

$$\begin{aligned} M_{\text{tahan}} &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 0,100 \text{ Kg m/s}^2\text{.m} \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} \text{SF Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 2,48 \quad \text{-----} \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$

4.5.5 Rekapitulasi Karakteristik Tanggul Apung Skala Lab Hasil Analisis Software

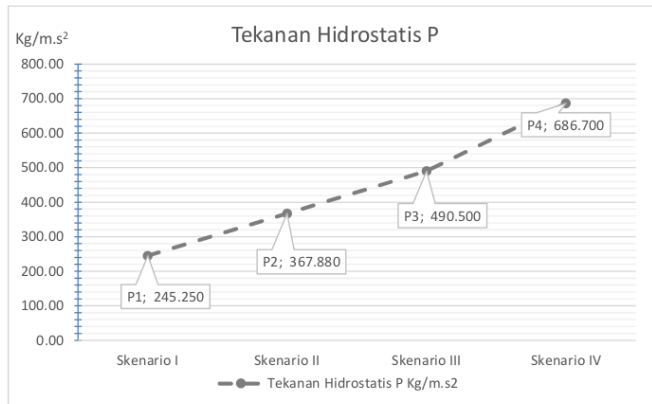
Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diketahui bahwa nilai perhitungan displacement, tegangan normal, dan lain sebagainya tidak berbeda jauh. Adapun selisihnya dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. 15. Rekapitulasi Tanggul Apung Skala Lab Hasil Pemodelan Ansys

Item yang Ditinjau			Skala Lab Ansys			
			Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Tekanan Hidrostatik	P	Kg/m.s ²	245,250	367,880	490,500	686,700
Tegangan Maksimum	σ	Kg/m.s ²	538,820	1.896,400	4.479,200	12.265,000
Regangan	ϵ		$7,30 \times 10^{-8}$	$2,55 \times 10^{-7}$	$6,13 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-6}$
Deformasi	δ	m	$1,85 \times 10^{-6}$	$9,65 \times 10^{-6}$	$3,05 \times 10^{-5}$	$1,13 \times 10^{-4}$

Sumber: Hasil Analisa, 2025

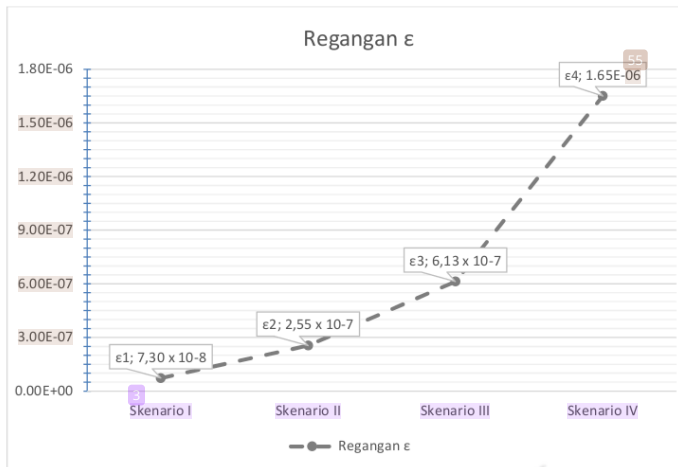
Adapun hasil pada Tabel 4.15 dapat disajikan dalam grafik berikut.



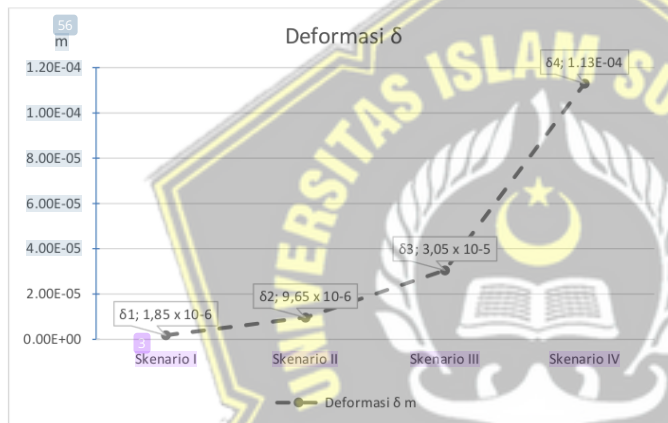
Gambar 4. 40. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Analisis *Ansys*



Gambar 4. 41. Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Analisis *Ansys*



Gambar 4. 42. Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Analisis *Ansys*



Gambar 4. 43. Deformasi Tanggul Skala Lab Hasil Analisis *Ansys*

Kemudian pada *software ANSYS* ini juga ditinjau stabilitas terhadap

beberapa kriteria yang dapat dirangkum dan disajikan dalam Tabel 4.16 – Tabel 4.17 berikut.

Tabel 4. 16.Rekapitulasi *Safety Factor* Stabilitas Tanggul Skala Lab *Software ANSYS* Terhadap Gaya Geser

Skenario	Gaya Geser, FR (Kg m/s ²)	Gaya Geser Dasar, FR (Kg m/s ²)	SF Geser	Ket
Skenario I	0,307	2,408	7,86	Stabil
Skenario II	0,690	2,408	3,49	Stabil
Skenario III	1,226	2,408	1,96	Stabil
Skenario IV	2,411	2,408	1,00	Geser

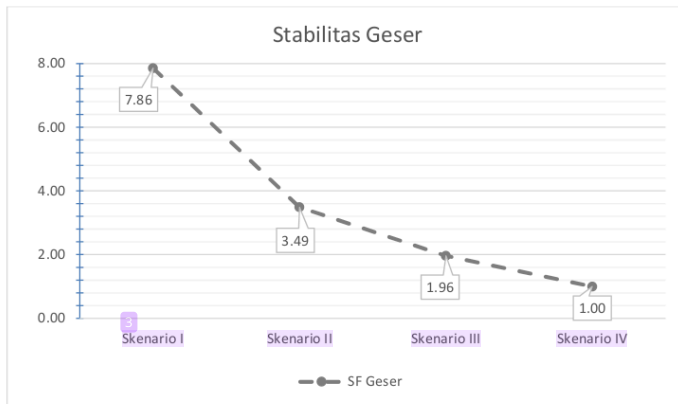
Sumber: Hasil Analisa, 2025

Tabel 4. 17.Rekapitulasi *Safety Factor* Stabilitas Tanggul Skala Lab *Software ANSYS* Terhadap Momen Guling

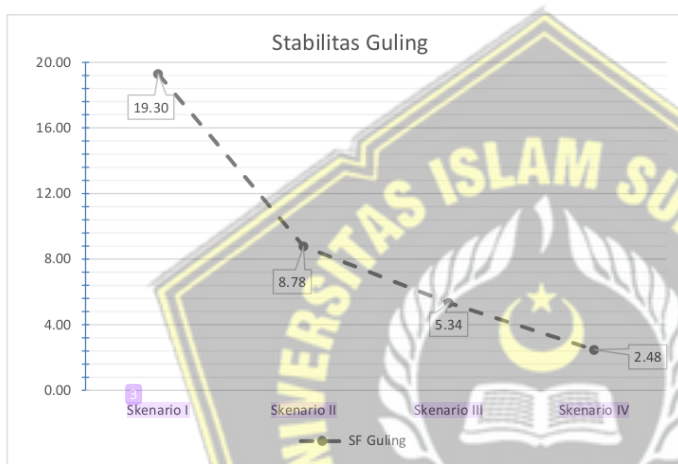
Skenario	Momen Guling, MG (Kg m/s ² .m)	Momen Tahanan, MT (Kg m/s ² .m)	SF Guling	Ket
Skenario I	0,003	0,050	19,30	Stabil
Skenario II	0,009	0,075	8,78	Stabil
Skenario III	0,019	0,100	5,34	Stabil
Skenario IV	0,057	0,140	2,48	Stabil

Sumber: Hasil Analisa, 2025

⁴⁷ Berdasarkan tabel – tabel di atas dapat dilihat bahwa pemodelan pada *software ANSYS* mengalami kestabilan terhadap gaya geser dan momen guling di kedua skenario. Tabel stabilitas di atas juga dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 4. 44. Stabilitas Geser Tanggul Skala Lab Hasil Analisis *Ansys*



Gambar 4. 45. Stabilitas Guling Tanggul Skala Lab Hasil Analisis *Ansys*

BAB V

PEMBAHASAN HASIL PENELITIAN

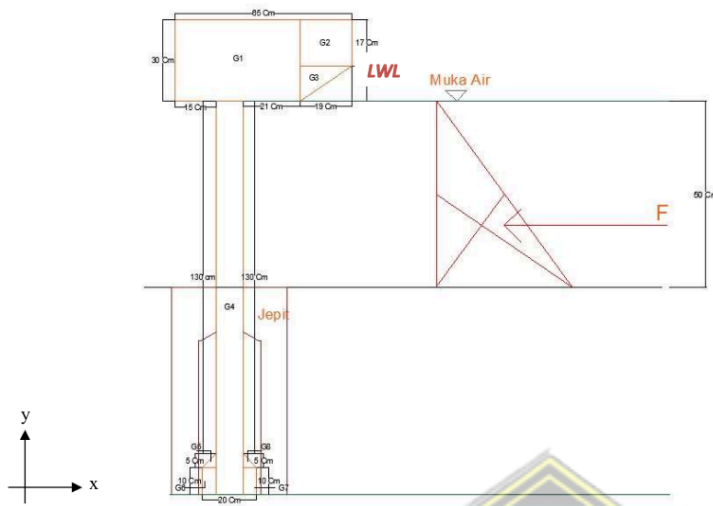
5.1 Uraian umum

Analisis pada skala riil sangat penting dilakukan dalam penelitian ini karena hasil yang diperoleh dari model skala laboratorium dan simulasi numerik belum tentu sepenuhnya mencerminkan perilaku struktur yang sesungguhnya di lapangan. Adanya perbedaan antara hasil eksperimen berskala kecil dengan implementasi nyata akibat adanya efek skala. Oleh karena itu, pengujian dan analisis dalam kondisi nyata diperlukan untuk memastikan keandalan dan efektivitas desain struktur tanggul apung fiber secara menyeluruh. Pada model kecil, gaya-gaya seperti tekanan air, gesekan, gaya apung, dan momen lentur mungkin memiliki perbandingan yang berbeda dengan kondisi sesungguhnya. Selain itu, material seperti fiber dapat menunjukkan perilaku mekanis yang berbeda saat diaplikasikan dalam ukuran besar, seperti mengalami lentur yang lebih signifikan atau tegangan yang tersebar tidak merata. Melalui analisis skala riil, berbagai efek ini dapat dikaji lebih mendalam untuk mendapatkan hasil yang akurat dan representatif. Dengan membandingkan hasil antara skala laboratorium, simulasi numerik, dan skala riil, maka penelitian ini akan menghasilkan evaluasi yang utuh dan menyeluruh, dapat memastikan bahwa struktur yang dirancang bukan hanya berfungsi baik secara teoritis, tetapi juga tangguh dan andal dalam menghadapi kondisi nyata di lingkungan pesisir atau muara sungai.

5.2 Analisis Stabilitas Manual Pada Tanggul Skala Riil

5.2.1 Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario I

Skema gaya pada Tanggul Skala Riil dengan Skenario I yaitu pada tinggi muka air pasang rendah (LWL) ($h = 50$ cm dari top dudukan) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5. 1. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Riil Skenario I

Adapun perhitungannya skenario I pada model tanggul apung ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned} \rho &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\ h_1 &= 0,5 \text{ m} \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ \gamma &= 9810 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}^2 \\ P_{B1} &= \gamma \times h \\ &= 9810 \times 0,5 \\ &= 4905 \text{ Kg/m.s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Hidrostatik Total

a. Gaya hidrostatik dihitung dengan:

lebar bidang tekan, $b = 2 \text{ m}$

$$F_{H1} = P_{A1} \times A$$

$$F_{H1} = 4905 \times 1 = 4905 \text{ Kg m/s}^2$$

b. Titik resultan gaya hidrostatik dari dasar:

$$y_{c1} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 0,5 = 0,333 \text{ m}$$

c. Momen akibat tekanan air :

$$M = F \times y_c = 1635 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m}$$

3. Momen Inersia

Berdasarkan hasil hitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai inersia sebagai berikut:

Tabel 5. 1. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Model Tanggul Skala Riil

Bidang	Luas (m)	Jarak x (m)	A.x (m3)	Jarak y (m)	A.y (m3)
G1	1380,000	23,000	31740,000	160,000	220800,000
G2	323,000	55,600	17958,800	166,000	53618,000
G3	247,000	50,800	12547,600	151,600	37445,200
G4	2900,000	20,000	58000,000	72,600	210540,000
G5	12,500	13,800	172,500	11,200	140,000
G6	50,000	12,600	630,000	5,000	250,000
G7	25,000	27,600	690,000	5,000	125,000
G8	25,000	26,200	655,000	11,200	280,000
Total	4962,500	229,600	122393,900	582,600	523198,200

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data – data tersebut dapat diketahui bahwa :

$$\begin{aligned} X_{\text{bar}} &= 24,66 \text{ cm} \\ Y_{\text{bar}} &= 105,43 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tabel 5. 2. Hasil Perhitungan Momen Inersia Tanggul Skala Riil

Bidang	Luas	ix	d	Ad ²	ix + Ad ²
G1	1380,000	103500,000	55,000	4174500,000	4278000,000
G2	323,000	7778,917	61,000	1201883,000	1209661,917
G3	247,000	3478,583	48,000	569088,000	572566,583
G4	2900,000	5081041,667	33,000	3158100,000	8239141,667
G5	12,500	17,361	94,000	110450,000	110467,361
G6	50,000	416,667	100,000	500000,000	500416,667
G7	25,000	138,889	100,000	250000,000	250138,889
G8	25,000	52,083	94,000	220900,000	220952,083
Total	4962,500	5196424,167		10184921,000	15381345,167

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa Momen Inersia pada Tanggul Skala Riil tersebut adalah 15.381.345,167 cm⁴ atau 0,15 m⁴.

Kemudian berdasarkan rumus berikut dapat diperoleh modulus penampang

:

$$\begin{aligned}
 S &= I / e \\
 &= 15.381.345,167 / 105,43 \\
 &= 145.891,032 \text{ cm}^3 \\
 S &= 0,146 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

a. Gaya Geser Oleh Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang tekan air} &= 1 \text{ m}^2 \\
 \text{Tekanan Hidrostatik} &= 4905 \text{ Pa} \\
 \text{tekanan Rerata} &= 0,5 \times 4905 \text{ Pa} \\
 &= 2452,500 \text{ Pa}
 \end{aligned}$$

$$H1 = \text{Tekanan rerata} \times A$$

$$= 2452,500 \times 1$$

$$\mathbf{H1 = 2452,5 \text{ Kg m/s}^2}$$

b. Gaya Geser Dasar

$$\text{Koefisien Geser, } \mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\text{FR} = \mu \times W$$

$$= 0,8 \times 24.633,155$$

$$\mathbf{FR = 19.706,524 \text{ Kg m/s}^2}$$

c. Syarat Stabilitas Geser

$$\text{SF Geser} = \text{FR} / \text{FH} > 1,5$$

$$= 8,0 > 1,5 \quad \text{---- Stabil}$$

5. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

a. Momen Akibat Gaya Tekan Hidrostatik

$$M_{\text{guling}} = \text{FH} \times (h/3)$$

$$= 2452,5 \times (0,5/3)$$

$$\mathbf{MG = 408,750 \text{ Kg m/s}^2.m}$$

b. Momen Tahanan Akibat Gaya Berat

$$M_{\text{tahan}} = W \times \text{pusat massa ke titik tumpu}$$

$$= 24.633,155 \times 0,333$$

$$\mathbf{MT = 8.211,052 \text{ Kg m/s}^2.m}$$

c. Syarat Stabilitas Guling

$$\text{SF Guling} = \text{MT} / \text{MG} > 1,5$$

$$= 20,09 > 1,5 \quad \text{---- Stabil}$$

6. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Apung

a. Gaya Apung

$$V_{\text{tercelup}} = V_{\text{tanggul}}$$

$$= 0,993 \text{ m}^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 F_a &= \rho_{\text{air}} \times V_{\text{tercelup}} \times g \\
 &= 1.000 \times 0,993 \times 9,81 \\
 \mathbf{F_a} &= \mathbf{9.736,425 \text{ Kg m/s}^2}
 \end{aligned}$$

b. Gaya Berat Benda

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{fiber}} &= 2530 \text{ Kg/m}^3 \\
 W &= \rho_r \times V_{\text{tanggul}} \times g \\
 &= 2.530 \times 0,993 \times 9,81 \\
 \mathbf{W} &= \mathbf{24.633,155 \text{ Kg m/s}^2}
 \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Apung

$$\begin{aligned}
 \text{SF Apung} &= F_a / W > 1 \\
 &= 0,395 < 1 \text{ ---- Tenggelam}
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Tegangan

$$\begin{aligned}
 \sigma &= M / S \\
 &= 1635 / 0,146 \\
 &= 11.206,995 \text{ Kg/m.s}^2 \\
 \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\
 &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \text{ ---- Memenuhi}
 \end{aligned}$$

8. Perhitungan Regangan

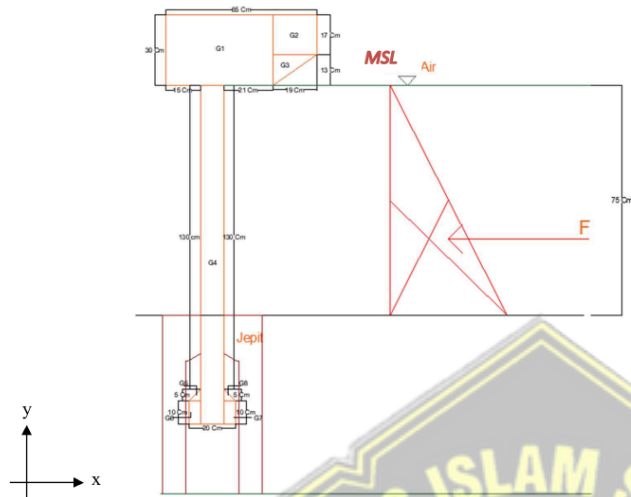
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas fiber, } E &= 7300 \text{ MPa} \\
 \epsilon &= \sigma / E \\
 &= 0,011 / 7300 \\
 \epsilon &= \mathbf{1,54 \times 10^{-6}}
 \end{aligned}$$

9. Perhitungan Deformasi

$$\begin{aligned}
 \delta &= \sigma L / E \\
 \delta &= \mathbf{7,68 \times 10^{-7} \text{ m}}
 \end{aligned}$$

5.2.2 Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario II

Selanjutnya, skema gaya pada Tanggul Skala Riil dengan Skenario II yaitu pada tinggi muka air pasang sedang (*MSL*) ($h = 75$ cm) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5. 2. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Riil Skenario II

Adapun perhitungannya skenario II pada tanggul apung ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned}
 \rho &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\
 h_1 &= 0,75 \text{ m} \\
 g &= 9,81 \text{ m/s} \\
 \gamma &= 9810 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}^2 \\
 P_{B2} &= \gamma \times h \\
 &= 9810 \times 0,75 \\
 &= 7357,500 \text{ Kg/m.s}^2
 \end{aligned}$$

2. Gaya Hidrostatik Total

a. Gaya hidrostatik dihitung dengan :

lebar bidang tekan, $b = 2 \text{ m}$

$FH1 = P_{B2} \times A$

$= 7357,500 \times 1,5$

FH1 = 11036,250 Kg m/s²

b. Titik resultan gaya hidrostatik dari dasar:

$y_{c1} = \frac{2}{3} \times h$

$= \frac{2}{3} \times 0,75$

$y_{c1} = 0,5 \text{ m}$

c. Momen akibat tekanan air :

$M = F \times y_c$

M = 5.518,125 Kg m/s².m

3. Momen Inersia

Berdasarkan hasil hitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai inersia sebagai berikut:

Tabel 5. 3. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Tanggul Skala Riil

Bidang	Luas (m)	Jarak x (m)	A.x (m ³)	Jarak y (cm)	A.y (m ³)
G1	1380,00	23,00	31740,00	160,00	220800,00
G2	323,00	55,60	17958,80	166,00	53618,00
G3	247,00	50,80	12547,60	151,60	37445,20
G4	2900,00	20,00	58000,00	72,60	210540,00
G5	12,50	13,80	172,50	11,20	140,00
G6	50,00	12,60	630,00	5,00	250,00
G7	25,00	27,60	690,00	5,00	125,00
G8	25,00	26,20	655,00	11,20	280,00
Total	4962,50	229,60	122393,90	582,60	523198,20

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data – data tersebut dapat diketahui bahwa :

$$\bar{X} = 24,66 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = 105,43 \text{ cm}$$

Tabel 5. 4. Hasil Perhitungan Momen Inersia Tanggul Skala Riil

Bidang	Luas	ix	d	Ad ²	ix + Ad ²
G1	1380,00	103500,000	55,000	4174500,000	4278000,000
G2	323,00	7778,917	61,000	1201883,000	1209661,917
G3	247,00	3478,583	48,000	569088,000	572566,583
G4	2900,00	5081041,667	33,000	3158100,000	8239141,667
G5	12,50	17,361	94,000	110450,000	110467,361
G6	50,00	416,667	100,000	500000,000	500416,667
G7	25,00	138,889	100,000	250000,000	250138,889
G8	25,00	52,083	94,000	220900,000	220952,083
Total	4962,50	5196424,17		10184921,00	15381345,17

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa Momen Inersia pada Tanggul Skala Lab tersebut adalah 15.381.345,167 cm⁴ atau 0,15 m⁴.

Kemudian berdasarkan rumus berikut dapat diperoleh modulus penampang :

$$\begin{aligned}
 S &= I / c \\
 &= 15.381.345,167 / 105,43 \\
 &= 145.891,032 \text{ cm}^3 \\
 S &= 0,146 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

a. Gaya Geser Oleh Tekanan Hidrostatik

$$\text{Bidang tekan air} = 1,5 \text{ m}^2$$

$$\text{Tekanan Hidrostatik} = 7357,5 \text{ Kg/m.s}^2$$

$$\text{tekanan Rerata} = 0,5 \times P_{B2}$$

$$= 3678,750 \text{ Kg/m.s}^2$$

$$\begin{aligned} H_2 &= \text{Tekanan rerata} \times A \\ &= 3678,750 \times 1,5 \\ H_2 &= 5518,125 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

b. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Geser, } \mu &= 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar}) \\ FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 24.633,16 \\ FR &= 19.706,524 \text{ Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} SF \text{ Geser} &= FR / FH > 1,5 \\ &= 3,6 > 1,5 \text{ ---- Stabil} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

a. Momen Akibat Gaya Tekan Hidrostatik

$$\begin{aligned} M_{\text{guling}} &= FH \times h/3 \\ &= 5518,125 \times (0,75/3) \\ MG &= 1.379,531 \text{ Kg m/s}^2.m \end{aligned}$$

b. Momen Tahanan Akibat Gaya Berat

$$\begin{aligned} M_{\text{tahan}} &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 24.633,155 \times 0,5 \\ MT &= 12.316,578 \text{ Kg m/s}^2.m \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} SF \text{ Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 8,93 > 1,5 \text{ ---- Stabil} \end{aligned}$$

6. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Apung

a. Gaya Apung

$$\begin{aligned}
 V_{\text{tercelup}} &= V_{\text{tanggul}} \\
 &= 0,993 \text{ m}^3 \\
 \rho_{\text{air}} &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\
 F_a &= \rho_{\text{air}} \times V_{\text{tercelup}} \times g \\
 &= 1.000 \times 0,993 \times 9,81 \\
 \mathbf{F_a} &= \mathbf{9.736,425 \text{ Kg m/s}^2}
 \end{aligned}$$

b. Gaya Berat Benda

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{fiber}} &= 2530 \text{ Kg/m}^3 \\
 W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\
 &= 2.530 \times 0,993 \times 9,81 \\
 \mathbf{W} &= \mathbf{24.633,155 \text{ Kg m/s}^2}
 \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Apung

$$\begin{aligned}
 \text{SF Apung} &= F_a / W > 1 \\
 &= 0,395 < 1 \text{ ----- Tenggelam}
 \end{aligned}$$

7. Perhitungan Tegangan

$$\begin{aligned}
 \sigma &= M / S \\
 &= 5518,125 / 0,146 \\
 \mathbf{\sigma} &= \mathbf{37.823,607 \text{ Kg/m.s}^2} \\
 \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\
 &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \text{ ----- Memenuhi}
 \end{aligned}$$

8. Perhitungan Regangan

$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas fiber, } E &= 7300 \text{ MPa} \\
 \varepsilon &= \sigma / E \\
 &= 3,78 \times 10^{-2} / 7300
 \end{aligned}$$

$$\varepsilon = 5,18 \times 10^{-6}$$

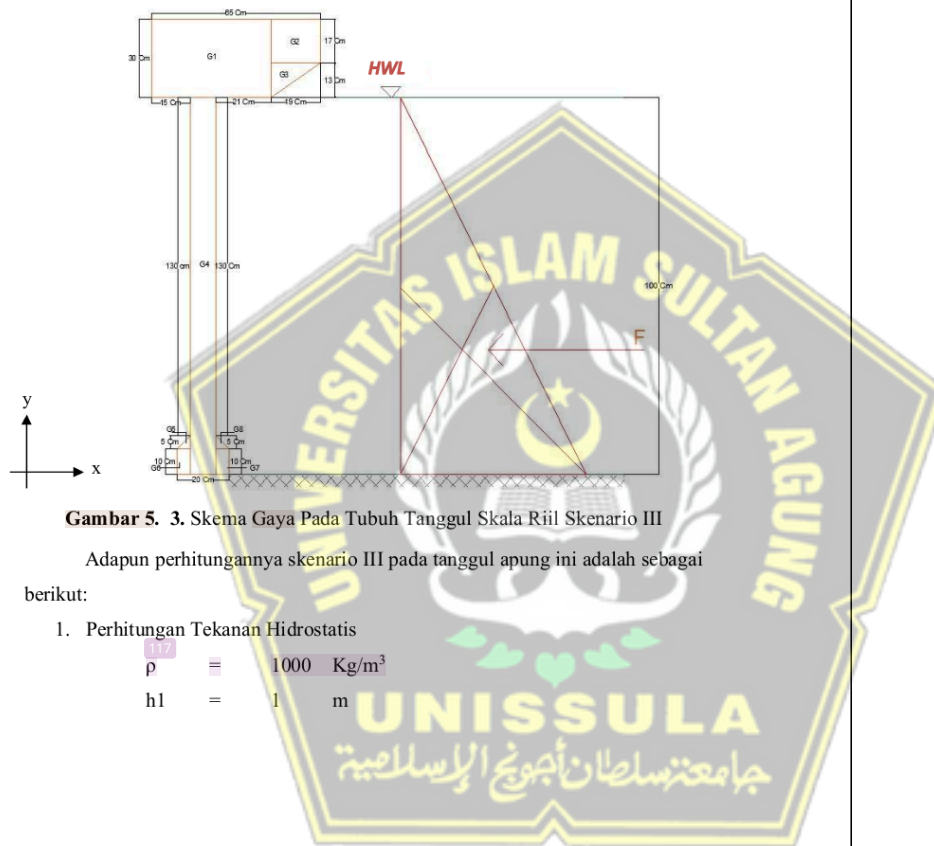
9. Perhitungan Deformasi

$$\delta = \sigma L / E$$

$$\delta = 3,89 \times 10^{-6} \text{ m}$$

5.2.3 Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario III

Selanjutnya, skema gaya pada Tanggul Skala Riil dengan Skenario III yaitu pada tinggi muka air pasang tinggi (HWL) ($h = 100 \text{ cm}$) dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 5. 3. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Riil Skenario III

Adapun perhitungannya skenario III pada tanggul apung ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

$$\rho = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$h_1 = 1 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 g &= 9,81 \text{ m/s} \\
 \gamma &= 9810 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}^2 \\
 P_{B3} &= \gamma \times h \\
 &= 9810 \times 1 \\
 &= 9810 \text{ Kg/m.s}^2
 \end{aligned}$$

2. Gaya Hidrostatik Total

a. Gaya hidrostatik dihitung dengan :

$$\text{lebar bidang tekan, } b = 2 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 F_{H2} &= P_{B3} \times A \\
 &= 9810 \times 2
 \end{aligned}$$

$$F_{H2} = 19.620 \text{ Kg m/s}^2$$

b. Titik resultan gaya hidrostatik dari dasar:

$$\begin{aligned}
 y_{c1} &= \frac{2}{3} \times h \\
 &= \frac{2}{3} \times 1
 \end{aligned}$$

$$y_{c1} = 0,667 \text{ m}$$

c. Momen akibat tekanan air :

$$M = F \times y_c$$

$$M = 13.080 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m}$$

3. Momen Inersia

Berdasarkan hasil hitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai inersia sebagai berikut:

Tabel 5. 5. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Tanggul Skala Riil

Bidang	Luas (m)	Jarak x (m)	A.x (m3)	Jarak y (cm)	A.y (m3)
G1	1380,00	23,00	31740,00	160,00	220800,00
G2	323,00	55,60	17958,80	166,00	53618,00
G3	247,00	50,80	12547,60	151,60	37445,20

Bidang	Luas (m)	Jarak x (m)	A.x (m3)	Jarak y (cm)	A.y (m3)
G4	2900,00	20,00	58000,00	72,60	210540,00
G5	12,50	13,80	172,50	11,20	140,00
G6	50,00	12,60	630,00	5,00	250,00
G7	25,00	27,60	690,00	5,00	125,00
G8	25,00	26,20	655,00	11,20	280,00
Total	4962,50	229,60	122393,90	582,60	523198,20

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data – data tersebut dapat diketahui bahwa :

$$\bar{X} = 24,66 \text{ cm}$$

$$\bar{Y} = 105,43 \text{ cm}$$

Tabel 5. 6. Hasil Perhitungan Momen Inersia Tanggul Skala Riil

Bidang	Luas	ix	d	Ad ²	ix + Ad ²
G1	1380,00	103500,000	55,000	4174500,000	4278000,000
G2	323,00	7778,917	61,000	1201883,000	1209661,917
G3	247,00	3478,583	48,000	569088,000	572566,583
G4	2900,00	5081041,667	33,000	3158100,000	8239141,667
G5	12,50	17,361	94,000	110450,000	110467,361
G6	50,00	416,667	100,000	500000,000	500416,667
G7	25,00	138,889	100,000	250000,000	250138,889
G8	25,00	52,083	94,000	220900,000	220952,083
Total	4962,50	5196424,17		10184921,00	15381345,17

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa Momen Inersia pada Tanggul Skala Lab tersebut adalah 15381345,167 cm⁴ atau 0,15 m⁴.

Kemudian berdasarkan rumus berikut dapat diperoleh modulus penampang :

$$S = I / c$$

$$= 15381345,167 / 105,43$$

$$= 145891,032 \text{ cm}^3$$

$$S = 0,146 \text{ m}^3$$

4. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

a. Gaya Geser Oleh Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned} \text{Bidang tekan air} &= 2 \text{ m}^2 \\ \text{Tekanan Hidrostatik} &= 9810 \text{ Kg/m.s}^2 \\ \text{tekanan Rerata} &= 0,5 \times \text{PA1} \\ &= 4905,000 \text{ Kg/m.s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H3 &= \text{Tekanan rerata} \times A \\ &= 4905 \times 2 \\ \mathbf{H3} &= \mathbf{9810 \text{ Kg m/s}^2} \end{aligned}$$

b. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned} \text{Koefisien Geser, } \mu &= 0,8 \text{ (untuk beton kasar)} \\ \text{FR} &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 24.633,155 \\ \mathbf{FR} &= \mathbf{19.706,524 \text{ Kg m/s}^2} \end{aligned}$$

c. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} \text{SF Geser} &= \text{FR} / \text{FH} > 1,5 \\ &= 2,01 > 1,5 \star \text{---- Stabil} \end{aligned}$$

5. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

a. Momen Akibat Gaya Tekan Hidrostatik

$$\begin{aligned} M_{\text{guling}} &= \text{FH} \times h/3 \\ &= 9810 \times (1/3) \\ \mathbf{MG} &= \mathbf{3.270 \text{ Kg m/s}^2.m} \end{aligned}$$

b. Momen Tahanan Akibat Gaya Berat

$$M_{\text{tahan}} = W \times \text{pusat massa ke titik tumpu}$$

$$= 24.633,155 \times 0,667$$

$$\mathbf{MT = 16.422,10 \quad Kg \, m/s^2.m}$$

c. Syarat Stabilitas Guling

$$\text{SF Guling} = \text{MT} / \text{MG} > 1,5$$

$$= 5,02 > 1,5 \quad \text{---- Stabil}$$

6. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Apung

a. Gaya Apung

$$V_{\text{tercelup}} = V_{\text{tanggul}}$$

$$= 0,993 \, \text{m}^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \, \text{Kg/m}^3$$

$$F_a = \rho_{\text{air}} \times V_{\text{tercelup}} \times g$$

$$= 1.000 \times 0,993 \times 9,81$$

$$\mathbf{F_a = 9.736,425 \quad Kg \, m/s^2}$$

b. Gaya Berat Benda

$$\rho_{\text{fiber}} = 2350 \, \text{Kg/m}^3$$

$$W = \rho_r \times V_{\text{tanggul}} \times g$$

$$= 2.350 \times 0,993 \times 9,81$$

$$\mathbf{W = 24.633,16 \quad Kg \, m/s^2}$$

c. Syarat Stabilitas Apung

$$\text{SF Apung} = F_a / W > 1$$

$$= 0,39 < 1 \quad \text{---- Tenggelam}$$

7. Perhitungan Tegangan

$$\sigma = M / S$$

$$\begin{aligned}
 &= 13080 / 0,146 \\
 \sigma &= 89.655,956 \text{ Kg/m.s}^2 \\
 \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\
 &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi}
 \end{aligned}$$

8. Perhitungan Regangan

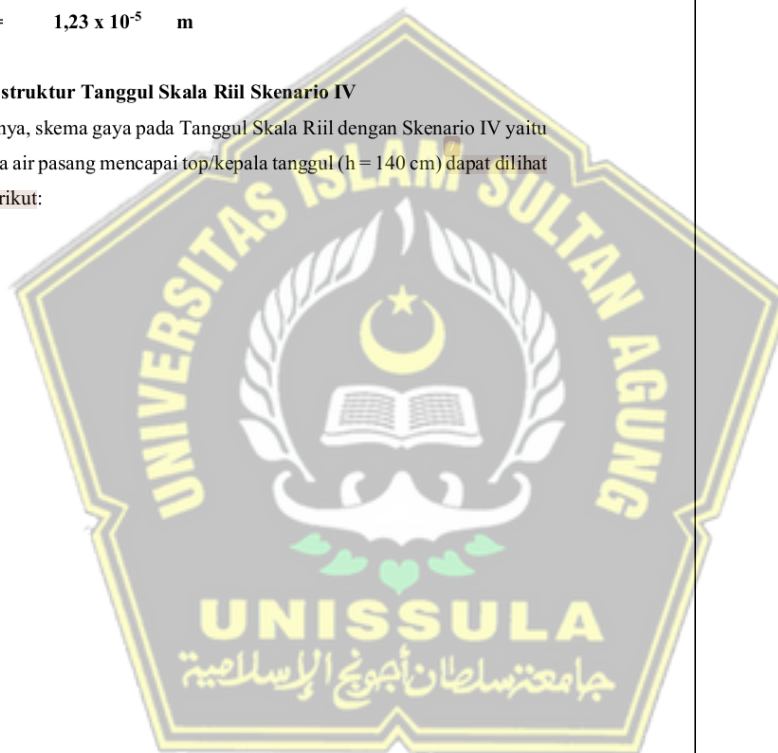
$$\begin{aligned}
 \text{Modulus elastisitas fiber, } E &= 7300 \text{ MPa} \\
 \epsilon &= \sigma / E \\
 &= 8,97 \times 10^{-2} / 7300 \\
 \epsilon &= 1,23 \times 10^{-5}
 \end{aligned}$$

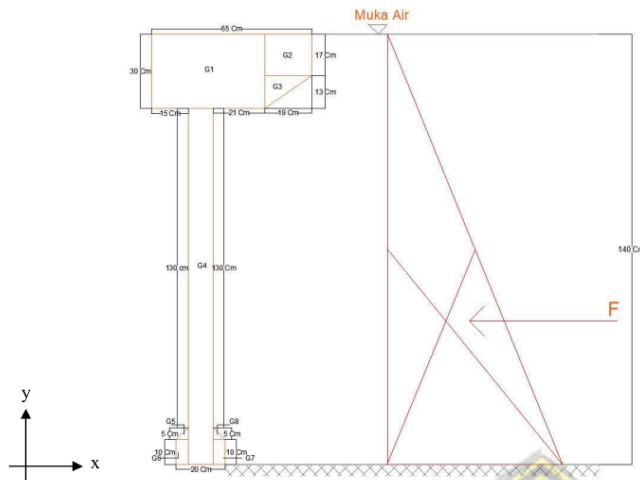
9. Perhitungan Deformasi

$$\begin{aligned}
 \delta &= \sigma L / E \\
 \delta &= 1,23 \times 10^{-5} \text{ m}
 \end{aligned}$$

5.2.4 Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario IV

Selanjutnya, skema gaya pada Tanggul Skala Riil dengan Skenario IV yaitu pada tinggi muka air pasang mencapai top/kepala tanggul ($h = 140 \text{ cm}$) dapat dilihat pada gambar berikut:





Gambar 5. 4. Skema Gaya Pada Tubuh Tanggul Skala Riil Skenario IV

Adapun perhitungannya skenario IV pada tanggul apung ini adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan Tekanan Hidrostatik

$$\begin{aligned}\rho &= 1000 \text{ Kg/m}^3 \\ h_1 &= 1,4 \text{ m} \\ g &= 9,81 \text{ m/s}^2 \\ \gamma &= 9810 \text{ Kg/m}^2 \text{ s}^2 \\ P_{B3} &= \gamma \times h \\ &= 9810 \times 1,4 \\ &= 13.734 \text{ Kg/m.s}^2\end{aligned}$$

2. Gaya Hidrostatik Total

d. Gaya hidrostatik dihitung dengan :

$$\text{lebar bidang tekan, } b = 2 \text{ m}$$

$$F_{H2} = P_{B3} \times A$$

$$F_{H2} = 9810 \times 2,8 = 38.455,2 \text{ Kg m/s}^2$$

e. Titik resultan gaya hidrostatik dari dasar:

$$y_{c1} = \frac{2}{3} \times h = \frac{2}{3} \times 1,4 = 0,933 \text{ m}$$

f. Momen akibat tekanan air :

$$M = F \times y_c = 18.312 \text{ Kg m/s}^2 \cdot \text{m}$$

3. Momen Inersia

Berdasarkan hasil hitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai inersia sebagai berikut:

Tabel 5. 7. Hasil Perhitungan Koordinat X dan Y untuk Momen Inersia Tanggul Skala Riil

Bidang	Luas (m)	Jarak x (m)	A.x (m3)	Jarak y (cm)	A.y (m3)
G1	1380,00	23,00	31740,00	160,00	220800,00
G2	323,00	55,60	17958,80	166,00	53618,00
G3	247,00	50,80	12547,60	151,60	37445,20
G4	2900,00	20,00	58000,00	72,60	210540,00
G5	12,50	13,80	172,50	11,20	140,00
G6	50,00	12,60	630,00	5,00	250,00
G7	25,00	27,60	690,00	5,00	125,00
G8	25,00	26,20	655,00	11,20	280,00
Total	4962,50	229,60	122393,90	582,60	523198,20

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data – data tersebut dapat diketahui bahwa :

$$X_{bar} = 24,66 \text{ cm}$$

$$Y_{\text{bar}} = 105,43 \text{ cm}$$

Tabel 5. 8. Hasil Perhitungan Momen Inersia Tanggul Skala Riil

Bidang	Luas	ix	d	Ad ²	ix + Ad ²
G1	1380,00	103500,000	55,000	4174500,000	4278000,000
G2	323,00	7778,917	61,000	1201883,000	1209661,917
G3	247,00	3478,583	48,000	569088,000	572566,583
G4	2900,00	5081041,667	33,000	3158100,000	8239141,667
G5	12,50	17,361	94,000	110450,000	110467,361
G6	50,00	416,667	100,000	500000,000	500416,667
G7	25,00	138,889	100,000	250000,000	250138,889
G8	25,00	52,083	94,000	220900,000	220952,083
Total	4962,50	5196424,17		10184921,00	15381345,17

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa Momen Inersia pada Tanggul Skala Lab tersebut adalah 15381345,167 cm⁴ atau 0,15 m⁴.

Kemudian berdasarkan rumus berikut dapat diperoleh modulus penampang :

$$\begin{aligned}
 S &= I / c \\
 &= 15381345,167 / 105,43 \\
 &= 145891,032 \text{ cm}^3 \\
 S &= \mathbf{0,146 \text{ m}^3}
 \end{aligned}$$

4. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Geser

d. Gaya Geser Oleh Tekanan Hidrostatif

$$\begin{aligned}
 \text{Bidang tekan air} &= 2 \text{ m}^2 \\
 \text{Tekanan Hidrostatif} &= 9810 \text{ Kg/m.s}^2 \\
 \text{tekanan Rerata} &= 0,5 \times \text{PA1} \\
 &= 6867,000 \text{ Kg/m.s}^2
 \end{aligned}$$

$$H3 = \text{Tekanan rerata} \times A$$

$$= 6867 \times 2,8$$

$$\mathbf{H3 = 19.227,6 \quad Kg \, m/s^2}$$

e. Gaya Geser Dasar

$$\text{Koefisien Geser, } \mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\text{FR} = \mu \times W$$

$$= 0,8 \times 24.633,155$$

$$\mathbf{FR = 19.706,524 \quad Kg \, m/s^2}$$

f. Syarat Stabilitas Geser

$$\text{SF Geser} = \text{FR} / \text{FH} > 1,5$$

$$= 1,02 > 1,5 \quad \text{---- Geser}$$

5. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Guling

d. Momen Akibat Gaya Tekan Hidrostatik

$$M_{\text{guling}} = \text{FH} \times h/3$$

$$= 19.227,6 \times (1,4/3)$$

$$\mathbf{MG = 22.990,94 \quad Kg \, m/s^2.m}$$

e. Momen Tahanan Akibat Gaya Berat

$$M_{\text{tahan}} = W \times \text{pusat massa ke titik tumpu}$$

$$= 24.633,155 \times 0,997$$

$$\mathbf{MT = 22.990,94 \quad Kg \, m/s^2.m}$$

f. Syarat Stabilitas Guling

$$\text{SF Guling} = \text{MT} / \text{MG} > 1,5$$

$$= 2,56 > 1,5 \quad \text{---- Stabil}$$

6. Perhitungan Stabilitas Terhadap Gaya Apung

d. Gaya Apung

$$V_{\text{tercelup}} = V_{\text{tanggul}}$$

$$= 0,993 \, m^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 1000 \text{ Kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} F_a &= \rho_{\text{air}} \times V_{\text{tercelup}} \times g \\ &= 1.000 \times 0,993 \times 9,81 \end{aligned}$$

$$\mathbf{F_a = 9.736,425 \text{ Kg m/s}^2}$$

e. Gaya Berat Benda

$$\rho_{\text{fiber}} = 2350 \text{ Kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2.350 \times 0,993 \times 9,81 \end{aligned}$$

$$\mathbf{W = 24.633,16 \text{ Kg m/s}^2}$$

f. Syarat Stabilitas Apung

$$\begin{aligned} \text{SF Apung} &= F_a / W > 1 \\ &= 0,39 < 1 \text{ ---- Tenggelam} \end{aligned}$$

7. Perhitungan Tegangan

$$\begin{aligned} \sigma &= M / S \\ &= 18312 / 0,146 \end{aligned}$$

$$\mathbf{\sigma = 125.518,339 \text{ Kg/m.s}^2}$$

$$\begin{aligned} \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \text{ ---- Memenuhi} \end{aligned}$$

8. Perhitungan Regangan

$$\text{Modulus elastisitas fiber, } E = 7300 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} \epsilon &= \sigma / E \\ &= 0,126 / 7300 \end{aligned}$$

$$\mathbf{\epsilon = 1,72 \times 10^{-5}}$$

9. Perhitungan Deformasi

$$\delta = \sigma L / E$$

$$\delta = 2,41 \times 10^{-5} \text{ m}$$

5.2.5 Rekapitulasi Karakteristik Tanggul Skala Riil

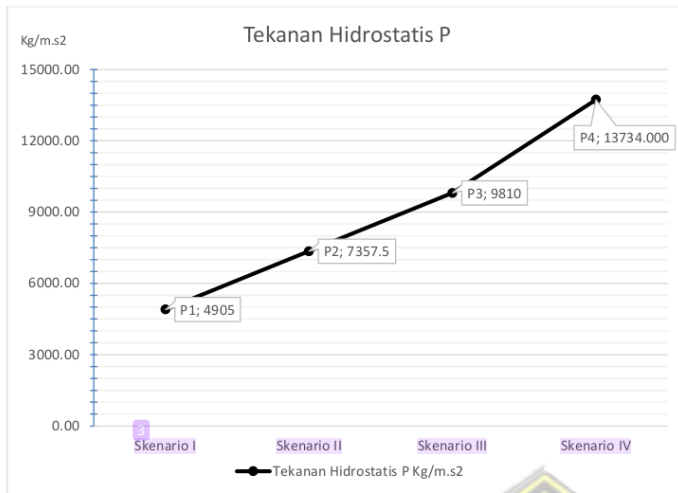
Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diketahui bahwa nilai perhitungan *displacement*, tegangan normal, dan lain sebagainya tidak berbeda jauh. Adapun selisihnya dapat dilihat pada Tabel 5.9.

Tabel 5. 9. Rekapitulasi Hasil Pengujian untuk Tanggul Skala Riil Pada Skenario yang Diuji

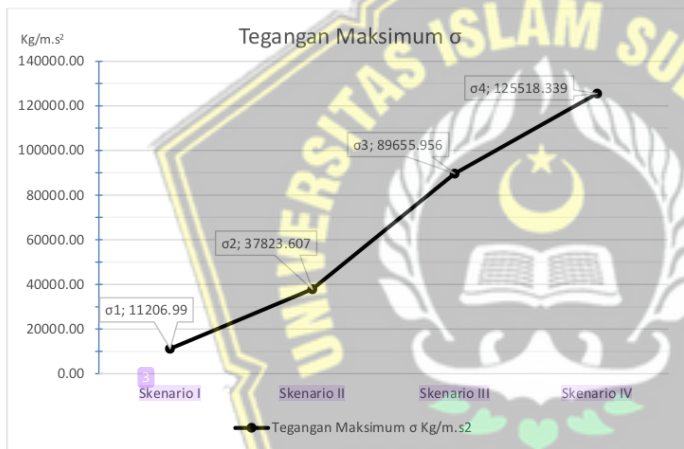
Item yang Ditinjau			Prototype			
			Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Tekanan Hidrostatik	P	Kg/m.s2	4905,000	7357,500	9810,000	13734,000
Tegangan Maksimum	σ	Kg/m.s2	11206,99	37823,607	89655,956	125518,339
Regangan	ϵ		$1,54 \times 10^{-6}$	$5,18 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-5}$	$1,72 \times 10^{-5}$
Deformasi	δ	m	$7,68 \times 10^{-7}$	$3,89 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-5}$	$2,41 \times 10^{-5}$

Sumber: Hasil Analisa, 2025

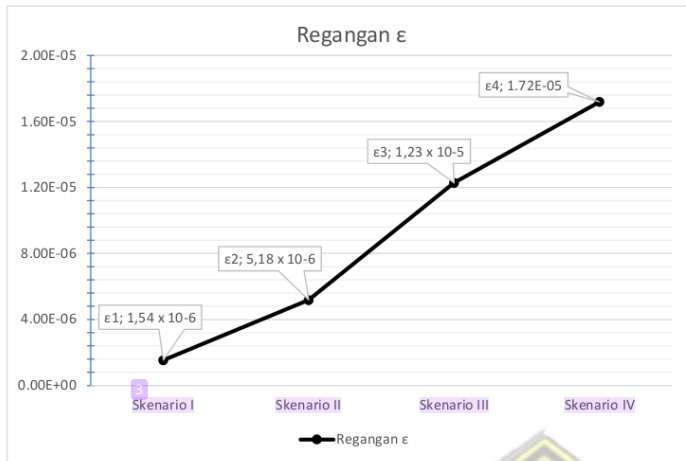
Adapun tabel di atas dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut:



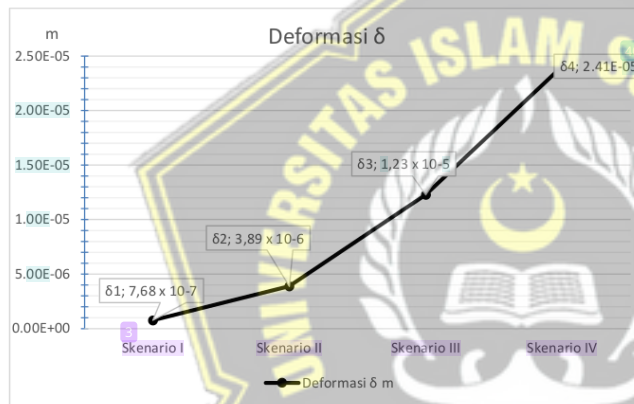
Gambar 5. 5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil



Gambar 5. 6. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Tegangan Tanggul Skala Riil



Gambar 5. 7. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Regangan Tanggul Skala Riil



Gambar 5. 8. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Deformasi Tanggul Skala Riil

Kemudian Tanggul Skala Riil ini juga ditinjau berdasarkan stabilitas terhadap beberapa kriteria yang telah di hitung pada pembahasan sebelumnya.

Dimana hasil perhitungan stabilitas tersebut dapat dirangkum dan disajikan dalam Tabel 5.8 – Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 10. Rekapitulasi *Safety Factor* Stabilitas Tanggul Skala Riil Terhadap Gaya Apung

Skenario	Gaya Apung, FA (Kg m/s ²)	Gaya Berat, W (Kg m/s ²)	SF Apung	Ket
Skenario I	9736,425	24633,155	0,395	Tenggelam
Skenario II	9736,425	24633,155	0,395	Tenggelam
Skenario III	9736,425	24633,155	0,395	Tenggelam
Skenario IV	9736,425	24633,155	0,395	Tenggelam

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Tabel 5. 11. Rekapitulasi *Safety Factor* Stabilitas Tanggul Skala Riil Terhadap Gaya Geser

Skenario	Gaya Geser, FR (Kg m/s ²)	Gaya Geser Dasar, FR (Kg m/s ²)	SF Geser	Ket
Skenario I	2452,500	19706,524	8,04	Stabil
Skenario II	5518,125	19706,524	3,57	Stabil
Skenario III	9810,000	19706,524	2,01	Stabil
Skenario IV	19227,600	19706,524	0,976	Geser

Sumber: Hasil Analisa, 2025

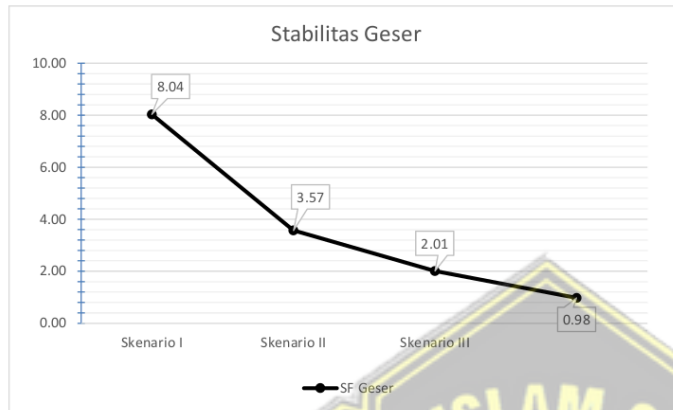
Tabel 5. 12. Rekapitulasi *Safety Factor* Stabilitas Tanggul Skala Riil Terhadap Momen Guling

Skenario	Momen Guling, MG (Kg m/s ² .m)	Momen Tahanan, MT (Kg m/s ² .m)	SF Guling	Ket
Skenario I	408,750	8211,052	20,09	Stabil
Skenario II	1379,531	12316,578	8,93	Stabil
Skenario III	3270,000	16422,104	5,02	Stabil
Skenario IV	8972,880	22990,945	2,56	Stabil

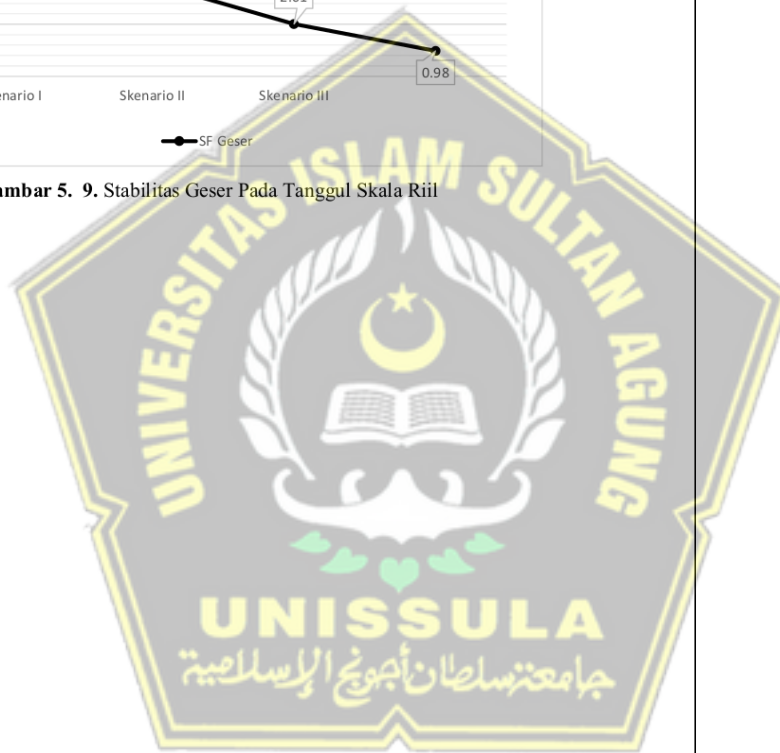
Sumber: Hasil Analisa, 2025

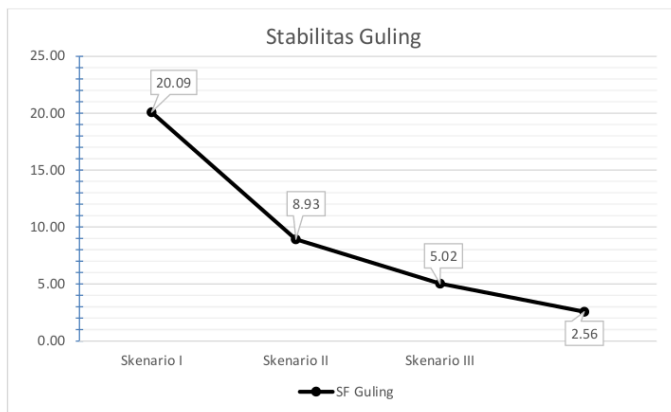
Berdasarkan tabel – tabel di atas dapat diketahui bahwa pada Skenario I, sampai Skenario IV struktur tanggul apung yang direncanakan dalam keadaan stabil berdasarkan stabilitas Gulingnya. Namun, mengalami kegagalan berupa geser pada saat Skenario IV.

Nilai *Safety factor* dalam tabel – tabel stabilitas di atas dapat disajikan pula dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 5. 9. Stabilitas Geser Pada Tanggul Skala Riil





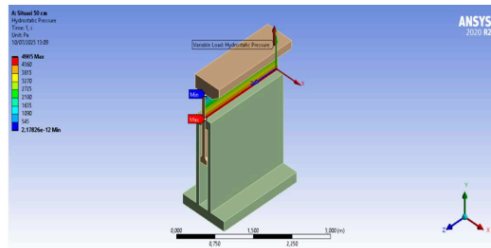
Gambar 5. 10. Stabilitas Geser Pada Tanggul Skala Riil

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa semakin tinggi muka air yang menekan tanggul maka stabilitasnya menurun. Namun, berdasarkan desain tanggul yang diuji diketahui bahwa hingga ketinggian maksimum tanggul masih dalam keadaan stabil.

5.3 Analisis Stabilitas *Software Ansys* Pada Tanggul Skala Riil

5.3.1 Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario I

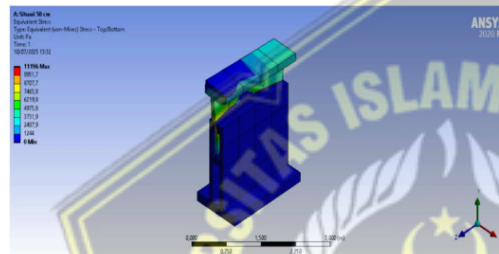
Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software Ansys*, dapat dilihat pada Gambar 5.11 bahwa tekanan hidrostatik maksimum terjadi pada dasar tanggul dengan nilai 4905 Pa atau 4905 Kg/m.s².



Gambar 5. 11. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario 1

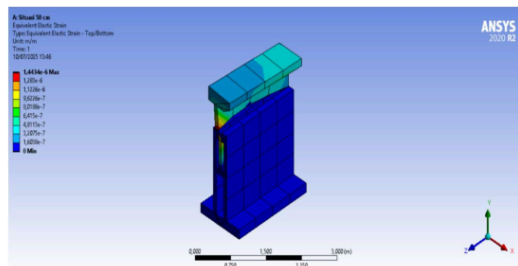
Kemudian hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software ANSYS* juga dapat diketahui adanya Tegangan akibat tekanan air yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.12. Dimana Tegangan yang terjadi adalah sebesar 11196 Kg/m.s².

$$\begin{aligned} \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi} \end{aligned}$$



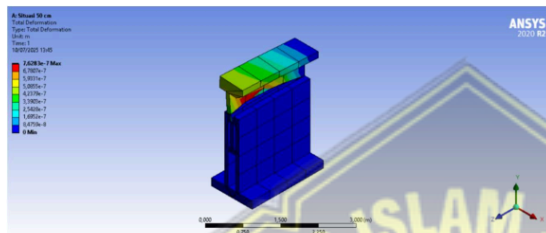
Gambar 5. 12. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario 1

Adapun regangan yang terjadi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.13 yaitu sebesar $1,44 \times 10^{-6}$.



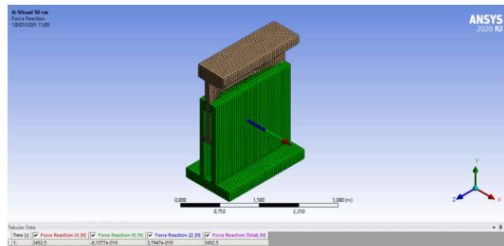
Gambar 5. 13. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario I

Selanjutnya untuk total deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar atau $7,63 \times 10^{-7}$ m , dimana dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5. 14. Total Deformasi Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario I

Kemudian selain karakteristik bahan dan tekanan hidrostatik pada skenario I, dalam *software ANSYS* juga dianalisis Gaya Geser dan Momen Guling yang terjadi yang dapat dilihat pada gambar 5.15 dan Gambar 5.16.



Gambar 5. 15. Gaya Geser Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario I

Jika dilihat pada Gambar 5.15, maka analisis stabilitas gesernya adalah sebagai berikut:

1. Gaya Geser Oleh Arus

$$\begin{aligned} F_w &= 2.452,500 \quad \text{N} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 2.452,500 \quad \text{Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned} p_{\text{fiber}} &= 2530 \quad \text{Kg/m}^3 \\ W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2.530 \times 0,993 \times 9,81 \\ W &= 24.633,155 \quad \text{Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

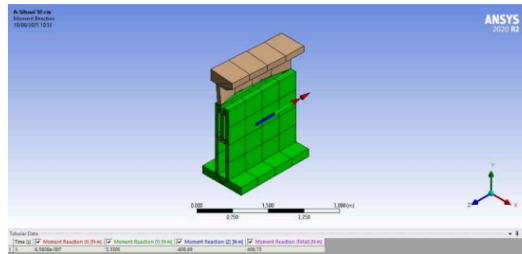
$$\text{Koefisien Geser, } \mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\begin{aligned} FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 24.633,155 \end{aligned}$$

$$FR = 19.706,524 \quad \text{Kg m/s}^2$$

3. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} SF_{\text{Geser}} &= FR / FW > 1,5 \\ &= 8,03 \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$



Gambar 5. 16. Momen Guling Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario I

Jika dilihat pada Gambar 5.16, maka analisis stabilitas gulingnya adalah sebagai berikut:

4. Momen Akibat Gaya Hidrostatik

$$\begin{aligned} MG &= 408,730 \quad \text{Nm} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 408,730 \quad \text{Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

5. Momen Tahanan

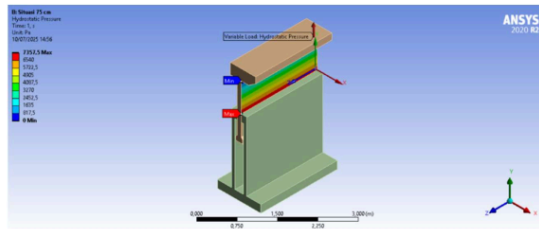
$$\begin{aligned} Mtahan &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 8.211,052 \quad \text{Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

6. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} SF \text{ Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 20,09 \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$

5.3.2 Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario II

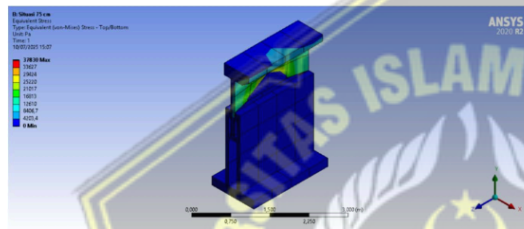
Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software Ansys*, dapat dilihat pada Gambar 5.17 bahwa tekanan hidrostatik maksimum terjadi pada dasar tanggul dalam skenario II memiliki nilai 7357,5 Pa atau 7357,5Kg/m.s²



Gambar 5. 17. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

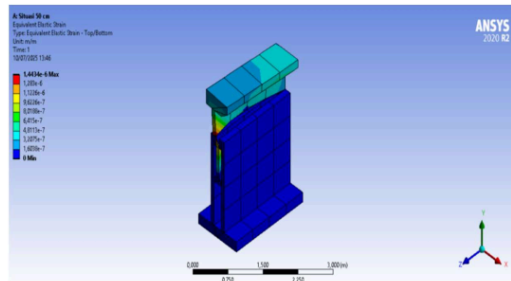
Kemudian hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software ANSYS* juga dapat diketahui adanya Tegangan akibat tekanan air yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.18. Dimana tegangan normal yang terjadi adalah sebesar 37.830 Kg/m.s².

$$\begin{aligned} \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi} \end{aligned}$$



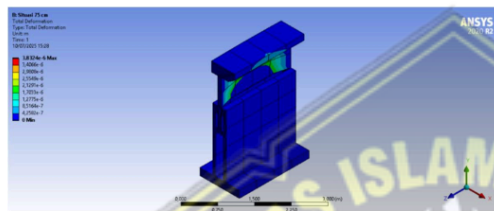
Gambar 5. 18. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

Adapun regangan yang terjadi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.19 yaitu sebesar 5,18 x 10⁻⁶.



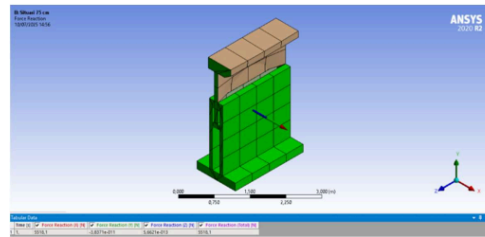
Gambar 5. 19. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

Selanjutnya untuk total deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar $3,83 \times 10^{-5}$ m, dimana dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5. 20. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario II

Kemudian selain karakteristik bahan dan tekanan hidrostatik pada skenario II, dalam *software ANSYS* juga dianalisis Gaya Geser dan Momen Guling yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 5.21 dan Gambar 5.22.



Gambar 5. 21. Gaya Geser Tanggul Skala Riil Pada Skenario II

Jika dilihat pada gambar 5.21, maka analisis stabilitas gesernya adalah sebagai berikut:

1. Gaya Geser Oleh Arus

$$\begin{aligned} F_w &= 5.518,10 \quad \text{N} \quad (\text{analisis Ansys}) \\ &= 5.518,10 \quad \text{Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned} p_{\text{fiber}} &= 2530 \quad \text{Kg/m}^3 \\ W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2.530 \times 0,993 \times 9,81 \\ W &= 24.633,155 \quad \text{Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

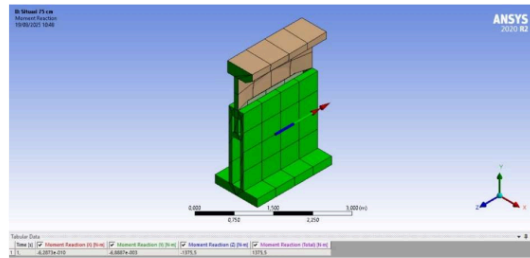
$$\text{Koefisien Geser, } \mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\begin{aligned} FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 24.633,155 \end{aligned}$$

$$FR = 19.706,52 \quad \text{Kg m/s}^2$$

3. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} \text{SF Geser} &= \frac{FR}{FW} > 1,5 \\ &= \frac{19.706,52}{5.518,10} = 3,57 \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$



Gambar 5. 22. Momen Guling Tanggul Skala Riil Yang Terjadi Pada Skenario II

Jika dilihat pada gambar 5.22, maka analisis stabilitas gulingnya adalah sebagai berikut:

1. Momen Akibat Gaya Hidrostatik

$$\begin{aligned} MG &= 1.375,50 \quad \text{Nm} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 1.375,50 \quad \text{Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

2. Momen Tahanan

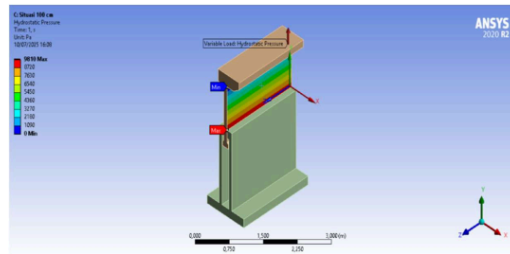
$$\begin{aligned} Mtahan &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 12.316,578 \quad \text{Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} SF \text{ Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 8,95 \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$

5.3.3 Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario III

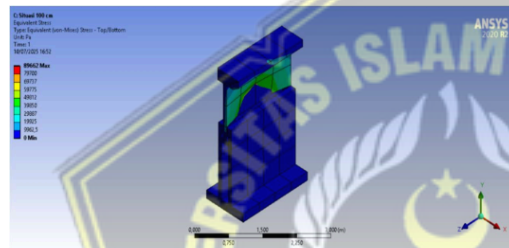
Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software Ansys*, dapat dilihat pada Gambar 5.23 bahwa tekanan hidrostatik maksimum terjadi pada dasar tanggul dalam skenario III memiliki nilai 9810 Pa atau 9810 Kg/m.s².



Gambar 5. 23. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

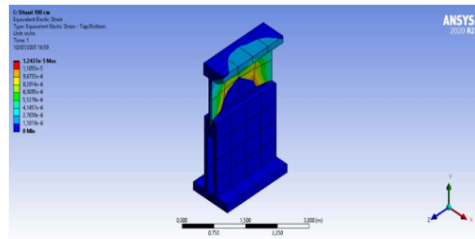
Kemudian hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software ANSYS* juga dapat diketahui adanya Tegangan akibat tekanan air yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.24. Dimana tegangan normal yang terjadi adalah sebesar 89662 Kg/m.s².

$$\begin{aligned} \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{----- Memenuhi} \end{aligned}$$



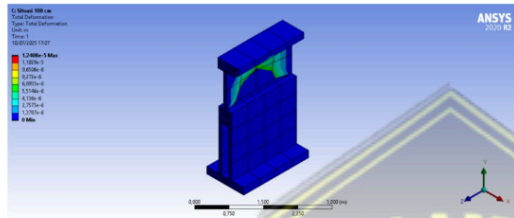
Gambar 5. 24. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Adapun regangan yang terjadi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.25 yaitu sebesar $1,24 \times 10^{-5}$.



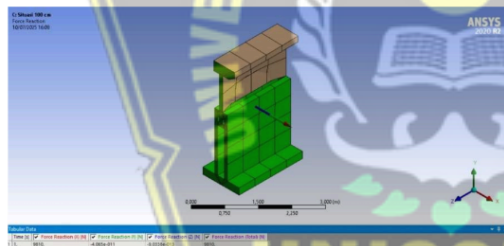
Gambar 5. 25. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Selanjutnya untuk total deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar $1,24 \times 10^{-5}$ m, dimana dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5. 26. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario III

Kemudian selain karakteristik bahan dan tekanan hidrostatik pada skenario II, dalam *software ANSYS* juga dianalisis Gaya Geser dan Momen Guling yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 5.27 dan Gambar 5.28.



Gambar 5. 27. Gaya Geser Tanggul Skala Riil Pada Skenario III

Jika dilihat pada gambar 5.27, maka analisis stabilitas gesernya adalah sebagai berikut:

1. Gaya Geser Oleh Arus

$$\begin{aligned} F_w &= 9.810,00 \quad \text{N} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 9.810,00 \quad \text{Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

2. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned} p_{\text{fiber}} &= 2530 \quad \text{Kg/m}^3 \\ W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2.530 \times 0,993 \times 9,81 \\ W &= 24.633,155 \quad \text{Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

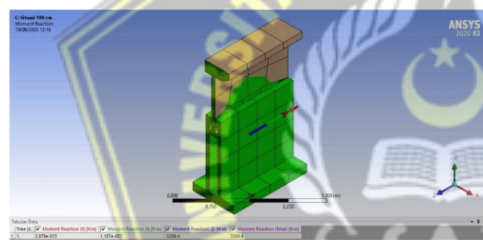
$$\text{Koefisien Geser, } \mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\begin{aligned} FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 24.633,32 \end{aligned}$$

$$FR = 19.706,52 \quad \text{Kg m/s}^2$$

3. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} SF_{\text{Geser}} &= FR / FW > 1,5 \\ &= 2,01 \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$



Gambar 5. 28. Momen Guling Tanggul Skala Riil Yang Terjadi Pada Skenario III

Jika dilihat pada gambar 5.28, maka analisis stabilitas gulingnya adalah sebagai berikut:

1. Momen Akibat Gaya Hidrostatik

$$\begin{aligned} MG &= 3.269,40 \quad \text{Nm} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 3.269,40 \quad \text{Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

2. Momen Tahanan

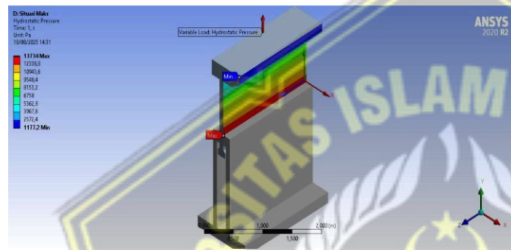
$$\begin{aligned} Mtahan &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 16.422,104 \quad \text{Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

3. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} SF \text{ Guling} &= MT / MG > 1,5 \\ &= 5,02 \quad \text{-----} \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$

5.3.4 Analisa struktur Tanggul Skala Riil Skenario IV

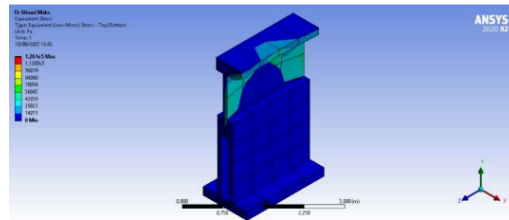
Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software Ansys*, dapat dilihat pada Gambar 5.29 bahwa tekanan hidrostatik maksimum terjadi pada dasar tanggul dalam Skenario IV memiliki nilai 13734 Pa atau 13734 Kg/m.s².



Gambar 5. 29. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

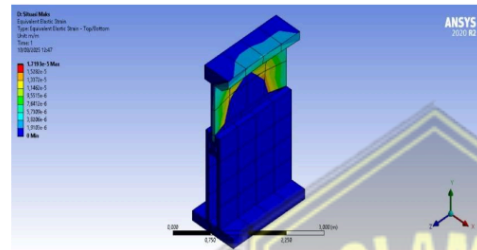
Kemudian hasil pemodelan dan analisis numerik menggunakan *software ANSYS* juga dapat diketahui adanya Tegangan akibat tekanan air yang terjadi. Hal tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.30. Dimana tegangan normal yang terjadi adalah sebesar $1,26 \times 10^5$ Kg/m.s².

$$\begin{aligned} \text{syarat} &= \sigma_{\text{ijin}} > \sigma \\ &= 3 \times 10^8 \text{ Kg/m.s}^2 > \sigma \quad \text{-----} \quad \text{Memenuhi} \end{aligned}$$



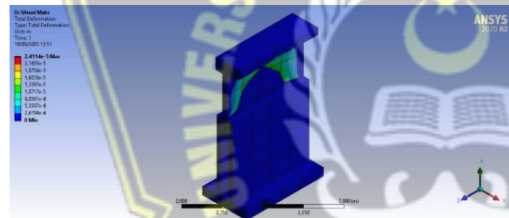
Gambar 5. 30. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

Adapun regangan yang terjadi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.31 yaitu sebesar $1,72 \times 10^{-5}$.



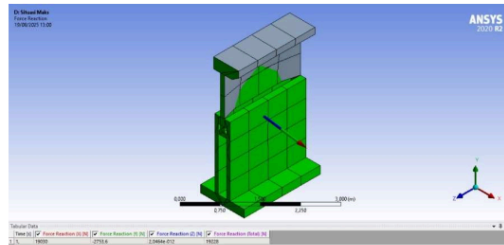
Gambar 5. 31. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

Selanjutnya untuk total deformasi maksimum yang terjadi adalah sebesar $2,41 \times 10^{-5}$ m, dimana dapat dilihat pada Gambar 5.32.



Gambar 5. 32. Deformasi Maksimum Tanggul Skala Riil Hasil Pemodelan *ANSYS* Skenario IV

Kemudian selain karakteristik bahan dan tekanan hidrostatik pada skenario II, dalam *software ANSYS* juga dianalisis Gaya Geser dan Momen Guling yang terjadi yang dapat dilihat pada Gambar 5.33 dan Gambar 5.34.



Gambar 5. 33. Gaya Geser Tanggul Skala Riil Pada Skenario IV

Jika dilihat pada gambar 5.27, maka analisis stabilitas gesernya adalah sebagai berikut:

4. Gaya Geser Oleh Arus

$$\begin{aligned} F_w &= 19.228 \quad \text{N} \quad (\text{analisis } Ansys) \\ &= 19.228 \quad \text{Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

5. Gaya Geser Dasar

$$\begin{aligned} p_{\text{fiber}} &= 2530 \quad \text{Kg/m}^3 \\ W &= \rho_f \times V_{\text{tanggul}} \times g \\ &= 2.530 \times 0.993 \times 9.81 \\ W &= 24.633,155 \quad \text{Kg m/s}^2 \end{aligned}$$

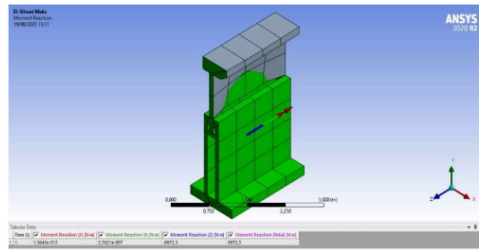
$$\text{Koefisien Geser, } \mu = 0,8 \quad (\text{untuk beton kasar})$$

$$\begin{aligned} FR &= \mu \times W \\ &= 0,8 \times 24.633,32 \end{aligned}$$

$$FR = 19.706,52 \quad \text{Kg m/s}^2$$

6. Syarat Stabilitas Geser

$$\begin{aligned} SF_{\text{Geser}} &= FR / FW > 1,5 \\ &= 1,025 \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$



Gambar 5. 34. Momen Guling Tanggul Skala Riil Yang Terjadi Pada Skenario IV

Jika dilihat pada gambar 5.34, maka analisis stabilitas gulingnya adalah sebagai berikut:

4. Momen Akibat Gaya Hidrostatik

$$\begin{aligned} MG &= 8.972,30 \quad \text{Nm} \quad (\text{analisis Ansys}) \\ &= 8.972,30 \quad \text{Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

5. Momen Tahanan

$$\begin{aligned} M_{\text{tahan}} &= W \times \text{pusat massa ke titik tumpu} \\ &= 16.422,104 \quad \text{Kg m/s}^2.\text{m} \end{aligned}$$

6. Syarat Stabilitas Guling

$$\begin{aligned} \text{SF Guling} &= \frac{MT}{MG} > 1,5 \\ &= \frac{2,56}{\text{-----}} \quad \text{Stabil} \end{aligned}$$

5.3.5 Rekapitulasi Karakteristik Tanggul Skala Riil Hasil Analis *Software*

Berdasarkan hasil perhitungan sebelumnya diketahui bahwa nilai perhitungan *displacement*, tegangan normal, dan lain sebagainya tidak berbeda jauh. Adapun selisihnya dapat dilihat pada tabel berikut

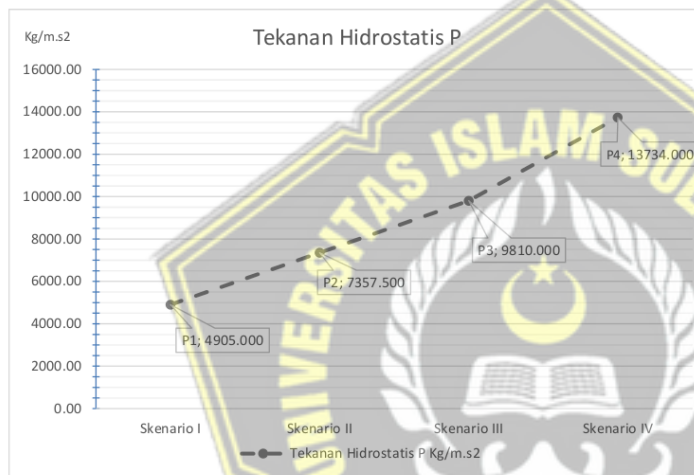
Tabel 5. 13. Rekapitulasi Hasil Pemodelan *Ansys*

Item yang Ditinjau			Analisis <i>Ansys</i> (Skala Riil)			
			Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Tekanan Hidrostatik	P	Kg/m.s ²	4.905	7.357,5	9.810	13.734
Tegangan Maksimum	σ	Kg/m.s ²	11.196	37.830	89.662	126.000

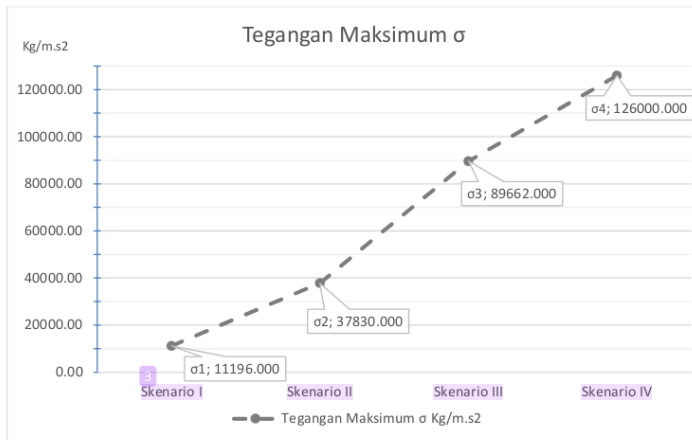
Item yang Ditinjau			Analisis <i>Ansys</i> (Skala Riil)			
			Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Regangan	ε		$1,44 \times 10^{-6}$	$5,18 \times 10^{-6}$	$1,24 \times 10^{-5}$	$1,72 \times 10^{-5}$
Deformasi	δ	m	$7,63 \times 10^{-7}$	$3,83 \times 10^{-6}$	$1,24 \times 10^{-5}$	$2,41 \times 10^{-5}$

Sumber: Hasil Analisa, 2025

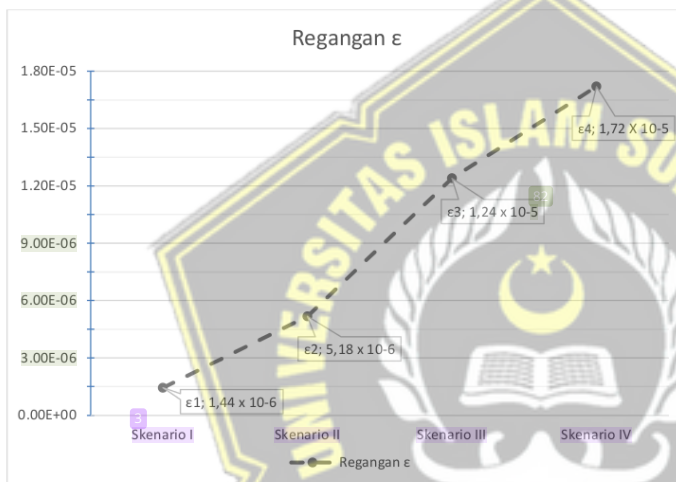
Berdasarkan hasil analisa yang telah dilakukan bahwa nilai tegangan dan deformasi pada Tanggul Skala Riil di ketiga skenario mengalami selisih yang besar, sedangkan pada nilai regangan dan tekanan hidrostatik tidak mengalami selisih yang besar. Perhitungan yang dilakukan pada analisis ini menggunakan pemodelan pada *Ansys* dengan Tanggul Skala Riil. Hasil analisa *Ansys* ini juga dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



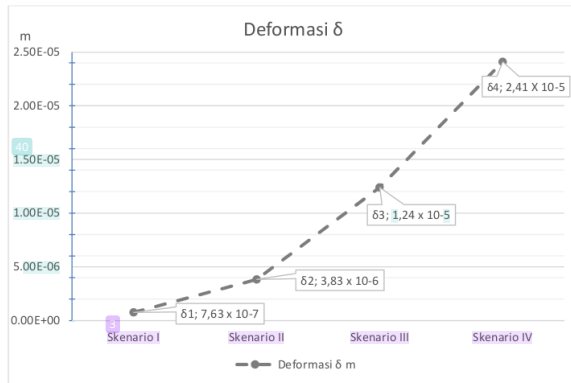
Gambar 5. 35. Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Ansys*



Gambar 5. 36. Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Ansys*



Gambar 5. 37. Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Ansys*



Gambar 5. 38. Deformasi Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Ansys*

Kemudian pada *software ANSYS* ini juga ditinjau stabilitas terhadap beberapa kriteria yang dapat dirangkum dan disajikan dalam Tabel 5.14 – Tabel 5.15 berikut.

Tabel 5. 14. Rekapitulasi Safety Factor Stabilitas Tanggul Skala Riil Software ANSYS Terhadap Gaya Geser

Skenario	Gaya Geser, FR (Kg m/s ²)	Gaya Geser Dasar, FR (Kg m/s ²)	SF Geser	Ket
Skenario I	2452,500	19706,524	8,04	Stabil
Skenario II	5518,100	19706,524	3,57	Stabil
Skenario III	9810,000	19706,524	2,01	Stabil
Skenario IV	19228,000	19706,524	1,02	Geser

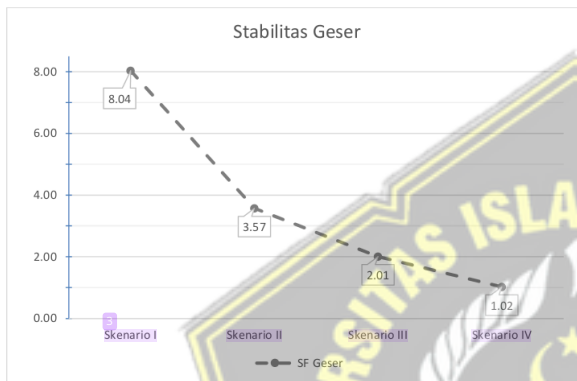
Sumber: Hasil Analisa, 2025

Tabel 5. 15. Rekapitulasi *Safety Factor* Stabilitas Tanggul Skala Riil *Software ANSYS* Terhadap Momen Guling

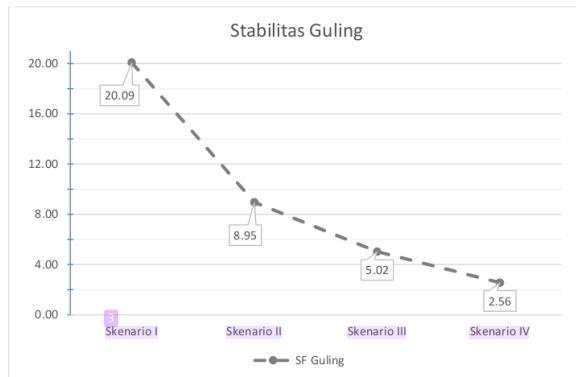
Skenario	Momen Guling, MG (Kg m/s2.m)	Momen Tahanan, MT (Kg m/s2.m)	SF Guling	Ket
Skenario I	408,730	8211,052	20,09	Stabil
Skenario II	1375,500	12316,578	8,95	Stabil
Skenario III	3269,400	16422,104	5,02	Stabil
Skenario IV	8972,300	22990,945	2,56	Stabil

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan tabel – tabel di atas dapat dilihat bahwa pemodelan pada *software ANSYS* mengalami kestabilan terhadap gaya geser dan momen guling di kedua skenario. Adapun hasil analisis dalam tabel di atas juga dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



Gambar 5. 39. Stabilitas Geser Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Ansysis*



Gambar 5. 40. Stabilitas Guling Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Ansys*

5.4 Perbandingan Hasil Analisis Tanggul Skala Lab

Sub bab ini berisikan hasil analisis dan evaluasi hasil pengujian struktur Statis dari Tanggul Skala Lab pada tiga skenario pengujian, yaitu pasang rendah, pasang sedang dan pasang tinggi.

Berdasarkan analisis yang telah dilaksanakan diketahui bahwa analisis/pengujian di laboratorium hanya menampilkan visual terkait perilaku tanggul terhadap kenaikan muka air. Diketahui bahwa tanggul apung fiber tersebut mengalami kebocoran yang tidak terlalu signifikan akibat permukaan tanggul dan bak uji yang kurang rapat.

Kerapatan tanggul dengan bak uji yang semakin tinggi akan mempengaruhi perilaku tanggul terhadap kenaikan muka air. Semakin rapat tanggul dengan bak uji maka tanggul akan semakin kesulitan menyesuaikan kenaikan muka air. Untuk menangani hal tersebut, maka digunakan system hidrolik sehingga tanggul tetap rapat dan mampu menyesuaikan kenaikan muka air yang disimulasikan.

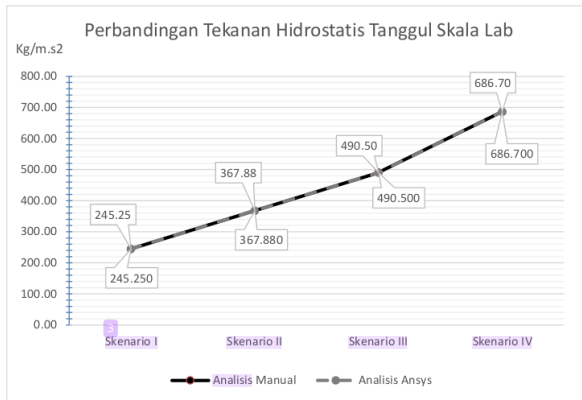
Adapun hasil analisis Tanggul Skala Lab secara manual dan dengan bantuan Software *Ansys* dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. 16. Hasil Analisis Tanggul Skala Lab

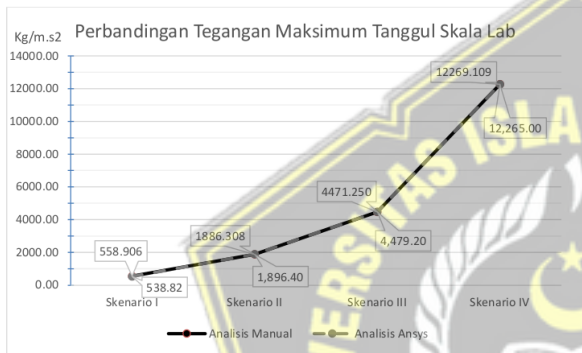
Item yang Ditinjau		Skala Lab (Manual)				Skala Lab (Ansys)			
		Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Tekanan Hidrostatis	P Kg/m.s2	245,250	367,875	490,500	686,700	245,250	367,880	490,500	686,700
Tegangan Maksimum	σ Kg/m.s2	558,906	1886,308	4471,250	12269,109	538,820	1896,400	4479,200	12265,000
Regangan	ε	$7,66 \times 10^{-8}$	$2,58 \times 10^{-7}$	$6,12 \times 10^{-7}$	$1,68 \times 10^{-6}$	$7,30 \times 10^{-8}$	$2,55 \times 10^{-7}$	$6,13 \times 10^{-7}$	$1,65 \times 10^{-6}$
Deformasi	δ m	$1,91 \times 10^{-6}$	$9,69 \times 10^{-6}$	$3,06 \times 10^{-5}$	$1,18 \times 10^{-4}$	$1,85 \times 10^{-6}$	$9,65 \times 10^{-6}$	$3,05 \times 10^{-5}$	$1,13 \times 10^{-4}$
SF Geser		7,86	3,49	1,96	1,00	7,86	3,49	1,96	1,00
SF Guling		19,64	8,73	4,91	2,50	19,30	8,78	5,34	2,48

Sumber: Hasil Analisa, 2025

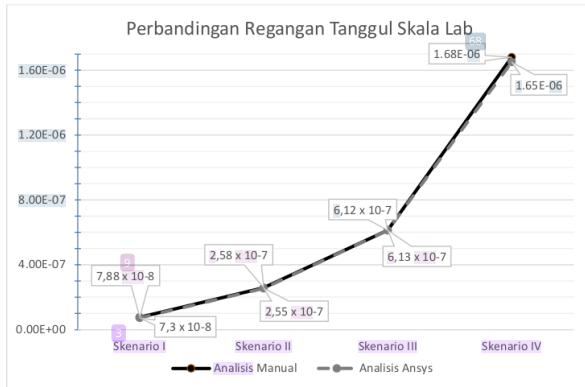
Hasil analisis tersebut juga dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut.



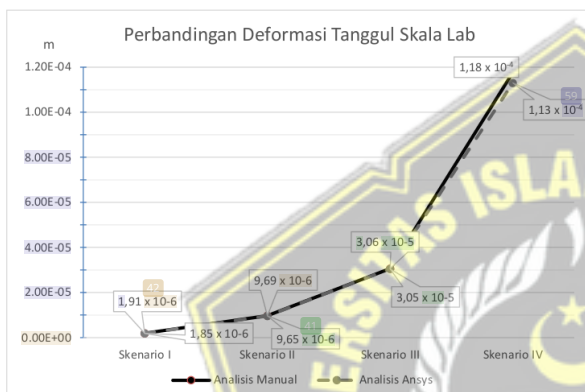
Gambar 5. 41. Perbandingan Nilai Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis *Ansys*



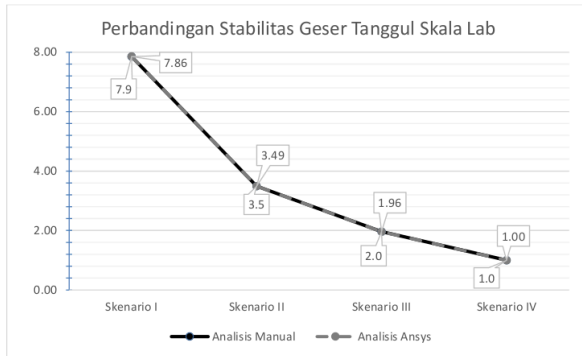
Gambar 5. 42. Perbandingan Nilai Tegangan Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis *Ansys*



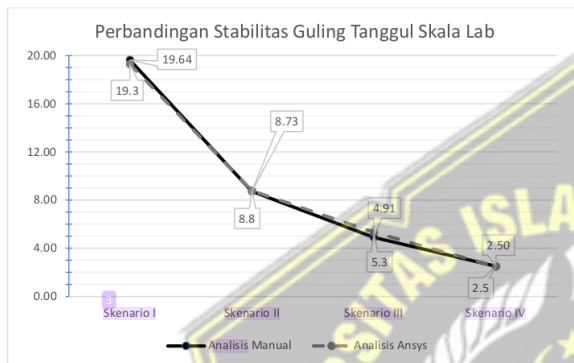
Gambar 5. 43. Perbandingan Nilai Regangan Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis *Ansys*



Gambar 5. 44. Perbandingan Nilai Deformasi Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis *Ansys*



Gambar 5. 45. Perbandingan Nilai SF Geser Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis *Ansys*

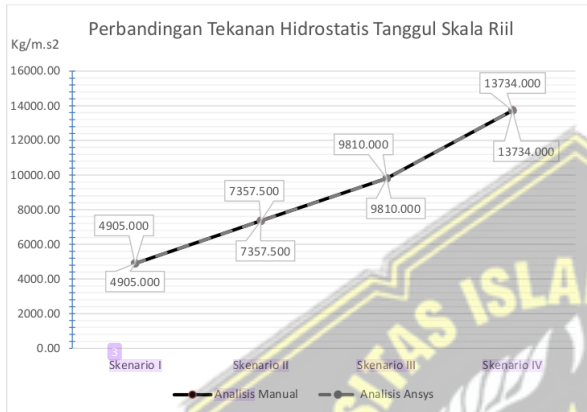


Gambar 5. 46. Perbandingan Nilai SF Geser Tanggul Skala Lab Hasil Analisis Manual dan Analisis *Ansys*

5.5 Perbandingan Hasil Analisis Tanggul Skala Riil

Sub bab ini berisi diskusi hasil bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi hasil pengujian struktur Statis dari model Tanggul Skala Riil pada tiga skenario pengujian, yaitu pasang rendah, pasang sedang dan pasang tinggi. Pada Tanggul Skala Riil ini dilakukan dua analisis yaitu analisis manual dan analisis *Ansys*. Adapun hasil dari analisis manual dengan analisis software dapat dilihat pada Tabel 5.17. Diskusi ini menegaskan bahwa model tanggul fiber apung memiliki performa yang baik pada saat pasang rendah maupun pasang tinggi. Namun, semakin tinggi muka air (semakin tinggi air pasang) maka stabilitasnya semakin menurun.

Adapun hasil analisis Tanggul Skala Riil manual maupun *ANSYS* dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut.



Gambar 5. 47. Perbandingan Nilai Tekanan Hidrostatik Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan *Ansys*

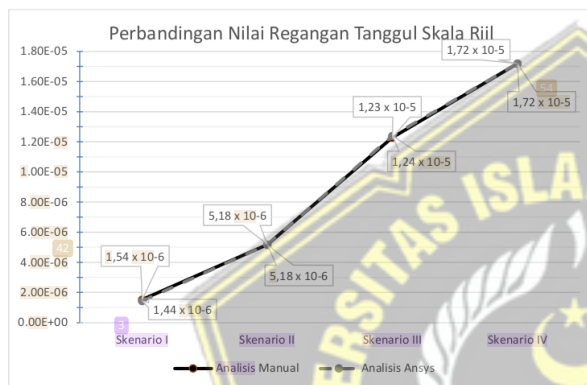
Tabel 5. 17. Hasil Analisis Tanggul Skala Riil

Item yang Ditinjau		Skala Riil (Manual)				Skala Riil (Ansys)			
		Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Tekanan Hidrostatik	P	4905,000	7357,500	9810,000	13734,000	4905,000	7357,500	9810,000	13734,000
	σ	11206,995	37823,607	89655,956	125518,339	11196,000	37830,000	89662,000	126000,000
Tegangan Maksimum	ε	$1,54 \times 10^{-6}$	$5,18 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-5}$	$1,72 \times 10^{-5}$	$1,44 \times 10^{-6}$	$5,18 \times 10^{-6}$	$1,24 \times 10^{-5}$	$1,72 \times 10^{-5}$
	Regangan	$7,68 \times 10^{-7}$	$3,89 \times 10^{-6}$	$1,23 \times 10^{-5}$	$2,41 \times 10^{-5}$	$7,63 \times 10^{-7}$	$3,83 \times 10^{-6}$	$1,24 \times 10^{-5}$	$2,41 \times 10^{-5}$
Deformasi	δ	8,04	3,57	2,01	0,98	8,04	3,57	2,01	1,02
SF Geser		20,09	8,93	5,02	2,56	20,09	8,95	5,02	2,56
SF Guling									

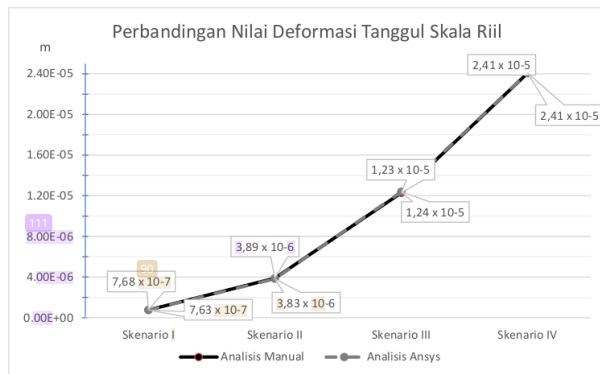
Sumber: Hasil Analisa, 2025



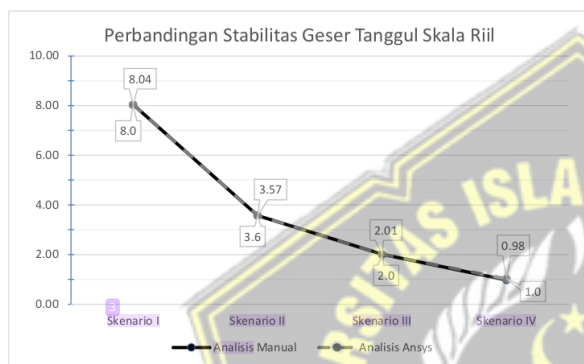
Gambar 5. 48. Perbandingan Nilai Tegangan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan *Ansys*



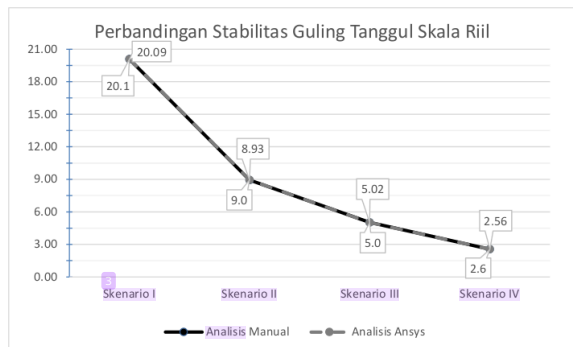
Gambar 5. 49. Perbandingan Nilai Regangan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan *Ansys*



Gambar 5. 50. Perbandingan Nilai Deformasi Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan *Ansys*



Gambar 5. 51. Perbandingan Nilai SF Geser Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan *Ansys*



Gambar 5. 52. Perbandingan Nilai SF Guling Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual dan *Ansys*

5.6 Perbandingan Hasil Analisis Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil

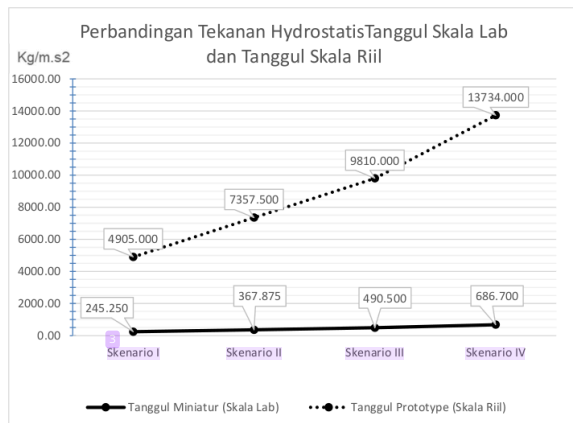


Di bawah ini merupakan tabel rekapitulasi hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tanggul Skala Lab maupun Tanggul Skala Riil dari Tanggul Apung Fiber yang diuji dengan menggunakan analisis manual.

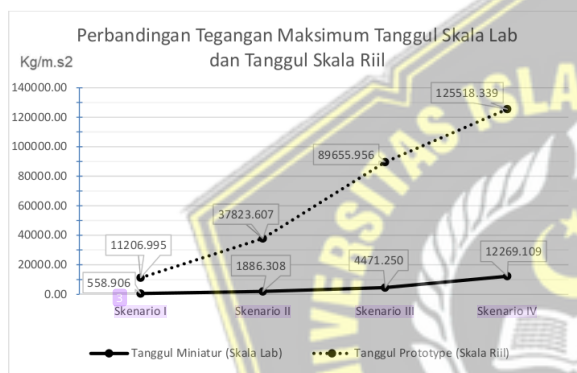
Tabel 5. 18. Hasil Analisis Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil (Manual)

Item yang Ditinjau		Analisis Manual							
		Tanggul Skala Lab (Skala Lab)				Tanggul Prototype (Skala Riil)			
		Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Tekanan Hidrostatik	P Kg/m.s2	245,250	367,875	490,500	686,700	4905,000	7357,500	9810,000	13734,000
Tegangan Maksimum	σ Kg/m.s2	558,906	1886,308	4471,250	12269,109	11206,995	37823,607	89655,956	125518,339
Regangan	ε	7,66 x 10 ⁻⁸	2,58 x 10 ⁻⁷	6,12 x 10 ⁻⁷	1,68 x 10 ⁻⁶	1,54 x 10 ⁻⁶	5,18 x 10 ⁻⁶	1,23 x 10 ⁻⁵	1,72 x 10 ⁻⁵
Deformasi	δ m	1,91 x 10 ⁻⁶	9,69 x 10 ⁻⁶	3,06 x 10 ⁻⁵	1,18 x 10 ⁻⁴	7,68 x 10 ⁻⁷	3,89 x 10 ⁻⁶	1,23 x 10 ⁻⁵	2,41 x 10 ⁻⁵
SF Geser		7,86	3,49	1,96	1,00	8,04	3,57	2,01	0,98
SF Guling		19,64	8,73	4,91	2,50	20,09	8,93	5,02	2,56

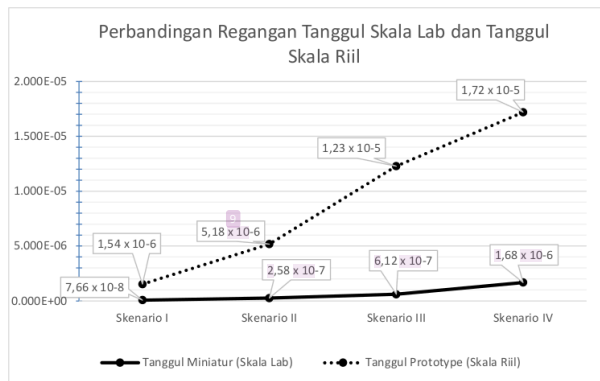
Sumber: Hasil Analisa, 2025



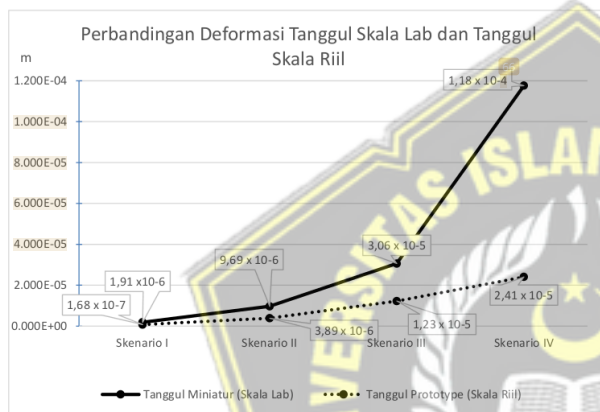
Gambar 5. 53. Perbandingan Nilai Tekanan Hidrostatik Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual



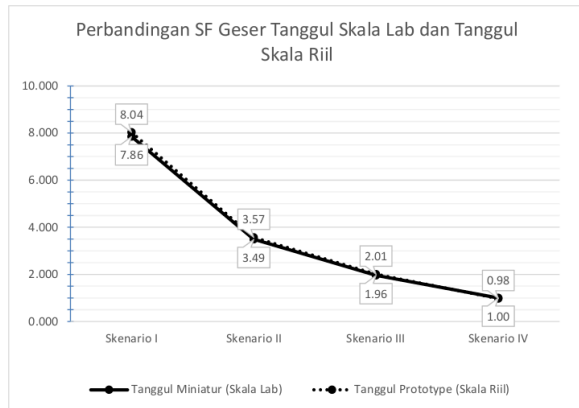
Gambar 5. 54. Perbandingan Nilai Tegangan Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual



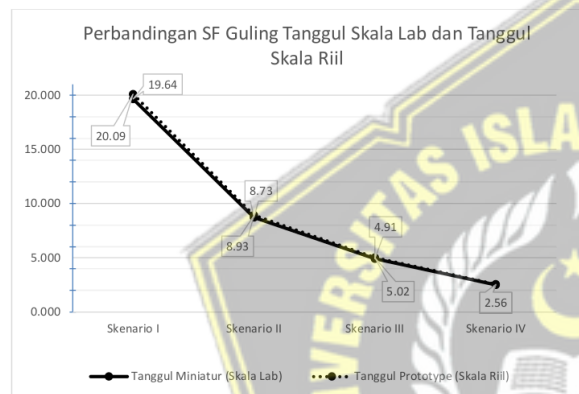
Gambar 5. 55. Perbandingan Nilai Regangan Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual



Gambar 5. 56. Perbandingan Nilai Deformasi Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual



Gambar 5. 57. Perbandingan Nilai *Safety Factor* Geser Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual



Gambar 5. 58. Perbandingan Nilai *Safety Factor* Guling Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis Manual

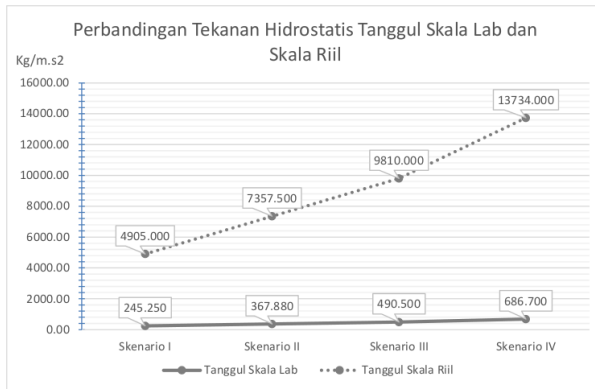
Di bawah ini merupakan tabel rekapitulasi hasil perhitungan yang telah dilakukan pada Tanggul Skala Lab dan maupun Tanggul Skala Riil yang diuji dengan menggunakan *Software Ansys* .

Tabel 5. 19. Hasil Analisis Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil (*Ansys*)

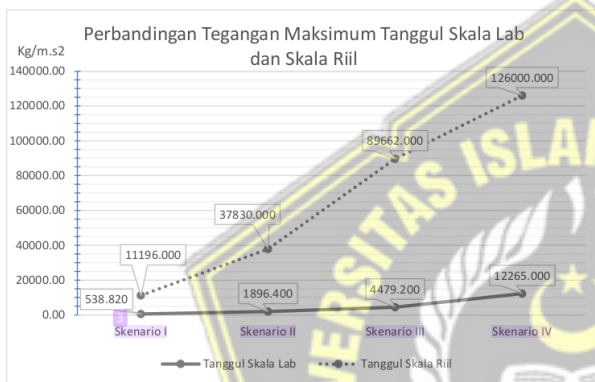
Item yang Ditinjau		Analisis Ansys							
		Tanggul Skala Lab				Tanggul Skala Riil			
		Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV	Skenario I	Skenario II	Skenario III	Skenario IV
Tekanan Hidrostatik	P Kg/m.s ²	245,250	367,880	490,500	686,700	4905,000	7357,500	9810,000	13734,000
Tegangan Maksimum	σ Kg/m.s ²	538,820	1896,400	4479,200	12265,000	11196,000	37830,000	89662,000	126000,000
Regangan	ε	7,30 x 10 ⁻⁸	2,55 x 10 ⁻⁷	6,13 x 10 ⁻⁷	1,65 x 10 ⁻⁶	1,44 x 10 ⁻⁶	5,18 x 10 ⁻⁶	1,24 x 10 ⁻⁵	1,72 x 10 ⁻⁵
Deformasi	δ m	1,85 x 10 ⁻⁶	9,65 x 10 ⁻⁸	3,05 x 10 ⁻⁵	1,13 x 10 ⁻⁴	7,63 x 10 ⁻⁷	3,83 x 10 ⁻⁶	1,24 x 10 ⁻⁵	2,41 x 10 ⁻⁵
SF Geser		7,9	3,5	2,0	1,0	8,0	3,6	2,0	1,0
SF Guling		19,3	8,8	5,3	2,5	20,1	9,0	5,0	2,6

Sumber: Hasil Analisa, 2025

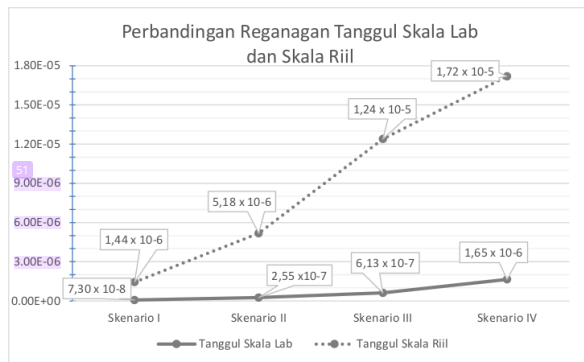
Tabel 5.19 ini juga dapat disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut.



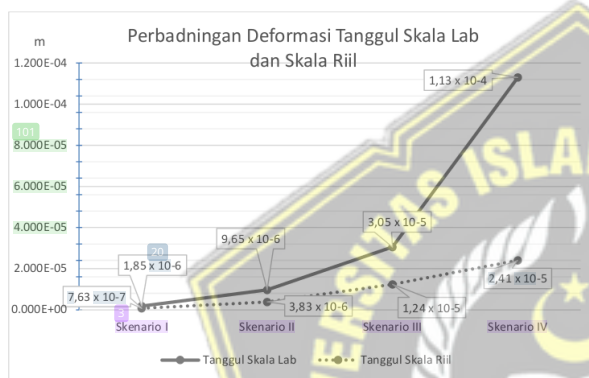
Gambar 5. 59. Perbandingan Nilai Tekanan Hidrostatik Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Software Ansys*



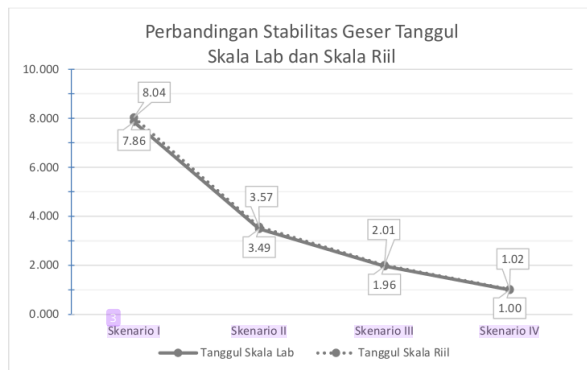
Gambar 5. 60. Perbandingan Nilai Tegangan Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Software Ansys*



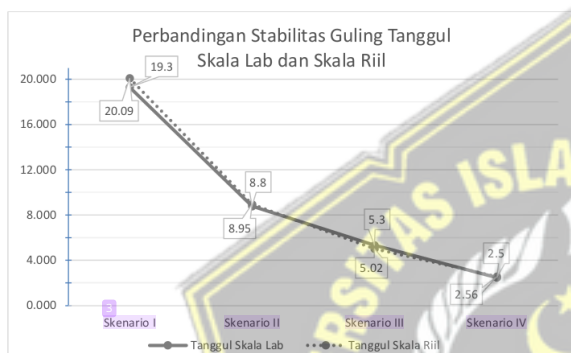
Gambar 5. 61. Perbandingan Nilai Regangan Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Software Ansys*



Gambar 5. 62. Perbandingan Nilai Deformasi Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Software Ansys*



Gambar 5. 63. Perbandingan Nilai SF Geser Pada Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil Hasil Analisis *Software Ansys*



Gambar 5. 64. Perbandingan SF Guling Tanggul Skala Lab dan Tanggul Skala Riil

5.7 Korelasi Kebutuhan Tebal Fiber Terhadap Ketinggian Muka Air

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh gaya hidrostatis meningkat linier terhadap ketinggian air, momen akibat gaya distribusi meningkat secara kuadrat sehingga dalam menentukan ketebalan fiber harus meningkat kuadrat pula untuk menjaga kapasitas lentur dan kekuatan tarik material tetap aman sehingga didapat persamaan empiris untuk kebutuhan tebal tanggul fiber terhadap ketinggian muka air sebagai berikut :

$$\frac{t}{t_1} = \left(\frac{h}{h_1} \right)^2 \quad (5.1)$$

$\frac{t}{t_1}$ = Rasio ketebalan fiber aktual terhadap referensinya

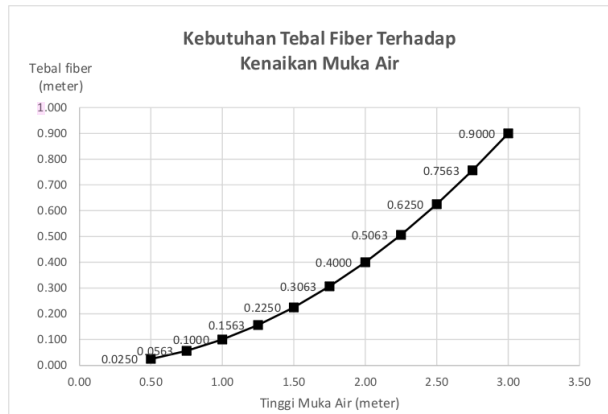
$\frac{h}{h_1}$ = Rasio tinggi muka air aktual terhadap referensinya

Tabel 5. 20. Korelasi Tinggi Air Dengan Kebutuhan Tebal Fiber.

Tinggi Air (h)	Tebal fiber (t)
meter	meter
0,50	0,0250
0,75	0,0563
1,00	0,1000
1,25	0,1563
1,50	0,2250
1,75	0,3063
2,00	0,4000
2,25	0,5063
2,50	0,6250
2,75	0,7563
3,00	0,9000

Sumber: Hasil Analisa, 2025

Adapun tabel di atas dapat disajikan dalam grafik sebagai berikut:



Gambar 5. 65. Hubungan Kebutuhan Tebal Fiber Terhadap Kenaikan Muka Air

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara kebutuhan tebal fiber terhadap kenaikan muka air. Terlihat bahwa semakin tinggi muka air (dalam meter), maka tebal fiber yang dibutuhkan untuk menahan tekanan air juga meningkat secara non-linear. Misalnya, pada kenaikan muka air sebesar 0,5 meter, hanya dibutuhkan fiber setebal 0,025 meter, namun pada ketinggian 3 meter, tebal fiber yang diperlukan meningkat drastis hingga mencapai 0,9 meter. Ini menunjukkan bahwa tekanan yang ditimbulkan oleh air terhadap permukaan penahan tidak bersifat linear, tetapi semakin tinggi kolom air maka semakin besar gaya hidrostatik yang bekerja. Karena beban struktural akibat tekanan air meningkat secara linier dengan ketinggian air, maka ketebalan material penahan (dalam hal ini fiber) harus meningkat lebih dari sekadar linier untuk mengakomodasi kekuatan tarik dan kekuatan lentur material terhadap gaya-gaya tersebut.

Hal ini sesuai dengan teori kekuatan bahan, yang menyatakan bahwa ketebalan suatu pelat harus proporsional terhadap akar dari beban yang ditanggungnya jika ingin mempertahankan tingkat keamanan yang sama.

BAB VI

KESIMPULAN, IMPLEMENTASI DAN REKOMENDASI

6.1 Kesimpulan

Berikut beberapa kesimpulan dari analisis penelitian model tanggul fiber apung untuk antisipasi kenaikan air pasang sebagai berikut :

1. Model adalah dari bahan fiber dengan skala diperkecil 1:20, dilakukan simulasi sesuai dengan scenario pada ketinggian air 2,5 cm, 3,75 cm, 5 cm, dan 7 cm.
2. Berdasarkan analisis terhadap model skala lab didapat bahwa nilai tegangan regangan serta parameter lainnya mengalami kenaikan dari skenario I, II, III sampai dengan Skenario IV baik pada analisis manual maupun ansys. Hasil nilai tegangan manual dari tiap skenario adalah 558,906 Kg/m², 1886,308 Kg/m², 4471,25 Kg/m², 12265,000 Kg/m². dan nilai tegangan ansys dari 538,82 Kg/m², 1896,4 Kg/m², 4479,2 Kg/m². dan 12265,000 Kg/m². Sedangkan nilai regangan manual dari 7,66 x 10⁻⁸, 2,55 x 10⁻⁷, 6,12 x 10⁻⁷ dan 1,65 x 10⁻⁶. Nilai regangan ansys dari 7,30 x 10⁻⁸, 2,55 x 10⁻⁷, 6,13 x 10⁻⁷. dan 1,65 x 10⁻⁶.
3. Berdasarkan analisis terhadap model skala riil didapat bahwa nilai tegangan regangan serta parameter lainnya mengalami kenaikan dari skenario I, II, III sampai dengan Skenario IV baik pada analisis manual maupun ansys. Hasil nilai tegangan manual adalah 11.206,995 Kg/m², 37.823,607 Kg/m², 89.655,956 Kg/m² dan 125518,339 Kg/m². dan nilai tegangan ansys dari 11196,000 Kg/m², 37830,000 Kg/m², 89662,000 Kg/m², 126000,000 Kg/m². Sedangkan nilai regangan manual dari mulai 1,54 x 10⁻⁵, 5,18 x 10⁻⁶, 1,23 x 10⁻⁵ 1,72 x 10⁻⁵ dan nilai regangan ansys dari 1,44 x 10⁻⁶, 5,18 x 10⁻⁶, 1,24 x 10⁻⁵ dan 1,72 x 10⁻⁵.

4. Berdasarkan hasil analisis juga didapat bahwa perbandingan baik pada skala lab maupun skala riil nilai tekanan hidrostatik, tegangan, regangan dan deformasi mengalami kenaikan pada tiap skenario, hal ini menunjukkan bahwa perilaku kenaikan muka air mempengaruhi perilaku struktur tanggul. Hasil grafik menunjukkan tren yang sama antar keduanya, dan juga data dari kedua skala mengikuti pola yang sama tanpa deviasi besar. Hal ini sesuai dengan skala model lab yang dibuat sehingga dapat diketahui bahwa model lab yang dibuat dapat merepresentasikan model yang sesungguhnya (skala riil).

6.2 Implementasi

Beberapa implementasi penting yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Implementasi praktis. Hasil penelitian dapat diterapkan dalam desain tanggul fiber apung yang lebih andal untuk mengatasi banjir rob di wilayah muara sungai / pesisir. Selain itu, model tanggul yang digunakan dalam penelitian ini memberikan solusi yang efektif dengan mengurangi kerugian fasilitas dan perlindungan lebih lanjut terhadap kenaikan muka air laut. Model ini paling tepat diterapkan di wilayah-wilayah dengan fluktuasi pasang yang signifikan. Tulisan ini dapat menjadi spesifikasi bagi tindakan penelitian lanjutan mengingat peradaban manusia akan terus berkembang.
2. Implementasi teoritis. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teori stabilitas tanggul, khususnya dalam menghubungkan desain geometris tanggul dengan tekanan hidrostatik dan gaya horizontal.

6.3 Rekomendasi

Beberapa rekomendasi disampaikan untuk pengembangan desain tanggul fiber apung:

1. Peningkatan Desain:
 - a) Penambahan berat tanggul untuk meningkatkan momen tahan sehingga



- stabilitas guling lebih andal, terutama pada kondisi pasang tinggi.
- b) Modifikasi geometri tanggul, seperti pelebaran dasar atau perubahan bentuk tanggul, untuk mendistribusikan tekanan air agar lebih merata.
 - c) Penggunaan material dengan kekuatan lebih tinggi terhadap tekanan hidrostatik.
2. Penelitian Lanjutan:
- a) Validasi hasil pengujian laboratorium melalui uji lapangan pada skala penuh untuk memastikan kesesuaian dengan kondisi nyata.



DAFTAR PUSTAKA

- Aerts, J. C. J. H., Botzen, W. J. W., Emanuel, K., Lin, N., de Moel, H., & Michel-Kerjan, E. (2014). Evaluating flood resilience strategies for coastal megacities. *Science*, 344(6183), 473–475.
- Anonim. (1986). *Kriteria perencanaan irigasi (KP 04)*. Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.
- Anonim. (1986). *Kriteria perencanaan irigasi (KP 06)*. Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.
- Azis, M. F. (2006). Gerak air di laut. *Oseana*, 31(4), 9–21.
- Barid, B., & Yacob, M. (2007). Perubahan kecepatan aliran sungai akibat perubahan pelurusan sungai. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 10(1), 14–20.
- BPPT. (2021). *Teknologi adaptif mitigasi rob dan naiknya muka air laut*. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi.
- Chen, L., Liu, M., & Zhang, X. (2022). Integrated floating levee systems for sea level rise. *Coastal Engineering Journal*, 64(4), 355–371.
- Djunarsjah, E. (2005). *Survei hidrografi*. Bandung: Refika Aditama.
- Garcia, M., Lee, J., Smith, A., Johnson, B., & Ramirez, C. (2025). Performance of floating levees under extreme weather conditions. *Marine Structures*, 78, 1–12.
- Guo, Y., Zhang, X., Liu, H., & Chen, Z. (2023). Hydroelastic responses of modular floating breakwaters under wave action. *Marine Structures*, 89, 103363. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2023.103363>
- Hastowo, P. (2003). *Pedoman kriteria umum desain bendungan*. Komisi Keamanan Bendungan, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Hidayati, D. (2017). Memudarnya nilai kearifan lokal masyarakat dalam pengelolaan sumber daya air. *Jurnal Kependudukan Indonesia*, 11(1), 39. <https://doi.org/10.14203/jki.v11i1.36>
- Huang, Y., Wang, L., & Tang, J. (2016). Development of a new type of floating breakwater using fiber reinforced polymer materials. *Ocean Engineering*, 117, 1–9.
- Ikhwanudin, Wahyudi, S. I., & Soedarsono. (2020). Methods for handling rob floods in the Banger River Basin in Semarang City. *Journal of Physics: Conference Series*, 1625(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1625/1/012041>

IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis*. Intergovernmental Panel on Climate Change. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/>

ITB, & PUPR. (2019). *Laporan akhir proyek sistem proteksi pesisir Indonesia*. Kementerian PUPR.

Kim, J., Lee, J., Choi, H., & Park, S. (2025). Understanding seepage in levees and exploring the applicability of using an optical fiber distributed temperature system. *Sensors*, 23(10), 4780.

Kim, J., Lee, S., Park, H., & Choi, Y. (2024). Numerical and experimental study on composite floating breakwaters. *Applied Ocean Research*, 142, 103784. <https://doi.org/10.1016/j.apor.2024.103784>

Ko, D., & Kang, J. (2020). Biopolymer reinforced levee for breach development retardation and enhanced erosion control. *Water*, 12(4), 1070.

Krishnan, L., Muges, A., Pradeep Kumar, S., & Manivannan, R. (2015). Analytical study on self-closing flood barrier using ANSYS. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 3(16), 1–4.

Kumar, R., & Singh, P. (2022). Design and analysis of floating levee systems using advanced composite materials. *International Journal of Civil Engineering*, 20(3), 1–9.

Lee, J., Park, S., Kim, H., Choi, J., & Nguyen, T. (2025). Real-time monitoring of levee seepage using distributed temperature sensing. *Journal of Infrastructure Systems*, 29(1), 1–7.

Li, X., Sun, Z., & Zhang, Y. (2017). Experimental study on the performance of fiber reinforced floating breakwaters. *Coastal Engineering*, 123, 1–10.

Marfai, M. A. (2004). Pemodelan spasial banjir pasang air laut studi kasus: Pesisir Timur Semarang. *Forum Geografi*, 18(1), 60–69.

Marfai, M. A., & King, L. (2008). Tidal inundation mapping under enhanced land subsidence in Semarang, Central Java Indonesia. *Natural Hazards*, 44(1), 93–109.

Marissen, R., Peters, B., & De Vries, J. (2013). Design considerations on a flexible membrane tsunami flood barrier. *Materials Sciences and Applications*, 4(12), 108.

Masoudi, E. (2019). Hydrodynamic characteristics of inverse T-type floating breakwaters. *International Journal of Maritime Technology*, 11(Winter & Spring), 13–20. <https://doi.org/10.29252/ijmt.11.13>

Munyaneza, O., Nzeyimana, Y. K., & Gumisiriza, W. U. (2013). Hydraulic structures for flood control in the Nyabugogo Wetland, Rwanda. *Nile Basin Water Science & Engineering Journal*, 6(2), 26–37.



- Nguyen, T., Vu, H., & Tran, D. (2021). Application of fiber optic sensing technology in monitoring levee stability. *Sensors and Actuators A: Physical*, 331, 1–10.
- Nicholls, R. J., & Cazenave, A. (2010). Sea level rise and its impact on coastal zones. *Science*, 328(5985), 1517–1520.
- Ningsih, D. H. U., & Wismarini, T. D. (2010). Analisis sistem drainase kota Semarang berbasis SIG. *Jurnal Teknologi Informasi Dinamik*, 15(1), 41–51.
- Parwanti, A., Wahyudi, S. I., & Ni'am, M. F. (2022). Barrier knock-down weir as an alternative technology for irrigation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 955, 012004.
- Park, S., Kim, J., & Choi, H. (2020). Performance evaluation of biopolymer treated soils for levee reinforcement. *Geotechnical Testing Journal*, 43(6), 1–8.
- Patil, P. S., Arumugam, S., & Singh, V. (2022). A review on self-closing flood barrier. *International Research Journal of Modernization in Engineering Technology and Science*, 4(6), 4304–4306.
- Pilarczyk, K. W. (2000). *Design of reinforced coastal structures*. A.A. Balkema.
- Smith, A., Johnson, B., Lee, J., Chen, L., & Kumar, V. (2025). Advancements in fiber reinforced floating levee technologies. *Journal of Coastal Research*, 31(2), 1–8.
- Temmerman, S., Meire, P., Bouma, T. J., Herman, P. M. J., Ysebaert, T., & de Vriend, H. J. (2013). Ecosystem-based coastal defence in the face of global change. *Nature*, 504(7478), 79–83.
- Tygron. (2018). *Adaptive coastal defense: Design typologies and simulation models*. Tygron Simulation B.V.
- Wahyudi, S. I., A, H. P., Rochim, A., & Marot, D. (2014). Aspects of hydrology, tidal and water storage capacity for simulating dike model of channel and retention basin. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 14(October), 6–10.
- Wahyudi, S. I., Ni'am, M. F., & Le Bras, G. (2012). Problems, causes and handling analysis of tidal flood, erosion and sedimentation in northern coast of Central Java: Review and recommendation. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 12(4), 65–69.
- Yani, A., & Lubis, M. (2018). *Teknologi material komposit untuk infrastruktur teknik sipil*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Yuwono, N. (1998). *Pedoman teknis perencanaan tanggul atau tembok laut*.

Universitas Gadjah Mada.

Yuwono, N., & Qhomariyah, L. (2014). Analisa hubungan antara pasang surut air laut dengan sedimentasi. *Jurnal Teknik Pantai*, 1, 118–121.

Zhang, L., & Wang, J. (2018). Numerical simulation of floating levee structures. *Journal of Hydraulic Research*, 56(4), 1–12.

