

PROYEK AKHIR - VH231837

PERENCANAAN *BREAKWATER* DI LAMONGAN *SHOREBASE*

BIMA ARDYAN WIJAYA

NRP 2036211016

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS.

NIP 19630426 198803 1 003

Moh. Fadhlan Rosyidi, S.Tr.T., M.T.

NIP 19970318 202406 1 003

Program Studi Sarjana Terapan

Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Alr

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



TUGAS AKHIR - VH231837

PERENCANAAN *BREAKWATER* DI LAMONGAN *SHOREBASE*

BIMA ARDYAN WIJAYA

NRP 2036211016

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS.

NIP 19630426 198803 1 003

Moh. Fadhlan Rosyidi, S.Tr.T., M.T.

NIP 19970318 202406 1 003

Program Studi Sarjana Terapan

Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025



FINAL PROJECT - VH231837

BREAKWATER DESIGN AT LAMONGAN SHOREBASE

BIMA ARDYAN WIJAYA

NRP 2036211016

Advisor

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS.

NIP 19630426 198803 1 003

Moh. Fadhlan Rosyidi, S.Tr.T., M.T.

NIP 19970318 202406 1 003

**Applied Bachelor Program
of Waterworks Construction Engineering Technology**

Department of Civil Infrastructure Engineering

Faculty of Vocation

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PERENCANAAN *BREAKWATER* DI LAMONGAN *SHOREBASE*

PROYEK AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Terapan pada

Program Studi Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil

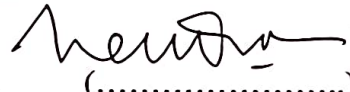
Fakultas Vokasi

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh: **Bima Ardyan Wijaya**

NRP. 2036211016

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

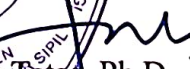
- | | | |
|---|---------------|--|
| 1. Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS. | Pembimbing I | (..... ) |
| 2. Moh. Fadhlan Rosyidi, S.Tr.T., M.T. | Pembimbing II | (..... ) |
| 3. Mohammad Akbar Alrasyidi, S.T., M.T. | Penguji | (..... ) |
| 4. Rizki Robbi Rahman Alam, S.T., M.T. | Penguji | (..... ) |

10 1 AUG 2025

Mengetahui,

Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil FV ITS



 Ph.D.

NIP. 19800621 200501 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN ORISINALITAS *STATEMENT OF ORIGINALITY*

Yang bertanda tangan di bawah ini
The undersigned below

Nama Mahasiswa / NRP : Bima Ardyan Wijaya / 2036211016
Student Full Name / Student ID

Program Studi : Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air
Study Programme

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “Perencanaan Breakwater di Lamongan Shorebase” adalah hasil karya saya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah. Tugas Akhir ini telah diperiksa menggunakan aplikasi Turnitin dan memperoleh tingkat kemiripan sebesar 18 %. Sebagai bagian dari pernyataan ini, saya melampirkan hasil uji kemiripan Turnitin sebagai bukti pendukung.

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Hereby declare that the Final Project with the title of “Breakwater Design at Lamongan Shorebase” is the result of my own work, is original, and was written following the rules of scientific writing.

This Final Project has been checked using the Turnitin application and obtained a similarity index of 18 %. As part of this statement, I attach the Turnitin similarity report as supporting evidence.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 31 Juli 2025

Mahasiswa,



(Bima Ardyan Wijaya)

NRP. 2036211016

ORIGINALITY REPORT

18%

SIMILARITY INDEX

17%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

5%

STUDENT PAPERS

PRIMARY SOURCES

1	repository.its.ac.id Internet Source	10%
2	repository.ub.ac.id Internet Source	2%
3	digilibadmin.unismuh.ac.id Internet Source	1%
4	eprints.undip.ac.id Internet Source	<1%
5	nanopdf.com Internet Source	<1%
6	docplayer.info Internet Source	<1%
7	repository.tudelft.nl Internet Source	<1%
8	pdfcoffee.com Internet Source	<1%
9	www.scribd.com Internet Source	<1%
10	doku.pub Internet Source	<1%
11	core.ac.uk Internet Source	<1%
12	repository.unhas.ac.id Internet Source	<1%

13	Submitted to Askham Bryan College Student Paper	<1 %
14	Submitted to University of Warwick Student Paper	<1 %
15	María del Mar Alonso-Almeida, Víctor Godwall Fuentes-Frías. "International quality awards and excellence quality models around the world. A multidimensional analysis", Quality & Quantity, 2011 Publication	<1 %
16	repository.umj.ac.id Internet Source	<1 %
17	journal.unhas.ac.id Internet Source	<1 %
18	id.scribd.com Internet Source	<1 %
19	Submitted to Universitas Muhammadiyah Makassar Student Paper	<1 %
20	ikee.lib.auth.gr Internet Source	<1 %
21	Submitted to SDM Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1 %
22	repository.trisakti.ac.id Internet Source	<1 %
23	repository.unej.ac.id Internet Source	<1 %
24	sinta.unud.ac.id Internet Source	<1 %
25	ejournal.unib.ac.id Internet Source	<1 %

26	adoc.pub Internet Source	<1 %
27	eprints.itn.ac.id Internet Source	<1 %
28	123dok.com Internet Source	<1 %
29	Submitted to Universitas Bengkulu Student Paper	<1 %
30	repositori.unsil.ac.id Internet Source	<1 %
31	idoc.pub Internet Source	<1 %
32	Welendri Yannovita, Besperi Besperi, Gusta Gunawan. "DESAIN BREAKWATER SISI MIRING SEBAGAI UPAYA MENGANTISIPASI LIMPASAN AIR LAUT PADA BANGUNAN REVETMENT DI PANTAI MALABERO KOTA BENGKULU", Inersia, Jurnal Teknik Sipil, 2019 Publication	<1 %
33	text-id.123dok.com Internet Source	<1 %
34	repositori.uma.ac.id Internet Source	<1 %
35	Can, Semanur. "İlköğretim Matematik Öğretmen Adaylarının Matematiksel Muhakeme Öz-Yeterlikleri Ile Problem Çözme Becerilerinin İncelenmesi", Balikesir University (Turkey), 2024 Publication	<1 %
36	digilib.uinsby.ac.id Internet Source	<1 %

37	Submitted to Fakultas Ekonomi dan Bisnis Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1 %
38	www.mdpi.com Internet Source	<1 %
39	vsip.info Internet Source	<1 %
40	repository.unkris.ac.id Internet Source	<1 %
41	www.questoesestrategicas.com.br Internet Source	<1 %
42	Nuryono. "Analisis Manajemen Waktu Dan Biaya Dengan Menggunakan Metode Earned Value Analysis dan Metode Crashing (Study Kasus Pada Proyek Toll Road Development of Semarang- Demak 1C)", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2024 Publication	<1 %
43	Patrick L. Brezonik. "Chemical Kinetics and Process Dynamics in Aquatic Systems", CRC Press, 2018 Publication	<1 %
44	Submitted to Universitas Andalas Student Paper	<1 %
45	mediapenyuluhanperikananpati.blogspot.com Internet Source	<1 %
46	repository.unja.ac.id Internet Source	<1 %
47	www.digilib.its.ac.id Internet Source	<1 %
48	Submitted to Brisbane Catholic Education Student Paper	<1 %

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN KODE ETIK PENGGUNAAN AI GENERATIF
CODE OF CONDUCT STATEMENT: GENERATIVE AI OR AI-ASSISTED USAGE

Saya yang bertanda tangan di bawah ini
I, the undersigned

Nama Mahasiswa / NRP <i>Full Name / Student ID</i>	:	Bima Ardyan Wijaya/2036211016
Program Studi <i>Study Programme</i>	:	Sarjana Terapan Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air
Judul Tugas Akhir <i>Final Project Title</i>	:	Perencanaan Breakwater di Lamongan Shorebase

dengan ini menyatakan bahwa pada Tugas Akhir dengan judul di atas tersebut:
hereby declare that in the Final Project with the above title:

No.	Pernyataan <i>Statement</i>	(✓)
1	Saya tidak menggunakan AI generatif sama sekali <i>I did not use generative AI at all</i>	
2	Saya hanya menggunakan AI generatif sebagai alat bantu untuk memperbaiki tata bahasa. AI generatif tidak digunakan untuk membuat isi Tugas Akhir. <i>I only used generative AI as a tool to improve the readability or language of the text in my Final Project. It was not used to generate a complete text of my work.</i>	✓
3	Saya telah memeriksa dan/atau memperbaiki seluruh bagian dari Tugas Akhir saya yang dibantu oleh AI generatif agar sesuai dengan baku mutu penulisan karya ilmiah. <i>I have reviewed and refined all aspects of my work that generative AI assists with, ensuring it adheres to the standards of academic writing.</i>	
4	Saya tidak menggunakan AI generatif untuk pembuatan data primer, grafik dan/atau tabel pada Tugas Akhir saya. <i>I did not use generative AI to generate primary data, figures, and/or tables in my work.</i>	✓
5	Saya telah memberikan atribusi/pengakuan terhadap alat AI yang digunakan, secara rinci pada suatu bagian pada lampiran. <i>I have acknowledged the use of generative AI in any part of the work in the specific appendix page.</i>	
6	Saya memastikan tidak ada plagiarisme, termasuk hal yang berasal dari penggunaan AI generatif. <i>I have ensured that there is no plagiarism issue in the work, including any parts generated by AI.</i>	

Surabaya, 31 Juli 2025

Mahasiswa,



(Bima Ardyan Wijaya)

NRP. 2036211016

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRAK

PERENCANAAN *BREAKWATER* DI LAMONGAN *SHOREBASE*

Nama Mahasiswa / NRP : Bima Ardyan Wijaya / 2036211016
Departemen : Teknik Infrastruktur Sipil FV - ITS
Dosen Pembimbing : 1. Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS
2. Moh. Fadhlan Rosyidi, S.Tr., M.T.

Abstrak

Lamongan *Shorebase* merupakan kawasan pelabuhan strategis di pesisir utara Jawa Timur yang dikembangkan dalam proyek *Eastport Project Phase 1* (EPP1). Pada perencanaan ulang *breakwater* sepanjang 1774 meter, digunakan kombinasi material geotextile tube sebagai inti dan batu sebagai lapisan pelindung. Berdasarkan hasil analisis *hindcasting* data angin tahun 2014-2023 menunjukkan arah dominan dari Barat Laut. Dengan pendekatan Fisher Tippet Type I dan umur rencana struktur 50 tahun, diperoleh tinggi gelombang rencana $H_0 = 2,8$ meter dan periode gelombang $T_0 = 9,03$ detik. Berdasarkan data pasang surut, nilai MSL adalah 1,07 meter dan HWS 1,95 meter, sehingga elevasi puncak *breakwater* direncanakan sebesar 6,89 meter dengan kemiringan lereng 1:1,5. Struktur *breakwater* terdiri dari tiga lapisan: pelindung I, pelindung II, dan inti. Berat batu utama (W) sebesar 5,96 ton, pelindung II sebesar W/10 (0,596 ton), dan inti W/200 (0,030 ton). Lebar puncak 5 meter, ketebalan lapisan pelindung 3 meter, pada lapisan kedua 1,4 meter. Geotextile tube yang digunakan sebagai inti memiliki tinggi $h_g = 1,4$ meter dan lebar $I_G = 4,5$ meter.

Dari perhitungan awal tanpa perbaikan tanah, penurunan konsolidasi diperkirakan 7 meter. Untuk mengurangi risiko deformasi, digunakan metode *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dengan pola segitiga dan jarak antar drain 1 meter. Berdasarkan hasil perhitungan, tinggi timbunan pelaksanaan direncanakan sebesar 33 meter, dengan penambahan bertahap sebesar 0,5 m/minggu selama 66 minggu. Analisis waktu konsolidasi menunjukkan bahwa 90% derajat konsolidasi tercapai dalam 6,75 bulan. Dan direncanakan selimut drainase setebal 1,5 meter berfungsi sebagai saluran horizontal untuk mengalirkan air yang dikeluarkan oleh *Prefabricated Vertical Drain* (PVD).

Analisis stabilitas menggunakan geostudio menunjukkan bahwa penggunaan geotextile tube dengan 1 lapis memberikan hasil paling efektif dengan nilai SF sebesar 1,662. Analisis manual dengan metode irisan menghasilkan SF 1,3, stabilitas geser $3,44 > 1,5$, dan stabilitas guling $4,95 > 2$, menunjukkan bahwa desain *breakwater* dengan geotextile tube sebagai inti dan batu sebagai pelindung memberikan solusi yang efisien dan stabil.

Kata kunci: *Breakwater, Geotextile Tube, Tanah Lunak, Konsolidasi, Stabilitas Breakwater*

Halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

BREAKWATER DESIGN AT LAMONGAN SHOREBASE

Student Name / NRP : Bima Ardyan Wijaya / 2036211016
Department : Teknik Infrastruktur Sipil FV - ITS
Advisor : 1. Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS
2. Moh. Fadhlan Rosyidi, S.Tr., M.T.

Abstract

Lamongan Shorebase is a strategic port area located on the the northern coast of Eas Java, developed as part of the Eastport Project Phase 1 (EPP1). In the redesign of the 1774 meter long breakwater, a combination of geotextile tube as the core and rock as the protective layer is used. Based on hindcasting analysis of wind data from 2014 to 2023, the dominant wind direction is from the North West. Using the Fisher Tippett Type I approach and a structural design life 50 years, the calculated design wave height is $H_0 = 2,8$ meters and the wave period is $T_0 = 9,03$ seconds. According to tidal data, the Mean Sea Level (MSL) is 1,07 meters and the Highest Water Spring (HWS) is 1,95 meters, resulting in a planned breakwater crest elevation of 6,89 meters with a slope of 1 : 1,5. The breakwater structure consists of three layers : primary armor, secondary armor, and core. The main rock weight (W) is 5,96 tons, the secondary layer is $W/10$ (0,596 tons), and the core is $W/200$ (0,030 tons). The crest width is 5 meters, with protective layer thicknesses of 3 meters for the outer layer and 1,4 meters for the second layer. The geotextile tube used as the core has a height of 1,4 meters and a width of 4,5 meters.

Based on initial calculations without soil improvement, the estimated consolidation settlement is 7 meters. To reduce the risk of deformation, the Prefabricated Vertical Drain (PVD) method was applied in a triangular pattern with 1 meter spacing between drains. Based on the calculations, the construction embankment height is planned at 33 meters, built in stages at 0,5 meters per week for 66 weeks. Consolidation time analysis shows that 90% degree of consolidation is achieved within 6,75 months. 1,5 meter thick drainage blanket is also planned, functioning as a horizontal channel to discharge water extracted by the Prefabricated Vertical Drain (PVD).

Stability analysis using geostudio shows that the use of a single layer of geotextile tube provides the most effective result, with a safety factor (SF) of 1,662. Manual analysis using the method of slices yields an SF of 1,3, a sliding stability value of $3,44 > 1,5$, and an overturning stability value of $4,95 > 2$, indicating that the breakwater design using a geotextile tube as the core and rock as protection offers an efficient and stable solution

Keywords: *Breakwater, Geotextile Tube, Soft Soil, Consolidation, Breakwater Stability*

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat, kasih dan bimbingan-Nya penulis dapat menyelesaikan Proyek Akhir yang berjudul “Perencanaan *Breakwater* di Lamongan *Shorebase*” ini dengan baik dan tepat waktu.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa Proyek Akhir ini tidak akan selesai tanpa bantuan dan dorongan dari berbagai pihak. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih atas nasehat dan bimbingan kepada :

1. Orang tua dan seluruh keluarga yang selalu memberi dukungan, doa dan semangat dalam menyelesaikan Proyek Akhir ini.
2. Bapak Tatas, Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
3. Bapak Deris Faisa Ralindra, S.T., M.T. selaku Kepala Program Studi Teknologi Rekayasa Konstruksi Bangunan Air.
4. Bapak Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS dan Bapak Moh. Fadhlhan Rosyidi, S.Tr., M.T. selaku dosen pembimbing, atas segala bimbingan dan waktunya dalam menyusun Proyek Akhir.
5. Teman-teman kelas C-TRKBA yang selalu mengerjakan bersama di ruang baca, serta memberikan motivasi dan bantuan sehingga Proyek Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik.
6. Pihak-pihak lain yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa Proyek Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran akan sangat membantu dalam menyempurnakan Proyek Akhir ini. Semoga Proyek Akhir ini dapat berguna, bermanfaat serta menambah wawasan dan pengetahuan.

Surabaya, Juli 2025

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
PERNYATAAN ORISINALITAS	vii
PERNYATAAN KODE ETIK PENGGUNAAN AI GENERATIF	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xxi
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	3
1.5 Manfaat	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	5
2.2 Dasar Teori	6
2.2.1 <i>Breakwater</i>	6
2.2.2 Gelombang	8
2.2.3 Deformasi Gelombang	10
2.2.4 Gaya Gelombang Pecah	15
2.2.5 Angin	16
2.2.6 Fluktuasi Muka Air Laut	17
2.2.7 Peramalan Gelombang di Laut Dalam	20
2.2.8 Elevasi Puncak <i>Breakwater</i>	23
2.2.9 Berat <i>Armour Breakwater</i>	24
2.2.10 Lebar Puncak <i>Breakwater</i>	25
2.2.11 Tebal Lapisan <i>Breakwater</i>	26
2.2.12 Jumlah <i>Armor</i> Unit	26
2.2.13 Geotextile Tube	26
2.2.14 Pengertian Tanah	27

2.2.15	Tanah Lunak	27
2.2.16	Analisa Parameter Tanah	28
2.2.17	Data Gempa.....	30
2.2.18	Pemampatan (<i>Settlement</i>).....	31
2.2.19	Penurunan Segera (<i>Immediate Settlement</i>)	32
2.2.20	Penurunan Konsolidasi (<i>consolidation settlement</i>).....	32
2.2.21	Penanganan Tanah Lunak	36
2.2.22	Metode <i>Preloading</i>	37
2.2.23	Hubungan Tinggi Timbunan Awal (H_{inisial}), Tinggi Timbunan Akhir (H_{final}), dan Penurunan (S_c).....	37
2.2.24	Pembebanan Bertahap.....	38
2.2.25	Kenaikan Daya Dukung Tanah Akibat Timbunan Bertahap	39
2.2.26	Load Ratio.....	40
2.2.27	Perbaikan Tanah Lunak dengan Menggunakan PVD (<i>Prefabricated Vertical Drain</i>).....	41
2.2.28	Selimut Drainase (<i>Drainage Blanket</i>).....	44
2.2.29	Software Geostudio.....	45
2.2.30	Stabilitas <i>Breakwater</i> dengan Metode Irisan	45
2.2.31	Stabilitas <i>Breakwater</i> Guling dan Geser	46
BAB III	METODOLOGI	49
3.1	Urutan Pelaksanaan Penelitian.....	49
3.2	Uraian dan Tahapan Penyelesaian Proyek Akhir.....	52
3.2.1	Studi Litelatur	52
3.2.2	Pengumpulan Data :	52
3.2.3	Alur Tahapan Perencanaan <i>Breakwater</i> (A) :	52
3.2.4	Alur Tahapan Perencanaan Metode Perbaikan Tanah (B) :	53
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	55
4.1	Data Angin	55
4.2	Data Bathimetri.....	55
4.3	Data Pasang Surut	56
4.4	Analisis Gelombang.....	57
4.4.1	Fetch.....	57
4.4.2	Tinggi dan Periode Gelombang pada Laut Dalam Berdasarkan Data Keepatan Angin Maksimum Tahun 2014-2023	59
4.4.3	Periode Ulang Gelombang	63

4.4.4	Uji Kesalahan Absolut Rerata	69
4.4.5	Rekapitulasi Nilai H dan T pada Metode Fisher Tippet Type I	69
4.4.6	Refraksi.....	70
4.4.7	Gelombang Pecah	71
4.5	Gaya Gelombang Pecah.....	72
4.6	Umur Rencana	73
4.7	Elevasi Muka Air Rencana	73
4.8	Perhitungan Struktur Breakwater	75
4.8.1	Elevasi Puncak Bangunan	75
4.8.2	Berat <i>Breakwater</i>	76
4.8.3	Dimensi Batu Breakwater.....	76
4.8.4	Lebar Puncak Breakwater.....	76
4.8.5	Tebal Lapisan breakwater.....	76
4.8.6	Jumlah butir batu	76
4.8.7	Berm	77
4.8.8	Perhitungan Kebutuhan Geotextile Tube	77
4.9	Stratigrafi Tanah	78
4.10	Korelasi Koefisien Konsolidasi (C_v) dengan Liquid Limit (LL).....	80
4.11	Rekapitulasi Data Tanah.....	80
4.12	Koefisien Konsolidasi Gabungan	81
4.13	Data Beban	81
4.13.1	Beban Operasional.....	81
4.13.2	Beban Gempa	81
4.14	Perhitungan Pemampatan Konsolidasi	81
4.15	Penimbunan Bertahap.....	87
4.16	Menghitung Tegangan di Tiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi (U)	89
100%		
4.17	Perhitungan Peningkatan Kohesi <i>Undrained</i> (C_u)	92
4.18	Penurunan Akibat Timbunan Bertahap	93
4.19	Konsolidasi Alami Tanpa PVD	94
4.20	Perhitungan PVD.....	96
4.21	Perhitungan Selimut Drainase	101
4.22	Cek Stabilitas Timbunan dengan Geostudio	102
4.23	Perhitungan Stabilitas Breakwater dengan Metode Irisan.....	105
4.24	Perhitungan Stabilitas <i>Breakwater</i> Guling dan Geser	108

BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	111
5.1	Kesimpulan	111
5.2	Saran.....	112
DAFTAR PUSTAKA.....		113
LAMPIRAN A		115
LAMPIRAN B		147
LAMPIRAN C		181
LAMPIRAN D		229
BIODATA PENULIS.....		231

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Lokasi Proyek Pembangunan Breakwater di Lamongan Shorebase	1
Gambar 1.2	Titik Investigasi Tanah	2
Gambar 1.3	Ilustrasi Breakwater dengan Geotextile Tube dan PVD.....	2
Gambar 2.1	Pemecah Gelombang Sisi Miring.....	7
Gambar 2.2	Pemecah Gelombang Sisi Miring.....	7
Gambar 2.3	Pemecah Gelombang Sisi Tegak	7
Gambar 2.4	Pemecah Gelombang Campuran	8
Gambar 2.5	Sketsa Definisi Gelombang	9
Gambar 2.6	Contoh Penggambaran Fetch.....	10
Gambar 2.7	Refraksi Gelombang.....	11
Gambar 2.8	Refraksi Gelombang pada kontur Lurus dan Sejajar.....	12
Gambar 2.9	Difraksi Gelombang di Belakang Rintangan.....	12
Gambar 2.10	Standing Wave.....	13
Gambar 2.11	Penentuan Tinggi Gelombang Pecah.....	14
Gambar 2.12	Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah	15
Gambar 2.13	Ditribusi Tekanan Gelombang Pecah Pada Dinding Vertikal	15
Gambar 2.14	Hubungan Kecepatan Angin di Laut dan Darat	16
Gambar 2.15	Wave Set-Up dan Set Down.....	17
Gambar 2.16	Perkiraan Kenaikan Muka Air Laut Karena Pemanasan Global	19
Gambar 2.17	Runup Gelombang.....	24
Gambar 2.18	Ilustrasi Geotextile Tube	27
Gambar 2.19	Sebaran Lokasi Lapisan Tanah Lunak di Indonesia.....	28
Gambar 2.20	Hubungan Koefisien Konsolidasi (C_v) dan Batas Cair (LL)	29
Gambar 2.21	Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (SB) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun.....	31
Gambar 2.22	Grafik Waktu Pemampatan untuk Suatu Penambahan Beban	32
Gambar 2.23	Diagram Tegangan Tanah Akibat Timbunan	34
Gambar 2.24	Grafik Influence Factor	34
Gambar 2.25	Konsolidasi Alami Tanpa PVD	36
Gambar 2.26	Jenis-Jenis Metode Perbaikan Tanah.....	37
Gambar 2.27	Kedudukan Timbunan Saat Mengalami Penurunan	38
Gambar 2.28	Penimbunan Bertahap.....	39
Gambar 2.29	Sketsa Diagram Penambahan Tegangan Akibat Beban Bertahap	39
Gambar 2.30	Skema Perbaikan Tanah dengan PVD.....	41
Gambar 2.31	Pola Susunan PVD Segitiga	41
Gambar 2.32	Pola Susunan PVD Segiempat.....	42
Gambar 2.33	Equivalen Diameter (d_w) untuk PVD	43
Gambar 2.34	Percepatan Konsolidasi Dengan PVD	44
Gambar 2.35	Ketebalan Seimut Drainase	45
Gambar 2.36	Cara Menentukan Besarnya Harga-Harga N dan T	45
Gambar 3.1	Diagram Alir Penyusunan Proyek Akhir.....	49
Gambar 3.2	Diagram Alir Perencanaan Breakwater	50
Gambar 3.3	Diagram Alir Perencanaan Metode Perbaikan Tanah	51

Gambar 4.1 Wind Rose 2014-2023 Perairan di Lamongan Shorebase	55
Gambar 4.2 Peta Bathymetri Perairan di Lamongan Shorebase.....	56
Gambar 4.3 Grafik Pasang Surut di Lamongan Shorebase.....	56
Gambar 4.4 Fetch.....	58
Gambar 4.5 Diagram Alir Proses Hindcasting	59
Gambar 4.6 Wave Rose 2014-2023 Perairan di Lamongan Shorebase	63
Gambar 4.7 Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah.....	72
Gambar 4.8 Grafik Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah	72
Gambar 4.9 Perkiraan Kenaikan Muka Air Laut Karena Pemanasan Global	74
Gambar 4.10 Perbandingan Run-up dan Rundown Relatif untuk Berbagai Tipe Sudut Miring.....	75
Gambar 4.11 Stratigrafi Tanah SI-01, SI-02, BW-01, SI-03, SI-04, dan BW-02	78
Gambar 4.12 BW-02, SI-05, BW-03, SI-06, BW-04, dan SI-07	79
Gambar 4.13 Distribusi Parameter Tanah C_s , C_c , e_o , C_v , LL	79
Gambar 4.14 Distribusi Parameter Tanah γ_{sat} , γ_{dry} , PI , ϕ , C'	80
Gambar 4.15 Grafik Hubungan antara H_{final} dengan H_{awal}	86
Gambar 4.16 Grafik Hubungan antara H_{awal} dan Settlement.....	87
Gambar 4.17 Grafik Konsolidasi Alami Tanpa PVD	96
Gambar 4.18 Grafik Perhitungan PVD Pola Segitiga.....	99
Gambar 4.19 Grafik Perhitungan PVD Pola Segiempat.....	101
Gambar 4.20 Cek Stabilitas tanpa Beban dan Geotextile Tube.....	103
Gambar 4.21 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 1 Lapis.....	103
Gambar 4.22 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 1 Lapis dengan Beban Gempa	103
Gambar 4.23 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 2 Lapis	104
Gambar 4.24 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 2 Lapis dengan Beban Gempa	104
Gambar 4.25 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 3 Lapis.....	104
Gambar 4.26 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 3 Lapis dengan Beban Gempa	105
Gambar 4.27 Skema Perhitungan dengan Metode Irisan	105

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu	5
Tabel 2.2 Parameter Gelombang di Laut Dalam, Transisi, dan Dangkal.....	9
Tabel 2.3 Koefisien Refleksi	13
Tabel 2.4 Koefisien untuk Menghitung Deviasi Standar	22
Tabel 2.5 Batas Interval Keyakinan	23
Tabel 2.6 Koefisien Stabiilitas K_D untuk Berbagai Armour	24
Tabel 2.7 Koefisien Jumlah Lapis Material	25
Tabel 2.8 Konsistensi Tanah Berdasarkan N-SPT dan q_c	28
Tabel 2.9 Korelasi Berdasarkan Nilai γ	29
Tabel 2.10 Korelasi Poisson's Ratio berdasarkan Konsistensi Tanah	30
Tabel 2.11 Korelasi Modulus Elastisitas berdasarkan Konsistensi Tanah.....	30
Tabel 2.12 Korelasi antara T_v dan U	35
Tabel 3.1 Data yang Dibutuhkan dalam Perencanaan Breakwater	52
Tabel 4.1 Komponen Pasang Surut	56
Tabel 4.2 Elevasi Pasang Surut di Lamongan <i>Shorebase</i>	57
Tabel 4.3 Elevasi Pasang Surut di Lamongan <i>Shorebase</i>	57
Tabel 4.4 Rekap Panjang Fetch Efektif.....	59
Tabel 4.5 Perhitungan Hindcasting	60
Tabel 4.6 Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut (H).....	63
Tabel 4.7 Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut(H).....	65
Tabel 4.8 Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut (H) dengan Metode Weibull	66
Tabel 4.9 Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut (H) dengan Metode Weibull	68
Tabel 4.10 Rekapitulasi Perhitungan Uji Kesalahan Absolut Rerata (H)	69
Tabel 4.11 Rekapitulasi Nilai Periode Ulang 50 Tahun H dan T	70
Tabel 4.12 Rekapitulasi Dimensi Struktur Bangunan Tiap Lapisan	77
Tabel 4.13 Korelasi Koefisien Konsolidasi (C_v) dengan Liquid Limit (LL).....	80
Tabel 4.14 Rekapitulasi Data Tanah yang digunakan untuk Analisa	80
Tabel 4.15 Nilai Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio	81
Tabel 4.16 Hasil Penurunan Segera (S_i)	82
Tabel 4.17 Hasil Penurunan Konsolidasi	83
Tabel 4.18 Perhitungan Tinggi Timbunan	86
Tabel 4.19 Derajat Konsolidasi Tiap Tahap Timbunan	87
Tabel 4.20 Tegangan Efektif.....	89
Tabel 4.21 Tegangan Akibat Penimbunan Bertahap.....	90
Tabel 4.22 Peningkatan Kohesi Undrained (C_u)	92
Tabel 4.23 Penurunan Akibat Timbunan Bertahap	93
Tabel 4.24 Perhitungan Konsolidasi Alamai Tanpa PVD.....	95
Tabel 4.25 Perhitungan Derajat Konsolidasi PVD Pola Segitiga Jarak 1 m.....	97
Tabel 4.26 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segitiga	98
Tabel 4.27 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat.....	99
Tabel 4.28 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat.....	101

Tabel 4.29 Parameter Tanah SI-07	102
Tabel 4.30 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Breakwater dengan Geotextile Tube ...	106
Tabel 4.31 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Breakwater Guling dan Geser	108

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lamongan *Shorebase* merupakan kawasan pelabuhan strategis yang terletak di pesisir utara Jawa Timur, tepatnya di Kabupaten Lamongan, sekitar 60 km dari Kota Surabaya. Dan dikembangkan sebagai bagian dari proyek strategis *Eastport Project Phase 1*(EPP1) yang mencakup pembangunan *East Java Multipurpose Terminal* (EJMT). Pembangunan yang efisien sangat penting untuk mendorong pertumbuhan ekonomi wilayah Lamongan dan sekitarnya. Pelabuhan yang mampu menangani peti kemas dengan baik akan menarik lebih banyak investasi dan meningkatkan volume perdagangan. Berikut **Gambar 1.1** Lokasi pembangunan *breakwater* di Lamongan *Shorebase* terletak di Jl. Raya Daendels 64-65 KM, Desa Tanjung Pakis, Kemantren, Paciran, Kabupaten Lamongan, Jawa Timur.



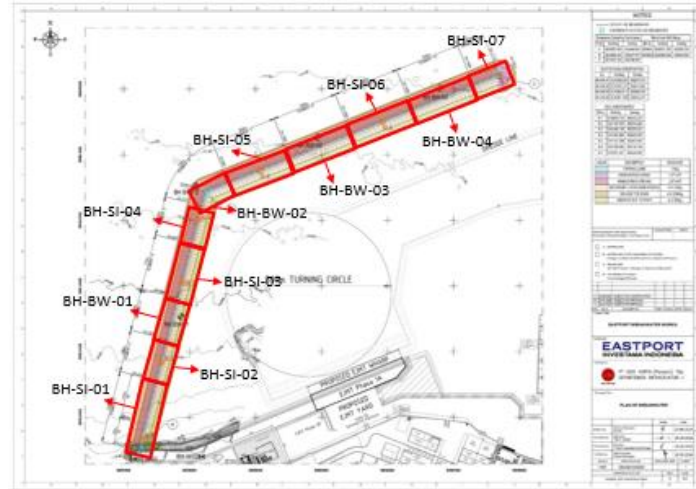
Gambar 1.1 Lokasi Proyek Pembangunan *Breakwater* di Lamongan *Shorebase*
(Sumber : Google Earth, 2024)

Dalam pengoperasian pelabuhan, ketenangan perairan menjadi faktor krusial untuk menjamin keselamatan dan efisiensi kegiatan bongkar muat. Untuk itu, pembangunan *breakwater* (pemecah gelombang) menjadi komponen kunci dari Proyek EPP1. *Breakwater* dibedakan menjadi dua macam yang pertama digunakan sebagai pelindung pantai terhadap erosi dengan menghancurkan energi gelombang sebelum mencapai pantai. Bangunan tipe kedua digunakan untuk melindungi daerah pelabuhan dari gangguan gelombang, sehingga kapal – kapal dapat merapat ke dermaga untuk melakukan bongkar muat barang dan menaikkan penumpang (Triadmodjo, Bambang 1999).

Breakwater sepanjang 1774 meter direncanakan dengan desain baru yang mengombinasikan material batu dan geotextile tube, di mana geotextile tube difungsikan sebagai inti struktur, sementara batu digunakan sebagai lapisan pelindung. Selain itu, kajian dilakukan terhadap variasi jumlah lapisan geotextile tube sebagai inti struktur, yakni satu, dua, dan tiga lapis, untuk mengetahui konfigurasi yang paling efektif dalam menahan beban gelombang, mengoptimalkan stabilitas struktur.

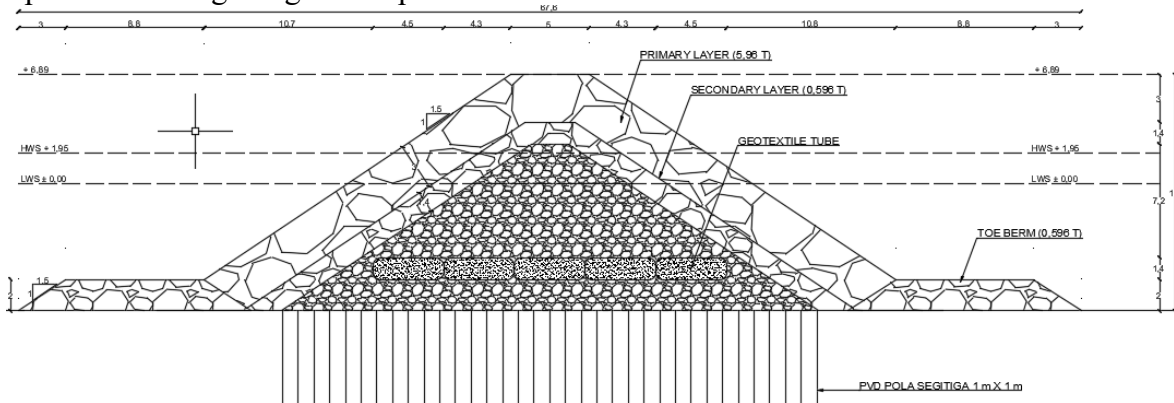
Dan dalam proses perencanaan *breakwater* tersebut, dari hasil penyelidikan tanah yang ditunjukkan pada **Gambar 1.2** melalui 11 titik pengeboran dengan kedalaman bervariasi, dimana pengeboran terdalam mencapai 42,55 m pada titik BH-SI-06. Hasil investigasi pada titik BH-SI-04, BH-SI-05, BH-SI-06, dan BH-SI-07 menunjukkan lapisan tanah lempung yang dominan dari permukaan hingga kedalaman 26 m. Kondisi tanah lunak ini memerlukan metode perbaikan tanah untuk mencegah terjadinya penurunan yang dapat membahayakan stabilitas

struktur *breakwater*. *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dipilih sebagai metode perbaikan tanah yang akan dikombinasikan dengan *preloading* untuk mempercepat proses konsolidasi.



Gambar 1.2 Titik Investigasi Tanah
(Sumber : PT. Adhi Karya Persero Tbk, 2024)

Penggunaan geotextile tube, yang dikombinasikan dengan batu diharapkan dapat mengurangi ketergantungan pada batu dan menurunkan dampak lingkungan. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 1.3**, ilustrasi struktur breakwater dengan geotextile tube dan metode perbaikan tanah menggunakan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) membantu mempercepat proses konsolidasi tanah lunak. Geotextile tube berfungsi sebagai struktur awal yang membentuk inti breakwater. Setelah pemasangan, geotextile tube ditimbun dengan material batu untuk meningkatkan massa dan ketahanan terhadap tekanan gelombang. Sementara itu, PVD berperan dalam mempercepat keluarnya air dari dalam tanah, sehingga tanah menjadi lebih padat dan mengurangi risiko penurunan.



Gambar 1.3 Ilustrasi Breakwater dengan Geotextile Tube dan PVD

Selain itu, umur rencana struktur breakwater di Lamongan Shorebase ditetapkan selama 50 tahun. Penetapan umur ini mengacu pada standar internasional seperti BS 6349-1:2010, yang merekomendasikan bahwa struktur maritim permanen harus memiliki masa layan minimal 50 tahun. Dengan mempertimbangkan karakteristik tanah lunak di lokasi proyek, kajian mendalam terhadap data tanah yang tersedia menjadi dasar dalam menentukan desain PVD yang paling sesuai untuk kondisi lapangan, sekaligus memastikan bahwa kombinasi geotextile tube dan material batu sebagai timbunan memberikan stabilitas yang optimal dalam konstruksi *breakwater*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, didapatkan rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana kombinasi penggunaan geotextile tube dan material batu dapat dioptimalkan untuk memberikan stabilitas maksimum pada *breakwater* di atas tanah lunak?
2. Bagaimana perencanaan PVD berdasarkan data geoteknik untuk mencapai efektivitas PVD yang optimal dalam meningkatkan daya dukung tanah?
3. Bagaimana perencanaan beban *preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) berdasarkan hasil investigasi tanah dan laboratorium ?
4. Apakah faktor keamanan (*safety factor*) struktur *Breakwater* memenuhi standar teknis setelah penerapan metode perbaikan tanah dengan PVD?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penyusunan Proyek Akhir ini dibatasi pada pokok – pokok pembahasan sebagai berikut :

1. Data tanah yang digunakan berasal dari investigasi geoteknik di lokasi proyek dan laboratorium.
2. Metode perbaikan tanah yang digunakan *preloading* kombinasi dengan PVD.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan yang ingin dicapai dalam penyusunan Proyek Akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui kombinasi penggunaan geotextile tube dan material batu dapat dioptimalkan untuk memberikan stabilitas maksimum pada *breakwater* di atas tanah lunak.
2. Mengetahui perencanaan PVD berdasarkan data geoteknik untuk mencapai efektivitas PVD yang optimal dalam meningkatkan daya dukung tanah.
3. Mengetahui perencanaan beban *preloading* dengan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) berdasarkan hasil investigasi tanah dan laboratorium.
4. Mengetahui faktor keamanan (*safety factor*) struktur *Breakwater* memenuhi standar teknis setelah penerapan metode perbaikan tanah dengan PVD.

1.5 Manfaat

Manfaat dari penyusunan Proyek Akhir ini diharapkan dapat mengoptimalkan desain PVD yang terintegrasi dengan sistem *preloading* untuk mempercepat proses konsolidasi tanah dan menjamin stabilitas *breakwater* sebagai infrastruktur pelindung pelabuhan. Selain itu, penggunaan geotextile tube yang ditimbun dengan material batu diharapkan dapat meningkatkan efisiensi konstruksi dan memperkuat stabilitas struktur *breakwater*.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Hasil Penelitian Terdahulu

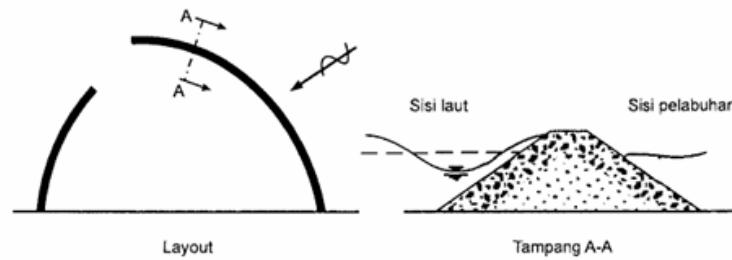
No	Judul	Penulis	Bahasan
1.	Perencanaan Perkuatan Tanah Pelabuhan Curah Cair Teluk Benoa, Bali	(Indah Puspitasari, 2017)	Penelitian ini merencanakan variasi lereng untuk tempat sandar kapal berupa lereng miring (<i>slope</i> 1:2) dengan variasi perkuatan lereng. Perkuatan lereng tegak menggunakan cantilever sheet pile dan anchored sheet pile dengan material steel sheet pile dan tiang beton miring sebagai angkur. Lereng miring menggunakan geotube dan kombinasi cerucuk, gabion, geogrid. Berdasarkan hasil analisis lereng tegak, lereng tegak tipe cantilever sheet pile menggunakan stell sheet pipe pile berdiameter 2 m sepanjang 55,69 m dan lereng tegak tipe anchored sheet pile menggunakan steel sheet pipe berdiameter 1,016 m sepanjang 45,69m dan spun pile diameter 60 cm sepanjang 30 m sebagai anchored pile. Berdasarkan analisis lereng miring, perkuatan lereng dengan geotube membutuhkan 6 buah geotube yang disusun 3 lapis, zona 1 menggunakan geotube diameter IG = 6,5 m hG = 1,9 m dan zona 3 dan 5 menggunakan geotube diameter IG = 4,5 m hG = 1,4 m. Selain itu, perkuatan kombinasi membutuhkan geogrid 11 lapis, cerucuk 14 buah, dan gabion ukuran panjang 2 m, lebar 1 m dan tebal 0,5 m.
2.	Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai untuk Mengatasi Kemunduran Garis Pantai Teluk Penyu, Cilacap, Jawa Tengah	(Citra Mira Dewi Boonastria, 2014)	Penelitian ini merencanakan bangunan pengaman pantai di Pelabuhan Perikanan Cilacap. Berdasarkan hasil analisa didapatkan perubahan garis pantai yaitu kemunduran sejauh 30k/10th, dan bangunan pantai yang digunakan adalah revetment dengan beberapa alternatif yaitu dengan tetrapod, batu armour dan geotube untuk mencegah erosi dan overtopping pada pantai.

No	Judul	Penulis	Bahasan
3.	Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi dengan Metode <i>Vacuum Preloading</i> dan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> Pada Perbaikan Tanah Lunak Area Reklamasi Terminal Kalibaru Jakarta	(Tyas Naufal Hilmy, 2024)	Penelitian ini menganalisis penurunan dan waktu konsolidasi dengan metode <i>Vacuum Preloading</i> dan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> pada perbaikan tanah lunak area reklamasi terminal Kalibaru Jakarta. Dari hasil penelitian yaitu Penggunaan metode <i>preloading</i> konvensional menghasilkan ketinggian timbunan yang lebih tinggi dibandingkan metode <i>vacuum</i> . Dengan <i>preloading</i> konvensional Zona reklamasi membutuhkan ketinggian timbunan 7-13 m dengan <i>preloading</i> konvensional, namun jika menggunakan <i>vacuum</i> tinggi timbunan yang dibutuhkan dapat dikurangi menjadi 4-8 m. Lalu penggunaan PVD (<i>Prefabricated Vertical Drain</i>) dapat secara signifikan memperpendek waktu konsolidasi dari hitungan tahun sekitar 223-276 tahun menjadi hanya 5-6 bulan.
4.	Deformation and Strength Characteristics of Marine Soft Soil Treated by Prefabricated Vertical Drain-Assisted Staged Riprap under Seawall Construction	(Xue-Ting Wu, Jun-Ning Liu, Zhi-Min Xie, 2023)	Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan <i>Prefabricated Vertical Drain</i> (PVD) dikombinasikan dengan penimbunan bertahap (<i>staged riprap</i>) terbukti efektif dalam perbaikan tanah lunak laut pada proyek pembangunan <i>seawall</i> di Wenzhou, Tiongkok. PVD yang dipasang pada tanah lunak laut mampu mempercepat proses konsolidasi dengan derajat konsolidasi mencapai 75–100% dan meningkatkan kekuatan tanah hingga 700%. Selain itu, PVD terbukti efektif dalam mengurangi tekanan air pori dan meminimalkan penurunan tanah secara signifikan.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Breakwater

Breakwater adalah bangunan yang digunakan untuk melindungi daerah perairan pelabuhan dari gangguan gelombang. Bangunan ini memisahkan daerah perairan dari laut bebas, sehingga perairan pelabuhan tidak banyak dipengaruhi oleh gelombang besar di laut. Daerah perairan dihubungkan dengan laut oleh mulut pelabuhan dengan lebar tertentu, dan kapal ke luar/masuk pelabuhan melalui celah tersebut. Dengan adanya *breakwater* ini daerah perairan pelabuhan menjadi tenang dan kapal bisa melakukan bongkar muat barang dengan mudah. **Gambar 2.1** menunjukkan contoh bentuk pemecah gelombang.



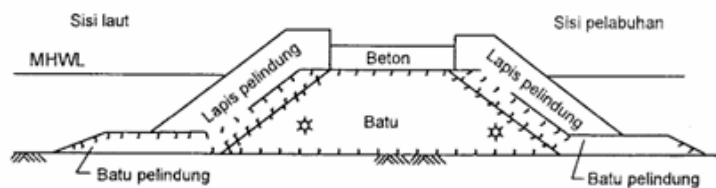
Gambar 2.1 Pemecah Gelombang Sisi Miring
(Sumber : Triadmodjo, Bambang 2010)

2.2.1.1 Tipe *Breakwater*

Pemecah gelombang (*breakwater*) dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu :

1. Pemecah Gelombang Sisi Miring

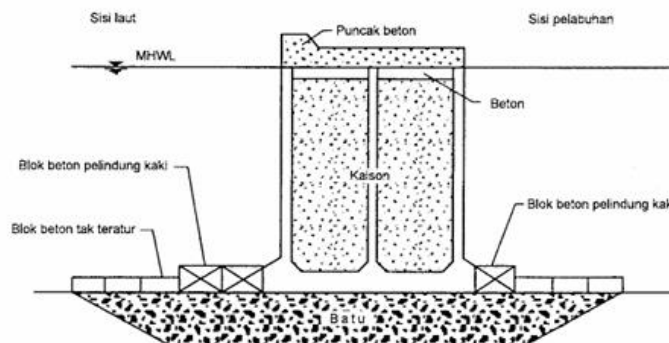
Pemecah gelombang ini berasal dari tumpukan batu alam, blok beton, gabungan antara batu pecah dan blok beton, batu buatan dari beton dengan bentuk khusus seperti tetrapod, quadripods, tribars, dolos, dan sebagainya. Di bagian atas pemecah gelombang tipe ini biasanya juga dilengkapi dengan dinding beton yang berfungsi menahan limpasan air di atas bangunan. **Gambar 2.2** menunjukkan pemecah gelombang sisi miring, yang terdiri dari tumpukan batu di bagian dalamnya sedang lapis luarnya dapat berupa batu dengan ukuran besar atau beton dengan bentuk tertentu.



Gambar 2.2 Pemecah Gelombang Sisi Miring
(Sumber : Triadmodjo, Bambang 2010)

2. Pemecah Gelombang Sisi Tegak

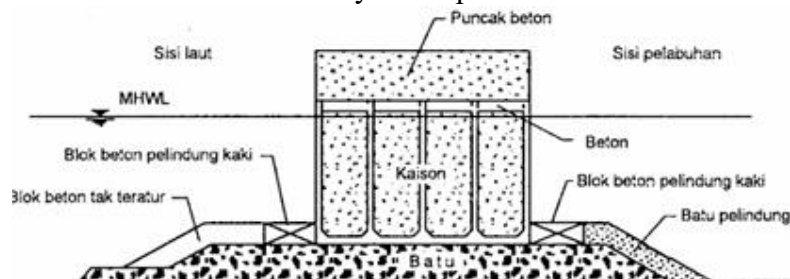
Pemecah gelombang sisi tegak tersusun dari dinding blok beton massa yang disusun secara vertikal, kaisan beton, sel turap baja yang didalamnya diisi batu, dinding turap baja atau beton dan sebagainya. **Gambar 2.3** menunjukkan pemecah gelombang sisi tegak dari kaisan beton. Tanah dasar laut dikeruk dan diganti dengan batu yang berfungsi sebagai fondasi, maka dibuat perlindungan kaki yang terbuat dari blok beton. Bagian dalam kaisan diisi dengan pasir.



Gambar 2.3 Pemecah Gelombang Sisi Tegak
(Sumber : Triadmodjo, Bambang 2010)

3. Pemecah Gelombang Campuran

Pemecah gelombang campuran merupakan gabungan dari tipe pemecah gelombang sisi miring dan sisi tegak. **Gambar 2.4** menunjukkan pemecah gelombang campuran. Bagian bawah terdiri dari tumpukan batu sedang bagian atas terbuat dari kaisan beton didalamnya diisi pasir atau batu.



Gambar 2.4 Pemecah Gelombang Campuran
(Sumber : Triadmodjo, Bambang 2010)

Tipe pemecah gelombang yang digunakan biasanya ditentukan oleh ketersediaan material di dekat lokasi pekerjaan, kondisi dasar laut, kedalaman air, fungsi pelabuhan, dan ketersediaan peralatan untuk pelaksanaan pekerjaan. Faktor penting lainnya adalah karakteristik dasar laut yang mendukung bangunan tersebut di bawah pengaruh gelombang. Tanah dasar (fondasi bangunan) harus mempunyai daya dukung yang cukup sehingga stabilitas bangunan dapat terjamin. Pada pantai dengan tanah dasar lunak, di mana daya dukung tanah rendah, maka konstruksi harus dibuat ringan (memperkecil dimensi) atau memperlebar dasar sehingga bangunan berbentuk trapesium (sisi miring) yang terbuat dari tumpukan batu atau blok beton. Apabila daya dukung tanahnya besar maka dapat digunakan pemecah gelombang sisi tegak.

2.2.2 Gelombang

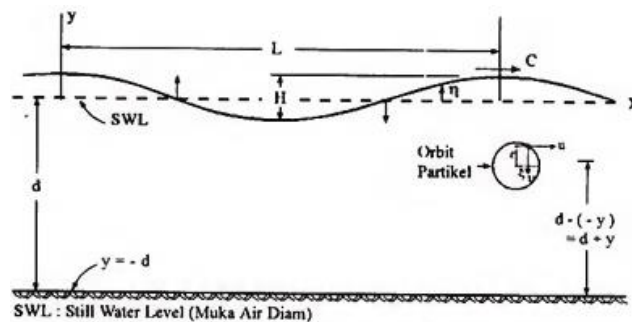
Gelombang merupakan faktor utama di dalam penentuan tata letak (*layout*) alur pelayaran pelabuhan dan bangunan pengaman pantai. Gelombang di laut dapat dibedakan menjadi beberapa macam yang tergantung pada gaya pembangkitnya. Gelombang tersebut adalah gelombang angin yang dibangkitkan oleh tiupan angin di permukaan laut, gelombang pasang surut dibangkitkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung berapi atau gempa di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak, dan sebagainya.

Umumnya bentuk gelombang di alam sangat kompleks dan sulit digambarkan secara matematis karena ketidak-linieran, tiga dimensi dan mempunyai bentuk yang sangat tidak beraturan. Ada beberapa teori yang menggambarkan gelombang di alam. Teori yang paling sederhana adalah teori gelombang linier atau teori gelombang amplitudo kecil yang pertama kali dikemukakan oleh Airy pada tahun 1845 (Sumber : Triadmodjo, Bambang 1999).

2.2.2.1 Teori Gelombang Amplitudo Kecil

Teori gelombang amplitudo kecil diturunkan berdasarkan persamaan Laplace untuk aliran tak rotasi (*irrotational flow*) dengan kondisi batas di dasar laut dan di permukaan air (Sumber : Triadmodjo, Bambang 1999). **Gambar 2.5** menunjukkan suatu gelombang yang berada pada sistem koordinat x-y. Gelombang menjalar pada arah sumbu x. Beberapa notasi yang digunakan adalah :

- d = Jarak antara muka air rerata dan dasar laut (kedalaman laut)
 η = Fluktuasi muka air terhadap muka air diam
 a = Amplitudo gelombang
 H = Tinggi gelombang
 L = Panjang gelombang, yaitu jarak antara dua puncak gelombang yang berurutan
 T = Periode gelombang, yaitu interval waktu yang diperlukan oleh partikel air untuk kembali pada kedudukan yang sama dengan kedudukan sebelumnya
 C = Kecepatan rambat gelombang = L/T
 K = Angka gelombang = $2\pi/L$
 σ = Frekuensi gelombang = $2\pi/T$



Gambar 2.5 Sketsa Definisi Gelombang
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

Berdasarkan kedalaman relatif, yaitu perbandingan antara kedalaman air dan panjang gelombang (d/L), gelombang dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, yaitu : gelombang di laut dangkal, gelombang di laut transisi dan gelombang di laut dalam. Perbedaan dari masing-masing gelombang dijelaskan pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Parameter Gelombang di Laut Dalam, Transisi, dan Dangkal

	Laut Dalam	Laut Transisi	Laut Dangkal
Kedalaman Relatif (d/L_0)	$> \frac{1}{25} - \frac{1}{2}$	$> \frac{1}{25} - \frac{1}{2}$	$> \frac{1}{25} - \frac{1}{2}$
Cepat Rambat (c)	$1,56 T$	$\frac{gT}{2\pi} \tanh kd$	$\sqrt{gd}$
Panjang Gelombang (L)	$1,56 T^2$	$\frac{gT}{2\pi} \tanh kd$	$\sqrt{gdT}$

(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

2.2.2.2 Analisa Gelombang

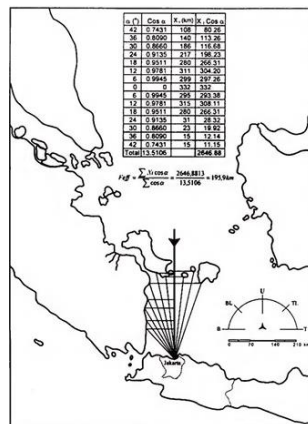
2.2.2.2.1 Fetch

Di dalam pembangkitan gelombang di laut, fetch dibatasi oleh bentuk daratan yang mengelilingi laut. Di daerah pembentukan gelombang tidak hanya dibangkitkan dalam arah yang sama dengan arah angin tetapi juga dalam berbagai sudut terhadap arah angin. Fetch rerata efektif diberikan oleh persamaan berikut. Dan **Gambar 2.6** Contoh dari penggambaran Fetch.

$$F_{eff} = \frac{\sum (X_i \cdot \cos \alpha_i)}{\sum \cos \alpha_i} \quad (2.1)$$

Dimana :

- F_{eff} = Fetch rerata efektif
 X_i = Panjang segmen fetch yang diukur dari titik observasi gelombang ke ujung akhir fetch
 α_i = Deviasi pada kedua sisi arah angin dengan menggunakan pertambahan 5° sampai sudut 45° pada kedua sisi dari arah angin



Gambar 2.6 Contoh Penggambaran Fetch
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

2.2.3 Deformasi Gelombang

Apabila suatu deretan gelombang bergerak menuju pantai, gelombang tersebut akan mengalami perubahan bentuk yang disebabkan oleh proses refraksi dan pendangkalan gelombang, difraksi, refleksi, dan gelombang pecah.

2.2.3.1 Pendangkalan Gelombang (*Wave Shoaling*)

Jika suatu gelombang menuju perairan dangkal, maka terjadi perubahan karakteristik gelombang yang meliputi perubahan tinggi, panjang dan kecepatan gelombang. Dengan menganggap bahwa kemiringan perairan dapat diabaikan. Proses pendangkalan gelombang (*shoaling*) adalah proses berkurangnya tinggi gelombang akibat perubahan kedalaman. Kecepatan gerak gelombang juga berkurang seiring dengan pengurangan kedalaman dasar laut, sehingga menyebabkan puncak gelombang yang ada di air dangkal bergerak lebih lambat dibandingkan puncak gelombang yang berada di perairan yang lebih dalam.

Koefisien *Shoaling* dapat dituliskan dalam bentuk :

$$\frac{H}{H_0} = \sqrt{\frac{1 \times C_0}{2nC}} = K_s \quad (2.2)$$

$$n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{4\pi h/L}{\sinh\left(\frac{4\pi h}{L}\right)} \right) \quad (2.3)$$

Koefisien *shoaling* juga dapat diperoleh dari Tabel A-1 buku Perencanaan Bangunan Pantai, Bambang Triatmodjo, 1999.

Maka tinggi gelombang pada kedalaman H_0 akibat adanya refraksi dan *shoaling* adalah :

$$H = K_s \cdot K_r \cdot H_0 \quad (2.4)$$

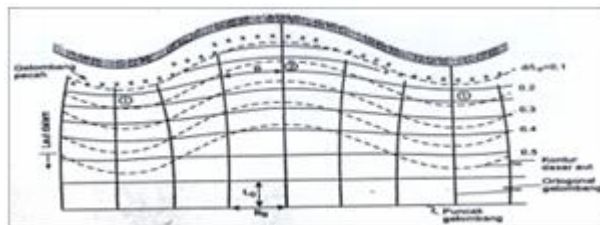
Dimana :

- K_s = Koefisien *shoaling*
- K_r = Koefisien refraksi
- H_0 = Tinggi gelombang di laut dalam

2.2.3.2 Refraksi Gelombang

Kecepatan rambat gelombang tergantung pada kedalaman air dimana gelombang menjalar. Apabila cepat rambat gelombang berkurang dengan kedalaman, panjang gelombang juga berkurang secara linier. Refraksi dan pendangkalan gelombang (*wave shoaling*) akan dapat menentukan tinggi gelombang di suatu tempat berdasarkan karakteristik gelombang datang. Refraksi mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap tinggi dan arah gelombang serta distribusi energi gelombang di sepanjang pantai.

Gambar 2.7 menunjukkan contoh refraksi gelombang di daerah pantai yang mempunyai garis kontur dasar laut dan garis pantai yang tidak teratur. Suatu deretan gelombang di laut dalam mempunyai panjang gelombang L_0 dan garis puncak gelombang sejajar bergerak menuju pantai. Setelah melewati kontur dengan kedalaman relatif $d/L_0 > 0,5$; garis puncak gelombang yang semula lurus berubah bentuk dan berusaha untuk sejajar dengan garis kontur dan garis pantai. Garis ortogonal gelombang membelok dalam arah menuju tegak lurus garis kontur. Pada lokasi satu, garis ortogonal gelombang menguncup. Sedangkan, di lokasi dua garis ortogonal gelombang menyebar.



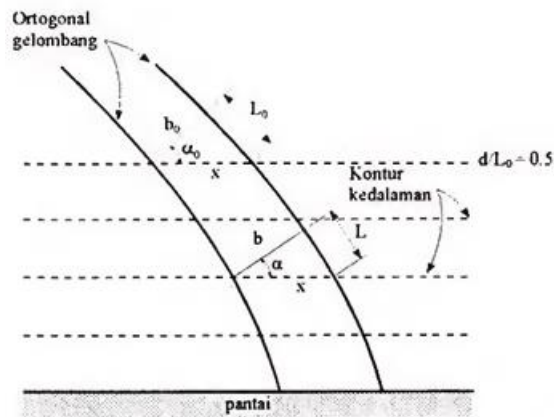
Gambar 2.7 Refraksi Gelombang
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

Apabila gelombang ditinjau di suatu titik di laut dalam, maka:

$$\sin \alpha = \left(\frac{C}{C_0} \right) \sin \alpha_0 \quad (2.5)$$

Dimana :

- α_0 = Sudut antara puncak gelombang dengan kontur dasar
- α = Sudut yang sama diukur saat garis puncak gelombang melintasi kontur dasar
- C_0 = Kecepatan gelombang pada kontur pertama
- C = Kecepatan gelombang pada kontur kedua



Gambar 2.8 Refraksi Gelombang pada kontur Lurus dan Sejajar
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

Pada **Gambar 2.8**, jarak antara ortogonal di laut dalam dan di suatu titik adalah b_0 dan b . Apabila kontur dasar laut adalah lurus dan sejajar maka jarak x di titik 0 dan di titik berikutnya adalah sama sehingga :

$$x = \frac{b_0}{\cos \alpha_0} = \frac{b}{\cos \alpha} \quad (2.6)$$

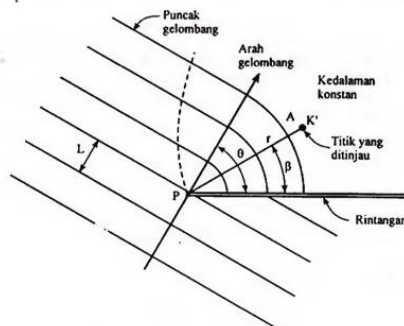
Maka koefisien refraksi (K_r) adalah

$$K_r = \sqrt{\frac{b_0}{b}} = \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \quad (2.7)$$

2.2.3.3 Difraksi Gelombang

Difraksi gelombang terjadi apabila gelombang datang terhalang oleh suatu rintangan seperti pemecah gelombang (*breakwater*), maka gelombang tersebut akan membelok di sekitar ujung rintangan dan masuk di daerah terlindung dibelakangnya seperti pada **Gambar 2.9**.

Apabila tidak terjadi difraksi gelombang, daerah di belakang rintangan akan tenang. Tetapi karena adanya proses difraksi maka daerah tersebut terpengaruh oleh gelombang datang. Transfer energi ke daerah terlindung menyebabkan terbentuknya gelombang di daerah tersebut, meskipun tidak sebesar gelombang di luar daerah terlindung.



Gambar 2.9 Difraksi Gelombang di Belakang Rintangan
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

Pada perhitungan difraksi gelombang, tinggi gelombang di suatu tempat di daerah terlindung tergantung pada jarak titik tinjau terhadap sudut rintangan r , sudut antara rintangan dan garis yang menghubungkan titik tersebut dengan ujung rintangan β , dan sudut antara arah

penjalaran gelombang dan rintangan θ (**Gambar 2.9**). Perbandingan antara tinggi gelombang di titik yang terletak di daerah terlindung dan tinggi gelombang datang disebut koefisien difraksi K' . Nilai K' diberikan dalam tabel difraksi.

$$H_A = K'H_p \tag{2.8}$$

Dimana :

- H_A = Tinggi gelombang yang ditinjau
- H_p = Tinggi gelombang di ujung rintangan
- K' = Koefisien difraksi

2.2.3.4 Refleksi Gelombang

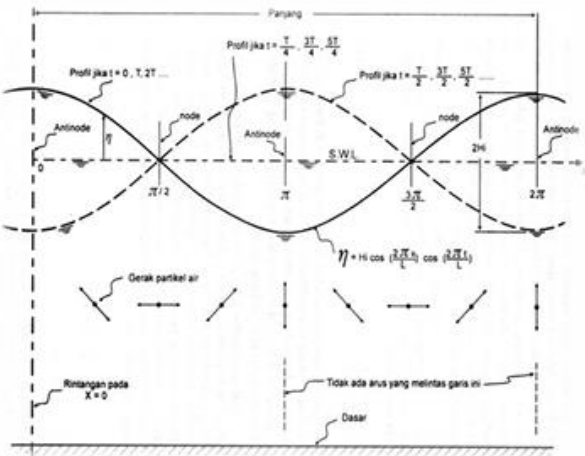
Gelombang yang mengenai atau membentur suatu bangunan akan dipantulkan sebagian atau seluruhnya. Refleksi gelombang di dalam pelabuhan akan menyebabkan ketidaktenangan di dalam perairan pelabuhan. Suatu bangunan yang mempunyai sisi miring dan terbuat dari tumpukkan batu akan bisa menyerap energi gelombang lebih banyak dibanding dengan bangunan tegak dan masif. Pada bangunan vertikal, halus, dan dinding tidak elastis, gelombang akan dipantulkan seluruhnya. **Gambar 2.10** adalah bentuk profil muka air di depan bangunan vertikal disebut dengan gelombang berdiri (*standing wave*). Besar kemampuan suatu benda memantulkan diberikan oleh koefisien refleksi, yaitu perbandingan antara tinggi gelombang refleksi H_r dan tinggi gelombang datang H_i .

Koefisien refleksi bangunan diperkirakan berdasarkan tes model. Koefisien refleksi berbagai tipe bangunan diberikan pada **Tabel 2.3** berikut ini:

Tabel 2.3 Koefisien Refleksi

Tipe Bangunan	X
Dinding vertikal dengan puncak dia atas air	0,7 - 1,0
Dinding vertikal dengan puncak terendam	0,5 - 0,7
Tumpukan batu sisi miring	0,3 - 0,6
Tumpukan blok beton	0,3 - 0,5
Bangunan vertikal dengan peredam energi (diberi lubang)	0,05 - 0,2

(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)



Gambar 2.10 *Standing Wave*
(SPM, 1984)

2.2.3.5 Gelombang Pecah

Jika gelombang menjalar dari tempat dalam menuju ke tempat yang makin lama makin dangkal, pada suatu lokasi tertentu gelombang tersebut akan pecah. Kondisi gelombang pecah tergantung pada kemiringan dasar pantai dan kecuraman gelombang.

Tinggi gelombang pecah dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$\frac{H_b}{H'_0} = \frac{1}{3,3 \left(\frac{H'_0}{L_0} \right)^{\frac{1}{3}}} \quad (2.9)$$

Kedalaman air di mana gelombang pecah diberikan oleh rumus berikut:

$$\frac{db}{H_b} = \frac{1}{b - \left(\frac{aH_b}{gT^2} \right)} \quad (2.10)$$

Di mana a dan b merupakan fungsi kemiringan pantai m dan diberikan oleh persamaan berikut:

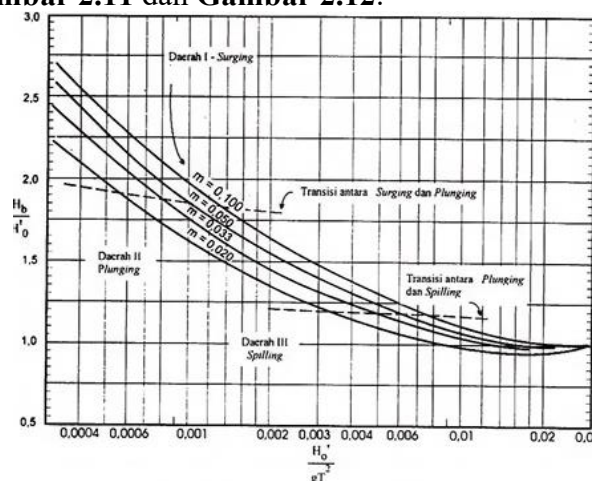
$$a = 43,75 (1 - e^{-19m}) \quad (2.11)$$

$$b = \frac{1,56}{(1 + e^{-19,5m})} \quad (2.12)$$

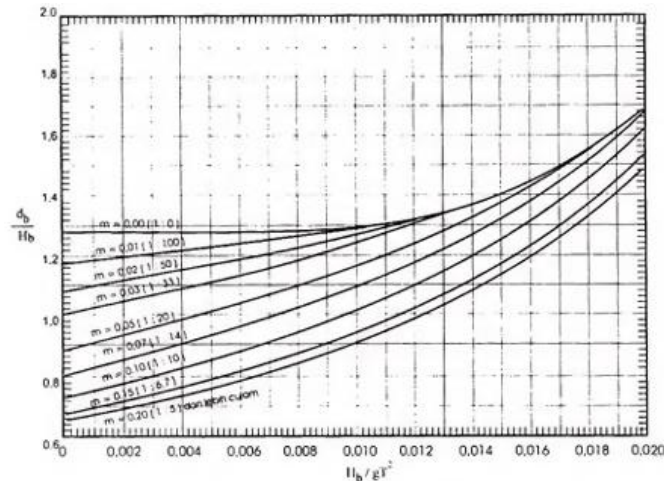
Dimana :

- H_b = Tinggi gelombang pecah
- H'_0 = Tinggi gelombang laut dalam ekivalen
- L_0 = Panjang gelombang di laut dalam
- db = Kedalaman air saat gelombang pecah
- m = Kemiringan dasar laut
- g = Percepatan gravitasi
- T = Periode gelombang

Selain itu, tinggi dan kedalaman gelombang pecah dapat dihitung dengan menggunakan metode SPM melalui **Gambar 2.11** dan **Gambar 2.12**.



Gambar 2.11 Penentuan Tinggi Gelombang Pecah
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

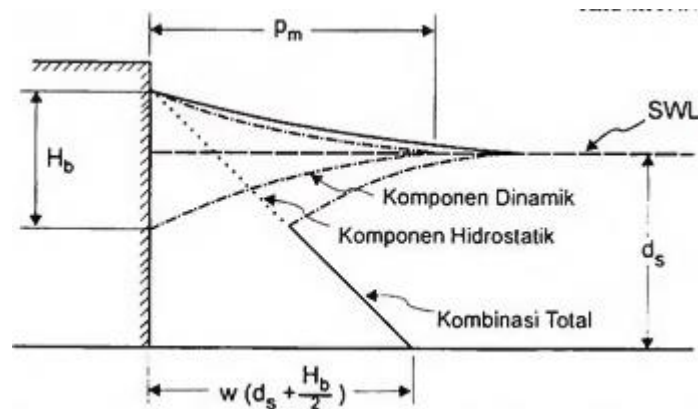


Gambar 2.12 Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

2.2.4 Gaya Gelombang Pecah

Gelombang pecah yang menghantam dinding vertikal akan menimbulkan tekanan yang besar dengan durasi singkat. Tekanan tersebut bekerja pada daerah di sekitar muka air diam.

Gambar 2.13 menunjukkan distribusi tekanan yang ditimbulkan oleh gelombang pecah. Tekanan berkurang dari nilai maksimum p_m pada muka air diam menjadi nol pada jarak $H_b/2$ di atas dan di bawah muka air diam (Triatmodjo, Bambang 1999). Garis distribusi tekanan tersebut berbentuk parabola. Tekanan maksimum p_m mempunyai bentuk :



Gambar 2.13 Distribusi Tekanan Gelombang Pecah Pada Dinding Vertikal
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

$$P_m = 101\gamma \frac{H_b d_s}{L_D D} (D + d_s) \quad (2.13)$$

Dengan :

$$D = d_s + L_D m \quad (2.14)$$

Dimana :

- P_m = Tekanan dinamis maksimum
- H_b = Tinggi gelombang pecah
- d_s = Kedalaman pada jarak satu panjang gelombang di depan dinding
- L_D = Panjang gelombang pada kedalaman D

2.2.5 Angin

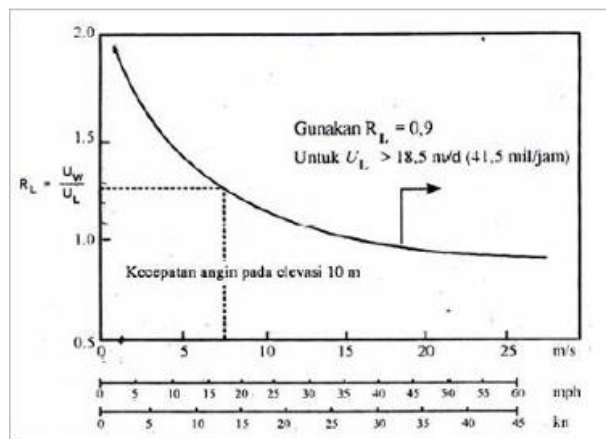
Angin merupakan pembangkit gelombang laut. Oleh karena itu, data angin dapat digunakan untuk memperkirakan tinggi dan arah gelombang di lokasi. Data angin diklasifikasikan berdasarkan kecepatan dan arah yang kemudian dihitung besarnya persentase kejadiannya. Arah angin dinyatakan dalam bentuk delapan penjuru arah mata angin (Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Laut, Barat dan Barat Laut). Kecepatan angin disajikan dalam satuan knot.

Hubungan antara angin diatas laut dan angin diatas daratan terdekat diberikan oleh persamaan berikut dan ditunjukkan pada **Gambar 2.14**,

$$R_L = \frac{U_w}{U_L} \quad (2.15)$$

Dimana :

- R_L = Faktor koreksi terhadap kecepatan angin di darat (**Gambar 2.14**)
- U_w = Kecepatan angin di atas permukaan laut (m/dt)
- U_L = Kecepatan angin di atas daratan (m/dt)



Gambar 2.14 Hubungan Kecepatan Angin di Laut dan Darat
(Triatmodjo, Bambang : 1999)

Setelah dilakukan konversi kecepatan angin, maka kecepatan angin dikonversikan pada faktor tegangan angin (*wind stress* faktor) dengan persamaan.

$$U_A = 0,71 U^{1,23} \quad (2.16)$$

Dimana :

- U = Kecepatan angin (m/dt)
- U_A = Faktor tegangan angin (*wind stress factor*)

Beberapa rumus atau grafik didasarkan pada kecepatan angin yang diukur pada $y=10m$. Apabila angin tidak diukur pada elevasi 10 m, maka kecepatan angin harus dikonversikan pada elevasi 10 m dengan menggunakan SPM.

$$U_{(10)} = U_{(y)} \left(\frac{10}{y} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (2.17)$$

Dimana :

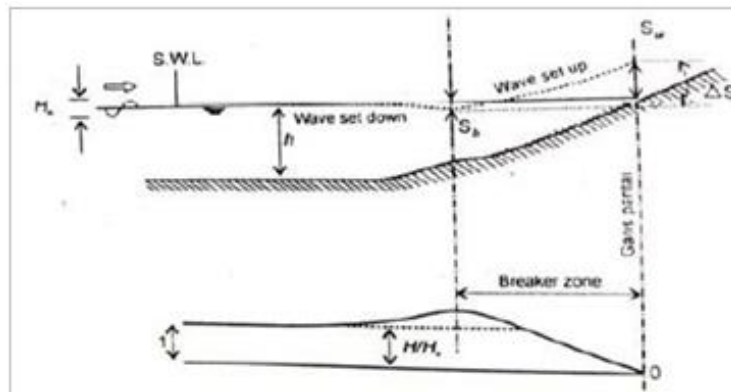
- $U_{(10)}$ = Kecepatan angin di elevasi 10 m
 $U_{(y)}$ = Kecepatan angin pada ketinggian $\neq 10$ m dan $y < 20$ m

2.2.6 Fluktuasi Muka Air Laut

Elevasi muka air merupakan parameter di dalam perencanaan bangunan pantai. Muka air laut berfluktuasi dengan periode yang lebih besar dari periode gelombang angin. Beberapa proses alam yang terjadi dalam waktu yang bersamaan membentuk variasi muka air laut dengan periode panjang. Proses alam tersebut meliputi poin-poin berikut.

2.2.6.1 Kenaikan Muka Air karena Gelombang (*Wave Set-up*)

Gelombang yang datang dari laut menuju pantai menyebabkan fluktuasi muka air di daerah pantai terhadap muka air diam. Pada waktu gelombang pecah, akan terjadi penurunan elevasi muka air rerata terhadap elevasi muka air diam di sekitar lokasi gelombang pecah. Kemudian dari titik di mana gelombang pecah, permukaan air rerata miring ke atas ke arah pantai. Turunnya muka air laut dikenal dengan *wave set down*, sedangkan naiknya muka air laut disebut *wave set up* (Triatmodjo, Bambang : 1999). Seperti ditunjukkan dalam **Gambar 2.15**.



Gambar 2.15 *Wave Set-Up dan Set Down*
(Triatmodjo, Bambang : 1999)

Besar *wave set-down* di daerah gelombang pecah diberikan oleh persamaan :

$$S_b = \frac{0,536 H b^{\frac{2}{3}}}{g^{\frac{1}{2}} T} \quad (2.18)$$

Dimana :

- S_b = *Set-down* di daerah gelombang pecah (m)
 T = Periode gelombang (dt)
 H'_0 = Tinggi gelombang laut dalam ekivalen (m)
 db = Tinggi gelombang pecah (m)
 g = Percepatan gravitasi (m/dt^2)

Besar *wave set-up* di pantai diberikan oleh persamaan :

$$S_w = \Delta S - S_b \quad (2.19)$$

Dengan menganggap $db = 1,28 H_b$ maka :

$$\Delta S = 0,15d_b \quad (2.20)$$

Diperoleh :

$$S_w = 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \quad (2.21)$$

Dimana :

- S_w = *Set up* gelombang pecah (m)
- ΔS = *Set up* antara daerah gelombang pecah dan pantai (m)
- S_b = *Set down* di daerah gelombang pecah (m)
- H_b = Tinggi gelombang pecah (m)
- d_b = Kedalaman gelombang pecah (m)
- T = Periode gelombang (dt)
- g = Percepatan gravitasi (m/dt^2)

2.2.6.2 Kenaikan Muka Air Karena Angin (*Wind Set-Up*)

Angin dengan kecepatan besar yang terjadi di atas permukaan laut bisa membangkitkan fluktuasi muka air laut yang besar disepanjang pantai. Besar perubahan elevasi muka air laut tergantung pada kecepatan angin, *Fetch*, kedalaman air dan kemiringan dasar. Kenaikan muka air dapat menyebabkan genangan yang luas di daratan. Penurunan muka air yang cepat setelah badai dapat menyebabkan kerusakan karena sapuan air dari genangan kembali ke laut.

Kenaikan elevasi muka air karena badai dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\Delta h = \frac{F_i}{2} \quad (2.22)$$

$$\Delta h = F_c \frac{v^2}{2gd} \quad (2.23)$$

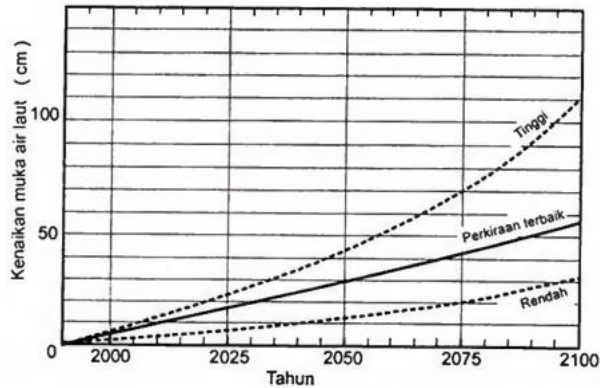
Dimana :

- Δh = Kenaikan elevasi muka air karena badai (m)
- F = Panjang *Fetch*
- i = Kemiringan muka air
- c = Konstanta = $3,5 \times 10^{-6}$
- V = Kecepatan angin (m/d)
- d = Kedalaman air (m)
- g = Percepatan gravitasi (m/d^2)

2.2.6.3 Pemanasan Global

Kegiatan manusia yang meningkatkan jumlah gas rumah kaca di atmosfer dapat mengakibatkan naiknya suhu bumi. Peningkatan suhu bumi tersebut dapat menimbulkan dampak bagi kehidupan. Suhu yang lebih tinggi dan penguapan lebih besar mengakibatkan curah hujan cenderung meningkat sehingga dapat mengakibatkan banjir. Dampak lainnya adalah peningkatan tinggi permukaan laut yang disebabkan oleh pemuain air laut dan mencairnya gunung-gunung es di kutub. (Triadmodjo, Bambang 1999)

Gambar 2.16 merupakan grafik yang menunjukkan perkiraan besarnya kenaikan muka air laut dari tahun 1990 sampai 2100 yang disertai perkiraan batas atas dan batas bawah. Grafik tersebut didasarkan pada anggapan bahwa suhu bumi meningkat seperti yang terjadi saat ini, tanpa ada tindakan untuk mengatasinya.



Gambar 2.16 Perkiraan Kenaikan Muka Air Laut Karena Pemanasan Global (Triadmodjo, Bambang 1999)

2.2.6.4 Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik menarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Pengetahuan tentang pasang surut adalah penting di dalam perencanaan bangunan pengaman pantai dan pelabuhan. Elevasi muka air tertinggi (pasang) dan terendah (surut) sangat penting untuk merencanakan bangunan-bangunan tersebut (Triatmodjo, Bambang : 1999).

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut sebagai fungsi waktu karena adanya gaya tarik benda-benda di langit, terutama matahari dan bulan terhadap massa air laut di bumi. Meskipun massa matahari jauh lebih besar daripada bulan, namun pengaruh gaya tarik bulan terhadap bumi lebih besar daripada matahari. Hal ini dikarenakan jarak bumi ke bulan lebih dekat daripada jarak bumi ke matahari dengan gaya tarik bulan yang mempengaruhi besar pasang surut adalah 2,2 kali lebih besar daripada gaya tarik matahari terhadap bumi.

Tinggi pasang surut adalah jarak vertikal antara air tertinggi (puncak air pasang) dan air terendah (lembah air surut) yang berurutan. Periode pasang surut adalah waktu yang diperlukan dari posisi muka air pada muka air rerata ke posisi yang sama berikutnya. Periode pasang surut bisa 12 jam 25 menit atau 24 jam 50 menit, yang tergantung pada tipe pasang surut. Periode pada muka air naik disebut pasang, sedang pada saat air turun disebut surut. Variasi muka air menimbulkan arus yang disebut dengan arus pasang surut yang mengangkut massa air dalam jumlah sangat besar.

Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran.

- a. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*) Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur. Tipe pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman.
- b. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut dengan periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan selat Karimata.

- c. Pasang surut campuran condong ke harian ganda (*mixed tide prevailing semidiurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.

- d. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal (*mixed tide prevailing diurnal tide*)
Pada tipe ini, dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.

Mengingat elevasi di laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut :

- a. Muka air tinggi (*high water level* atau *high water spring*, HWS), muka air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
- b. Muka air rendah (*low water level* atau *low water spring*, LWS), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
- c. Muka air tinggi rerata (*mean high water level*, MHWL), adalah rerata dari muka air tinggi.
- d. Muka air rendah rerata (*mean low water level*, MLWL), adalah rerata dari muka air rendah
- e. Muka air laut rerata (*mean sea level*, MSL), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi untuk elevasi di daratan.
- f. Muka air tinggi tertinggi (*highest high water level*, HHWL), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- g. Muka air rendah terendah (*lowest low water level*, LLWL), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
- h. *Higher high water level*, adalah air tertinggi dari dua air tinggi dalam satu hari, seperti dalam pasang surut tipe campuran.
- i. *Lower low water level*, adalah air terendah dari dua air rendah dalam satu hari.

2.2.7 Peramalan Gelombang di Laut Dalam

Penetapan gelombang dengan periode ulang tertentu dibutuhkan data gelombang dalam jangka waktu pengukuran cukup panjang (beberapa tahun). Data tersebut bisa berupa data pengukuran gelombang atau data gelombang hasil prediksi (peramalan) berdasar data angin.

Dari setiap tahun pencatatan dapat ditentukan gelombang representatif, seperti H_s , H_{10} , H_1 , H_{maks} dan sebagainya. Berdasarkan data representatif untuk beberapa tahun pengamatan dapat diperkirakan gelombang yang diharapkan disamai atau dilampaui satu kali dalam T tahun, dan gelombang tersebut dikenal dengan gelombang periode ulang T tahun atau gelombang T tahunan. Metode yang digunakan untuk perhitungan tinggi gelombang rencana adalah metode Weibull dan Fisher-Tippet Type I.

Kedua distribusi tersebut mempunyai bentuk berikut ini.

1. Distribusi Fisher-Tippet Type I

$$P(H_s \leq \hat{H}_s) = e^{-e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)}} \quad (2.24)$$

2. Distribusi Weibull

$$P(H_s \leq \hat{H}) = 1 - e^{-\left(\frac{\hat{H}_s - B}{A}\right)^k} \quad (2.25)$$

Dimana :

- $P(H_s \leq \hat{H}_s)$ = Probabilitas bahwa $\hat{H}_s$ tidak dilampaui
 H = Tinggi gelombang representatif
 $\hat{H}$ = Tinggi gelombang dengan nilai tertentu
 A = Parameter skala
 B = Parameter lokasi
 k = Parameter bentuk

Data masukan disusun alam urutan dari besar ke kecil. Selanjutnya probabilitas ditetapkan untuk setiap tinggi gelombang sebagai berikut :

1. Distribusi Fisher-Tippet Type I

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12} \quad (2.26)$$

2. Distribusi Weibull

$$P(H_s \leq H_{sm}) = 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,12 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}} \quad (2.27)$$

Dimana :

- $P(H_s \leq H_{sm})$ = Probabilitas dari tinggi gelombang representatif ke m yang tidak dilampaui
 H_{sm} = Tinggi gelombang urutan ke m
 m = Nomor urut tinggi gelombang signifikan = 1,2,...,N
 N_T = Jumlah kejadian gelombang selama pencatatan (bisa lebih besar dari gelombang representatif)

Parameter perhitungan diatas dihitung dari metode kuadrat terkecil untuk setiap tipe distribusi yang digunakan. Hitungan didasarkan pada analisis regresi linier dari hubungan berikut :

$$H_m = \hat{A} y_m + B \quad (2.28)$$

Dimana y_m diberikan oleh bentuk berikut :

untuk distribusi Fisher-Tippet tipe I :

$$y_m = -\ln \{-\ln F(H_s \leq H_{sm})\} \quad (2.29)$$

untuk distribusi Weibull :

$$y_m = -\ln \{-\ln F(H_s \leq H_{sm})\}^{\frac{1}{k}} \quad (2.30)$$

Tinggi gelombang signifikan untuk berbagai periode ulang dihitung dari fungsi probabilitas dengan rumus berikut ini.

$$H_{sr} = \hat{A} y_r + B \quad (2.31)$$

Dimana y_r untuk distribusi Fisher-Tippet tipe I

$$y_r = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{L \cdot T_r} \right) \right\} \quad (2.32)$$

Dan untuk distribusi Weibull

$$y_r = [\ln(L \cdot T_r)]^{\frac{1}{k}} \quad (2.33)$$

Dimana :

- H_{sr} = Tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r
- T_r = Periode ulang (tahun)
- K = Panjang data (tahun)
- L = Rerata jumlah kejadian per tahun

2.2.7.1 Interval Keyakinan

Perkiraan interval keyakinan adalah penting dalam analisis gelombang ekstrim. Hal ini mengingat bahwa biasanya periode pencatatan gelombang adalah pendek, tingkat ketidakpastian yang tinggi dalam perkiraan gelombang ekstrim. Batas keyakinan sangat dipengaruhi oleh penyebaran data, sehingga nilainya bergantung pada deviasi standar. Dalam perhitungan ini digunakan pendekatan yang dilakukan oleh Gumbel (1958) dan Goda (2000) dalam CERC (1992) untuk perkiraan deviasi standar dari nilai ulang. Deviasi standar yang dinormalkan dihitung dengan persamaan berikut:

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha (y_r - c + \varepsilon \ln v)]^{\frac{1}{2}} \quad (2.34)$$

Dimana :

- σ_{nr} = Standar deviasi yang dinormalkan dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T
- N = Jumlah data tinggi gelombang signifikan

$$\alpha = \alpha_1 e^{\alpha_2 N^{-1,3} + k \sqrt{-\ln v}} \quad (2.35)$$

$\alpha_1, \alpha_2, \varepsilon, k$: koefisien empiris

$$v = \frac{N}{N_T} \quad (2.36)$$

Tabel 2.4 Koefisien untuk Menghitung Deviasi Standar

Distribusi	α_1	α_2	k	c	ε
FT-1	0,64	9,00	0,93	0,00	1,33
Weibull ($k = 0,75$)	1,65	11,40	-0,63	0,00	1,15
Weibull ($k = 1,0$)	1,92	11,40	0,00	0,30	0,90
Weibull ($k = 2,4$)	2,05	11,40	0,69	0,40	0,72
Weibull ($k = 2,0$)	2,24	11,40	1,34	0,50	0,54

(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

Besaran absolut dari deviasi standar dari tinggi gelombang signifikan dihitung dengan rumus:

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \sigma_{Hs} \quad (2.37)$$

Dimana :

σ_r = Kesalahan standar dari tinggi gelombang signifikan dengan periode ulang T_r

σ_{Hs} = Deviasi standar dari data gelombang signifikan

Interval keyakinan dihitung dengan anggapan bahwa perkiraan tinggi gelombang signifikan pada periode ulang tertentu terdistribusi normal terhadap fungsi distribusi yang diperkirakan. Batas interval keyakinan terhadap H_{sr} dengan berbagai tingkat keyakinan diberikan pada **Tabel 2.5**. Perlu diingat bahwa lebar interval keyakinan tergantung pada fungsi distribusi, N dan v , tetapi tidak berkaitan dengan seberapa baik data mengikuti fungsi distribusi.

Tabel 2.5 Batas Interval Keyakinan

Tingkat Keyakinan (%)	Batas Interval Keyakinan Terhadap H_{sr}	Probabilitas Batas Atas Terlampaui
80	1,28 σ_r	10,0
85	1,44 σ_r	7,5
90	1,65 σ_r	5,0
95	1,96 σ_r	2,5
99	1,58 σ_r	0,5

(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

2.2.8 Elevasi Puncak *Breakwater*

Elevasi puncak bangunan dihitung berdasarkan kenaikan (*runup*) gelombang, yang tergantung pada bentuk dan kekasaran bangunan, kedalaman air pada kaki bangunan, kemiringan dasar laut di depan bangunan, dan karakteristik gelombang. Karena banyaknya variabel yang berpengaruh, maka besarnya *runup* sangat sulit ditentukan secara analitis. **Gambar 2.17** menunjukkan *runup* gelombang yang terjadi karena gelombang membentur bangunan dengan permukaan miring.

Penentuan tinggi *runup* telah diteliti oleh Irribaren. Proyek akhir ini untuk menentukan *runup* gelombang pada bangunan dengan permukaan miring dan dari berbagai tipe material. Bilangan Irribaren mempunyai bentuk berikut :

$$I_\gamma = \frac{\text{tg } \theta}{(H/L)^{0,5}} \quad (2.38)$$

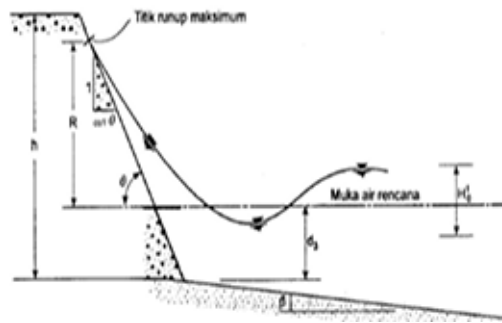
Dimana :

I_γ = Bilangan Irribaren

θ_γ = Sudut kemiringan sisi pemecah gelombang

H = Tinggi gelombang di lokasi bangunan

L_o = Panjang gelombang di laut dalam



Gambar 2.17 *Runup* Gelombang
(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

2.2.9 Berat *Armour Breakwater*

Adapun perumusan dari Hudson yang dapat digunakan untuk menghitung berat *armour layer* adalah sebagai berikut :

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H_s}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \theta} = [\text{ton}] \quad (2.39)$$

Dimana :

- W = Berat *armour* (ton)
- γ_r = Berat jenis *amour* (ton/m³)
- H_s = Tinggi gelombang signifikan (m)
- K_D = Koefisien kerusakan, merupakan kombinasi tampilan bentuk dari tiap unit, kekasaran bentuk, tingkat saling mengunci, kedalaman di lokasi, berdasarkan **Tabel 2.6**.
- S_r = Berat jenis relatif batu = γ_r / γ_w
- γ_w = Berat jenis air laut (1,025 ton/m³)
- θ = Sudut kemiringan *breakwater*

Tabel 2.6 Koefisien Stabiilitas K_D untuk Berbagai *Armour*

Lapis Lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan		Ujung Bangunan		Kemiringan cotθ
			K _D		K _D		
			Gel. Pecah	Gel. Tidak Pecah	Gel. Pecah	Gel. Tidak Pecah	
Batu pecah							
Batu halus	2	Acak	1,2	2,4	1,1	1,9	1,5-3,0
Batu halus	>3	Acak	1,6	3,2	1,4	2,3	*2
Bersudut kasar	1	Acak	*1	2,9	*1	2,3	*2
					1,9	3,2	1,5
Bersudut kasar	2	Acak	2,0	4,0	1,6	2,8	2,0
					1,3	2,3	3,0
Bersudut kasar	>3	Acak	2,2	4,5	2,1	4,2	*2
Bersudut kasar	2	Khusus *3	5,8	7,0	5,3	6,4	*2
Paralelepipedum	2	Khusus	7,0-20,0	8,5-24,0	-	-	

Lapis Lindung	n	Penempatan	Lengan Bangunan K_D		Ujung Bangunan K_D		Kemiringan $\cot\theta$
			Gel. Pecah	Gel. Tidak Pecah	Gel. Pecah	Gel. Tidak Pecah	
Tetrapod	2	Acak	7,0	8,0	5,0	6,0	1,5
dan					4,5	5,5	2,0
Quadripod					3,5	4,0	3,0
Tribar	2	Acak	9,0	10,0	8,3	9,0	1,5
					7,8	8,5	2,0
					6,0	6,5	3,0
Dolos	2	Acak	15,8	31,8	8,0	16,0	2,0
					7,0	14,0	3,0
Kubus modifikasi	2	Acak	6,5	7,5	-	5,0	*2
Hexapod	2	Acak	8,0	9,5	5,0	7,0	*2
Tribar	1	Seragam	12,0	15,0	7,5	9,5	*2
Batu pecah (K_{RR}) (graded angular)	Acak	2,2	2,5	-	-	-	-

(Sumber : SPM, 1984)

Catatan :

- n = Jumlah susunan butir batu dalam lapis lindung
- *1 = Penggunaan n = 1 tidak disarankan untuk gelombang pecah
- *2 = Sampai ada ketentuan lebih lanjut tentang nilai K_D , penggunaan dibatasi pada kemiringan 1:1.5 sampai 1:3
- *3 = Batu ditempatkan dengan sumbu panjangnya tegak lurus permukaan bangunan

2.2.10 Lebar Puncak *Breakwater*

$$B = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.40)$$

Dimana :

- B = Lebar puncak pemecah gelombang (m)
- n = Jumlah *armor* unit pada bidang permukaan penampang *breakwater*
- k_{Δ} = Koefisien porositas (**Tabel 2.7**)
- W = Berat dari *armor* unit (ton)
- γ_r = Berat jenis batu pelindung

Tabel 2.7 Koefisien Jumlah Lapis Material

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (k_{Δ})	Porositas P(%)
Batu alam (halus)	2	random (acak)	1,02	38
Batu alam (kasar)	2	random (acak)	1,15	37
Batu alam (kasar)	>3	random (acak)	1,10	40
Kubus	2	random (acak)	1,10	47
Tetrapod	2	random (acak)	1,04	50

Batu Pelindung	n	Penempatan	Koef. Lapis (kΔ)	Porositas P(%)
Quadripod	2	random (acak)	0,95	49
Hexapod	2	random (acak)	1,15	47
Tribard	2	random (acak)	1,02	54
Dolos	2	random (acak)	1,00	63
Tribar	2	seragam	1,13	47
Batu alam	1	random (acak)		37

(Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999)

2.2.11 Tebal Lapisan *Breakwater*

$$t = n \cdot k_{\Delta} \cdot \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.41)$$

Dimana :

- T = Tebal puncak
- n = Jumlah *armor* unit pada tiap lapisan
- W = Berat dari *armor* unit (ton)
- kΔ = Koefisien porositas : 1,02 (batu alam halus) dan 1,15 (batu alam kasar)
- γ_r = Berat jenis batu pelindung

2.2.12 Jumlah *Armor* Unit

$$N = A \cdot n \cdot k_{\Delta} \cdot \left(1 - \frac{P}{100} \right) \cdot \left(\frac{\gamma_r}{w} \right)^{\frac{2}{3}} \quad (2.42)$$

Dimana :

- N = Porositas dari lapisan permukaan dalam desimal
- A = Luas permukaan
- n = Jumlah lapis material
- W = Berat dari material
- kΔ = Koefisien lapis material
- P = Porositas dari lapis pelindung
- γ_r = Berat jenis batu pelindung

2.2.13 Geotextile Tube

Geotextile tube adalah produk geotextile yang nantinya akan diisi dengan material *grouting* yang dapat berupa pasir maupun mortar (**Gambar 2.18**). Dua lapis geotextile woven berkekuatan tinggi disatukan secara internal pada titik tertentu yang membentuk ruang untuk diisi.

Perhitungan kebutuhan geotextile tube dibuat seperti perhitungan berat lapis lindung material batu. Berat minimal masing-masing geotextile tube agar dapat menahan gelombang yang datang dihitung dengan rumus Hudson (1959).

$$W = \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \quad (2.43)$$

$$S_r = \frac{\gamma_r}{\gamma_{\alpha}} \quad (2.44)$$

Dimana :

W	=	Berat pelindung
γ_r	=	Berat jenis pelindung
γ_a	=	Berat jenis air laut
θ	=	Sudut kemiringan
K_D	=	Koefisien stabilitas

Koefisien stabilitas (K_D) dan nilai $\cot\theta$ dapat dilihat berdasarkan **Tabel 2.6**.

Struktur geotextile tube yang berbentuk seperti silinder atau tabung diisi 100% maka diperoleh h_G dan I_G yang sama dan bertindak sebagai jari-jari tabung. Perhitungan dimensi geotextile tube menggunakan persamaan berikut :

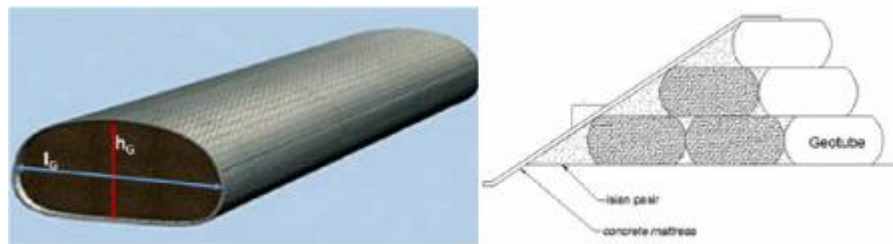
$$I_G = \frac{\pi d}{2} e^{0,45 F_F} \quad (2.45)$$

$$h_G = F_f \times d^F \quad (2.46)$$

Dimana :

F_F = Fill Factor

Fill Factor yang biasa digunakan dalam perencanaan sebesar 60%-80%.



Gambar 2.18 Ilustrasi Geotextile Tube
(Sumber : Sari, 2017)

2.2.14 Pengertian Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpatikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong di antara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1995).

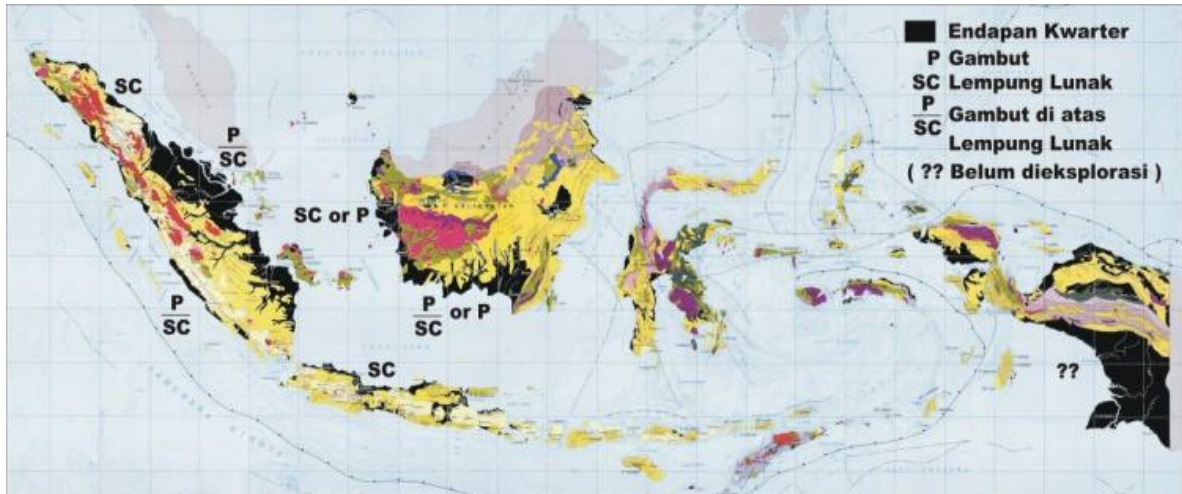
2.2.15 Tanah Lunak

Tanah lunak dibagi menjadi 2 (dua) tipe, yaitu lempung lunak (*soft clay*) dan gambut (*peat*). Tanah lunak menempati area >20 juta hektar atau >10% dari tanah daratan di Indonesia (Braja. M. Das, 1995). Karakteristik tanah lempung lunak (*soft clay*) adalah sebagai berikut :

1. Daya dukung relatif rendah
2. Pemampatan relatif besar dan berlangsung relatif lama.

Pembangunan konstruksi bangunan di atas tanah lempung lunak (*soft clay*) dapat menyebabkan beberapa permasalahan, antara lain sebagai berikut :

1. Beban bangunan yang mampu dipikul oleh tanah dasar relatif terbatas.
2. Bangunan akan mengalami penurunan yang relatif besar dan berlangsung relatif lama
3. Bangunan di sekitar lokasi pembangunan akan berpotensi mengalami gangguan.



Gambar 2.19 Sebaran Lokasi Lapisan Tanah Lunak di Indonesia
(Sumber : Panduan Geoteknik 1, 2002)

Penyebaran tanah lunak di Indonesia yang didominasi oleh lempung lunak (*soft clay*) menjadi tantangan utama dalam pembangunan infrastruktur di berbagai wilayah. Seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.19**, Kabupaten Lamongan merupakan salah satu wilayah yang memiliki karakteristik tanah lunak yang menjadi ciri khas kondisi geoteknik di Indonesia. Dan pada **Tabel 2.8** menunjukkan konsistensi tanah berdasarkan N-SPT dan q_c .

Tabel 2.8 Konsistensi Tanah Berdasarkan N-SPT dan q_c

Konsistensi Tanah Kohesif	Nilai SPT	Nilai Conus (q_c)	
		kg/cm ²	kPa
Sangat lunak (<i>very soft</i>)	0 - 2,5	0 - 10	0 - 1000
Lunak (<i>soft</i>)	2,5 - 5,0	10 - 20	1000 - 2000
Menengah (<i>medium</i>)	5,0 - 10	5.0 - 10	2000 - 4000
Kaku (<i>stiff</i>)	10 - 20	10 - 20	4000 - 7500
Sangat Kaku (<i>very stiff</i>)	20 - 40	20 - 40	7500 - 4000
Keras (<i>hard</i>)	> 40	> 40	> 15000

(Sumber : Mochtar, 2012)

2.2.16 Analisa Parameter Tanah

2.2.16.1 Pembuatan Statigrafi

Stratigrafi tanah digunakan untuk mengetahui kondisi tanah dasar. Stratigrafi dibuat berdasarkan hasil analisa nilai SPT dan Sondir. Nilai-nilai SPT tersebut kemudian diinterpretasikan untuk menggambarkan lapisan-lapisan tanah alami yang ada, yang kemudian divisualisasikan dalam bentuk gambar. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses pengamatan dan analisa lebih lanjut.

2.2.16.2 Korelasi Data Tanah

Jika data tanah yang dibutuhkan belum lengkap dapat menggunakan tabel korelasi sebagai alternatif data yang belum lengkap. Parameter-parameter tanah yang menjadi dasar dalam pemodelan dapat diperoleh melalui hubungan korelasi antara nilai N-SPT dengan

berbagai karakteristik tanah, seperti kuat geser, kekakuan, berat isi tanah, serta parameter lainnya. Rumus-rumus yang digunakan dalam korelasi ini dikembangkan berdasarkan hubungan umum yang telah teruji dan sesuai dengan kondisi tanah di lapangan. **Tabel 2.9** menunjukkan korelasi berdasarkan nilai γ dan hubungan koefisien konsolidasi dan batas cair ditunjukkan pada **Gambar 2.20**.

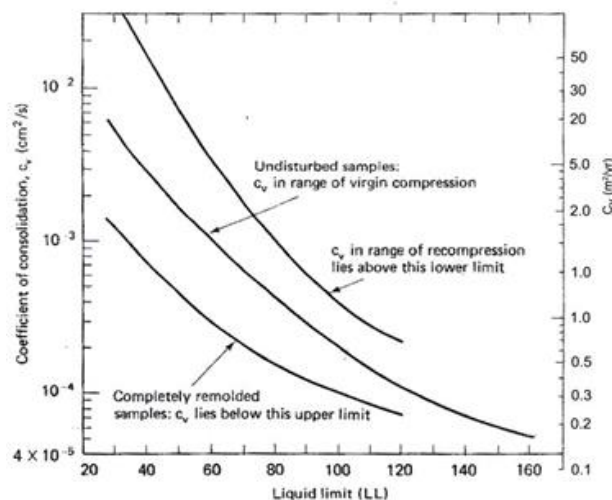
Tabel 2.9 Korelasi Berdasarkan Nilai γ

Sifat Tanah	γ_d		e	n	W_{sat}	γ_{sat}	K			C_v		σ		$m_v = 1/E$		
	g/cm ³	lb cb ft			%	g/cm ³	cm/s	ft/year	lugeon	cm ² /s	ft ² /year	bars	psi	cm ² /kg	ft ² /ton	
Silt, Clay	↑ lunak	0,5	31,25	4,40	0,80	163,0	1,31	10 ⁻⁹	1,03 x 10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	0,01	0,142	100	97,6	
		0,6	37,50	3,50	0,78	129,6	1,38					0,05	0,71	20	19,5	
		0,7	43,75	2,86	0,74	105,8	1,44	10 ⁻⁸	1,03 x 10 ⁻²	10 ⁻³	1 x 10 ⁻⁴	3,4				
		0,8	50,00	2,38	0,70	88,0	1,50				2 x 10 ⁻⁴	6,8	0,1	1,42	10	9,76
		0,9	56,25	2,00	0,67	74,1	1,57	10 ⁻⁷	1,03 x 10 ⁻¹	10 ⁻²	3 x 10 ⁻⁴	10,1	0,5	7,05	2	1,95
	rata-rata ←										4 x 10 ⁻⁴	11,1	1	14,2	1	0,976
		1,0	62,50	1,70	0,63	63,0	1,63	1 x 10 ⁻⁶	1,03	10 ⁻¹	5 x 10 ⁻⁴	16,9	2	28,4	0,5	0,488
		1,1	68,75	1,45	0,59	53,9	1,69	2 x 10 ⁻⁶	2,06		6 x 10 ⁻⁴	20,3	3	42,6	0,33	0,325
		1,2	75,00	1,25	0,56	46,3	1,76	3 x 10 ⁻⁶	3,10		7 x 10 ⁻⁴	23,6	4	56,9	0,25	0,244
		1,3	81,25	1,08	0,52	39,9	1,82	4 x 10 ⁻⁶	4,13		8 x 10 ⁻⁴	27,0	5	71	0,20	0,195
Gravel, Sand	↑ sand	1,4	87,50	0,93	0,48	34,4	1,88	5 x 10 ⁻⁶	5,17		9 x 10 ⁻⁴	30,4	6	85,3	0,17	0,163
		1,5	93,75	0,80	0,44	29,6	1,94	6 x 10 ⁻⁶	6,20		10 ⁻³	33,8 x 10 ⁻⁴	7	99,5	0,14	0,144
		1,6	100,00	0,69	0,41	25,5	2,04	7 x 10 ⁻⁶	7,24				8	113	0,12	0,122
		1,7	106,25	0,59	0,37	21,8	2,07	8 x 10 ⁻⁶	8,26				9	127	0,11	0,0976
		1,8	112,50	0,50	0,33	18,5	2,13	9 x 10 ⁻⁶	9,30				10	142	0,10	0,0976
	gravel ←	1,9	118,75	0,42	0,30	15,6	2,20	10 ⁻⁵	10,33	1			11	156	0,091	0,0887
								10 ⁻⁴	1,03 x 10 ²	10			12	170	0,083	0,0815
		2,0	125,00	0,35	0,26	13,0	2,26	10 ⁻³	1,03 x 10 ³	100			13	185	0,077	0,075
		2,1	131,00	0,29	0,22	10,6	2,32	10 ⁻²	1,03 x 10 ⁴	1000			14	199	0,073	0,07
		2,2	137,50	0,23	0,19	8,4	2,39	10 ⁻¹	1,03 x 10 ⁵	10000			15	213	0,064	0,065
	2,3	143,75	0,17	0,15	6,4	2,45						20	284	0,050	0,0488	
	2,4	150,00	0,13	0,11	4,63	2,51						50	710	0,020	0,0195	
	2,5	156,25	0,08	0,074	2,96	2,57						100	1420	0,010	9,76 x 10 ⁻³	
	2,6	162,50	0,038	0,037	1,42	2,64						500	7100	0,002	1,95 x 10 ⁻³	
	2,7	168,75	0,000	0,000	0,00	2,70						1000	14200	0,001	9,76 x 10 ⁻⁴	

(Sumber : Biarez, 1976)

Untuk indeks pemuaian (*swell index*, C_s) lebih kecil dari biasanya dapat ditentukan di laboratorium pada umumnya :

$$C_s \approx \frac{1}{5} \text{ sampai } \frac{1}{10} C_c$$



Gambar 2.20 Hubungan Koefisien Konsolidasi (C_v) dan Batas Cair (LL)
(Sumber : After US. Navy, 1971)

Sedangkan untuk parameter *cohesion undrained* (C_u), menurut Bowles (1988) dapat ditentukan dengan persamaan berikut :

$$C_u = 0,06 \text{ NSPT (kg/cm}^2\text{)} \quad (2.47)$$

Berdasarkan AASHTO (1998), terdapat korelasi nilai *poisson's ratio* yang dapat diperkirakan berdasarkan konsistensi tanah, seperti ditunjukkan pada **Tabel 2.10**. Selain itu, **Tabel 2.11** juga menyajikan korelasi nilai modulus elastisitas tanah berdasarkan tingkat konsistensinya.

Tabel 2.10 Korelasi *Poisson's Ratio* berdasarkan Konsistensi Tanah

Jenis Tanah	Poisson Ratio ν
Pasir Lepas (<i>Loose Sand</i>)	0,2 - 0,4
Pasir Medium (<i>Medium Dense Sand</i>)	0,25 - 0,4
Pasir Padat (<i>Dense Sand</i>)	0,3 - 0,45
Pasir Kelanauan (<i>Silty Sand</i>)	0,2 - 0,4
Pasir dan Kerikil (<i>Sand and Gravel</i>)	0,15 - 0,35
Lempung Lunak (<i>Soft Clay</i>)	
Lempung Sedang (<i>Medium Clay</i>)	0,2 - 0,5
Lempung Kaku (<i>Stiff Clay</i>)	

(Sumber : AASHTO, 1998)

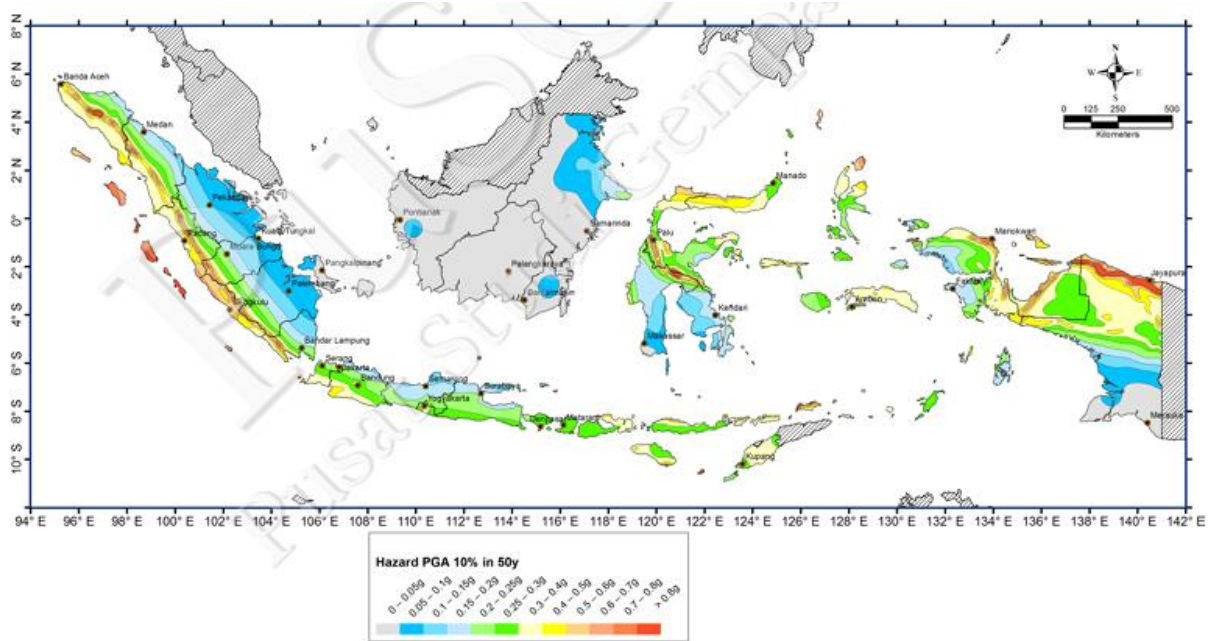
Tabel 2.11 Korelasi Modulus Elastisitas berdasarkan Konsistensi Tanah

Jenis Tanah	Modulus Elastis, E (kN/m ²)
Pasir Lepas (<i>Loose Sand</i>)	10500 - 24000
Pasir Medium (<i>Medium Dense Sand</i>)	17250 - 27600
Pasir Padat (<i>Dense Sand</i>)	34500 - 55200
Pasir Kelanauan (<i>Silty Sand</i>)	10350 - 17250
Pasir dan Kerikil (<i>Sand and Gravel</i>)	69000 - 172500
Lempung Lunak (<i>Soft Clay</i>)	4100 - 20700
Lempung Sedang (<i>Medium Clay</i>)	20700 - 41400
Lempung Kaku (<i>Stiff Clay</i>)	41400 - 96600

(Sumber : AASHTO, 1998)

2.2.17 Data Gempa

Dalam perencanaan struktur *breakwater* di Lamongan *Shorebase*, pengaruh gempa bumi menjadi salah satu pertimbangan utama, terutama karena struktur ini termasuk dalam kategori infrastruktur strategis yang harus tetap berfungsi dan tidak mengalami keruntuhan pasca kejadian gempa. Oleh karena itu, analisis gempa perlu dilakukan dengan mengacu pada Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 (ISBN 978-602-5489-01-3). Untuk wilayah Lamongan, nilai percepatan respons spektral gempa dengan kemungkinan terlampaui 10% dalam 50 tahun berada pada kisaran 0,15 hingga 0,2 g. Dapat dilihat pada **Gambar 2.21**.



Gambar 2.21 Peta Percepatan Puncak di Batuan Dasar (SB) untuk Probabilitas Terlampaui 10% dalam 50 Tahun
(Sumber : Pusat Studi Gempa Nasional, 2017)

2.2.18 Pemampatan (*Settlement*)

Pemampatan diakibatkan oleh penambahan beban di atas suatu permukaan tanah (Braja M.Das, 1988). Secara umum, penurunan (*settlement*) pada tanah yang disebabkan oleh pembebanan dapat dibagi menjadi tiga, yaitu :

1. Penurunan segera (*immediate settlement*), yang merupakan akibat dari deformasi elastis tanah kering, basah, dan jenuh air tanpa adanya perubahan kadar air.
2. Penurunan konsolidasi (*consolidation settlement*), yang merupakan hasil dari penurunan volume tanah jenuh air sebagai akibat dari keluarnya air yang menempati pori-pori tanah.
3. Penurunan sekunder (*secondary settlement*), yang merupakan penurunan yang terjadi setelah penurunan konsolidasi, terjadi sangat lama setelah beban mulai bekerja yaitu saat partikel tanah mengalami *creep*.

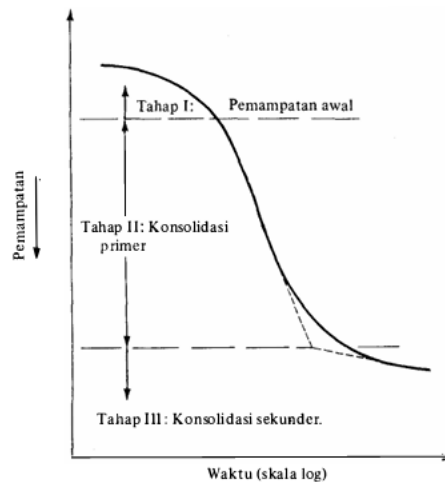
Dengan demikian, total penurunan (*settlement*) merupakan hasil penjumlahan dari tiga komponen utama menurut teori Terzaghi, yaitu :

$$S_t = S_i + S_c + S_s \quad (2.48)$$

Dimana :

- S_t = Total *settlement*
 S_i = *Immediate settlement*
 S_c = *Consolidation settlement*
 S_s = *Secondary settlement*

Agar lebih jelas, **Gambar 2.22** menunjukkan jenis-jenis pemampatan yang terjadi sebagai akibat dari penambahan beban tersebut.



Gambar 2.22 Grafik Waktu Pemampatan untuk Suatu Penambahan Beban
(Sumber : Das, 1988)

2.2.19 Penurunan Segera (*Immediate Settlement*)

Besarnya penurunan tanah segera (*immediate settlement*) pada kondisi jangka pendek (*short term*) dari suatu timbunan tanah di atas lapisan *compressible soil* dapat dihitung dengan menggunakan pendekatan oleh Biarez sebagai berikut :

$$S_i = q \cdot \sum_i \left(\frac{h_i}{E_i} \right) \quad (2.49)$$

Dimana :

- S_i = Besarnya *immediate settlement* (m)
- q = Tegangan pada permukaan tanah (kN/m^2)
- h_i = Tebal lapisan tanah yang ditinjau (m)
- E_i = Modulus oedometrik pada lapisan I (kN/m^2)

Korelasi antara modulus young dengan modulus oedometrik dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$E_i = E' \cdot \left(1 - \frac{2\mu^2}{1 - \mu} \right) \quad (2.50)$$

Dimana :

- E = Nilai modulus young (kN/m^2)
- E' = Nilai modulus oedometrik
- μ = Nilai koefisien poisson

2.2.20 Penurunan Konsolidasi (*consolidation settlement*)

Bilamana suatu lapisan tanah lunak diberi penambahan beban, maka angka tekanan air pori akan naik secara mendadak. Jika tanah lempung jenuh air yang mampu mampat (*compressible*) diberi penambahan tegangan, maka penurunan (*settlement*) akan terjadi dengan segera. Koefisien rembesan lempung sangat kecil jika dibandingkan dengan koefisien rembesan pasir. Sehingga penambahan tekanan air pori yang disebabkan oleh pembebanan akan berkurang dengan waktu yang sangat lama. Supaya hal tersebut dapat berlangsung lebih cepat maka perlu dilakukan perbaikan tanah (Braja M.Das, 1988). Ada dua jenis penurunan konsolidasi, yaitu konsolidasi normal (*Normally Consolidated*, NC) dan konsolidasi berlebih (*Over Consolidated*, OC).

Prediksi pemampatan berdasarkan data laboratorium dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\sigma'_0 = (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) \times \frac{1}{2} \text{ tebal lapisan H} \quad (2.51)$$

$$\sigma_c = \sigma'_0 + \Delta\sigma \text{ (akibat fluktuasi muka air tanah sebesar)} \quad (2.52)$$

$$\text{Over Consolidated Ratio} = \text{OCR} = \frac{\sigma_c}{\sigma'_0}$$

Jika $\text{OCR} = 1$ maka tanah tersebut termasuk *normally consolidated* (NC Soil), sedangkan jika $\text{OCR} > 1$ maka tanah tersebut termasuk *over consolidated* (OC Soil).

Tanah *Normally Consolidated* (NC Soil)

$$S_{ci} = H_i \left[\frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right] \quad (2.53)$$

Tanah *Over Consolidated* (OC Soil)

Jika $(\sigma'_0 + \Delta\sigma) \leq \sigma_c$

$$S_{ci} = H_i \left[\frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma'_0} \right] \quad (2.54)$$

Jika $(\sigma'_0 + \Delta\sigma) \geq \sigma_c$

$$S_{ci} = H_i \left[\frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right] \quad (2.55)$$

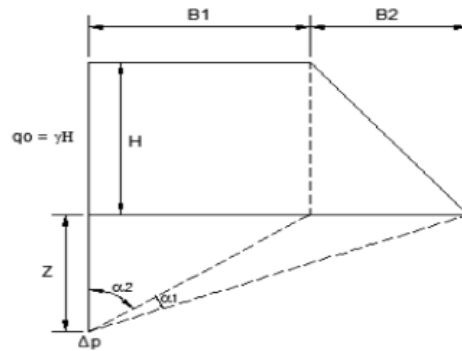
Besar penambahan beban akibat beban *embankment* (timbunan bentuk trapesium) dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$\Delta\sigma = 2 \times I \times q \quad (2.56)$$

Dimana :

S_{ci}	=	Besar pemampatan lapisan tanah yang ditinjau, lapisan ke i
H_i	=	Tebal lapisan tanah ke i
e_0	=	Angka pori dari lapisan tanah ke i
C_c	=	<i>Compression Index</i> dari lapisan tanah ke i
C_s	=	<i>Swelling Index</i> dari lapisan tanah ke i
σ'_0	=	Tegangan tanah vertikal efektif di suatu titik di tengah-tengah lapisan ke i akibat beban tanah sendiri di atas titik tersebut di lapangan (<i>effective overburden pressure</i>)
σ_c	=	Tegangan prakonsolidasi efektif di masa lampau yang lebih besar daripada σ'_0 (<i>effective past overburden pressure</i>)
$\Delta\sigma$	=	Penambahan tegangan vertikal di titik yang ditinjau (di tengah lapisan ke i) akibat beban timbunan yang baru
I	=	<i>Influence Factor</i> , dapat dilihat pada Gambar 2.24
q	=	Tegangan vertikal efektif di permukaan tanah

Nilai *influence factor* (I) juga dapat dicari berdasarkan **Gambar 2.23**



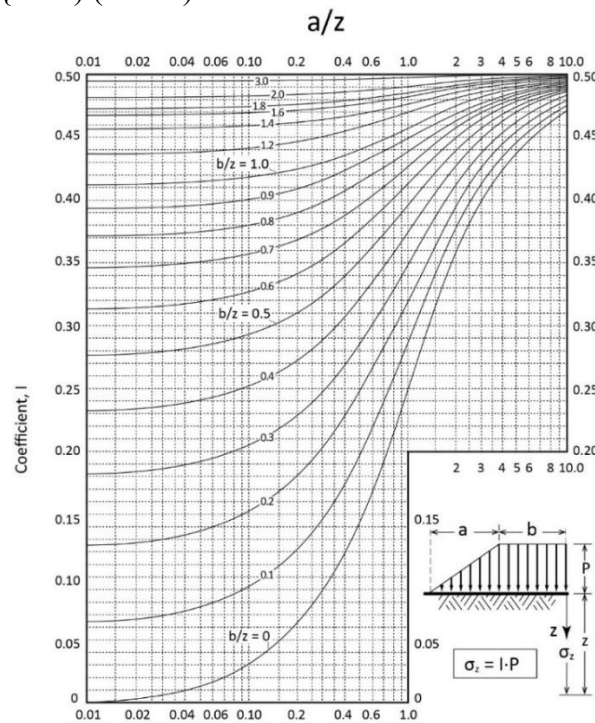
Gambar 2.23 Diagram Tegangan Tanah Akibat Timbunan
(Sumber : Mochtar, 2012)

Dengan persamaan :

$$I = \frac{B1 + B2}{B2} \times (\alpha1 + \alpha2) - \frac{B1}{B2} \times (\alpha2) \text{ (radian)} \quad (2.57)$$

Dimana :

- B1 = Lebar setengah timbunan
- B2 = Panjang proyeksi horizontal kemiringan timbunan
- $\alpha1 = \tan^{-1} \{ (B1+B2)/z \} - \tan^{-1} (B1/z)$ (radian)
- $\alpha2 = \tan^{-1} \{ B1/z \}$ (radian)



Gambar 2.24 Grafik *Influence Factor*
(Sumber : NAVFAC DM-7, 1970)

Pada **Gambar 2.24** terdapat nilai perbandingan terhadap kedalaman tanah yang ditinjau (z), yaitu a/z dan b/z. Dimana nilai a adalah nilai lebar kemiringan bangunan, sedangkan nilai b adalah nilai lebar bangunan.

2.2.20.1 Perhitungan Waktu Pemampatan Tanah Lunak secara Alami

Perhitungan waktu pemampatan tanah lunak secara alami tidak efektif untuk mengeluarkan air yang terperangkap di dalam pori-pori tanah dengan cepat (**Gambar 2.25**). Waktu konsolidasi menurut Terzaghi dalam Das (1988) dirumuskan sebagai berikut :

$$t = \frac{T_v \cdot H_{dr}^2}{C_v} \quad (2.58)$$

Dimana :

- t = Waktu konsolidasi
 H_{dr} = Jarak terjauh air pori di lapisan tanah untuk mengalir ke luar
 C_v = Koefisien konsolidasi akibat aliran air pori arah vertikal

Parameter tanah untuk lamanya pemampatan konsolidasi

a. Faktor waktu (T_v)

Faktor waktu adalah merupakan fungsi langsung dari derajat konsolidasi ($U\%$) dan bentuk dari distribusi tegangan air pori (u) di dalam tanah (aliran satu arah atau dua arah). Apabila distribusi tegangan air porinya merata (homogen) maka hubungan T_v dan U adalah (Tabel 2.12).

Tabel 2.12 Korelasi antara T_v dan U

$U\%$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
T_v	0,008	0,031	0,071	0,126	0,197	0,287	0,403	0,567	0,848	∞

b. Koefisien konsolidasi vertikal (C_v)

Koefisien konsolidasi vertikal C_v diperoleh dari grafik korelasi antara besarnya pemampatan tanah dengan waktu (t). Berikut adalah persamaan yang dipakai :

$$C_v = \frac{0,197 \cdot (H \times 2)^2}{t_{50}} \quad (2.59)$$

Apabila lapisan tanahnya heterogen dan mempunyai beberapa nilai C_v , maka harga C_v yang dipakai adalah nilai C_v gabungan (ABSI, 1965)

$$C_{vgab} = \frac{(H_1 + H_2 + \dots + H_n)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \dots + \frac{H_n}{\sqrt{C_{vn}}} \right)^2} \quad (2.60)$$

Dimana :

- H = Tebal lapisan *compressible*
 H_i = Tebal lapisan *compressible* ke-i
 C_{vi} = Koefisien vertikal lapisan ke-i

c. Panjang aliran *drainage* H (H_{dr})

Apabila tebal lapisan lempung (*compressible soil*) kita sebut H , maka panjang aliran *drainage* H_{dr} adalah :

- $H_{dr} = \frac{1}{2} H$, bila arah aliran air selama proses konsolidasi adalah dua arah (ke atas dan ke bawah)
 $H_{dr} = H$, bila arah aliran *drainage* satu arah (ke atas atau ke bawah). Hal ini terjadi bila di atas atau biasanya di bawah lapisan lempung tersebut merupakan lapisan yang kedap air (*impermeable*)

Untuk menentukan derajat konsolidasi akibat aliran air pori secara vertikal, digunakan persamaan berikut :

Untuk U_v antara 0 s/d 60%

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \quad (2.61)$$

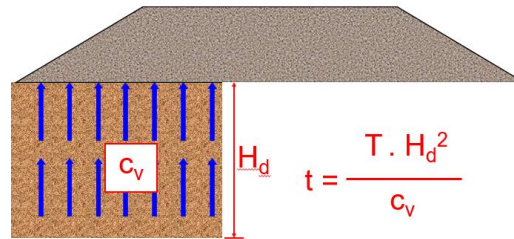
Untuk $U_v > 60\%$

$$U_v = (100 - 10^a)\% \quad (2.62)$$

U_v = Derajat konsolidasi arah vertikal
 T_v = *Time factor*
 π = 3,14

$$a = \frac{1,781 - T_v}{0,933} \quad (2.63)$$

KONSOLIDASI ALAMI TANPA PVD



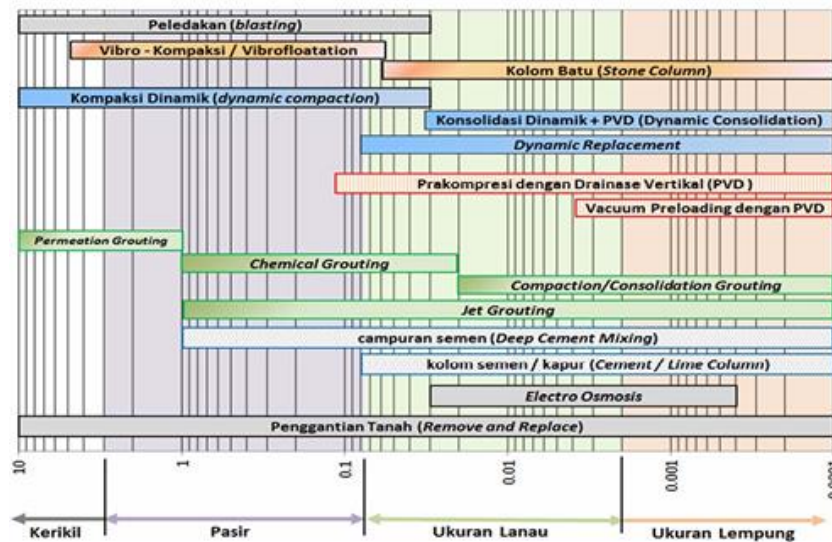
Gambar 2.25 Konsolidasi Alami Tanpa PVD
 (Sumber : Dokumen PT. Teknindo Geosistem Unggul)

2.2.21 Penanganan Tanah Lunak

Metode yang dipilih untuk penanganan tanah lunak dalam melaksanakan perbaikan tanah harus memenuhi persyaratan dalam perancangan. **Gambar 2.26** menunjukkan berbagai jenis metode perbaikan tanah dan kaitannya dengan jenis tanah berdasarkan ukuran butiran tanah (kerikil, pasir, lanau, dan lempung). Berikut adalah penjelasan masing-masing metode perbaikan tanah sesuai dengan rentang penggunaannya :

1. Metode untuk Tanah Berbutir Kasar (kerikil dan Pasir) :
 - Peledakan (*Blasting*) digunakan untuk mengubah sifat tanah dalam skala besar, biasanya pada tanah kerikil hingga pasir.
 - Vibro-Kompaksi (*Vibroflotation*) menggunakan getaran untuk memadatkan tanah berbutir kasar seperti pasir.
 - Kompaksi Dinamik (*Dynamic Compaction*) digunakan untuk pemadatan tanah dengan menjatuhkan beban berat, cocok untuk kerikil dan pasir.
2. Metode untuk Tanah Berbutir Halus hingga Campuran (Lanau dan Lempung) :
 - Kolom Batu (*Stone Column*) digunakan untuk meningkatkan daya dukung tanah dengan memasukkan material batu ke dalam tanah.
 - Konsolidasi Dinamik + PVD (*Dynamic Consolidation*) menggunakan drainase vertikal untuk mempercepat proses pemadatan tanah lunak.
 - Prakompresi dengan Drainase Vertikal (PVD) menggunakan drainase vertikal untuk mempercepat proses pemadatan tanah lunak.
 - *Vacuum Preloading* dengan PVD menggunakan vakum untuk menciptakan tekanan negatif yang membantu proses konsolidasi tanah.
3. Metode Injeksi dan Campuran :
 - *Permeation Grouting* memasukkan bahan *grouting* ke dalam pori-pori tanah untuk meningkatkan kekuatan tanah.
 - *Chemical Grouting* menggunakan bahan kimia untuk mengikat partikel tanah, cocok untuk tanah lanau hingga pasir
 - *Jet Grouting* merupakan metode perbaikan tanah menggunakan tekanan tinggi untuk mencampur tanah dengan semen, cocok untuk tanah lempung hingga pasir.

- Campuran Semen (*Deep Cement Mixing*) merupakan proses pencampuran tanah dengan semen untuk meningkatkan kekuatan tanah lempung.
4. Metode Penggantian Tanah :
- Penggantian Tanah (*Remove and Replace*) merupakan metode perbaikan tanah dengan cara tanah lunak diganti dengan material yang lebih stabil, seperti kerikil atau pasir.
5. Metode Lainnya :
- *Compaction/Consolidation Grouting* merupakan metode perbaikan tanah dengan injeksi material ke dalam tanah untuk meningkatkan kepadatan tanah.
 - *Electro Osmosis* menggunakan aliran listrik untuk mengalirkan air keluar dari tanah lunak, umumnya untuk tanah lempung.



Gambar 2.26 Jenis-Jenis Metode Perbaikan Tanah

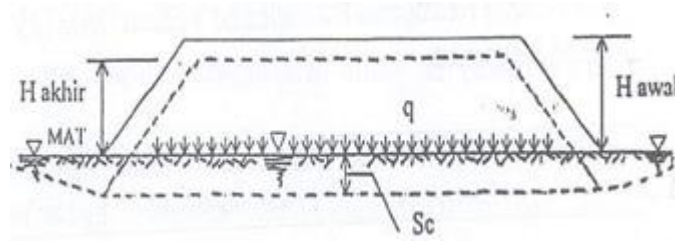
(Sumber : SNI 8460:2017 : Persyaratan Perancangan Geoteknik)

2.2.22 Metode *Preloading*

Pada prinsipnya, metode perbaikan tanah dengan teknik *preloading* bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dukung dan kekuatan geser tanah, serta mengurangi penurunan akibat pemampatan sebelum konstruksi infrastruktur dilakukan di atasnya. Dengan demikian, setelah infrastruktur selesai dibangun dan digunakan sesuai umur rencana, tidak akan terjadi lagi penurunan tambahan yang dapat menyebabkan kerusakan. *Preloading* sendiri merupakan metode stabilisasi tanah lunak yang dilakukan dengan menempatkan timbunan sementara di area yang akan diperkuat, dengan berat yang mendekati atau dengan beban struktur permanen di masa depan. Tekanan dari timbunan tersebut menyebabkan konsolidasi tanah, di mana air pori terdorong keluar dari lapisan tanah, sehingga tanah menjadi lebih padat dan stabil.

2.2.23 Hubungan Tinggi Timbunan Awal (H_{inisial}), Tinggi Timbunan Akhir (H_{final}), dan Penurunan (S_c)

Suatu timbunan setelah mengalami penurunan akan mengalami perubahan “berat” karena selama terjadi penurunan sebagian tanah timbunan “tenggelam” berada di bawah muka air tanah seperti pada **Gambar 2.27**.



Gambar 2.27 Kedudukan Timbunan Saat Mengalami Penurunan
(Sumber : Mochtar, 2000)

Mula-mula :

$$q_{awal} = H_{inisial} \times \gamma_{timbunan}$$

Setelah mengalami konsolidasi S_c :

$$H_{final} = H_{inisial} - S_c$$

$$q_{akhir} = H_{final} \times \gamma_{timbunan} + S_c (\gamma_{timbunan} - \gamma_{water})$$

$$q_{akhir} = (H_{inisial} - S_c) \gamma_{timbunan} + S_c (\gamma_{sat.timbunan} - 1)$$

karena dianggap $\gamma_{timbunan} = \gamma_{sat.timbunan}$ maka

$$q_{akhir} = H_{inisial} \times \gamma_{timbunan} - S_c$$

Jadi, $q_{akhir} < q_{awal}$

Mencari Harga S_c :

1. Tentukan suatu harga q = konstan tertentu, misal : $q = 10 \text{ ton/m}^2$
2. Dengan asumsi q tersebut dan bentuk timbunan yang dikehendaki cari penurunan konsolidasi, misalnya didapatkan penurunan konsolidasi = S_{ci}
3. Cari $H_{inisial}$ dan H_{final} akibat q tersebut dengan persamaan sebagai berikut :

$$q_{akhir} = q = H_{inisial} \times \gamma_{timbunan} - S_c$$

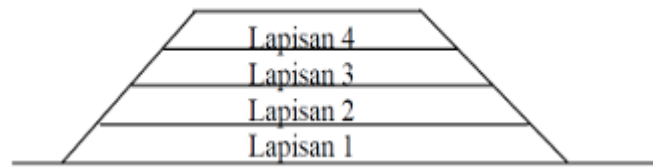
$$\text{Jadi, } H_{inisial} = \frac{q_i + S_{ci}}{\gamma_{timbunan}} \quad (2.64)$$

$$H_{final} = H_{inisial} - S_{ci} \quad (2.65)$$

4. Ulangi langkah-langkah di atas untuk $q = 20 \text{ ton/m}^2$; 30 ton/m^2 ; 40 ton/m^2 ; dst. Dapatkan juga harga-harga S_c , $H_{inisial}$, dan H_{final} yang bersesuaian.
5. Buat tabel yang berisi q_i , S_{ci} , $H_{inisial}$, dan H_{final} .
6. Buat grafik hubungan antara $H_{inisial}$ dengan H_{final} . Buat pula grafik hubungan antara *settlement* dengan H_{final} .
7. Dari grafik hubungan antara $H_{inisial}$ dengan H_{final} . Dapat dicari berapa saja ketinggian $H_{inisial}$ untuk H_{final} yang telah direncanakan.

2.2.24 Pembebanan Bertahap

Pada perencanaan ini akan digunakan *preloading* jenis *surcharge*, *preloading surcharge* dimana tanah dasar akan dibebani dengan beban timbunan yaitu dengan menggunakan material batu struktur *breakwater*. Dikarenakan pada saat pelaksanaan penimbunan tidak bisa langsung tinggi diperlukan adanya penurunan yang telah direncanakan sehingga diperlukannya penimbunan bertahap. Skema penimbunan bertahap dapat dilihat pada **Gambar 2.28**.



Gambar 2.28 Penimbunan Bertahap
(Sumber : Mochtar, 2012)

Untuk pembebanan secara bertahap, besar beban setiap tahapan Δp . Adapun persamaan yang digunakan sebagai berikut :

1. Apabila $\sigma'_0 + \Delta p_1 \leq P_c$:

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{P'_0 + \Delta p_1}{P'_0} \quad (2.66)$$

2. Apabila $P_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 > \sigma_c$:

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{P_c}{P'_0 + \Delta p_1} + \frac{C_c H}{1 + e_0} \log \frac{P'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2}{P_c} \quad (2.67)$$

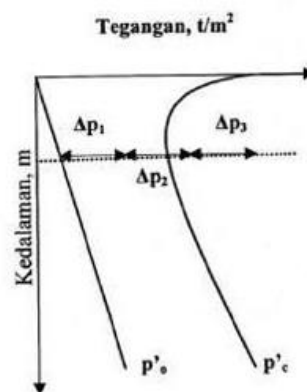
3. Apabila $\sigma'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 > \sigma_c$:

$$S_c = \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{P'_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{P_c + \Delta p_1 + \Delta p_2} \quad (2.68)$$

Dimana :

- C_c = Indeks pemampatan (*compression index*)
- C_s = Indeks pemuaian (*swelling index*)
- P'_0 = Tegangan efektif *overburden*
- Δp = Penambahan tekanan vertikal
- e_0 = Angka pori

Untuk lebih jelasnya, perubahan tegangan akibat penambahan beban bertahap dapat dilihat pada **Gambar 2.29**. Selanjutnya, untuk setiap kenaikan tegangan (Δp) digunakan.



Gambar 2.29 Sketsa Diagram Penambahan Tegangan Akibat Beban Bertahap
(Sumber : Mochtar, 2012)

2.2.25 Kenaikan Daya Dukung Tanah Akibat Timbunan Bertahap

Sebagai dampak terjadinya konsolidasi pada suatu lapisan tanah, tanah tersebut menjadi lebih padat, yang mengakibatkan peningkatan kekuatan tanah seiring naiknya nilai C_u (*undrained shear strength*). Jika timbunan dilakukan secara bertahap, maka daya dukung tanah

akan meningkat secara bertahap. Misalnya, tinggi setiap tahap penimbunan adalah h_1, h_2, h_3 hingga h_n , dengan lama waktu masing-masing tahap adalah t_1, t_2, t_3 hingga t_n , serta derajat konsolidasi yang dicapai pada tiap tahap adalah U_1, U_2, U_3 hingga U_n . Maka, penambahan tegangan pada lapisan tanah akibat tiap tahap penimbunan berturut-turut adalah $\Delta p_1, \Delta p_2, \Delta p_3$, hingga Δp_n .

Penambahan tegangan akibat beban bertahap dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

Δp_1 (penambahan tegangan) akibat tahap penimbunan 1, dari 0 m s.d h_1 selama t_1 (derajat konsolidasi = U_1)

$$\Delta p_1 - U_1 = \left[\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} \right)^{U_1} \times \sigma'_0 \right] - \sigma'_0 \quad (2.69)$$

Δp_2 (penambahan tegangan) akibat tahap penimbunan 2, dari h_1 s.d h_2 selama t_2 (derajat konsolidasi = U_2)

$$\Delta p_2 - U_2 = \left[\left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)^{U_2} \times \sigma'_1 \right] - \sigma'_1 \quad (2.70)$$

Δp_3 (penambahan tegangan) akibat tahap penimbunan 3, dari h_2 s.d h_3 selama t_3 (derajat konsolidasi = U_3)

$$\Delta p_3 - U_3 = \left[\left(\frac{\sigma'_3}{\sigma'_2} \right)^{U_3} \times \sigma'_2 \right] - \sigma'_2 \quad (2.71)$$

Δp_n (penambahan tegangan) akibat tahap penimbunan n, dari h_3 s.d h_n selama t_n (derajat konsolidasi = U_n)

$$\Delta p_n - U_n = \left[\left(\frac{\sigma'_n}{\sigma'_{n-1}} \right)^{U_n} \times \sigma'_{n-1} \right] - \sigma'_{n-1} \quad (2.72)$$

Tegangan tanah yang baru dilapisan yang ditinjau adalah

$$\sigma'_{\text{baru}} = P_0' + \left[\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_0} \right)^{U_1} \times \sigma'_0 \right] - \sigma'_0 + \left[\left(\frac{\sigma'_2}{\sigma'_1} \right)^{U_2} \times \sigma'_1 \right] - \sigma'_1 + \dots \quad (2.73)$$

Harga C_u tanah saat tercapainya tinggi $H = h_n$ adalah

1. Untuk harga *Plasticity Index* (PI) < 120 %

$$C_u = 0,0737 + (0,1899 - 0,0016\text{PI}) \times \sigma_p' \quad (2.74)$$

2. Untuk harga *Plasticity Index* (PI) $\geq 120\%$

$$C_u = 0,0737 + (0,0454 - 0,00004\text{PI}) \times \sigma_p' \quad (2.75)$$

2.2.26 Load Ratio

Menurut SNI 8460:2017, beban total ekivalen dari sistem pembebanan hampa udara (dengan tambahan beban timbunan atau tidak) yang diaplikasikan ke tanah asli harus memenuhi kondisi berikut :

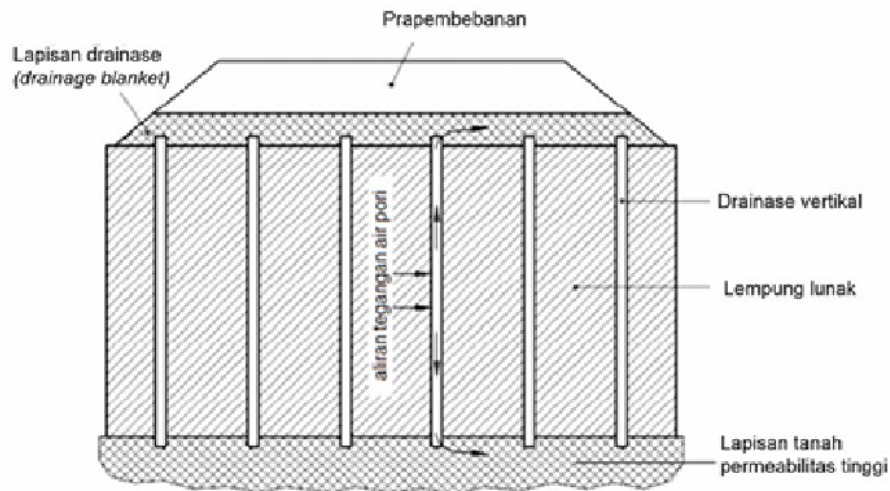
- $\geq 1,3$ kali beban yang direncanakan pada kondisi layan bila efek gaya angkat (*bouyancy effect*) yang diterima beban timbunan (bila ada) pada saat proses prapembebanan berlangsung tidak diperhitungkan.
- $\geq 1,2$ kali beban yang direncanakan pada kondisi layan bila efek gaya angkat (*bouyancy effect*) yang diterima beban timbunan (bila ada) pada saat proses prapembebanan berlangsung diperhitungkan.

2.2.27 Perbaikan Tanah Lunak dengan Menggunakan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) adalah metode perbaikan tanah yang efektif, terutama untuk jenis tanah seperti tanah lempung dan lempung kelanauan. Tanah-tanah ini memiliki karakteristik berupa butiran yang tidak rapat dan mengandung banyak air. Dalam konstruksinya, PVD terdiri dari dua komponen utama yaitu komponen *core* (inti) yang berperan sebagai saluran vertikal untuk mengalirkan air dari bawah ke atas, serta komponen *jacket* (filter) yang melindungi bagian inti sekaligus menyaring air agar tidak terkontaminasi material lain. Tujuan pemasangan PVD ini adalah untuk mempersingkat jalur aliran air, sehingga proses konsolidasi dapat berlangsung lebih cepat.

2.2.27.1 Kedalaman PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

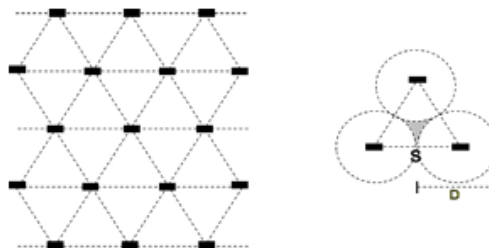
Menurut SNI 8460:2017, PVD dipasang hingga tanah keras atau tanah lempung teguh yang tidak lagi menimbulkan penurunan yang tidak dapat ditoleransi oleh struktur atau hingga kedalaman tanah lunak dimana tegangan pada level tersebut lebih kecil daripada 10% akibat tegangan akibat beban. Pada **Gambar 2.30** menunjukkan skema perbaikan tanah dengan PVD.



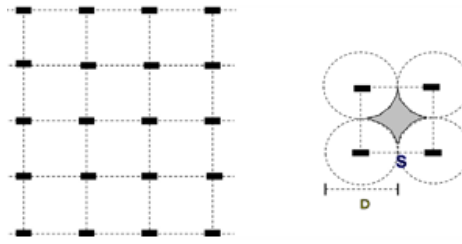
Gambar 2.30 Skema Perbaikan Tanah dengan PVD
(Sumber : SNI 8460:2017 : Persyaratan Perancangan Geoteknik)

2.2.27.2 Pola Pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*)

PVD dapat dipasang dengan dua pola yaitu setiempat dan segitiga. Pola segitiga (**Gambar 2.31**) memiliki efektifitas drainase yang lebih baik karena menciptakan area cakupan yang lebih menyeluruh dengan daerah tangkap titik PVD yang lain sehingga menyisakan daerah tak terdrainase kecil. Sebaliknya, pola segiempat (**Gambar 2.32**) menghasilkan daerah yang tak terdrainase yang lebih besar, sehingga proses konsolidasi menjadi kurang optimal.



Gambar 2.31 Pola Susunan PVD Segitiga
(Sumber : Mochtar, 2000)



Gambar 2.32 Pola Susunan PVD Segiempat
(Sumber : Mochtar, 2000)

Daerah tangkapan pola segitiga dapat dihitung dengan persamaan :

$$A_e = 1/4 \pi (1,05 \times S)^2 \quad (2.76)$$

Daerah tangkapan pola segiempat dapat dihitung dengan persamaan :

$$A_e = 1/4 \pi (1,13 \times S)^2 \quad (2.77)$$

2.2.27.3 Perhitungan Waktu Konsolidasi dengan PVD (Prefabricated Vertical Drain)

Ketebalan lapisan tanah lunak mengakibatkan waktu konsolidasi yang lama karena air pori membutuhkan waktu yang panjang untuk mengalir secara vertikal. Untuk mempercepat proses konsolidasi tersebut, diperlukan suatu metode *vertical drain*. Penerapan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) dipilih sebagai solusi teknis untuk mempercepat proses pengeluaran air pori dan penurunan tanah. Dan ditunjukkan pada **Gambar 2.34**.

Penentuan waktu konsolidasi didasarkan teori aliran pasir *vertical* menurut Barron (1948), menggunakan asumsi teori Terzaghi tentang konsolidasi linier satu dimensi. Penentuan waktu konsolidasi dari teori Barron (1948) adalah :

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot F(n) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (2.78)$$

Dimana :

- t = Waktu konsolidasi
- D = Diameter ekuivalen dari lingkaran tanah yang merupakan daerah pengaruh PVD (**Gambar 2.33**)
- Nilai D = 1,05 x s untuk pola susunan segitiga (**Gambar 2.31**)
- Nilai D = 1,13 x s untuk pola susunan segiempat (**Gambar 2.32**)
- C_h = Koefisien konsolidasi arah horizontal = 1 - 3 C_v

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - \left(\frac{3n^2 - 1}{4n^2} \right) \right] \quad (2.79)$$

Atau :

$$F(n) = \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \left[\ln(n) - 3/4 - \left(\frac{1}{4n^2} \right) \right] \quad (2.80)$$

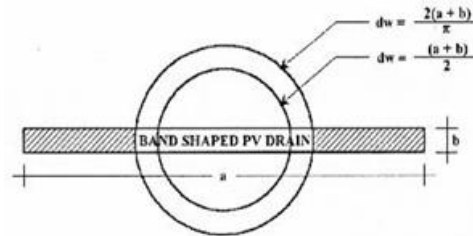
Pada umumnya $n > 20$ sehingga dapat dianggap

$$\frac{1}{n} = 0 \text{ dan } \left(\frac{n^2}{n^2 - 1^2} \right) \approx 1 \quad (2.81)$$

Jadi :

$$F(n) = \ln(n) - 3/4 \quad (2.82)$$

$$F(n) = \ln(D/dw) - 3/4 \quad (2.83)$$



Gambar 2.33 Equivalen Diamater (dw) untuk PVD
(Sumber : Mochtar, 2000)

Untuk keperluan analisis konsolidasi tanah dengan penggunaan PVD, dibutuhkan nilai diameter ekuivalen (dw) dari bentuk pita PVD. Seperti diujukkan pada **Gambar 2.33**.

Hansbo (1979) menentukan waktu konsolidasi dengan menggunakan persamaan berikut :

$$t = \left(\frac{D^2}{8 \cdot C_h} \right) \cdot (2 \cdot F(n)) \cdot \ln \left(\frac{1}{1 - U_h} \right) \quad (2.84)$$

Dimana :

- t = Waktu yang diperlukan untuk mencapai U_h
- D = Diameter lingkaran
- $F(n)$ = Faktor hambatan disebabkan karena jarak PVD
- C_h = Koefisien konsolidasi arah horisontal = $1 - 3 C_v$
- U_h = Derajat konsolidasi tanah (arah horisontal)

Dengan memasukkan nilai t tertentu, dapat dicari nilai U_h pada lapisan tanah yang dipasang PVD. Selain konsolidasi akibat aliran pori arah horisontal juga terjadi konsolidasi akibat aliran air arah vertical U_v . Nilai U_v dicari dengan persamaan :

- Untuk $U_v > 60\%$:

$$U_v = (100 - 10^a) \quad (2.85)$$

$$a = \left(\frac{1,781 - T_v}{0,933} \right) \quad (2.86)$$

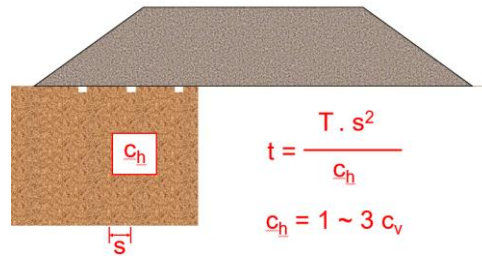
- Untuk U_v antara 0 s/d 60% :

$$U_v = \left(2 \sqrt{\frac{tv}{\pi}} \right) \times 100\% \quad (2.87)$$

- Derajat konsolidasi rata-rata U dapat dicari dengan cara :

$$U = [1 - (1 - U_h)(1 - U_v)] \times 100\% \quad (2.88)$$

PERCEPATAN KONSOLIDASI DENGAN PVD



Gambar 2.34 Percepatan Konsolidasi Dengan PVD
(Sumber : Dokumen PT. Teknindo Geosistem Unggul)

Penentuan kedalaman pemasangan PVD (*Prefabricated Vertical Drain*) didasarkan pada ketebalan lapisan tanah yang bersifat mudah terkonsolidasi (*compressible*), yang umumnya ditandai dengan nilai N-SPT antara 0 hingga 10, atau pada tanah yang termasuk dalam kategori sedang (*medium stiff*). Merujuk pada Panduan Geoteknik 4: Desain dan Konstruksi, untuk menjaga keamanan dan stabilitas konstruksi, penurunan yang harus dicapai selama masa konstruksi harus lebih besar dari 90%, sedangkan penurunan setelah masa konstruksi tidak boleh melebihi 20 mm/tahun.

2.2.28 Selimut Drainase (*Drainage Blanket*)

Selimut pasir diperlukan di dalam timbunan reklamasi untuk memastikan bahwa air tanah yang terkumpul di dalam PVD selama tahap konsolidasi dapat dialirkan keluar. Selimut pasir ini terdiri dari lapisan material granular. **Gambar 2.35** menunjukkan skema selimut drainase kontinu di atas lapisan tanah lempung jenuh dan PVD, dengan rumus perhitungan ketebalan selimut drainase.

$$h = \frac{(qd \times y^2)}{(2 \times k \times A \times b')} \quad (2.89)$$

Dimana :

- h = Total tinggi (head) yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari titik tengah ke titik y
- y = Jarak dari titik tengah ke titik tertentu
- k = Koefisien permeabilitas dari selimut drainase
- A = Luas penampang dari selimut drainase yang mengalirkan dari satu baris drainase
- b' = Jarak antar PVD = 1 m
- qd = Debit aliran dari satu drainase

$$qd = \frac{\pi d c^2}{4} \quad (2.90)$$

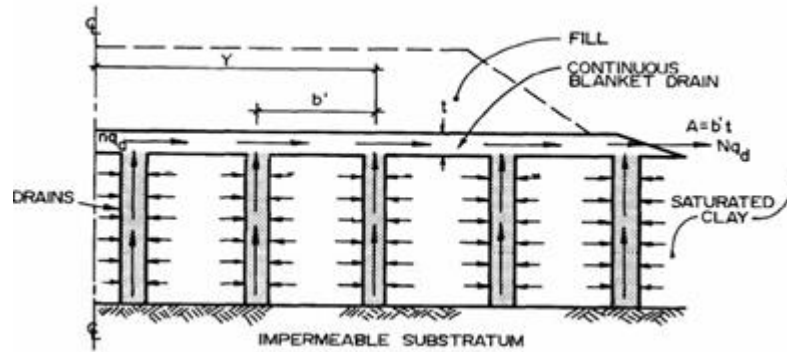
Dimana :

- Kc = Permeabilitas PVD
- d_c = Diameter drainase

$$d_c = \frac{b + t_g}{2} \quad (2.91)$$

Dimana :

b = Lebar PVD
t_g = Tebal PVD



Gambar 2.35 Ketebalan Seimut Drainase
(Sumber : PT. Adhi Karya Persero Tbk, 2024)

2.2.29 Software Geostudio

Geostudio adalah perangkat lunak analisis geoteknik yang teintegrasi dan digunakan untuk mengevaluasi stabilitas lereng, dan aliran air tanah. Geostudio mencakup beberapa modul, antara lain SLOPE/W, SEEP/W, SIGMA/W, QUAKE/W, TEMP/W, TEMP/W, dan CTRAN/W. karena sifatnya terintegrasi, data dari satu modul dapat dimanfaatkan oleh modul lainnya. Dalam Proyek Akhir ini, digunakan modul SLOPE/W dari geostudio.

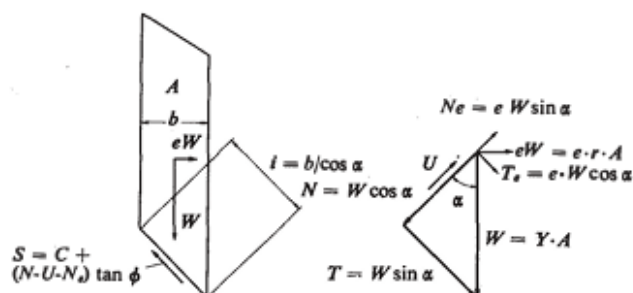
SLOPE/W adalah modul khusus untuk analisis lereng tanah dan batuan. Program ini mampu menyelesaikan berbagai persoalan stabilitas, dari yang sederhana hingga kompleks, dengan mempertimbangkan bentuk bidang gelincir, kondisi tekanan air pori, karakteristik tanah serta pembebanan yang terjadi.

2.2.30 Stabilitas Breakwater dengan Metode Irisan

Metode irisan merupakan salah satu metode yang digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng, khususnya pada tubuh benungan tipe urugan. Metode ini bertujuan untuk menghitung faktor keamanan (FS) terhadap kelongsoran yang terjadi akibat adanya bidang luncur melengkung. Untuk menentukan besarnya nilai N (gaya normal) dan T (gaya geser), dapat dilihat pada **Gambar 2.36**. Faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak, yang dinyatakan dalam rumus :

$$FS = \frac{\sum \{C \cdot I + (N - U - N_e) \tan \theta\}}{\sum (T + T_e)} \quad (2.92)$$

$$FS = \frac{\sum C \cdot I + \sum \{\gamma \cdot A (\cos \alpha - e \cdot \sin \alpha) - V\} \tan \theta}{\sum \gamma \cdot A (\sin \alpha + e \cdot \cos \alpha)} \quad (2.93)$$



Gambar 2.36 Cara Menentukan Besarnya Harga-Harga N dan T
(Sosrodarsono dan Takeda, 1977)

Dimana :

Fs	=	Faktor keamanan
N	=	Beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ($=\gamma \cdot A \cdot \cos \alpha$)
T	=	Beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur ($=\gamma \cdot A \cdot \sin \alpha$)
U	=	Tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur
N _e	=	Komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur ($=e \cdot \gamma \cdot A \cdot \sin \alpha$)
T _e	=	Komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang luncurnya ($=e \cdot \gamma \cdot A \cdot \cos \alpha$)
θ	=	Sudut gesekan
C	=	Angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur
Z	=	Lebar setiap irisan bidang luncur
e	=	Intensitas seismis horizontal
γ	=	Berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur.
A	=	Luas dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
α	=	Sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur
V	=	Tekanan air pori

2.2.31 Stabilitas *Breakwater* Guling dan Geser

Dalam buku Das, Braja M., 1988, pada BAB 8 dibahas mengenai dinding penahan tanah (*retaining wall*). Di dalamnya dijelaskan bahwa analisis terhadap potensi guling (*overturning*) dan geser (*sliding*), dengan metode perhitungan sebagai berikut.

$$\text{Stabilitas Guling} = \frac{\sum MV}{\sum MH} > 2 \quad (2.94)$$

$$\text{Stabilitas Geser} = \frac{\sum V \times \mu_s}{\sum H} > 1,5 \quad (2.95)$$

Dimana :

$\sum MV$	=	Momen vertikal, yakni momen hidrostatik
$\sum MH$	=	Momen horisontal, yakni momen gelombang

Pada buku CEM Part 6 pada bab *Coastal Project Element Fundamental Design*, diketahui bahwa gaya hidrostatik dan gelombang yang terjadi pada struktur adalah :

$$R_s = \frac{1}{2} \times \gamma_{airlaut} \times (d_s + H_b)^2 \quad (2.96)$$

$$R_m = \frac{1}{2} \times \gamma_{airlaut} \times d_s \times H_b \quad (2.97)$$

$$M_m = R_m \times \left(d_s + \frac{H_b}{2} \right) \quad (2.98)$$

$$M_s = \frac{1}{6} \times \gamma_{airlaut} \times (d_s + H_b)^3 \quad (2.99)$$

Dimana

R _s	=	Gaya hidrostatik
R _m	=	Gaya gelombang

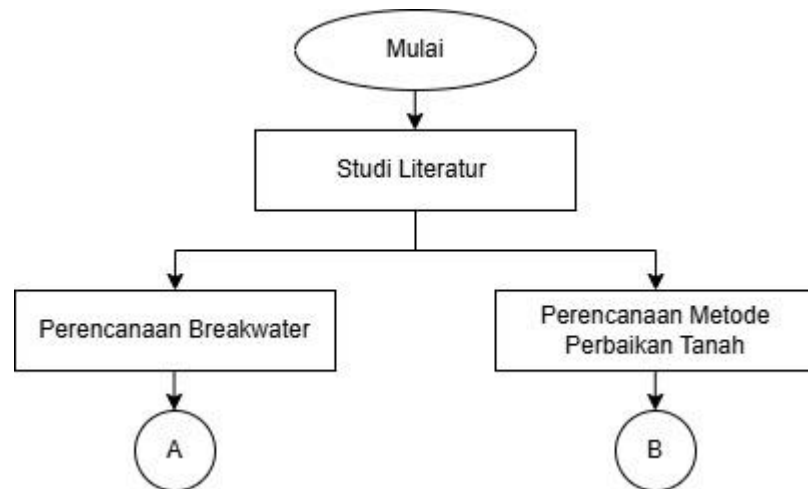
M_m	=	Momen gelombang
M_s	=	Momen hidrostatik
$\gamma_{air laut}$	=	Massa jenis air laut
d_s	=	Kedalaman laut tempat struktur dibangun
H_b	=	Tinggi gelombang pecah

Halaman ini sengaja dikosongkan

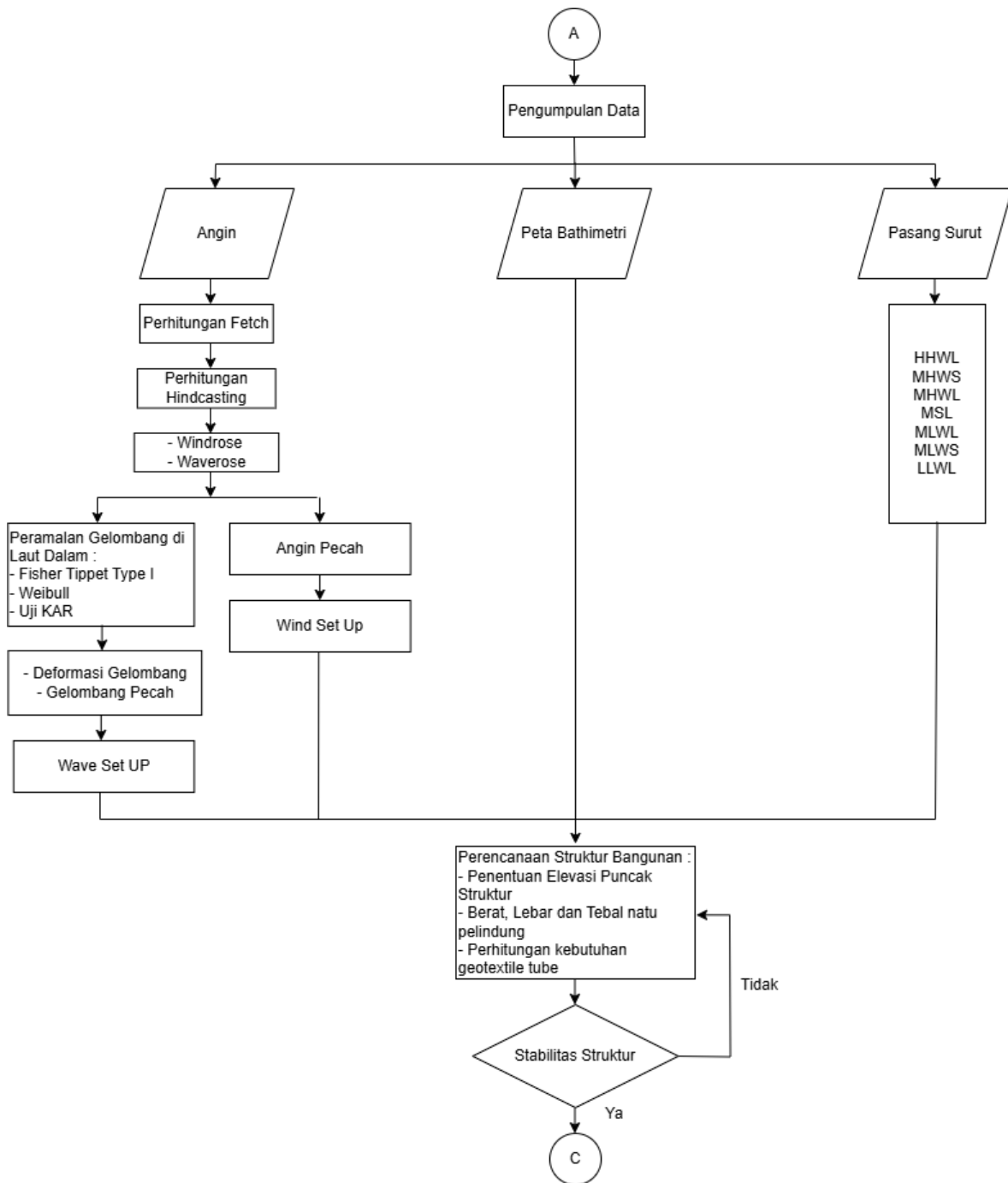
BAB III METODOLOGI

3.1 Urutan Pelaksanaan Penelitian

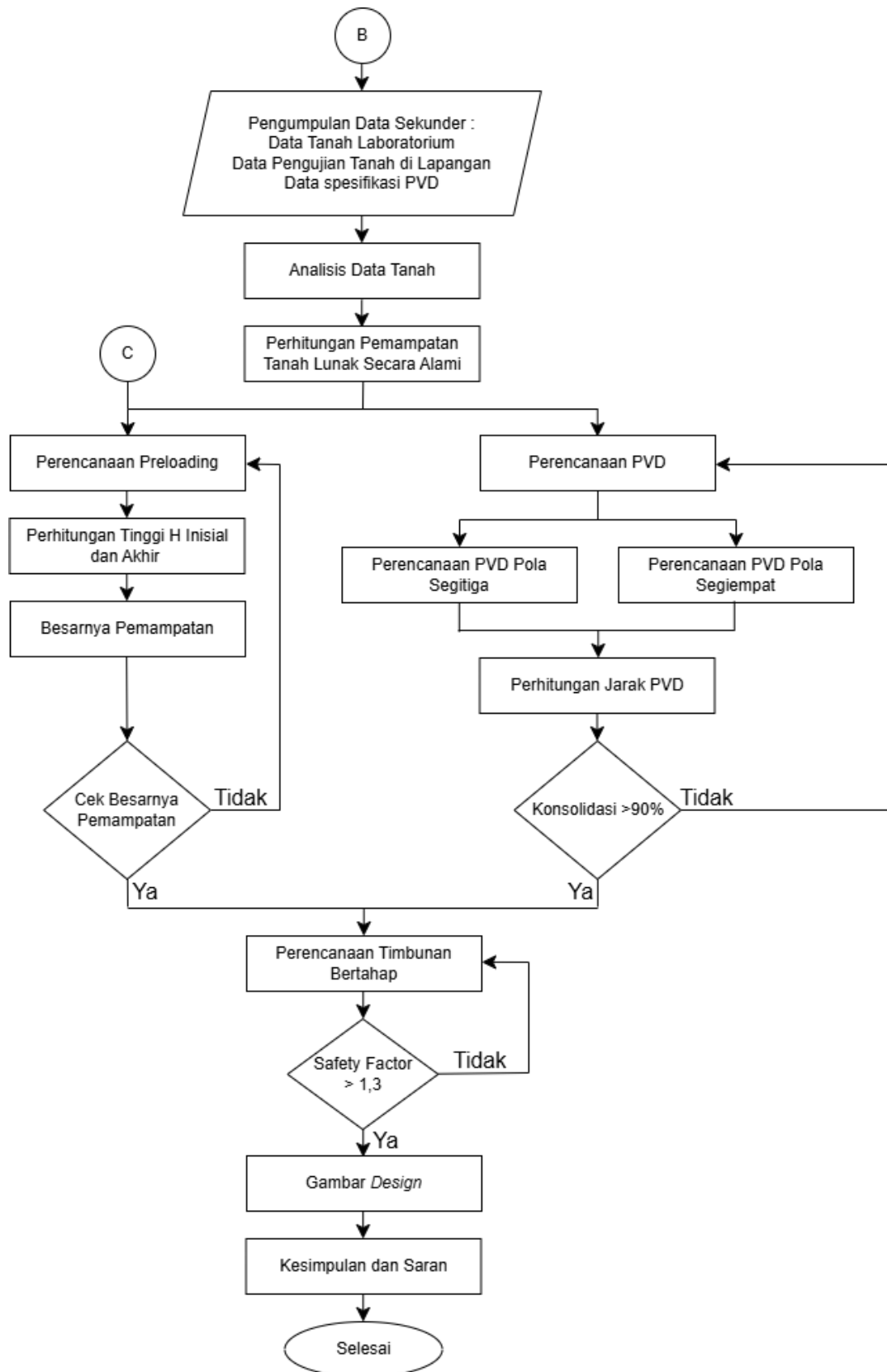
Berikut ini akan disajikan bagan alir proses penyelesaian Proyek Akhir yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**. Adapun alur perencanaan *breakwater* ditunjukkan pada **Gambar 3.2**, sedangkan alur perencanaan metode perbaikan tanah dijelaskan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penyusunan Proyek Akhir



Gambar 3.2 Diagram Alir Perencanaan *Breakwater*



Gambar 3.3 Diagram Alir Perencanaan Metode Perbaikan Tanah

3.2 Uraian dan Tahapan Penyelesaian Proyek Akhir

Dari diagram alir diatas berikut uraian dan tahapan penyelesaian Proyek Akhir sebagai penjelasan lebih rinci yaitu :

3.2.1 Studi Litelatur

Studi litelatur berguna untuk mengetahui permasalahan yang di bahas pada Proyek Akhir yang dilakukan. Pada tahapan ini dilakukan pencarian berbagai referensi dan teori terkait dengan Proyek Akhir yang dilakukan. Referensi ini bisa didasarkan pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya atau juga dengan litelatur pendukung seperti jurnal, buku, dan sumber-sumber lainnya. Sudi litelatur menghasilkan 2 cabang yaitu Perencanaan *Breakwater* (A) dan Perencanaan Metode Perbaikan Tanah (B).

3.2.2 Pengumpulan Data :

Data-data yang berkaitan dengan Proyek Akhir perencanaan breakwater ditunjukkan pada **Tabel 3.1** adalah sebagai berikut :

Tabel 3.1 Data yang Dibutuhkan dalam Perencanaan Breakwater

No	Data yang dibutuhkan	Keterangan	Sumber
1	Angin	Data Angin selama 10 tahun terakhir (2014-2023)	https://climate.copernicus.eu/
2	Peta Bathimetri	Untuk mengetahui kedalaman dasar laut	Proyek Eastport Breakwater Works, PT. Adhi Karya Persero Tbk.
3	Pasang surut	Untuk menentukan HHWL, MHWS, MHWL, MSL, MLWL, MLWS, dan LLWL	Proyek Eastport Breakwater Works, PT. Adhi Karya Persero Tbk.
4	Data uji tanah di laboratorium	Tes konsolidasi tanah, volumetri, gravimetri, dan tes lainnya	Proyek Eastport Breakwater Works, PT. Adhi Karya Persero Tbk.
5	Data pengujian tanah di lapangan	Data Sondir dan Uji SPT	Proyek Eastport Breakwater Works, PT. Adhi Karya Persero Tbk.
6	Spesifikasi Prefabricated Vertical Drain (PVD)	Lebar dan Tebal PVD	Proyek Eastport Breakwater Works, PT. Adhi Karya Persero Tbk.
7	Spesifikasi Geotextile Tube	Spesifikasi Geotextile Tube yang Digunakan (Tebal)	https://www.tencate.com/

3.2.3 Alur Tahapan Perencanaan *Breakwater* (A) :

3.2.3.1 Analisa Data Angin

Data angin yang didapatkan dari website <https://climate.copernicus.eu> selama 10 tahun dari 2014-2023 dianalisa dan ditampilkan dalam bentuk gambar yang disebut *wind rose*. Grafik untuk memberikan arah mata angin dominan, serta angin maksimum tahun 2014-2023.

3.2.3.2 Analisa Gelombang

Analisa gelombang pada laut dalam dihitung dengan menggunakan data angin. Gelombang rencana terpilih akan digunakan dalam perencanaan *breakwater* dengan memperhitungkan transformasi gelombang yang terjadi. Metode yang digunakan untuk

perhitungan tinggi gelombang rencana adalah metode Weibull dan Fisher Tippet Type I. Berikut detail analisis gelombang :

1. Menganalisis data angin dan fetch
Data angin yang berpengaruh dianalisis untuk menentukan fetch arah mana yang akan digunakan. Setelah dilakukan pengukuran fetch dan dianalisis, didapatkan panjang fetch efektif dari masing-masing arah.
2. Hindcasting atau peramalan gelombang
Bertujuan untuk mendapatkan tinggi dan periode gelombang, Penentuan tersebut didasarkan pada kondisi *fully developed* atau *non fully developed*. Jika termasuk kondisi *non fully developed* terdapat 2 kemungkinan yaitu *fetch limited* atau *duration limited*.
3. Peramalan gelombang periode ulang
Menentukan tinggi gelombang signifikan (H_s) per tahun berdasarkan perhitungan tinggi gelombang dari *hindcasting*. Kemudian dilakukan proses peramalan gelombang pada periode ulang tertentu. Terdapat 2 metode yang digunakan, yaitu Metode Fisher Tippet Type I dan Metode Weibull. Kemudian dipilih tinggi gelombang yang akan digunakan.
4. Refraksi gelombang
Tinggi gelombang yang dipilih tersebut merupakan gelombang di laut dalam. Oleh sebab itu, perlu dilakukan refraksi untuk mendapatkan tinggi gelombang di laut dangkal.
5. Gelombang pecah
Perhitungan gelombang pecah digunakan untuk menentukan posisi bangunan agar dapat meredam energi gelombang.

3.2.3.3 Analisa Data pasang Surut

Analisa pasang surut dilakukan untuk menentukan fluktuasi muka air laut di perairan Lamongan *Shorebase*.

3.2.3.4 Data Bathimetri

Data bathimetri yang didapat merupakan data sekunder. Data bathimetri digunakan untuk mengetahui kedalaman dasar laut yang kemudian akan digunakan untuk menghitung dimensi bangunan pemecah gelombang yang akan direncanakan.

3.2.3.5 Perhitungan Dimensi Bangunan

Dalam penentuan dimensi bangunan, beberapa hal yang harus diperhitungkan adalah sebagai berikut :

1. Elevasi puncak bangunan
2. Berat, lebar dan tebal lapis pelindung
3. Kebutuhan geotextile tube

3.2.3.6 Stabilitas struktur

Analisis stabilitas struktur dihitung secara manual , yaitu dengan mengevaluasi potensi kegagalan struktur seperti gaya geser dan gaya guling. Selain itu, stabilitas lereng juga dianalisis menggunakan metode irisan untuk mengetahui faktor keamanan terhadap longsor.

3.2.4 Alur Tahapan Perencanaan Metode Perbaikan Tanah (B) :

3.2.4.1 Analisis Data Tanah

Analisa data laboratorium dan data hasil uji lapangan dilakukan untuk mengetahui kondisi dan jenis tanah serta menentukan metode perbaikan tanah yang tepat. Setelah mengetahui kondisi dan jenis tanah tersebut, dilakukan pembagian zona untuk menentukan kedalaman optimum yang harus dilakukan perbaikan tanah.

3.2.4.2 Melakukan Perhitungan Pemampatan Tanah Lunak Secara Alami

Perhitungan pemampatan pada tanah dasar untuk mengetahui besarnya lapisan tanah yang memampat dan besarnya pemampatan yang terjadi.

3.2.4.3 Perencanaan Perbaikan Tanah :

- *Preloading* :

Tujuan Proyek Akhir ini adalah merencanakan perbaikan tanah metode *preloading* kombinasi *Prefabricated Vertical Drain* (PVD). Untuk itu, perlu dilakukan perhitungan beban *preloading* yang meliputi perhitungan prediksi pemampatan (S_c) dan tinggi timbunan awal dan tinggi timbunan akhir (H_F) yang direncanakan berdasarkan data pengujian tanah di lapangan dan laboratorium.

- Perhitungan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD)

Untuk mempercepat pemampatan tanah digunakan PVD yang dapat memperpendek aliran air pori tanah, yaitu dengan menciptakan arah horizontal. Kecepatan tanah memampat tergantung dari jarak PVD. Semakin rapat jarak PVD, semakin cepat pula air pori tanah mengalir sehingga dapat mempercepat pemampatan tanah atau mencapai derajat konsolidasi yang diinginkan. Dalam Proyek Akhir ini, kedalaman pemasangan PVD dapat ditentukan sedalam tanah *compressible* dengan membandingkan kedalaman tanah lunak pada data laboratorium dan data lapangan.

3.2.4.4 Pengecekan faktor keamanan (*safety factor*) lebih dari 1,3

- Aman: Jika hasil simulasi menunjukkan deformasi dan penurunan tanah dalam batas aman, serta *breakwater* tetap berhasil, maka desain dianggap berhasil.
- Tidak aman: Jika hasil simulasi menunjukkan deformasi atau penurunan tanah melebihi batas aman, desain PVD perlu diperbaiki (misalnya jarak atau kedalaman PVD diubah) dan disimulasikan ulang.

3.2.4.5 Hasil Perencanaan

Hasil akhir dari perencanaan Proyek Akhir ini adalah gambar desain bangunan pengaman pantai lengkap dengan perhitungan dimensi dan stabilitas strukturnya dalam bentuk laporan. Untuk lebih jelasnya, diagram pengerjaan Proyek Akhir dapat dilihat pada **Gambar 3.3**.

3.2.4.6 Kesimpulan dan Saran

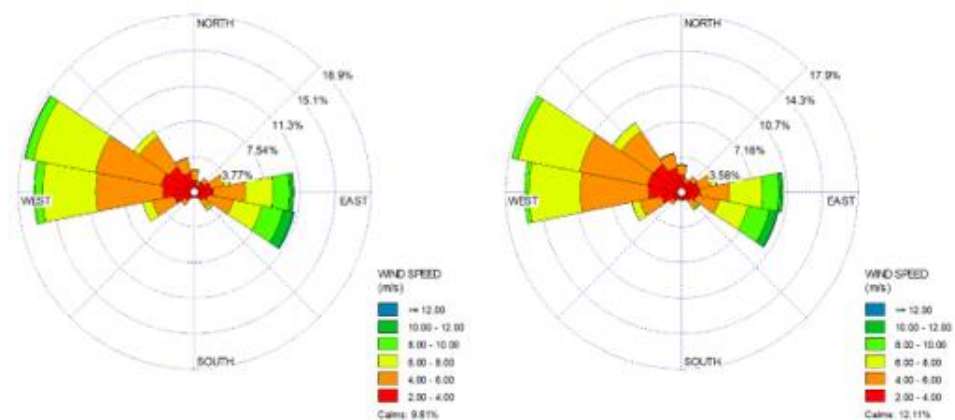
Pada tahap ini, merupakan proses untuk menarik kesimpulan dan menuliskan saran dari apa saja yang dilakukan selama pengerjaan Proyek Akhir. Dasar pengambilan kesimpulan dan saran diantaranya adalah hasil analisa dan pembahasan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Angin

Data angin menentukan arah datang gelombang. Data angin diperoleh dari website <https://climate.copernicus.eu>. Data angin yang diperoleh adalah data angin kecepatan rata-rata tiap jam selama 10 tahun yaitu tahun 2014 hingga tahun 2023. Penggunaan data angin tahunan diperlukan untuk menentukan arah angin dominan serta tinggi gelombang rencana di lokasi struktur pelindung pantai akan dibangun. Data angin dominan digambarkan dalam mawar angin (*wind rose*) pada **Gambar 4.1**.

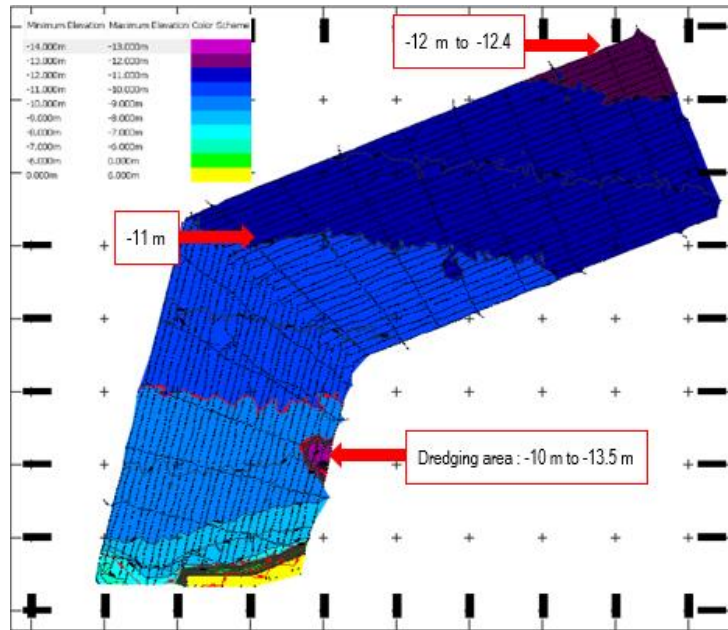


Gambar 4.1 *Wind Rose* 2014-2023 Perairan di Lamongan *Shorebase*

Dengan melihat **Gambar 4.1** *wind rose* yang dominan pada perairan Lamongan *Shorebase*, maka arah angin yang akan digunakan dalam perhitungan yaitu arah angin Barat Laut.

4.2 Data Bathimetri

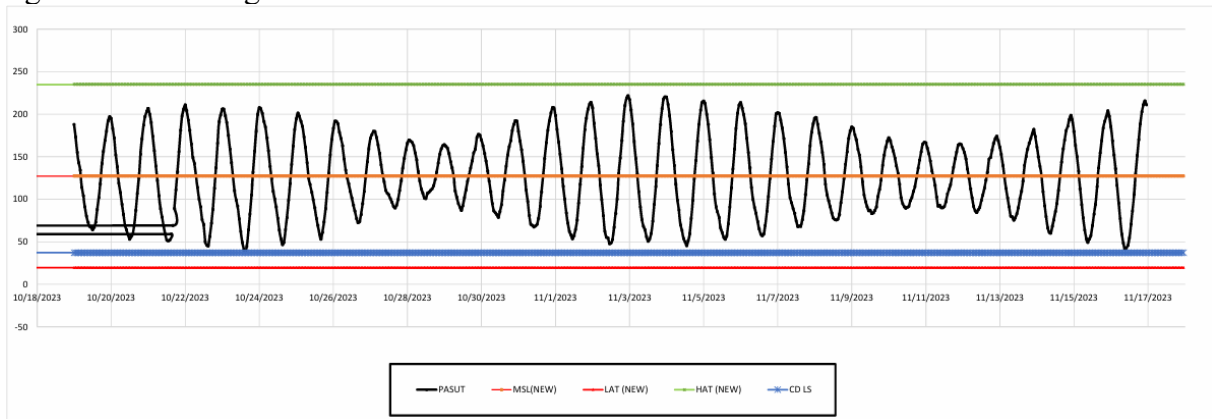
Peta bathimetri digunakan untuk menunjukkan kedalam laut yang dapat memberi gambaran tentang kondisi dasar laut. Pada **Gambar 4.2** menunjukkan peta bathimetri wilayah perairan di Lamongan *Shorebase*. Karakteristik dari tipe di lokasi peninjauan ini adalah kontur dasar laut yang landai.



Gambar 4.2 Peta Bathymetri Perairan di Lamongan *Shorebase*
(Sumber : PT. Adhi Karya Persero Tbk, 2024)

4.3 Data Pasang Surut

Pasang surut adalah fluktuasi muka air laut karena adanya gaya tarik benda-benda langit, terutama matahari dan bulan terhadap masa air laut di bumi (Sumber : Triatmodjo, Bambang 1999). Elevasi muka air tertinggi (pasang) sangat menentukan elevasi puncak bangunan. Sedangkan elevasi muka air terendah sangat menentukan elevasi muka air terendah sangat menentukan elevasi dasar suatu bangunan pengaman pantai. **Gambar 4.3** merupakan grafik pasang surut di Lamongan *Shorebase*.



Gambar 4.3 Grafik Pasang Surut di Lamongan *Shorebase*
(Sumber : PT. Adhi Karya Persero Tbk, 2024)

Analisa yang digunakan untuk mengolah data pasang surut tersebut adalah analisa harmonik metode *admiralty*. Berdasarkan analisa tersebut dapat diperoleh *amplitude* dan fase setiap komponennya seperti dalam **Tabel 4.1**.

Tabel 4.1 Komponen Pasang Surut

	KOMPONEN PASANG SURUT									
	SO	M2	S2	N2	K1	O1	M4	MS4	K2	P1
A (cm)	127	5	4	3	52	24	1	0	1	17
g (*)	0	95	351	52	323	231	141	168	351	323

Setelah komponen pasang surut diketahui, tipe pasang surut dapat didefinisikan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$F = \frac{k1 + O1}{M2 + S2}$$

Didapat nilai F dari rumus tersebut sebesar 8,4 yang artinya pasang surut di Lamongan *Shorebase* termasuk tipe pasang surut diurnal. Komponen tersebut dapat digunakan untuk mencari MSL (*Mean Sea Level*), LLWL (*Lowest Low Water Level*), dan HHWL (*Highest High Water Level*), yang besarnya terdapat dalam **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Elevasi Pasang Surut di Lamongan *Shorebase*

Elevasi	Nilai	
	cm	m
HAT = SO + (all constituents)	234	2,34
HHWL = SO + (M2+S2+K2+K1+O1+P1)	230	2,3
HWS = SO + (M2+S2+N2+K1+O1)	215	2,15
MHWS = SO + (M2+S2)	136	1,36
MHWL = SO + (M2+K1+O1)	208	2,08
MSL = SO	127	1,27
MLWL = SO - (M2 + K1+O1)	46	0,46
MLWS = SO - (M2+K2)	121	1,21
LWS = SO - (M2+S2+N2+K1+O1)	39	0,39
LLWL = SO - (M2+S2+K2+K1+O1+P1)	24	0,24
LAT = SO - (all constituents)	20	0,2

Biasanya untuk memudahkan perencanaan bangunan pelindung pantai LAT disebut sebagai LWS, elevasi LWS = 0 sehingga didapatkan dalam **Tabel 4.3**.

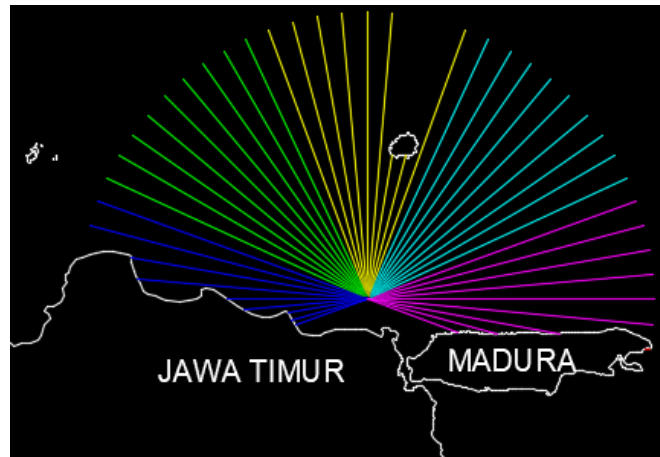
Tabel 4.3 Elevasi Pasang Surut di Lamongan *Shorebase*

Elevasi	m
HAT	2,14
HHWL	2,1
HWS	1,95
MHWS	1,16
MHWL	1,88
MSL	1,07
MLWL	0,26
MLWS	1,01
LWS	0,19
LLWL	0,04
LAT	0

4.4 Analisis Gelombang

4.4.1 Fetch

Perhitungan panjang fetch dilakukan berdasarkan arah angin yang berpengaruh pada lokasi Lamongan *Shorebase*. Arah angin yang berpengaruh terhadap Lamongan *Shorebase* adalah arah angin yang berasal dari Barat Laut. Panjang fetch yang tak hingga diasumsikan mempunyai panjang 200 km. Hasil gambar fetch dapat dilihat pada **Gambar 4.4**.



Gambar 4.4 Fetch

Berikut ini merupakan langkah-langkah perhitungan untuk mendapatkan besarnya panjang fetch efektif.

1. Menentukan sudut deviasi (α) pada kedua sisi fetch utama, dengan pertambahan 5° sampai total sudut geser sebesar 45° pada kedua sisi fetch utama. Kemudian mengukur panjang garis dari titik pantai sampai menabrak suatu halangan.
2. Besarnya $\cos \alpha$ dari tiap-tiap sudut baik dari arah kanan maupun dari arah kiri acuan 0° tiap arah angin adalah :

$$\cos 0^\circ = 1,000$$

$$\cos 5^\circ = 0,996$$

$$\cos 10^\circ = 0,985$$

$$\cos 15^\circ = 0,966$$

$$\cos 20^\circ = 0,940$$

$$\cos 25^\circ = 0,906$$

$$\cos 30^\circ = 0,866$$

$$\cos 35^\circ = 0,819$$

$$\cos 40^\circ = 0,766$$

$$\cos 45^\circ = 0,707$$

Lalu semua nilai $\cos$ dijumlahkan

3. Setelah didapatkan panjang garis yang ditarik tiap-tiap sudut sesuai perhitungan nomor satu, hasil dari pengukuran tersebut dikalikan nilai $\cos \alpha$.
4. Nilai yang didapatkan pada nomor tiga dijumlahkan dalam tiap arah yang yang berpengaruh.
5. Hitung panjang fetch efektif menggunakan rumus :

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i}$$

Berikut adalah contoh perhitungan fetch efektif sebagai berikut :

$$\begin{aligned} F_{eff} &= \frac{\sum X_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \\ F_{eff} &= \frac{1754648}{8,773} \\ &= 200000 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan panjang fetch efektif dapat dilihat pada **Tabel 4.4** Berikut :

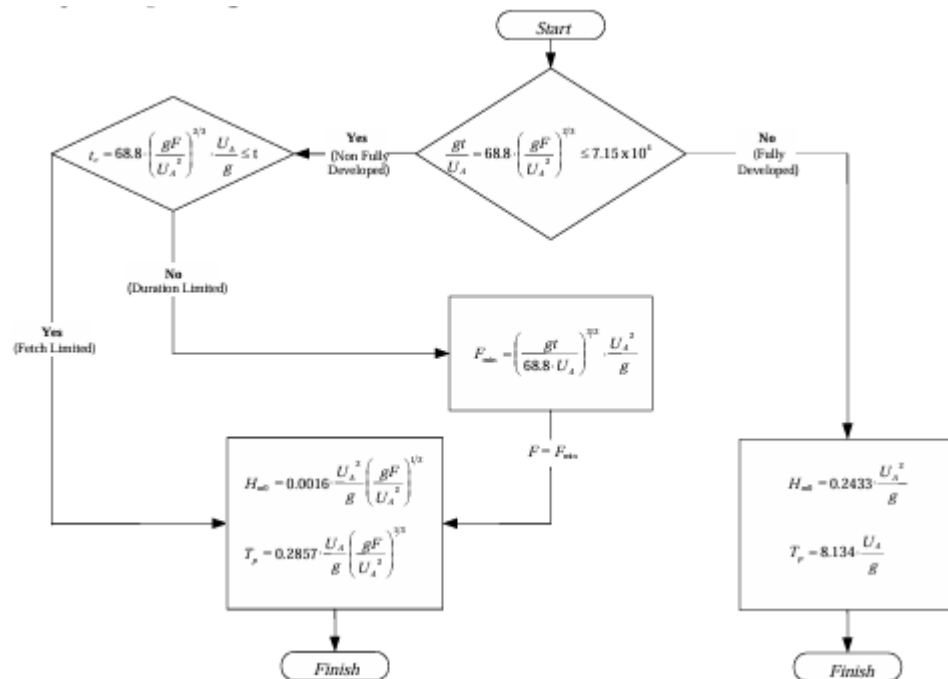
Tabel 4.4 Rekap Panjang Fetch Efektif

Fetch	
Direction	Length (m)
N	178311
NE	200000
E	167012
SE	0
S	0
SW	0
W	119177
NW	200000

4.4.2 Tinggi dan Periode Gelombang pada Laut Dalam Berdasarkan Data Keepatan Angin Maksimum Tahun 2014-2023

Untuk menghitung tinggi gelombang digunakan analisis *hindcasting*, Inti dari proses *hindcasting* adalah untuk memperkirakan besar tinggi gelombang dan periodenya berdasarkan data angin. Sebenarnya akan lebih baik jika analisis gelombang dilakukan berdasarkan data gelombang.

Metode yang digunakan dalam proses hidcastingini mengikuti metode yang dijelaskan di dalam SPM (Shore Protection Manual, 1984). Bagan Alir proses *hindcasting* tersebut disajikan pada **Gambar 4.5**.



Gambar 4.5 Diagram Alir Proses *Hindcasting*
(Sumber : SPM, 1984)

Di mana,

- H_{mo} = Tinggi gelombang signifikan menurut spektral energi (m)
- T_p = Periode puncak gelombang
- T_d = Lama angin berhembus (detik)
- F = Panjang fetch efektif (m)

U_A = Wind stress factor (ke. angin yang dimodifikasi)

Tabel 4.5 merupakan hasil dari analisis *hindcasting* gelombang di Lamongan *Shorebase* dari tahun 2014-2023 dengan menggunakan data kecepatan dan arah angin per jam. Selanjutnya tinggi dan periode gelombang akan digunakan dalam perhitungan periode ulang gelombang untuk kebutuhan perencanaan bangunan pantai. **Gambar 4.6** merupakan *wave rose* dari hasil perhitungan tinggi gelombang di laut dalam.

Tabel 4.5 Perhitungan Hindcasting

Date	Hour	WindDir (Deg)	WindDir (8)	WindSpd (m/s)	WindSpd Koreksi	U10
1	2	3	4	5	6	7
01/01/2014	0.00	265,58	W	6,27	6,27	6,27
01/01/2014	1.00	264,50	W	6,22	6,22	6,22
01/01/2014	2.00	267,50	W	6,20	6,20	6,20
01/01/2014	3.00	267,36	W	6,34	6,34	6,34
01/01/2014	4.00	265,90	W	6,52	6,52	6,52
01/01/2014	5.00	266,49	W	7,07	7,07	7,07
01/01/2014	6.00	267,47	W	7,55	7,55	7,55
01/01/2014	7.00	271,22	W	7,96	7,96	7,96
01/01/2014	8.00	263,70	W	8,71	8,71	8,71
01/01/2014	9.00	255,34	W	7,98	7,98	7,98

Lanjutan Tabel 4.5 Perhitungan Hindcasting

Ua	Fetch	t	Fully Non Fully	Cek	t min	Limited	Fetch Min
8	9	10	11	12	13	14	15
6,79	119177	3600	59.339,97	Nonfully	41095	Durasi Ltd	3090
6,72	119177	7200	60.212,28	Nonfully	41245	Durasi Ltd	8692
6,70	119177	10800	60.507,58	Nonfully	41296	Durasi Ltd	15939
6,89	119177	14400	58.243,00	Nonfully	40904	Durasi Ltd	24894
7,12	119177	18000	55.729,77	Nonfully	40455	Durasi Ltd	35370
7,87	119177	21600	48.759,83	Nonfully	39126	Durasi Ltd	48884
8,53	119177	25200	43.830,03	Nonfully	38098	Durasi Ltd	64114
9,11	119177	28800	40.108,32	Nonfully	37262	Durasi Ltd	80982
10,17	119177	32400	34.644,20	Nonfully	35922	Durasi Ltd	102087
9,14	119177	36000	39.964,75	Nonfully	37228	Durasi Ltd	113328

Lanjutan Tabel 4.5 Perhitungan Hindcasting

H₀ (m)	T₀ (s)
16	17
0,2	1,7
0,3	2,4
0,4	3,0
0,6	3,5
0,7	3,9
0,9	4,5
1,1	5,1
1,3	5,6
1,7	6,3
1,6	6,3

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan tanggal pencatatan angin setiap hari per jam selama 10 tahun dari tahun 2014 hingga 2023.
2. Kolom 2 menunjukkan jam pengamatan dalam satuan 24 jam.
3. Kolom 3 menunjukkan arah angin dalam derajat (°) menunjukkan dari mana angin datang.
4. Kolom 4 menunjukkan arah angin dalam bentuk arah mata angin (misalnya : W = barat).
5. Kolom 5 menunjukkan kecepatan angin dalam satuan meter per detik (m/s).
6. Kolom 6 menunjukkan kecepatan angin yang sudah dikoreksi dalam satuan m/s.
7. Kolom 7 menunjukkan komponen kecepatan angin pada ketinggian tertentu, biasanya 10 m. dan dihitung menggunakan rumus :

$$U_{10} = \text{WindSpd} \times \left(\frac{10}{10}\right)^{\frac{1}{7}}$$

$$U_{10} = 6,27 \times \left(\frac{10}{10}\right)^{\frac{1}{7}}$$

$$= 6,27$$

8. Kolom 8 menunjukkan angin rata-rata (m/s). Dihitung dengan menggunakan rumus :

$$U_a = 0,71 \times U_{10}^{1,23}$$

$$= 0,71 \times 6,27^{1,23}$$

$$6,79$$

9. Kolom 9 merupakan didapatkan dari panjang fetch efektif (m).
10. Kolom 10 menunjukkan lama durasi angin bertiup pada arah dan kecepatan tertentu (dalam detik).
11. Kolom 11 dihitung menggunakan rumus :

$$\frac{gt}{U_A} = 68,8 \times \left(\frac{gF}{U_A^2}\right)^{2/3}$$

$$= 68,8 \times \left(\frac{9,81 \times 119177}{6,79^2}\right)^{2/3}$$

$$= 59339,97$$

12. Kolom 12 menunjukkan jika nilai gt/U_A digunakan untuk menentukan klasifikasi fetch. Apabila nilainya $\leq 7,15 \times 10^4$, fetch dianggap nonfully, sedangkan jika nilainya lebih besar, fetch termasuk dalam kategori fully.

13. Kolom 13 dihitung menggunakan rumus :

$$t_{\min} = 68,8 \cdot \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{2/3} \cdot \frac{U_A}{g}$$

$$t_{\min} = 68,8 \cdot \left(\frac{9,81 \times 119177}{6,79^2} \right)^{2/3} \cdot \frac{6,79}{9,81}$$

$$= 41095$$

14. Kolom 14 menunjukkan bahwa jika nilai $t_{\min}$ lebih besar dari nilai t , maka kondisi tersebut tergolong *Duration Limited*. Sebaliknya, jika $t_{\min}$ lebih kecil dari t , maka tergolong *Fetch Limited*.

15. Kolom 15 menunjukkan batasan atau durasi maksimum yang digunakan dalam perhitungan (berdasarkan data fetch dan angin)

$$F_{\min} = \left(\frac{gt}{68,8 \cdot U_A} \right)^{3/2} \cdot \frac{U_A^2}{g}$$

$$= \left(\frac{9,81 \times 3600}{68,8 \cdot 6,79} \right)^{3/2} \cdot \frac{6,79^2}{9,81}$$

$$= 3090$$

16. Kolom 16 menunjukkan tinggi gelombang signifikan hasil perhitungan berdasarkan parameter angin dan fetch.

Jika Nonfully developed

$$H_0 = 0,0016 \cdot \frac{U_A^2}{g} \cdot \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

Jika Fully developed

$$H_0 = 0,2433 \cdot \frac{U_A^2}{g}$$

Contohnya :

$$H_0 = 0,0016 \cdot \frac{U_A^2}{g} \cdot \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/2}$$

$$= 0,0016 \cdot \frac{6,79^2}{9,81} \cdot \left(\frac{9,81 \cdot 3090}{6,79^2} \right)^{1/2}$$

$$= 0,2 \text{ m}$$

17. Kolom 17 menunjukkan periode gelombang signifikan yang dihasilkan dari angin dan fetch (dalam detik).

Jika Nonfully developed

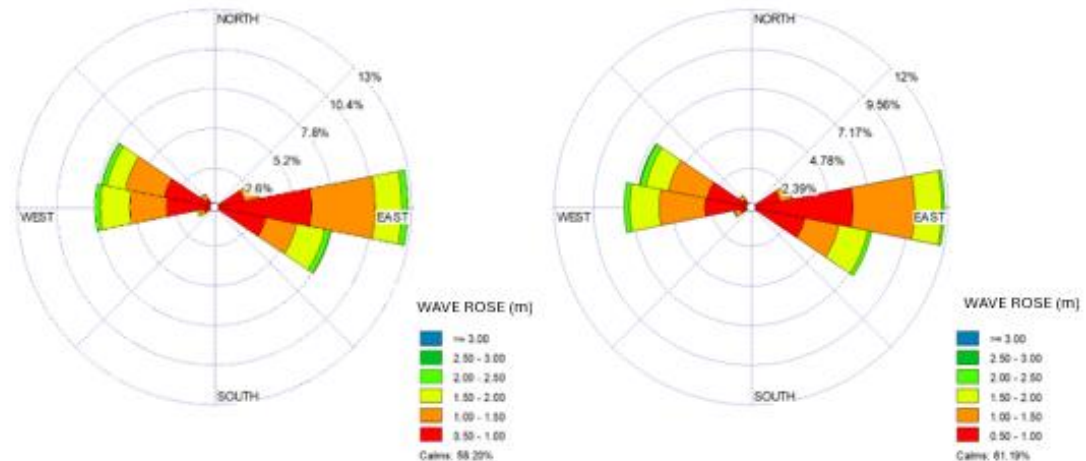
$$T_0 = 0,2857 \cdot \frac{U_A}{g} \cdot \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3}$$

Jika Fully developed

$$T_0 = 8,134 \cdot \frac{U_A}{g}$$

Contohnya :

$$\begin{aligned}
T_0 &= 0,2857 \cdot \frac{U_A}{g} \cdot \left(\frac{gF}{U_A^2} \right)^{1/3} \\
&= 0,2857 \cdot \frac{6,79}{9,81} \cdot \left(\frac{9,81 \cdot 3090}{6,79^2} \right)^{1/3} \\
&= 1,7 \text{ s}
\end{aligned}$$



Gambar 4.6 Wave Rose 2014-2023 Perairan di Lamongan Shorebase

4.4.3 Periode Ulang Gelombang

Perencanaan struktur pantai harus memperhatikan frekuensi terjadinya gelombang besar, sehingga bangunan tersebut dirancang agar mampu menahan gaya yang ditimbulkan oleh gelombang tersebut. Untuk menentukan karakteristik gelombang dengan periode ulang tertentu, diperlukan data gelombang jangka panjang (beberapa tahun) yang dapat merepresentasikan spektrum gelombang secara akurat.

Dalam Proyek Akhir ini, estimasi tinggi gelombang dan periode ulangnya dilakukan melalui peramalan berdasarkan data angin, kemudian dianalisis menggunakan data tinggi gelombang tahunan selama sepuluh tahun.

Periode ulang gelombang dihitung menggunakan dua pendekatan, yaitu metode Fisher Tippet Type 1 dan metode Weibull. **Tabel 4.6** dan **Tabel 4.7** menyajikan hasil perhitungan menggunakan metode Fisher Tippet Type 1, sedangkan **Tabel 4.8** dan **Tabel 4.9** menampilkan hasil dengan metode Weibull.

Tabel 4.6 Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut (H) dengan Metode Fisher Tippet Type I

No	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm}) ²	A	B	Ĥ _{sm}	H _{sm} - Ĥ _{sm}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2014	2,75	2,75	0,94	2,87	7,89	8,21	0,003			2,78	-0,02
2	2015	2,73	2,73	0,85	1,79	4,87	3,19	0,001			2,74	-0,01
3	2016	2,73	2,73	0,75	1,23	3,36	1,52	0,001			2,72	0,00
4	2017	2,73	2,73	0,65	0,84	2,28	0,70	0,001	0,03	2,68	2,71	0,02
5	2018	2,73	2,73	0,55	0,51	1,40	0,26	0,001			2,70	0,03
6	2019	2,73	2,73	0,45	0,23	0,62	0,05	0,001			2,69	0,04

No	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm}) ²	A	B	H _{sm}	H _{sm} - H _{sm}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
7	2020	2,72	2,72	0,35	-0,04	-0,12	0,00	0,000			2,68	0,03
8	2021	2,63	2,63	0,25	-0,32	-0,84	0,10	0,004			2,67	-0,04
9	2022	2,63	2,63	0,15	-0,63	-1,65	0,39	0,004			2,66	-0,03
10	2023	2,63	2,63	0,06	-1,06	-2,80	1,13	0,004			2,65	-0,02
Jumlah			27,01	5,00	5,41	15,02	15,56	0,020			27,01	0,00
Rata - Rata			2,70	0,50	0,54	1,50	1,56	0,002			2,70	0,00
Max												0,04

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan nomor urut data
2. Kolom 2 menunjukkan tahun kejadian gelombang tercatat
3. Kolom 3 menunjukkan tinggi gelombang maksimum tahunan (m) yang digunakan sebagai data dasar analisis.

4. Kolom 4 menunjukkan tinggi gelombang maksimum yang diurutkan dari nilai terbesar ke terkecil.

5. Kolom 5 dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P(H_s \leq H_{sm}) &= 1 - \frac{m - 0,44}{N_T + 0,12} \\
 &= 1 - \frac{1 - 0,44}{10 + 0,12} \\
 &= 0,94
 \end{aligned}$$

6. Kolom 6 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 y_m &= -\ln \{-\ln F(H_s \leq H_{sm})\} \\
 y_m &= -\ln \{-\ln(0,94)\} \\
 &= 2,87
 \end{aligned}$$

7. Kolom 7 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 H_{sm} \times Y_m &= 2,75 \times 2,87 \\
 &= 7,89
 \end{aligned}$$

8. Kolom 8 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 Y_m^2 &= 2,87^2 \\
 &= 8,21
 \end{aligned}$$

9. Kolom 9 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 (H_{sm} - H_{smrata - rata})^2 &= (1,02 - 0,97)^2 \\
 &= 0,003
 \end{aligned}$$

10. Kolom 10 dihitung dengan rumus :

$$A = \frac{n \sum H_{sm} Y_m - \sum H_{sm} \sum Y_m}{n \sum Y_m^2 - (\sum Y_m)^2}$$

$$= \frac{((10 \times 15,02) - (27,01 \times 5,41))}{((10 \times 15,56) - (5,41)^2)}$$

$$= 0,03$$

11. Kolom 11 dihitung dengan rumus :

$$B = H_{sm} - A \times Y_m$$

$$= 2,70 - (0,03 \times 0,54)$$

$$= 2,68$$

12. Kolom 12 dihitung dengan rumus :

$$\hat{H}_{sm} = (A \times Y_m) + B$$

$$= (0,03 \times 2,87) + 2,68$$

$$= 2,78$$

13. Kolom 13 dihitung dengan rumus :

$$H_{sm} - \hat{H}_{sm} = 2,75 - 2,78$$

$$= -0,02$$

Tabel 4.7 Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut(H) dengan Metode Fisher Tippet Type I

Periode Ulang	L	v	y _r (tahun)	A	B	H _{s_r}	α	σ _{nr}	σ _{Hs}	σ _r	H _{s_r} - 1.28σ _r	H _{s_r} + 1.28σ _r
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
2			0,37			2,69		0,38		0,37	2,22	3,17
5			1,50			2,73		0,78		0,76	1,76	3,71
10			2,25			2,76		0,95		0,94	1,56	3,95
25	1	1	3,20	0,03	2,68	2,79	1	1,13	0,01	1,12	1,35	4,22
50			3,90			2,81		1,25		1,24	1,22	4,39
100			4,60			2,83		1,36		1,34	1,11	4,55

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.
2. Kolom 2 merupakan rerata jumlah kejadian per tahun nilainya 1.
3. Kolom 3 dihitung dengan rumus :

$$v = N/N_T$$

$$= 1$$

4. Kolom 4 dihitung menggunakan rumus :

$$y_r = -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{L T_r} \right) \right\}$$

$$= -\ln \left\{ -\ln \left(1 - \frac{1}{1 \times 2} \right) \right\}$$

$$= 0,37$$

5. Kolom 5 dihitung didapatkan nilai A = 0,07.
6. Kolom 6 dihitung didapatkan nilai B = 0,93.
7. Kolom 7 dihitung menggunakan rumus :

$$H_{sr} = A \times y_r + B$$

$$= 0,03 \times 0,37 + 2,68$$

$$= 2,69$$

8. Kolom 8 dihitung menggunakan rumus :

$$\alpha = \alpha_1 \times e^{\alpha_2 \times N^{-1,3} + k\sqrt{-\ln v}}$$

$$= 0,64 \times 2,719^{9 \times 10^{-1,3} + 0,93\sqrt{-\ln 1}}$$

$$= 1$$

9. Kolom 9 dihitung menggunakan rumus :

$$\sigma_{nr} = \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha (y_r - e + \varepsilon \ln v)^2]^{1/2}$$

$$= \frac{1}{\sqrt{10}} [1 + 1 (0,37 - 0 + 1,33 \ln 1)^2]^{1/2}$$

$$= 0,38$$

10. Kolom 10 dihitung menggunakan rumus :

$$\sigma_{Hs} = \left(\frac{1}{N-1} \sum (H_{sm} - H_{sm})^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left(\frac{1}{10-1} (0,002) \right)^{1/2}$$

$$= 0,01$$

11. Kolom 11 dihitung menggunakan rumus :

$$\sigma_r = \sigma_{nr} \times \sigma_{Hs}$$

$$= 0,38 \times 0,01$$

$$= 0,37$$

12. Kolom 12 dihitung menggunakan rumus :

$$H_{sr} - 1,28 \times \sigma_r = 2,69 - 1,28 \times 0,37$$

$$= 2,22$$

13. Kolom 13 dihitung menggunakan rumus :

$$H_{sr} + 1,28 \times \sigma_r = 2,69 + 1,28 \times 0,37$$

$$= 3,17$$

Tabel 4.8 Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut (H) dengan Metode Weibull

Nomor	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm}) ²	A	B	H _{sm}	H _{sm} - H _{sm}
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	2014	2,75	2,75	0,96	4,93	13,56	24,29	0,003			2,78	-0,02
2	2015	2,73	2,73	0,86	3,01	8,22	9,08	0,001			2,74	-0,01
3	2016	2,73	2,73	0,77	2,09	5,71	4,39	0,001			2,72	0,01
4	2017	2,73	2,73	0,67	1,45	3,96	2,11	0,001			2,71	0,02
5	2018	2,73	2,73	0,57	0,94	2,56	0,88	0,001	0,02	2,68	2,70	0,03
6	2019	2,73	2,73	0,48	0,49	1,33	0,24	0,001			2,69	0,04
7	2020	2,72	2,72	0,38	0,07	0,19	0,00	0,000			2,68	0,03
8	2021	2,63	2,63	0,29	-0,34	-0,91	0,12	0,004			2,67	-0,04
9	2022	2,63	2,63	0,19	-0,79	-2,07	0,62	0,004			2,66	-0,03
10	2023	2,63	2,63	0,10	-1,34	-3,52	1,79	0,004			2,65	-0,02
Jumlah			27,01	5,27	10,52	29,04	43,52	0,020			27,01	0,00
Rata - Rata			2,70	0,53	1,05	2,90	4,35	0,002			2,70	0,00

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan nomor urut data
2. Kolom 2 menunjukkan tahun kejadian gelombang tercatat

3. Kolom 3 menunjukkan tinggi gelombang maksimum tahunan (m) yang digunakan sebagai data dasar analisis.
4. Kolom 4 menunjukkan tinggi gelombang maksimum yang diurutkan dari nilai terbesar ke terkecil.
5. Kolom 5 dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 P(H_s \leq H_{sm}) &= 1 - \frac{m - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{k}}}{N_T + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{k}}} \\
 &= 1 - \frac{1 - 0,2 - \frac{0,27}{\sqrt{0,63}}}{10 + 0,2 + \frac{0,23}{\sqrt{0,63}}} \\
 &= 0,96
 \end{aligned}$$

6. Kolom 6 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 Y_m &= [-\ln\{1 - F(H_s \leq H_{sm})\}]^{1/k} \\
 &= [-\ln\{-\ln(0,96)\}]^{1/0,63} \\
 &= 4,93
 \end{aligned}$$

7. Kolom 7 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 H_{sm} \times Y_m &= 2,75 \times 4,93 \\
 &= 13,56
 \end{aligned}$$

8. Kolom 8 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 Y_m^2 &= 4,93^2 \\
 &= 24,29
 \end{aligned}$$

9. Kolom 9 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 (H_{sm} - H_{sm\text{rata}})^2 &= (2,75 - 2,70)^2 \\
 &= 0,003
 \end{aligned}$$

10. Kolom 10 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 A &= \frac{n \sum H_{sm} Y_m - \sum H_{sm} \sum Y_m}{n \sum Y_m^2 - (\sum Y_m)^2} \\
 &= \frac{((10 \times 29,04) - (27,01 \times 10,52))}{((10 \times 24,29) - (10,52)^2)} \\
 &= 0,02
 \end{aligned}$$

11. Kolom 11 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 B &= H_{sm} - A \times Y_m \\
 &= 2,70 - (0,02 \times 4,93) \\
 &= 2,68
 \end{aligned}$$

12. Kolom 12 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 \hat{H}_{sm} &= (A \times Y_m) + B \\
 &= (0,02 \times 4,93) + 2,68 \\
 &= 2,78
 \end{aligned}$$

13. Kolom 13 dihitung dengan rumus :

$$\begin{aligned}
 H_{sm} - \hat{H}_{sm} &= 2,75 - 2,78 \\
 &= -0,02
 \end{aligned}$$

Tabel 4.9 Perhitungan Tinggi Gelombang Arah Barat Laut (H) dengan Metode Weibull

Periode													
Ulang (0.75)	L	v	y _r (tahun)	A	B	H _{sr}	α	σ _{nr}	σ _{HS}	σ _r	H _{sr} - 1.28σ _r	H _{sr} + 1.28σ _r	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
2			0,56			2,69		0,93		0,91	1,52	3,86	
5			2,13			2,72		1,81		1,79	0,42	5,02	
10			3,76			2,75		2,40		2,39	-0,30	5,81	
25	1	1	6,40	0,02	2,68	2,81	2,92	3,14	0,01	3,12	-1,19	6,80	
50			8,72			2,85		3,66		3,65	-1,82	7,52	
100			11,29			2,90		4,17		4,15	-2,41	8,22	

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan periode ulang 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun.
2. Kolom 2 merupakan rerata jumlah kejadian per tahun nilainya 1.
3. Kolom 3 dihitung dengan rumus :

$$v = N/N_T = 1$$

4. Kolom 4 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} y_r &= \{\ln(LT_r)\}^{1/k} \\ &= \{\ln(1 \times 2)\}^{1/0,63} \\ &= 0,56 \end{aligned}$$

5. Kolom 5 dihitung didapatkan nilai A = 0,02.
6. Kolom 6 dihitung didapatkan nilai B = 2,68.
7. Kolom 7 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} H_{sr} &= A \times y_r + B \\ &= 0,02 \times 0,56 + 2,68 \\ &= 2,69 \end{aligned}$$

8. Kolom 8 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \alpha &= \alpha_1 \times e^{\alpha_2 \times N^{-1,3} + k\sqrt{-\ln v}} \\ &= 1,65 \times 2,719^{11,4 \times 10^{-1,3} + 0,63\sqrt{-\ln 1}} \\ &= 2,92 \end{aligned}$$

9. Kolom 9 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \sigma_{nr} &= \frac{1}{\sqrt{N}} [1 + \alpha (y_r - e + \varepsilon \ln v)^2]^{1/2} \\ &= \frac{1}{\sqrt{10}} [1 + 2,92 (0,56 - 0 + 1,15 \ln 1)^2]^{1/2} \\ &= 0,93 \end{aligned}$$

10. Kolom 10 dihitung menggunakan rumus :

$$\sigma_{HS} = \left(\frac{1}{N-1} \sum (H_{sm} - H_{sm})^2 \right)^{1/2}$$

$$= \left(\frac{1}{10 - 1} (0,002) \right)^{1/2}$$

$$= 0,01$$

11. Kolom 11 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \sigma_r &= \sigma_{nr} \times \sigma_{Hs} \\ &= \sigma_{nr} \times \sigma_{Hs} \\ &= 0,93 \times 0,01 \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

12. Kolom 12 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} H_{sr} - 1,28 \times \sigma_r &= 2,69 - 1,28 \times 0,01 \\ &= 1,52 \end{aligned}$$

13. Kolom 13 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} H_{sr} + 1,28 \times \sigma_r &= 2,69 + 1,28 \times 0,01 \\ &= 3,86 \end{aligned}$$

4.4.4 Uji Kesalahan Absolut Rerata

Setelah mempertimbangkan distribusi gelombang dan periode ulang dari kedua metode, pemilihan metod yang akan digunakan dilakukan melalui uji kesesuai absolut rerata. Tujuannya adalah untuk menemukan metode dengan tingkat kesalahan terkecil. Uji kesesuaian distribusi ini diterapkan pada seluruh arah gelombang dengan menggunakan rumus kesalahan absolut rata-rata.

$$((H_{sm} - H_{sm})/H_{sm}) \times 100\%$$

Atau

$$((T_{sm} - T_{sm})/T_{sm}) \times 100\%$$

Hasil rekapitulasi perhitungan uji kesalahan absolut rerata dapat dilihat pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Perhitungan Uji Kesalahan Absolut Rerata (H)

	North	North West	North East	East	West	Rata Rata
FT 1	14,5488	0,8953	8,2253	1,0601	0,0000	4,9459
Weibull (0,75)	14,7665	0,9405	8,5380	1,0761	0,0000	5,0642
Weibull (1,0)	14,6902	0,9206	8,3961	1,0560	0,0000	5,0126
Weibull (1,4)	14,7508	0,9362	8,5072	1,0714	0,0000	5,0531
Weibull (2,0)	14,6466	0,9104	8,3223	1,0473	0,0000	4,9853

Berdasarkan hasil perhitungan uji kesalahan distribusi pada tinggi gelombang (H), diperoleh nilai untuk setiap metode dan arah angin. Metode Fisher Tippet Type I menghasilkan nilai rata-rata terkecil dibandingkan metode lainnya. Oleh karena itu, data dari metode Fisher Tippet Type I dipilih untuk digunakan dalam perhitungan tahap selanjutnya. Proses distribusi dilakukan untuk semua arah angin dengan menggunakan rumus kesalahan absolut rata-rata.

4.4.5 Rekapitulasi Nilai H dan T pada Metode Fisher Tippet Type I

Metode yang telah ditentukan dari uji kesalahan rerata adalah metode Fisher Tippet Type I. Rekapitulasi dilakukan dengan cara mencari nilai H dan T pada periode ulang 50 tahun. Hasil dari rekapitulasi nilai periode ulang 50 tahun metode Fisher Tippet Type I ditunjukkan pada **Tabel 4.11**.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Nilai Periode Ulang 50 Tahun H dan T

Arah	Rekap H_{50} & T_{50}	
	H_{50}	T_{50}
North	1,20	6,10
North West	2,81	9,03
North East	1,64	6,79
West	2,13	7,04
East	2,67	9,81

4.4.6 Refraksi

Di bawah ini merupakan langkah perhitungan refraksi :

1. Menghitung L_0 (panjang gelombang laut dalam)

$$\begin{aligned} L_0 &= 1,56 \times T^2 \\ &= 1,56 \times 9,03^2 \\ &= 127,33 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Menghitung C_0 (cepat rambat gelombang laut dalam)

$$\begin{aligned} C_0 &= L_0/T_0 \\ &= 127,33 / 9,03 \\ &= 14,09 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3. Menghitung kedalaman laut dalam (d_0)

$$\begin{aligned} d_0/L_0 &= 1/2 \\ d_0 &= L_0/2 \\ d_0 &= 63,66 \text{ m} \\ d_0/L_0 &= 63,66/127,33 \\ &= 0,5 \end{aligned}$$

4. Untuk nilai d/L_0 , didapatkan nilai :

$$d/L = 0,50178 \text{ (berdasarkan tabel pada buku Teknik Pantai Bambang Triadmodjo)}$$

$$\begin{aligned} L &= d/d/L \\ &= 11,6/0,50178 \\ &= 23,12 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= L/T \\ &= 23,12/9,03 \\ &= 2,56 \text{ m/d} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sin \alpha_1 &= \left(\frac{C}{C_0} \right) \times \sin \alpha_0 \\ &= \left(\frac{2,56}{14,09} \right) \times 45^\circ \\ &= 0,154 \end{aligned}$$

$$\alpha_1 = 9^\circ$$

5. Mencari nilai koefisien refraksi

$$\begin{aligned} K_r &= \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \\ &= \sqrt{\frac{\cos \alpha_0}{\cos \alpha}} \\ &= \sqrt{\frac{45}{9}} \end{aligned}$$

$$= 0,85$$

6. Menghitung koefisien pendangkalan

$$n_0 = 0,5$$

$$n = 0,51151$$

$$K_s = \sqrt{\frac{n_0 L_0}{n L}}$$

$$= \sqrt{\frac{0,5 \times 127,33}{0,51151 \times 23,12}}$$

$$= 2,32$$

7. Tinggi gelombang pada kedalaman 11,6 m adalah

$$H = K_s K_r H_0$$

$$= 2,32 \times 0,85 \times 2,81$$

$$= 5,51 \text{ m}$$

4.4.7 Gelombang Pecah

Gelombang pecah adalah gelombang yang menjalar dari laut dalam menuju pantai mengalami perubahan bentuk karena adanya pengaruh perubahan kedalaman laut. Gelombang pecah dipengaruhi kemiringannya, yaitu perbandingan antara tinggi dan panjang gelombang. Gelombang pecah dapat dihitung dengan menggunakan grafik pada **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8**. Berikut ini langkah-langkah perhitungan tinggi dan kedalaman gelombang pecah :

Dari arah Barat Laut

$$H_0 = 2,8 \text{ m}$$

$$T_0 = 9,03 \text{ s}$$

$$L_0 = 127,33 \text{ m}$$

$$K_r = 9,810 \text{ m/s}^2$$

1. Menghitung H'_0 (tinggi gelombang laut dalam ekivalen)

$$H'_0 = K_r \times H_0$$

$$= 9,8 \times 2,8$$

$$= 2,38 \text{ m}$$

$$\frac{H'_0}{gT^2} = \frac{2,38}{9,8 \times 9,03^2}$$

$$= 0,004$$

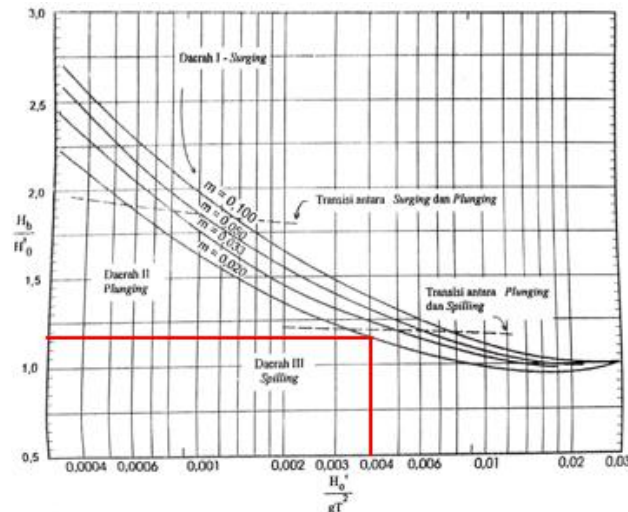
Dari **Gambar 4.7** untuk nilai H_b/H'_0 didapatkan nilai :

$$\frac{H_b}{H'_0} = 1,23$$

$$H_b = 1,23 \times H'_0$$

$$= 1,23 \times 2,38$$

$$= 2,92 \text{ m}$$



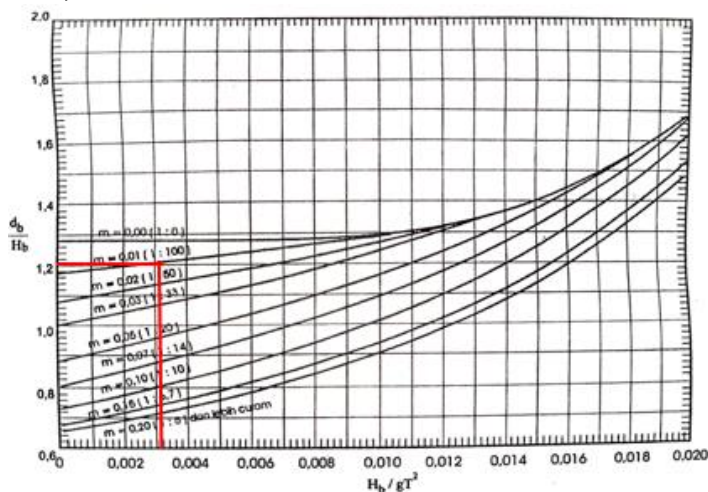
Gambar 4.7 Grafik Penentuan Tinggi Gelombang Pecah

2. Menghitung kedalaman gelombang pecah

$$\begin{aligned}\frac{H_b}{gT^2} &= \frac{2,92}{9,8 \times 9,03^2} \\ &= 0,036\end{aligned}$$

Dari **Gambar 4.8** untuk nilai d_b/H_0 didapatkan nilai :

$$\begin{aligned}\frac{d_b}{H_b} &= 1,25 \\ \frac{H_b}{d_b} &= 1,25 \times H_b \\ &= 1,25 \times 2,92 \\ &= 3,65 \text{ m}\end{aligned}$$



Gambar 4.8 Grafik Penentuan Kedalaman Gelombang Pecah

4.5 Gaya Gelombang Pecah

Untuk perhitungan gaya gelombang pecah diambil dari perhitungan rencana diatas, dimana :

Tinggi gelombang pecah (H_b)	=	2,92	m
Kedalaman (d_s)	=	11,11	m
L_0	=	127,33	m
Lebar <i>breakwater</i>	=	76,6	m

$$\begin{aligned} d/L_0 &= 11,11/127,33 \\ &= 0,087 \end{aligned}$$

Dengan menggunakan Tabel L-1 pada Buku Teknik Pantai di dapat :

$$\begin{aligned} d/L_d &= 0,12593 \\ L_d &= 11,11/0,12593 \\ &= 88,22 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Dari **Persamaan (2.14)** dihitung :

$$\begin{aligned} D &= d_s + L_{Dm} \\ &= 11,11 + 88,22362 + 0,02 \\ &= 12,87 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Apabila tinggi bangunan $h = 18 \text{ m}$

Persamaan (2.15) digunakan untuk perhitungan P_m :

$$\begin{aligned} P_m &= 101 \gamma \frac{H_b d_s}{L_D D} (D + d_s) \\ &= 101 \times 9,81 \frac{2,92}{88,22} \frac{11,11}{12,87} (12,87 + 11,11) \\ &= 679,23 \quad \text{kN/m}^2 \\ P_m &= 679,23 \\ P_m &= 679,23/6,6 \\ &= 8,87 \quad \text{kN/m}^2 \end{aligned}$$

4.6 Umur Rencana

Breakwater dirancang berdasarkan umur rencana bangunan pengaman pantai, yaitu 50 tahun. Umur rencana breakwater ini digunakan untuk menentukan tinggi gelombang maksimum yang berpotensi terjadi dalam rentang waktu tersebut.

Pada perhitungan diatas telah diperoleh data mengenai tinggi gelombang maksimum, periode, dan panjang gelombang di perairan dalam yang terjadi pada periode ulang 50 tahun. Gelombang dari laut dalam tersebut kemudian direfraksi menuju perairan dangkal di depan struktur breakwater. Hasil refraksi ini digunakan untuk menentukan tinggi gelombang di lokasi breakwater, yang selanjutnya menjadi dasar dalam perhitungan berat dan dimensi bangunan. Tujuannya adalah agar struktur yang direncanakan mampu menahan gelombang maksimum selama masa layan bangunan.

Data yang digunakan untuk perhitungan ini mengacu pada hasil analisis menggunakan metode Fisher Tippet Type I. Distribusi dilakukan untuk seluruh arah gelombang dengan menggunakan formula kesalahan absolut rerata.

4.7 Elevasi Muka Air Rencana

Elevasi muka air rencana dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$DWL = HHWL + S_w + SLR$$

Dimana :

$$\begin{aligned} DWL &= \text{Elevasi muka air rencana} \\ S_w &= \text{Wave Set Up} \\ SLR &= \text{Kenaikan muka air laut karena pemanasan global (Sea Level Rise)} \end{aligned}$$

1. Wave Set Up

Untuk perhitungan *wave set up* diambil dari perhitungan rencana diatas, dimana :

$$\begin{aligned} H_b &= 2,92 \text{ m,} \\ T &= 9,03 \text{ detik} \end{aligned}$$

Maka besar *wave set up* adalah :

$$\begin{aligned}
 S_w &= 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{H_b}{gT^2}} \right] H_b \\
 &= 0,19 \left[1 - 2,82 \sqrt{\frac{2,92}{9,81 \times 9,03^2}} \right] \times 2,92 \\
 &= 0,4606 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Besar *wave set down* di daerah gelombang pecah didapatkan nilai sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 S_b &= \frac{0,536 H_b^{2/3}}{g^{1/2} T} \\
 &= \frac{0,536 \times 2,92^{2/3}}{9,81^{1/2} \times 9,03} \\
 &= 0,0344 \text{ m}
 \end{aligned}$$

2. *Wind Set Up*

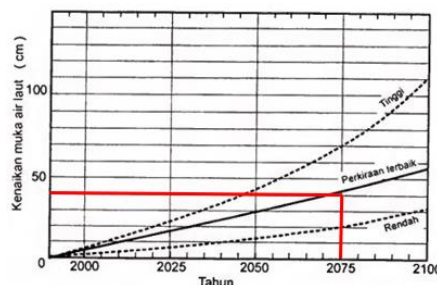
Untuk perhitungan *wind set up* dihitung berdasarkan rumus ... dengan parameter sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 F &= 200000 \text{ m} \\
 C &= 3,5 \times 10^{-6} \\
 V &= 13,67 \text{ m/s} \\
 d_b &= 3,65 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta h &= F c \frac{V^2}{2gd} \\
 &= 200000 \times 3,5 \times 10^{-6} \times \frac{13,67^2}{2 \times 9,81 \times 3,65} \\
 &= 1,83 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. *Sea Level Rise*

Perkiraan besar kenaikan muka air laut diberikan pada **Gambar 4.9**. Dari gambar didapatkan kenaikan muka air laut yang terjadi pada tahun 2075 dengan perkiraan terbaik adalah 40 mc = 0,40 m.



Gambar 4.9 Perkiraan Kenaikan Muka Air Laut Karena Pemanasan Global

Sehingga didapatkan elevasi muka air rencana adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 DWL &= HHWL + S_w + SLR \\
 &= 1,88 + 0,4606 + 0,4 \\
 &= 2,74 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.8 Perhitungan Struktur Breakwater

4.8.1 Elevasi Puncak Bangunan

Elevasi puncak bangunan dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Elevasi puncak} = \text{DWL} + R_u + F_b$$

Dimana :

$$\text{DWL} = \text{Design Water Level (elevasi muka air rencana)}$$

$$R_u = \text{Run-up gelombang}$$

$$F_b = \text{Tinggi jagaan (0,5 – 1,5 m)}$$

Run-up gelombang

Direncanakan :

$$\text{Jenis bangunan} = \text{breakwater}$$

$$\text{Lapis lindung} = \text{batu pecah}$$

$$\text{Tinggi gelombang } (H_b) = 2,92 \text{ m}$$

$$\text{Periode gelombang } (T) = 9,03 \text{ detik}$$

$$\text{Kemiringan bangunan} = 1 : 1,5$$

$$L_0 = 127,33 \text{ m}$$

$$I_r = \frac{\frac{\text{tg}\theta}{\left(\frac{H}{L_0}\right)^{0,5}}}{1/1,5}$$

$$I_r = \frac{\left(\frac{2,92}{127,33}\right)^{0,5}}{1/1,5}$$

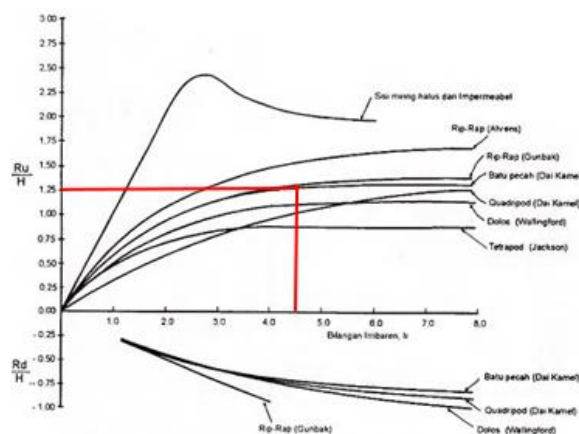
Run up gelombang didapat dari grafik berikut berdasarkan bilangan Irrabaren diatas adalah

$$R_u/H = 1,25 \text{ (Gambar 4.10)}$$

$$R_u = R_u \times H_b$$

$$= 1,25 \times 2,92$$

$$= 3,7 \text{ m}$$



Gambar 4.10 Perbandingan *Run-up* dan *Rundown* Relatif untuk Berbagai Tipe Sudut Miring

$$\begin{aligned} \text{Elevasi Puncak} &= \text{DWL} + R_u + \text{Tinggi jagaan} \\ &= 2,74 + 3,7 + 0,5 \\ &= 6,89 \text{ m} \end{aligned}$$

4.8.2 Berat Breakwater

Berat batu (W) dihitung dengan menggunakan **Persamaan (2.39)**. Breakwater direncanakan dengan tiga lapisan, yaitu lapisan pelindung I, pelindung II, dan lapisan inti. Sesuai dengan rekomendasi dari SPM, berat batu untuk lapisan pelindung II dan lapisan inti masing-masing adalah sebesar W/10 dan W/200.

$$\begin{aligned} W &= \frac{\gamma_r \cdot H_s}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \theta} \\ &= \frac{2,65 \cdot 2,92}{1,9 \cdot (2,57 - 1)^3 \cdot 1,5} \\ &= 5,960 \text{ ton} \end{aligned}$$

4.8.3 Dimensi Batu Breakwater

Dimensi batu breakwater dapat dihitung menggunakan rumus berikut.

$$\begin{aligned} D &= \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \\ &= \left[\frac{W}{\gamma_r} \right]^{1/3} \\ &= 0,750 \text{ m} \end{aligned}$$

4.8.4 Lebar Puncak Breakwater

Lebar puncak breakwater dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (2.40)**.

$$\begin{aligned} B &= n \cdot k_\Delta \cdot \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 3 \cdot 1,15 \cdot \left(\frac{5,96}{2,65} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 5 \text{ m} \end{aligned}$$

4.8.5 Tebal Lapisan breakwater

Tebal lapisan pelindung dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (2.41)**.

$$\begin{aligned} t &= n \cdot k_\Delta \cdot \left(\frac{W}{\gamma_r} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 2 \cdot 1,15 \cdot \left(\frac{5,96}{2,65} \right)^{\frac{1}{3}} \\ &= 3 \text{ m} \end{aligned}$$

4.8.6 Jumlah butir batu

Jumlah butir batu dapat dihitung dengan menggunakan **Persamaan (2.42)**.

$$\begin{aligned} N &= A \cdot n \cdot k_\Delta \cdot \left(1 - \frac{P}{100} \right) \cdot \left(\frac{\gamma_r}{w} \right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 10 \cdot 2 \cdot 1,15 \cdot \left(1 - \frac{37}{100} \right) \cdot \left(\frac{2,65}{5,96} \right)^{\frac{2}{3}} \\ &= 8 \end{aligned}$$

Sehingga, jumlah batu tiap satuan luas 10 m² adalah 8 buah

4.8.7 Berm

Berm berupa tumpukan batu dengan berat W/10 dimana W adalah berat batu yang diperlukan pada lapis lindung utama.

$$\begin{aligned}
 H &= 2,92 \text{ m} \\
 W/10 &= 0,596 \text{ ton} \\
 \text{Lebar toe berm (3H -4,5H)} \\
 B &= 3 \cdot 2,92 \\
 &= 8,8 \text{ m} \\
 N10 &= 39 \text{ butir}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.12 Rekapitulasi Dimensi Struktur Bangunan Tiap Lapisan

	Primary layer	Secondary Layer	Core Layer	Toe Berm
Berat (ton)	5,960	0,596	0,030	0,596
Lebar puncak (m)	5	Menyesuaikan	Menyesuaikan	8,8
Tebal Lapis (m)	3,0	1,4	-	Menyesuaikan
Jumlah per 10 m ²	8	39	289	39
Dimensi Batu (m)	0,750	0,075	0,004	0,075

Pada **Tabel 4.12** menunjukkan rincian dimensi dan karakteristik masing-masing lapisan struktur *breakwater* yang terdiri dari *primary layer*, *secondary layer*, *core layer*, *toe berm*.

4.8.8 Perhitungan Kebutuhan Geotextile Tube

Perhitungan kebutuhan geotextile tube dilakukan untuk menentukan jumlah, volume dan dimensi yang diperlukan agar struktur dapat berfungsi secara efektif sebagai pelindung terhadap energi gelombang. Berikut ini ditunjukkan perhitungan kebutuhan geotextile tube.

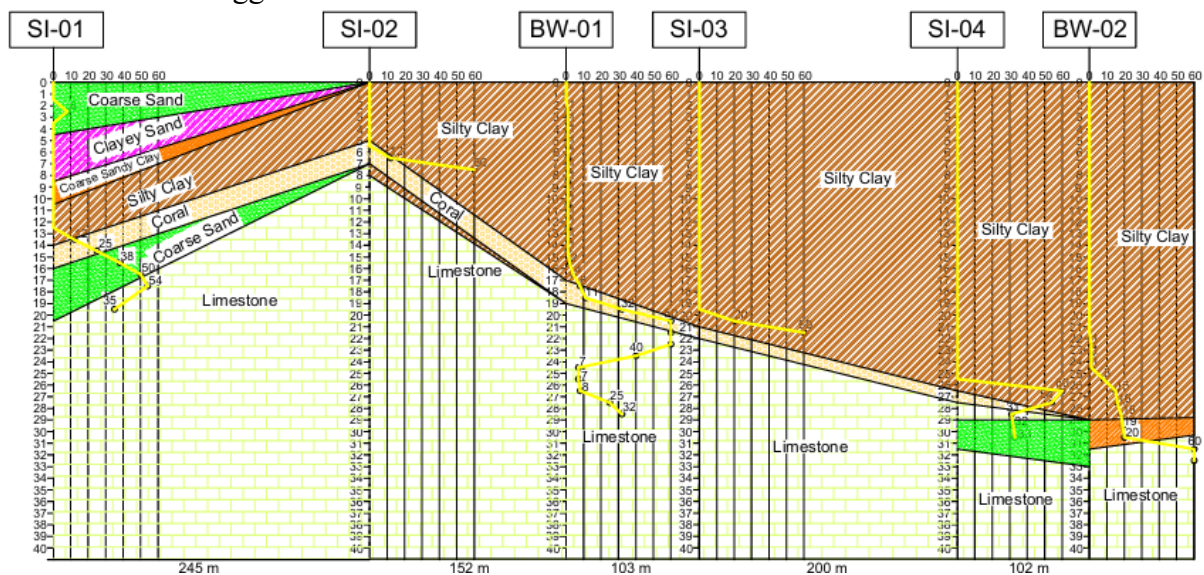
$$\begin{aligned}
 S_r &= \frac{\gamma_r}{\gamma_\alpha} \\
 &= \frac{2}{1,03} \\
 &= 1,9 \\
 W &= \frac{\gamma_r H^3}{K_D (S_r - 1)^3 \cot \theta} \\
 &= \frac{2 \times 2,92^3}{1,9(1,9 - 1)^3 \times 2} \\
 &= 15,72 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Untuk menentukan dimensi geotextile tube dengan $F_f = 80\%$ digunakan **Persamaan (2.45)** dan **(2.46)** :

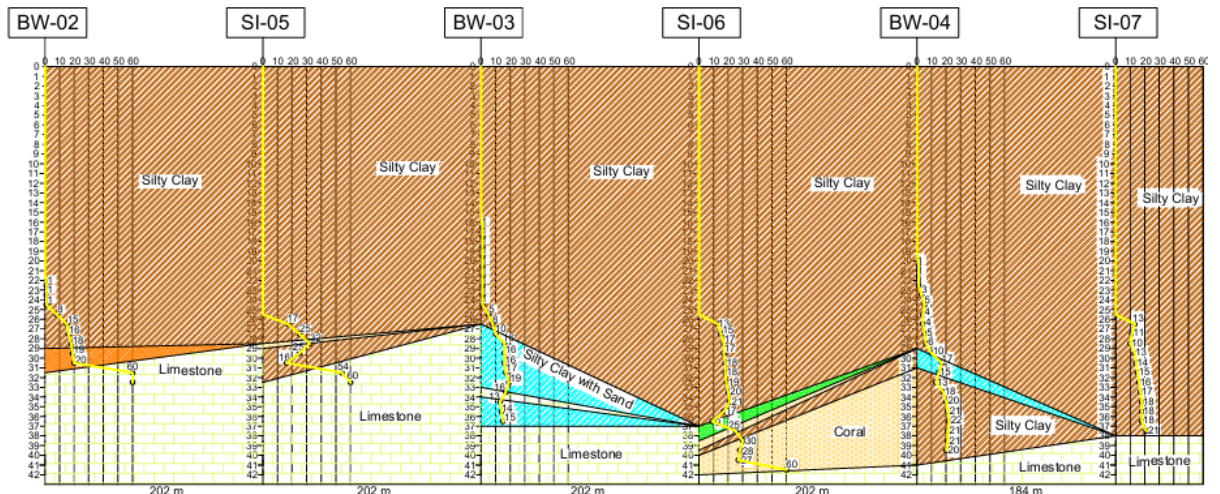
$$\begin{aligned}
 I_G &= \frac{\pi d}{2} e^{0,45 F_f} \\
 &= \frac{3,14 \times 2}{2} e^{0,45 \times 0,8} \\
 &= 4,5 \text{ m} \\
 h_G &= F_f \times d^{F_f} \\
 &= 0,8 \times 2^{0,8} \\
 &= 1,4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.9 Stratigrafi Tanah

Data tanah yang diperoleh melalui pengujian lapangan dan laboratorium dianalisis untuk menyusun stratigrafi tanah pada setiap titik *bore hole*. Setiap lapisan tanah diklasifikasikan berdasarkan jenis tanahnya. Terdapat 11 titik *bore hole*, yaitu dari SI-01 sampai SI-07. Tujuan dari penyusunan stratigrafi ini adalah untuk menilai keseragaman karakteristik tanah di tiap *bore hole*. Data dari 11 titik ini akan dibandingkan untuk mengevaluasi stratigrafi serta kedalaman lapisan tanah yang dapat mengalami konsolidasi. Analisis ini dilakukan untuk menentukan apakah 11 titik dapat dianggap merepresentasikan kondisi tanah yang seragam. Hasil stratigrafi pada titik SI-04, SI-05, SI-06, dan SI-07 yang ditampilkan pada **Gambar 4.11** dan **Gambar 4.12**. Berdasarkan gambar, diketahui bahwa nilai NSP-T pada keempat titik tersebut bernilai 0 hingga kedalaman 26 m.

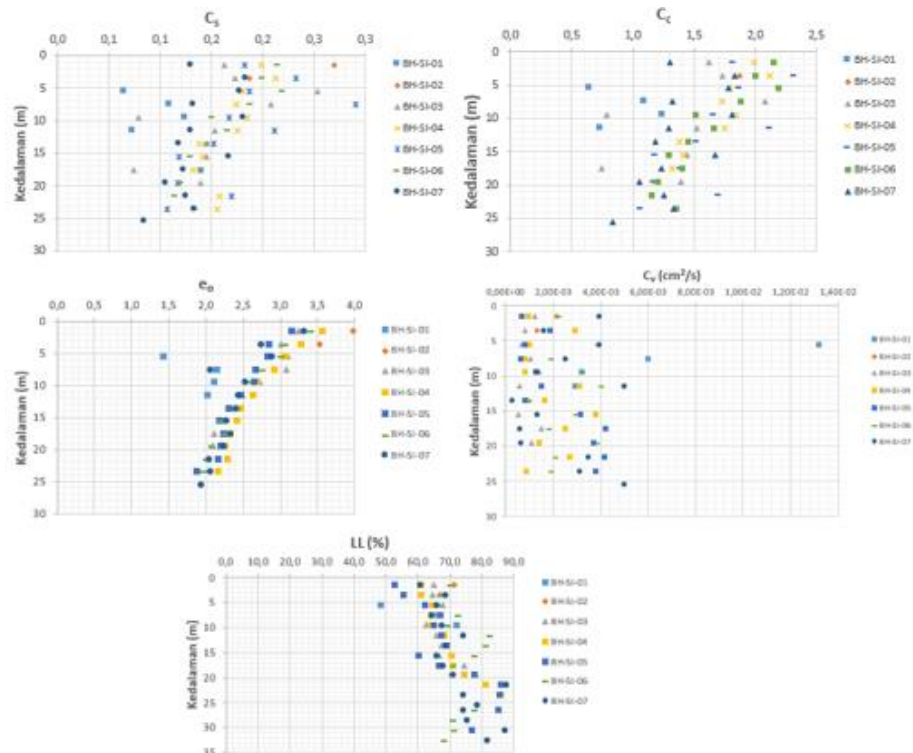


Gambar 4.11 Stratigrafi Tanah SI-01, SI-02, BW-01, SI-03, SI-04, dan BW-02

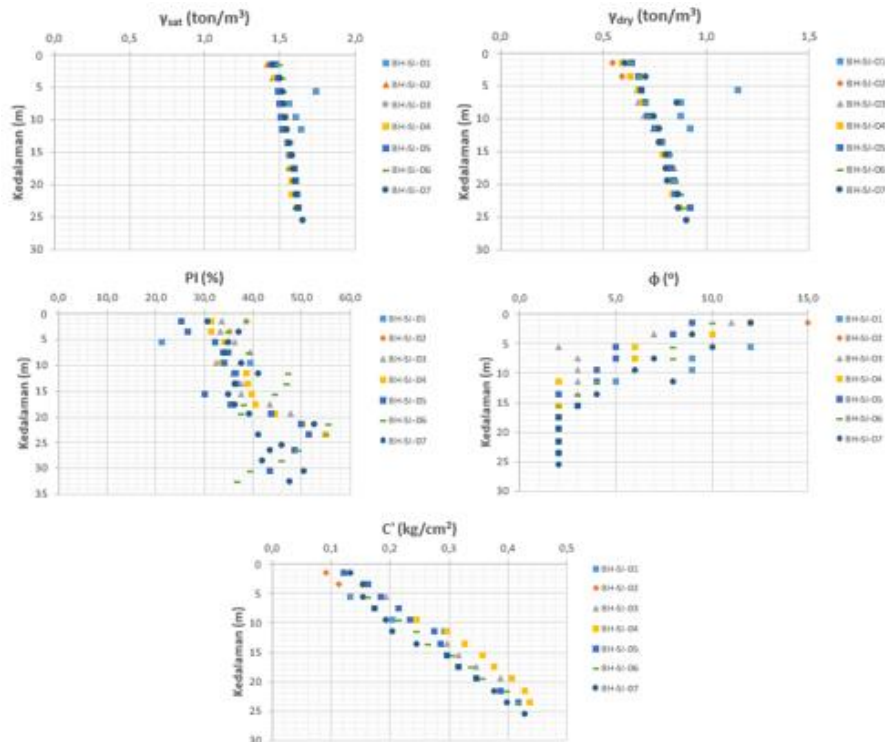


Gambar 4.12 BW-02, SI-05, BW-03, SI-06, BW-04, dan SI-07

Gambar 4.13 dan **Gambar 4.14** menggambarkan sebaran parameter tanah yang digunakan dalam menganalisis perilaku tanah pada Proyek Akhir ini. Data parameter tersebut diperoleh melalui pengujian laboratorium terhadap sampel tanah dari lokasi studi. **Gambar 4.13** menampilkan parameter yang berkaitan dengan kompresibilitas dan konsolidasi, seperti C_c , C_s , e_0 , C_v , serta LL. **Gambar 4.14** menunjukkan sebaran parameter seperti berat volume total (γ_{sat}), berat volume kering (γ_{dry}), PI, sudut geser (ϕ), kohesi (C').



Gambar 4.13 Distribusi Parameter Tanah C_s , C_c , e_0 , C_v , LL



Gambar 4.14 Distribusi Parameter Tanah γ_{sat} , γ_{dry} , PI, ϕ , C'

4.10 Korelasi Koefisien Konsolidasi (C_v) dengan Liquid Limit (LL)

Koefisien pengaliran tanah (C_v) dapat dicari menggunakan korelasi menurut U.S. Navy seperti pada **Gambar 2.20**. Dan ditunjukkan pada **Tabel 4.13** hasil korelasi C_v dengan LL.

Tabel 4.13 Korelasi Koefisien Konsolidasi (C_v) dengan Liquid Limit (LL)

LL	C_v (cm ² /s)
64,16	0,0002
65,50	0,0003
67,81	0,0003
65,39	0,0003
73,63	0,0003

4.11 Rekapitulasi Data Tanah

Pada **Tabel 4.14** menyajikan data hasil uji laboratorium berdasarkan kedalaman tanah, meliputi parameter kompresibilitas (C_c , e_o), sifat konsolidasi (C_v , C_h), sifat fisik (LL, γ_{sat} , γ_{dry}), parameter kekuatan geser (ϕ , C') dan indeks plastisitas (PI). Dan **Tabel 4.15** menunjukkan nilai modulus elastisitas (E) dan poisson ratio (ν) yang telah dikorelasi terhadap **Tabel 2.10** dan **Tabel 2.11**.

Tabel 4.14 Rekapitulasi Data Tanah yang digunakan untuk Analisa

Kedalaman	C_c	e_o	LL	C_v (cm ² /s)	C_h	γ_{sat} (t/m ³)	γ_{dry} (t/m ³)	ϕ' (°)	C' (kg/cm ²)	PI
0-5	1,95	3,21	64,16	0,0002	0,0004	1,47	0,63	9,0	0,14	34,45
5-10	1,80	2,72	65,50	0,0003	0,0006	1,55	0,73	7,1	0,17	35,20
10-15	1,35	2,38	67,81	0,0003	0,0006	1,56	0,78	3,2	0,27	36,77
15-20	1,28	2,23	65,39	0,0003	0,0006	1,58	0,82	2,2	0,34	36,51
20-25	1,23	2,12	73,63	0,0003	0,0006	1,61	0,87	2,0	0,39	52,78

Tabel 4.15 Nilai Modulus Elastisitas dan Poisson Ratio

E	v
(kN/m ²)	
42000	0,35
42000	0,35
42000	0,35
42000	0,35
42000	0,35

4.12 Koefisien Konsolidasi Gabungan

Di bawah ini merupakan perhitungan konsolidasi gabungan (C_{vgab}).

$$\begin{aligned}
 C_{vgab} &= \frac{(H_1 + H_2 + H_3 + H_4 + H_5)^2}{\left(\frac{H_1}{\sqrt{C_{v1}}} + \frac{H_2}{\sqrt{C_{v2}}} + \frac{H_3}{\sqrt{C_{v3}}} + \frac{H_4}{\sqrt{C_{v4}}} + \frac{H_5}{\sqrt{C_{v5}}} \right)^2} \\
 &= \frac{(5 + 5 + 5 + 5 + 5)^2}{\left(\frac{5}{\sqrt{0,0002}} + \frac{5}{\sqrt{0,0003}} + \frac{5}{\sqrt{0,0003}} + \frac{5}{\sqrt{0,0003}} + \frac{5}{\sqrt{0,0003}} \right)^2} \\
 &= 0,0002
 \end{aligned}$$

4.13 Data Beban

4.13.1 Beban Operasional

Beban Operasional adalah beban yang bekerja secara permanen selama masa pelayanan struktur. Pada proyek *breakwater* di Lamongan *Shorebase*, beban operasional direncanakan sebesar 15 kN/m². Nilai ini mengacu pada beban lalu lintas kendaraan atau alat berat yang beroperasi di atas *breakwater*, dan telah sesuai dengan ketentuan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Desain Geoteknik. Beban ini digunakan dalam analisis lereng untuk mengevaluasi keamanan struktur saat berada dalam kondisi pelayanan penuh.

4.13.2 Beban Gempa

Beban gempa merupakan beban tambahan yang dihitung berdasarkan potensi kejadian gempa bumi di lokasi proyek. Untuk wilayah Kabupaten Lamongan, nilai percepatan gempa rencana diambil sesuai dengan **Gambar 2.21**. Berdasarkan data tersebut, percepatan gempa maksimum (PGA) di lokasi adalah sebesar 0,2 g.

4.14 Perhitungan Pemampatan Konsolidasi

Langkah-langkah perhitungan pemampatan akibat konsolidasi disajikan pada **Tabel 4.16** dan **Tabel 4.17**. Dalam perhitungan ini, digunakan asumsi nilai beban rencana (q) untuk menentukan tinggi timbunan saat pelaksanaan. Nilai q yang digunakan adalah 15, 20, 30, 40, 50, dan 60 kN/m². Beban ini diasumsikan terdistribusi secara merata dalam bentuk trapesium ke kedalaman tanah yang dianalisis (z). Analisis konsolidasi dilakukan dengan mempertimbangkan dua jenis pemampatan, yaitu konsolidasi segera dan konsolidasi primer. Dari hasil perhitungan tersebut, diperoleh nilai pemampatan total (S_c) dan tinggi akhir timbunan (H_{final}) yang dibutuhkan dalam perencanaan. Dan dapat dilihat pada **Tabel 4.19**.

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi timbunan} &= 18 \text{ m} \\
 \gamma_{\text{sat.batu}} &= 26 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4.16 Hasil Penurunan Segera (Si)

Kedalaman			Es	ϕ	K_0	ν	E'i	h'/Ei
(m)			kN/m ²	Degree	1 - sin ϕ		kN/m ²	kN/m ³
1	2	3	4	5	6	7		
0	-	1	42000	9,0	0,8	0,35	26169,23	0,00004
1	-	2	42000	9,0	0,8	0,35	26169,23	0,00004
2	-	3	42000	9,0	0,8	0,35	26169,23	0,00004
3	-	4	42000	9,0	0,8	0,35	26169,23	0,00004
4	-	5	42000	9,0	0,8	0,35	26169,23	0,00004
5	-	6	42000	7,1	0,9	0,35	26169,23	0,00004
6	-	7	42000	7,1	0,9	0,35	26169,23	0,00004
7	-	8	42000	7,1	0,9	0,35	26169,23	0,00004
8	-	9	42000	7,1	0,9	0,35	26169,23	0,00004
9	-	10	42000	7,1	0,9	0,35	26169,23	0,00004
10	-	11	42000	3,2	0,9	0,35	26169,23	0,00004
11	-	12	42000	3,2	0,9	0,35	26169,23	0,00004
12	-	13	42000	3,2	0,9	0,35	26169,23	0,00004
13	-	14	42000	3,2	0,9	0,35	26169,23	0,00004
14	-	15	42000	3,2	0,9	0,35	26169,23	0,00004
15	-	16	42000	2,2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
16	-	17	42000	2,2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
17	-	18	42000	2,2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
18	-	19	42000	2,2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
19	-	20	42000	2,2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
20	-	21	42000	2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
21	-	22	42000	2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
22	-	23	42000	2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
23	-	24	42000	2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
24	-	25	42000	2	1,0	0,35	26169,23	0,00004
Total h'/E'i								0,00096

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan rentang kedalaman tanah yang dianalisis, dari kedalaman 0-25 meter. Setiap baris mewakili ketebalan 1 meter lapisan tanah.
2. Kolom 2 menunjukkan nilai modulus elastisitas (E) yang telah dikorelasikan dengan **Tabel 2.11**
3. Kolom 3 menunjukkan sudut geser tanah dalam satuan derajat
4. Kolom 4 menunjukkan koefisien tekanan lateral pada kondisi tanah tak terganggu.
5. Kolom 5 menunjukkan poisson ratio (ν) yang telah dikorelasikan dengan **Tabel 2.10**
6. Kolom 6 menunjukkan dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 E_i &= E' \cdot \left(1 - \frac{2\nu^2}{1 - \nu} \right) \\
 &= 42000 \cdot \left(1 - \frac{2 \times 0,35^2}{1 - 0,35} \right) \\
 &= 26169 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

7. Kolom 7 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 h'/E_i &= 1/26169 \\
 &= 0,0004 \text{ kN/m}^3 \\
 S_i &= q \cdot \sum_i \left(\frac{h_i}{E_i} \right) \\
 &= (18 \times 26) \times 0,00096 \\
 &= 0,447 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Diketahui

$$\begin{aligned}
 q &= 15 && \text{kN/m}^3 \\
 \gamma_{\text{air.laut}} &= 9,81 && \text{kN/m}^3 \\
 \gamma_{\text{batu}} &= 26 && \text{kN/m}^3 \\
 P &= q \times \gamma_{\text{batu}} \\
 &= 15 \times 26 \\
 &= 0,58 && \text{kN/m}^3 \\
 a &= P \times 1,5 && (\text{nilai } 1,5 \text{ didapatkan dari sudut kemiringan } breakwater) \\
 &= 15 \times 1,5 \\
 &= 0,87 && \text{m} \\
 b &= 76,6/2 && (\text{nilai } 76,6 \text{ m didapatkan dari lebar bangunan}) \\
 &= 38,3 && \text{m} \\
 \text{HWL} &= 2,1 && \text{m}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.17 Hasil Penurunan Konsolidasi

Kedalaman (m)	e_0	Cc	Cs	γ_{sat} kN/m ³	a/z	b/z	l	$\Delta\sigma$ kN/m ²	σ'_0 kN/m ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3,21	1,95	0,20	14,38	0,87	38,30	0,50	15	2,19
2	3,21	1,95	0,20	14,38	0,43	19,15	0,50	15	6,57
3	3,21	1,95	0,20	14,38	0,29	12,77	0,50	15	10,94
4	3,21	1,95	0,20	14,38	0,22	9,58	0,50	15	15,32
5	3,21	1,95	0,20	14,38	0,17	7,66	0,50	15	19,70
6	2,72	1,80	0,18	15,22	0,14	6,38	0,50	15	22,31
7	2,72	1,80	0,18	15,22	0,12	5,47	0,50	15	53,60
8	2,72	1,80	0,18	15,22	0,11	4,79	0,50	15	58,81
9	2,72	1,80	0,18	15,22	0,10	4,26	0,50	15	64,03
10	2,72	1,80	0,18	15,22	0,09	3,83	0,50	15	69,24
11	2,38	1,35	0,14	15,26	0,08	3,48	0,50	15	71,87
12	2,38	1,35	0,14	15,26	0,07	3,19	0,50	15	129,74
13	2,38	1,35	0,14	15,26	0,07	2,95	0,50	15	135,00
14	2,38	1,35	0,14	15,26	0,06	2,74	0,49	14,7	140,27
15	2,38	1,35	0,14	15,26	0,06	2,55	0,48	14,4	145,53
16	2,23	1,28	0,13	15,54	0,05	2,39	0,48	14,4	148,30
17	2,23	1,28	0,13	15,54	0,05	2,25	0,48	14,4	236,92
18	2,23	1,28	0,13	15,54	0,05	2,13	0,48	14,4	242,46
19	2,23	1,28	0,13	15,54	0,05	2,02	0,48	14,4	248,00

Kedalaman (m)	e_0	C_c	C_s	γ_{sat} kN/m ³	a/z	b/z	I	$\Delta\sigma$ kN/m ²	σ'_0 kN/m ²
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
20	2,23	1,28	0,13	15,54	0,04	1,92	0,47	14,1	253,54
21	2,12	1,23	0,12	15,82	0,04	1,82	0,47	14,1	256,45
22	2,12	1,23	0,12	15,82	0,04	1,74	0,47	14,1	378,60
23	2,12	1,23	0,12	15,82	0,04	1,67	0,47	14,1	384,42
24	2,12	1,23	0,12	15,82	0,04	1,60	0,47	14,1	390,24
25	2,12	1,23	0,12	15,82	0,03	1,53	0,47	14,1	396,05

Lanjutan Tabel 4.18 Hasil Penurunan Konsolidasi

$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ kN/m ²	σ_c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
11	12	13	14
17,19	4,29	1,96	0,29
21,57	8,67	1,32	0,38
25,94	13,04	1,19	0,43
30,32	17,42	1,14	0,46
34,70	21,80	1,11	0,48
37,31	24,41	1,09	0,55
68,60	55,70	1,04	0,31
73,81	60,91	1,04	0,33
79,03	66,13	1,03	0,34
84,24	71,34	1,03	0,35
86,87	73,97	1,03	0,31
144,74	131,84	1,02	0,20
150,00	137,10	1,02	0,21
154,97	142,37	1,01	0,21
159,93	147,63	1,01	0,21
162,70	150,40	1,01	0,22
251,32	239,02	1,01	0,15
256,86	244,56	1,01	0,16
262,40	250,10	1,01	0,16
267,64	255,64	1,01	0,16
270,55	258,55	1,01	0,17
392,70	380,70	1,01	0,12
398,52	386,52	1,01	0,12
404,34	392,34	1,01	0,13
410,15	398,15	1,01	0,13
Primary Settlement Total (Sc)			6,57

Keterangan :

1. Kolom 1 merupakan lapisan tanah yang dianalisis. Setiap baris mewakili lapisan tanah pada kedalaman tertentu
2. Kolom 2 e_0 merupakan angka pori tanah.

3. Kolom 3 C_c merupakan indeks kompresi. Nilai ini menggambarkan tingkat kompresibilitas tanah saat mengalami pembebanan di atas tekanan prakonsolidasi
4. Kolom 4 C_s merupakan indeks pemuaian
5. Kolom 5 γ_{sat} merupakan berat volue tanah (*bulk unit weight*), dalam satuan kN/m^3
6. Kolom 6 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} a/z &= 0,87 / 1 \\ &= 0,87 \end{aligned}$$

7. Kolom 7 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} b/z &= 38,30 / 1 \\ &= 38,30 \end{aligned}$$

8. Kolom 8 didapatkan dari **Gambar 2.24** Grafik Influence Factor

9. Kolom 9 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \Delta\sigma &= 2 \times I \times q \\ &= 2 \times 0,5 \times 15 \\ &= 15 \end{aligned}$$

10. Kolom 10 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \sigma'_0 &= \gamma' \times Z = (\gamma_{sat} - \gamma_{water}) \times Z \\ &= (14,38 - 10) \times 1/2 \times 1 \\ &= 2,19 \text{ kN/m}^2 \\ &= \end{aligned}$$

11. Kolom 11 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \sigma'_0 + \Delta\sigma &= 15 + 2,9 \\ &= 17,19 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

12. Kolom 12 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \sigma'_0 + h_{wl} \\ &= 2,19 + 2,1 \\ &= 4,29 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

13. Kolom 13 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} OCR &= \sigma_c / \sigma'_0 \\ &= 4,29 / 2,19 \\ &= 1,96 \end{aligned}$$

14. Kolom 14 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} S_{ci} &= H_i \left[\frac{C_s}{1 + e_0} \log \frac{\sigma_c}{\sigma'_0} + \frac{C_c}{1 + e_0} \log \frac{\sigma'_0 + \Delta\sigma}{\sigma_0} \right] \\ &= 1 \times \left[\frac{0,2}{1 + 3,21} \log \frac{4,29}{2,19} + \frac{1,95}{1 + 3,21} \log \frac{17,19}{4,29} \right] \\ &= 0,29 \text{ m} \end{aligned}$$

Hasil penurunan total

$$\begin{aligned} S_{total} &= S_i + S_{ci} \\ &= 0,447 + 6,57 \\ &= 7,01 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 4.19 Perhitungan Tinggi Timbunan

Beban, q (kN/m ²)	Penurunan Tanah (m)	Tinggi Timbunan Awal (m)	Tinggi Timbunan Akhir (m)
15,0	7,01	7,59	0,58
20,0	9,12	9,89	0,77
30,0	12,89	14,04	1,15
40,0	16,26	17,80	1,54
50,0	19,35	21,27	1,92
60,0	22,20	24,51	2,31

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan asumsi beban rencana yang diberikan pada tanah
2. Kolom 2 menunjukkan besar penurunan yang terjadi akibat konsolidasi tanah karena beban q. Dihitung menggunakan rumus :

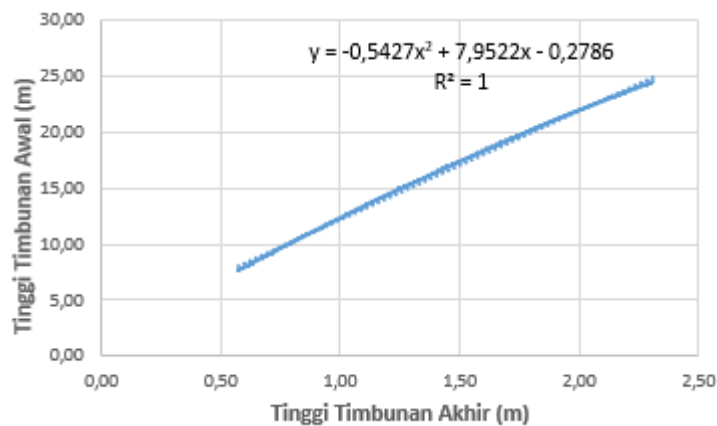
$$\begin{aligned}
 \text{Penurunan} &= S_i + S_c \\
 &= 0,447 + 6,57 \\
 &= 7,01 \text{ m}
 \end{aligned}$$

3. Kolom 3 dihitung menggunakan rumus :

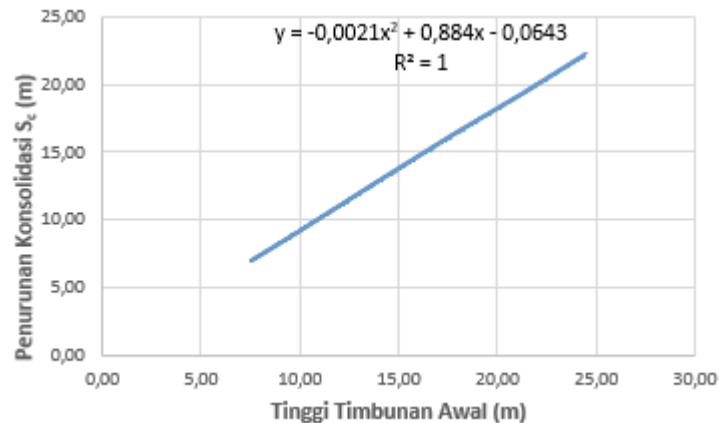
$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi timbunan awal} &= ((\text{beban rencana}/\gamma_{\text{sat.batu}}) + (S_c)) \\
 &= ((15/26) + (7,01)) \\
 &= 7,59 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4. Kolom 4 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi timbunan akhir} &= \text{tinggi timbunan awal} - \text{penurunan tanah} \\
 &= 7,59 - 7,01 \\
 &= 0,58 \text{ m}
 \end{aligned}$$



Gambar 4.15 Grafik Hubungan antara H_{final} dengan H_{awal}



Gambar 4.16 Grafik Hubungan antara H_{awal} dan Settlement

Gambar 4.15 menunjukkan hubungan linier antara tinggi timbunan akhir (H_{final}) dengan tinggi timbunan awal (h_{awal}) berdasarkan hasil perhitungan konsolidasi. Grafik ini menggambarkan bahwa semakin tinggi timbunan akhir yang diinginkan, maka tinggi timbunan awal yang harus direncanakan juga semakin besar, untuk mengimbangi penurunan (settlement) tanah akibat beban timbunan. Sedangkan **Gambar 4.16** menjelaskan jika semakin tinggi timbunan awal yang diberikan, maka penurunan konsolidasi yang terjadi juga semakin besar.

Rumus regresi hubungan h_{final} dan h_{awal} :

$$\begin{aligned}
 H_{inisial} &= -0,5427(H_{final})^2 + 7,9522 \times (H_{final}) - 0,2786 \\
 &= -0,5427(18)^2 + 7,9522 \times (18) - 0,2786 \\
 &= 32,97 \text{ m} \approx 33 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Rumus regresi hubungan h_{final} dan *settlement* :

$$\begin{aligned}
 St &= -0,0021(h_{final})^2 + 0,884 \times (H_{final}) - 0,0643 \\
 &= -0,0021(18)^2 + 0,884 \times (18) - 0,0643 \\
 &= 15,17 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.15 Penimbunan Bertahap

Untuk mencapai tinggi timbunan awal, digunakan metode penimbunan secara bertahap. Dalam Proyek Akhir ini, kecepatan penimbunan yang digunakan adalah 50 cm per minggu. Pada **Tabel 4.20** menunjukkan perkembangan derajat konsolidasi tanah lunak pada setiap tahap penimbunan. Dengan tinggi timbunan akhir pada titik borlog SI-07 sebesar 33 meter, maka jumlah tahapan penimbunan dalam perencanaan dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 H_{awal} &= 18 \text{ m} \\
 \text{Kecepatan pentahapan timbunan} &= 0,5 \text{ m/minggu} \\
 \text{Jumlah tahapan} &= 32,97 \approx 33 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Tabel 4.20 Derajat Konsolidasi Tiap Tahap Timbunan

Tahap Penimbunan ke-	Tinggi Timbunan (meter)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi (%)
1	2	3	4
1	0,5	1	12,41
2	1	2	17,56

Tahap Penimbunan ke-	Tinggi Timbunan (meter)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi (%)
1	2	3	4
3	1,5	3	21,50
4	2	4	24,83
5	2,5	5	27,76
6	3	6	30,41
7	3,5	7	32,84
8	4	8	35,11
9	4,5	9	37,24
10	5	10	39,25
11	5,5	11	41,17
12	6	12	43,00
13	6,5	13	44,76
14	7	14	46,45
15	7,5	15	48,08
16	8	16	49,65
17	8,5	17	51,18
18	9	18	52,67
19	9,5	19	54,11
20	10	20	55,51

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan urutan tahap penimbunan.
2. Kolom 2 merupakan tinggi kumulatif timbunan yang telah dicapai pada tiap tahap. Setiap minggunya dilakukan penambahan tinggi timbunan sebesar 0,5 meter, sehingga nilainya bertambah seiring waktu.
3. Kolom 3 menunjukkan lama waktu sejak penimbunan dimulai hingga tahap yang telah direncanakan.
4. Kolom 4 merupakan persentase konsolidasi tanah lunak pada setiap tahap penimbunan. Dihitung dengan menggunakan rumus :

Diketahui

$$\begin{aligned}
 C_{vgab} &= 0,0002 && \text{Cm}^2/\text{s} \\
 &= (0,0002/10000) \times 604800 \\
 &= 0,012096 && \text{m}^2/\text{minggu}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 H_d &= 25 \\
 \pi &= 3,14
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_v &= \frac{t \cdot C_v}{H_d} \\
 &= \frac{1 \cdot 0,012096}{1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a &= 0,01 \\
 &= \frac{1,781 - T_v}{0,933}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{1,781 - 0,01}{0,933} \\
&= 1,90 \\
U_v &= \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
&= \left(2 \sqrt{\frac{0,01}{3,14}} \right) \times 100\% \\
&= 12,41
\end{aligned}$$

4.16 Menghitung Tegangan di Tiap Lapisan Tanah untuk Derajat Konsolidasi (U) 100%

Perhitungan perubahan tegangan pada titik borlog SI-07 didapat dari :

$$\sigma_1' = P_0 + \Delta P1$$

$$\sigma_2' = \sigma_1' + \Delta P2$$

Perhitungan di atas dilakukan seterusnya hingga σ_{66}' . Harga P_0 , σ_1' , σ_2' , dan σ_3' berbeda-beda untuk setiap kedalaman tanah. Contoh perhitungan hanya pada lapisan 1 tanah dasar.

$$\Delta P1 = 2 \times l \times q$$

Hasil perhitungan perubahan tegangan akibat beban bertahap dari tahap 1 hingga tahap 2 dilanjutkan sampai tahap 66 derajat konsolidasi 100% dapat dilihat pada **Tabel 4.22**. Sedangkan pada **Tabel 4.21** menunjukkan perubahan tegangan efektif vertikal.

Tabel 4.21 Tegangan Efektif

Perubahan Tegangan	z m	Po' kN/m ²	σ_1' kN/m ²	σ_2' kN/m ²
Kedalaman		H= 0m	H= 0,5m	H= 1,0m
1	2	3	4	5
1	0,5	2,19	17,19	32,19
2	1,5	6,57	21,57	36,57
3	2,5	10,94	25,94	40,94
4	3,5	15,32	30,32	45,32
5	4,5	19,70	34,70	49,70
6	5,5	22,31	37,31	52,31
7	6,5	53,60	68,60	83,60
8	7,5	58,81	73,81	88,81
9	8,5	64,03	79,03	94,03
10	9,5	69,24	84,24	99,24
11	10,5	71,87	86,87	101,87
12	11,5	129,74	144,74	159,74
13	12,5	135,00	150,00	165,00

Perubahan Tegangan	z m	Po' kN/m ²	σ1' kN/m ²	σ2' kN/m ²
Kedalaman		H= 0m	H= 0,5m	H= 1,0m
1	2	3	4	5
14	13,5	140,27	154,97	169,67
15	14,5	145,53	159,93	174,33
16	15,5	148,30	162,70	177,10
17	16,5	236,92	251,32	265,72
18	17,5	242,46	256,86	271,26
19	18,5	248,00	262,40	276,80
20	19,5	253,54	267,64	281,74
21	20,5	256,45	270,55	284,65
22	21,5	378,60	392,70	406,80
23	22,5	384,42	398,52	412,62
24	23,5	390,24	404,34	418,44
25	24,5	396,05	410,15	424,25

Keterangan :

1. Kolom 1 merupakan lapisan tanah yang dianalisis. Setiap baris mewakili lapisan tanah pada kedalaman tertentu
2. Kolom menunjukkan posisi dimana tegangan efektif dihitung
3. Kolom 3 merupakan tegangan efektif awal sebelum adanya timbunan. Dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 P_0' &= (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) \times z \\
 &= (14,38 - 10) \times 1/2 \times 1 \\
 &= 2,19 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4. Kolom 4 dan 5 merupakan tegangan efektif pada kedalaman z setelah ada penambahan timbunan setinggi 0,5 dan 1 m. Dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 \sigma_1' &= P_0' + \Delta P_1 \\
 &= 2,19 + 15 \\
 &= 17,19 \text{ kN/m}^2 \\
 \sigma_2' &= \Delta P_1 + \Delta P_2 \\
 &= 17,19 + 15 \\
 &= 32,19 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Tabel 4.22 Tegangan Akibat Penimbunan Bertahap

Perubahan Tegangan	Po' kN/m ²	ΔP1 kN/m ²	ΔP2 kN/m ²	ΔP3 kN/m ²
Tinggi Penimbunan	H= 0m	H= 0,5m	H= 1,0m	H= 1,5m
	-	66 minggu	65 minggu	64 minggu
1	2	3	4	5
1	2,19	0,6381	2,0012	2,7594
2	6,57	1,0445	2,0945	2,8048
3	10,94	1,2377	2,1635	2,8422
4	15,32	1,3548	2,2167	2,8734

Perubahan Tegangan	Po' kN/m ²	ΔP1 kN/m ²	ΔP2 kN/m ²	ΔP3 kN/m ²
Tinggi Penimbunan	H= 0m	H= 0,5m	H= 1,0m	H= 1,5m
	-	66 minggu	65 minggu	64 minggu
5	19,70	1,4342	2,2590	2,8999
6	22,31	1,4705	2,2803	2,9138
7	53,60	1,6671	2,4233	3,0195
8	58,81	1,6821	2,4365	3,0305
9	64,03	1,6950	2,4482	3,0404
10	69,24	1,7061	2,4586	3,0493
11	71,87	1,7111	2,4634	3,0535
12	129,74	1,7740	2,5274	3,1124
13	135,00	1,7772	2,5309	3,1158
14	140,27	1,7461	2,4851	3,0583
15	145,53	1,7145	2,4389	3,0003
16	148,30	1,7158	2,4404	3,0018
17	236,92	1,7417	2,4702	3,0323
18	242,46	1,7427	2,4714	3,0335
19	248,00	1,7436	2,4726	3,0347
20	253,54	1,7091	2,4232	2,9737
21	256,45	1,7095	2,4237	2,9743
22	378,60	1,7224	2,4394	2,9911
23	384,42	1,7228	2,4399	2,9917
24	390,24	1,7232	2,4404	2,9922
25	396,05	1,7236	2,4409	2,9928

Keterangan :

1. Kolom 1 merupakan lapisan tanah yang dianalisis. Setiap baris mewakili lapisan tanah pada kedalaman tertentu
2. Kolom 2 merupakan tegangan efektif awal sebelum adanya timbunan. Dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 P_0' &= (\gamma_{\text{sat}} - \gamma_{\text{water}}) \times z \\
 &= (14,38 - 10) \times 1/2 \times 1 \\
 &= 2,19 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

3. Kolom 3 menunjukkan penambahan tegangan vertikal (tambahan beban) akibat beban timbunan setinggi 0,5 m. Dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 \Delta p_1 &= \left[\left(\frac{\sigma_1'}{\sigma_0'} \right)^{U_1} \times \sigma_0' \right] - \sigma_0' \\
 &= \left[\left(\frac{17,19}{2,19} \right)^{0,124} \times 2,19 \right] - 2,19 \\
 &= 0,6381 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4. Kolom 4 menunjukkan penambahan tegangan vertikal (tambahan beban) akibat beban timbunan setinggi 1 m. Dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
\Delta p_2 &= \left[\left(\frac{\sigma_2'}{\sigma_1'} \right)^{U_2} \times \sigma_1' \right] - \sigma_1' \\
&= \left[\left(\frac{32,19}{17,19} \right)^{0,176} \times 17,19 \right] - 17,19 \\
&= 2,0012 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

5. Kolom 5 menunjukkan penambahan tegangan vertikal (tambahan beban) akibat beban timbunan setinggi 1,5 m. Dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
\Delta p_2 &= \left[\left(\frac{\sigma_3'}{\sigma_2'} \right)^{U_2} \times \sigma_2' \right] - \sigma_2' \\
&= \left[\left(\frac{32,19}{17,19} \right)^{0,176} \times 17,19 \right] - 17,19 \\
&= 2,7594 \text{ kN/m}^2
\end{aligned}$$

4.17 Perhitungan Peningkatan Kohesi *Undrained* (Cu)

Setelah menghitung penambahan tegangan efektif pada derajat konsolidasi <100%, nilai Cu baru dapat dihitung. Karena harga *Plasticity Index* (PI) pada tanah ini kurang dari 120% maka Cu baru dihitung dengan menggunakan **Persamaan (2.74)**. Hasil peningkatan nilai Cu dapat dilihat pada **Tabel 4.23** Perhitungan Cu dilakukan pada zona titik borlog SI-07.

Tabel 4.23 Peningkatan Kohesi *Undrained* (Cu)

Kedalaman (m)	PI	Cu lama (kN/m ²)	Cu baru (kN/m ²)
1	2	3	4
1	34,45	0,00	67,59
2	34,45	0,00	68,50
3	34,45	0,00	69,38
4	34,45	0,00	70,24
5	34,45	0,00	71,10
6	35,20	0,00	71,60
7	35,20	0,00	77,63
8	35,20	0,00	78,63
9	35,20	0,00	79,63
10	35,20	0,00	80,63
11	36,77	0,00	81,12
12	36,77	0,00	92,14
13	36,77	0,00	93,14
14	36,77	0,00	92,94
15	36,77	0,00	92,73
16	36,51	0,00	93,26
17	36,51	0,00	110,08
18	36,51	0,00	111,13
19	36,51	0,00	112,18
20	36,51	0,00	112,03
21	52,78	76,49	112,43
22	52,78	76,49	135,56

Kedalaman (m)	PI	Cu lama (kN/m ²)	Cu baru (kN/m ²)
1	2	3	4
23	52,78	76,49	136,66
24	52,78	76,49	137,76
25	52,78	76,49	138,86

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan kedalaman lapisan tanah dari permukaan tanah dalam satuan meter (m)
2. Kolom 2 merupakan *Plasticity Index* tanah, yaitu selisih antara batas cair (LL) dan batas plastis (PL) dari tanah
3. Kolom 3 merupakan nilai Cu lama dari tanah sebelum dilakukan perbaikan tanah. Dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 C_u &= 0,06 \text{ NSPT} \\
 &= 0,06 \times 0 \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

4. Kolom 4 merupakan nilai Cu baru setelah perbaikan tanah. Dan diitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 C_u &= 0,0737 + (0,1899 - 0,0016PI) \times \sigma_p' \\
 &= 0,0737 + (0,1899 - 0,0016 \times 0,35) \times 3,25 \\
 &= 67,59 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

4.18 Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Evaluasi terhadap pemampatan akibat beban timbunan yang dilakukan secara bertahap perlu dilakukan untuk memastikan apakah pada tahap akhir penimbunan, besarnya pemampatan yang terjadi telah sesuai dengan yang direncanakan. Tujuan dari evaluasi ini adalah untuk mengendalikan mengendalikan jikada perlunya waktu tunda agar pemampatan sesuai target tercapai, sehingga ketika proses penimbunan selesai, tidak terjadi konsolidasi berlebih yang dapat berdampak negatif terhadap kestabilan struktur di atasnya.

Perhitungan pemampatan tanah akibat timbunan bertahap mengacu pada tiga rumus, yaitu **Persamaan (2.66), (2.67), dan (2.68)**. Contoh langkah perhitungan besarnya S_c dapat dilihat pada **Tabel 4.24** sebagai berikut.

Tabel 4.24 Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Kedalaman (m)	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4
1	2	3	4	5
1	0,003722	0,007748	0,006498	0,005791
2	0,001906	0,003111	0,003198	0,003250
3	0,001306	0,001995	0,002169	0,002298
4	0,000997	0,001480	0,001653	0,001787
5	0,000807	0,001180	0,001340	0,001466
6	0,000755	0,001097	0,001254	0,001379
7	0,000341	0,000485	0,000574	0,000648
8	0,000313	0,000444	0,000527	0,000596
9	0,000288	0,000410	0,000487	0,000551

Kedalaman (m)	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4
1	2	3	4	5
10	0,000268	0,000380	0,000453	0,000513
11	0,000214	0,000304	0,000363	0,000411
12	0,000121	0,000172	0,000207	0,000237
13	0,000117	0,000165	0,000199	0,000228
14	0,000110	0,000156	0,000188	0,000215
15	0,000104	0,000148	0,000178	0,000204
16	0,000102	0,000144	0,000174	0,000199
17	0,000064	0,000091	0,000110	0,000127
18	0,000063	0,000089	0,000108	0,000124
19	0,000061	0,000087	0,000105	0,000121
20	0,000059	0,000083	0,000101	0,000116
21	0,000058	0,000081	0,000099	0,000114
22	0,000039	0,000055	0,000068	0,000078
23	0,000039	0,000055	0,000067	0,000077
24	0,000038	0,000054	0,000066	0,000075
25	0,000037	0,000053	0,000065	0,000074
Σ	0,011930	0,020068	0,020252	0,020678

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan kedalaman lapisan tanah dari permukaan tanah ke bawah, dalam satuan meter (m)
2. Kolom 2, 3, 4, dan 5 menunjukkan besarnya penurunan tanah pada setiap kedalaman yang disebabkan oleh setiap tahapan.

Contoh pada tahap 1 :

Nilai $P_c' = 4,29$

$P_0' + \Delta p = 2,19 + 0,4439 = 2,6327$, maka memakai persamaan ($P_0' + \Delta p \leq P_c'$) memakai **Persamaan (2.66)**.

$$\begin{aligned}
 S_c &= \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{P_0' + \Delta p_1}{p'} \\
 &= \frac{0,2 \times 1}{1 + 3,21} \log \frac{2,19 + 0,4439}{2,19} \\
 &= 0,003722 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Contoh pada tahap 3 :

Nilai $P_c' = 4,29$

$P_0' + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 = 2,19 + 0,4439 + 1,0258 + 1,3916 = 5,0502$, maka memakai persamaan ($P_0' + \Delta p \leq P_c'$) memakai **Persamaan (2.68)**.

$$\begin{aligned}
 S_c &= \frac{C_s H}{1 + e_0} \log \frac{P_0' + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{P_0' + \Delta p_1 + \Delta p_2} \\
 &= \frac{0,2 \times 1}{1 + 3,21} \log \frac{2,19 + 0,4439 + 1,0258 + 1,3916}{2,19 + 0,4439 + 1,0258} \\
 &= 0,006498 \text{ m}
 \end{aligned}$$

4.19 Konsolidasi Alami Tanpa PVD

Di bawah ini merupakan langkah langkah perhitungan konsolidasi alami tanpa PVD. Pada **Tabel 4.25** disajikan hasil perhitungan konsolidasi alami tanpa PVD. Dan pada **Gambar**

4.17 menampilkan hubungan antara waktu konsolidasi (t) dalam satuan tahun dengan derajat konsolidasi (U%) pada tanah yang mengalami konsolidasi alami tanpa penggunaan PVD.

$$\begin{aligned} C_{vgab} &= 0,0002 \text{ cm}^2/\text{s} \\ &= 0,65 \text{ cm}^2/\text{tahun} \\ H_d &= 25 \text{ m} \\ \pi &= 3,14 \end{aligned}$$

Tabel 4.25 Perhitungan Konsolidasi Alamai Tanpa PVD

Tahun (t)	T_v	a	U_v
1	2	3	4
0	0,00	1,91	0,00
10	0,01	1,90	11,52
50	0,05	1,85	25,77
100	0,10	1,80	36,44
150	0,16	1,74	44,63
200	0,21	1,69	51,54
250	0,26	1,63	57,62
300	0,31	1,57	62,53
350	0,36	1,52	67,06
400	0,42	1,46	71,03
450	0,47	1,41	74,53
500	0,52	1,35	77,60
550	0,57	1,29	80,31
600	0,63	1,24	82,68
650	0,68	1,18	84,78
700	0,73	1,13	86,61
750	0,78	1,07	88,23
800	0,83	1,01	89,65
850	0,89	0,96	90,90

Keterangan :

- Kolom 1 menunjukkan waktu dalam satuan tahun yang digunakan untuk melihat perkembangan konsolidasi seiring waktu
- Kolom 2 dihitung menggunakan rumus :

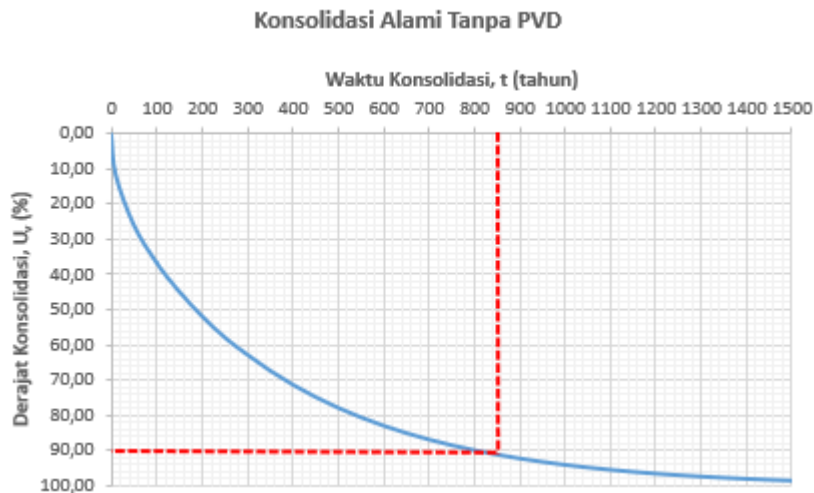
$$\begin{aligned} T_v &= \frac{t \times C_v}{(H_d)^2} \\ &= \frac{10 \times 0,65}{(25)^2} \\ &= 0,01 \end{aligned}$$

- Kolom 3 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} a &= \frac{1,781 - T_v}{0,933} \\ &= \frac{1,781 - 0,01}{0,933} \\ &= 1,90 \end{aligned}$$

- Kolom 4 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 U_v &= \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= \left(2 \sqrt{\frac{0,01}{3,14}} \right) \times 100\% \\
 &= 11,52
 \end{aligned}$$



Gambar 4.17 Grafik Konsolidasi Alami Tanpa PVD

4.20 Perhitungan PVD

Proyek Akhir ini melakukan perhitungan *Prefabricated Verical Drain* (PVD) dengan menganalisis dua pola penempatan, yaitu segitiga (**Tabel 4.26** dan **Tabel 4.27**) dan segiempat (**Tabel 4.28** dan **Tabel 4.29**), dimana masing-masing pola dibahas secara terpisah termasuk rekapitulasi derajat konsolidasinya. Hasil perhitungan tersebut ditunjukkan dalam **Gambar 4.18** (pola segitiga) dan **Gambar 4.19** (pola segiempat) yang menunjukkan hubungan antara waktu konsolidasi dengan pencapaian derajat konsolidasi. Analisa ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas kedua pola penempatan PVD dalam mempercepat proses konsolidasi tanah.

Spesifikasi PVD

Lebar (a) = 100 mm
 Tebal (b) = 4,5 mm

C_{vgab} = 0,0002 Cm^2/s
 = 0,0536 m^2/bulan
 C_h = 0,1071 m^2/bulan
 d_w = 51,25 mm
 0,0523 m
 H_d = 25 m
 π = 3,14

PVD Pola Segitiga

Jarak PVD = 1 m
 D = 1,05 x 1
 = 1,05

$$\begin{aligned}
 F(n) &= \text{LN}(D/d_w) - 3/4 \\
 &= \text{LN}(1,05/0,0523) - 3/4 \\
 &= 2,25
 \end{aligned}$$

Tabel 4.26 Perhitungan Derajat Konsolidasi PVD Pola Segitiga Jarak 1 m

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
1	2	3	4	5	6
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0863	8,2719	8,7511
0,5	0,0000	0,7388	0,1727	15,8596	16,4812
0,75	0,0001	0,9048	0,2590	22,8196	23,5180
1	0,0001	1,0448	0,3454	29,2039	29,9436
1,25	0,0001	1,1681	0,4317	35,0601	35,8187
1,5	0,0001	1,2796	0,5180	40,4319	41,1941
1,75	0,0001	1,3821	0,6044	45,3593	46,1145
2	0,0002	1,4776	0,6907	49,8791	50,6197
2,25	0,0002	1,5672	0,7771	54,0251	54,7456
2,5	0,0002	1,6520	0,8634	57,8281	58,5248
2,75	0,0002	1,7326	0,9498	61,3165	61,9868
3	0,0003	1,8097	1,0361	64,5164	65,1585
3,25	0,0003	1,8835	1,1224	67,4516	68,0646
3,5	0,0003	1,9546	1,2088	70,1440	70,7275
3,75	0,0003	2,0233	1,2951	72,6136	73,1677
4	0,0003	2,0896	1,3815	74,8790	75,4039
4,25	0,0004	2,1539	1,4678	76,9570	77,4533
4,5	0,0004	2,2164	1,5541	78,8631	79,3316
4,75	0,0004	2,2771	1,6405	80,6115	81,0530
5	0,0004	2,3363	1,7268	82,2153	82,6308
5,25	0,0004	2,3939	1,8132	83,6865	84,0770
5,5	0,0005	2,4503	1,8995	85,0359	85,4026
5,75	0,0005	2,5054	1,9859	86,2737	86,6176
6	0,0005	2,5592	2,0722	87,4091	87,7314
6,25	0,0005	2,6120	2,1585	88,4506	88,7523
6,5	0,0006	2,6637	2,2449	89,4060	89,6882
6,75	0,0006	2,7145	2,3312	90,2823	90,5461
7	0,0006	2,7643	2,4176	91,0862	91,3326
7,25	0,0006	2,8132	2,5039	91,8235	92,0535
7,5	0,0006	2,8613	2,5902	92,4999	92,7145
7,75	0,0007	2,9086	2,6766	93,1203	93,3204
8	0,0007	2,9552	2,7629	93,6894	93,8758

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan interval waktu dalam satuan bulan
2. Kolom 2 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
T_v &= \frac{t \times C_v}{(H_d)^2} \\
&= \frac{0,25 \times 0,0536}{(25)^2} \\
&= 0
\end{aligned}$$

3. Kolom 3 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
U_v &= \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
&= \left(2 \sqrt{\frac{0}{3,14}} \right) \times 100\% \\
&= 0,5224
\end{aligned}$$

4. Kolom 4 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
x &= \frac{8 \times C_h \times t}{D^2 \times F(n)} \\
&= \frac{8 \times 0,1071 \times 0,25}{1,05^2 \times 2,25} \\
&= 0,0863
\end{aligned}$$

5. Kolom 5 dihitung menggunakan rumus :

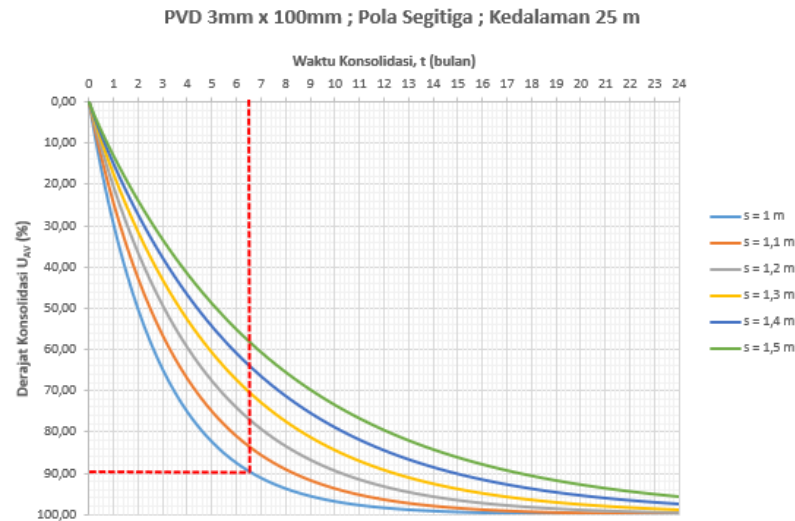
$$\begin{aligned}
U_h &= [1 - \exp(-x)] \times 100\% \\
&= [1 - \exp(-0,863)] \times 100\% \\
&= 8,2719
\end{aligned}$$

6. Kolom 6 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
U_{av} &= 1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v) \cdot 100\% \\
&= 1 - (1 - 8,2719) \cdot (1 - 0,5224) \cdot 100\% \\
&= 8,7511
\end{aligned}$$

Tabel 4.27 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segitiga

No	Jarak PVD, s (m)	Waktu, t (bulan)	Derajat Konsolidasi, U_{AV} (%)
1	1	6,75	90,55
2	1,1	8,50	90,54
3	1,2	10,50	90,60
4	1,3	12,50	90,23
5	1,4	15,00	90,37
6	1,5	17,50	90,18



Gambar 4.18 Grafik Perhitungan PVD Pola Segitiga

PVD Pola Segiempat

$$\begin{aligned}
 \text{Jarak PVD} &= 1 \text{ m} \\
 D &= 1,13 \times 1 \\
 &= 1,13 \\
 F(n) &= \text{LN}(D/dw) - 3/4 \\
 &= \text{LN}(1,05/0,0523) - 3/4 \\
 &= 2,32
 \end{aligned}$$

Tabel 4.28 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
1	2	3	4	5	6
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0722	6,9649	7,4509
0,5	0,0000	0,7388	0,1444	13,4447	14,0842
0,75	0,0001	0,9048	0,2166	19,4732	20,2019
1	0,0001	1,0448	0,2888	25,0819	25,8646
1,25	0,0001	1,1681	0,3610	30,2999	31,1140
1,5	0,0001	1,2796	0,4332	35,1544	35,9842
1,75	0,0001	1,3821	0,5054	39,6709	40,5047
2	0,0002	1,4776	0,5775	43,8727	44,7021
2,25	0,0002	1,5672	0,6497	47,7820	48,6003
2,5	0,0002	1,6520	0,7219	51,4189	52,2214
2,75	0,0002	1,7326	0,7941	54,8025	55,5856
3	0,0003	1,8097	0,8663	57,9505	58,7114
3,25	0,0003	1,8835	0,9385	60,8792	61,6161
3,5	0,0003	1,9546	1,0107	63,6039	64,3154
3,75	0,0003	2,0233	1,0829	66,1389	66,8240
4	0,0003	2,0896	1,1551	68,4973	69,1556
4,25	0,0004	2,1539	1,2273	70,6914	71,3227
4,5	0,0004	2,2164	1,2995	72,7328	73,3371

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{av} (%)
1	2	3	4	5	6
4,75	0,0004	2,2771	1,3717	74,6319	75,2096
5	0,0004	2,3363	1,4439	76,3988	76,9501
5,25	0,0004	2,3939	1,5161	78,0426	78,5682
5,5	0,0005	2,4503	1,5883	79,5719	80,0724
5,75	0,0005	2,5054	1,6605	80,9947	81,4708
6	0,0005	2,5592	1,7326	82,3184	82,7709
6,25	0,0005	2,6120	1,8048	83,5499	83,9796
6,5	0,0006	2,6637	1,8770	84,6956	85,1033
6,75	0,0006	2,7145	1,9492	85,7616	86,1481
7	0,0006	2,7643	2,0214	86,7533	87,1194
7,25	0,0006	2,8132	2,0936	87,6759	88,0226
7,5	0,0006	2,8613	2,1658	88,5343	88,8623
7,75	0,0007	2,9086	2,2380	89,3328	89,6431
8	0,0007	2,9552	2,3102	90,0758	90,3691

Keterangan :

1. Kolom 1 menunjukkan interval waktu dalam satuan bulan
2. Kolom 2 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 T_v &= \frac{t \times C_v}{(H_d)^2} \\
 &= \frac{0,25 \times 0,0536}{(25)^2} \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

3. Kolom 3 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 U_v &= \left(2 \sqrt{\frac{T_v}{\pi}} \right) \times 100\% \\
 &= \left(2 \sqrt{\frac{0}{3,14}} \right) \times 100\% \\
 &= 0,5224
 \end{aligned}$$

4. Kolom 4 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 x &= \frac{8 \times C_h \times t}{D^2 \times F(n)} \\
 &= \frac{8 \times 0,1071 \times 0,25}{1,13^2 \times 2,32} \\
 &= 0,0722
 \end{aligned}$$

5. Kolom 5 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 U_h &= [1 - \exp(-x)] \times 100\% \\
 &= [1 - \exp(-0,0722)] \times 100\% \\
 &= 6,9649
 \end{aligned}$$

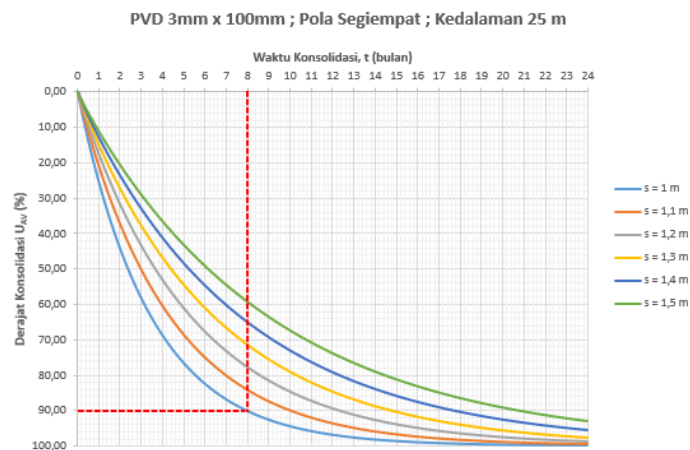
6. Kolom 6 dihitung menggunakan rumus :

$$U_{av} = 1 - (1 - U_h) \cdot (1 - U_v) \cdot 100\%$$

$$\begin{aligned}
 &= 1 - (1 - 6,9649) \cdot (1 - 0,5224) \cdot 100\% \\
 &= 7,4509
 \end{aligned}$$

Tabel 4.29 Rekapitulasi Perhitungan Derajat Konsolidasi Pola Segiempat

No	Jarak PVD, s (m)	Waktu, t (bulan)	Derajat Konsolidasi, U_{AV} (%)
1	1	8,00	90,37
2	1,1	10,00	90,23
3	1,2	12,50	90,58
4	1,3	15,00	90,41
5	1,4	17,75	90,26
6	1,5	20,75	90,14



Gambar 4.19 Grafik Perhitungan PVD Pola Segiempat

4.21 Perhitungan Selimut Drainase

Di bawah ini merupakan langkah langkah perhitungan selimut drainase.

Diketahui :

$$\begin{aligned}
 \text{Lebar PVD (b)} &= 100 \quad \text{mm} \\
 &= 0,1 \quad \text{m} \\
 \text{Tebal PVD (t}_g\text{)} &= 4,5 \quad \text{mm} \\
 &= 0,005 \quad \text{m} \\
 d_c &= \frac{b + t_g}{2} \\
 &= \frac{0,1 + 0,005}{2} \\
 &= 0,052 \quad \text{m} \\
 k_c &= 1,4 \times 10^{-2} \quad \text{cm/s} \\
 &= 12,1 \quad \text{m/hari} \\
 \pi &= 3,14
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
qd &= \frac{kc \pi d c^2}{4} \\
&= \frac{3,14 \times 0,052^2}{4} \\
&= 0,026 \quad \text{m/hari} \\
\text{Tebal selimut (t)} &= 1,5 \quad \text{m} \\
y &= 25 \quad \text{m} \\
k &= 0,01 \quad \text{cm/s} \\
&= 8,64 \quad \text{m/hari} \\
b' &= 1 \quad \text{m} \\
A &= 1 \times 1,5 \\
&= 1,5 \quad \text{m}^2 \\
h &= \frac{(qd \times y^2)}{(2 \times k \times A \times b')} \\
&= \frac{(0,026 \times 25^2)}{(2 \times 8,64 \times 1,5 \times 1)} \\
&= 0,625 \quad \text{m} < 1,5 \quad \text{m}
\end{aligned}$$

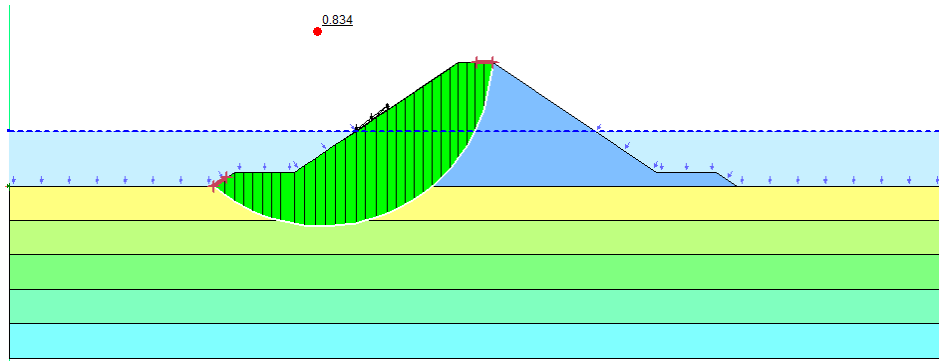
Berdasarkan hasil perhitungan ketebalan lapisan drainase, yang sebesar 1,5 meter dan lebih besar daripada hasil perhitungan nilai h, maka ketebalan lapisan drainase tersebut mampu menyalurkan air dari tengah – tengah breakwater hingga ke tepi breakwater. Karena material timbunan di atas PVD adalah material berpori yang dapat mengalirkan air, maka tidak perlu air tersebut mencapai ujung breakwater, melainkan dapat langsung meresap ke dalam struktur breakwater itu sendiri.

4.22 Cek Stabilitas Timbunan dengan Geostudio

Analisis yang dilakukan menggunakan program *SLOPE/W* Geostudio 2023. Tahapan yang dilakukan dimulai dengan pemodelan lereng pada aplikasi sesuai dengan data geometri potongan melintang titik borlog SI-07. Pada **Tabel 4.30** menunjukkan data parameter tanah yang digunakan untuk analisis stabilitas struktur breakwater di geostudio. Analisis yang dilakukan pada tahap ini adalah mencari nilai SF.

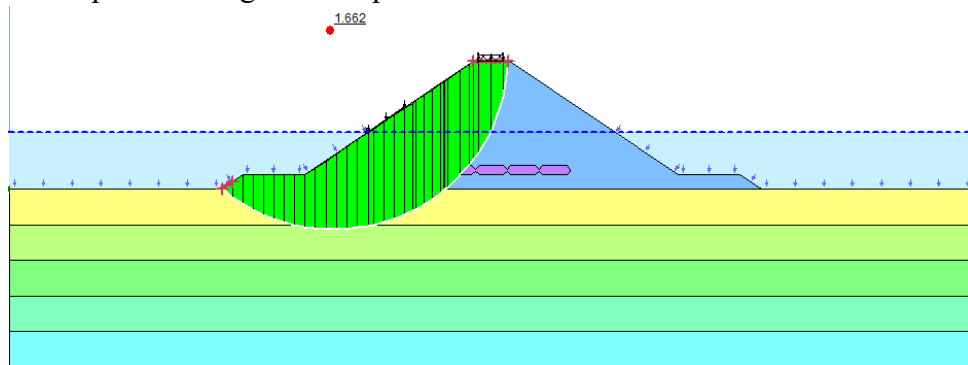
Tabel 4.30 Parameter Tanah SI-07

No.	Kedalaman [m]	Jenis Tanah	Model Material Tanah	γ_{dry} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	E [kN/m ²]	v [-]	c [kN/m ²]	Φ [°]
1	0 - 5	Silty Clay	Mohr Colomb	6,41	14,45	42000	0,35	13,4	10,50
2	5 - 10	Silty Clay		6,87	14,95	42000	0,35	16,9	7,67
3	10 - 15	Silty Clay		7,52	15,21	42000	0,35	26,3	6,00
4	15 - 20	Silty Clay		7,91	15,58	42000	0,35	33,6	2,33
5	20 - 25	Silty Clay		8,59	15,91	42000	0,35	38,3	2,00
6		Rock		18	26	1000000	0,2	50	45
7		Sand		15	19	15000	0,3	0	32



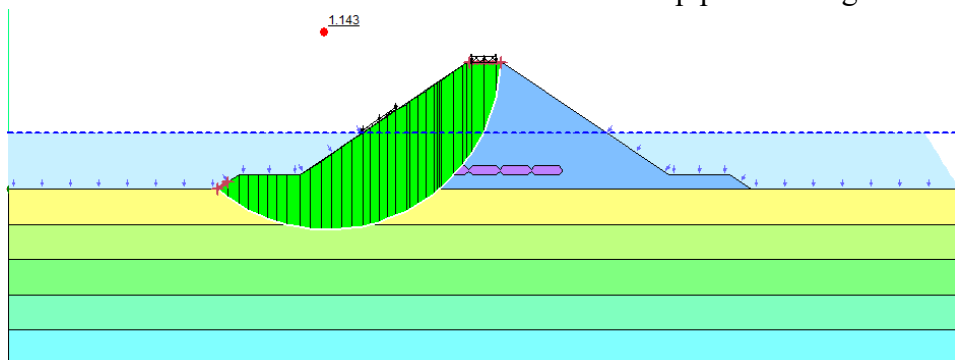
Gambar 4.20 Cek Stabilitas tanpa Beban dan Geotextile Tube

Gambar 4.20 menunjukkan hasil analisis stabilitas timbunan tanpa beban tambahan dan tanpa geotextile tube. Pada kondisi ini, nilai faktor keamanan (SF) yang dihasilkan 0,834, yang menunjukkan bahwa breakwater dalam kondisi tidak stabil. Nilai ini berada di bawah batas minimum faktor keamanan yang direncanakan, yaitu sebesar 1,3. Oleh karena itu, secara teknis kondisi ini belum memenuhi desain stabilitas lereng dan diperlukan peningkatan kekuatan tanah atau penambahan perkuatan agar mencapai kondisi stabil.



Gambar 4.21 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 1 Lapis

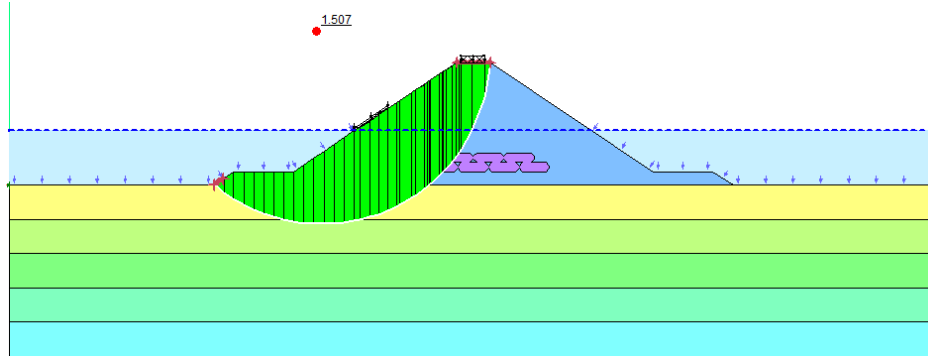
Gambar 4.21 menunjukkan hasil analisis stabilitas timbunan dengan beban operasional dan dilengkapi dengan geotextile tube 1 Lapis. Nilai faktor keamanan (SF) didapatkan 1,662. Dengan nilai SF yang direncanakan sebesar 1,3, hasil analisis ini menunjukkan bahwa kondisi breakwater masih memenuhi kriteria stabilitas dan aman terhadap potensi longsor.



Gambar 4.22 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 1 Lapis dengan Beban Gempa

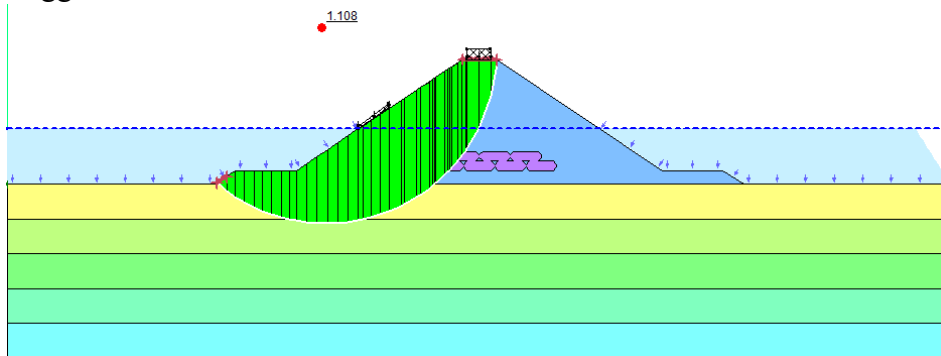
Gambar 4.22 menunjukkan hasil analisis stabilitas timbunan dengan beban operasional dan dilengkapi dengan geotextile tube 1 lapis dengan beban gempa. Nilai faktor keamanan (SF) didapatkan 1,143. Nilai ini berada di bawah batas aman desain yang direncanakan sebesar 1,3, sehingga kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur breakwater belum sepenuhnya stabil dan

berpotensi mengalami kegagalan saat terjadi gempa, serta memerlukan peninjauan atau perkuatan lebih lanjut.



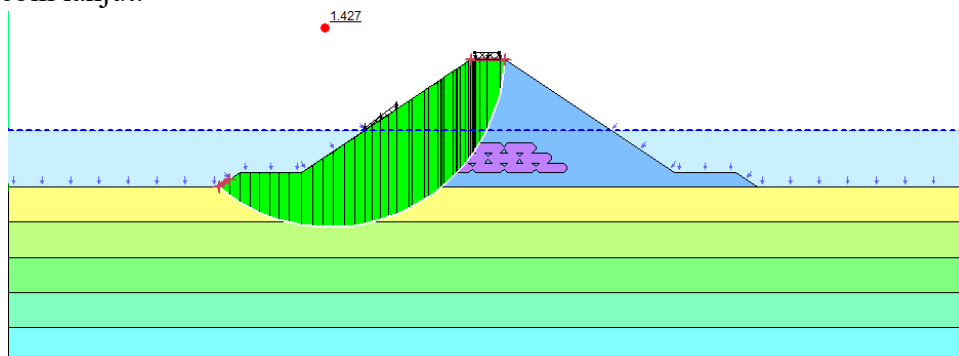
Gambar 4.23 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 2 Lapis

Gambar 4.23 menunjukkan hasil analisis stabilitas timbunan yang diperkuat dengan dua lapis geotextile tube tanpa beban gempa. Nilai faktor keamanan (SF) yang diperoleh sebesar 1,507, lebih tinggi dari batas aman desain 1,3.



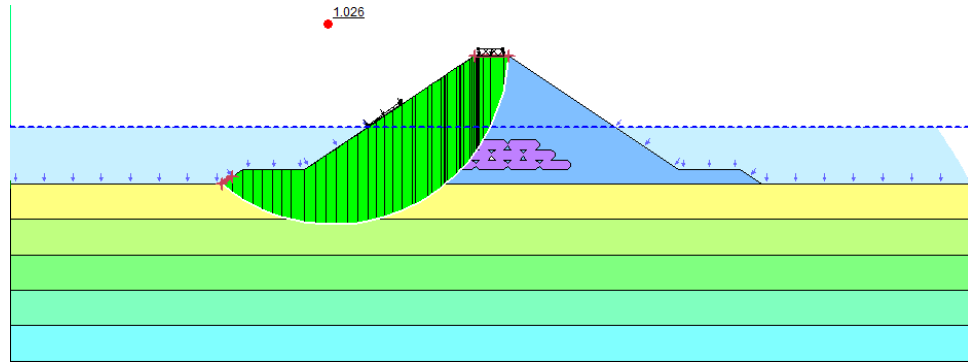
Gambar 4.24 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 2 Lapis dengan Beban Gempa

Gambar 4.24 menunjukkan analisis kondisi struktur saat dikenai beban operasional serta beban gempa. Dengan dukungan dua lapis geotextile tube, diperoleh nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,108. Nilai ini berada di bawah batas aman desain yang direncanakan sebesar 1,3, sehingga kondisi ini mengindikasikan bahwa struktur breakwater belum sepenuhnya stabil dan berpotensi mengalami kegagalan saat terjadi gempa, serta memerlukan peninjauan atau perkuatan lebih lanjut.



Gambar 4.25 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 3 Lapis

Gambar 4.25 menunjukkan hasil analisis pada timbunan yang diperkuat dengan tiga lapis geotextile tube tanpa pengaruh gempa. Nilai faktor keamanan (SF) yang diperoleh sebesar 1,427, jauh di atas batas aman desain sebesar 1,3.



Gambar 4.26 Cek Stabilitas dengan Beban dan Geotextile Tube 3 Lapis dengan Beban Gempa

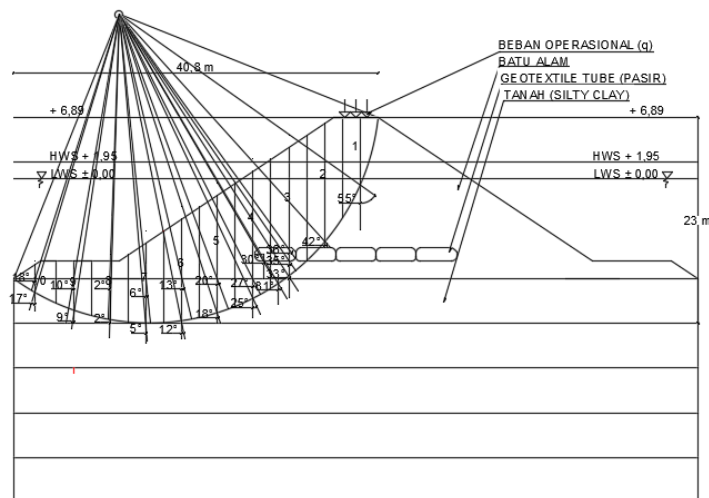
Gambar 4.26 menunjukkan kondisi struktur dengan 3 lapis geotextile tube saat dikenai beban operasional dan beban gempa. Dengan nilai faktor keamanan (SF) sebesar 1,026 dibawah batas aman. Hal ini menunjukkan struktur breakwater belum sepenuhnya stabil dan berpotensi mengalami kegagalan saat terjadi gempa, serta memerlukan peninjauan atau perkuatan lebih lanjut.

4.23 Perhitungan Stabilitas Breakwater dengan Metode Irisan

Pada **Gambar 4.27** ditunjukkan skema perhitungan dengan metode irisan. Hasil perhitungan dirangkum dalam **Tabel 4.31**, yang menampilkan rekapitulasi parameter stabilitas breakwater berdasarkan metode irisan.

Diketahui

γ_{batu}	=	26	kN/m ³
γ_{tanah}	=	15,54	kN/m ³
γ_{pasir}	=	19	kN/m ³
q	=	15	kN/m ²
C_{batu}	=	50	kN/m ²
C_{tanah}	=	13,7	kN/m ²
C_{pasir}	=	0	kN/m ²
ϕ_{batu}	=	45	°
Φ_{tanah}	=	9	°
Φ_{pasir}	=	35	°
e	=	0,15	g



Gambar 4.27 Skema Perhitungan dengan Metode Irisan

Tabel 4.31 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Breakwater dengan Geotextile Tube

Irisan ke	Jenis	A (m ²)	b (m)	L (m)	W (kN/m)	α (°)	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$	T W. $\sin \alpha$	N W. $\cos \alpha$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Batu	27,91	4	7,5	10885,59	55	0,82	0,57	8916,95	6243,72
2	Batu	51,23	4	13,2	19979,84	42	0,67	0,74	13369,12	14847,91
	Batu	45,18	4	11,3	1174,67	36	0,59	0,81	690,45	950,33
3	Geotextile Tube	5,37	4	1,4	102,11	35	0,57	0,82	58,57	83,65
	Batu	5,82	4	1,7	151,29	33	0,54	0,84	82,40	126,88
	Tanah	0,89	1,6	0,6	13,80	31	0,52	0,86	7,11	11,83
	Batu	45,67	4	12	1187,37	27	0,45	0,89	539,05	1057,95
4	Geotextile Tube	2,33	1,8	1,4	44,30	30	0,50	0,87	22,15	38,37
	Tanah	8,66	4	2,2	134,54	25	0,42	0,91	56,86	121,93
5	Batu	37,33	4	9,3	970,67	20	0,34	0,94	331,99	912,13
	Tanah	15,14	4	3,8	235,35	18	0,31	0,95	72,73	223,83
6	Batu	26,67	4	6,7	693,33	13	0,22	0,97	155,97	675,56
	Tanah	18,74	4	4,7	291,18	12	0,21	0,98	60,54	284,82
7	Batu	16,00	4	4	248,64	6	0,10	0,99	25,99	247,28
	Tanah	19,74	4	5	306,82	5	0,09	1,00	26,74	305,65
8	Batu	8,33	4	2	216,67	2	0,03	1,00	7,56	216,53
	Tanah	18,21	4	4,6	283,03	2	0,03	1,00	9,88	282,86
9	Batu	8,00	4	2	124,32	10	0,17	0,98	21,59	122,43
	Tanah	14,10	4	3,6	219,06	9	0,16	0,99	34,27	216,37
10	Batu	6,60	4,8	1,6	171,60	18	0,31	0,95	53,03	163,20
	Tanah	7,18	4,8	1,6	111,60	17	0,29	0,96	32,63	106,73
Jumlah									24575,57	

Lanjutan Tabel 4.31 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Breakwater dengan Geotextile Tube

Ne	Te	U							
e. W . Sin α	e. W . cos α	U. b/cos α	N-U	Tan θ	(N- U)*Tan θ	(N-Ne- U)*Tan θ	C' B/cos α	C . I	FS
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1337,54	936,56	69,74	6173,98	1,0	6173,98	4836,44	348,69	2615,17	
2005,37	2227,19	53,83	14794,1	1,0	14794,1	12788,7	269,1	3552,47	
103,57	142,55	49,44	900,89	0,7	630,81	558,29	247,21	2793,51	
8,79	12,55	48,83	34,82	0,7	24,38	18,23	0,00	0,00	
12,36	19,03	47,69	79,19	1,0	79,19	66,83	238,47	405,40	
1,07	1,77	18,67	-6,84	0,2	-1,08	-1,25	25,63	15,38	1,41
80,86	158,69	44,89	1013,06	1,0	1013,06	932,20	224,47	2693,58	
3,32	5,75	20,78	17,58	0,7	12,31	9,98	0,00	0,00	
8,53	18,29	44,14	77,80	0,2	12,32	10,97	60,59	133,31	
49,80	136,82	42,57	869,56	1,0	869,56	819,76	212,84	1979,37	
10,91	33,57	42,06	181,77	0,2	28,79	27,06	57,74	219,42	

Ne e. W . Sin α	Te e. W. cos α	U U. b/cos α	N-U	Tan θ	(N- U)*Tan θ	(N-Ne- U)*Tan θ	C' B/cos α	C . I	FS
12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
23,39	101,33	41,05	634,51	1,0	634,51	611,12	205,26	1375,25	
9,08	42,72	40,89	243,92	0,2	38,63	37,20	56,14	263,88	
3,90	37,09	40,22	207,06	1,0	207,06	203,16	201,10	804,41	
4,01	45,85	40,15	265,49	0,2	42,05	41,41	55,13	275,64	
1,13	32,48	40,02	176,51	1,0	176,51	175,38	200,12	400,24	
1,48	42,43	40,02	242,83	0,2	38,46	38,23	54,95	252,77	
3,24	18,36	40,62	81,81	1,0	81,81	78,58	203,09	406,17	
5,14	32,46	40,50	175,87	0,2	27,85	27,04	55,60	200,17	
7,95	24,48	50,47	112,73	1,0	112,73	104,78	252,35	403,76	
4,89	16,01	50,19	56,53	0,2	8,95	8,18	68,91	110,26	
4085,99							21392,3	18900,2	

Keterangan :

- Kolom 1 menunjukkan nomor urut dari tiap bagian yang dianalisis
- Kolom 2 menunjukkan jenis material yang digunakan pada bagian yang akan dianalisis
- Kolom 3 menunjukkan luas bidang yang akan digunakan, dalam satuan m²
- Kolom 4 merupakan lebar tiap lapisan
- Kolom 5 merupakan tinggi tiap lapisan
- Kolom 6 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 W &= A \times \gamma_{\text{batu}} \times q \\
 &= 27,91 \times 26 \times 15 \\
 &= 10885,59 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$
- Kolom 7 merupakan sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur
- Kolom 8 menunjukkan nilai sinus dari sudut α
- Kolom 9 menunjukkan nilai cosinus dari sudut α
- Kolom 10 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 T &= W \times \sin \alpha \\
 &= 10885,59 \times 0,82 \\
 &= 8916,95
 \end{aligned}$$
- Kolom 11 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 N &= W \times \cos \alpha \\
 &= 10885,59 \times 0,57 \\
 &= 6243,72
 \end{aligned}$$
- Kolom 12 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 Ne &= e \times W \times \sin \alpha \\
 &= 0,15 \times 8916,95 \\
 &= 1337,54
 \end{aligned}$$
- Kolom 13 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 Te &= e \times W \times \cos \alpha \\
 &= 0,2 \times 6243,72 \\
 &= 936,56
 \end{aligned}$$
- Kolom 14 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 U &= U \times b / \cos \alpha \\
 &= 10 \times 4 \times 0,57 \\
 &= 69,74
 \end{aligned}$$

15. Kolom 15 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 N - U &= 6243,72 - 69,74 \\
 &= 6173,98
 \end{aligned}$$

16. Kolom 16 dihitung menggunakan rumus :

$$\tan(\text{Radians}(45)) = 1$$

17. Kolom 17 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 (N - U) \times \tan \theta &= 6243,72 \times 1 \\
 &= 6173,98
 \end{aligned}$$

18. Kolom 18 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 (N - N_e - U) \times \tan \theta &= (6243,72 - 1783,39 - 1248,74) \times 1 \\
 &= 4390,59
 \end{aligned}$$

19. Kolom 19 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 C' B &= 50 \times 4 / 0,57 \\
 / \cos \alpha &= 348,69
 \end{aligned}$$

20. Kolom 20 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 C \times L &= 348,69 \times 7,5 \\
 &= 2615,17
 \end{aligned}$$

21. Kolom 21 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 F_s &= \frac{C \cdot I + (N - U - N_e) \tan \theta}{\frac{T + T_e}{(24575,57 + 5447,99)}} \\
 &= \frac{(18900,16 + 20187,73)}{(24575,57 + 5447,99)} \\
 &= 1,30
 \end{aligned}$$

4.24 Perhitungan Stabilitas *Breakwater* Guling dan Geser

Pada **Tabel 4.32** merupakan hasil perhitungan yang menampilkan rekapitulasi perhitungan stabilitas breakwater guling dan geser.

Diketahui

$$\begin{aligned}
 d_s &= 11,11 & \text{m} \\
 H_b &= 2,92 & \text{m} \\
 \gamma_{\text{batu}} &= 2,65 & \text{t/m}^3 \\
 \gamma_{\text{air laut}} &= 1,03 & \text{t/m}^3 \\
 \gamma_{\text{tanah}} &= 1,47 & \text{t/m}^3 \\
 \gamma_{\text{pasir}} &= 1,94 & \text{t/m}^3 \\
 q &= 1,5 & \text{t/m}^3
 \end{aligned}$$

Tabel 4.32 Rekapitulasi Perhitungan Stabilitas Breakwater Guling dan Geser

Bidang	Jenis	Luas (m ²)	γ (t/m ³)	Berat (t/m)	Lengan	MV	FH	MH
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Batu	27,91	2,65	110,96	7,5	832,23		
2	Batu	51,23	2,65	203,67	13,2	2688,42		
3	Batu	45,18	2,65	119,74	11,3	1353,09		

Bidang	Jenis	Luas (m ²)	γ (t/m ³)	Berat (t/m)	Lengan	MV	FH	MH
1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Geotextile	5,37	1,94	10,41	1,4	14,57		
	Tube							
	Batu	5,82	2,65	15,42	1,7	26,22		
	Tanah	0,89	1,47	1,30	0,6	0,78		
	Batu	45,67	2,65	121,04	12	1452,44		
4	Geotextile	2,33	1,94	4,52	1,4	6,32		
	Tube							
	Tanah	8,66	1,47	12,69	2,2	27,91		
5	Batu	37,33	2,65	98,95	9,3	920,20		
	Tanah	15,14	1,47	22,20	3,8	84,35		
6	Batu	26,67	2,65	70,68	6,7	473,53		
	Tanah	18,74	1,47	27,46	4,7	129,07		
7	Batu	16,00	2,65	42,41	4	169,62		
	Tanah	19,74	1,47	28,94	5	144,68		
8	Batu	8,33	2,65	22,09	2	44,17		
	Tanah	18,21	1,47	26,69	4,6	122,79		
9	Batu	8,00	2,65	21,20	2	42,41		
	Tanah	14,10	1,47	20,66	3,6	74,38		
10	Batu	6,60	2,65	17,49	1,6	27,99		
	Tanah	7,18	1,47	10,53	1,6	16,84		
RM							101,40	1274,75
RS							16,72	474,30
	Σ			1009,03		8652,01	118,12	1749,05

Keterangan :

- Kolom 1 menunjukkan nomor urut dari tiap bagian yang dianalisis
- Kolom 2 menunjukkan jenis material yang digunakan pada bagian yang akan dianalisis
- Kolom 3 menunjukkan luas bidang yang akan digunakan, dalam satuan m²
- Kolom 4 menunjukkan berat isi material, dalam satuan t/m³
- Kolom 5 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Berat (t/m)} &= \text{Luas} \times \gamma \times q \\ &= 27,91 \times 2,65 \times 1,5 \\ &= 110,96 \text{ t/m} \end{aligned}$$
- Kolom 6 menunjukkan jarak dari titik tumpu terhadap pusat dari bidang yang akan dianalisis
- Kolom 7 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \text{MV} &= \text{Berat} \times \text{Lengan} \\ &= 110,96 \times 7,5 \\ &= 832,23 \end{aligned}$$
- Kolom 8 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned} \text{Rs} &= \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{air laut}} \times (d_s + H_b)^2 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,03 \times (11,11 + 2,92)^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_m &= 16,72 \\
 &= \frac{1}{2} \times \gamma_{\text{air laut}} \times d_s \times H_b \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,03 \times 11,11 \times 2,92 \\
 &= 101,40
 \end{aligned}$$

9. Kolom 9 dihitung menggunakan rumus :

$$\begin{aligned}
 M_m &= R_m \times \left(d_s + \frac{H_b}{2} \right) \\
 &= 101,40 \times \left(11,11 + \frac{2,92}{2} \right) \\
 &= 1274,75 \\
 M_s &= \frac{1}{6} \times \gamma_{\text{air laut}} \times (d_s + H_b)^3 \\
 &= \frac{1}{6} \times 1,03 \times (11,11 + 2,92)^3 \\
 &= 474,30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Stabilitas guling} &= 8652,01/1749,05 \\
 &= 4,95 > 2 \quad \text{OK} \\
 \text{Stabilitas geser} &= (1009,03 \times 0,4)/118,12 \\
 &= 3,44 > 1,5 \quad \text{OK}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas, diketahui bahwa struktur yang breakwater didesain memenuhi kriteria dalam analisis guling dan geser. Sehingga struktur tersebut kuat terhadap momen geser dan momen guling

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari Proyek Akhir perencanaan breakwater di Lamongan *Shorebase*, didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh perencanaan struktur breakwater sebagai berikut :

Elevasi puncak	=	6,89	m
Kemiringan 1:1,5			
<i>Primary Layer</i>			
- Berat batu	=	5,960	ton
- Lebar puncak	=	5	m
- Tebal lapis	=	3	m
- Jumlah per 10 m ²	=	8	buah
- Dimensi batu	=	0,750	m
<i>Secondary Layer</i>			
- Berat batu	=	0,596	ton
- Lebar puncak	=	menyesuaikan	
- Tebal lapis	=	1,4	m
- Jumlah per 10 m ²	=	39	buah
- Dimensi batu	=	0,075	m
<i>Core Layer</i>			
- Berat batu	=	0,030	ton
- Lebar puncak	=	menyesuaikan	
- Jumlah per 10 m ²	=	289	buah
- Dimensi batu	=	0,004	m
<i>Geotextile tube</i>			
- Tinggi Bangunan	=	1,4	m
- Lebar Bangunan	=	4,5	m
2. Perhitungan konsolidasi alami tanpa penggunaan *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) menunjukkan bahwa untuk mencapai derajat konsolidasi sebesar 90% diperlukan waktu sekitar 850 tahun, sehingga pemasangan PVD sangat diperlukan untuk mempercepat proses konsolidasi tanah lunak. Dengan polsa segitiga dan jarak antar *drain* 1 meter, pemasangan PVD dapat mempercepat waktu konsolidasi menjadi hanya sekitar 6,75 bulan. Kedalaman pemasangan PVD bervariasi tergantung lokasi, yaitu 14 meter pada titik SI-01, 8 meter pada SI-02, 20 meter pada BW-01 dan SI-03, serta 25 meter pada titik SI-04 hingga SI-07. Untuk mendukung fungsi PVD secara optimal, direncanakan lapisan selimut drainase (*drainage blanket*) setebal 1,5 meter yang lebih besar dari hasil perhitungan kebutuhan minimum aliran. Ketebalan ini cukup untuk menyalurkan dari tengah hingga ke tepi breakwater.
3. Berdasarkan hasil perhitungan tinggi timbunan pelaksanaan sebesar 33 meter. Penimbunan direncanakan dilakukan secara bertahap dengan laju 0,5 m/minggu, sehingga total terdapat 66 tahapan penimbunan untuk mencapai tinggi tersebut.
4. Berdasarkan dari hasil analisis diperoleh pada kondisi desain perencanaan eksisting sebesar 0,834, yang menunjukkan bahwa *breakwater* dalam kondisi tidak stabil dengan mempertimbangkan beban gelombang dan beban operasional. Dan terjadi peningkatan ketika dengan penambahan geotextile tube sebanyak 1 lapis. Nilai keamanan dengan alternatif geotextile tube didapatkan 1,662. Nilai tersebut sudah memenuhi standar

minimum keamanan, yaitu sebesar 1,3. Sehingga hasil analisis ini menunjukkan bahwa kondisi breakwater memenuhi kriteria stabilitas dan aman.

5.2 Saran

1. Analisis stabilitas breakwater menggunakan geostudio telah menunjukkan nilai faktor keamanan (SF) yang aman, disarankan untuk melakukan simulasi dengan memasukkan elemen *Prefabricated Vertical Drain* (PVD) ke dalam model stabilitas seperti menggunakan aplikasi plaxis, untuk mengetahui dampaknya terhadap stabilitas pada setiap tahap penurunan.

DAFTAR PUSTAKA

- Biarez J, Favre J.L (1976). *Correlation de Parameters en Mecanique de Soils*, Ecole Centrale de Paris.
- British Standards Institution (BSI). (2010). BS 6349-1:2010: *Maritime works - Part 1 : Code of practice for general criteria*. London: British Standards Institution.
- Boonastria, Citra Mira Dewi. (2014). Perencanaan Bangunan Pengaman Pantai untuk Mengatasi Kemunduran Garis Pantai Teluk Penyu, Cilacap, Jawa Tengah. <https://repository.its.ac.id/82191/>.
- CERC. (1984). *Shore Protection Manual*. US Army Coastal Engineering Research Center, Washington.
- Das, Braja M. (1988). Mekanika Tanah: Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik jilid 1. Diterjemahkan oleh Noor Endah dan Indrasurya B.M. Surabaya: Erlangga.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002). Panduan Geoteknik 1 Proses Pembentukan dan Sifat-Sifat Dasar Tanah Lunak.
- Hansbo, S. (1979), “*Consolidation of Clay by Band-Shaped Prefabricated Drains*”, *Ground Engineering*, Vol. 12, No. 5, pp. 16-25.
- Hilmy, Tyas Naufal. (2024). Analisis Penurunan dan Waktu Konsolidasi dengan Metode *Vacuum Preloading* dan *Prefabricated Vertical Drain* pada Perbaikan Tanah Lunak Area Reklamasi Terminal Kalibaru Jakarta. <https://repository.its.ac.id/110643/>.
- Hudson, R. Y. (1958). *Design Of Quarry - Stone Cover Layers For Rubble - Mound Breakwaters*. US Army Engineers Waterways Experiment Station.
- NAVFAC DM-7. (1971). “*Soil Mechanics Design Manual*”. Virginia : Naval Facilities Engineering Command.
- Mochtar, Noor Endah. 2012. Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah. Surabaya : ITS Press.
- Mochtar, Indrasurya B. (2000), Teknologi Perbaikan Tanah dan Alternatif Perencanaan Pada Tanah Bermasalah (Problematic Soils), Surabaya, Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Mochtar, Noor E. (2012). Modul Ajar Metode Perbaikan Tanah. Surabaya. Jurusan Teknik Sipil FTSP ITS.
- Pusat Studi Gempa Nasional. (2017). Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman, Badan Penelitian dan Pengembangan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. ISBN : 978-602-5489-01-3.
- Sari, I. P. (2017). Perencanaan Perkuatan Tanah Pelabuhan Curah Cair Teluk Benoa, Bali, p. 8. Available at: <http://repository.its.ac.id/45819/>
- Sosrodarsono, S., dan Takeda, K. (1977). Bendungan Tipe Urugan. Jakarta : PT Pradnya Paramita.
- SNI 8460 – 2017 “Persyaratan Perancangan Geoteknik” Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Triadmodjo, B. (1999). Teknik Pantai. Yogyakarta: Beta Offset.

Triadmodjo, B. (2010). *Perencanaan Pelabuhan*. Yogyakarta: Beta Offset.

Wu, X.T., Liu, J.N., Liu, Z.N., dan Xie, Z.M. (2023). *Deformation and Strength Characteristics of Marine Soft Soil Treated by Prefabricated Vertical Drain-Assisted Staged Loading Under Seawall Construction*. <https://www.mdpi.com/2075-5309/13/9/2322>

LAMPIRAN A
DATA PERENCANAAN

Lampiran A.1 Resume Data Laboratorium

Titik Bor	Kedalaman Sampel Tanah (m)	Tes Analisa Butiran Tanah (%)				Klasifikasi Tanah (USCS)	Tes Konsolidasi Tanah			
		Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		C _c	C _s	C _v (cm ² /s)	e _o
BH-SI-01	5,5 - 6,50	1,69	58,91	10,39	29,01	SC	0,65	0,06	0,01	1,42
	7,50 - 8,50	0,00	12,72	22,25	65,04	CH	1,09	0,11	0,01	2,14
	9,50 - 10,50	0,00	9,24	12,28	78,48	CH	1,24	0,12	0,00	2,11
	11,50 - 12,50	0,00	7,78	13,41	78,81	CH	0,73	0,07	0,00	2,03
BH-SI-02	1,50 - 2,50	1,00	3,64	16,33	79,04	CH	2,69	0,27	0,00	3,98
	3,50 - 4,50	0,00	3,34	19,53	77,13	CH	1,87	0,19	0,00	3,54
BH-SI-03	1,50 - 2,50	0,00	0,47	14,07	85,47	CH	1,62	0,16	0,00	3,24
	3,50 - 4,50	0,33	1,48	14,80	83,39	CH	1,73	0,17	0,00	3,01
	5,50 - 6,50	0,00	0,49	12,47	87,04	CH	2,53	0,25	0,00	3,10
	7,50 - 8,50	1,01	6,82	9,09	83,09	CH	2,08	0,21	0,00	3,07

Titik Bor	Kedalaman Sampel Tanah (m)	Tes Analisa Butiran Tanah (%)				Klasifikasi Tanah (USCS)	Tes Konsolidasi Tanah			
		Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		C _c	C _s	C _v (cm ² /s)	e _o
	9,50 - 10,50	0,47	2,41	9,03	88,09	CH	0,78	0,08	0,00	2,72
	11,50 - 12,50	0,28	5,16	10,67	83,89	CH	1,53	0,15	0,00	2,48
	13,50 - 14,50	0,97	4,11	7,12	87,80	CH	1,45	0,14	0,00	2,33
	15,50 - 16,50	0,00	0,75	6,69	92,56	CH	1,45	0,14	0,00	2,23
	17,50 - 18,50	0,00	1,70	5,73	92,57	CH	0,74	0,07	0,00	2,10
	19,50 - 20,50	0,00	1,86	7,82	90,33	CH	1,39	0,14	0,00	2,09
BH-SI-04	1,50 - 2,50	0,00	5,05	17,18	77,77	CH	1,99	0,20	0,00	3,57
	3,50 - 4,50	0,00	2,21	14,97	82,82	CH	2,12	0,21	0,00	3,27
	5,50 - 6,50	0,00	3,40	11,93	84,67	CH	1,79	0,18	0,00	3,07
	7,50 - 8,50	0,00	2,76	7,69	89,55	CH	1,74	0,17	0,00	2,92
	9,50 - 10,50	0,00	4,44	9,48	86,08	CH	1,84	0,18	0,00	2,69

Titik Bor	Kedalaman Sampel Tanah (m)	Tes Analisa Butiran Tanah (%)				Klasifikasi Tanah (USCS)	Tes Konsolidasi Tanah			
		Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		C _c	C _s	C _v (cm ² /s)	e _o
	11,50 - 12,50	0,00	1,34	15,20	83,45	CH	1,76	0,18	0,00	2,62
	13,50 - 14,50	0,00	3,02	12,74	84,23	CH	1,38	0,14	0,00	2,46
	15,50 - 16,50	0,00	1,75	9,84	88,41	CH	1,41	0,14	0,00	2,43
	17,50 - 18,50	0,13	2,44	8,62	88,81	CH	1,33	0,13	0,00	2,34
	19,50 - 20,50	0,41	1,96	10,57	87,06	CH	1,17	0,12	0,00	2,26
	21,50 - 22,50	0,00	2,09	10,03	87,88	CH	1,58	0,16	0,00	2,29
	23,50 - 24,50	0,00	1,73	8,67	89,59	CH	1,56	0,16	0,00	2,17
BH-SI-05	1,50 - 2,50	0,82	4,74	10,94	83,51	CH	1,82	0,18	0,00	3,15
	3,50 - 4,50	0,00	0,99	15,01	84,00	CH	2,32	0,23	0,00	2,86
	5,50 - 6,50	0,00	1,53	12,41	86,07	CH	1,87	0,19	0,00	2,82
	7,50 - 8,50	0,00	0,85	9,28	89,87	CH	2,90	0,29	0,00	2,67

Titik Bor	Kedalaman Sampel Tanah (m)	Tes Analisa Butiran Tanah (%)				Klasifikasi Tanah (USCS)	Tes Konsolidasi Tanah			
		Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		C _c	C _s	C _v (cm ² /s)	e _o
	9,50 - 10,50	0,00	1,55	9,55	88,90	CH	1,67	0,17	0,00	2,65
	11,50 - 12,50	0,00	1,32	8,42	90,26	CH	2,12	0,21	0,00	2,47
	13,50 - 14,50	0,00	1,35	8,45	90,20	CH	1,52	0,15	0,00	2,31
	15,50 - 16,50	0,19	3,10	12,31	84,39	CH	1,18	0,12	0,00	2,18
	17,50 - 18,50	0,13	2,44	8,62	88,81	CH	1,39	0,14	0,00	2,24
	19,50 - 20,50	1,33	2,06	8,17	88,44	CH	1,17	0,12	0,00	2,20
	21,50 - 22,50	0,00	1,84	9,22	88,94	CH	1,70	0,17	0,00	2,16
	23,50 - 24,50	0,00	0,76	11,12	88,11	CH	1,06	0,11	0,00	1,88
	26,50 - 26,95	0,00	2,89	25,41	71,70	CH	-	-	-	-
	30,50 - 30,95	0,00	1,21	15,78	83,01	CH	-	-	-	-
BH-SI-06	1,50 - 2,50	0,00	2,78	14,80	82,42	CH	2,15	0,21	0,00	3,41

Titik Bor	Kedalaman Sampel Tanah (m)	Tes Analisa Butiran Tanah (%)				Klasifikasi Tanah (USCS)	Tes Konsolidasi Tanah			
		Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		C _c	C _s	C _v (cm ² /s)	e _o
	3,50 - 4,50	0,90	4,51	14,02	80,57	CH	2,00	0,20	0,00	3,07
	5,50 - 6,50	0,00	1,78	14,45	83,77	CH	2,19	0,22	0,00	3,02
	7,50 - 8,50	0,00	1,12	14,19	84,69	CH	1,89	0,19	0,00	2,76
	9,50 - 10,50	0,00	0,52	9,76	89,71	CH	1,51	0,15	0,00	2,56
	11,50 - 12,50	0,00	1,08	10,41	88,51	CH	1,66	0,17	0,00	2,44
	13,50 - 14,50	0,00	5,86	12,99	81,15	CH	1,46	0,15	0,00	2,42
	15,50 - 16,50	0,00	2,13	8,46	89,42	CH	1,30	0,13	0,00	2,21
	17,50 - 18,50	0,00	3,21	6,58	90,22	CH	1,40	0,14	0,00	2,25
	19,50 - 20,50	0,00	1,35	7,29	91,37	CH	1,21	0,12	0,00	2,07
	21,50 - 22,50	0,00	1,22	8,04	90,74	CH	1,15	0,12	0,00	2,00
	23,50 - 24,50	0,00	1,36	7,54	91,10	CH	1,35	0,13	0,00	1,97

Titik Bor	Kedalaman Sampel Tanah (m)	Tes Analisa Butiran Tanah (%)				Klasifikasi Tanah (USCS)	Tes Konsolidasi Tanah			
		Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		C _c	C _s	C _v (cm ² /s)	e _o
	26,50 - 26,95	0,00	1,95	8,16	89,89	CH	-	-	-	-
	28,50 - 28,95	0,00	15,06	8,79	76,15	CH	-	-	-	-
	30,50 - 30,95	0,00	1,51	9,64	88,85	CH	-	-	-	-
	32,50 - 32,95	0,00	4,36	9,12	86,52	CH	-	-	-	-
BH-SI-07	1,50 - 2,50	0,00	4,10	11,65	84,25	CH	1,30	0,13	0,00	3,32
	3,50 - 4,50	0,00	0,68	16,70	82,63	CH	1,83	0,18	0,00	2,74
	5,50 - 6,50	0,82	2,30	13,82	83,06	CH	1,78	0,18	0,00	2,89
	7,50 - 8,50	0,00	1,96	28,96	69,08	CH	1,32	0,13	0,00	2,06
	9,50 - 10,50	0,00	0,17	13,39	86,44	CH	1,81	0,18	0,00	2,53
	11,50 - 12,50	0,00	3,42	14,92	81,66	CH	1,30	0,13	0,00	2,43
	13,50 - 14,50	0,00	2,88	11,40	85,72	CH	1,18	0,12	0,00	2,39

Titik Bor	Kedalaman Sampel Tanah (m)	Tes Analisa Butiran Tanah (%)				Klasifikasi Tanah (USCS)	Tes Konsolidasi Tanah			
		Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		C _c	C _s	C _v (cm ² /s)	e _o
	15,50 - 16,50	0,49	2,37	13,41	83,73	CH	1,68	0,17	0,00	2,27
	17,50 - 18,50	0,13	1,98	15,18	82,71	CH	1,23	0,12	0,00	2,33
	19,50 - 20,50	0,23	2,95	8,56	88,27	CH	1,05	0,11	0,00	2,23
	21,50 - 22,50	0,00	2,04	4,60	93,36	CH	1,25	0,13	0,00	2,04
	23,50 - 24,50	0,00	2,93	10,59	86,48	CH	1,33	0,13	0,00	2,06
	25,50 - 26,50	0,00	2,86	12,94	84,20	CH	0,84	0,08	0,00	1,92
	26,50 - 26,95	0,00	6,85	9,13	84,02	CH	-	-	-	-
	28,50 - 28,95	0,00	7,62	11,01	81,37	CH	-	-	-	-
	30,50 - 30,95	0,00	0,00	5,91	94,09	CH	-	-	-	-
	32,50 - 32,95	0,00	2,14	8,35	89,51	CH	-	-	-	-

Lanjutan Lampiran A.1 Resume Data Laboratorium

Tes Volumetri - Gravimetri				Tes Konsistensi Tanah (%) (Atterberg Limit)			Tes Triaxial	
γ_{sat} (t/m ³)	γ_{dry} (t/m ³)	W _c (%)	G _s	LL	PL	PI	C' (kg/cm ²)	ϕ' (°)
1,74	1,15	51,12	2,79	48,41	27,13	21,28	0,13	12
		52,19	2,80	48,17	27,56	20,61		
1,57	0,88	79,11	2,75	65,21	31,31	33,90	0,17	9
		80,02	2,74	65,22	31,70	33,53		
1,61	0,88	83,49	2,73	72,01	32,58	39,43	0,20	9
		84,65	2,73	71,12	32,61	38,52		
1,64	0,92	78,10	2,78	67,77	31,34	36,43	0,29	5
		80,22	2,78	67,54	32,05	35,49		
1,42	0,55	160,51	2,73	71,26	32,60	38,66	0,09	15
		162,06	2,72	71,39	32,69	38,70		
1,45	0,59	144,58	2,70	66,91	31,77	35,14	0,11	10
		146,75	2,73	67,07	32,09	34,98		
1,47	0,63	133,98	2,67	65,17	31,58	33,59	0,12	11
		131,04	2,66	65,60	30,52	35,09		
1,49	0,67	121,83	2,69	64,62	31,38	33,23	0,15	7
		120,92	2,68	63,97	30,33	33,64		
1,49	0,66	125,26	2,72	67,91	31,63	36,28	0,19	2
		124,05	2,73	68,28	31,96	36,32		
1,50	0,67	123,60	2,72	65,64	26,15	39,49	0,21	3
		122,65	2,71	65,95	26,88	39,08		
1,52	0,69	118,79	2,58	62,76	30,18	32,58	0,24	3
		117,92	2,60	63,31	30,56	32,74		

Tes Volumetri - Gravimetri				Tes Konsistensi Tanah (%) (Atterberg Limit)			Tes Triaxial	
1,54	0,74	107,91	2,58	65,66	29,74	35,92	0,28	3
		107,21	2,58	65,47	28,51	36,96		
1,57	0,78	100,68	2,60	67,39	29,81	37,58	0,30	3
		101,38	2,60	67,43	30,98	36,45		
1,58	0,81	96,44	2,60	66,44	29,00	37,64	0,32	3
		100,24	2,61	66,93	28,52	38,41		
1,59	0,84	89,15	2,61	74,45	31,08	43,38	0,35	2
		91,82	2,61	73,61	29,87	43,75		
1,61	0,85	89,07	2,63	78,23	30,39	47,84	0,39	2
		86,08	2,63	77,67	31,39	46,28		
1,46	0,59	146,32	2,70	61,24	29,71	31,53	0,12	12
		143,50	2,71	61,80	30,36	31,44		
1,47	0,63	132,63	2,70	60,90	29,54	31,36	0,15	10
		135,99	2,71	60,63	28,83	31,80		
1,50	0,67	123,88	2,72	64,49	30,50	34,00	0,18	6
		121,76	2,70	66,08	30,77	35,31		
1,53	0,69	120,88	2,71	64,04	29,34	34,70	0,21	6
		121,27	2,70	63,61	30,45	33,16		
1,54	0,73	111,58	2,68	63,75	30,27	33,48	0,25	4
		113,14	2,71	63,36	30,17	33,20		
1,55	0,75	106,36	2,71	68,26	29,61	38,65	0,30	2
		108,14	2,73	67,26	30,19	37,07		
1,55	0,78	99,40	2,69	69,10	30,11	38,99	0,33	2
		101,97	2,71	69,29	31,42	37,87		

Tes Volumetri - Gravimetri				Tes Konsistensi Tanah (%) (Atterberg Limit)			Tes Triaxial	
1,56	0,79	97,92	2,71	70,52	30,78	39,74	0,36	2
		97,53	2,71	70,88	29,70	41,18		
1,57	0,81	93,97	2,70	71,08	30,61	40,47	0,38	2
		94,31	2,71	71,43	30,66	40,78		
1,58	0,83	89,86	2,72	74,62	30,22	44,40	0,41	2
		92,50	2,72	74,54	30,99	43,55		
1,58	0,84	89,66	2,75	81,41	31,25	50,16	0,43	2
		89,49	2,76	82,15	33,08	49,07		
1,61	0,87	85,82	2,75	85,96	30,92	55,04	0,44	2
		86,29	2,74	85,87	31,18	54,69		
1,48	0,63	133,00	2,63	52,80	27,57	25,23	0,12	9
		132,40	2,63	53,52	28,31	25,21		
1,49	0,67	120,96	2,60	55,58	28,93	26,65	0,16	8
		121,58	2,60	54,77	29,16	25,61		
1,49	0,68	118,08	2,61	62,30	30,18	32,13	0,18	5
		120,31	2,60	62,76	31,13	31,64		
1,49	0,70	112,44	2,58	66,80	31,87	34,93	0,21	5
		112,96	2,59	66,91	32,14	34,76		
1,51	0,71	111,34	2,61	65,03	30,92	34,11	0,24	4
		113,86	2,61	65,36	31,19	34,16		
1,52	0,75	102,43	2,60	67,41	31,17	36,24	0,28	4
		103,37	2,61	66,97	31,54	35,43		
1,55	0,78	98,15	2,59	69,10	32,61	36,49	0,29	2
		98,07	2,59	68,98	32,73	36,25		

Tes Volumetri - Gravimetri				Tes Konsistensi Tanah (%) (Atterberg Limit)			Tes Triaxial	
1,57	0,82	91,86	2,60	60,15	30,02	30,12	0,30	3
		92,42	2,60	60,19	30,18	30,02		
1,60	0,83	92,89	2,68	66,65	31,22	35,43	0,32	2
		94,79	2,68	66,57	30,45	36,12		
1,60	0,84	90,38	2,69	77,65	33,95	43,69	0,35	2
		91,21	2,69	77,11	34,50	42,61		
1,61	0,85	90,29	2,68	85,80	36,02	49,78	0,39	2
		90,21	2,69	87,91	36,40	51,51		
1,63	0,92	76,23	2,66	85,70	34,18	51,52	0,42	2
		78,01	2,66	83,52	34,70	48,82		
-	-	37,70	2,62	85,17	36,50	48,67	-	-
		38,25	2,63	85,33	35,97	49,35		
-	-	39,77	2,64	76,98	33,56	43,42	-	-
		39,77	2,63	77,39	34,28	43,11		
1,49	0,63	138,14	2,77	70,28	31,66	38,62	0,13	10
		137,63	2,76	71,91	32,13	39,79		
1,52	0,68	123,67	2,76	66,89	32,11	34,78	0,15	9
		121,04	2,77	65,71	30,77	34,95		
1,52	0,69	122,80	2,75	66,29	31,64	34,65	0,16	8
		120,74	2,73	66,79	31,77	35,02		
1,53	0,71	116,23	2,66	72,43	33,33	39,10	0,17	8
		115,44	2,66	72,33	32,30	40,04		
1,53	0,73	109,08	2,61	69,31	31,64	37,67	0,21	6
		107,74	2,61	69,25	31,88	37,37		

Tes Volumetri - Gravimetri				Tes Konsistensi Tanah (%) (Atterberg Limit)			Tes Triaxial	
1,55	0,76	102,69	2,62	82,24	35,17	47,08	0,25	4
		102,12	2,61	81,59	34,51	47,07		
1,55	0,77	100,86	2,65	81,32	34,33	46,99	0,27	3
		99,49	2,66	81,95	34,02	47,93		
1,56	0,82	90,27	2,63	77,88	33,34	44,54	0,31	2
		92,07	2,64	77,91	33,10	44,81		
1,57	0,80	94,44	2,61	70,96	32,91	38,04	0,34	2
		95,59	2,62	72,03	32,37	39,67		
1,60	0,85	87,95	2,62	70,66	33,00	37,67	0,36	2
		86,03	2,62	70,58	33,35	37,23		
1,61	0,88	83,27	2,62	92,02	36,50	55,53	0,40	2
		84,64	2,62	90,15	36,62	53,54		
1,61	0,89	81,49	2,64	93,14	38,19	54,94	0,42	2
		82,54	2,63	90,58	37,36	53,22		
-	-	53,71	2,66	77,68	28,46	49,22	-	-
		53,66	2,66	78,13	28,17	49,96		
-	-	48,40	2,64	70,76	24,84	45,92	-	-
		47,68	2,63	70,74	25,13	45,61		
-	-	51,38	2,64	71,26	31,75	39,51	-	-
		50,27	2,64	71,83	32,17	39,66		
-	-	47,91	2,66	68,36	31,61	36,76	-	-
		48,16	2,65	68,41	31,78	36,63		
1,44	0,61	138,91	2,61	60,71	30,09	30,62	0,13	12
		139,84	2,62	60,18	30,27	29,91		

Tes Volumetri - Gravimetri				Tes Konsistensi Tanah (%) (Atterberg Limit)			Tes Triaxial	
1,50	0,70	114,09	2,62	68,70	31,77	36,93	0,15	9
		113,77	2,61	66,52	32,17	34,35		
1,52	0,68	122,58	2,65	65,80	30,99	34,82	0,15	10
		121,33	2,66	64,78	31,01	33,77		
1,52	0,86	78,10	2,62	64,39	30,31	34,07	0,17	7
		80,22	2,61	65,04	30,78	34,26		
1,53	0,74	106,27	2,63	67,43	29,77	37,67	0,19	6
		107,73	2,63	67,31	31,56	35,75		
1,54	0,77	101,19	2,63	74,03	33,07	40,96	0,20	8
		101,98	2,64	73,07	31,86	41,21		
1,56	0,77	103,02	2,60	68,78	32,51	36,26	0,25	4
		102,79	2,59	68,55	32,25	36,30		
1,58	0,80	97,05	2,63	65,80	30,82	34,98	0,30	3
		102,25	2,63	65,82	31,68	34,15		
1,59	0,80	97,88	2,67	67,60	31,47	36,12	0,32	2
		98,72	2,66	67,71	31,12	36,58		
1,59	0,81	96,62	2,63	70,93	31,70	39,23	0,35	2
		95,75	2,62	71,55	31,98	39,57		
1,60	0,87	85,48	2,63	87,55	35,11	52,44	0,38	2
		86,17	2,62	87,03	35,41	51,63		
1,61	0,86	87,20	2,64	74,06	33,13	40,93	0,40	2
		88,01	2,64	73,21	33,01	40,20		
1,65	0,90	82,63	2,64	78,62	32,73	45,89	0,43	2
		83,42	2,64	79,18	32,05	47,13		

Tes Volumetri - Gravimetri				Tes Konsistensi Tanah (%) (Atterberg Limit)			Tes Triaxial	
-	-	42,29	2,72	74,27	30,94	43,33	-	-
		44,01	2,71	73,91	31,51	42,40		
-	-	38,99	2,72	75,29	33,54	41,75	-	-
		41,14	2,71	75,97	33,55	42,42		
-	-	39,60	2,72	87,12	36,65	50,47	-	-
		41,36	2,71	85,45	34,01	51,44		
-	-	42,95	2,72	81,73	34,34	47,40	-	-
		43,05	2,73	81,14	35,07	46,08		

Lampiran A.2 Spesifikasi PVD



MILL CERTIFICATE

Issue Date	12/04/23	Reference No.	QC329SP23	Certificate Validity	3 Months
Product	VDBOR-PW17		Quantity		
Batch No.			Roll No.	Packing details,	
Project	Lamongan Shorebase Project				
Client	GEOSTRUCTURE DYNAMICS				

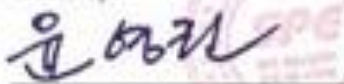
This certificate assures that the product has been manufactured to meet and exceed the project requirements.

Properties	Test method	Unit	Project Requirement
1. Composite drain(core and filter)			
Type			Fishbone
Core Material	ASTM D 276	-	PP, PE
Width	ASTM D 3774	mm	100 ± 2
Thickness	ASTM D 5199	mm	4.5 ± 0.5
Tensile strength at 10% strain (Dry condition)	ASTM D 4595	kN/full width	> 2.0
Elongation at break	ASTM D 4595	%	> 20
Discharge capacity at 500kPa, i=1.0 straight	ASTM D 4716	cm ³ /s	> 75
Discharge capacity at 300kPa, i=1.0 straight	ASTM D 4716	cm ³ /s	> 90
Discharge capacity at 250kPa, i=1.0 buckled	ASTM D 4716	cm ³ /s	> 50
2. Filter			
Material	ASTM D 276	-	PET
Wide width tensile strength	ASTM D 4595	kN/m	> 7.0
Grab tensile strength	ASTM D 4632	N	> 500
Trapezoidal tear strength	ASTM D 4533	N	> 120
Puncture strength	ASTM D 4833	N	> 220
Burst strength	ASTM D 3786	kPa	> 900
Permeability	ASTM D 4491	cm/s	> 1.4 × 10 ⁻²
Permivity	ASTM D 4491	s ⁻²	> 0.75
Apparent opening size(O ₉₀)	ASTM D 4751	µm	< 75

Inspected by : S.W. Kang, GM

QC PASSED

Verified by:



Yoon Young Kwon, General Director

SPE INDUSTRY
171 Gomsu-ro 216 beon-gil, Sillim-myeon, Gimhae-si,
Gyeongsangnam-do, South Korea 50875
Tel: +82 53 342 9966 Fax: +82 53 342 9967
Email: gd.gtmu@gmail.com, www.speindus.com



Prefabricated Vertical Drain VD80R-PW17

1. DRAIN (CORE + FILTER)		Test Method	Unit	
Type				Pebble
Core Material		ASTM D 278		PP/PE
Width		ASTM D 3774	mm	100 ± 2
Thickness		ASTM D 5199	mm	4.5 ± 0.5
Tensile Strength at 10% strain (Dry condition)		ASTM D 4595	kN/full width	>2.0
Elongation at break		ASTM D 4595	%	>20
Discharge Capacity at 500kPa, i=1.0 straight		ASTM D 4716	cm/s	>75
Discharge Capacity at 300kPa, i=1.0 straight		ASTM D 4716	cm/s	>90
Discharge Capacity at 250kPa, i=1.0 buckled		ASTM D 4716	cm/s	>50
2. FILTER				
Material		ASTM D 278		PET
Wide Width Tensile Strength		ASTM D 4595	kN/m	>7.0
Grab Tensile Strength		ASTM D 4632	N	>500
Trapezoidal Tear Strength		ASTM D 4533	N	>120
Puncture Strength		ASTM D 4833	N	>220
Burst Strength		ASTM D 3786	kPa	>800
Permeability		ASTM D 4493	cm/s	$>1.1 \times 10^{-4}$
Permittivity		ASTM D 4493	s ²	>0.75
Opening Size (O ₉₀)		ASTM D 4751	µm	<75
3. TRANSPORT DATA				
Length/Roll	=	m/roll		250
Outside Diameter	=	mm		1,170
Inside Diameter	=	mm		160
Weight/Roll	=	kg/roll		17
# of IBC Container	=	m		325,000

Values are approximate values. The level of precision is 10% of the nominal value. The level of precision is 10% of the nominal value. The level of precision is 10% of the nominal value. The level of precision is 10% of the nominal value.

The values are for reference only. The values are for reference only. The values are for reference only. The values are for reference only.

	REVIEW
☒ AP - APPROVED	
☐ AC - APPROVED WITH COMMENT	
☐ NA - NOT APPROVED	
DATE: 05.11.2023	SIGN:
NAME: Maryono	

05/11/2023

Lampiran A.3 Spesifikasi Geotextile Tube



Geotube® Technical data

Properties (Standard)	Unit	GT 500 D
Version		
Type of product		High performance filter fabric
Material		Polypropylene joints
Mechanical properties		
Ultimate tensile strength (JW ISO 12878)	MD: N/m ² CD: N/m ²	KN/m kN/m KN/m kN/m
		70 -6 95 -6
Minimum Seam strength (JW ISO 12878)		KN/m 65
Hydraulic properties		
Water permeability normal to the plane (Th=50mm) (JW ISO 12888)		l/m ² /min 560
Characteristic opening size C ₉₅ (JW ISO 12888)		µm 450
Durability		
UV resistance (JW ISO 12888 / EN 12688)		% > 70
Physical properties		
Mass per unit area (JW ISO 910)		g/m ² 535
Thickness (JW ISO 910)		mm 2

MD = machine direction / CD = cross direction

The values given are indicative and correspond to average results obtained in our laboratories and in testing institutes.

min! these values are given within the 95% confidence level. © Copyright Ten Cate Geosynthetics B.V., November 2009. Previously issued data is not longer valid.

The right is reserved to make changes without notice at any time.

Geotube® is a registered trademark of Ten Cate Geosynthetics.

TenCate Geosynthetics Netherlands bv
Steinwoudseweg 14, 7626 HR Almelo
Tel: +31 (0)546 544 871 Fax: +31 (0)546 544 493
geotube@ten-cate.com / www.tencate.com

Protective & Outdoor Fabrics
Aerospace Composites
Armor Composites

Geosynthetics
Industrial Fabrics
Gloss

TENCATE
materials that make a difference

BORING NUMBER SI-02

PAGE 1 OF 1



Tigenco

NORTHING 9241169.742 m

EASTING 655509.475 mELEVATION CD MEASURED -9.26 m

PROJECT Eastport Breakwater Works : Offshore Soil Investigation

LOCATION Lamongan Shorebase

CLIENT PT.Adhi Karya

DATE STARTED 22/12/23 **COMPLETED** 22/12/23

DRILLER YusepDRILLING METHOD Continuous Boring

LOGGED BY Fahriza CHECKED BY AHN

REMARKS

GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: GL. -

[illegible]

DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	CORE PHOTO	MATERIAL DESCRIPTION	DEPTH OF SAMPLE (m)	SAMPLE TYPE NUMBER	BLOW COUNTS (N VALUE)	Vane Shear Undrained Shear Strength (kPa)	CORE RECOVERY (%)	RQD (%)	FINES CONTENT (%)												
										20	40	60	80									
										PL	MC	LL										
											SPT N VALUE											
											10	20	30	40	50							
1			CLAY with Fine SAND, homogeneous, grey, very soft, high plasticity, wet (there is insert of shell fragments)	1.50	UD 1																	
2				2.00																		
3				2.50	VANE 1																	
4				3.00																		
5				3.50	UD 2																	
				4.00																		
				4.50	VANE 2																	
				5.00																		
6			Sandy CLAY, homogeneous, very soft, medium plasticity, moist																			
7				CORAL with Clayey SAND, grey, highly weathered, very low strength																		
				6.50	SPT 1	5-9-3 (12)																
				6.95																		
8			Sandy CLAY, homogeneous, grey, stiff, low plasticity, moist (there is insert of shell fragments)																			
					LIMESTONE, white, slightly weathered, very strong																	
				8.50	SPT 2	60/11																
				8.61																		
			Bottom of borehole at 8.61 meters.																			

GEOTECH BH PLOTS-MIE LAMONGAN BW.GPJ GINT STD A4 ASTM LAB.GDT 15/1/24

Drawing Review and Approval By:
Employer's Representative, Yeo Seon

SIGNATURE	DATE
-----------	------

- ☐ A - APPROVED
- ☐ B - APPROVED WITH CHANGES AS NOTED
Change as Noted and Resubmit as Approved Process
- ☐ C - REJECTED
Do Not Proceed, Change as Noted and Resubmit
- ☐ D - INFORMATION ONLY
Acknowledgment Receipt

Project Title :	
-----------------	--

EASTPORT BREAKWATER WORKS

Employer:

EASTPORT
INVESTAMA INDONESIA

Contractor :	
--------------	--



PT ADHI KARYA (Persero) Tbk.
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR II

Drawing Title :

BORING LOG
SI-02

		Initials	Date
Drawn by	Achmad Kawakib Drafter		06-02-2024
Checked by	M. Jody Hapsoro Design Engineer		06-02-2024
Checked by	Minanto Project Engineering Manager		06-02-2024
Verified by	Arie Suryono Project Manager		07-02-2024
SCALE	DRAWING NO.	DRAWING REF.	SHEET
NTS	EBW/AK/DWG/G/004	-	2
DRAWING STATUS		REV.	SIZE
ISSUED FOR APPROVAL		A	A3

PAGE 1 OF 2



NORTHING 9241410.713 m
EASTING 655580.461 m
ELEVATION CD MEASURED -9.993 m

PROJECT Eastport Breakwater Works : Offshore Soil Investigation

LOCATION Lamongan Shorebase

CLIENT PT.Adhi Karya

DATE STARTED 29/12/23 **COMPLETED** 30/12/23

DRILLER Yusep

DRILLING METHOD Continuous Boring

LOGGED BY Fahriza CHECKED BY AHM

REMARKS

[illegible][illegible]

(Continued Next Page)

PAGE 2 OF 2



NORTHING 9241410.713 m
EASTING 655580.461 m
ELEVATION CD MEASURED -9.993 m

PROJECT Eastport Breakwater Works : Offshore Soil Investigation

LOCATION Lamongan Shorebase

CLIENT PT.Adhi Karya

GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: GL. - _____

DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	CORE PHOTO	MATERIAL DESCRIPTION	DEPTH OF SAMPLE (m)	SAMPLE TYPE NUMBER	BLOW COUNTS (N VALUE)	Vane Shear Strength (kPa)	CORE RECOVERY (%)	RQD (%)	FINES CONTENT (%)			
										20 40 60 80			
										PL	MC	LL	
										20 40 60 80			
										● SPT N VALUE ●			
										10 20 30 40 50			
19			CLAY, homogeneous, grey, soft, high plasticity, moist (there is insert the shell fragment) <i>(continued)</i>	18.00	9								
				18.50	VANE 9	54.12							
				19.00									
20				19.50	UD 10								
				20.00									
21			CORAL with Clayey SAND, grey, extremely weathered, low strength	20.50	SPT 1	5-9-11 (20)					20		
				20.95									
22				LIMESTONE, white, slightly weathered, very strong									
23					22.50	SPT 2	60/10						
					22.60								
24													
25			LIMESTONE, white, slightly weathered, very strong	24.50	SPT 3	60/8							
				24.58									
26													
Bottom of borehole at 26.56 meters.				26.50	SPT 4	60/6							
				26.56									

Bottom of borehole at 26.56 meters

NOTES							
Drawing Review and Approval By: Employer's Representative, Yeo Seow Chin				SIGNATURE		DATE	
☐ A - APPROVED							
☐ B - APPROVED WITH CHANGES AS NOTED Change as Noted and Resubmit as Approved Process							
☐ C - REJECTED Do Not Proceed, Change as Noted and Resubmit							
☐ D - INFORMATION ONLY Acknowledged Receipt							
A	07-02-2024	ISSUED FOR APPROVAL					
REV.	DATE	DESCRIPTION		PRPD	CHKD	APPD	AUTD
Project Title :							
EASTPORT BREAKWATER WORKS							
Employer:							
EASTPORT INVESTAMA INDONESIA							
Contractor :							
PT ADHI KARYA (Persero) Tbk. DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR II							
Drawing Title :							
BORING LOG SI-03							
				Initials		Date	
Drawn by	Achmad Kawakib Drafter					06-02-2024	
Checked by	M. Jody Hapsoro Design Engineer					06-02-2024	
Checked by	Minanto Project Engineering Manager					06-02-2024	
Verified by	Arie Suryono Project Manager					07-02-2024	
SCALE	DRAWING NO.			DRAWING REF.		SHEET	
NTS	EBW/AK/DWG/G/004			-		3	
DRAWING STATUS				REV.		SIZE	
ISSUED FOR APPROVAL				A		A3	

PAGE 1 OF 3



REMARKS

GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: GL. -

NO.	BLOW COUNTS (N VALUE)	Vane Shear Undrained Shear Strength (kPa)	CORE RECOVERY (%)	RQD (%)	FINE CONTENT (%)	
					PL	MC
						● SPT N VALUE ●

(Continued Next Page)

PAGE 2 OF 3



APTH (m)	APH OG	DRE OTC
-------------	-----------	------------

GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: GL.

19		CLAY, homogeneous, grey, very soft, high plasticity, moist (there is insert the shell fragment) (continued)	18.00	9
			18.50	9
			19.00	9
20			19.50	10

(Continued Next Page)

		Initials	Date
Drawn by	Achmad Kawakib Drafter		06-02-2024
Checked by	M. Jody Hapsoro Design Engineer		06-02-2024
Checked by	Minanto Project Engineering Manager		06-02-2024
Verified by	Arie Suryono Project Manager		07-02-2024
SCALE	DRAWING NO.	DRAWING REF.	SHEET
NTS	EBW/AK/DWG/G/004	-	6
DRAWING STATUS		REV.	SIZE
ISSUED FOR APPROVAL		A	A3

GEOTECH BH PLOTS-MIE LAMONGAN BW.GPJ GINT STD A4 ASTM LAB.GDT 18/12/23

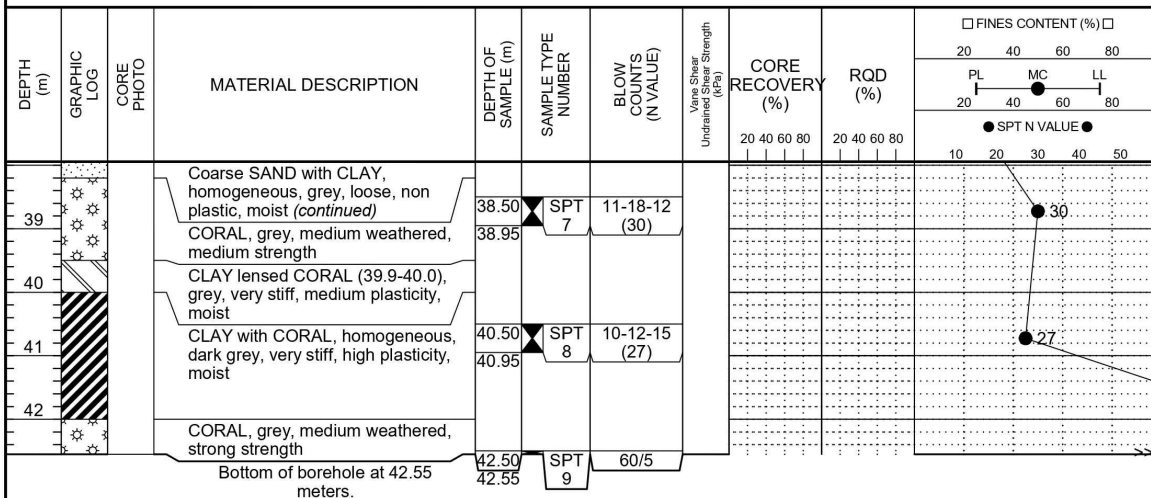
BORING NUMBER SI-06

PAGE 3 OF 3



PROJECT Eastport Breakwater Works : Offshore Soil Investigation
LOCATION Lamongan Shorebase
CLIENT PT.Adhi Karya

NORTHING 9241904.249 m
EASTING 656179.698 m
ELEVATION CD MEASURED -11.486 m
GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: GL. -



GEOTECH BH PLOTS-MIE LAMONGAN BW.GPJ GINT STD A4 ASTM LAB.GDT 18/12/23

Drawing Review and Approval By: Employer's Representative, Yeo Seow Chin	SIGNATURE	DATE

SIGNATURE	DATE
-----------	------

DATE _____

- ☐ A - APPROVED
- ☐ B - APPROVED WITH CHANGES AS NOTED
Change as Noted and Resubmit as Approved Process
- ☐ C - REJECTED
Do Not Proceed, Change as Noted and Resubmit
- ☐ D - INFORMATION ONLY
Acknowledged Receipt

A	07-02-2024	ISSUED FOR APPROVAL				
---	------------	---------------------	--	--	--	--

EASTPORT BREAKWATER WORKS

Employer: **EASTPORT**
INVESTAMA INDONESIA

Contractor :  PT ADHI KARYA (Persero) Tbk.
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR II

Drawing Title : **BORING LOG
SI-06**

		Initials	Date
Drawn by	Achmad Kawakib Drafter		06-02-2024
Checked by	M. Jody Hapsoro Design Engineer		06-02-2024
Checked by	Minanto Project Engineering Manager		06-02-2024
Verified by	Arie Suryono Project Manager		07-02-2024
SCALE	DRAWING NO.	DRAWING REF.	SHEET
NTS	EBW/AK/DWG/G/004	-	7
DRAWING STATUS		REV.	SIZE
ISSUED FOR APPROVAL		A	A3

NOTES



Tigenco

BORING NUMBER SI-07

PAGE 3 OF 3

NORTHING 9242036.206 m

EASTING 656541.903 m

ELEVATION CD MEASURED -11.539 m

GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: GL. -

PROJECT Eastport Breakwater Works : Offshore Soil Investigation

LOCATION Lamongan Shorebase

CLIENT PT.Adhi Karya

DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	CORE PHOTO	MATERIAL DESCRIPTION	DEPTH OF SAMPLE (m)	SAMPLE TYPE NUMBER	BLOW COUNTS (N VALUE)	Vane Shear Undrained Shear Strength (kPa)	CORE RECOVERY (%)	RQD (%)	☐ FINES CONTENT (%) ☐	
										PL	MC
38.50			Silty CLAY, homogeneous, dark grey, very stiff, high plasticity, moist	38.95	SPT 7	7-9-12 (21)					
Bottom of borehole at 38.95 meters.				38.95							

GEOTECH BH PLOTS-MIE LAMONGAN BW.GPJ GINT STD A4 ASTM LAB.GDT 29/11/23

Drawing Review and Approval By:
Employer's Representative, Yeo Seon

SIGNATURE	DATE
-----------	------

- ☐ A - APPROVED
- ☐ B - APPROVED WITH CHANGES AS NOTED
Change as Noted and Resubmit as Approved Process
- ☐ C - REJECTED
Do Not Proceed, Change as Noted and Resubmit
- ☐ D - INFORMATION ONLY
Acknowledged Receipt

A	07-02-2024	ISSUED FOR APPROVAL					
REV.	DATE.	DESCRIPTION	PRPD	CHKD	APPD	AUTD	

Project Title :	
-----------------	--

EASTPORT BREAKWATER WORKS

Employer:

EASTPORT
INVESTAMA INDONESIA

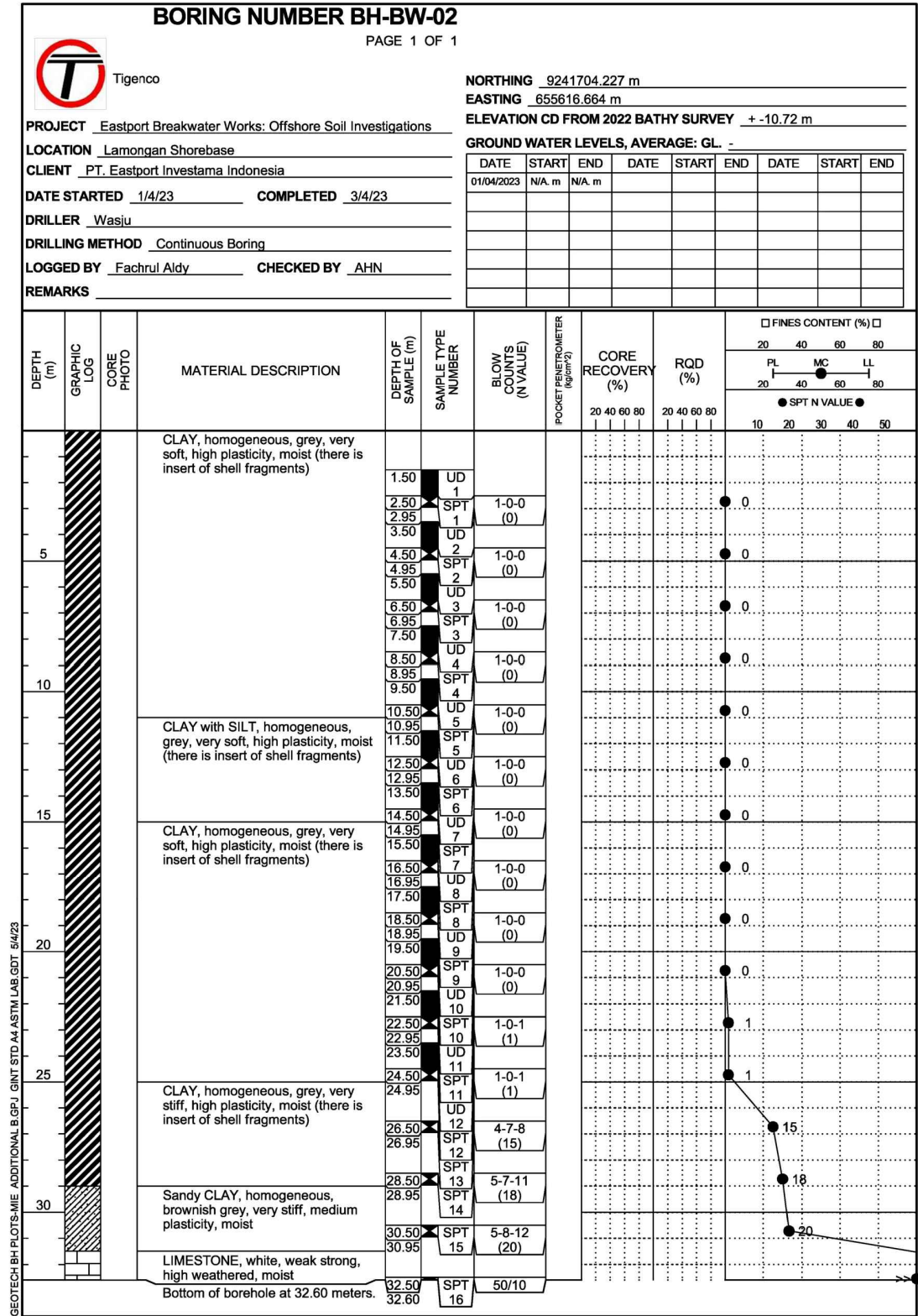
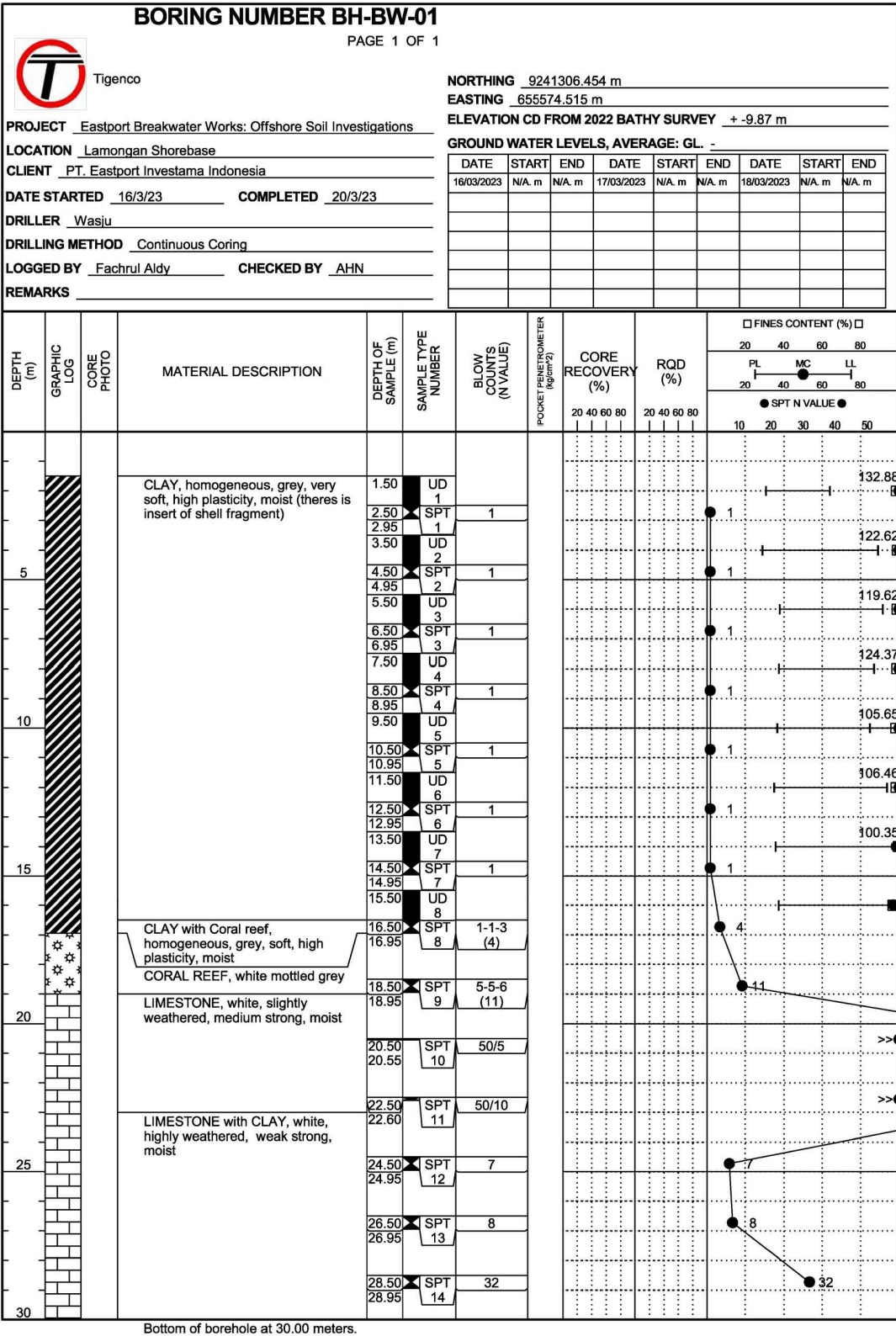
Contractor :

 PT ADHI KARYA (Persero) Tbk.
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR II

Drawing Title :

BORING LOG
SI-07

		Initials	Date
Drawn by	Achmad Kawakib Drafter		06-02-2024
Checked by	M. Jody Hapsoro Design Engineer		06-02-2024
Checked by	Minanto Project Engineering Manager		06-02-2024
Verified by	Arie Suryono Project Manager		07-02-2024
SCALE	DRAWING NO.	DRAWING REF.	SHEET
NTS	EBW/AK/DWG/G/004	-	9
DRAWING STATUS		REV.	SIZE
ISSUED FOR APPROVAL		A	A3



NOTES

Drawing Review and Approval By:
Employer's Representative, Yeo Seow Chin

SIGNATURE DATE

- ☐ A - APPROVED
☐ B - APPROVED WITH CHANGES AS NOTED
Change as Noted and Resubmit as Approved Process
☐ C - REJECTED
Do Not Proceed, Change as Noted and Resubmit
☐ D - INFORMATION ONLY
Acknowledged Receipt

REV DATE DESCRIPTION PRPD CHKD APPD AUTD

Project Title :

EASTPORT BREAKWATER WORKS

Employer:

EASTPORT
INVESTAMA INDONESIA

Contractor :

 PT ADHI KARYA (Persero) Tbk.
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR II

Drawing Title :

BORING LOG
BH BW-01 & BH BW-02

		Initials	Date
Drawn by	Achmad Kawakib Drafter		06-02-2024
Checked by	M. Jody Hapsoro Design Engineer		06-02-2024
Checked by	Minanto Project Engineering Manager		06-02-2024
Verified by	Arie Suryono Project Manager		07-02-2024
SCALE	DRAWING NO.	DRAWING REF.	SHEET
NTS	EBW/AK/DWG/G/003	-	1
DRAWING STATUS		REV.	SIZE
ISSUED FOR APPROVAL		A	A3

PAGE 1 OF 2



NORTHING 9241852.812 m

EASTING 655988.043 m

ELEVATION CDL + -10.996 m

PROJECT Eastport Breakwater Works Offshore Soil Investigation

LOCATION Lamongan Shorebase

CLIENT PT. Eastport Investama Indonesia

DATE STARTED	15/5/23	COMPLETED	18/5/23
---------------------	---------	------------------	---------

DRILLER Waslu

DRILLING METHOD Continuous Boring

LOGGED BY Fachrul Aldy **CHECKED BY** AHN

REMARKS

[illegible]

DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	CORE PHOTO	MATERIAL DESCRIPTION	DEPTH OF SAMPLE (m)	SAMPLE TYPE NUMBER	BLOW COUNTS (N VALUE)	POCKET PENETROMETER (kg/cm ²)	CORE RECOVERY (%)	ROD (%)	FINES CONTENT (%)		
										FL	MC	LL
										SPT N VALUE		
1			CLAY with SILT, homogeneous, grey, very soft, high plasticity, moist (there is insert of shell fragments)	1,50	UD 1	1-0-0 (0)						
2												
3				2,50	SPT 1							
4				2,95								
5				3,50	UD 2	1-0-0 (0)						
6				4,50	SPT 2							
7				4,95								
8				5,50	UD 3	1-0-0 (0)						
9				6,50	SPT 3							
10				6,95								
11			7,50	UD 4	1-0-0 (0)							
12			8,50	SPT 4								
13			8,95									
14			9,50	UD 5	1-0-0 (0)							
15			10,50	SPT 5								
16			10,95									
17			11,50	UD 6	1-0-0 (0)							
18			12,50	SPT 6								
19			12,95									
20			13,50	UD 7	1-0-0 (0)							
21	14,50	SPT 7										
22	14,95											
23	15,50	UD 8	1-1									
24	16,50	SPT 8										
25	16,95											
26	17,50	UD 9	1-1									
27	18,50	SPT										

PAGE 2 OF 2



NORTHING 9241852.812 m

EASTING 655988.043 m

ELEVATION CDL + -10.996 m

PROJECT Eastport Breakwater Works Offshore Soil Investigation

LOCATION Lamongan Shorebase

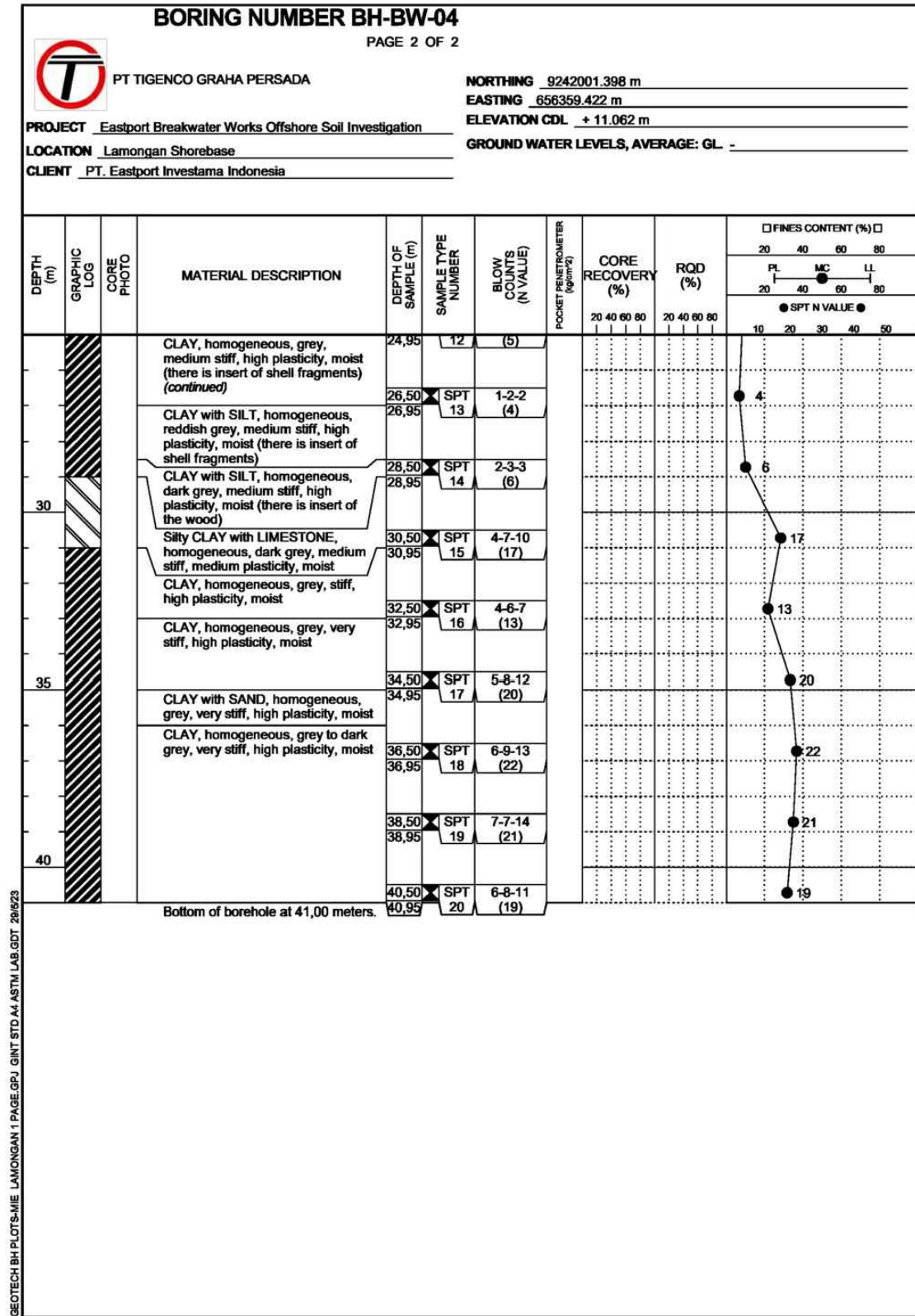
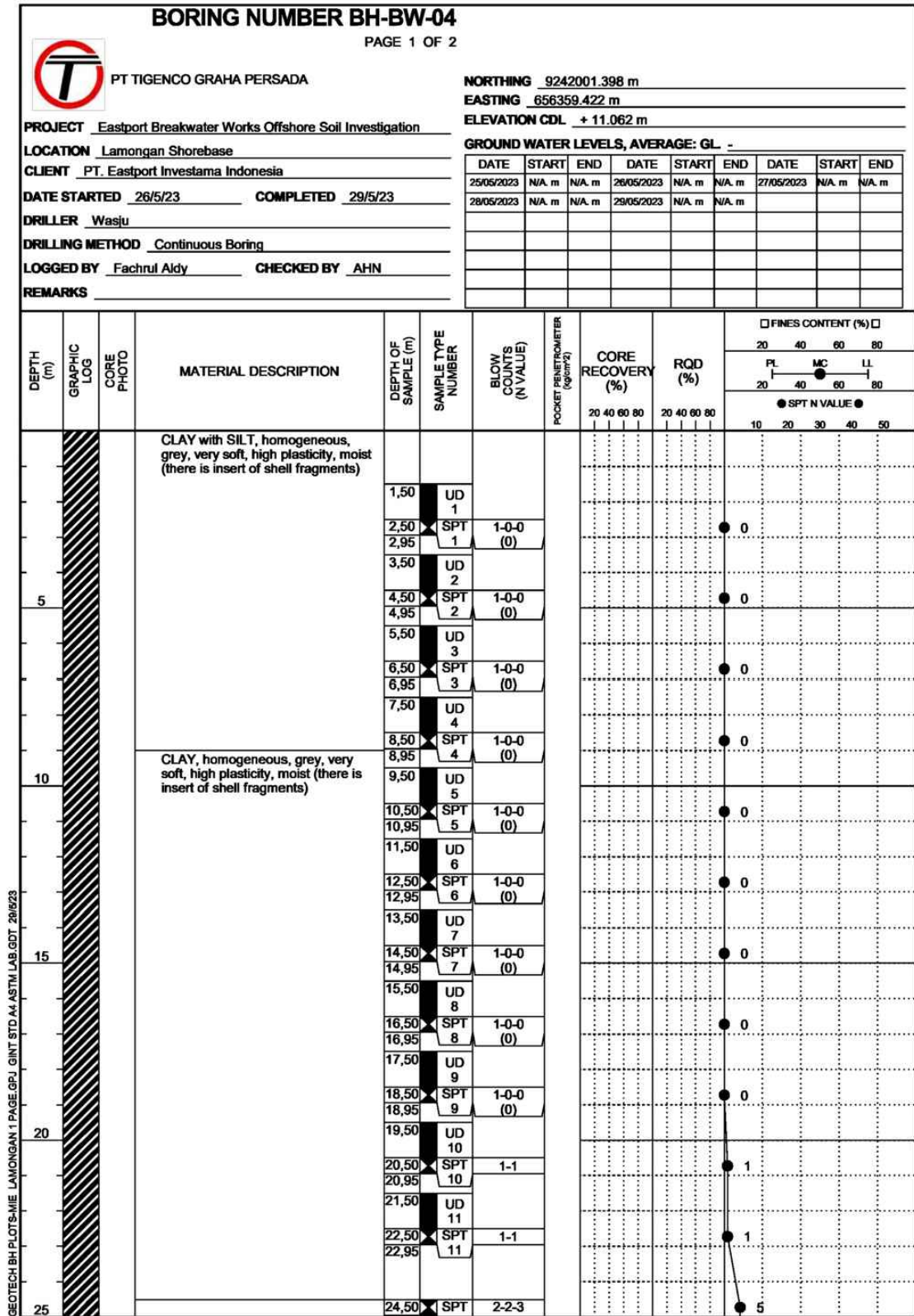
CLIENT PT. Eastport Investama Indonesia

GROUND WATER LEVELS, AVERAGE: GL -

LOCATION <u>Lamongan Shorebase</u>		CLIENT <u>PT. Eastport Investama Indonesia</u>	
DEPTH (m)	GRAPHIC LOG	CORE PHOTO	MATERIAL DESCRIPTION
DEPTH OF SAMPLE (m)	SAMPLE TYPE NUMBER	BLOW COUNTS (N VALUE)	SET PENETROMETER (kg/cm ²)
		CORE RECOVERY (%)	RQD (%)
☐ FINES CONTENT (%) ☐			

GEOTECH BH PLOTS-MIE		GINT STD M-ASTM LAB.GDT. 29/6/23		LAVONGKAN.GPJ		ROCK		SPT N VALUE	
DEPTH (m)	SOIL DESCRIPTION	W (%)	LI (%)	TEST TYPE	TEST RESULT	TEST TYPE	TEST RESULT	TEST TYPE	TEST RESULT
20	CLAY, homogeneous, grey, very soft, high plasticity, moist (there is insert of shell fragments) (continued)	18,95	9	UD	10	1-1			
21		20,50	10	SPT	10				1
22		20,95	11	UD	11	1-1			
23		21,50	11	SPT	11				1
24	CLAY with SILT, homogeneous, brownish grey, stiff, high plasticity, moist	22,50	12	UD	12	1-1			
25		22,95	12	SPT	12				1
26		23,50	13	UD	13	3-4-4 (8)			8
27		24,50	14	SPT	14	6-8-8 (16)			16
28	Silty CLAY with SAND, homogeneous, brownish grey, very stiff, medium plasticity, moist	24,95	15	UD	15	5-7-9 (16)			
29		26,50	16	SPT	16				16
30		26,95	17	UD	17	6-9-10 (19)			19
31		28,50	18	SPT	18	6-7-8 (13)			13
32	Silty CLAY with SAND, homogeneous, grey, very stiff, medium plasticity, moist	28,95	19	UD	19	6-7-8 (15)			
33		30,50	20	SPT	20				15
34		30,95	21	UD	21				
35		32,50	22	SPT	22				
36	Sandy CLAY with LIMESTONE, homogeneous, grey, very stiff, low plasticity, moist	32,95	23	UD	23				
37		34,50	24	SPT	24				
38	Silty CLAY, homogeneous, dark grey, stiff, medium plasticity, moist	34,95	25	UD	25				
39		36,50	26	SPT	26				
40	Bottom of borehole at 37,00 meters.		36,95	27	UD	27			

		Initials	Date
Drawn by	Achmad Kawakib Drafter		06-02-2020
Checked by	M. Jody Hapsoro Design Engineer		06-02-2020
Checked by	Minanto Project Engineering Manager		06-02-2020
Verified by	Arie Suyono Project Manager		07-02-2020
SCALE	DRAWING NO.	DRAWING REF.	SHEET
NTS	EBW/AK/DWG/G/003	-	2
DRAWING STATUS		REV.	SIZE
ISSUED FOR APPROVAL		A	A3



NOTES

Drawing Review and Approval By: SIGNATURE DATE
Employer's Representative, Yeo Seow Chin

- ☐ A - APPROVED
☐ B - APPROVED WITH CHANGES AS NOTED
Change as Noted and Resubmit as Approved Process
☐ C - REJECTED
Do Not Proceed, Change as Noted and Resubmit
☐ D - INFORMATION ONLY
Acknowledged Receipt

REV DATE DESCRIPTION PRPD CHKD APPD AUTD
A 07-02-2024 ISSUED FOR APPROVAL

Project Title :

EASTPORT BREAKWATER WORKS

Employer:
EASTPORT
INVESTAMA INDONESIA

Contractor :
adhi PT ADHI KARYA (Persero) Tbk.
DEPARTEMEN INFRASTRUKTUR II

Drawing Title :
BORING LOG
BH BW-04

		Initials	Date
Drawn by	Achmad Kawakib Drafter		06-02-2024
Checked by	M. Jody Hapsoro Design Engineer		06-02-2024
Checked by	Minanto Project Engineering Manager		06-02-2024
Verified by	Arie Suryono Project Manager		07-02-2024
SCALE	DRAWING NO.	DRAWING REF.	SHEET
NTS	EBW/AK/DWG/G/003	-	3
DRAWING STATUS		REV.	SIZE
ISSUED FOR APPROVAL		A	A3

LAMPIRAN B
PERHITUNGAN PERENCANAAN BREAKWATER

Lampiran B.1 Perhitungan Fetch

Direction (Main)	Direction (Degree)	Length (m)	α	$\cos \alpha$	F . $\cos \alpha$	F effective (m)
NORTH	340	200000	-20	0,939693	187938,5	178311
	345	200000	-15	0,965926	193185,2	
	350	200000	-10	0,984808	196961,6	
	355	200000	-5	0,996195	199238,9	
	0	200000	0	1	200000	
	5	200000	5	0,996195	199238,9	
	10	101518,3	10	0,984808	99976,01	
	15	103411,7	15	0,965926	99888,03	
	20	200000	20	0,939693	187938,5	
Total				8,773242	1564366	
NORTH EAST	25	200000	-20	0,939693	187938,5	200000
	30	200000	-15	0,965926	193185,2	
	35	200000	-10	0,984808	196961,6	
	40	200000	-5	0,996195	199238,9	
	45	200000	0	1	200000	
	50	200000	5	0,996195	199238,9	
	55	200000	10	0,984808	196961,6	
	60	200000	15	0,965926	193185,2	
	65	200000	20	0,939693	187938,5	
Total				8,773242	1754648	
EAST	70	200000	-20	0,939693	187938,5	167012
	75	200000	-15	0,965926	193185,2	
	80	200000	-10	0,984808	196961,6	
	85	200000	-5	0,996195	199238,9	
	90	200000	0	1	200000	
	95	200000	5	0,996195	199238,9	
	100	136939	10	0,984808	134858,5	
	105	93998	15	0,965926	90795	
	110	67065	20	0,939693	63020,02	
Total				8,773242	1465237	
SOUTH EAST	115	57245	-20	0,939693	53792,89	41444
	120	52350	-15	0,965926	50566,12	
	125	54237	-10	0,984808	53413,12	
	130	54096	-5	0,996195	53890,35	
	135	53262	0	1	53262,4	
	140	29274	5	0,996195	29162,11	
	145	23651	10	0,984808	23291,49	
	150	22971	15	0,965926	22187,9	
	155	25576	20	0,939693	24033,67	
Total				8,773242	363600	
SOUTH	160	27666	-20	0,939693	25997,82	23101
	165	25683	-15	0,965926	24808,07	
	170	24018	-10	0,984808	23653,21	

Direction (Main)	Direction (Degree)	Length (m)	α	$\cos \alpha$	F . $\cos \alpha$	F effective (m)
	175	22619	-5	0,996195	22533,33	
	180	21586	0	1	21585,6	
	185	21090	5	0,996195	21009,35	
	190	21121	10	0,984808	20799,63	
	195	21929	15	0,965926	21181,4	
	200	22456	20	0,939693	21101,27	
	Total			8,773242	202669,7	
SOUTH WEST	205	23213	-20	0,939693	21812,71	
	210	24230	-15	0,965926	23404,19	
	215	25544	-10	0,984808	25155,44	
	220	27512	-5	0,996195	27406,91	
	225	30273	0	1	30273,4	
	230	34864	5	0,996195	34731,33	
	235	44224	10	0,984808	43551,94	
	240	49235	15	0,965926	47557,74	
	245	52013	20	0,939693	48876,33	
	Total			8,773242	302770	
WEST	250	52901	-20	0,939693	49710,59	
	255	54269	-15	0,965926	52419,73	
	260	55742	-10	0,984808	54894,96	
	265	86042	-5	0,996195	85714,68	
	270	97109	0	1	97108,9	
	275	160640	5	0,996195	160028,7	
	280	167109	10	0,984808	164570,1	
	285	200000	15	0,965926	193185,2	
	290	200000	20	0,939693	187938,5	
	Total			8,773242	1045571	
NORTH WEST	295	200000	-20	0,939693	187938,5	
	300	200000	-15	0,965926	193185,2	
	305	200000	-10	0,984808	196961,6	
	310	200000	-5	0,996195	199238,9	
	315	200000	0	1	200000	
	320	200000	5	0,996195	199238,9	
	325	200000	10	0,984808	196961,6	
	330	200000	15	0,965926	193185,2	
	335	200000	20	0,939693	187938,5	
	Total			8,773242	1754648	

Lampiran B.2 Perhitungan Hindcasting

Date	Hour	WindDir (Deg)	WindDir (8)	WindSpd (m/s)	WindSpd Koreksi	U10	Ua	Fetch	t	Fully Non Fully
01/01/2014	0.00	265,58	W	6,27	6,27	6,27	6,79	119177	3600	59.339,97
01/01/2014	1.00	264,50	W	6,22	6,22	6,22	6,72	119177	7200	60.212,28
01/01/2014	2.00	267,50	W	6,20	6,20	6,20	6,70	119177	10800	60.507,58
01/01/2014	3.00	267,36	W	6,34	6,34	6,34	6,89	119177	14400	58.243,00
01/01/2014	4.00	265,90	W	6,52	6,52	6,52	7,12	119177	18000	55.729,77
01/01/2014	5.00	266,49	W	7,07	7,07	7,07	7,87	119177	21600	48.759,83
01/01/2014	6.00	267,47	W	7,55	7,55	7,55	8,53	119177	25200	43.830,03
01/01/2014	7.00	271,22	W	7,96	7,96	7,96	9,11	119177	28800	40.108,32
01/01/2014	8.00	263,70	W	8,71	8,71	8,71	10,17	119177	32400	34.644,20
01/01/2014	9.00	255,34	W	7,98	7,98	7,98	9,14	119177	36000	39.964,75
01/01/2014	10.00	242,04	SW	7,38	7,38	7,38	8,29	0	3600	-
01/01/2014	11.00	238,50	SW	6,92	6,92	6,92	7,66	0	7200	-
01/01/2014	12.00	239,27	SW	6,27	6,27	6,27	6,79	0	10800	-
01/01/2014	13.00	243,85	SW	5,96	5,96	5,96	6,37	0	14400	-
01/01/2014	14.00	249,86	W	6,41	6,41	6,41	6,97	119177	3600	57.325,07
01/01/2014	15.00	251,63	W	6,56	6,56	6,56	7,18	119177	7200	55.133,51

Date	Hour	WindDir (Deg)	WindDir (8)	WindSpd (m/s)	WindSpd Koreksi	U10	Ua	Fetch	t	Fully Non Fully
01/01/2014	16.00	251,88	W	6,32	6,32	6,32	6,86	119177	10800	58.588,68
01/01/2014	17.00	251,69	W	6,02	6,02	6,02	6,46	119177	14400	63.481,63
01/01/2014	18.00	253,60	W	6,03	6,03	6,03	6,47	119177	18000	63.375,89
01/01/2014	19.00	252,68	W	6,07	6,07	6,07	6,53	119177	21600	62.572,76
01/01/2014	20.00	251,83	W	6,09	6,09	6,09	6,55	119177	25200	62.343,27
01/01/2014	21.00	249,93	W	5,89	5,89	5,89	6,29	119177	28800	65.712,67
01/01/2014	22.00	252,46	W	5,39	5,39	5,39	5,63	119177	32400	76.187,54
01/01/2014	23.00	252,83	W	4,89	4,89	4,89	5,00	119177	36000	89.288,92

Lanjutan Lampiran B.2 Perhitungan Hindcasting

Cek	t min	Limited	Fetch Min	H ₀ (m)	T ₀ (s)
Nonfully	41095	Durasi Ltd	3090	0,2	1,7
Nonfully	41245	Durasi Ltd	8692	0,3	2,4
Nonfully	41296	Durasi Ltd	15939	0,4	3,0
Nonfully	40904	Durasi Ltd	24894	0,6	3,5

Cek	t min	Limited	Fetch Min	H₀ (m)	T₀ (s)
Nonfully	40455	Durasi Ltd	35370	0,7	3,9
Nonfully	39126	Durasi Ltd	48884	0,9	4,5
Nonfully	38098	Durasi Ltd	64114	1,1	5,1
Nonfully	37262	Durasi Ltd	80982	1,3	5,6
Nonfully	35922	Durasi Ltd	102087	1,7	6,3
Nonfully	37228	Durasi Ltd	113328	1,6	6,3
Nonfully	0	Fetch Ltd	0	0,0	0,0
Nonfully	0	Fetch Ltd	0	0,0	0,0
Nonfully	0	Fetch Ltd	0	0,0	0,0
Nonfully	0	Fetch Ltd	0	0,0	0,0
Nonfully	40742	Durasi Ltd	3130	0,2	1,7
Nonfully	40347	Durasi Ltd	8984	0,3	2,5
Nonfully	40964	Durasi Ltd	16133	0,4	3,0
Nonfully	41794	Durasi Ltd	24103	0,5	3,4

Cek	t min	Limited	Fetch Min	H₀ (m)	T₀ (s)
Nonfully	41777	Durasi Ltd	33705	0,6	3,8
Nonfully	41644	Durasi Ltd	44519	0,7	4,1
Nonfully	41606	Durasi Ltd	56178	0,8	4,5
Nonfully	42157	Durasi Ltd	67295	0,8	4,7
fully	43745	Durasi Ltd	75967	0,8	4,7
fully	45515	Durasi Ltd	83834	0,6	4,1

Lampiran B.3 Perhitungan Hindcasting

Date	Hour	WindDir (Deg)	WindDir (8)	WindSpd (m/s)	WindSpd Koreksi	U10	Ua	Fetch	t	Fully Non Fully
01/01/2023	0.00	292,08	W	11,17	6,70	6,70	7,37	119177	10800	53.202,33
01/01/2023	1.00	295,52	NW	10,95	6,57	6,57	7,20	200000	3600	77.621,73
01/01/2023	2.00	290,64	W	10,38	6,23	6,23	6,73	119177	3600	60.043,83
01/01/2023	3.00	284,23	W	10,17	6,10	6,10	6,57	119177	7200	62.043,26
01/01/2023	4.00	281,59	W	10,34	6,21	6,21	6,70	119177	10800	60.391,57
01/01/2023	5.00	284,88	W	10,89	6,53	6,53	7,14	119177	14400	55.512,27

Date	Hour	WindDir (Deg)	WindDir (8)	WindSpd (m/s)	WindSpd Koreksi	U10	Ua	Fetch	t	Fully Non Fully
01/01/2023	6.00	288,95	W	11,03	6,62	6,62	7,26	119177	18000	54.361,32
01/01/2023	7.00	290,35	W	11,43	6,86	6,86	7,58	119177	21600	51.284,01
01/01/2023	8.00	294,53	NW	11,27	6,76	6,76	7,45	200000	3600	74.042,72
01/01/2023	9.00	293,51	NW	11,20	6,72	6,72	7,40	200000	7200	74.801,69
01/01/2023	10.00	290,07	W	11,13	6,68	6,68	7,34	119177	3600	53.522,30
01/01/2023	11.00	291,47	W	11,03	6,62	6,62	7,26	119177	7200	54.318,67
01/01/2023	12.00	292,79	NW	10,42	6,25	6,25	6,77	200000	3600	84.259,44
01/01/2023	13.00	291,42	W	10,00	10,00	10,00	12,05	119177	3600	27.629,56
01/01/2023	14.00	286,40	W	10,08	6,05	6,05	6,50	119177	7200	62.944,77
01/01/2023	15.00	280,76	W	10,18	6,11	6,11	6,58	119177	10800	61.986,82
01/01/2023	16.00	282,68	W	10,36	6,21	6,21	6,72	119177	14400	60.268,65
01/01/2023	17.00	286,15	W	10,83	6,50	6,50	7,10	119177	18000	55.972,25
01/01/2023	18.00	287,96	W	11,13	6,68	6,68	7,34	119177	21600	53.511,55
01/01/2023	19.00	288,41	W	10,95	6,57	6,57	7,19	119177	25200	55.022,11

Date	Hour	WindDir (Deg)	WindDir (8)	WindSpd (m/s)	WindSpd Koreksi	U10	Ua	Fetch	t	Fully Non Fully
01/01/2023	20.00	288,17	W	10,77	6,46	6,46	7,05	119177	28800	56.484,91
01/01/2023	21.00	288,69	W	11,06	6,64	6,64	7,28	119177	32400	54.081,60
01/01/2023	22.00	285,42	W	10,66	6,40	6,40	6,96	119177	36000	57.449,04
01/01/2023	23.00	284,60	W	10,96	6,57	6,57	7,20	119177	39600	54.929,42
02/01/2023	0.00	282,08	W	10,29	6,17	6,17	6,66	119177	43200	60.934,68

Lanjutan Lampiran B.4 Perhitungan Hindcasting

Cek	t min	Limited	Fetch Min	H ₀ (m)	T ₀ (s)
Nonfully	39989	Durasi Ltd	16727	0,5	3,1
fully	56933	Durasi Ltd	3180	1,3	6,0
Nonfully	41216	Durasi Ltd	3076	0,2	1,7
Nonfully	41555	Durasi Ltd	8595	0,3	2,4
Nonfully	41276	Durasi Ltd	15951	0,4	3,0
Nonfully	40416	Durasi Ltd	25346	0,6	3,5
Nonfully	40205	Durasi Ltd	35702	0,7	4,0

Cek	t min	Limited	Fetch Min	H₀ (m)	T₀ (s)
Nonfully	39623	Durasi Ltd	47968	0,8	4,4
fully	56266	Durasi Ltd	3237	1,4	6,2
fully	56409	Durasi Ltd	9120	1,4	6,1
Nonfully	40049	Durasi Ltd	3212	0,2	1,8
Nonfully	40197	Durasi Ltd	9035	0,4	2,5
fully	58113	Durasi Ltd	3084	1,1	5,6
Nonfully	33947	Durasi Ltd	4116	0,4	2,3
Nonfully	41706	Durasi Ltd	8549	0,3	2,4
Nonfully	41546	Durasi Ltd	15796	0,4	2,9
Nonfully	41255	Durasi Ltd	24577	0,5	3,4
Nonfully	40499	Durasi Ltd	35313	0,7	3,9
Nonfully	40047	Durasi Ltd	47209	0,8	4,4
Nonfully	40326	Durasi Ltd	58873	0,9	4,7
Nonfully	40592	Durasi Ltd	71224	1,0	5,0

Cek	t min	Limited	Fetch Min	H₀ (m)	T₀ (s)
Nonfully	40153	Durasi Ltd	86385	1,1	5,3
Nonfully	40764	Durasi Ltd	98909	1,1	5,5
Nonfully	40309	Durasi Ltd	116046	1,3	5,9
Nonfully	41368	Fetch Ltd	119177	1,2	5,8

Lampiran B.5 Rekapitulasi H_0 dan T_0 Arah North

Tahun	Bulan	Tanggal	Tahun	Bulan	Tanggal	H_0 (m)	T_0 (s)
2014	1	1	2014	12	31	1,02218	2,98472
2015	1	1	2015	12	31	1,02218	4,41194
2016	1	1	2016	12	31	1,02218	4,86172
2017	1	1	2017	12	31	1,02218	4,16070
2018	1	1	2018	12	31	1,02218	4,09453
2019	1	1	2019	12	31	1,02218	4,17353
2020	1	1	2020	12	31	1,02218	4,95414
2021	1	1	2021	12	31	1,02218	4,02563
2022	1	1	2022	12	31	1,02218	5,32308
2023	1	1	2023	12	31	0,47301	3,62105

Lampiran B.6 Rekapitulasi H_0 dan T_0 Arah North West

Tahun	Bulan	Tanggal	Tahun	Bulan	Tanggal	H_0 (m)	T_0 (s)
2014	1	1	2014	12	31	2,75209	8,35785
2015	1	1	2015	12	31	2,72740	7,40968
2016	1	1	2016	12	31	2,72740	7,03286
2017	1	1	2017	12	31	2,72740	7,69168
2018	1	1	2018	12	31	2,72740	7,47957
2019	1	1	2019	12	31	2,72740	8,33279
2020	1	1	2020	12	31	2,71566	8,32082
2021	1	1	2021	12	31	2,63360	7,70535
2022	1	1	2022	12	31	2,63360	7,79965
2023	1	1	2023	12	31	2,63360	8,23615

Lampiran B.7 Rekapitulasi H_0 dan T_0 Arah North East

Tahun	Bulan	Tanggal	Tahun	Bulan	Tanggal	H_0 (m)	T_0 (s)
2014	1	1	2014	12	31	1,41116	5,30350
2015	1	1	2015	12	31	1,41116	5,13377
2016	1	1	2016	12	31	1,41116	5,42180
2017	1	1	2017	12	31	1,41116	4,26463
2018	1	1	2018	12	31	1,41116	4,75996
2019	1	1	2019	12	31	1,41116	4,28194
2020	1	1	2020	12	31	1,41116	6,25441
2021	1	1	2021	12	31	1,06142	4,21156
2022	1	1	2022	12	31	1,06142	4,95284
2023	1	1	2023	12	31	1,06142	5,42428

Lampiran B.8 Rekapitulasi H_0 dan T_0 Arah East

Tahun	Bulan	Tanggal	Tahun	Bulan	Tanggal	H_0 (m)	T_0 (s)
2014	1	1	2014	12	31	2,51543	7,87102
2015	1	1	2015	12	31	2,49904	7,85389
2016	1	1	2016	12	31	2,48414	7,55533
2017	1	1	2017	12	31	2,48414	7,69903

Tahun	Bulan	Tanggal	Tahun	Bulan	Tanggal	H ₀ (m)	T ₀ (s)
2018	1	1	2018	12	31	2,48414	7,83825
2019	1	1	2019	12	31	2,40876	7,75815
2020	1	1	2020	12	31	2,35277	7,65722
2021	1	1	2021	12	31	2,35277	7,69395
2022	1	1	2022	12	31	2,35277	7,55859
2023	1	1	2023	12	31	2,35277	7,68787

Lampiran B.9 Rekapitulasi H₀ dan T₀ Arah West

Tahun	Bulan	Tanggal	Tahun	Bulan	Tanggal	H ₀ (m)	T ₀ (s)
2014	1	1	2014	12	31	2,12596	7,01876
2015	1	1	2015	12	31	2,12596	7,03387
2016	1	1	2016	12	31	2,12596	7,02136
2017	1	1	2017	12	31	2,12596	7,03192
2018	1	1	2018	12	31	2,12596	7,02280
2019	1	1	2019	12	31	2,12596	7,03245
2020	1	1	2020	12	31	2,12596	7,01749
2021	1	1	2021	12	31	2,12596	7,03043
2022	1	1	2022	12	31	2,12596	7,03135
2023	1	1	2023	12	31	2,12596	7,03482

Lampiran B.10 Perhitungan Fisher Tippet Type I (H) North

Nomor	Tahun	H_{sm}	H_{smurut}	P	y_m	$H_{sm}y_m$	y_m^2	$(H_{sm} - H_{sm})^2$	A	B	$\hat{H}_{sm}$	$H_{sm} - \hat{H}_{sm}$
1	2014	1,02	1,02	0,94	2,866	2,93	8,21	0,003			1,129	-0,1071
2	2015	1,02	1,02	0,85	1,787	1,827	3,19	0,003			1,054	-0,0319
3	2016	1,02	1,02	0,75	1,232	1,26	1,52	0,003			1,015	0,0067
4	2017	1,02	1,02	0,65	0,836	0,854	0,70	0,003			0,988	0,0344
5	2018	1,02	1,02	0,55	0,513	0,524	0,26	0,003	0,07	0,93	0,965	0,0569
6	2019	1,02	1,02	0,45	0,227	0,232	0,05	0,003			0,945	0,0768
7	2020	1,02	1,02	0,35	-0,04	-0,04	0,00	0,003			0,927	0,0957
8	2021	1,02	1,02	0,25	-0,32	-0,33	0,10	0,003			0,907	0,1148
9	2022	1,02	1,02	0,15	-0,63	-0,64	0,39	0,003			0,886	0,1362
10	2023	0,47	0,47	0,06	-1,06	-0,5	1,13	0,244			0,855	-0,3825
Jumlah			9,67	5,00	5,41	6,11	15,56	0,271			9,673	0,0000
Rata - Rata			0,97	0,50	0,54	0,61	1,56	0,027			0,967	0,0000
Max											0,1362	

Lampiran B.11 Perhitungan Fisher Tippet Type I (H) North

Periode Ulang	L	v	y_r (tahun)	A	B	H_{sr}	α	σ_{nr}	σ_{Hs}	σ_r	$H_{sr} - 1.28\sigma_r$	$H_{sr} + 1.28\sigma_r$
2			0,37			0,96		0,38		0,33	0,53	1,38
5			1,50			1,03		0,78		0,72	0,11	1,96
10			2,25			1,09		0,95		0,90	-0,06	2,23
25	1	1	3,20	0,07	0,93	1,15	1,00	1,13	0,05	1,08	-0,23	2,53
50			3,90			1,20		1,25		1,20	-0,33	2,73
100			4,60			1,25		1,36		1,30	-0,42	2,92

Lampiran B.12 Perhitungan Fisher Tippet Type I (H) North West

No	Tahun	H_{sm}	H_{smur}	P	y_m	$H_{sm}y_m$	y_m^2	$(H_{sm} - H_{sm})^2$	A	B	$\hat{H}_{sm}$	$H_{sm} - \hat{H}_{sm}$
1	2014	2,75	2,75	0,94	2,87	7,89	8,21	0,003			2,78	-0,02
2	2015	2,73	2,73	0,85	1,79	4,87	3,19	0,001			2,74	-0,01
3	2016	2,73	2,73	0,75	1,23	3,36	1,52	0,001			2,72	0,00
4	2017	2,73	2,73	0,65	0,84	2,28	0,70	0,001			2,71	0,02
5	2018	2,73	2,73	0,55	0,51	1,40	0,26	0,001			2,70	0,03
6	2019	2,73	2,73	0,45	0,23	0,62	0,05	0,001	0,03	2,68	2,69	0,04
7	2020	2,72	2,72	0,35	-0,04	-0,12	0,00	0,000			2,68	0,03
8	2021	2,63	2,63	0,25	-0,32	-0,84	0,10	0,004			2,67	-0,04
9	2022	2,63	2,63	0,15	-0,63	-1,65	0,39	0,004			2,66	-0,03
10	2023	2,63	2,63	0,06	-1,06	-2,80	1,13	0,004			2,65	-0,02
Jumlah			27,01	5,00	5,41	15,02	15,56	0,020			27,01	0,00
Rata - Rata			2,70	0,50	0,54	1,50	1,56	0,002			2,70	0,00
Max											0,04	

Lampiran B.13 Perhitungan Fisher Tippet Type I (H) North West

Periode Ulang	L	v	y_r (tahun)	A	B	H_{sr}	α	σ_{nr}	σ_{Hs}	σ_r	$H_{sr} - 1.28\sigma_r$	$H_{sr} + 1.28\sigma_r$
2			0,37			2,69		0,38		0,37	2,22	3,17
5			1,50			2,73		0,78		0,76	1,76	3,71
10			2,25			2,76		0,95		0,94	1,56	3,95
25	1	1	3,20	0,03	2,68	2,79	1	1,13	0,01	1,12	1,35	4,22
50			3,90			2,81		1,25		1,24	1,22	4,39
100			4,60			2,83		1,36		1,34	1,11	4,55

Lampiran B.14 Perhitungan Fisher Tippett Type I (H) North East

Nomor	Tahun	H_{sm}	H_{smurut}	P	y_m	$H_{sm}y_m$	y_m^2	$(H_{sm} - H_{sm \text{ rata rata}})^2$	A	B	$\hat{H}_{sm}$	$H_{sm} - \hat{H}_{sm}$
1	2014	1,41	1,41	0,94	2,87	4,04	8,21	0,0110			1,54	-0,13
2	2015	1,41	1,41	0,85	1,79	2,52	3,19	0,0110			1,43	-0,02
3	2016	1,41	1,41	0,75	1,23	1,74	1,52	0,0110			1,38	0,04
4	2017	1,41	1,41	0,65	0,84	1,18	0,70	0,0110			1,34	0,08
5	2018	1,41	1,41	0,55	0,51	0,72	0,26	0,0110			1,30	0,11
6	2019	1,41	1,41	0,45	0,23	0,32	0,05	0,0110	0,1	1,25	1,27	0,14
7	2020	1,41	1,41	0,35	-0,04	-0,06	0,00	0,0110			1,25	0,16
8	2021	1,06	1,06	0,25	-0,32	-0,34	0,10	0,0599			1,22	-0,16
9	2022	1,06	1,06	0,15	-0,63	-0,66	0,39	0,0599			1,19	-0,13
10	2023	1,06	1,06	0,06	-1,06	-1,13	1,13	0,0599			1,15	-0,08
Jumlah			13,06	5,00	5,41	8,34	15,56	0,2569			13,06	0,00
Rata - Rata			1,31	0,50	0,54	0,83	1,56	0,0257			1,31	0,00
MAX												0,16

Lampiran B.15 Perhitungan Fisher Tippett Type I (H) North East

Periode Ulang	L	v	y_r (tahun)	A	B	H_{sr}	α	σ_{nr}	σ_{Hs}	σ_r	$H_{sr} - 1.28\sigma_r$	$H_{sr} + 1.28\sigma_r$
2			0,37			1,29		0,38		0,33	0,87	1,78
5			1,50			1,40		0,78		0,72	0,48	2,40
10			2,25			1,48		0,95		0,90	0,33	2,70
25	1	1	3,20	0,10	1,25	1,57	1,00	1,13	0,05	1,08	0,19	3,02
50			3,90			1,64		1,25		1,20	0,11	3,25
100			4,60			1,71		1,36		1,31	0,04	3,45

Lampiran B.16 Perhitungan Fisher Tippett Type I (H) East

Nomor	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm} rata rata) ²	A	B	H _{sm}	H _{sm} - H _{sm}
1	2014	2,52	2,52	0,94	2,87	7,21	8,21	0,0075			2,55	-0,04
2	2015	2,5	2,50	0,85	1,79	4,47	3,19	0,0050			2,49	0,00
3	2016	2,48	2,48	0,75	1,23	3,06	1,52	0,0031			2,47	0,02
4	2017	2,48	2,48	0,65	0,84	2,08	0,70	0,0031			2,44	0,04
5	2018	2,48	2,48	0,55	0,51	1,27	0,26	0,0031			2,43	0,06
6	2019	2,41	2,41	0,45	0,23	0,55	0,05	0,0004			2,41	0,00
7	2020	2,35	2,35	0,35	-0,04	-0,10	0,00	0,0058	0,05291414	2,4	2,40	-0,04
8	2021	2,35	2,35	0,25	-0,32	-0,75	0,10	0,0058			2,38	-0,03
9	2022	2,35	2,35	0,15	-0,63	-1,47	0,39	0,0058			2,37	-0,01
10	2023	2,35	2,35	0,06	-1,06	-2,50	1,13	0,0058			2,34	0,01
Jumlah			24,29	5,00	5,41	13,81	15,56	0,0451			24,29	0,00
Rata - Rata			2,43	0,50	0,54	1,38	1,56	0,0045			2,43	0,00
MAX												0,06

Lampiran B.17 Perhitungan Fisher Tippett Type I (H) East

Periode Ulang	L	v	y _r (tahun)	A	B	H _s _r	α	σ _{nr}	σ _{Hs}	σ _r	H _s _r - 1.28σ _r	H _s _r + 1.28σ _r
2			0,37			2,43		0,38		0,36	1,96	2,89
5			1,50			2,50		0,78		0,75	1,54	3,47
10			2,25			2,56		0,95		0,93	1,37	3,75
25	1	1	3,20	0,05	2,40	2,62	1,00	1,13	0,02	1,11	1,20	4,05
50			3,90			2,67		1,25		1,23	1,10	4,25
100			4,60			2,72		1,36		1,34	1,01	4,43

Lampiran B.18 Perhitungan Fisher Tippett Type I (H) West

Nomor	Tahun	H_{sm}	H_{smur}	P	y_m	$H_{sm}y_m$	y_m^2	$(H_{sm} - H_{sm} \text{ rata rata})^2$	A	B	$\hat{H}_{sm}$	$H_{sm} - \hat{H}_{sm}$
1	2014	2,13	2,13	0,94	2,87	6,09	8,21	0,00			2,13	0,00
2	2015	2,13	2,13	0,85	1,79	3,80	3,19	0,00			2,13	0,00
3	2016	2,13	2,13	0,75	1,23	2,62	1,52	0,00			2,13	0,00
4	2017	2,13	2,13	0,65	0,84	1,78	0,70	0,00			2,13	0,00
5	2018	2,13	2,13	0,55	0,51	1,09	0,26	0,00			2,13	0,00
6	2019	2,13	2,13	0,45	0,23	0,48	0,05	0,00			2,13	0,00
7	2020	2,13	2,13	0,35	- 0,04	-0,09	0,00	0,00			2,13	0,00
8	2021	2,13	2,13	0,25	- 0,32	-0,68	0,10	0,00	0,00	2,13	2,13	0,00
9	2022	2,13	2,13	0,15	- 0,63	-1,33	0,39	0,00			2,13	0,00
10	2023	2,13	2,13	0,06	- 1,06	-2,26	1,13	0,00			2,13	0,00
Jumlah			21,26	5,00	5,41	11,50	15,56	0,00			21,26	0,00
Rata - Rata			2,13	0,50	0,54	1,15	1,56	0,00			2,13	0,00
MAX												0,00

Lampiran B.19 Perhitungan Fisher Tippett Type I (H) West

Periode Ulang	L	v	y_r (tahun)	A	B	H_{sr}	α	σ_{nr}	σ_{Hs}	σ_r	$H_{sr} - 1.28\sigma_r$	$H_{sr} + 1.28\sigma_r$
2			0,37			2,13		0,38		0,38	1,63	2,62
5			1,50			2,13		0,78		0,78	1,13	3,12
10			2,25			2,13		0,95		0,95	0,91	3,34
25	1	1	3,20	0,00	2,13	2,13	1,00	1,13	0,00	1,13	0,67	3,58
50			3,90			2,13		1,25		1,25	0,52	3,73
100			4,60			2,13		1,36		1,36	0,39	3,87

Lampiran B.20 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) North

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2014	1,02	1,13	1,12	1,12	1,12	1,13	10,48
2015	1,02	1,05	1,05	1,05	1,05	1,05	3,13
2016	1,02	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	0,66
2017	1,02	0,99	0,98	0,99	0,98	0,99	3,36
2018	1,02	0,97	0,96	0,96	0,96	0,96	5,57
2019	1,02	0,95	0,94	0,94	0,94	0,94	7,52
2020	1,02	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	9,36
2021	1,02	0,91	0,91	0,91	0,91	0,91	11,23
2022	1,02	0,89	0,89	0,89	0,89	0,89	13,33
2023	0,47	0,86	0,87	0,87	0,87	0,86	80,86
RATA RATA							14,55

Lampiran B.20 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) North

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
9,96	10,06	9,98	10,11
2,38	2,72	2,46	2,89
1,25	0,98	1,19	0,84
3,78	3,59	3,74	3,50
5,82	5,71	5,80	5,66
7,60	7,57	7,59	7,56
9,25	9,32	9,27	9,34
10,89	11,05	10,93	11,13
12,65	12,94	12,71	13,08
84,08	82,96	83,84	82,35

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
14,77	14,69	14,75	14,65

Lampiran B.21 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) East

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2014	2,52	2,55	2,56	2,55	2,56	2,55	1,44
2015	2,50	2,49	2,49	2,49	2,49	2,49	0,18
2016	2,48	2,47	2,46	2,46	2,46	2,47	0,76
2017	2,48	2,44	2,44	2,44	2,44	2,44	1,60
2018	2,48	2,43	2,42	2,43	2,43	2,43	2,29
2019	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	0,14
2020	2,35	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	1,91
2021	2,35	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	1,29
2022	2,35	2,37	2,37	2,37	2,37	2,37	0,60
2023	2,35	2,34	2,35	2,35	2,35	2,35	0,38
RATA RATA							1,06

Lanjutan Lampiran B.21 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) East

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
1,59	1,52	1,57	1,48
0,25	0,19	0,24	0,17
0,86	0,80	0,85	0,77
1,70	1,65	1,69	1,63
2,38	2,34	2,37	2,32
0,06	0,09	0,07	0,10
1,86	1,87	1,86	1,87
1,29	1,27	1,28	1,26

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
0,67	0,62	0,66	0,60
0,09	0,20	0,12	0,26
1,08	1,06	1,07	1,05

Lampiran B.22 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) North West

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2014	2,75	2,78	2,78	2,78	2,78	2,78	0,83
2015	2,73	2,74	2,74	2,74	2,74	2,74	0,48
2016	2,73	2,72	2,72	2,72	2,72	2,72	0,17
2017	2,73	2,71	2,71	2,71	2,71	2,71	0,64
2018	2,73	2,70	2,70	2,70	2,70	2,70	1,02
2019	2,73	2,69	2,69	2,69	2,69	2,69	1,35
2020	2,72	2,68	2,68	2,68	2,68	2,68	1,25
2021	2,63	2,67	2,67	2,67	2,67	2,67	1,50
2022	2,63	2,66	2,66	2,66	2,66	2,66	1,12
2023	2,63	2,65	2,65	2,65	2,65	2,65	0,59
RATA RATA							0,90

Lanjutan Lampiran B.22 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) North West

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
0,88	0,85	0,88	0,84
0,42	0,46	0,43	0,48
0,24	0,20	0,23	0,18
0,70	0,67	0,69	0,65
1,07	1,05	1,06	1,03
1,39	1,38	1,39	1,37

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
1,26	1,26	1,26	1,26
1,51	1,49	1,50	1,49
1,18	1,15	1,17	1,13
0,77	0,70	0,75	0,67
0,94	0,92	0,94	0,91

Lampiran B.23 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) West

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2014	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2015	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2016	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2017	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2018	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2019	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2020	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2021	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2022	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
2023	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	2,13	0,00
RATA RATA							0,00

Lampiran B.23 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) West

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00

Lampiran B.24 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) North East

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2014	1,41	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	9,21
2015	1,41	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,44
2016	1,41	1,38	1,37	1,37	1,37	1,37	2,51
2017	1,41	1,34	1,33	1,33	1,33	1,33	5,34
2018	1,41	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	7,64
2019	1,41	1,27	1,27	1,27	1,27	1,27	9,67
2020	1,41	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	11,60
2021	1,06	1,22	1,22	1,22	1,22	1,22	14,93
2022	1,06	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	12,02
2023	1,06	1,15	1,16	1,16	1,16	1,15	7,89
RATA RATA							8,23

Lanjutan Lampiran B.24 Kesalahan Absolute Rata-Rata (H) North East

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
9,21	9,14	9,20	9,10
0,99	1,26	1,05	1,39

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
2,96	2,71	2,90	2,59
5,71	5,52	5,67	5,43
7,92	7,80	7,90	7,74
9,85	9,80	9,84	9,77
11,65	11,67	11,66	11,68
15,10	14,95	15,06	14,89
12,56	12,26	12,49	12,12
9,43	8,83	9,30	8,52
8,54	8,40	8,51	8,32

Lampiran B.25 Perhitungan Fisher Tippett Type I (T) North

Nomor	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm} rata rata) ²	A	B	Ĥ _{sm}	H _{sm} - Ĥ _{sm}
1	2014	2,98	5,32	0,94	2,87	15,26	8,21	1,1278	0,55	3,96	5,53	-0,21
2	2015	4,41	4,95	0,85	1,79	8,85	3,19	0,4803			4,94	0,01
3	2016	4,86	4,86	0,75	1,23	5,99	1,52	0,3607			4,64	0,22
4	2017	4,16	4,41	0,65	0,84	3,69	0,70	0,0228			4,42	-0,01
5	2018	4,09	4,17	0,55	0,51	2,14	0,26	0,0077			4,25	-0,07
6	2019	4,17	4,16	0,45	0,23	0,94	0,05	0,0101			4,09	0,07
7	2020	4,95	4,09	0,35	-0,04	-0,18	0,00	0,0277			3,94	0,15
8	2021	4,03	4,03	0,25	-0,32	-1,28	0,10	0,0554			3,79	0,23
9	2022	5,32	3,62	0,15	-0,63	-2,27	0,39	0,4097			3,62	0,00
10	2023	3,62	2,98	0,06	-1,06	-3,17	1,13	1,6291			3,38	-0,40
Jumlah			42,61	5,00	5,41	29,97	15,56	4,1313			42,61	0,00
Rata - Rata			4,26	0,50	0,54	3,00	1,56	0,4131			4,26	0,00
MAX											0,23	

Lampiran B.26 Perhitungan Fisher Tippett Type I (T) North

Periode Ulang	L	v	y _r (tahun)	A	B	H _s _r	α	σ _{nr}	σ _{hs}	σ _r	H _s _r - 1.28σ _r	H _s _r + 1.28σ _r
2			0,37			4,17		0,38		0,17	3,95	4,38
5			1,50			4,79		0,78		0,56	4,07	5,51
10			2,25			5,20		0,95		0,74	4,25	6,14
25	1	1	3,20	0,55	3,96	5,72	1,00	1,13	0,21	0,92	4,54	6,89
50			3,90			6,10		1,25		1,04	4,77	7,43
100			4,60			6,48		1,36		1,15	5,02	7,95

Lampiran B.27 Perhitungan Fisher Tippett Type I (T) North West

Nomor	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm} rata rata) ²	A	B	Ĥ _{sm}	H _{sm} - Ĥ _{sm}
1	2014	8,36	8,36	0,94	2,87	23,95	8,21	0,2717			8,67	-0,31
2	2015	7,41	8,33	0,85	1,79	14,89	3,19	0,2462			8,28	0,05
3	2016	7,03	8,32	0,75	1,23	10,25	1,52	0,2344			8,08	0,24
4	2017	7,69	8,24	0,65	0,84	6,88	0,70	0,1596			7,94	0,29
5	2018	7,48	7,80	0,55	0,51	4,00	0,26	0,0014			7,83	-0,03
6	2019	8,33	7,71	0,45	0,23	1,75	0,05	0,0172			7,72	-0,02
7	2020	8,32	7,69	0,35	-0,04	-0,34	0,00	0,0210	0,36	7,64	7,63	0,06
8	2021	7,71	7,48	0,25	-0,32	-2,38	0,10	0,1275			7,53	-0,05
9	2022	7,80	7,41	0,15	-0,63	-4,64	0,39	0,1823			7,42	-0,01
10	2023	8,24	7,03	0,06	-1,06	-7,47	1,13	0,6461			7,27	-0,23
Jumlah			78,37	5,00	5,41	46,90	15,56	1,9073			78,37	0,00
Rata - Rata			7,84	0,50	0,54	4,69	1,56	0,1907			7,84	0,00
MAX											0,29	

Lampiran B.28 Perhitungan Fisher Tippett Type I (T) North West

Periode Ulang	L	v	y_r (tahun)	A	B	H_{s_r}	α	σ_{nr}	σ_{Hs}	σ_r	$H_{s_r} - 1.28\sigma_r$	$H_{s_r} + 1.28\sigma_r$
2			0,37			7,77		0,38		0,24	7,47	8,08
5			1,50			8,18		0,78		0,63	7,37	8,99
10	1	1	2,25	0,36	7,64	8,45	1,00	0,95	0,15	0,81	7,41	9,48
25			3,20			8,78		1,13		0,99	7,52	10,05
50			3,90			9,03		1,25		1,11	7,62	10,45
100			4,60			9,28		1,36		1,21	7,73	10,84

Lampiran B.29 Perhitungan Fisher Tippett Type I (T) North East

Nomor	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm} rata rata) ²	A	B	Ĥ _{sm}	H _{sm} - Ĥ _{sm}
1	2014	5,30	6,25	0,94	2,87	17,93	8,21	1,5714			6,24	0,02
2	2015	5,13	5,42	0,85	1,79	9,69	3,19	0,1793			5,66	-0,24
3	2016	5,42	5,42	0,75	1,23	6,68	1,52	0,1772			5,37	0,05
4	2017	4,26	5,30	0,65	0,84	4,43	0,70	0,0916			5,16	0,15
5	2018	4,76	5,13	0,55	0,51	2,63	0,26	0,0177			4,99	0,15
6	2019	4,28	4,95	0,45	0,23	1,12	0,05	0,0023	0,53	4,71	4,83	0,12
7	2020	6,25	4,76	0,35	-0,04	-0,21	0,00	0,0580			4,69	0,07
8	2021	4,21	4,28	0,25	-0,32	-1,36	0,10	0,5169			4,54	-0,26
9	2022	4,95	4,26	0,15	-0,63	-2,67	0,39	0,5420			4,38	-0,12
10	2023	5,42	4,21	0,06	-1,06	-4,48	1,13	0,6230			4,15	0,06
Jumlah			50,01	5,00	5,41	33,77	15,56	3,7793			50,01	0,00
Rata - Rata			5,00	0,50	0,54	3,38	1,56	0,3779			5,00	0,00
						MAX						0,15

Lampiran B.30 Perhitungan Fisher Tippet Type I (T) North East

Periode Ulang	L	v	y _r (tahun)	A	B	H _s	α	σ _{nr}	σ _{hs}	σ _r	H _s - 1.28σ _r	H _s + 1.28σ _r
2			0,37			4,91		0,38		0,18	4,68	5,40
5			1,50			5,51		0,78		0,57	4,78	6,50
10			2,25			5,91		0,95		0,75	4,95	7,13
25	1	1	3,20	0,53	4,71	6,41	1,00	1,13	0,20	0,93	5,22	7,86
50			3,90			6,79		1,25		1,05	5,45	8,39
100			4,60			7,16		1,36		1,15	5,68	8,90

Lampiran B.31 Perhitungan Fisher Tippet Type I (T) East

Nomor	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm} rata rata) ²	A	B	H _{sm}	H _{sm} - H _{sm}
1	2014	7,87	7,87	0,94	2,87	22,56	8,21	0,0236			7,93	-0,06
2	2015	7,85	7,85	0,85	1,79	14,04	3,19	0,0186			7,83	0,02
3	2016	7,56	7,84	0,75	1,23	9,66	1,52	0,0146			7,78	0,06
4	2017	7,70	7,76	0,65	0,84	6,48	0,70	0,0017			7,74	0,01
5	2018	7,84	7,70	0,55	0,51	3,95	0,26	0,0003			7,71	-0,02
6	2019	7,76	7,69	0,45	0,23	1,74	0,05	0,0005			7,69	0,01
7	2020	7,66	7,69	0,35	-0,04	-0,34	0,00	0,0009	0,09	7,67	7,66	0,02
8	2021	7,69	7,66	0,25	-0,32	-2,44	0,10	0,0036			7,64	0,02
9	2022	7,56	7,56	0,15	-0,63	-4,73	0,39	0,0252			7,61	-0,05
10	2023	7,69	7,56	0,06	-1,06	-8,03	1,13	0,0262			7,57	-0,02
Jumlah			77,17	5,00	5,41	42,90	15,56	0,1154			77,17	0,00
Rata - Rata			7,72	0,50	0,54	4,29	1,56	0,0115			7,72	0,00
MAX												0,06

Lampiran B.32 Perhitungan Fisher Tippett Type I (T) East

Periode Ulang	L	v	y _r (tahun)	A	B	H _{s_r}	α	σ _{nr}	σ _{Hs}	σ _r	H _{s_r} - 1.28σ _r	H _{s_r} + 1.28σ _r
2			0,37			7,87		0,38		0,35	7,42	8,31
5			1,50			8,49		0,78		0,74	7,54	9,44
10			2,25			8,90		0,95		0,92	7,73	10,07
25	1	1	3,20	0,09	7,67	9,42	1,00	1,13	0,04	1,10	8,01	10,83
50			3,90			9,81		1,25		1,22	8,25	11,36
100			4,60			10,19		1,36		1,32	8,49	11,88

Lampiran B.33 Perhitungan Fisher Tippett Type I (T) West

Nomor	Tahun	H _{sm}	H _{sm} urut	P	y _m	H _{sm} y _m	y _m ²	(H _{sm} - H _{sm} rata rata) ²	A	B	Ĥ _{sm}	H _{sm} - Ĥ _{sm}
1	2014	7,02	7,03	0,94	2,87	20,16	8,21	0,00	0,00	7,02	7,04	0,00
2	2015	7,03	7,03	0,85	1,79	12,57	3,19	0,00			7,03	0,00
3	2016	7,02	7,03	0,75	1,23	8,67	1,52	0,00			7,03	0,00
4	2017	7,03	7,03	0,65	0,84	5,88	0,70	0,00			7,03	0,00
5	2018	7,02	7,03	0,55	0,51	3,60	0,26	0,00			7,03	0,00
6	2019	7,03	7,03	0,45	0,23	1,59	0,05	0,00			7,03	0,00
7	2020	7,02	7,02	0,35	-0,04	-0,31	0,00	0,00			7,02	0,00
8	2021	7,03	7,02	0,25	-0,32	-2,23	0,10	0,00			7,02	0,00
9	2022	7,03	7,02	0,15	-0,63	-4,39	0,39	0,00			7,02	0,00
10	2023	7,03	7,02	0,06	-1,06	-7,46	1,13	0,00			7,02	0,00
Jumlah			70,28	5,00	5,41	38,08	15,56	0,00			70,28	0,00
Rata - Rata			7,03	0,50	0,54	3,81	1,56	0,00			7,03	0,00
MAX												0,00

Lampiran B.34 Perhitungan Fisher Tippett Type I (T) West

Periode Ulang	L	v	y _r (tahun)	A	B	H _s _r	α	σ _{nr}	σ _{HS}	σ _r	H _s _r - 1.28σ _r	H _s _r + 1.28σ _r
2			0,37			7,03		0,38		0,38	6,54	7,52
5			1,50			7,03		0,78		0,77	6,04	8,02
10			2,25			7,04		0,95		0,95	5,82	8,25
25	1	1	3,20	0,00	7,02	7,04	1,00	1,13	0,00	1,13	5,59	8,49
50			3,90			7,04		1,25		1,25	5,44	8,64
100			4,60			7,05		1,36		1,36	5,31	8,79

Lampiran B.35 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) North

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2022	5,3231	5,5343	5,5688	5,5497	5,5646	5,5400	3,9679
2020	4,9541	4,9436	4,9226	4,9369	4,9259	4,9433	0,2131
2016	4,8617	4,6396	4,6129	4,6282	4,6163	4,6355	4,5684
2015	4,4119	4,4225	4,3966	4,4096	4,3995	4,4161	0,2402
2019	4,1735	4,2456	4,2228	4,2326	4,2249	4,2377	1,7260
2017	4,1607	4,0890	4,0711	4,0772	4,0724	4,0806	1,7241
2018	4,0945	3,9409	3,9300	3,9317	3,9303	3,9331	3,7530
2021	4,0256	3,7906	3,7903	3,7867	3,7894	3,7854	5,8372
2023	3,6211	3,6221	3,6406	3,6294	3,6380	3,6243	0,0294
2014	2,9847	3,3829	3,4554	3,4290	3,4497	3,4152	13,3391
RATA RATA							3,5398

Lampiran B.35 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) North

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
4,6167	4,2577	4,5379	4,0753
0,6366	0,3478	0,5690	0,2195

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
5,1185	4,8032	5,0471	4,6522
0,3480	0,0533	0,2827	0,0939
1,1808	1,4149	1,2315	1,5372
2,1531	2,0078	2,1229	1,9261
4,0189	3,9764	4,0120	3,9433
5,8467	5,9354	5,8691	5,9669
0,5391	0,2318	0,4689	0,0884
15,7699	14,8860	15,5786	14,4210
4,0228	3,7914	3,9720	3,6924

Lampiran B.36 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) East

[illegible]

Lampiran B.36 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) East

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
0,7990	0,7612	0,7908	0,7416
0,3439	0,3125	0,3365	0,2986
0,7994	0,7663	0,7919	0,7506
0,2370	0,2089	0,2307	0,1950
0,1553	0,1763	0,1599	0,1873
0,1051	0,0925	0,1025	0,0853
0,3301	0,3269	0,3296	0,3242
0,2333	0,2419	0,2355	0,2450
0,7404	0,7148	0,7345	0,7030
0,3780	0,3186	0,3651	0,2876
0,4122	0,3920	0,4077	0,3818

Lampiran B.37 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) North West

Tahun	H_{sm} Urut	H_{sm} FT1	H_{sm} Weibull (0,75)	H_{sm} Weibull (1,0)	H_{sm} Weibull (1,4)	H_{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2014	8,3579	8,6653	8,6827	8,6736	8,6807	8,6687	3,6781
2019	8,3328	8,2808	8,2646	8,2756	8,2672	8,2805	0,6238
2020	8,3208	8,0830	8,0642	8,0751	8,0667	8,0803	2,8582
2023	8,2361	7,9417	7,9243	7,9331	7,9262	7,9375	3,5750
2022	7,7997	7,8265	7,8119	7,8181	7,8132	7,8214	0,3445
2021	7,7054	7,7246	7,7137	7,7172	7,7144	7,7192	0,2499
2017	7,6917	7,6282	7,6224	7,6227	7,6224	7,6232	0,8250
2018	7,4796	7,5305	7,5320	7,5285	7,5312	7,5271	0,6802
2015	7,4097	7,4208	7,4352	7,4264	7,4332	7,4223	0,1497
2016	7,0329	7,2651	7,3154	7,2962	7,3112	7,2862	3,3016
RATA RATA							1,6286

Lampiran B.37 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) North West

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
3,8870	3,7773	3,8634	3,7197
0,8181	0,6869	0,7876	0,6278
3,0836	2,9535	3,0543	2,8910
3,7864	3,6798	3,7628	3,6264
0,1566	0,2367	0,1738	0,2788
0,1086	0,1534	0,1177	0,1793
0,9006	0,8966	0,9007	0,8902
0,7011	0,6544	0,6897	0,6360
0,3440	0,2257	0,3170	0,1702
4,0170	3,7450	3,9579	3,6028
1,7803	1,7009	1,7625	1,6622

Lampiran B.38 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) West

Tahun	H_{sm} Urut	H_{sm} FT1	H_{sm} Weibull (0,75)	H_{sm} Weibull (1,0)	H_{sm} Weibull (1,4)	H_{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2023	7,0348	7,0391	7,0393	7,0392	7,0393	7,0392	0,0608
2015	7,0339	7,0337	7,0335	7,0337	7,0335	7,0337	0,0019
2019	7,0324	7,0310	7,0307	7,0309	7,0307	7,0309	0,0211
2017	7,0319	7,0290	7,0287	7,0289	7,0288	7,0289	0,0416
2022	7,0313	7,0274	7,0272	7,0273	7,0272	7,0273	0,0564
2021	7,0304	7,0260	7,0258	7,0259	7,0258	7,0259	0,0636
2018	7,0228	7,0246	7,0245	7,0245	7,0245	7,0245	0,0258
2016	7,0214	7,0232	7,0233	7,0232	7,0233	7,0232	0,0269
2014	7,0188	7,0217	7,0219	7,0218	7,0219	7,0217	0,0420
2020	7,0175	7,0195	7,0202	7,0200	7,0202	7,0198	0,0292

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
RATA RATA							0,0369

Lampiran B.38 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) West

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
0,0642	0,0625	0,0638	0,0615
0,0052	0,0030	0,0047	0,0020
0,0249	0,0227	0,0244	0,0216
0,0451	0,0433	0,0447	0,0424
0,0593	0,0580	0,0590	0,0574
0,0657	0,0651	0,0656	0,0647
0,0247	0,0247	0,0246	0,0248
0,0272	0,0265	0,0270	0,0262
0,0450	0,0432	0,0446	0,0423
0,0393	0,0355	0,0385	0,0334
0,0400	0,0384	0,0397	0,0376

Lampiran B.39 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) North East

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2020	6,2544	6,2367	6,2840	6,2600	6,2787	6,2478	0,4736
2023	5,4243	5,6633	5,6499	5,6612	5,6526	5,6660	4,4071
2016	5,4218	5,3683	5,3460	5,3596	5,3491	5,3660	0,9870
2014	5,3035	5,1576	5,1338	5,1460	5,1365	5,1520	2,7516
2015	5,1338	4,9858	4,9633	4,9730	4,9654	4,9780	2,8826
2022	4,9528	4,8338	4,8144	4,8211	4,8158	4,8248	2,4040
2018	4,7600	4,6900	4,6760	4,6790	4,6765	4,6810	1,4694

Tahun	H _{sm} Urut	H _{sm} FT1	H _{sm} Weibull (0,75)	H _{sm} Weibull (1,0)	H _{sm} Weibull (1,4)	H _{sm} Weibull (2,0)	KA FT1
2019	4,2819	4,5442	4,5389	4,5373	4,5384	4,5371	6,1248
2017	4,2646	4,3806	4,3920	4,3837	4,3901	4,3799	2,7198
2021	4,2116	4,1484	4,2103	4,1878	4,2054	4,1760	1,5002
RATA RATA							2,5720

Lampiran B.39 Kesalahan Absolute Rata-Rata (T) North East

KA Weibull (0,75)	KA Weibull (1,0)	KA Weibull (1,4)	KA Weibull (2,0)
0,4736	0,0896	0,3891	0,1051
4,1602	4,3681	4,2098	4,4561
1,3974	1,1476	1,3405	1,0299
3,1997	2,9706	3,1487	2,8571
3,3207	3,1316	3,2796	3,0336
2,7942	2,6593	2,7659	2,5845
1,7647	1,7006	1,7527	1,6583
6,0002	5,9637	5,9894	5,9581
2,9866	2,7910	2,9411	2,7035
0,0296	0,5636	0,1454	0,8433
2,6127	2,5386	2,5962	2,5230

Lampiran B.40 Rekapitulasi Kesalahan Absolute Rata-Rata (T)

	North	North West	North East	East	West	Rata Rata
FT 1	3,5398	1,6286	2,5720	0,3681	0,0369	1,6291
Weibull (0,75)	4,0228	1,7803	2,6127	0,4122	0,0400	1,7736
Weibull (1,0)	3,7914	1,7009	2,5386	0,3920	0,0384	1,6923
Weibull (1,4)	3,9720	1,7625	2,5962	0,4077	0,0397	1,7556
Weibull (2,0)	3,6924	1,6622	2,5230	0,3818	0,0376	1,6594

LAMPIRAN C
PERHITUNGAN METODE PERBAIKAN TANAH

1	t/m^3	=	9,81	kN/m^3
	q	=	20	kN/m^2
	γ_{water}	=	9,81	kN/m^3
		=	10	kN/m^3
	$\gamma_{sat.batu}$	=	26	kN/m^3
	p	=	0,77	m
	a	=	1,15	m
	b	=	38,30	m
	HWL	=	2,1	m

Lampiran C.1 Hasil Penurunan Konsolidasi $q = 20 \text{ kN/m}^2$ dan $h = 18 \text{ m}$

Kedalaman (m)	e_0	C_c	C_s	γ_{sat} kN/m^3	a/z	b/z	I	$\Delta\sigma$ kN/m^2	σ'_0 kN/m^2	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ kN/m^2	σ_c kN/m^2	OCR	Sc Timbunan m
1	3,21	1,95	0,20	14,38	1,15	38,30	0,50	20	2,19	22,19	4,29	1,96	0,34
2	3,21	1,95	0,20	14,38	0,58	19,15	0,50	20	6,57	26,57	8,67	1,32	0,46
3	3,21	1,95	0,20	14,38	0,38	12,77	0,50	20	10,94	30,94	13,04	1,19	0,53
4	3,21	1,95	0,20	14,38	0,29	9,58	0,50	20	15,32	35,32	17,42	1,14	0,58
5	3,21	1,95	0,20	14,38	0,23	7,66	0,50	20	19,70	39,70	21,80	1,11	0,61
6	2,72	1,80	0,18	15,22	0,19	6,38	0,50	20	22,31	42,31	24,41	1,09	0,70
7	2,72	1,80	0,18	15,22	0,16	5,47	0,50	20	53,60	73,60	55,70	1,04	0,41
8	2,72	1,80	0,18	15,22	0,14	4,79	0,50	20	58,81	78,81	60,91	1,04	0,44
9	2,72	1,80	0,18	15,22	0,13	4,26	0,50	20	64,03	84,03	66,13	1,03	0,46
10	2,72	1,80	0,18	15,22	0,12	3,83	0,50	20	69,24	89,24	71,34	1,03	0,48
11	2,38	1,35	0,14	15,26	0,10	3,48	0,50	20	71,87	91,87	73,97	1,03	0,42
12	2,38	1,35	0,14	15,26	0,10	3,19	0,50	20	129,74	149,74	131,84	1,02	0,27
13	2,38	1,35	0,14	15,26	0,09	2,95	0,49	19,6	135,00	154,60	137,10	1,02	0,28
14	2,38	1,35	0,14	15,26	0,08	2,74	0,49	19,6	140,27	159,87	142,37	1,01	0,29
15	2,38	1,35	0,14	15,26	0,08	2,55	0,49	19,6	145,53	165,13	147,63	1,01	0,30
16	2,23	1,28	0,13	15,54	0,07	2,39	0,49	19,6	148,30	167,90	150,40	1,01	0,31

Kedalaman (m)	e_0	C_c	C_s	γ_{sat} kN/m ³	a/z	b/z	l	$\Delta\sigma$ kN/m ²	σ'_0 kN/m ²	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ kN/m ²	σ_c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
17	2,23	1,28	0,13	15,54	0,07	2,25	0,49	19,6	236,92	256,52	239,02	1,01	0,21
18	2,23	1,28	0,13	15,54	0,06	2,13	0,49	19,6	242,46	262,06	244,56	1,01	0,22
19	2,23	1,28	0,13	15,54	0,06	2,02	0,49	19,6	248,00	267,60	250,10	1,01	0,22
20	2,23	1,28	0,13	15,54	0,06	1,92	0,48	19,2	253,54	272,74	255,64	1,01	0,23
21	2,12	1,23	0,12	15,82	0,05	1,82	0,48	19,2	256,45	275,65	258,55	1,01	0,23
22	2,12	1,23	0,12	15,82	0,05	1,74	0,48	19,2	378,60	397,80	380,70	1,01	0,17
23	2,12	1,23	0,12	15,82	0,05	1,67	0,47	18,8	384,42	403,22	386,52	1,01	0,17
24	2,12	1,23	0,12	15,82	0,05	1,60	0,47	18,8	390,24	409,04	392,34	1,01	0,17
25	2,12	1,23	0,12	15,82	0,05	1,53	0,46	18,4	396,05	414,45	398,15	1,01	0,17
Primary Settlement Total (Sc)													8,68

1	t/m^3	=	9,81	kN/m ³
	q	=	30	kN/m ²
	γ_{water}	=	9,81	kN/m ³
		=	10	kN/m ³
	$\gamma_{sat.batu}$	=	26	kN/m ³
	p	=	1,15	m
	a	=	1,73	m
	b	=	38,30	m
	HWL	=	2,1	m

Lampiran C.2 Hasil Penurunan Konsolidasi $q = 30$ kN/m² dan $h = 18$ m

Kedalaman (m)	e_0	C_c	C_s	γ_{sat} kN/m ³	a/z	b/z	l	$\Delta\sigma$ kN/m ²	σ'_0 kN/m ²	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ kN/m ²	σ_c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
1	3,21	1,95	0,20	14,38	1,73	38,30	0,50	30	2,19	32,19	4,29	1,96	0,42

[illegible]

1	t/m ³	=	9,81	kN/m ³
	q	=	40	kN/m ²
	γ _{water}	=	9,81	kN/m ³
		=	10	kN/m ³
	γ _{sat.batu}	=	9,81	kN/m ³
	p	=	4,08	m
	a	=	6,12	m
	b	=	38,30	m
	HWL	=	2,1	m

Lampiran C.3 Hasil Penurunan Konsolidasi q = 40 kN/m² dan h = 18 m

Kedalaman (m)	e ₀	Cc	Cs	γ _{sat} kN/m ³	a/z	b/z	l	Δσ kN/m ²	σ' ₀ kN/m ²	σ' ₀ + Δσ kN/m ²	σ _c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
1	3,21	1,95	0,20	14,38	6,12	38,30	0,50	40	2,19	42,19	4,29	1,96	0,47
2	3,21	1,95	0,20	14,38	3,06	19,15	0,50	40	6,57	46,57	8,67	1,32	0,69
3	3,21	1,95	0,20	14,38	2,04	12,77	0,50	40	10,94	50,94	13,04	1,19	0,83
4	3,21	1,95	0,20	14,38	1,53	9,58	0,50	40	15,32	55,32	17,42	1,14	0,94
5	3,21	1,95	0,20	14,38	1,22	7,66	0,50	40	19,70	59,70	21,80	1,11	1,03
6	2,72	1,80	0,18	15,22	1,02	6,38	0,50	40	22,31	62,31	24,41	1,09	1,19
7	2,72	1,80	0,18	15,22	0,87	5,47	0,50	40	53,60	93,60	55,70	1,04	0,77
8	2,72	1,80	0,18	15,22	0,76	4,79	0,50	40	58,81	98,81	60,91	1,04	0,82
9	2,72	1,80	0,18	15,22	0,68	4,26	0,50	40	64,03	104,03	66,13	1,03	0,86
10	2,72	1,80	0,18	15,22	0,61	3,83	0,50	40	69,24	109,24	71,34	1,03	0,90
11	2,38	1,35	0,14	15,26	0,56	3,48	0,50	40	71,87	111,87	73,97	1,03	0,80
12	2,38	1,35	0,14	15,26	0,51	3,19	0,50	40	129,74	169,74	131,84	1,02	0,53
13	2,38	1,35	0,14	15,26	0,47	2,95	0,49	39,2	135,00	174,20	137,10	1,02	0,54
14	2,38	1,35	0,14	15,26	0,44	2,74	0,49	39,2	140,27	179,47	142,37	1,01	0,57
15	2,38	1,35	0,14	15,26	0,41	2,55	0,49	39,2	145,53	184,73	147,63	1,01	0,59
16	2,23	1,28	0,13	15,54	0,38	2,39	0,49	39,2	148,30	187,50	150,40	1,01	0,61

Kedalaman (m)	e_0	C_c	C_s	γ_{sat} kN/m ³	a/z	b/z	I	$\Delta\sigma$ kN/m ²	σ'_0 kN/m ²	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ kN/m ²	σ_c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
17	2,23	1,28	0,13	15,54	0,36	2,25	0,49	39,2	236,92	276,12	239,02	1,01	0,43
18	2,23	1,28	0,13	15,54	0,34	2,13	0,49	39,2	242,46	281,66	244,56	1,01	0,44
19	2,23	1,28	0,13	15,54	0,32	2,02	0,49	39,2	248,00	287,20	250,10	1,01	0,46
20	2,23	1,28	0,13	15,54	0,31	1,92	0,48	38,4	253,54	291,94	255,64	1,01	0,46
21	2,12	1,23	0,12	15,82	0,29	1,82	0,48	38,4	256,45	294,85	258,55	1,01	0,47
22	2,12	1,23	0,12	15,82	0,28	1,74	0,48	38,4	378,60	417,00	380,70	1,01	0,34
23	2,12	1,23	0,12	15,82	0,27	1,67	0,47	37,6	384,42	422,02	386,52	1,01	0,35
24	2,12	1,23	0,12	15,82	0,25	1,60	0,47	37,6	390,24	427,84	392,34	1,01	0,36
25	2,12	1,23	0,12	15,82	0,24	1,53	0,46	36,8	396,05	432,85	398,15	1,01	0,36
Primary Settlement Total (Sc)													15,82

1	t/m^3	=	9,81	kN/m ³
	q	=	50	kN/m ²
	γ_{water}	=	9,81	kN/m ³
		=	10	kN/m ³
	$\gamma_{sat.batu}$	=	9,81	kN/m ³
	p	=	5,10	m
	a	=	7,65	m
	b	=	38,30	m
	HWL	=	2,1	m

Lampiran C.4 Hasil Penurunan Konsolidasi $q = 50$ kN/m² dan $h = 18$ m

Kedalaman (m)	e_0	C_c	C_s	γ_{sat} kN/m ³	a/z	b/z	I	$\Delta\sigma$ kN/m ²	σ'_0 kN/m ²	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ kN/m ²	σ_c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
1	3,21	1,95	0,20	14,38	7,65	38,30	0,50	50	2,19	52,19	4,29	1,96	0,52
2	3,21	1,95	0,20	14,38	3,82	19,15	0,50	50	6,57	56,57	8,67	1,32	0,77

Kedalaman (m)	e ₀	C _c	C _s	γ _{sat} kN/m ³	a/z	b/z	I	Δσ kN/m ²	σ' ₀ kN/m ²	σ' ₀ + Δσ kN/m ²	σ _c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
3	3,21	1,95	0,20	14,38	2,55	12,77	0,50	50	10,94	60,94	13,04	1,19	0,94
4	3,21	1,95	0,20	14,38	1,91	9,58	0,50	50	15,32	65,32	17,42	1,14	1,08
5	3,21	1,95	0,20	14,38	1,53	7,66	0,50	50	19,70	69,70	21,80	1,11	1,18
6	2,72	1,80	0,18	15,22	1,27	6,38	0,50	50	22,31	72,31	24,41	1,09	1,38
7	2,72	1,80	0,18	15,22	1,09	5,47	0,50	50	53,60	103,60	55,70	1,04	0,92
8	2,72	1,80	0,18	15,22	0,96	4,79	0,50	50	58,81	108,81	60,91	1,04	0,98
9	2,72	1,80	0,18	15,22	0,85	4,26	0,50	50	64,03	114,03	66,13	1,03	1,03
10	2,72	1,80	0,18	15,22	0,76	3,83	0,50	50	69,24	119,24	71,34	1,03	1,08
11	2,38	1,35	0,14	15,26	0,70	3,48	0,50	50	71,87	121,87	73,97	1,03	0,96
12	2,38	1,35	0,14	15,26	0,64	3,19	0,50	50	129,74	179,74	131,84	1,02	0,65
13	2,38	1,35	0,14	15,26	0,59	2,95	0,49	49	135,00	184,00	137,10	1,02	0,67
14	2,38	1,35	0,14	15,26	0,55	2,74	0,49	49	140,27	189,27	142,37	1,01	0,70
15	2,38	1,35	0,14	15,26	0,51	2,55	0,49	49	145,53	194,53	147,63	1,01	0,72
16	2,23	1,28	0,13	15,54	0,48	2,39	0,49	49	148,30	197,30	150,40	1,01	0,75
17	2,23	1,28	0,13	15,54	0,45	2,25	0,49	49	236,92	285,92	239,02	1,01	0,53
18	2,23	1,28	0,13	15,54	0,42	2,13	0,49	49	242,46	291,46	244,56	1,01	0,55
19	2,23	1,28	0,13	15,54	0,40	2,02	0,49	49	248,00	297,00	250,10	1,01	0,57
20	2,23	1,28	0,13	15,54	0,38	1,92	0,48	48	253,54	301,54	255,64	1,01	0,57
21	2,12	1,23	0,12	15,82	0,36	1,82	0,48	48	256,45	304,45	258,55	1,01	0,59
22	2,12	1,23	0,12	15,82	0,35	1,74	0,48	48	378,60	426,60	380,70	1,01	0,43
23	2,12	1,23	0,12	15,82	0,33	1,67	0,47	47	384,42	431,42	386,52	1,01	0,43
24	2,12	1,23	0,12	15,82	0,32	1,60	0,47	47	390,24	437,24	392,34	1,01	0,45
25	2,12	1,23	0,12	15,82	0,31	1,53	0,46	46	396,05	442,05	398,15	1,01	0,45
Primary Settlement Total (Sc)													18,90

1 t/m³ = 9,81 kN/m³

q	=	60	kN/m ²
γ_{water}	=	9,81	kN/m ³
	=	10	kN/m ³
$\gamma_{\text{sat.batu}}$	=	9,81	kN/m ³
p	=	6,12	m
a	=	9,17	m
b	=	38,30	m
HWL	=	2,1	m

Lampiran C.5 Hasil Penurunan Konsolidasi q = 60 kN/m² dan h = 18 m

Kedalaman (m)	e ₀	C _c	C _s	γ_{sat} kN/m ³	a/z	b/z	l	$\Delta\sigma$ kN/m ²	σ'_0 kN/m ²	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ kN/m ²	σ_c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
1	3,21	1,95	0,20	14,38	9,17	38,30	0,50	60	2,19	62,19	4,29	1,96	0,55
2	3,21	1,95	0,20	14,38	4,59	19,15	0,50	60	6,57	66,57	8,67	1,32	0,83
3	3,21	1,95	0,20	14,38	3,06	12,77	0,50	60	10,94	70,94	13,04	1,19	1,03
4	3,21	1,95	0,20	14,38	2,29	9,58	0,50	60	15,32	75,32	17,42	1,14	1,19
5	3,21	1,95	0,20	14,38	1,83	7,66	0,50	60	19,70	79,70	21,80	1,11	1,32
6	2,72	1,80	0,18	15,22	1,53	6,38	0,50	60	22,31	82,31	24,41	1,09	1,54
7	2,72	1,80	0,18	15,22	1,31	5,47	0,50	60	53,60	113,60	55,70	1,04	1,05
8	2,72	1,80	0,18	15,22	1,15	4,79	0,50	60	58,81	118,81	60,91	1,04	1,13
9	2,72	1,80	0,18	15,22	1,02	4,26	0,50	60	64,03	124,03	66,13	1,03	1,19
10	2,72	1,80	0,18	15,22	0,92	3,83	0,50	60	69,24	129,24	71,34	1,03	1,25
11	2,38	1,35	0,14	15,26	0,83	3,48	0,50	60	71,87	131,87	73,97	1,03	1,11
12	2,38	1,35	0,14	15,26	0,76	3,19	0,50	60	129,74	189,74	131,84	1,02	0,76
13	2,38	1,35	0,14	15,26	0,71	2,95	0,49	58,8	135,00	193,80	137,10	1,02	0,79
14	2,38	1,35	0,14	15,26	0,66	2,74	0,49	58,8	140,27	199,07	142,37	1,01	0,82
15	2,38	1,35	0,14	15,26	0,61	2,55	0,49	58,8	145,53	204,33	147,63	1,01	0,85
16	2,23	1,28	0,13	15,54	0,57	2,39	0,49	58,8	148,30	207,10	150,40	1,01	0,89

Kedalaman (m)	e_0	C_c	C_s	γ_{sat} kN/m ³	a/z	b/z	I	$\Delta\sigma$ kN/m ²	σ'_0 kN/m ²	$\sigma'_0 + \Delta\sigma$ kN/m ²	σ_c kN/m ²	OCR	Sc Timbunan m
17	2,23	1,28	0,13	15,54	0,54	2,25	0,49	58,8	236,92	295,72	239,02	1,01	0,63
18	2,23	1,28	0,13	15,54	0,51	2,13	0,49	58,8	242,46	301,26	244,56	1,01	0,65
19	2,23	1,28	0,13	15,54	0,48	2,02	0,49	58,8	248,00	306,80	250,10	1,01	0,67
20	2,23	1,28	0,13	15,54	0,46	1,92	0,48	57,6	253,54	311,14	255,64	1,01	0,68
21	2,12	1,23	0,12	15,82	0,44	1,82	0,48	57,6	256,45	314,05	258,55	1,01	0,70
22	2,12	1,23	0,12	15,82	0,42	1,74	0,48	57,6	378,60	436,20	380,70	1,01	0,51
23	2,12	1,23	0,12	15,82	0,40	1,67	0,47	56,4	384,42	440,82	386,52	1,01	0,52
24	2,12	1,23	0,12	15,82	0,38	1,60	0,47	56,4	390,24	446,64	392,34	1,01	0,53
25	2,12	1,23	0,12	15,82	0,37	1,53	0,46	55,2	396,05	451,25	398,15	1,01	0,54
Primary Settlement Total (Sc)													21,76

Lampiran C.6 Derajat Konsolidasi Tiap Tahap Timbunan

Tahap Penimbunan ke-	Tinggi Timbunan (meter)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi (%)
1	0,5	1	12,41
2	1	2	17,56
3	1,5	3	21,50
4	2	4	24,83
5	2,5	5	27,76
6	3	6	30,41
7	3,5	7	32,84
8	4	8	35,11
9	4,5	9	37,24
10	5	10	39,25

Tahap Penimbunan ke-	Tinggi Timbunan (meter)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi (%)
11	5,5	11	41,17
12	6	12	43,00
13	6,5	13	44,76
14	7	14	46,45
15	7,5	15	48,08
16	8	16	49,65
17	8,5	17	51,18
18	9	18	52,67
19	9,5	19	54,11
20	10	20	55,51
21	10,5	21	56,88
22	11	22	58,22
23	11,5	23	59,53
24	12	24	60,40
25	12,5	25	61,56
26	13	26	62,69
27	13,5	27	63,79
28	14	28	64,85
29	14,5	29	65,89
30	15	30	66,89
31	15,5	31	67,86
32	16	32	68,81
33	16,5	33	69,73
34	17	34	70,62
35	17,5	35	71,48

Tahap Penimbunan ke-	Tinggi Timbunan (meter)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi (%)
36	18	36	72,32
37	18,5	37	73,13
38	19	38	73,92
39	19,5	39	74,69
40	20	40	75,44
41	20,5	41	76,16
42	21	42	76,86
43	21,5	43	77,54
44	22	44	78,20
45	22,5	45	78,84
46	23	46	79,46
47	23,5	47	80,07
48	24	48	80,65
49	24,5	49	81,22
50	25	50	81,78
51	25,5	51	82,31
52	26	52	82,83
53	26,5	53	83,34
54	27	54	83,83
55	27,5	55	84,30
56	28	56	84,76
57	28,5	57	85,21
58	29	58	85,65
59	29,5	59	86,07
60	30	60	86,48

Tahap Penimbunan ke-	Tinggi Timbunan (meter)	Umur Timbunan (minggu)	Derajat Konsolidasi (%)
61	30,5	61	86,88
62	31	62	87,26
63	31,5	63	87,64
64	32	64	88,00
65	32,5	65	88,35
66	33	66	88,70

Lampiran C.7 Tegangan Efektif

Perubahan Tegangan	(Hi) m	z m	Po' kN/m ²	σ_1' kN/m ²	σ_2' kN/m ²	σ_3' kN/m ²	σ_4' kN/m ²	σ_5' kN/m ²	σ_6' kN/m ²	σ_7' kN/m ²	σ_8' kN/m ²	σ_9' kN/m ²	σ_{10}' kN/m ²
Kedalaman			H= 0m	H= 0,5m	H= 1,0m	H= 1,5m	H= 2,0m	H= 2,5m	H= 3,0m	H= 3,5m	H= 4,0m	H= 4,5m	H= 5,0m
1	1	0,5	2,19	17,19	32,19	47,19	62,19	77,19	92,19	107,19	122,19	137,19	152,19
2	1	1,5	6,57	21,57	36,57	51,57	66,57	81,57	96,57	111,57	126,57	141,57	156,57
3	1	2,5	10,94	25,94	40,94	55,94	70,94	85,94	100,94	115,94	130,94	145,94	160,94
4	1	3,5	15,32	30,32	45,32	60,32	75,32	90,32	105,32	120,32	135,32	150,32	165,32
5	1	4,5	19,70	34,70	49,70	64,70	79,70	94,70	109,70	124,70	139,70	154,70	169,70
6	1	5,5	22,31	37,31	52,31	67,31	82,31	97,31	112,31	127,31	142,31	157,31	172,31
7	1	6,5	53,60	68,60	83,60	98,60	113,60	128,60	143,60	158,60	173,60	188,60	203,60
8	1	7,5	58,81	73,81	88,81	103,81	118,81	133,81	148,81	163,81	178,81	193,81	208,81
9	1	8,5	64,03	79,03	94,03	109,03	124,03	139,03	154,03	169,03	184,03	199,03	214,03
10	1	9,5	69,24	84,24	99,24	114,24	129,24	144,24	159,24	174,24	189,24	204,24	219,24
11	1	10,5	71,87	86,87	101,87	116,87	131,87	146,87	161,87	176,87	191,87	206,87	221,87
12	1	11,5	129,74	144,74	159,74	174,74	189,74	204,74	219,74	234,74	249,74	264,74	279,74
13	1	12,5	135,00	150,00	165,00	180,00	195,00	210,00	225,00	240,00	255,00	270,00	285,00

Perubahan Tegangan	(Hi) m	z m	Po' kN/m ²	σ1' kN/m ²	σ2' kN/m ²	σ3' kN/m ²	σ4' kN/m ²	σ5' kN/m ²	σ6' kN/m ²	σ7' kN/m ²	σ8' kN/m ²	σ9' kN/m ²	σ10' kN/m ²
Kedalaman			H= 0m	H= 0,5m	H= 1,0m	H= 1,5m	H= 2,0m	H= 2,5m	H= 3,0m	H= 3,5m	H= 4,0m	H= 4,5m	H= 5,0m
14	1	13,5	140,27	154,97	169,67	184,37	199,07	213,77	228,47	243,17	257,87	272,57	287,27
15	1	14,5	145,53	159,93	174,33	188,73	203,13	217,53	231,93	246,33	260,73	275,13	289,53
16	1	15,5	148,30	162,70	177,10	191,50	205,90	220,30	234,70	249,10	263,50	277,90	292,30
17	1	16,5	236,92	251,32	265,72	280,12	294,52	308,92	323,32	337,72	352,12	366,52	380,92
18	1	17,5	242,46	256,86	271,26	285,66	300,06	314,46	328,86	343,26	357,66	372,06	386,46
19	1	18,5	248,00	262,40	276,80	291,20	305,60	320,00	334,40	348,80	363,20	377,60	392,00
20	1	19,5	253,54	267,64	281,74	295,84	309,94	324,04	338,14	352,24	366,34	380,44	394,54
21	1	20,5	256,45	270,55	284,65	298,75	312,85	326,95	341,05	355,15	369,25	383,35	397,45
22	1	21,5	378,60	392,70	406,80	420,90	435,00	449,10	463,20	477,30	491,40	505,50	519,60
23	1	22,5	384,42	398,52	412,62	426,72	440,82	454,92	469,02	483,12	497,22	511,32	525,42
24	1	23,5	390,24	404,34	418,44	432,54	446,64	460,74	474,84	488,94	503,04	517,14	531,24
25	1	24,5	396,05	410,15	424,25	438,35	452,45	466,55	480,65	494,75	508,85	522,95	537,05

Lampiran C.7 Tegangan Efektif

σ11' kN/m ²	σ12' kN/m ²	σ13' kN/m ²	σ14' kN/m ²	σ15' kN/m ²	σ16' kN/m ²	σ17' kN/m ²	σ18' kN/m ²	σ19' kN/m ²	σ20' kN/m ²	σ21' kN/m ²	σ22' kN/m ²	σ23' kN/m ²	σ24' kN/m ²	σ25' kN/m ²
H= 5,5m	H= 6,0m	H= 6,5m	H= 7,0m	H= 7,5m	H= 8,0m	H= 8,5m	H= 9,0m	H= 9,5m	H= 10,0m	H= 10,5m	H= 11,0m	H= 11,5m	H= 12,0m	H= 12,5m
167,19	182,19	197,19	212,19	227,19	242,19	257,19	272,19	287,19	302,19	317,19	332,19	347,19	362,19	377,19
171,57	186,57	201,57	216,57	231,57	246,57	261,57	276,57	291,57	306,57	321,57	336,57	351,57	366,57	381,57
175,94	190,94	205,94	220,94	235,94	250,94	265,94	280,94	295,94	310,94	325,94	340,94	355,94	370,94	385,94
180,32	195,32	210,32	225,32	240,32	255,32	270,32	285,32	300,32	315,32	330,32	345,32	360,32	375,32	390,32
184,70	199,70	214,70	229,70	244,70	259,70	274,70	289,70	304,70	319,70	334,70	349,70	364,70	379,70	394,70
187,31	202,31	217,31	232,31	247,31	262,31	277,31	292,31	307,31	322,31	337,31	352,31	367,31	382,31	397,31

σ_{11}' kN/m ²	σ_{12}' kN/m ²	σ_{13}' kN/m ²	σ_{14}' kN/m ²	σ_{15}' kN/m ²	σ_{16}' kN/m ²	σ_{17}' kN/m ²	σ_{18}' kN/m ²	σ_{19}' kN/m ²	σ_{20}' kN/m ²	σ_{21}' kN/m ²	σ_{22}' kN/m ²	σ_{23}' kN/m ²	σ_{24}' kN/m ²	σ_{25}' kN/m ²
H= 5,5m	H= 6,0m	H= 6,5m	H= 7,0m	H= 7,5m	H= 8,0m	H= 8,5m	H= 9,0m	H= 9,5m	H= 10,0m	H= 10,5m	H= 11,0m	H= 11,5m	H= 12,0m	H= 12,5m
218,60	233,60	248,60	263,60	278,60	293,60	308,60	323,60	338,60	353,60	368,60	383,60	398,60	413,60	428,60
223,81	238,81	253,81	268,81	283,81	298,81	313,81	328,81	343,81	358,81	373,81	388,81	403,81	418,81	433,81
229,03	244,03	259,03	274,03	289,03	304,03	319,03	334,03	349,03	364,03	379,03	394,03	409,03	424,03	439,03
234,24	249,24	264,24	279,24	294,24	309,24	324,24	339,24	354,24	369,24	384,24	399,24	414,24	429,24	444,24
236,87	251,87	266,87	281,87	296,87	311,87	326,87	341,87	356,87	371,87	386,87	401,87	416,87	431,87	446,87
294,74	309,74	324,74	339,74	354,74	369,74	384,74	399,74	414,74	429,74	444,74	459,74	474,74	489,74	504,74
300,00	315,00	330,00	345,00	360,00	375,00	390,00	405,00	420,00	435,00	450,00	465,00	480,00	495,00	510,00
301,97	316,67	331,37	346,07	360,77	375,47	390,17	404,87	419,57	434,27	448,97	463,67	478,37	493,07	507,77
303,93	318,33	332,73	347,13	361,53	375,93	390,33	404,73	419,13	433,53	447,93	462,33	476,73	491,13	505,53
306,70	321,10	335,50	349,90	364,30	378,70	393,10	407,50	421,90	436,30	450,70	465,10	479,50	493,90	508,30
395,32	409,72	424,12	438,52	452,92	467,32	481,72	496,12	510,52	524,92	539,32	553,72	568,12	582,52	596,92
400,86	415,26	429,66	444,06	458,46	472,86	487,26	501,66	516,06	530,46	544,86	559,26	573,66	588,06	602,46
406,40	420,80	435,20	449,60	464,00	478,40	492,80	507,20	521,60	536,00	550,40	564,80	579,20	593,60	608,00
408,64	422,74	436,84	450,94	465,04	479,14	493,24	507,34	521,44	535,54	549,64	563,74	577,84	591,94	606,04
411,55	425,65	439,75	453,85	467,95	482,05	496,15	510,25	524,35	538,45	552,55	566,65	580,75	594,85	608,95
533,70	547,80	561,90	576,00	590,10	604,20	618,30	632,40	646,50	660,60	674,70	688,80	702,90	717,00	731,10
539,52	553,62	567,72	581,82	595,92	610,02	624,12	638,22	652,32	666,42	680,52	694,62	708,72	722,82	736,92
545,34	559,44	573,54	587,64	601,74	615,84	629,94	644,04	658,14	672,24	686,34	700,44	714,54	728,64	742,74
551,15	565,25	579,35	593,45	607,55	621,65	635,75	649,85	663,95	678,05	692,15	706,25	720,35	734,45	748,55

Lampiran C.7 Tegangan Efektif

$\sigma_{26'}$ kN/m ²	$\sigma_{27'}$ kN/m ²	$\sigma_{28'}$ kN/m ²	$\sigma_{29'}$ kN/m ²	$\sigma_{30'}$ kN/m ²	$\sigma_{31'}$ kN/m ²	$\sigma_{32'}$ kN/m ²	$\sigma_{33'}$ kN/m ²	$\sigma_{34'}$ kN/m ²	$\sigma_{35'}$ kN/m ²	$\sigma_{36'}$ kN/m ²	$\sigma_{37'}$ kN/m ²	$\sigma_{38'}$ kN/m ²	$\sigma_{39'}$ kN/m ²	$\sigma_{40'}$ kN/m ²
H= 13,0m	H= 13,5m	H= 14,0m	H= 14,5m	H= 15,0m	H= 15,5m	H= 16,0m	H= 16,5m	H= 17,0m	H= 17,5m	H= 18,0m	H= 18,5m	H= 19,0m	H= 19,5m	H= 20,0m
392,19	407,19	422,19	437,19	452,19	467,19	482,19	497,19	512,19	527,19	542,19	557,19	572,19	587,19	602,19
396,57	411,57	426,57	441,57	456,57	471,57	486,57	501,57	516,57	531,57	546,57	561,57	576,57	591,57	606,57
400,94	415,94	430,94	445,94	460,94	475,94	490,94	505,94	520,94	535,94	550,94	565,94	580,94	595,94	610,94
405,32	420,32	435,32	450,32	465,32	480,32	495,32	510,32	525,32	540,32	555,32	570,32	585,32	600,32	615,32
409,70	424,70	439,70	454,70	469,70	484,70	499,70	514,70	529,70	544,70	559,70	574,70	589,70	604,70	619,70
412,31	427,31	442,31	457,31	472,31	487,31	502,31	517,31	532,31	547,31	562,31	577,31	592,31	607,31	622,31
443,60	458,60	473,60	488,60	503,60	518,60	533,60	548,60	563,60	578,60	593,60	608,60	623,60	638,60	653,60
448,81	463,81	478,81	493,81	508,81	523,81	538,81	553,81	568,81	583,81	598,81	613,81	628,81	643,81	658,81
454,03	469,03	484,03	499,03	514,03	529,03	544,03	559,03	574,03	589,03	604,03	619,03	634,03	649,03	664,03
459,24	474,24	489,24	504,24	519,24	534,24	549,24	564,24	579,24	594,24	609,24	624,24	639,24	654,24	669,24
461,87	476,87	491,87	506,87	521,87	536,87	551,87	566,87	581,87	596,87	611,87	626,87	641,87	656,87	671,87
519,74	534,74	549,74	564,74	579,74	594,74	609,74	624,74	639,74	654,74	669,74	684,74	699,74	714,74	729,74
525,00	540,00	555,00	570,00	585,00	600,00	615,00	630,00	645,00	660,00	675,00	690,00	705,00	720,00	735,00
522,47	537,17	551,87	566,57	581,27	595,97	610,67	625,37	640,07	654,77	669,47	684,17	698,87	713,57	728,27
519,93	534,33	548,73	563,13	577,53	591,93	606,33	620,73	635,13	649,53	663,93	678,33	692,73	707,13	721,53
522,70	537,10	551,50	565,90	580,30	594,70	609,10	623,50	637,90	652,30	666,70	681,10	695,50	709,90	724,30
611,32	625,72	640,12	654,52	668,92	683,32	697,72	712,12	726,52	740,92	755,32	769,72	784,12	798,52	812,92
616,86	631,26	645,66	660,06	674,46	688,86	703,26	717,66	732,06	746,46	760,86	775,26	789,66	804,06	818,46
622,40	636,80	651,20	665,60	680,00	694,40	708,80	723,20	737,60	752,00	766,40	780,80	795,20	809,60	824,00
620,14	634,24	648,34	662,44	676,54	690,64	704,74	718,84	732,94	747,04	761,14	775,24	789,34	803,44	817,54
623,05	637,15	651,25	665,35	679,45	693,55	707,65	721,75	735,85	749,95	764,05	778,15	792,25	806,35	820,45
745,20	759,30	773,40	787,50	801,60	815,70	829,80	843,90	858,00	872,10	886,20	900,30	914,40	928,50	942,60
751,02	765,12	779,22	793,32	807,42	821,52	835,62	849,72	863,82	877,92	892,02	906,12	920,22	934,32	948,42
756,84	770,94	785,04	799,14	813,24	827,34	841,44	855,54	869,64	883,74	897,84	911,94	926,04	940,14	954,24

σ_{26}' kN/m ²	σ_{27}' kN/m ²	σ_{28}' kN/m ²	σ_{29}' kN/m ²	σ_{30}' kN/m ²	σ_{31}' kN/m ²	σ_{32}' kN/m ²	σ_{33}' kN/m ²	σ_{34}' kN/m ²	σ_{35}' kN/m ²	σ_{36}' kN/m ²	σ_{37}' kN/m ²	σ_{38}' kN/m ²	σ_{39}' kN/m ²	σ_{40}' kN/m ²
H= 13,0m	H= 13,5m	H= 14,0m	H= 14,5m	H= 15,0m	H= 15,5m	H= 16,0m	H= 16,5m	H= 17,0m	H= 17,5m	H= 18,0m	H= 18,5m	H= 19,0m	H= 19,5m	H= 20,0m
762,65	776,75	790,85	804,95	819,05	833,15	847,25	861,35	875,45	889,55	903,65	917,75	931,85	945,95	960,05

Lampiran C.7 Tegangan Efektif

σ_{41}' kN/m ²	σ_{42}' kN/m ²	σ_{43}' kN/m ²	σ_{44}' kN/m ²	σ_{45}' kN/m ²	σ_{46}' kN/m ²	σ_{47}' kN/m ²	σ_{48}' kN/m ²	σ_{49}' kN/m ²	σ_{50}' kN/m ²	σ_{51}' kN/m ²	σ_{52}' kN/m ²	σ_{53}' kN/m ²	σ_{54}' kN/m ²	σ_{55}' kN/m ²
H= 20,5m	H= 21,0m	H= 21,5m	H= 22,0m	H= 22,5m	H= 23,0m	H= 23,5m	H= 24,0m	H= 24,5m	H= 25,0m	H= 25,5m	H= 26,0m	H= 26,5m	H= 27,0m	H= 27,5m
617,19	632,19	647,19	662,19	677,19	692,19	707,19	722,19	737,19	752,19	767,19	782,19	797,19	812,19	827,19
621,57	636,57	651,57	666,57	681,57	696,57	711,57	726,57	741,57	756,57	771,57	786,57	801,57	816,57	831,57
625,94	640,94	655,94	670,94	685,94	700,94	715,94	730,94	745,94	760,94	775,94	790,94	805,94	820,94	835,94
630,32	645,32	660,32	675,32	690,32	705,32	720,32	735,32	750,32	765,32	780,32	795,32	810,32	825,32	840,32
634,70	649,70	664,70	679,70	694,70	709,70	724,70	739,70	754,70	769,70	784,70	799,70	814,70	829,70	844,70
637,31	652,31	667,31	682,31	697,31	712,31	727,31	742,31	757,31	772,31	787,31	802,31	817,31	832,31	847,31
668,60	683,60	698,60	713,60	728,60	743,60	758,60	773,60	788,60	803,60	818,60	833,60	848,60	863,60	878,60
673,81	688,81	703,81	718,81	733,81	748,81	763,81	778,81	793,81	808,81	823,81	838,81	853,81	868,81	883,81
679,03	694,03	709,03	724,03	739,03	754,03	769,03	784,03	799,03	814,03	829,03	844,03	859,03	874,03	889,03
684,24	699,24	714,24	729,24	744,24	759,24	774,24	789,24	804,24	819,24	834,24	849,24	864,24	879,24	894,24
686,87	701,87	716,87	731,87	746,87	761,87	776,87	791,87	806,87	821,87	836,87	851,87	866,87	881,87	896,87
744,74	759,74	774,74	789,74	804,74	819,74	834,74	849,74	864,74	879,74	894,74	909,74	924,74	939,74	954,74
750,00	765,00	780,00	795,00	810,00	825,00	840,00	855,00	870,00	885,00	900,00	915,00	930,00	945,00	960,00
742,97	757,67	772,37	787,07	801,77	816,47	831,17	845,87	860,57	875,27	889,97	904,67	919,37	934,07	948,77
735,93	750,33	764,73	779,13	793,53	807,93	822,33	836,73	851,13	865,53	879,93	894,33	908,73	923,13	937,53
738,70	753,10	767,50	781,90	796,30	810,70	825,10	839,50	853,90	868,30	882,70	897,10	911,50	925,90	940,30
827,32	841,72	856,12	870,52	884,92	899,32	913,72	928,12	942,52	956,92	971,32	985,72	1000,12	1014,52	1028,92

σ_{41}' kN/m ²	σ_{42}' kN/m ²	σ_{43}' kN/m ²	σ_{44}' kN/m ²	σ_{45}' kN/m ²	σ_{46}' kN/m ²	σ_{47}' kN/m ²	σ_{48}' kN/m ²	σ_{49}' kN/m ²	σ_{50}' kN/m ²	σ_{51}' kN/m ²	σ_{52}' kN/m ²	σ_{53}' kN/m ²	σ_{54}' kN/m ²	σ_{55}' kN/m ²
H= 20,5m	H= 21,0m	H= 21,5m	H= 22,0m	H= 22,5m	H= 23,0m	H= 23,5m	H= 24,0m	H= 24,5m	H= 25,0m	H= 25,5m	H= 26,0m	H= 26,5m	H= 27,0m	H= 27,5m
832,86	847,26	861,66	876,06	890,46	904,86	919,26	933,66	948,06	962,46	976,86	991,26	1005,66	1020,06	1034,46
838,40	852,80	867,20	881,60	896,00	910,40	924,80	939,20	953,60	968,00	982,40	996,80	1011,20	1025,60	1040,00
831,64	845,74	859,84	873,94	888,04	902,14	916,24	930,34	944,44	958,54	972,64	986,74	1000,84	1014,94	1029,04
834,55	848,65	862,75	876,85	890,95	905,05	919,15	933,25	947,35	961,45	975,55	989,65	1003,75	1017,85	1031,95
956,70	970,80	984,90	999,00	1013,10	1027,20	1041,30	1055,40	1069,50	1083,60	1097,70	1111,80	1125,90	1140,00	1154,10
962,52	976,62	990,72	1004,82	1018,92	1033,02	1047,12	1061,22	1075,32	1089,42	1103,52	1117,62	1131,72	1145,82	1159,92
968,34	982,44	996,54	1010,64	1024,74	1038,84	1052,94	1067,04	1081,14	1095,24	1109,34	1123,44	1137,54	1151,64	1165,74
974,15	988,25	1002,35	1016,45	1030,55	1044,65	1058,75	1072,85	1086,95	1101,05	1115,15	1129,25	1143,35	1157,45	1171,55

Lampiran C.7 Tegangan Efektif

σ_{56}' kN/m ²	σ_{57}' kN/m ²	σ_{58}' kN/m ²	σ_{59}' kN/m ²	σ_{60}' kN/m ²	σ_{61}' kN/m ²	σ_{62}' kN/m ²	σ_{63}' kN/m ²	σ_{64}' kN/m ²	σ_{65}' kN/m ²	σ_{66}' kN/m ²
H= 28,0m	H= 28,5m	H= 29,0m	H= 29,5m	H= 30,0m	H= 30,5m	H= 31,0m	H= 31,5m	H= 32,0m	H= 32,5m	H= 33,0m
842,19	857,19	872,19	887,19	902,19	917,19	932,19	947,19	962,19	977,19	992,19
846,57	861,57	876,57	891,57	906,57	921,57	936,57	951,57	966,57	981,57	996,57
850,94	865,94	880,94	895,94	910,94	925,94	940,94	955,94	970,94	985,94	1000,94
855,32	870,32	885,32	900,32	915,32	930,32	945,32	960,32	975,32	990,32	1005,32
859,70	874,70	889,70	904,70	919,70	934,70	949,70	964,70	979,70	994,70	1009,70
862,31	877,31	892,31	907,31	922,31	937,31	952,31	967,31	982,31	997,31	1012,31
893,60	908,60	923,60	938,60	953,60	968,60	983,60	998,60	1013,60	1028,60	1043,60
898,81	913,81	928,81	943,81	958,81	973,81	988,81	1003,81	1018,81	1033,81	1048,81
904,03	919,03	934,03	949,03	964,03	979,03	994,03	1009,03	1024,03	1039,03	1054,03
909,24	924,24	939,24	954,24	969,24	984,24	999,24	1014,24	1029,24	1044,24	1059,24

σ_{56}' kN/m ²	σ_{57}' kN/m ²	σ_{58}' kN/m ²	σ_{59}' kN/m ²	σ_{60}' kN/m ²	σ_{61}' kN/m ²	σ_{62}' kN/m ²	σ_{63}' kN/m ²	σ_{64}' kN/m ²	σ_{65}' kN/m ²	σ_{66}' kN/m ²
H= 28,0m	H= 28,5m	H= 29,0m	H= 29,5m	H= 30,0m	H= 30,5m	H= 31,0m	H= 31,5m	H= 32,0m	H= 32,5m	H= 33,0m
911,87	926,87	941,87	956,87	971,87	986,87	1001,87	1016,87	1031,87	1046,87	1061,87
969,74	984,74	999,74	1014,74	1029,74	1044,74	1059,74	1074,74	1089,74	1104,74	1119,74
975,00	990,00	1005,00	1020,00	1035,00	1050,00	1065,00	1080,00	1095,00	1110,00	1125,00
963,47	978,17	992,87	1007,57	1022,27	1036,97	1051,67	1066,37	1081,07	1095,77	1110,47
951,93	966,33	980,73	995,13	1009,53	1023,93	1038,33	1052,73	1067,13	1081,53	1095,93
954,70	969,10	983,50	997,90	1012,30	1026,70	1041,10	1055,50	1069,90	1084,30	1098,70
1043,32	1057,72	1072,12	1086,52	1100,92	1115,32	1129,72	1144,12	1158,52	1172,92	1187,32
1048,86	1063,26	1077,66	1092,06	1106,46	1120,86	1135,26	1149,66	1164,06	1178,46	1192,86
1054,40	1068,80	1083,20	1097,60	1112,00	1126,40	1140,80	1155,20	1169,60	1184,00	1198,40
1043,14	1057,24	1071,34	1085,44	1099,54	1113,64	1127,74	1141,84	1155,94	1170,04	1184,14
1046,05	1060,15	1074,25	1088,35	1102,45	1116,55	1130,65	1144,75	1158,85	1172,95	1187,05
1168,20	1182,30	1196,40	1210,50	1224,60	1238,70	1252,80	1266,90	1281,00	1295,10	1309,20
1174,02	1188,12	1202,22	1216,32	1230,42	1244,52	1258,62	1272,72	1286,82	1300,92	1315,02
1179,84	1193,94	1208,04	1222,14	1236,24	1250,34	1264,44	1278,54	1292,64	1306,74	1320,84
1185,65	1199,75	1213,85	1227,95	1242,05	1256,15	1270,25	1284,35	1298,45	1312,55	1326,65

Lampiran C.8 Perubahan Tegangan Akibat Timbunan Bertahap

Perubahan Tegangan	Po' kN/m ²	$\Delta P1$ kN/m ²	$\Delta P2$ kN/m ²	$\Delta P3$ kN/m ²	$\Delta P4$ kN/m ²	$\Delta P5$ kN/m ²	$\Delta P6$ kN/m ²	$\Delta P7$ kN/m ²	$\Delta P8$ kN/m ²	$\Delta P9$ kN/m ²	$\Delta P10$ kN/m ²
Tinggi Penimbunan	H= 0m -	H= 0,5m 66 minggu	H= 1,0m 65 minggu	H= 1,5m 64 minggu	H= 2,0m 63 minggu	H= 2,5m 62 minggu	H= 3,0m 61 minggu	H= 3,5m 60 minggu	H= 4,0m 59 minggu	H= 4,5m 58 minggu	H= 5,0m 57 minggu
1	2,19	0,6381	2,0012	2,7594	3,3470	3,8440	4,2825	4,6792	5,0442	5,3841	5,7033
2	6,57	1,0445	2,0945	2,8048	3,3746	3,8627	4,2961	4,6896	5,0524	5,3906	5,7087
3	10,94	1,2377	2,1635	2,8422	3,3984	3,8793	4,3084	4,6991	5,0599	5,3968	5,7138

Perubahan Tegangan	Po' kN/m ²	ΔP1 kN/m ²	ΔP2 kN/m ²	ΔP3 kN/m ²	ΔP4 kN/m ²	ΔP5 kN/m ²	ΔP6 kN/m ²	ΔP7 kN/m ²	ΔP8 kN/m ²	ΔP9 kN/m ²	ΔP10 kN/m ²
Tinggi Penimbunan	H= 0m -	H= 0,5m 66 minggu	H= 1,0m 65 minggu	H= 1,5m 64 minggu	H= 2,0m 63 minggu	H= 2,5m 62 minggu	H= 3,0m 61 minggu	H= 3,5m 60 minggu	H= 4,0m 59 minggu	H= 4,5m 58 minggu	H= 5,0m 57 minggu
4	15,32	1,3548	2,2167	2,8734	3,4192	3,8942	4,3196	4,7079	5,0670	5,4026	5,7186
5	19,70	1,4342	2,2590	2,8999	3,4374	3,9076	4,3299	4,7160	5,0736	5,4080	5,7232
6	22,31	1,4705	2,2803	2,9138	3,4473	3,9150	4,3356	4,7205	5,0773	5,4111	5,7258
7	53,60	1,6671	2,4233	3,0195	3,5282	3,9788	4,3871	4,7630	5,1128	5,4412	5,7517
8	58,81	1,6821	2,4365	3,0305	3,5373	3,9863	4,3935	4,7684	5,1175	5,4453	5,7552
9	64,03	1,6950	2,4482	3,0404	3,5456	3,9933	4,3994	4,7735	5,1219	5,4491	5,7585
10	69,24	1,7061	2,4586	3,0493	3,5531	3,9998	4,4050	4,7782	5,1260	5,4527	5,7617
11	71,87	1,7111	2,4634	3,0535	3,5567	4,0028	4,4076	4,7805	5,1280	5,4545	5,7633
12	129,74	1,7740	2,5274	3,1124	3,6095	4,0498	4,4492	4,8176	5,1610	5,4840	5,7898
13	135,00	1,7772	2,5309	3,1158	3,6127	4,0527	4,4519	4,8200	5,1632	5,4860	5,7916
14	140,27	1,7461	2,4851	3,0583	3,5450	3,9758	4,3667	4,7271	5,0632	5,3792	5,6785
15	145,53	1,7145	2,4389	3,0003	3,4768	3,8986	4,2812	4,6340	4,9629	5,2723	5,5652
16	148,30	1,7158	2,4404	3,0018	3,4782	3,8999	4,2824	4,6351	4,9639	5,2732	5,5660
17	236,92	1,7417	2,4702	3,0323	3,5079	3,9283	4,3093	4,6603	4,9875	5,2952	5,5865
18	242,46	1,7427	2,4714	3,0335	3,5092	3,9296	4,3105	4,6614	4,9886	5,2962	5,5875
19	248,00	1,7436	2,4726	3,0347	3,5104	3,9307	4,3116	4,6625	4,9896	5,2972	5,5884
20	253,54	1,7091	2,4232	2,9737	3,4395	3,8510	4,2239	4,5674	4,8876	5,1887	5,4737
21	256,45	1,7095	2,4237	2,9743	3,4401	3,8516	4,2245	4,5679	4,8881	5,1892	5,4742
22	378,60	1,7224	2,4394	2,9911	3,4573	3,8687	4,2412	4,5842	4,9038	5,2043	5,4886
23	384,42	1,7228	2,4399	2,9917	3,4579	3,8693	4,2418	4,5848	4,9044	5,2048	5,4892
24	390,24	1,7232	2,4404	2,9922	3,4584	3,8699	4,2424	4,5854	4,9049	5,2053	5,4897
25	396,05	1,7236	2,4409	2,9928	3,4590	3,8704	4,2429	4,5859	4,9054	5,2058	5,4902

Lampiran C.8 Perubahan Tegangan Akibat Timbunan Bertahap

ΔP_{11} kN/m ²	ΔP_{12} kN/m ²	ΔP_{13} kN/m ²	ΔP_{14} kN/m ²	ΔP_{15} kN/m ²	ΔP_{16} kN/m ²	ΔP_{17} kN/m ²	ΔP_{18} kN/m ²	ΔP_{19} kN/m ²	ΔP_{20} kN/m ²	ΔP_{21} kN/m ²	ΔP_{22} kN/m ²	ΔP_{23} kN/m ²	ΔP_{24} kN/m ²	ΔP_{25} kN/m ²
H= 5,5m 56 minggu	H= 6,0m 55 minggu	H= 6,5m 54 minggu	H= 7,0m 53 minggu	H= 7,5m 52 minggu	H= 8,0m 51 minggu	H= 8,5m 50 minggu	H= 9,0m 49 minggu	H= 9,5m 48 minggu	H= 10,0m 47 minggu	H= 10,5m 46 minggu	H= 11,0m 45 minggu	H= 11,5m 44 minggu	H= 12,0m 43 minggu	H= 12,5m 42 minggu
6,0053	6,2925	6,5670	6,8303	7,0836	7,3281	7,5646	7,7937	8,0163	8,2327	8,4435	8,6491	8,8499	8,9833	9,1619
6,0098	6,2964	6,5703	6,8332	7,0861	7,3303	7,5665	7,7955	8,0178	8,2341	8,4447	8,6502	8,8509	8,9843	9,1628
6,0141	6,3000	6,5735	6,8359	7,0885	7,3324	7,5684	7,7971	8,0193	8,2354	8,4460	8,6513	8,8519	8,9852	9,1636
6,0182	6,3035	6,5765	6,8385	7,0909	7,3345	7,5702	7,7987	8,0207	8,2367	8,4471	8,6524	8,8529	8,9861	9,1644
6,0221	6,3069	6,5794	6,8411	7,0931	7,3364	7,5719	7,8003	8,0222	8,2380	8,4483	8,6534	8,8538	8,9869	9,1652
6,0243	6,3088	6,5810	6,8425	7,0944	7,3376	7,5730	7,8012	8,0230	8,2387	8,4490	8,6540	8,8544	8,9874	9,1656
6,0467	6,3283	6,5982	6,8577	7,1079	7,3496	7,5838	7,8110	8,0318	8,2467	8,4562	8,6607	8,8604	8,9930	9,1707
6,0498	6,3311	6,6007	6,8599	7,1098	7,3514	7,5854	7,8124	8,0331	8,2479	8,4573	8,6617	8,8613	8,9938	9,1715
6,0527	6,3337	6,6030	6,8620	7,1117	7,3531	7,5869	7,8138	8,0344	8,2491	8,4584	8,6626	8,8622	8,9946	9,1723
6,0556	6,3362	6,6052	6,8640	7,1135	7,3547	7,5884	7,8152	8,0356	8,2502	8,4594	8,6636	8,8631	8,9954	9,1730
6,0569	6,3374	6,6063	6,8650	7,1144	7,3556	7,5891	7,8158	8,0362	8,2508	8,4599	8,6640	8,8635	8,9958	9,1734
6,0808	6,3590	6,6259	6,8827	7,1306	7,3703	7,6026	7,8282	8,0476	8,2612	8,4696	8,6729	8,8717	9,0035	9,1804
6,0825	6,3605	6,6273	6,8841	7,1318	7,3714	7,6037	7,8292	8,0485	8,2620	8,4703	8,6736	8,8724	9,0041	9,1810
5,9633	6,2356	6,4968	6,7483	6,9909	7,2256	7,4531	7,6740	7,8888	8,0980	8,3020	8,5012	8,6959	8,8249	8,9982
5,8440	6,1105	6,3663	6,6124	6,8500	7,0797	7,3025	7,5187	7,7290	7,9339	8,1337	8,3287	8,5193	8,6456	8,8154
5,8448	6,1112	6,3669	6,6130	6,8505	7,0803	7,3029	7,5192	7,7295	7,9343	8,1340	8,3290	8,5197	8,6459	8,8157
5,8639	6,1290	6,3835	6,6285	6,8649	7,0937	7,3155	7,5309	7,7404	7,9445	8,1436	8,3380	8,5280	8,6538	8,8230
5,8648	6,1299	6,3843	6,6292	6,8657	7,0944	7,3161	7,5315	7,7410	7,9450	8,1441	8,3385	8,5285	8,6542	8,8234
5,8657	6,1307	6,3851	6,6300	6,8663	7,0950	7,3167	7,5321	7,7415	7,9455	8,1446	8,3389	8,5289	8,6546	8,8238
5,7451	6,0045	6,2535	6,4932	6,7246	6,9484	7,1655	7,3762	7,5812	7,7810	7,9758	8,1660	8,3520	8,4751	8,6407
5,7455	6,0050	6,2539	6,4936	6,7249	6,9488	7,1658	7,3765	7,5815	7,7812	7,9760	8,1663	8,3522	8,4753	8,6409
5,7593	6,0181	6,2664	6,5055	6,7362	6,9595	7,1759	7,3861	7,5906	7,7899	7,9842	8,1740	8,3596	8,4822	8,6475

$\Delta P11$ kN/m ²	$\Delta P12$ kN/m ²	$\Delta P13$ kN/m ²	$\Delta P14$ kN/m ²	$\Delta P15$ kN/m ²	$\Delta P16$ kN/m ²	$\Delta P17$ kN/m ²	$\Delta P18$ kN/m ²	$\Delta P19$ kN/m ²	$\Delta P20$ kN/m ²	$\Delta P21$ kN/m ²	$\Delta P22$ kN/m ²	$\Delta P23$ kN/m ²	$\Delta P24$ kN/m ²	$\Delta P25$ kN/m ²
H= 5,5m 56	H= 6,0m 55	H= 6,5m 54	H= 7,0m 53	H= 7,5m 52	H= 8,0m 51	H= 8,5m 50	H= 9,0m 49	H= 9,5m 48	H= 10,0m 47	H= 10,5m 46	H= 11,0m 45	H= 11,5m 44	H= 12,0m 43	H= 12,5m 42
minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu
5,7598	6,0186	6,2669	6,5059	6,7366	6,9599	7,1763	7,3865	7,5910	7,7902	7,9845	8,1743	8,3598	8,4825	8,6477
5,7603	6,0190	6,2673	6,5063	6,7370	6,9603	7,1767	7,3869	7,5913	7,7905	7,9848	8,1746	8,3601	8,4828	8,6480
5,7608	6,0195	6,2678	6,5068	6,7375	6,9606	7,1770	7,3872	7,5917	7,7908	7,9851	8,1749	8,3604	8,4831	8,6483

Lampiran C.8 Perubahan Tegangan Akibat Timbunan Bertahap

$\Delta P26$ kN/m ²	$\Delta P27$ kN/m ²	$\Delta P28$ kN/m ²	$\Delta P29$ kN/m ²	$\Delta P30$ kN/m ²	$\Delta P31$ kN/m ²	$\Delta P32$ kN/m ²	$\Delta P33$ kN/m ²	$\Delta P34$ kN/m ²	$\Delta P35$ kN/m ²	$\Delta P36$ kN/m ²	$\Delta P37$ kN/m ²	$\Delta P38$ kN/m ²	$\Delta P39$ kN/m ²
H= 13,0m 41	H= 13,5m 40	H= 14,0m 39	H= 14,5m 38	H= 15,0m 37	H= 15,5m 36	H= 16,0m 35	H= 16,5m 34	H= 17,0m 33	H= 17,5m 32	H= 18,0m 31	H= 18,5m 30	H= 19,0m 29	H= 19,5m 28
minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu	minggu
9,3351	9,5031	9,6660	9,8241	9,9774	10,1261	10,2704	10,4104	10,5462	10,6779	10,8058	10,9298	11,0501	11,1669
9,3359	9,5038	9,6667	9,8247	9,9779	10,1266	10,2709	10,4108	10,5466	10,6783	10,8061	10,9301	11,0504	11,1672
9,3366	9,5045	9,6673	9,8252	9,9785	10,1271	10,2713	10,4112	10,5470	10,6787	10,8064	10,9304	11,0507	11,1674
9,3374	9,5052	9,6679	9,8258	9,9790	10,1276	10,2718	10,4116	10,5474	10,6790	10,8068	10,9307	11,0510	11,1677
9,3381	9,5058	9,6685	9,8264	9,9795	10,1281	10,2722	10,4121	10,5477	10,6794	10,8071	10,9310	11,0513	11,1680
9,3385	9,5062	9,6689	9,8267	9,9798	10,1284	10,2725	10,4123	10,5480	10,6796	10,8073	10,9312	11,0514	11,1681
9,3432	9,5105	9,6729	9,8304	9,9832	10,1315	10,2754	10,4150	10,5505	10,6819	10,8095	10,9332	11,0533	11,1699
9,3439	9,5112	9,6735	9,8309	9,9837	10,1320	10,2758	10,4154	10,5509	10,6823	10,8098	10,9336	11,0536	11,1702
9,3446	9,5118	9,6741	9,8315	9,9842	10,1325	10,2763	10,4158	10,5512	10,6826	10,8101	10,9339	11,0539	11,1704
9,3453	9,5125	9,6747	9,8320	9,9848	10,1329	10,2767	10,4162	10,5516	10,6830	10,8105	10,9342	11,0542	11,1707
9,3456	9,5128	9,6749	9,8323	9,9850	10,1332	10,2769	10,4164	10,5518	10,6832	10,8106	10,9343	11,0544	11,1708
9,3522	9,5189	9,6806	9,8376	9,9899	10,1377	10,2812	10,4204	10,5555	10,6867	10,8139	10,9374	11,0572	11,1735

$\Delta P26$ kN/m ²	$\Delta P27$ kN/m ²	$\Delta P28$ kN/m ²	$\Delta P29$ kN/m ²	$\Delta P30$ kN/m ²	$\Delta P31$ kN/m ²	$\Delta P32$ kN/m ²	$\Delta P33$ kN/m ²	$\Delta P34$ kN/m ²	$\Delta P35$ kN/m ²	$\Delta P36$ kN/m ²	$\Delta P37$ kN/m ²	$\Delta P38$ kN/m ²	$\Delta P39$ kN/m ²
H= 13,0m 41 minggu	H= 13,5m 40 minggu	H= 14,0m 39 minggu	H= 14,5m 38 minggu	H= 15,0m 37 minggu	H= 15,5m 36 minggu	H= 16,0m 35 minggu	H= 16,5m 34 minggu	H= 17,0m 33 minggu	H= 17,5m 32 minggu	H= 18,0m 31 minggu	H= 18,5m 30 minggu	H= 19,0m 29 minggu	H= 19,5m 28 minggu
9,3527	9,5194	9,6811	9,8380	9,9903	10,1381	10,2816	10,4208	10,5558	10,6869	10,8142	10,9376	11,0575	11,1737
9,1664	9,3297	9,4881	9,6419	9,7911	9,9359	10,0764	10,2128	10,3452	10,4736	10,5983	10,7193	10,8367	10,9506
8,9801	9,1400	9,2952	9,4457	9,5919	9,7337	9,8713	10,0049	10,1345	10,2603	10,3824	10,5009	10,6159	10,7275
8,9804	9,1402	9,2954	9,4459	9,5921	9,7339	9,8715	10,0050	10,1347	10,2604	10,3825	10,5010	10,6160	10,7276
8,9873	9,1467	9,3015	9,4517	9,5974	9,7389	9,8762	10,0095	10,1389	10,2644	10,3863	10,5045	10,6193	10,7307
8,9877	9,1471	9,3018	9,4520	9,5977	9,7392	9,8765	10,0098	10,1391	10,2646	10,3865	10,5047	10,6195	10,7309
8,9880	9,1474	9,3021	9,4523	9,5980	9,7395	9,8768	10,0100	10,1393	10,2648	10,3867	10,5049	10,6197	10,7310
8,8014	8,9575	9,1089	9,2559	9,3986	9,5371	9,6715	9,8019	9,9285	10,0514	10,1707	10,2864	10,3988	10,5078
8,8016	8,9576	9,1091	9,2561	9,3987	9,5372	9,6716	9,8020	9,9286	10,0515	10,1708	10,2865	10,3989	10,5079
8,8079	8,9636	9,1147	9,2614	9,4038	9,5420	9,6761	9,8063	9,9327	10,0554	10,1744	10,2900	10,4021	10,5110
8,8081	8,9638	9,1149	9,2616	9,4040	9,5422	9,6763	9,8065	9,9329	10,0555	10,1746	10,2901	10,4023	10,5111
8,8084	8,9640	9,1151	9,2618	9,4042	9,5424	9,6765	9,8067	9,9330	10,0557	10,1747	10,2903	10,4024	10,5113
8,8086	8,9643	9,1154	9,2620	9,4044	9,5425	9,6767	9,8068	9,9332	10,0558	10,1749	10,2904	10,4025	10,5114

Lampiran C.8 Perubahan Tegangan Akibat Timbunan Bertahap

$\Delta P40$ kN/m ²	$\Delta P41$ kN/m ²	$\Delta P42$ kN/m ²	$\Delta P43$ kN/m ²	$\Delta P44$ kN/m ²	$\Delta P45$ kN/m ²	$\Delta P46$ kN/m ²	$\Delta P47$ kN/m ²	$\Delta P48$ kN/m ²	$\Delta P49$ kN/m ²	$\Delta P50$ kN/m ²	$\Delta P51$ kN/m ²	$\Delta P52$ kN/m ²	$\Delta P53$ kN/m ²
H= 20,0m 27 minggu	H= 20,5m 26 minggu	H= 21,0m 25 minggu	H= 21,5m 24 minggu	H= 22,0m 23 minggu	H= 22,5m 22 minggu	H= 23,0m 21 minggu	H= 23,5m 20 minggu	H= 24,0m 19 minggu	H= 24,5m 18 minggu	H= 25,0m 17 minggu	H= 25,5m 16 minggu	H= 26,0m 15 minggu	H= 26,5m 14 minggu
11,2802	11,3901	11,4968	11,6002	11,7007	11,7981	11,8927	11,9844	12,0735	12,1599	12,2437	12,3251	12,4040	12,4806
11,2804	11,3903	11,4970	11,6005	11,7009	11,7983	11,8928	11,9846	12,0736	12,1600	12,2438	12,3252	12,4041	12,4807

$\Delta P40$ kN/m ²	$\Delta P41$ kN/m ²	$\Delta P42$ kN/m ²	$\Delta P43$ kN/m ²	$\Delta P44$ kN/m ²	$\Delta P45$ kN/m ²	$\Delta P46$ kN/m ²	$\Delta P47$ kN/m ²	$\Delta P48$ kN/m ²	$\Delta P49$ kN/m ²	$\Delta P50$ kN/m ²	$\Delta P51$ kN/m ²	$\Delta P52$ kN/m ²	$\Delta P53$ kN/m ²
H= 20,0m 27 minggu	H= 20,5m 26 minggu	H= 21,0m 25 minggu	H= 21,5m 24 minggu	H= 22,0m 23 minggu	H= 22,5m 22 minggu	H= 23,0m 21 minggu	H= 23,5m 20 minggu	H= 24,0m 19 minggu	H= 24,5m 18 minggu	H= 25,0m 17 minggu	H= 25,5m 16 minggu	H= 26,0m 15 minggu	H= 26,5m 14 minggu
11,2807	11,3906	11,4972	11,6007	11,7011	11,7985	11,8930	11,9848	12,0738	12,1601	12,2440	12,3253	12,4042	12,4808
11,2809	11,3908	11,4974	11,6009	11,7013	11,7987	11,8932	11,9849	12,0739	12,1603	12,2441	12,3254	12,4044	12,4809
11,2812	11,3910	11,4976	11,6011	11,7014	11,7988	11,8933	11,9851	12,0741	12,1604	12,2442	12,3256	12,4045	12,4811
11,2813	11,3912	11,4978	11,6012	11,7016	11,7989	11,8934	11,9852	12,0741	12,1605	12,2443	12,3256	12,4045	12,4811
11,2830	11,3927	11,4992	11,6025	11,7028	11,8001	11,8946	11,9862	12,0751	12,1614	12,2452	12,3264	12,4053	12,4818
11,2832	11,3930	11,4994	11,6028	11,7030	11,8003	11,8947	11,9864	12,0753	12,1616	12,2453	12,3266	12,4054	12,4820
11,2835	11,3932	11,4997	11,6030	11,7032	11,8005	11,8949	11,9865	12,0754	12,1617	12,2454	12,3267	12,4055	12,4821
11,2837	11,3934	11,4999	11,6032	11,7034	11,8007	11,8951	11,9867	12,0756	12,1619	12,2456	12,3268	12,4057	12,4822
11,2839	11,3935	11,5000	11,6033	11,7035	11,8008	11,8952	11,9868	12,0757	12,1619	12,2456	12,3269	12,4057	12,4822
11,2864	11,3959	11,5022	11,6054	11,7055	11,8026	11,8969	11,9884	12,0772	12,1634	12,2470	12,3282	12,4069	12,4834
11,2866	11,3961	11,5024	11,6055	11,7056	11,8028	11,8971	11,9885	12,0773	12,1635	12,2471	12,3283	12,4070	12,4835
11,0612	11,1685	11,2726	11,3737	11,4718	11,5670	11,6593	11,7490	11,8360	11,9204	12,0024	12,0819	12,1591	12,2340
10,8357	10,9408	11,0428	11,1418	11,2379	11,3311	11,4216	11,5094	11,5946	11,6773	11,7576	11,8355	11,9111	11,9844
10,8359	10,9409	11,0429	11,1419	11,2380	11,3312	11,4217	11,5095	11,5947	11,6774	11,7576	11,8355	11,9111	11,9845
10,8388	10,9437	11,0456	11,1444	11,2403	11,3334	11,4238	11,5115	11,5966	11,6792	11,7593	11,8371	11,9126	11,9859
10,8390	10,9439	11,0457	11,1445	11,2405	11,3335	11,4239	11,5116	11,5967	11,6793	11,7594	11,8372	11,9127	11,9860
10,8391	10,9440	11,0459	11,1447	11,2406	11,3337	11,4240	11,5117	11,5968	11,6794	11,7595	11,8373	11,9128	11,9861
10,6136	10,7163	10,8160	10,9128	11,0067	11,0978	11,1862	11,2721	11,3554	11,4362	11,5147	11,5909	11,6648	11,7365
10,6137	10,7164	10,8161	10,9128	11,0067	11,0978	11,1863	11,2721	11,3554	11,4363	11,5147	11,5909	11,6648	11,7366
10,6167	10,7192	10,8188	10,9154	11,0091	11,1001	11,1885	11,2742	11,3574	11,4381	11,5165	11,5926	11,6664	11,7381
10,6168	10,7193	10,8189	10,9155	11,0092	11,1002	11,1885	11,2743	11,3575	11,4382	11,5166	11,5927	11,6665	11,7381
10,6169	10,7194	10,8190	10,9156	11,0093	11,1003	11,1886	11,2744	11,3575	11,4383	11,5167	11,5927	11,6665	11,7382
10,6170	10,7196	10,8191	10,9157	11,0094	11,1004	11,1887	11,2744	11,3576	11,4384	11,5167	11,5928	11,6666	11,7383

Lampiran C.8 Perubahan Tegangan Akibat Timbunan Bertahap

$\Delta P54$ kN/m ²	$\Delta P55$ kN/m ²	$\Delta P56$ kN/m ²	$\Delta P57$ kN/m ²	$\Delta P58$ kN/m ²	$\Delta P59$ kN/m ²	$\Delta P60$ kN/m ²	$\Delta P61$ kN/m ²	$\Delta P62$ kN/m ²	$\Delta P63$ kN/m ²	$\Delta P64$ kN/m ²	$\Delta P65$ kN/m ²	$\Delta P66$ kN/m ²	$\Sigma \sigma''$ (kN/m ²)
H= 27,0m 13 minggu	H= 27,5m 12 minggu	H= 28,0m 11 minggu	H= 28,5m 10 minggu	H= 29,0m 9 minggu	H= 29,5m 8 minggu	H= 30,0m 7 minggu	H= 30,5m 6 minggu	H= 31,0m 5 minggu	H= 31,5m 4 minggu	H= 32,0m 3 minggu	H= 32,5m 2 minggu	H= 33,0m 1 minggu	
12,5550	12,6271	12,6971	12,7651	12,8310	12,8950	12,9571	13,0173	13,0758	13,1326	13,1876	13,2411	13,2929	635,07
12,5551	12,6272	12,6972	12,7652	12,8311	12,8951	12,9571	13,0174	13,0759	13,1326	13,1877	13,2411	13,2930	640,12
12,5552	12,6273	12,6973	12,7652	12,8312	12,8951	12,9572	13,0175	13,0759	13,1327	13,1877	13,2412	13,2930	644,92
12,5553	12,6274	12,6974	12,7653	12,8312	12,8952	12,9573	13,0175	13,0760	13,1327	13,1878	13,2412	13,2931	649,61
12,5554	12,6275	12,6975	12,7654	12,8313	12,8953	12,9574	13,0176	13,0761	13,1328	13,1878	13,2413	13,2931	654,24
12,5554	12,6276	12,6975	12,7655	12,8314	12,8953	12,9574	13,0176	13,0761	13,1328	13,1879	13,2413	13,2932	656,98
12,5561	12,6282	12,6981	12,7660	12,8319	12,8958	12,9579	13,0181	13,0765	13,1332	13,1883	13,2417	13,2935	689,28
12,5562	12,6283	12,6982	12,7661	12,8320	12,8959	12,9580	13,0182	13,0766	13,1333	13,1883	13,2417	13,2936	694,61
12,5563	12,6284	12,6983	12,7662	12,8321	12,8960	12,9580	13,0182	13,0767	13,1334	13,1884	13,2418	13,2936	699,93
12,5564	12,6285	12,6984	12,7663	12,8322	12,8961	12,9581	13,0183	13,0767	13,1334	13,1884	13,2418	13,2937	705,24
12,5565	12,6285	12,6985	12,7663	12,8322	12,8961	12,9581	13,0183	13,0768	13,1334	13,1885	13,2419	13,2937	707,92
12,5576	12,6296	12,6994	12,7673	12,8331	12,8969	12,9589	13,0191	13,0774	13,1341	13,1891	13,2425	13,2942	766,54
12,5577	12,6297	12,6995	12,7673	12,8331	12,8970	12,9590	13,0191	13,0775	13,1342	13,1891	13,2425	13,2943	771,85
12,3066	12,3772	12,4457	12,5121	12,5766	12,6392	12,6999	12,7588	12,8160	12,8716	12,9254	12,9777	13,0285	764,44
12,0556	12,1247	12,1918	12,2569	12,3200	12,3813	12,4408	12,4986	12,5546	12,6090	12,6617	12,7130	12,7627	757,04
12,0557	12,1248	12,1918	12,2569	12,3201	12,3814	12,4409	12,4986	12,5546	12,6090	12,6618	12,7130	12,7627	759,83
12,0570	12,1261	12,1930	12,2581	12,3212	12,3824	12,4418	12,4995	12,5555	12,6098	12,6626	12,7137	12,7634	849,01
12,0571	12,1261	12,1931	12,2581	12,3212	12,3825	12,4419	12,4996	12,5555	12,6099	12,6626	12,7138	12,7634	854,58
12,0572	12,1262	12,1932	12,2582	12,3213	12,3825	12,4419	12,4996	12,5556	12,6099	12,6627	12,7138	12,7635	860,14
11,8061	11,8737	11,9393	12,0029	12,0647	12,1247	12,1828	12,2393	12,2941	12,3473	12,3989	12,4490	12,4977	852,97

$\Delta P54$ kN/m ²	$\Delta P55$ kN/m ²	$\Delta P56$ kN/m ²	$\Delta P57$ kN/m ²	$\Delta P58$ kN/m ²	$\Delta P59$ kN/m ²	$\Delta P60$ kN/m ²	$\Delta P61$ kN/m ²	$\Delta P62$ kN/m ²	$\Delta P63$ kN/m ²	$\Delta P64$ kN/m ²	$\Delta P65$ kN/m ²	$\Delta P66$ kN/m ²	$\Sigma \sigma''$ (kN/m ²)
H= 27,0m 13 minggu	H= 27,5m 12 minggu	H= 28,0m 11 minggu	H= 28,5m 10 minggu	H= 29,0m 9 minggu	H= 29,5m 8 minggu	H= 30,0m 7 minggu	H= 30,5m 6 minggu	H= 31,0m 5 minggu	H= 31,5m 4 minggu	H= 32,0m 3 minggu	H= 32,5m 2 minggu	H= 33,0m 1 minggu	
11,8062	11,8737	11,9393	12,0030	12,0647	12,1247	12,1829	12,2393	12,2941	12,3473	12,3990	12,4491	12,4977	855,90
11,8076	11,8751	11,9406	12,0042	12,0659	12,1258	12,1839	12,2404	12,2951	12,3483	12,3998	12,4499	12,4985	978,47
11,8077	11,8752	11,9407	12,0043	12,0660	12,1259	12,1840	12,2404	12,2952	12,3483	12,3999	12,4499	12,4985	984,30
11,8077	11,8752	11,9407	12,0043	12,0660	12,1259	12,1840	12,2404	12,2952	12,3483	12,3999	12,4500	12,4985	990,13
11,8078	11,8753	11,9408	12,0044	12,0661	12,1260	12,1841	12,2405	12,2952	12,3484	12,3999	12,4500	12,4986	995,96

Lampiran C.9 Perhitungan Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Kedalaman (m)	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Sc6	Sc7	Sc8	Sc9	Sc10	Sc11
1	0,005157	0,013090	0,009112	0,007366	0,006073	0,005130	0,004425	0,003884	0,003456	0,003112	0,002828
2	0,002976	0,005581	0,005117	0,004814	0,004388	0,003968	0,003592	0,003265	0,002984	0,002742	0,002533
3	0,002160	0,003636	0,003644	0,003637	0,003480	0,003270	0,003049	0,002838	0,002642	0,002465	0,002305
4	0,001708	0,002724	0,002854	0,002941	0,002898	0,002792	0,002658	0,002516	0,002377	0,002243	0,002119
5	0,001417	0,002188	0,002356	0,002477	0,002489	0,002441	0,002360	0,002264	0,002162	0,002061	0,001963
6	0,001339	0,002042	0,002223	0,002358	0,002391	0,002365	0,002303	0,002224	0,002136	0,002046	0,001957
7	0,000642	0,000928	0,001070	0,001185	0,001261	0,001307	0,001333	0,001342	0,001340	0,001329	0,001312
8	0,000591	0,000851	0,000987	0,001096	0,001170	0,001218	0,001246	0,001260	0,001263	0,001257	0,001245
9	0,000548	0,000787	0,000915	0,001019	0,001092	0,001140	0,001171	0,001188	0,001194	0,001192	0,001184
10	0,000511	0,000732	0,000854	0,000953	0,001023	0,001072	0,001104	0,001123	0,001132	0,001133	0,001129
11	0,000409	0,000586	0,000685	0,000765	0,000822	0,000863	0,000890	0,000906	0,000915	0,000917	0,000914
12	0,000236	0,000335	0,000399	0,000452	0,000493	0,000526	0,000552	0,000573	0,000589	0,000601	0,000609
13	0,000227	0,000323	0,000385	0,000436	0,000476	0,000508	0,000534	0,000554	0,000570	0,000583	0,000591
14	0,000215	0,000305	0,000364	0,000413	0,000452	0,000483	0,000508	0,000528	0,000544	0,000557	0,000566

Kedalaman (m)	Sc1	Sc2	Sc3	Sc4	Sc5	Sc6	Sc7	Sc8	Sc9	Sc10	Sc11
15	0,000204	0,000289	0,000345	0,000392	0,000429	0,000459	0,000484	0,000503	0,000519	0,000532	0,000541
16	0,000199	0,000282	0,000337	0,000382	0,000419	0,000448	0,000473	0,000492	0,000508	0,000520	0,000530
17	0,000127	0,000179	0,000216	0,000246	0,000272	0,000293	0,000312	0,000327	0,000341	0,000353	0,000363
18	0,000124	0,000175	0,000211	0,000241	0,000266	0,000287	0,000305	0,000321	0,000334	0,000346	0,000356
19	0,000121	0,000171	0,000207	0,000236	0,000260	0,000281	0,000299	0,000314	0,000328	0,000339	0,000349
20	0,000116	0,000164	0,000198	0,000226	0,000250	0,000270	0,000287	0,000302	0,000315	0,000327	0,000336
21	0,000114	0,000161	0,000194	0,000222	0,000245	0,000265	0,000282	0,000296	0,000309	0,000320	0,000330
22	0,000078	0,000110	0,000133	0,000153	0,000169	0,000184	0,000196	0,000207	0,000217	0,000226	0,000234
23	0,000077	0,000108	0,000131	0,000150	0,000167	0,000181	0,000193	0,000205	0,000214	0,000223	0,000231
24	0,000075	0,000107	0,000129	0,000148	0,000164	0,000178	0,000191	0,000202	0,000212	0,000220	0,000228
25	0,000074	0,000105	0,000127	0,000146	0,000162	0,000176	0,000188	0,000199	0,000209	0,000217	0,000225
Σ	0,019444	0,035960	0,033194	0,032454	0,031311	0,030105	0,028936	0,027836	0,026812	0,025861	0,024978

Lampiran C.9 Perhitungan Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Sc12	Sc13	Sc14	Sc15	Sc16	Sc17	Sc18	Sc19	Sc20	Sc21	Sc22	Sc23
0,002591	0,002390	0,002218	0,002068	0,001937	0,001822	0,001719	0,001627	0,001545	0,001470	0,001403	0,001341
0,002351	0,002192	0,002052	0,001928	0,001818	0,001719	0,001630	0,001549	0,001476	0,001409	0,001348	0,001292
0,002162	0,002033	0,001917	0,001812	0,001717	0,001631	0,001553	0,001482	0,001416	0,001356	0,001300	0,001249
0,002004	0,001898	0,001801	0,001711	0,001629	0,001554	0,001485	0,001421	0,001362	0,001307	0,001256	0,001209
0,001869	0,001781	0,001699	0,001622	0,001551	0,001485	0,001423	0,001366	0,001312	0,001263	0,001216	0,001173
0,001871	0,001789	0,001711	0,001638	0,001569	0,001505	0,001445	0,001389	0,001337	0,001288	0,001242	0,001199
0,001291	0,001266	0,001240	0,001212	0,001184	0,001155	0,001127	0,001099	0,001071	0,001044	0,001018	0,000993
0,001228	0,001208	0,001186	0,001162	0,001137	0,001112	0,001087	0,001062	0,001037	0,001013	0,000989	0,000966
0,001171	0,001155	0,001137	0,001116	0,001095	0,001073	0,001050	0,001028	0,001005	0,000983	0,000961	0,000940
0,001119	0,001107	0,001091	0,001074	0,001056	0,001036	0,001016	0,000996	0,000976	0,000955	0,000935	0,000915

Sc12	Sc13	Sc14	Sc15	Sc16	Sc17	Sc18	Sc19	Sc20	Sc21	Sc22	Sc23
0,000908	0,000898	0,000887	0,000874	0,000859	0,000844	0,000829	0,000813	0,000797	0,000781	0,000765	0,000749
0,000615	0,000619	0,000620	0,000620	0,000618	0,000616	0,000612	0,000607	0,000602	0,000596	0,000590	0,000584
0,000598	0,000602	0,000604	0,000604	0,000603	0,000601	0,000598	0,000594	0,000589	0,000584	0,000578	0,000572
0,000573	0,000577	0,000580	0,000581	0,000581	0,000579	0,000577	0,000574	0,000570	0,000566	0,000561	0,000556
0,000549	0,000554	0,000557	0,000559	0,000559	0,000559	0,000557	0,000555	0,000552	0,000548	0,000544	0,000539
0,000537	0,000543	0,000546	0,000548	0,000549	0,000548	0,000547	0,000545	0,000542	0,000538	0,000534	0,000530
0,000371	0,000378	0,000384	0,000389	0,000393	0,000396	0,000398	0,000400	0,000401	0,000402	0,000402	0,000402
0,000364	0,000371	0,000377	0,000382	0,000386	0,000389	0,000392	0,000394	0,000395	0,000396	0,000396	0,000396
0,000357	0,000364	0,000370	0,000375	0,000379	0,000383	0,000385	0,000387	0,000389	0,000390	0,000390	0,000390
0,000345	0,000352	0,000358	0,000363	0,000367	0,000371	0,000373	0,000375	0,000377	0,000378	0,000379	0,000379
0,000338	0,000345	0,000351	0,000356	0,000360	0,000364	0,000367	0,000369	0,000370	0,000372	0,000372	0,000373
0,000242	0,000248	0,000254	0,000259	0,000263	0,000267	0,000271	0,000274	0,000277	0,000279	0,000281	0,000283
0,000238	0,000245	0,000250	0,000255	0,000260	0,000264	0,000268	0,000271	0,000273	0,000276	0,000278	0,000279
0,000235	0,000241	0,000247	0,000252	0,000257	0,000261	0,000264	0,000267	0,000270	0,000273	0,000275	0,000276
0,000232	0,000238	0,000244	0,000249	0,000254	0,000258	0,000261	0,000264	0,000267	0,000269	0,000271	0,000273
0,024158	0,023393	0,022679	0,022010	0,021383	0,020792	0,020234	0,019707	0,019209	0,018735	0,018285	0,017857

Lampiran C.9 Perhitungan Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Sc24	Sc25	Sc26	Sc27	Sc28	Sc29	Sc30	Sc31	Sc32	Sc33	Sc34	Sc35
0,001275	0,001223	0,001174	0,001129	0,001087	0,001048	0,001011	0,000977	0,000944	0,000914	0,000886	0,000859
0,001232	0,001183	0,001138	0,001096	0,001057	0,001020	0,000986	0,000954	0,000923	0,000895	0,000867	0,000842
0,001193	0,001148	0,001106	0,001067	0,001030	0,000996	0,000963	0,000933	0,000904	0,000877	0,000851	0,000826
0,001158	0,001116	0,001077	0,001040	0,001005	0,000973	0,000942	0,000913	0,000886	0,000860	0,000835	0,000812
0,001124	0,001086	0,001049	0,001015	0,000982	0,000951	0,000922	0,000895	0,000869	0,000844	0,000820	0,000798
0,001151	0,001112	0,001075	0,001041	0,001008	0,000977	0,000948	0,000920	0,000894	0,000869	0,000845	0,000822

Sc24	Sc25	Sc26	Sc27	Sc28	Sc29	Sc30	Sc31	Sc32	Sc33	Sc34	Sc35
0,000962	0,000938	0,000914	0,000891	0,000869	0,000848	0,000827	0,000808	0,000788	0,000770	0,000752	0,000735
0,000937	0,000914	0,000892	0,000871	0,000850	0,000830	0,000810	0,000792	0,000773	0,000756	0,000739	0,000723
0,000913	0,000892	0,000871	0,000851	0,000831	0,000812	0,000794	0,000776	0,000759	0,000742	0,000726	0,000710
0,000890	0,000870	0,000851	0,000832	0,000814	0,000796	0,000778	0,000762	0,000745	0,000729	0,000714	0,000699
0,000729	0,000713	0,000697	0,000682	0,000667	0,000653	0,000639	0,000625	0,000612	0,000599	0,000587	0,000574
0,000573	0,000566	0,000558	0,000550	0,000542	0,000534	0,000526	0,000518	0,000510	0,000502	0,000494	0,000486
0,000562	0,000555	0,000548	0,000540	0,000533	0,000525	0,000518	0,000510	0,000502	0,000495	0,000487	0,000480
0,000546	0,000540	0,000533	0,000526	0,000519	0,000512	0,000505	0,000498	0,000491	0,000484	0,000477	0,000470
0,000530	0,000525	0,000519	0,000513	0,000506	0,000500	0,000493	0,000487	0,000480	0,000473	0,000467	0,000460
0,000522	0,000516	0,000511	0,000505	0,000498	0,000492	0,000486	0,000479	0,000473	0,000467	0,000460	0,000454
0,000398	0,000397	0,000395	0,000393	0,000391	0,000388	0,000385	0,000383	0,000379	0,000376	0,000373	0,000370
0,000393	0,000391	0,000390	0,000388	0,000386	0,000383	0,000381	0,000378	0,000375	0,000372	0,000369	0,000365
0,000387	0,000386	0,000384	0,000382	0,000380	0,000378	0,000376	0,000373	0,000370	0,000367	0,000364	0,000361
0,000376	0,000375	0,000374	0,000373	0,000371	0,000369	0,000367	0,000364	0,000362	0,000359	0,000356	0,000353
0,000370	0,000369	0,000368	0,000367	0,000365	0,000363	0,000361	0,000359	0,000356	0,000353	0,000351	0,000348
0,000282	0,000283	0,000283	0,000284	0,000284	0,000284	0,000283	0,000283	0,000282	0,000281	0,000280	0,000279
0,000279	0,000280	0,000280	0,000281	0,000281	0,000281	0,000280	0,000280	0,000279	0,000278	0,000277	0,000276
0,000276	0,000277	0,000277	0,000278	0,000278	0,000278	0,000277	0,000277	0,000276	0,000276	0,000275	0,000274
0,000273	0,000274	0,000274	0,000275	0,000275	0,000275	0,000275	0,000274	0,000274	0,000273	0,000272	0,000271
0,017331	0,016927	0,016539	0,016168	0,015810	0,015466	0,015135	0,014816	0,014508	0,014211	0,013924	0,013647

Lampiran C.9 Perhitungan Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Sc36	Sc37	Sc38	Sc39	Sc40	Sc41	Sc42	Sc43	Sc44	Sc45	Sc46	Sc47	Sc48
0,000833	0,000809	0,000786	0,000765	0,000744	0,000725	0,000706	0,000688	0,000671	0,000655	0,000639	0,000624	0,000610
0,000818	0,000795	0,000773	0,000752	0,000732	0,000713	0,000695	0,000678	0,000661	0,000646	0,000631	0,000616	0,000602

Sc36	Sc37	Sc38	Sc39	Sc40	Sc41	Sc42	Sc43	Sc44	Sc45	Sc46	Sc47	Sc48
0,000803	0,000781	0,000760	0,000740	0,000721	0,000703	0,000685	0,000669	0,000653	0,000637	0,000623	0,000609	0,000595
0,000790	0,000768	0,000748	0,000729	0,000710	0,000693	0,000676	0,000660	0,000644	0,000629	0,000615	0,000602	0,000588
0,000777	0,000756	0,000737	0,000718	0,000700	0,000683	0,000667	0,000651	0,000636	0,000622	0,000608	0,000595	0,000582
0,000800	0,000780	0,000760	0,000741	0,000723	0,000705	0,000689	0,000673	0,000657	0,000642	0,000628	0,000615	0,000602
0,000719	0,000703	0,000687	0,000672	0,000658	0,000644	0,000631	0,000618	0,000605	0,000593	0,000581	0,000570	0,000559
0,000707	0,000691	0,000676	0,000662	0,000648	0,000635	0,000622	0,000609	0,000597	0,000585	0,000574	0,000563	0,000552
0,000695	0,000680	0,000666	0,000652	0,000639	0,000626	0,000613	0,000601	0,000590	0,000578	0,000567	0,000556	0,000546
0,000684	0,000670	0,000656	0,000643	0,000630	0,000617	0,000605	0,000594	0,000582	0,000571	0,000560	0,000550	0,000540
0,000563	0,000551	0,000540	0,000529	0,000519	0,000508	0,000498	0,000489	0,000480	0,000471	0,000462	0,000453	0,000445
0,000479	0,000471	0,000464	0,000456	0,000449	0,000442	0,000435	0,000428	0,000421	0,000415	0,000408	0,000402	0,000396
0,000472	0,000465	0,000458	0,000451	0,000444	0,000437	0,000430	0,000423	0,000417	0,000410	0,000404	0,000398	0,000392
0,000463	0,000456	0,000449	0,000442	0,000436	0,000429	0,000423	0,000416	0,000410	0,000404	0,000398	0,000392	0,000386
0,000453	0,000447	0,000440	0,000434	0,000428	0,000421	0,000415	0,000409	0,000403	0,000397	0,000391	0,000386	0,000380
0,000447	0,000441	0,000435	0,000428	0,000422	0,000416	0,000410	0,000404	0,000398	0,000392	0,000387	0,000381	0,000376
0,000366	0,000362	0,000359	0,000355	0,000352	0,000348	0,000344	0,000340	0,000337	0,000333	0,000329	0,000325	0,000322
0,000362	0,000359	0,000355	0,000351	0,000348	0,000344	0,000341	0,000337	0,000333	0,000330	0,000326	0,000323	0,000319
0,000358	0,000355	0,000351	0,000348	0,000344	0,000341	0,000337	0,000334	0,000330	0,000327	0,000323	0,000320	0,000316
0,000350	0,000347	0,000344	0,000341	0,000338	0,000334	0,000331	0,000328	0,000324	0,000321	0,000317	0,000314	0,000311
0,000345	0,000342	0,000339	0,000336	0,000333	0,000329	0,000326	0,000323	0,000320	0,000316	0,000313	0,000310	0,000306
0,000278	0,000276	0,000275	0,000273	0,000272	0,000270	0,000268	0,000266	0,000265	0,000263	0,000261	0,000259	0,000257
0,000275	0,000274	0,000272	0,000271	0,000269	0,000268	0,000266	0,000264	0,000262	0,000261	0,000259	0,000257	0,000255
0,000273	0,000271	0,000270	0,000269	0,000267	0,000265	0,000264	0,000262	0,000260	0,000259	0,000257	0,000255	0,000253
0,000270	0,000269	0,000268	0,000266	0,000265	0,000263	0,000262	0,000260	0,000258	0,000257	0,000255	0,000253	0,000251
0,013379	0,013119	0,012868	0,012625	0,012389	0,012161	0,011939	0,011724	0,011516	0,011313	0,011116	0,010925	0,010740

Lampiran C.9 Perhitungan Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Sc49	Sc50	Sc51	Sc52	Sc53	Sc54	Sc55	Sc56	Sc57	Sc58	Sc59	Sc60
0,000596	0,000583	0,000570	0,000558	0,000546	0,000535	0,000524	0,000514	0,000504	0,000494	0,000484	0,000475
0,000589	0,000576	0,000564	0,000552	0,000540	0,000529	0,000519	0,000508	0,000499	0,000489	0,000480	0,000471
0,000582	0,000570	0,000558	0,000546	0,000535	0,000524	0,000514	0,000504	0,000494	0,000485	0,000476	0,000467
0,000576	0,000564	0,000552	0,000540	0,000530	0,000519	0,000509	0,000499	0,000490	0,000480	0,000472	0,000463
0,000570	0,000558	0,000546	0,000535	0,000524	0,000514	0,000504	0,000495	0,000485	0,000476	0,000468	0,000459
0,000589	0,000577	0,000565	0,000554	0,000543	0,000532	0,000522	0,000512	0,000502	0,000493	0,000484	0,000476
0,000548	0,000538	0,000528	0,000518	0,000509	0,000500	0,000491	0,000482	0,000474	0,000466	0,000458	0,000450
0,000542	0,000532	0,000522	0,000513	0,000503	0,000495	0,000486	0,000477	0,000469	0,000461	0,000454	0,000446
0,000536	0,000526	0,000517	0,000507	0,000498	0,000490	0,000481	0,000473	0,000465	0,000457	0,000450	0,000442
0,000530	0,000520	0,000511	0,000502	0,000493	0,000485	0,000477	0,000469	0,000461	0,000453	0,000446	0,000439
0,000437	0,000429	0,000422	0,000414	0,000407	0,000400	0,000393	0,000387	0,000380	0,000374	0,000368	0,000362
0,000390	0,000384	0,000378	0,000372	0,000367	0,000361	0,000356	0,000351	0,000346	0,000341	0,000336	0,000331
0,000386	0,000380	0,000374	0,000369	0,000363	0,000358	0,000353	0,000348	0,000343	0,000338	0,000333	0,000328
0,000380	0,000375	0,000369	0,000364	0,000359	0,000353	0,000348	0,000343	0,000338	0,000334	0,000329	0,000324
0,000375	0,000369	0,000364	0,000359	0,000354	0,000349	0,000344	0,000339	0,000334	0,000329	0,000325	0,000320
0,000370	0,000365	0,000360	0,000355	0,000350	0,000345	0,000340	0,000335	0,000330	0,000326	0,000321	0,000317
0,000318	0,000315	0,000311	0,000307	0,000304	0,000300	0,000297	0,000293	0,000290	0,000287	0,000283	0,000280
0,000315	0,000312	0,000308	0,000305	0,000301	0,000298	0,000295	0,000291	0,000288	0,000285	0,000281	0,000278
0,000313	0,000309	0,000306	0,000302	0,000299	0,000296	0,000292	0,000289	0,000286	0,000283	0,000279	0,000276
0,000307	0,000304	0,000301	0,000298	0,000294	0,000291	0,000288	0,000285	0,000282	0,000278	0,000275	0,000272
0,000303	0,000300	0,000297	0,000293	0,000290	0,000287	0,000284	0,000281	0,000278	0,000275	0,000272	0,000269
0,000255	0,000253	0,000251	0,000249	0,000247	0,000245	0,000242	0,000240	0,000238	0,000236	0,000234	0,000232
0,000253	0,000251	0,000249	0,000247	0,000245	0,000243	0,000241	0,000239	0,000237	0,000235	0,000233	0,000231
0,000251	0,000249	0,000247	0,000245	0,000243	0,000241	0,000239	0,000237	0,000235	0,000233	0,000231	0,000229
0,000249	0,000247	0,000245	0,000243	0,000241	0,000239	0,000238	0,000236	0,000234	0,000232	0,000230	0,000228
0,010559	0,010384	0,010213	0,010047	0,009885	0,009728	0,009575	0,009426	0,009280	0,009139	0,009001	0,008866

Lampiran C.9 Perhitungan Penurunan Akibat Timbunan Bertahap

Sc61	Sc62	Sc63	Sc64	Sc65	Sc66
0,000466	0,000458	0,000450	0,000442	0,000434	0,000426
0,000462	0,000454	0,000446	0,000438	0,000430	0,000423
0,000458	0,000450	0,000442	0,000435	0,000427	0,000420
0,000455	0,000447	0,000439	0,000431	0,000424	0,000417
0,000451	0,000443	0,000435	0,000428	0,000421	0,000414
0,000467	0,000459	0,000451	0,000443	0,000436	0,000429
0,000443	0,000435	0,000428	0,000422	0,000415	0,000408
0,000439	0,000432	0,000425	0,000418	0,000412	0,000405
0,000435	0,000428	0,000421	0,000415	0,000408	0,000402
0,000432	0,000425	0,000418	0,000412	0,000405	0,000399
0,000356	0,000351	0,000345	0,000340	0,000335	0,000330
0,000326	0,000322	0,000317	0,000313	0,000308	0,000304
0,000324	0,000319	0,000315	0,000310	0,000306	0,000302
0,000320	0,000316	0,000311	0,000307	0,000303	0,000299
0,000316	0,000312	0,000308	0,000304	0,000300	0,000296
0,000313	0,000309	0,000304	0,000300	0,000296	0,000293
0,000277	0,000274	0,000271	0,000268	0,000265	0,000262
0,000275	0,000272	0,000269	0,000266	0,000263	0,000260
0,000273	0,000270	0,000267	0,000264	0,000261	0,000258
0,000269	0,000266	0,000263	0,000261	0,000258	0,000255
0,000266	0,000263	0,000260	0,000257	0,000254	0,000252
0,000230	0,000228	0,000226	0,000224	0,000222	0,000220
0,000229	0,000227	0,000225	0,000223	0,000221	0,000219
0,000227	0,000225	0,000223	0,000221	0,000219	0,000217
0,000226	0,000224	0,000222	0,000220	0,000218	0,000216
0,008735	0,008607	0,008482	0,008360	0,008241	0,008125

JARAK PVD = 1,1 m
D = 1,16
F(n) = 2,35

Lampiran C.10 Perhitungan PVD Pola Segitiga Jarak 1,1 m

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{Av} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0685	6,6167	7,1045
0,5	0,0000	0,7388	0,1369	12,7956	13,4398
0,75	0,0001	0,9048	0,2054	18,5656	19,3024
1	0,0001	1,0448	0,2738	23,9539	24,7484
1,25	0,0001	1,1681	0,3423	28,9856	29,8151
1,5	0,0001	1,2796	0,4107	33,6844	34,5330

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{AV} (%)
1,75	0,0001	1,3821	0,4792	38,0723	38,9282
2	0,0002	1,4776	0,5477	42,1699	43,0243
2,25	0,0002	1,5672	0,6161	45,9963	46,8426
2,5	0,0002	1,6520	0,6846	49,5696	50,4027
2,75	0,0002	1,7326	0,7530	52,9064	53,7223
3	0,0003	1,8097	0,8215	56,0224	56,8183
3,25	0,0003	1,8835	0,8899	58,9323	59,7058
3,5	0,0003	1,9546	0,9584	61,6496	62,3992
3,75	0,0003	2,0233	1,0269	64,1871	64,9117
4	0,0003	2,0896	1,0953	66,5567	67,2556
4,25	0,0004	2,1539	1,1638	68,7696	69,4423
4,5	0,0004	2,2164	1,2322	70,8360	71,4824
4,75	0,0004	2,2771	1,3007	72,7657	73,3858
5	0,0004	2,3363	1,3692	74,5677	75,1619
5,25	0,0004	2,3939	1,4376	76,2505	76,8190
5,5	0,0005	2,4503	1,5061	77,8219	78,3653
5,75	0,0005	2,5054	1,5745	79,2894	79,8082
6	0,0005	2,5592	1,6430	80,6597	81,1547
6,25	0,0005	2,6120	1,7114	81,9394	82,4111
6,5	0,0006	2,6637	1,7799	83,1344	83,5837
6,75	0,0006	2,7145	1,8484	84,2504	84,6779
7	0,0006	2,7643	1,9168	85,2925	85,6990
7,25	0,0006	2,8132	1,9853	86,2656	86,6520
7,5	0,0006	2,8613	2,0537	87,1744	87,5414
7,75	0,0007	2,9086	2,1222	88,0230	88,3714
8	0,0007	2,9552	2,1906	88,8155	89,1460
8,25	0,0007	3,0010	2,2591	89,5555	89,8690
8,5	0,0007	3,0461	2,3276	90,2466	90,5437
8,75	0,0007	3,0906	2,3960	90,8920	91,1735
9	0,0008	3,1344	2,4645	91,4946	91,7612
9,25	0,0008	3,1776	2,5329	92,0574	92,3098
9,5	0,0008	3,2203	2,6014	92,5829	92,8218
9,75	0,0008	3,2624	2,6698	93,0737	93,2997
10	0,0009	3,3040	2,7383	93,5320	93,7457
10,25	0,0009	3,3450	2,8068	93,9599	94,1620
10,5	0,0009	3,3856	2,8752	94,3596	94,5506
10,75	0,0009	3,4256	2,9437	94,7328	94,9132
11	0,0009	3,4652	3,0121	95,0813	95,2518
11,25	0,0010	3,5044	3,0806	95,4068	95,5677
11,5	0,0010	3,5431	3,1490	95,7107	95,8627
11,75	0,0010	3,5814	3,2175	95,9945	96,1380
12	0,0010	3,6193	3,2860	96,2595	96,3949

JARAK PVD = 1,2 m
D = 1,26
F(n) = 2,43

Lampiran C.11 Perhitungan PVD Pola Segitiga Jarak 1,2 m

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{Av} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0555	5,3956	5,8898
0,5	0,0000	0,7388	0,1109	10,5000	11,1612
0,75	0,0001	0,9048	0,1664	15,3291	16,0952
1	0,0001	1,0448	0,2219	19,8976	20,7345
1,25	0,0001	1,1681	0,2773	24,2195	25,1048
1,5	0,0001	1,2796	0,3328	28,3083	29,2257
1,75	0,0001	1,3821	0,3883	32,1765	33,1139
2	0,0002	1,4776	0,4437	35,8360	36,7841
2,25	0,0002	1,5672	0,4992	39,2980	40,2493
2,5	0,0002	1,6520	0,5547	42,5732	43,5219
2,75	0,0002	1,7326	0,6101	45,6717	46,6130
3	0,0003	1,8097	0,6656	48,6031	49,5332
3,25	0,0003	1,8835	0,7211	51,3762	52,2921
3,5	0,0003	1,9546	0,7765	53,9998	54,8989
3,75	0,0003	2,0233	0,8320	56,4817	57,3622
4	0,0003	2,0896	0,8875	58,8298	59,6901
4,25	0,0004	2,1539	0,9429	61,0512	61,8901
4,5	0,0004	2,2164	0,9984	63,1527	63,9694
4,75	0,0004	2,2771	1,0539	65,1408	65,9346
5	0,0004	2,3363	1,1093	67,0217	67,7921
5,25	0,0004	2,3939	1,1648	68,8010	69,5479
5,5	0,0005	2,4503	1,2203	70,4844	71,2076
5,75	0,0005	2,5054	1,2757	72,0769	72,7765
6	0,0005	2,5592	1,3312	73,5835	74,2596
6,25	0,0005	2,6120	1,3866	75,0089	75,6616
6,5	0,0006	2,6637	1,4421	76,3573	76,9871
6,75	0,0006	2,7145	1,4976	77,6329	78,2401
7	0,0006	2,7643	1,5530	78,8398	79,4247
7,25	0,0006	2,8132	1,6085	79,9815	80,5447
7,5	0,0006	2,8613	1,6640	81,0616	81,6035
7,75	0,0007	2,9086	1,7194	82,0834	82,6046
8	0,0007	2,9552	1,7749	83,0501	83,5510
8,25	0,0007	3,0010	1,8304	83,9647	84,4459
8,5	0,0007	3,0461	1,8858	84,8299	85,2920
8,75	0,0007	3,0906	1,9413	85,6484	86,0919
9	0,0008	3,1344	1,9968	86,4228	86,8483
9,25	0,0008	3,1776	2,0522	87,1553	87,5635

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
9,5	0,0008	3,2203	2,1077	87,8484	88,2397
9,75	0,0008	3,2624	2,1632	88,5040	88,8791
10	0,0009	3,3040	2,2186	89,1243	89,4836
10,25	0,0009	3,3450	2,2741	89,7111	90,0553
10,5	0,0009	3,3856	2,3296	90,2662	90,5958
10,75	0,0009	3,4256	2,3850	90,7914	91,1069
11	0,0009	3,4652	2,4405	91,2883	91,5902
11,25	0,0010	3,5044	2,4960	91,7583	92,0472
11,5	0,0010	3,5431	2,5514	92,2030	92,4793
11,75	0,0010	3,5814	2,6069	92,6237	92,8879
12	0,0010	3,6193	2,6624	93,0217	93,2743

JARAK PVD = 1,3 m
D = 1,37
F(n) = 2,51

Lampiran C.12 Perhitungan PVD Pola Segitiga Jarak 1,3 m

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0458	4,4725	4,9715
0,5	0,0000	0,7388	0,0915	8,7449	9,4191
0,75	0,0001	0,9048	0,1373	12,8262	13,6150
1	0,0001	1,0448	0,1830	16,7250	17,5951
1,25	0,0001	1,1681	0,2288	20,4495	21,3787
1,5	0,0001	1,2796	0,2745	24,0073	24,9797
1,75	0,0001	1,3821	0,3203	27,4061	28,4094
2	0,0002	1,4776	0,3660	30,6528	31,6774
2,25	0,0002	1,5672	0,4118	33,7543	34,7925
2,5	0,0002	1,6520	0,4576	36,7171	37,7625
2,75	0,0002	1,7326	0,5033	39,5474	40,5948
3	0,0003	1,8097	0,5491	42,2511	43,2962
3,25	0,0003	1,8835	0,5948	44,8339	45,8730
3,5	0,0003	1,9546	0,6406	47,3012	48,3313
3,75	0,0003	2,0233	0,6863	49,6581	50,6767
4	0,0003	2,0896	0,7321	51,9096	52,9145
4,25	0,0004	2,1539	0,7778	54,0605	55,0500
4,5	0,0004	2,2164	0,8236	56,1151	57,0877
4,75	0,0004	2,2771	0,8694	58,0778	59,0324
5	0,0004	2,3363	0,9151	59,9528	60,8884
5,25	0,0004	2,3939	0,9609	61,7439	62,6597
5,5	0,0005	2,4503	1,0066	63,4549	64,3503
5,75	0,0005	2,5054	1,0524	65,0893	65,9640

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{AV} (%)
6	0,0005	2,5592	1,0981	66,6507	67,5042
6,25	0,0005	2,6120	1,1439	68,1422	68,9743
6,5	0,0006	2,6637	1,1896	69,5670	70,3777
6,75	0,0006	2,7145	1,2354	70,9281	71,7173
7	0,0006	2,7643	1,2812	72,2284	72,9961
7,25	0,0006	2,8132	1,3269	73,4704	74,2168
7,5	0,0006	2,8613	1,3727	74,6570	75,3821
7,75	0,0007	2,9086	1,4184	75,7904	76,4946
8	0,0007	2,9552	1,4642	76,8732	77,5566
8,25	0,0007	3,0010	1,5099	77,9075	78,5705
8,5	0,0007	3,0461	1,5557	78,8956	79,5385
8,75	0,0007	3,0906	1,6014	79,8395	80,4626
9	0,0008	3,1344	1,6472	80,7411	81,3448
9,25	0,0008	3,1776	1,6930	81,6025	82,1871
9,5	0,0008	3,2203	1,7387	82,4253	82,9913
9,75	0,0008	3,2624	1,7845	83,2113	83,7590
10	0,0009	3,3040	1,8302	83,9622	84,4921
10,25	0,0009	3,3450	1,8760	84,6795	85,1919
10,5	0,0009	3,3856	1,9217	85,3647	85,8602
10,75	0,0009	3,4256	1,9675	86,0192	86,4982
11	0,0009	3,4652	2,0132	86,6445	87,1073
11,25	0,0010	3,5044	2,0590	87,2418	87,6889
11,5	0,0010	3,5431	2,1048	87,8124	88,2443
11,75	0,0010	3,5814	2,1505	88,3575	88,7745
12	0,0010	3,6193	2,1963	88,8782	89,2808
12,25	0,0010	3,6568	2,2420	89,3756	89,7642
12,5	0,0011	3,6939	2,2878	89,8508	90,2257

JARAK PVD = 1,4 m

D = 1,47

F(n) = 2,59

Lampiran C.13 Perhitungan PVD Pola Segitiga Jarak 1,4 m

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{AV} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0383	3,7597	4,2625
0,5	0,0000	0,7388	0,0766	7,3781	8,0624
0,75	0,0001	0,9048	0,1150	10,8604	11,6670
1	0,0001	1,0448	0,1533	14,2118	15,1082
1,25	0,0001	1,1681	0,1916	17,4372	18,4017
1,5	0,0001	1,2796	0,2299	20,5414	21,5581
1,75	0,0001	1,3821	0,2683	23,5288	24,5858
2	0,0002	1,4776	0,3066	26,4039	27,4914

2,25	0,0002	1,5672	0,3449	29,1709	30,2810
2,5	0,0002	1,6520	0,3832	31,8339	32,9600
2,75	0,0002	1,7326	0,4215	34,3968	35,5334
3	0,0003	1,8097	0,4599	36,8633	38,0058
3,25	0,0003	1,8835	0,4982	39,2370	40,3815
3,5	0,0003	1,9546	0,5365	41,5216	42,6646
3,75	0,0003	2,0233	0,5748	43,7202	44,8589
4	0,0003	2,0896	0,6132	45,8362	46,9680
4,25	0,0004	2,1539	0,6515	47,8726	48,9954
4,5	0,0004	2,2164	0,6898	49,8324	50,9443
4,75	0,0004	2,2771	0,7281	51,7186	52,8180
5	0,0004	2,3363	0,7664	53,5338	54,6194
5,25	0,0004	2,3939	0,8048	55,2808	56,3514
5,5	0,0005	2,4503	0,8431	56,9622	58,0167
5,75	0,0005	2,5054	0,8814	58,5803	59,6180
6	0,0005	2,5592	0,9197	60,1375	61,1577
6,25	0,0005	2,6120	0,9581	61,6363	62,6383
6,5	0,0006	2,6637	0,9964	63,0786	64,0621
6,75	0,0006	2,7145	1,0347	64,4668	65,4313
7	0,0006	2,7643	1,0730	65,8027	66,7480
7,25	0,0006	2,8132	1,1113	67,0885	68,0143
7,5	0,0006	2,8613	1,1497	68,3258	69,2321
7,75	0,0007	2,9086	1,1880	69,5167	70,4033
8	0,0007	2,9552	1,2263	70,6628	71,5298
8,25	0,0007	3,0010	1,2646	71,7658	72,6131
8,5	0,0007	3,0461	1,3030	72,8273	73,6550
8,75	0,0007	3,0906	1,3413	73,8489	74,6572
9	0,0008	3,1344	1,3796	74,8321	75,6210
9,25	0,0008	3,1776	1,4179	75,7784	76,5481
9,5	0,0008	3,2203	1,4562	76,6891	77,4397
9,75	0,0008	3,2624	1,4946	77,5655	78,2974
10	0,0009	3,3040	1,5329	78,4090	79,1223
10,25	0,0009	3,3450	1,5712	79,2207	79,9158
10,5	0,0009	3,3856	1,6095	80,0020	80,6790
10,75	0,0009	3,4256	1,6479	80,7538	81,4131
11	0,0009	3,4652	1,6862	81,4774	82,1193
11,25	0,0010	3,5044	1,7245	82,1738	82,7985
11,5	0,0010	3,5431	1,7628	82,8441	83,4519
11,75	0,0010	3,5814	1,8011	83,4891	84,0804
12	0,0010	3,6193	1,8395	84,1098	84,6850
12,25	0,0010	3,6568	1,8778	84,7073	85,2665
12,5	0,0011	3,6939	1,9161	85,2822	85,8259
12,75	0,0011	3,7307	1,9544	85,8356	86,3640
13	0,0011	3,7671	1,9928	86,3681	86,8817
13,25	0,0011	3,8031	2,0311	86,8806	87,3796

13,5	0,0012	3,8389	2,0694	87,3739	87,8586
13,75	0,0012	3,8742	2,1077	87,8486	88,3194
14	0,0012	3,9093	2,1460	88,3055	88,7626
14,25	0,0012	3,9440	2,1844	88,7452	89,1890
14,5	0,0012	3,9785	2,2227	89,1683	89,5992
14,75	0,0013	4,0126	2,2610	89,5755	89,9938
15	0,0013	4,0465	2,2993	89,9675	90,3734

JARAK PVD = 1,5 m

D = 1,58

F(n) = 2,66

Lampiran C.14 Perhitungan PVD Pola Segitiga Jarak 1,5 m

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{Av} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0325	3,1993	3,7050
0,5	0,0000	0,7388	0,0650	6,2962	6,9885
0,75	0,0001	0,9048	0,0975	9,2941	10,1148
1	0,0001	1,0448	0,1301	12,1960	13,1134
1,25	0,0001	1,1681	0,1626	15,0051	15,9980
1,5	0,0001	1,2796	0,1951	17,7243	18,7772
1,75	0,0001	1,3821	0,2276	20,3566	21,4574
2	0,0002	1,4776	0,2601	22,9046	24,0437
2,25	0,0002	1,5672	0,2926	25,3711	26,5407
2,5	0,0002	1,6520	0,3252	27,7587	28,9521
2,75	0,0002	1,7326	0,3577	30,0699	31,2815
3	0,0003	1,8097	0,3902	32,3072	33,5322
3,25	0,0003	1,8835	0,4227	34,4728	35,7071
3,5	0,0003	1,9546	0,4552	36,5692	37,8091
3,75	0,0003	2,0233	0,4877	38,5986	39,8409
4	0,0003	2,0896	0,5203	40,5630	41,8050
4,25	0,0004	2,1539	0,5528	42,4645	43,7038
4,5	0,0004	2,2164	0,5853	44,3053	45,5397
4,75	0,0004	2,2771	0,6178	46,0871	47,3147
5	0,0004	2,3363	0,6503	47,8119	49,0312
5,25	0,0004	2,3939	0,6828	49,4816	50,6910
5,5	0,0005	2,4503	0,7153	51,0978	52,2960
5,75	0,0005	2,5054	0,7479	52,6623	53,8483
6	0,0005	2,5592	0,7804	54,1768	55,3495
6,25	0,0005	2,6120	0,8129	55,6428	56,8014
6,5	0,0006	2,6637	0,8454	57,0619	58,2057
6,75	0,0006	2,7145	0,8779	58,4356	59,5639
7	0,0006	2,7643	0,9104	59,7654	60,8776
7,25	0,0006	2,8132	0,9430	61,0526	62,1483

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{AV} (%)
7,5	0,0006	2,8613	0,9755	62,2986	63,3774
7,75	0,0007	2,9086	1,0080	63,5048	64,5663
8	0,0007	2,9552	1,0405	64,6724	65,7164
8,25	0,0007	3,0010	1,0730	65,8026	66,8289
8,5	0,0007	3,0461	1,1055	66,8967	67,9051
8,75	0,0007	3,0906	1,1381	67,9558	68,9461
9	0,0008	3,1344	1,1706	68,9810	69,9532
9,25	0,0008	3,1776	1,2031	69,9734	70,9275
9,5	0,0008	3,2203	1,2356	70,9340	71,8700
9,75	0,0008	3,2624	1,2681	71,8639	72,7818
10	0,0009	3,3040	1,3006	72,7640	73,6639
10,25	0,0009	3,3450	1,3331	73,6354	74,5173
10,5	0,0009	3,3856	1,3657	74,4789	75,3429
10,75	0,0009	3,4256	1,3982	75,2954	76,1417
11	0,0009	3,4652	1,4307	76,0857	76,9144
11,25	0,0010	3,5044	1,4632	76,8508	77,6621
11,5	0,0010	3,5431	1,4957	77,5914	78,3854
11,75	0,0010	3,5814	1,5282	78,3084	79,0852
12	0,0010	3,6193	1,5608	79,0023	79,7623
12,25	0,0010	3,6568	1,5933	79,6741	80,4174
12,5	0,0011	3,6939	1,6258	80,3244	81,0512
12,75	0,0011	3,7307	1,6583	80,9539	81,6644
13	0,0011	3,7671	1,6908	81,5632	82,2577
13,25	0,0011	3,8031	1,7233	82,1531	82,8318
13,5	0,0012	3,8389	1,7559	82,7240	83,3872
13,75	0,0012	3,8742	1,7884	83,2767	83,9246
14	0,0012	3,9093	1,8209	83,8118	84,4446
14,25	0,0012	3,9440	1,8534	84,3297	84,9477
14,5	0,0012	3,9785	1,8859	84,8310	85,4345
14,75	0,0013	4,0126	1,9184	85,3163	85,9055
15	0,0013	4,0465	1,9509	85,7861	86,3612
15,25	0,0013	4,0801	1,9835	86,2408	86,8022
15,5	0,0013	4,1134	2,0160	86,6810	87,2289
15,75	0,0013	4,1464	2,0485	87,1071	87,6417
16	0,0014	4,1792	2,0810	87,5196	88,0412
16,25	0,0014	4,2117	2,1135	87,9189	88,4277
16,5	0,0014	4,2440	2,1460	88,3054	88,8017
16,75	0,0014	4,2760	2,1786	88,6795	89,1636
17	0,0015	4,3078	2,2111	89,0417	89,5138
17,25	0,0015	4,3394	2,2436	89,3923	89,8526
17,5	0,0015	4,3707	2,2761	89,7317	90,1805

JARAK PVD = 1,1 m
D = 1,24
F(n) = 2,42

Lampiran C.15 Perhitungan PVD Pola Segiempat Jarak 1,1 m

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{Av} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0573	5,5702	6,0635
0,5	0,0000	0,7388	0,1146	10,8301	11,4889
0,75	0,0001	0,9048	0,1719	15,7971	16,5590
1	0,0001	1,0448	0,2293	20,4874	21,3181
1,25	0,0001	1,1681	0,2866	24,9164	25,7934
1,5	0,0001	1,2796	0,3439	29,0987	30,0059
1,75	0,0001	1,3821	0,4012	33,0480	33,9734
2	0,0002	1,4776	0,4585	36,7774	37,7116
2,25	0,0002	1,5672	0,5158	40,2990	41,2347
2,5	0,0002	1,6520	0,5731	43,6245	44,5558
2,75	0,0002	1,7326	0,6304	46,7647	47,6871
3	0,0003	1,8097	0,6878	49,7300	50,6397
3,25	0,0003	1,8835	0,7451	52,5302	53,4243
3,5	0,0003	1,9546	0,8024	55,1743	56,0505
3,75	0,0003	2,0233	0,8597	57,6712	58,5276
4	0,0003	2,0896	0,9170	60,0290	60,8643
4,25	0,0004	2,1539	0,9743	62,2555	63,0685
4,5	0,0004	2,2164	1,0316	64,3579	65,1479
4,75	0,0004	2,2771	1,0890	66,3433	67,1097
5	0,0004	2,3363	1,1463	68,2180	68,9605
5,25	0,0004	2,3939	1,2036	69,9883	70,7068
5,5	0,0005	2,4503	1,2609	71,6600	72,3545
5,75	0,0005	2,5054	1,3182	73,2386	73,9091
6	0,0005	2,5592	1,3755	74,7293	75,3760
6,25	0,0005	2,6120	1,4328	76,1369	76,7602
6,5	0,0006	2,6637	1,4902	77,4662	78,0664
6,75	0,0006	2,7145	1,5475	78,7213	79,2989
7	0,0006	2,7643	1,6048	79,9066	80,4620
7,25	0,0006	2,8132	1,6621	81,0258	81,5596
7,5	0,0006	2,8613	1,7194	82,0827	82,5954
7,75	0,0007	2,9086	1,7767	83,0808	83,5729
8	0,0007	2,9552	1,8340	84,0232	84,4953
8,25	0,0007	3,0010	1,8913	84,9131	85,3659
8,5	0,0007	3,0461	1,9487	85,7535	86,1875
8,75	0,0007	3,0906	2,0060	86,5471	86,9628
9	0,0008	3,1344	2,0633	87,2964	87,6946
9,25	0,0008	3,1776	2,1206	88,0040	88,3852
9,5	0,0008	3,2203	2,1779	88,6722	89,0370

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
9,75	0,0008	3,2624	2,2352	89,3032	89,6522
10	0,0009	3,3040	2,2925	89,8991	90,2328
10,25	0,0009	3,3450	2,3499	90,4617	90,7808
10,5	0,0009	3,3856	2,4072	90,9930	91,2979
10,75	0,0009	3,4256	2,4645	91,4947	91,7861
11	0,0009	3,4652	2,5218	91,9685	92,2468
11,25	0,0010	3,5044	2,5791	92,4158	92,6816
11,5	0,0010	3,5431	2,6364	92,8383	93,0920
11,75	0,0010	3,5814	2,6937	93,2372	93,4794
12	0,0010	3,6193	2,7510	93,6139	93,8451

JARAK PVD = 1,2 m

D = 1,36

F(n) = 2,51

Lampiran C.16 Perhitungan PVD Pola Segiempat Jarak 1,2 m

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0465	4,5423	5,0410
0,5	0,0000	0,7388	0,0930	8,8783	9,5515
0,75	0,0001	0,9048	0,1395	13,0174	13,8044
1	0,0001	1,0448	0,1859	16,9684	17,8359
1,25	0,0001	1,1681	0,2324	20,7400	21,6659
1,5	0,0001	1,2796	0,2789	24,3402	25,3084
1,75	0,0001	1,3821	0,3254	27,7770	28,7752
2	0,0002	1,4776	0,3719	31,0576	32,0763
2,25	0,0002	1,5672	0,4184	34,1892	35,2206
2,5	0,0002	1,6520	0,4649	37,1785	38,2163
2,75	0,0002	1,7326	0,5114	40,0321	41,0711
3	0,0003	1,8097	0,5578	42,7560	43,7919
3,25	0,0003	1,8835	0,6043	45,3562	46,3855
3,5	0,0003	1,9546	0,6508	47,8383	48,8579
3,75	0,0003	2,0233	0,6973	50,2077	51,2151
4	0,0003	2,0896	0,7438	52,4694	53,4626
4,25	0,0004	2,1539	0,7903	54,6284	55,6057
4,5	0,0004	2,2164	0,8368	56,6893	57,6493
4,75	0,0004	2,2771	0,8833	58,6567	59,5981
5	0,0004	2,3363	0,9297	60,5346	61,4566
5,25	0,0004	2,3939	0,9762	62,3273	63,2291
5,5	0,0005	2,4503	1,0227	64,0385	64,9196
5,75	0,0005	2,5054	1,0692	65,6720	66,5320
6	0,0005	2,5592	1,1157	67,2313	68,0699

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
6,25	0,0005	2,6120	1,1622	68,7197	69,5368
6,5	0,0006	2,6637	1,2087	70,1406	70,9360
6,75	0,0006	2,7145	1,2552	71,4969	72,2706
7	0,0006	2,7643	1,3016	72,7916	73,5437
7,25	0,0006	2,8132	1,3481	74,0275	74,7582
7,5	0,0006	2,8613	1,3946	75,2073	75,9167
7,75	0,0007	2,9086	1,4411	76,3334	77,0218
8	0,0007	2,9552	1,4876	77,4084	78,0761
8,25	0,0007	3,0010	1,5341	78,4346	79,0818
8,5	0,0007	3,0461	1,5806	79,4142	80,0413
8,75	0,0007	3,0906	1,6271	80,3493	80,9566
9	0,0008	3,1344	1,6735	81,2419	81,8298
9,25	0,0008	3,1776	1,7200	82,0939	82,6629
9,5	0,0008	3,2203	1,7665	82,9073	83,4577
9,75	0,0008	3,2624	1,8130	83,6837	84,2160
10	0,0009	3,3040	1,8595	84,4248	84,9394
10,25	0,0009	3,3450	1,9060	85,1323	85,6296
10,5	0,0009	3,3856	1,9525	85,8076	86,2881
10,75	0,0009	3,4256	1,9990	86,4523	86,9164
11	0,0009	3,4652	2,0454	87,0677	87,5158
11,25	0,0010	3,5044	2,0919	87,6551	88,0877
11,5	0,0010	3,5431	2,1384	88,2159	88,6334
11,75	0,0010	3,5814	2,1849	88,7511	89,1540
12	0,0010	3,6193	2,2314	89,2621	89,6507
12,25	0,0010	3,6568	2,2779	89,7499	90,1247
12,5	0,0011	3,6939	2,3244	90,2154	90,5769

JARAK PVD = 1,3 m

D = 1,47

F(n) = 2,59

Lampiran C.17 Perhitungan PVD Pola Segiempat Jarak 1,3 m

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0384	3,7657	4,2685
0,5	0,0000	0,7388	0,0768	7,3896	8,0738
0,75	0,0001	0,9048	0,1152	10,8771	11,6835
1	0,0001	1,0448	0,1535	14,2332	15,1293
1,25	0,0001	1,1681	0,1919	17,4630	18,4271
1,5	0,0001	1,2796	0,2303	20,5711	21,5875
1,75	0,0001	1,3821	0,2687	23,5621	24,6186
2	0,0002	1,4776	0,3071	26,4406	27,5275

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{AV} (%)
2,25	0,0002	1,5672	0,3455	29,2106	30,3200
2,5	0,0002	1,6520	0,3838	31,8764	33,0017
2,75	0,0002	1,7326	0,4222	34,4417	35,5776
3	0,0003	1,8097	0,4606	36,9105	38,0522
3,25	0,0003	1,8835	0,4990	39,2862	40,4298
3,5	0,0003	1,9546	0,5374	41,5725	42,7146
3,75	0,0003	2,0233	0,5758	43,7728	44,9104
4	0,0003	2,0896	0,6142	45,8901	47,0208
4,25	0,0004	2,1539	0,6525	47,9278	49,0493
4,5	0,0004	2,2164	0,6909	49,8886	50,9993
4,75	0,0004	2,2771	0,7293	51,7757	52,8738
5	0,0004	2,3363	0,7677	53,5917	54,6759
5,25	0,0004	2,3939	0,8061	55,3393	56,4085
5,5	0,0005	2,4503	0,8445	57,0211	58,0742
5,75	0,0005	2,5054	0,8828	58,6396	59,6758
6	0,0005	2,5592	0,9212	60,1971	61,2157
6,25	0,0005	2,6120	0,9596	61,6960	62,6965
6,5	0,0006	2,6637	0,9980	63,1384	64,1203
6,75	0,0006	2,7145	1,0364	64,5265	65,4894
7	0,0006	2,7643	1,0748	65,8623	66,8060
7,25	0,0006	2,8132	1,1132	67,1479	68,0721
7,5	0,0006	2,8613	1,1515	68,3850	69,2896
7,75	0,0007	2,9086	1,1899	69,5755	70,4604
8	0,0007	2,9552	1,2283	70,7212	71,5864
8,25	0,0007	3,0010	1,2667	71,8238	72,6693
8,5	0,0007	3,0461	1,3051	72,8848	73,7108
8,75	0,0007	3,0906	1,3435	73,9059	74,7123
9	0,0008	3,1344	1,3818	74,8885	75,6756
9,25	0,0008	3,1776	1,4202	75,8342	76,6021
9,5	0,0008	3,2203	1,4586	76,7442	77,4931
9,75	0,0008	3,2624	1,4970	77,6199	78,3500
10	0,0009	3,3040	1,5354	78,4627	79,1743
10,25	0,0009	3,3450	1,5738	79,2737	79,9670
10,5	0,0009	3,3856	1,6122	80,0542	80,7295
10,75	0,0009	3,4256	1,6505	80,8053	81,4629
11	0,0009	3,4652	1,6889	81,5281	82,1682
11,25	0,0010	3,5044	1,7273	82,2237	82,8467
11,5	0,0010	3,5431	1,7657	82,8931	83,4993
11,75	0,0010	3,5814	1,8041	83,5373	84,1269
12	0,0010	3,6193	1,8425	84,1573	84,7307
12,25	0,0010	3,6568	1,8808	84,7539	85,3114
12,5	0,0011	3,6939	1,9192	85,3280	85,8700
12,75	0,0011	3,7307	1,9576	85,8805	86,4073

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
13	0,0011	3,7671	1,9960	86,4122	86,9241
13,25	0,0011	3,8031	2,0344	86,9239	87,4212
13,5	0,0012	3,8389	2,0728	87,4163	87,8994
13,75	0,0012	3,8742	2,1112	87,8902	88,3593
14	0,0012	3,9093	2,1495	88,3462	88,8018
14,25	0,0012	3,9440	2,1879	88,7850	89,2274
14,5	0,0012	3,9785	2,2263	89,2074	89,6367
14,75	0,0013	4,0126	2,2647	89,6138	90,0305
15	0,0013	4,0465	2,3031	90,0049	90,4094

JARAK PVD = 1,4 m

D = 1,58

F(n) = 2,66

Lampiran C.18 Perhitungan PVD Pola Segiempat Jarak 1,4 m

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0322	3,1663	3,6721
0,5	0,0000	0,7388	0,0643	6,2323	6,9251
0,75	0,0001	0,9048	0,0965	9,2013	10,0228
1	0,0001	1,0448	0,1287	12,0762	12,9949
1,25	0,0001	1,1681	0,1609	14,8601	15,8547
1,5	0,0001	1,2796	0,1930	17,5559	18,6109
1,75	0,0001	1,3821	0,2252	20,1663	21,2697
2	0,0002	1,4776	0,2574	22,6941	23,8363
2,25	0,0002	1,5672	0,2896	25,1418	26,3150
2,5	0,0002	1,6520	0,3217	27,5120	28,7095
2,75	0,0002	1,7326	0,3539	29,8072	31,0234
3	0,0003	1,8097	0,3861	32,0297	33,2597
3,25	0,0003	1,8835	0,4183	34,1819	35,4216
3,5	0,0003	1,9546	0,4504	36,2658	37,5116
3,75	0,0003	2,0233	0,4826	38,2839	39,5325
4	0,0003	2,0896	0,5148	40,2380	41,4868
4,25	0,0004	2,1539	0,5470	42,1302	43,3767
4,5	0,0004	2,2164	0,5791	43,9625	45,2045
4,75	0,0004	2,2771	0,6113	45,7368	46,9725
5	0,0004	2,3363	0,6435	47,4550	48,6825
5,25	0,0004	2,3939	0,6757	49,1187	50,3368
5,5	0,0005	2,4503	0,7078	50,7297	51,9370
5,75	0,0005	2,5054	0,7400	52,2898	53,4851
6	0,0005	2,5592	0,7722	53,8004	54,9828
6,25	0,0005	2,6120	0,8044	55,2632	56,4318

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{AV} (%)
6,5	0,0006	2,6637	0,8365	56,6797	57,8337
6,75	0,0006	2,7145	0,8687	58,0514	59,1900
7	0,0006	2,7643	0,9009	59,3796	60,5024
7,25	0,0006	2,8132	0,9331	60,6657	61,7723
7,5	0,0006	2,8613	0,9652	61,9112	63,0010
7,75	0,0007	2,9086	0,9974	63,1172	64,1900
8	0,0007	2,9552	1,0296	64,2850	65,3404
8,25	0,0007	3,0010	1,0618	65,4158	66,4537
8,5	0,0007	3,0461	1,0939	66,5109	67,5310
8,75	0,0007	3,0906	1,1261	67,5712	68,5735
9	0,0008	3,1344	1,1583	68,5980	69,5823
9,25	0,0008	3,1776	1,1905	69,5923	70,5585
9,5	0,0008	3,2203	1,2226	70,5551	71,5033
9,75	0,0008	3,2624	1,2548	71,4874	72,4176
10	0,0009	3,3040	1,2870	72,3902	73,3024
10,25	0,0009	3,3450	1,3192	73,2644	74,1587
10,5	0,0009	3,3856	1,3513	74,1109	74,9874
10,75	0,0009	3,4256	1,3835	74,9306	75,7894
11	0,0009	3,4652	1,4157	75,7244	76,5656
11,25	0,0010	3,5044	1,4479	76,4930	77,3168
11,5	0,0010	3,5431	1,4800	77,2373	78,0438
11,75	0,0010	3,5814	1,5122	77,9581	78,7475
12	0,0010	3,6193	1,5444	78,6560	79,4285
12,25	0,0010	3,6568	1,5766	79,3318	80,0876
12,5	0,0011	3,6939	1,6087	79,9862	80,7255
12,75	0,0011	3,7307	1,6409	80,6199	81,3429
13	0,0011	3,7671	1,6731	81,2335	81,9405
13,25	0,0011	3,8031	1,7053	81,8277	82,5188
13,5	0,0012	3,8389	1,7374	82,4031	83,0786
13,75	0,0012	3,8742	1,7696	82,9603	83,6204
14	0,0012	3,9093	1,8018	83,4998	84,1449
14,25	0,0012	3,9440	1,8340	84,0223	84,6524
14,5	0,0012	3,9785	1,8661	84,5282	85,1437
14,75	0,0013	4,0126	1,8983	85,0180	85,6192
15	0,0013	4,0465	1,9305	85,4924	86,0795
15,25	0,0013	4,0801	1,9627	85,9518	86,5249
15,5	0,0013	4,1134	1,9948	86,3966	86,9561
15,75	0,0013	4,1464	2,0270	86,8273	87,3735
16	0,0014	4,1792	2,0592	87,2444	87,7775
16,25	0,0014	4,2117	2,0914	87,6483	88,1685
16,5	0,0014	4,2440	2,1235	88,0394	88,5470
16,75	0,0014	4,2760	2,1557	88,4181	88,9133
17	0,0015	4,3078	2,1879	88,7848	89,2679

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
17,25	0,0015	4,3394	2,2201	89,1399	89,6111
17,5	0,0015	4,3707	2,2522	89,4837	89,9434
17,75	0,0015	4,4018	2,2844	89,8167	90,2650

JARAK PVD = 1,5 m
D = 1,70
F(n) = 2,73

Lampiran C.19 Perhitungan PVD Pola Segiempat Jarak 1,4 m

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
0	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
0,25	0,0000	0,5224	0,0273	2,6950	3,2033
0,5	0,0000	0,7388	0,0546	5,3173	6,0168
0,75	0,0001	0,9048	0,0820	7,8690	8,7026
1	0,0001	1,0448	0,1093	10,3519	11,2885
1,25	0,0001	1,1681	0,1366	12,7679	13,7869
1,5	0,0001	1,2796	0,1639	15,1187	16,2049
1,75	0,0001	1,3821	0,1912	17,4063	18,5478
2	0,0002	1,4776	0,2186	19,6321	20,8196
2,25	0,0002	1,5672	0,2459	21,7980	23,0236
2,5	0,0002	1,6520	0,2732	23,9056	25,1626
2,75	0,0002	1,7326	0,3005	25,9563	27,2392
3	0,0003	1,8097	0,3278	27,9517	29,2556
3,25	0,0003	1,8835	0,3552	29,8934	31,2139
3,5	0,0003	1,9546	0,3825	31,7828	33,1162
3,75	0,0003	2,0233	0,4098	33,6212	34,9642
4	0,0003	2,0896	0,4371	35,4101	36,7598
4,25	0,0004	2,1539	0,4644	37,1508	38,5045
4,5	0,0004	2,2164	0,4918	38,8445	40,2000
4,75	0,0004	2,2771	0,5191	40,4927	41,8477
5	0,0004	2,3363	0,5464	42,0964	43,4491
5,25	0,0004	2,3939	0,5737	43,6568	45,0057
5,5	0,0005	2,4503	0,6010	45,1753	46,5186
5,75	0,0005	2,5054	0,6283	46,6528	47,9893
6	0,0005	2,5592	0,6557	48,0905	49,4190
6,25	0,0005	2,6120	0,6830	49,4894	50,8088
6,5	0,0006	2,6637	0,7103	50,8507	52,1599
6,75	0,0006	2,7145	0,7376	52,1752	53,4734
7	0,0006	2,7643	0,7649	53,4641	54,7505
7,25	0,0006	2,8132	0,7923	54,7182	55,9921
7,5	0,0006	2,8613	0,8196	55,9385	57,1993
7,75	0,0007	2,9086	0,8469	57,1260	58,3730

t (bulan)	T _v	U _v (%)	x	U _h	U _{AV} (%)
8	0,0007	2,9552	0,8742	58,2814	59,5143
8,25	0,0007	3,0010	0,9015	59,4057	60,6240
8,5	0,0007	3,0461	0,9289	60,4997	61,7030
8,75	0,0007	3,0906	0,9562	61,5643	62,7521
9	0,0008	3,1344	0,9835	62,6001	63,7724
9,25	0,0008	3,1776	1,0108	63,6080	64,7644
9,5	0,0008	3,2203	1,0381	64,5888	65,7291
9,75	0,0008	3,2624	1,0655	65,5431	66,6672
10	0,0009	3,3040	1,0928	66,4717	67,5794
10,25	0,0009	3,3450	1,1201	67,3753	68,4666
10,5	0,0009	3,3856	1,1474	68,2545	69,3292
10,75	0,0009	3,4256	1,1747	69,1100	70,1682
11	0,0009	3,4652	1,2021	69,9425	70,9841
11,25	0,0010	3,5044	1,2294	70,7525	71,7775
11,5	0,0010	3,5431	1,2567	71,5407	72,5491
11,75	0,0010	3,5814	1,2840	72,3077	73,2995
12	0,0010	3,6193	1,3113	73,0540	74,0293
12,25	0,0010	3,6568	1,3387	73,7802	74,7390
12,5	0,0011	3,6939	1,3660	74,4868	75,4293
12,75	0,0011	3,7307	1,3933	75,1744	76,1006
13	0,0011	3,7671	1,4206	75,8434	76,7534
13,25	0,0011	3,8031	1,4479	76,4944	77,3884
13,5	0,0012	3,8389	1,4753	77,1279	78,0059
13,75	0,0012	3,8742	1,5026	77,7443	78,6065
14	0,0012	3,9093	1,5299	78,3441	79,1907
14,25	0,0012	3,9440	1,5572	78,9277	79,7588
14,5	0,0012	3,9785	1,5845	79,4956	80,3114
14,75	0,0013	4,0126	1,6119	80,0482	80,8488
15	0,0013	4,0465	1,6392	80,5859	81,3715
15,25	0,0013	4,0801	1,6665	81,1091	81,8799
15,5	0,0013	4,1134	1,6938	81,6182	82,3743
15,75	0,0013	4,1464	1,7211	82,1136	82,8552
16	0,0014	4,1792	1,7484	82,5956	83,3230
16,25	0,0014	4,2117	1,7758	83,0647	83,7779
16,5	0,0014	4,2440	1,8031	83,5211	84,2204
16,75	0,0014	4,2760	1,8304	83,9652	84,6508
17	0,0015	4,3078	1,8577	84,3973	85,0694
17,25	0,0015	4,3394	1,8850	84,8178	85,4766
17,5	0,0015	4,3707	1,9124	85,2269	85,8726
17,75	0,0015	4,4018	1,9397	85,6251	86,2578
18	0,0015	4,4327	1,9670	86,0125	86,6325
18,25	0,0016	4,4634	1,9943	86,3894	86,9969
18,5	0,0016	4,4939	2,0216	86,7562	87,3514

t (bulan)	T_v	U_v (%)	x	U_h	U_{AV} (%)
18,75	0,0016	4,5241	2,0490	87,1131	87,6962
19	0,0016	4,5542	2,0763	87,4604	88,0315
19,25	0,0016	4,5841	2,1036	87,7984	88,3577
19,5	0,0017	4,6137	2,1309	88,1272	88,6750
19,75	0,0017	4,6432	2,1582	88,4472	88,9836
20	0,0017	4,6725	2,1856	88,7585	89,2838
20,25	0,0017	4,7016	2,2129	89,0615	89,5758
20,5	0,0018	4,7305	2,2402	89,3563	89,8598
20,75	0,0018	4,7593	2,2675	89,6431	90,1360

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN D
GAMBAR TEKNIK
(TERLAMPIR)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis dilahirkan di Banyuwangi, (08, 07, 2002), merupakan anak kedua dari pasangan Bapak Hasan dan Ibu Diana dari 3 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di TK Pertiwi Banyuwangi, SDN Kepatihan Banyuwangi, SMPN 1 Banyuwangi dan SMAN 1 Glagah Banyuwangi. Setelah lulus dari SMAN tahun 2021, Penulis mengikuti SBMPTN dan diterima di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil - ITS pada tahun 2021 dan terdaftar dengan NRP 2036211016.

Di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Penulis sempat aktif di organisasi BEM Fakultas Vokasi sebagai Staff Departemen Inkubator Kajian (2023) dan Staff Ahli Kestari BCC High School

D’VILLAGE 12TH edition. Penulis dapat dihubungi melalui *email* ardyanbima@gmail.com

PERENCANAAN BREAKWATER DI LAMONGAN SHOREBASE

GAMBAR TEKNIK



DOSEN PEMBIMBING : Dr. Ir. Hendra Wahyudi, MS.
Moh. Fadhlán Rosyidi, S.Tr.T., M.T.

DIGAMBAR OLEH : BIMA ARDYAN WIJAYA (2036211016)

PROGRAM STUDI SARJANA TERAPAN
TEKNOLOGI REKAYASA KONSTRUKSI BANGUNAN AIR
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

SURABAYA, 31 JULI 2025

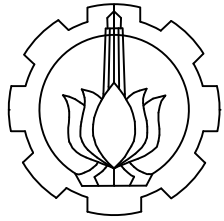
DAFTAR GAMBAR

PERENCANAAN BREAKWATER DI LAMONGAN SHOREBASE

NAMA GAMBAR	NO. GAMBAR
STRATIGRAFI TANAH	1
LAYOUT BREAKWATER	2
PLAN OF GEOTEXTILE TUBE	3
PLAN OF PREFABRICATED VETICAL DRAIN (PVD)	4
LONG SECTION CH.0.00 - CH. 220	5
LONG SECTION CH.220 - CH.476	6
LONG SECTION CH.476 - CH.646	7
LONG SECTION CH.646 - CH. 886	8
LONG SECTION CH.886 - CH.1086	9
LONG SECTION CH. 1086 - CH.1286	10
LONG SECTION CH. 1286 - CH.1486	11
LONG SECTION CH.1486 - CH.1809,8	12
POTONGAN A - A	13
POTONGAN B - B	14
POTONGAN C - C	15

DAFTAR GAMBAR
PERENCANAAN BREAKWATER DI LAMONGAN SHOREBASE

NAMA GAMBAR	NO. GAMBAR
POTONGAN D - D	16
POTONGAN E - E	17
POTONGAN F - F	18
POTONGAN G - G	19
POTONGAN H - H	20
POTONGAN I - I	21
POTONGAN J - J	22
POTONGAN K - K	23
DETAIL PEMASANGAN PVD POLA SEGITIGA 1 M	24
DETAIL GEOTEXTILE TUBE	25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Hasil Statigrafi Tanah
Berdasarkan Karakteristik
Tanah

SKALA

Skala Vertikal 1 : 50
Skala Horizontal 1 : 450

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

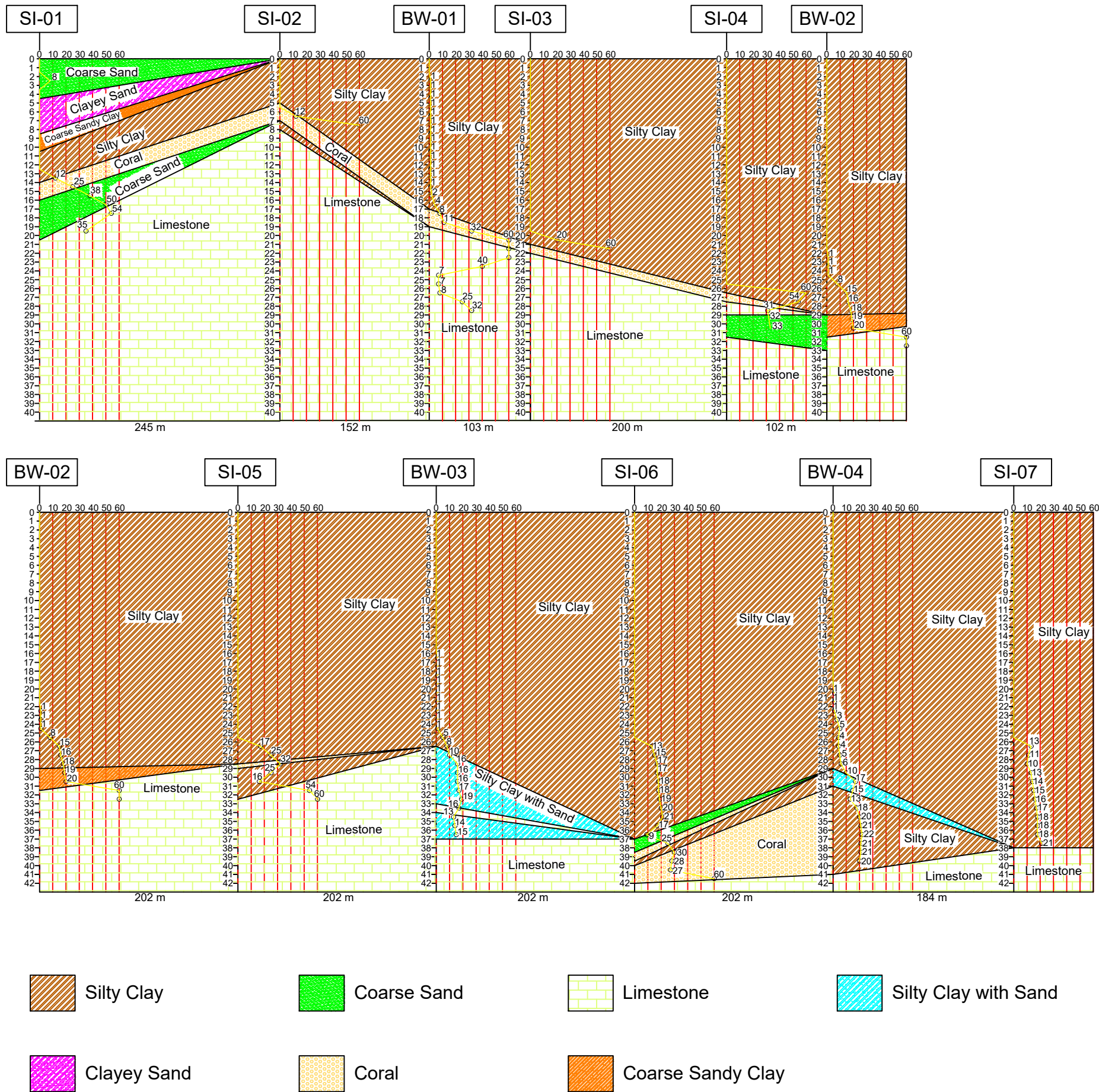
KETERANGAN

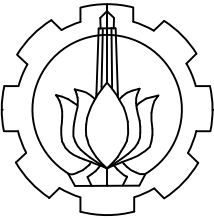
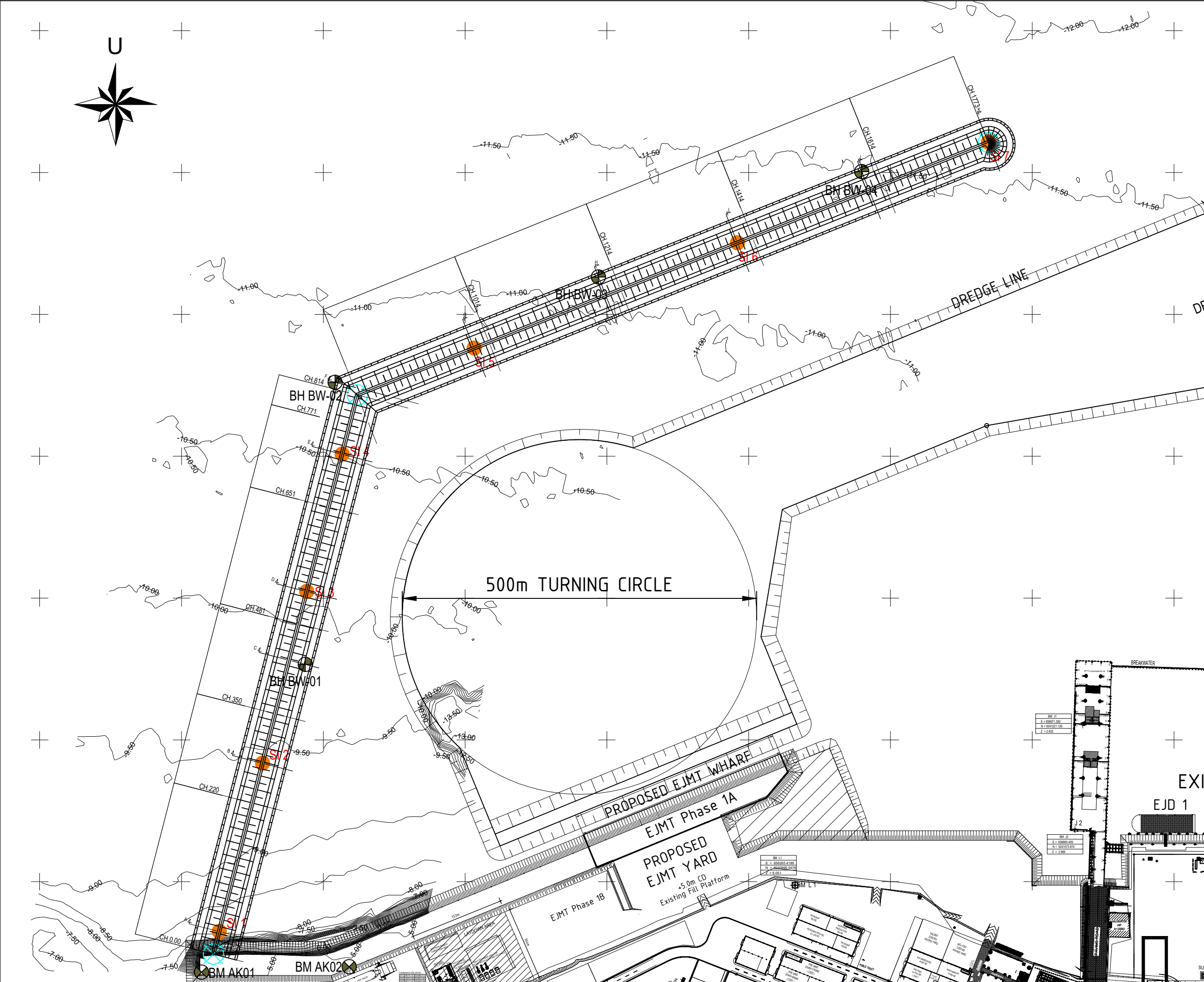
NO.GAMBAR

JUMLAH

01

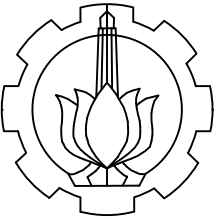
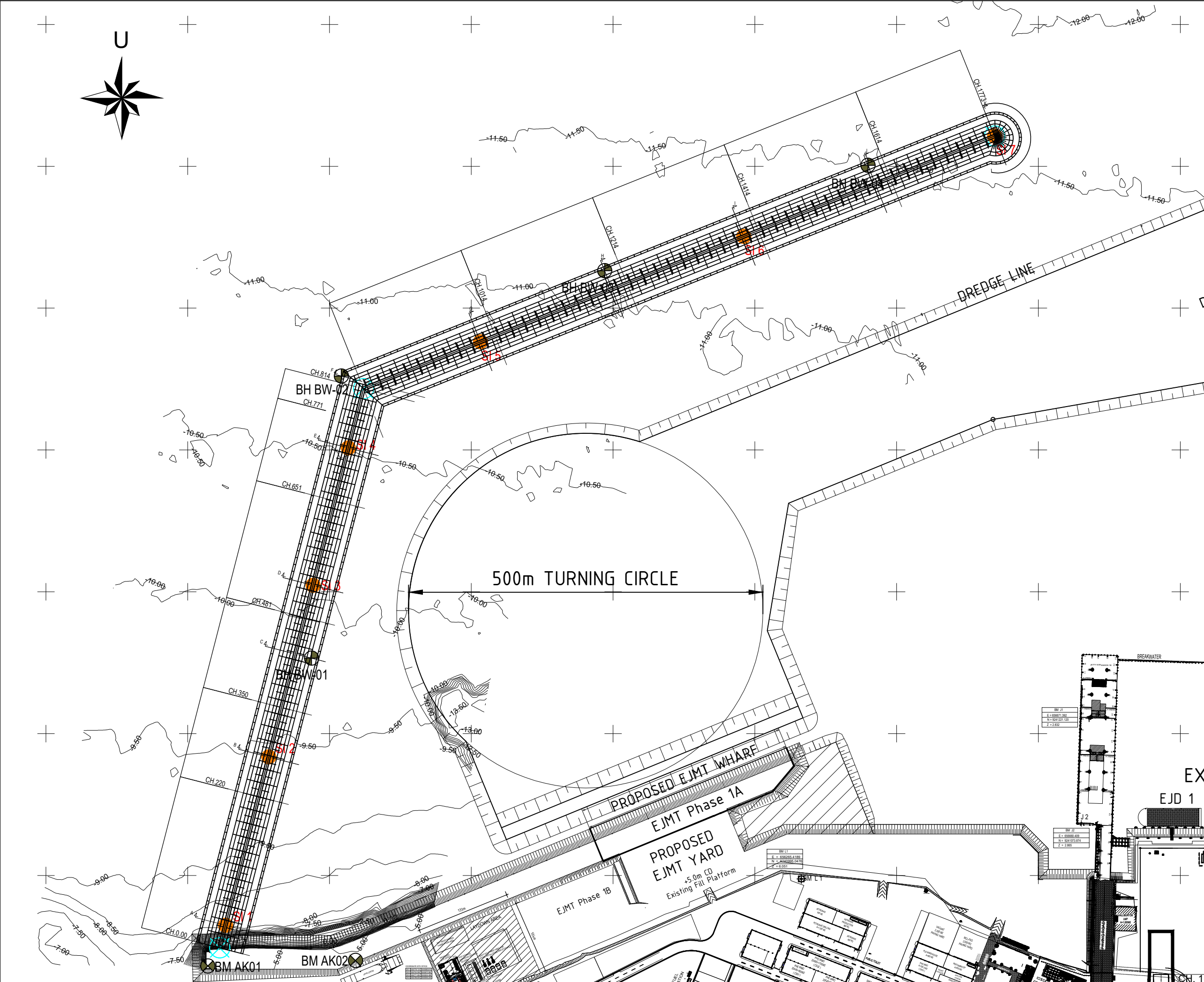
25





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR	
PERENCANAAN BREAKWATER DI LAMONGAN SHOREBASE	
JUDUL GAMBAR	
Layout Breakwater	
SKALA	
Skala 1 : 5000	
DOSEN PEMBIMBING 1	
Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T. NIP 19630426 198803 1 003	
DOSEN PEMBIMBING 2	
Moh. Fadhlan Rosyidi, S.Tr.T., M.T. NIP 19970318 202406 1 003	
NAMA MAHASISWA	
Bima Ardyan Wijaya NRP 2036211016	
KETERANGAN	
Sumber : Layout Eksisting (PT. Adhi Karya Persero Tbk, 2024)	
NO.GAMBAR	JUMLAH
02	25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Plan of Geotextile Tube

SKALA

Skala 1 : 5000

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

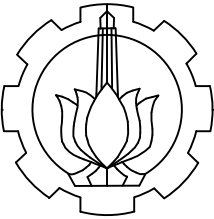
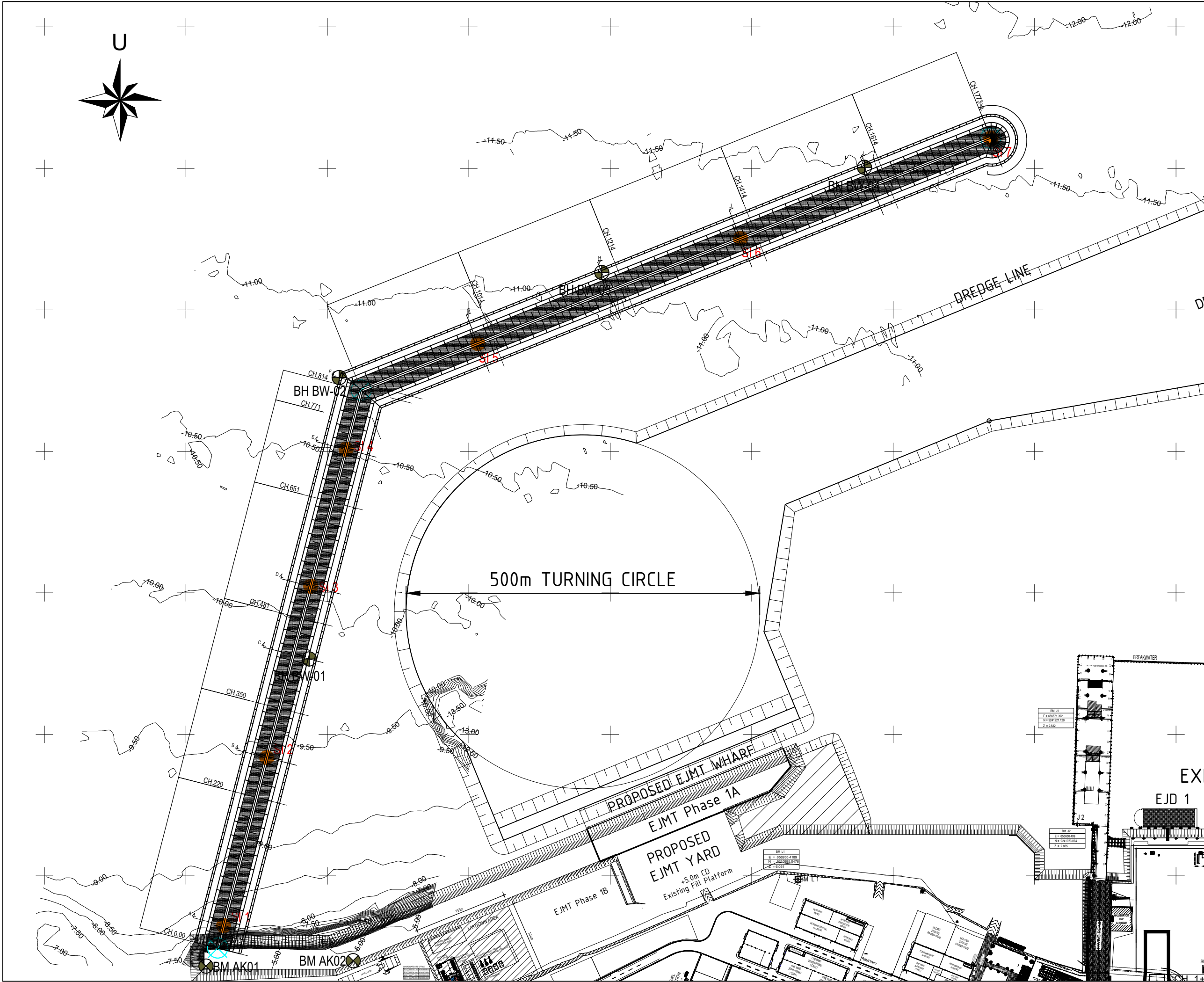
Sumber : Layout Eksisting
(PT. Adhi Karya Persero
Tbk, 2024)

NO.GAMBAR

JUMLAH

03

25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Plan of Prefabricated Vertical
Drain (PVD)

SKALA

Skala 1 : 5000

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

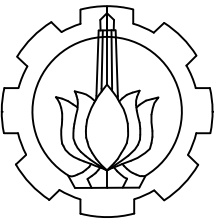
Sumber : Layout Eksisting
(PT. Adhi Karya Persero
Tbk, 2024)

NO.GAMBAR

JUMLAH

04

25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Long Section CH.0.00 -
CH.220

SKALA

Skala 1 : 500

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

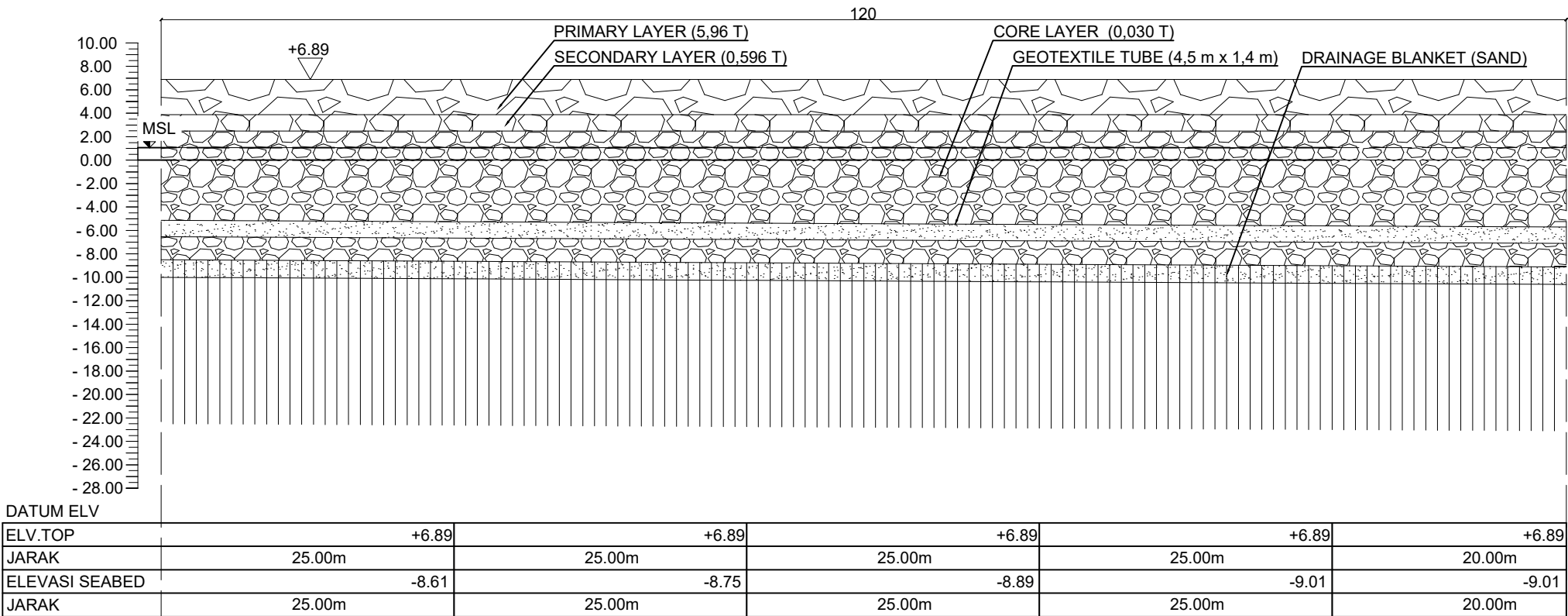
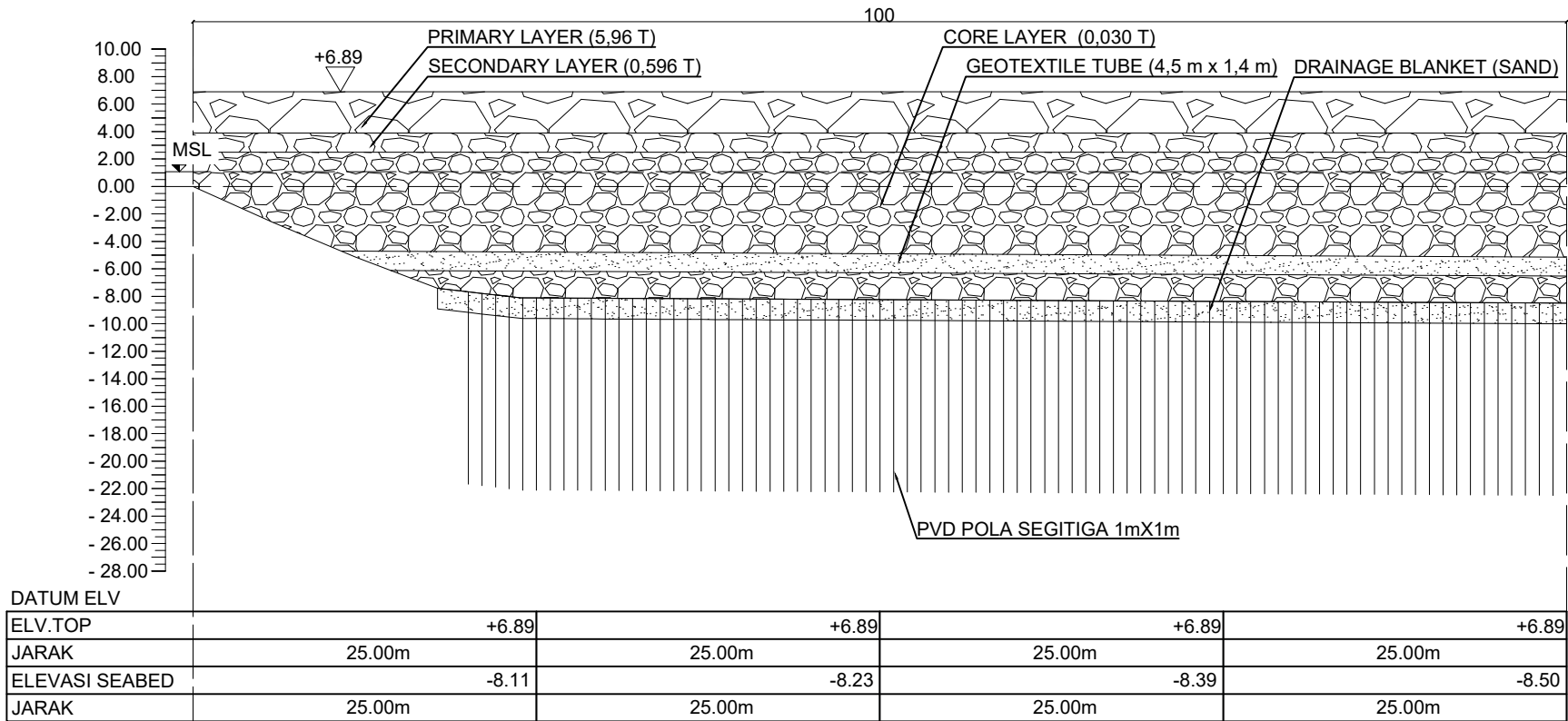
Satuan meter

NO.GAMBAR

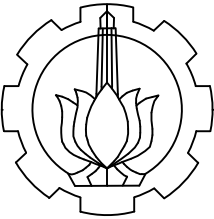
JUMLAH

05

25



Long Section CH. 0.00 - CH. 220
Skala 1 : 500



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Long Section CH.220 -
CH.476

SKALA

Skala 1 : 800

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

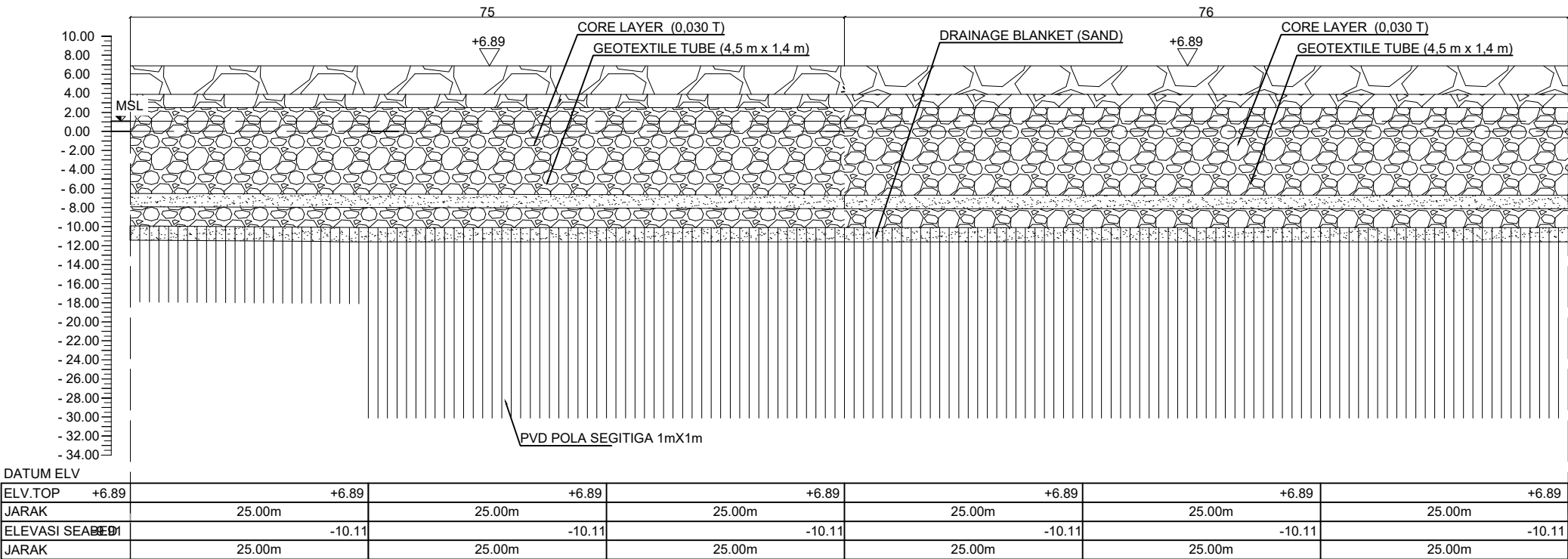
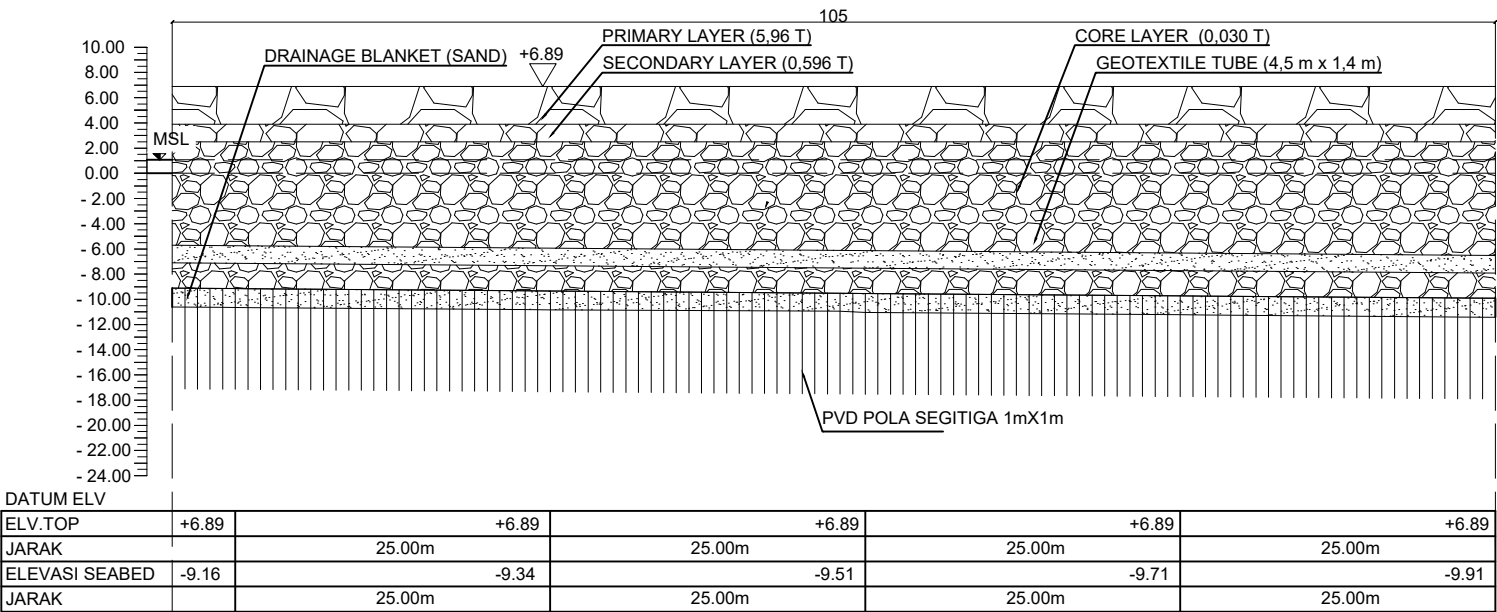
Satuan meter

NO.GAMBAR

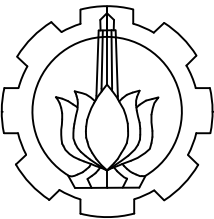
JUMLAH

06

25



⊕ Long Section CH.220 - CH. 476
Skala 1 : 800



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Long Section CH.476 -
CH.646

SKALA

Skala 1 : 500

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

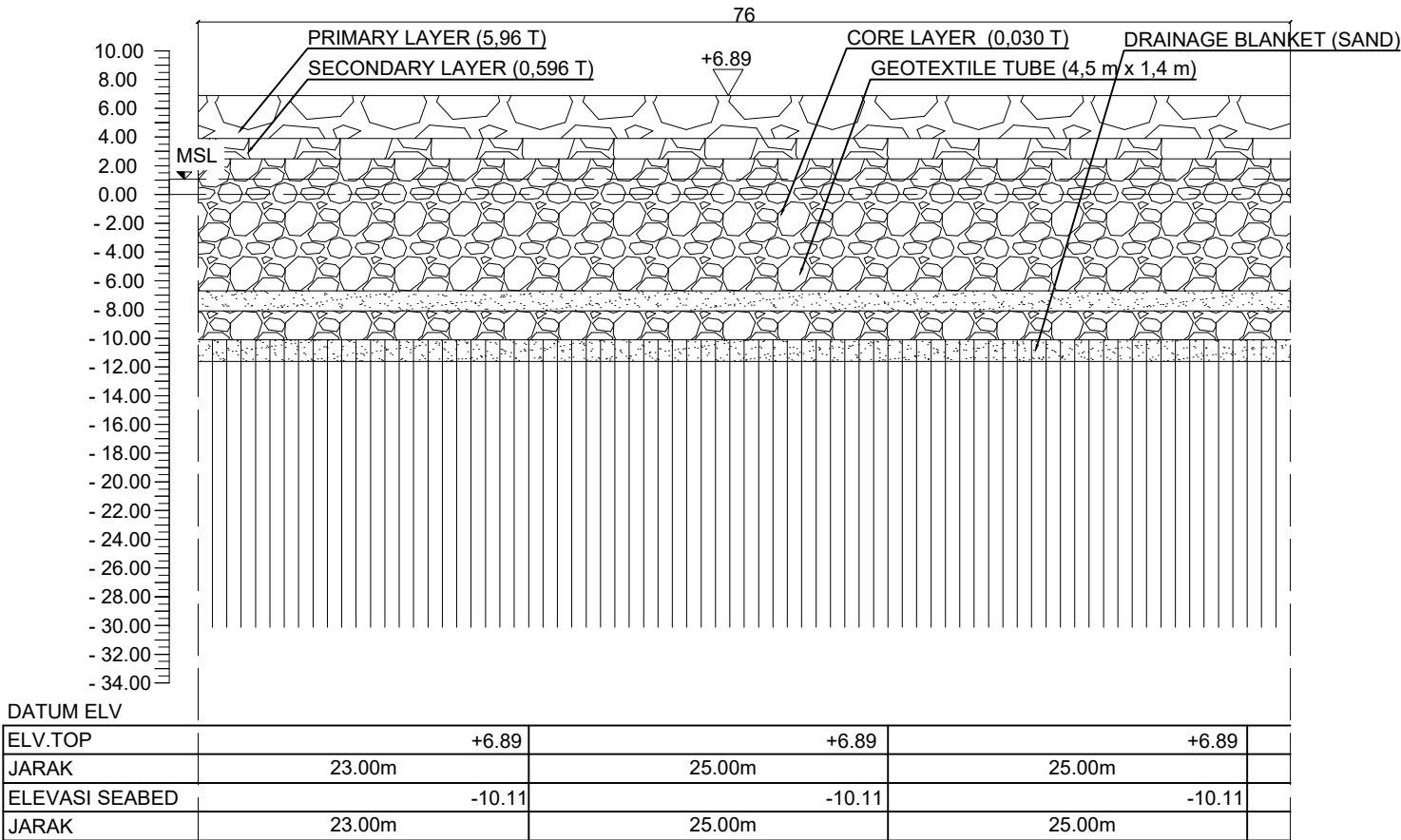
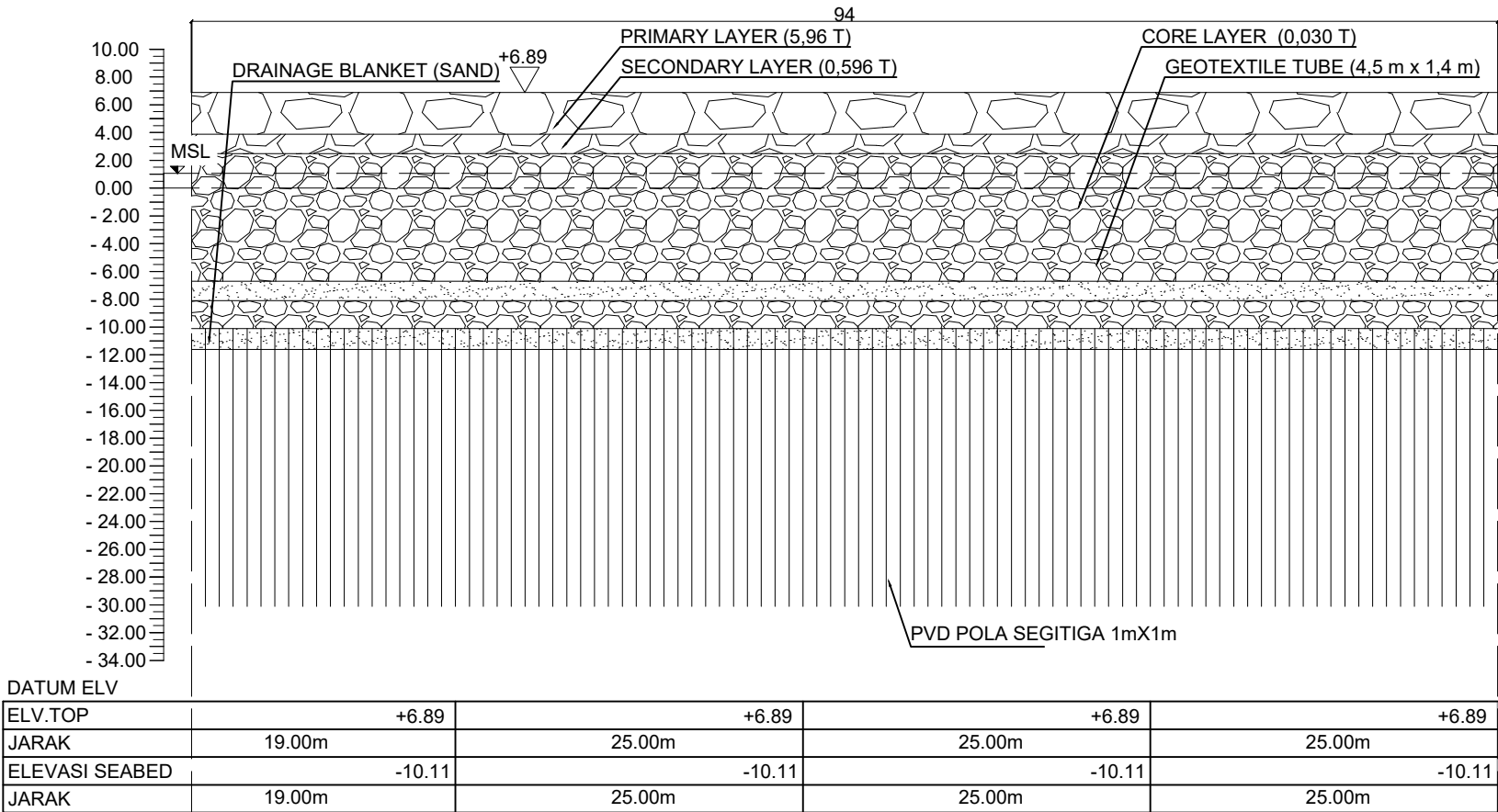
Satuan meter

NO.GAMBAR

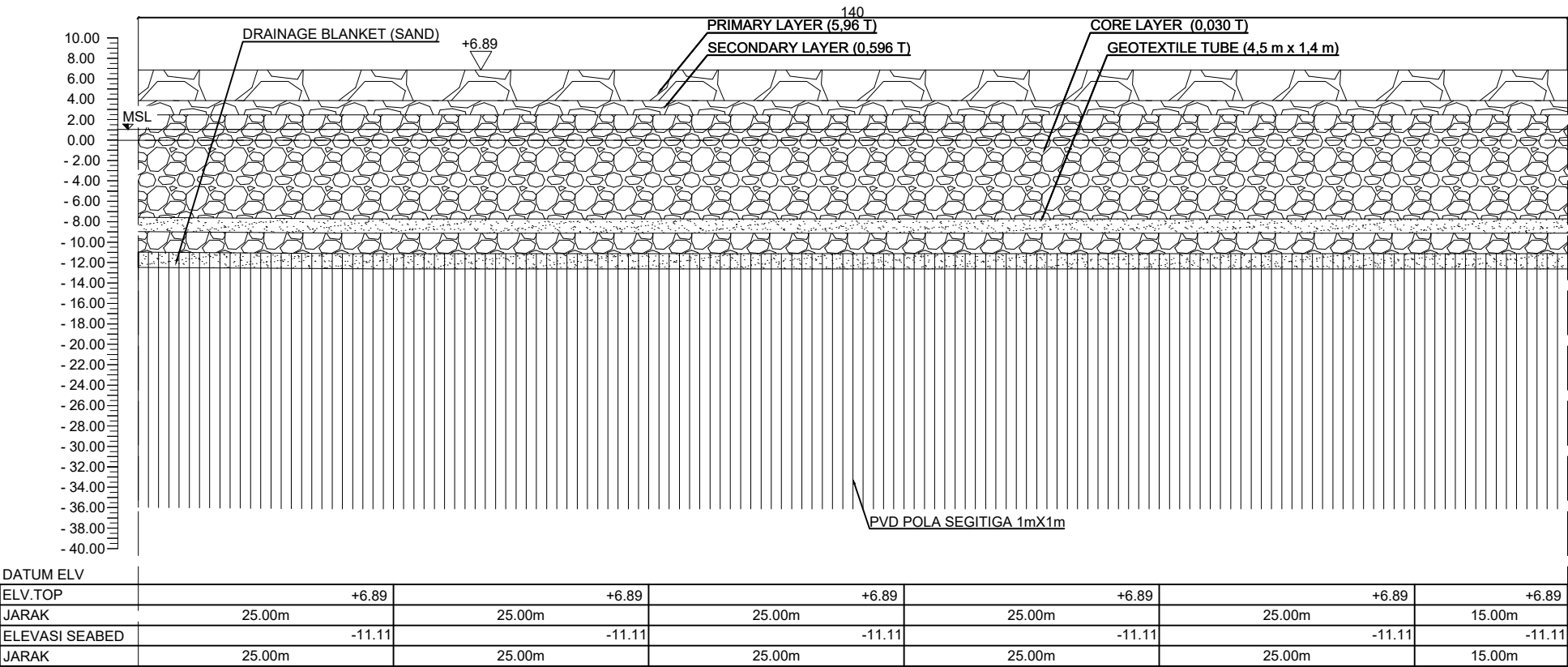
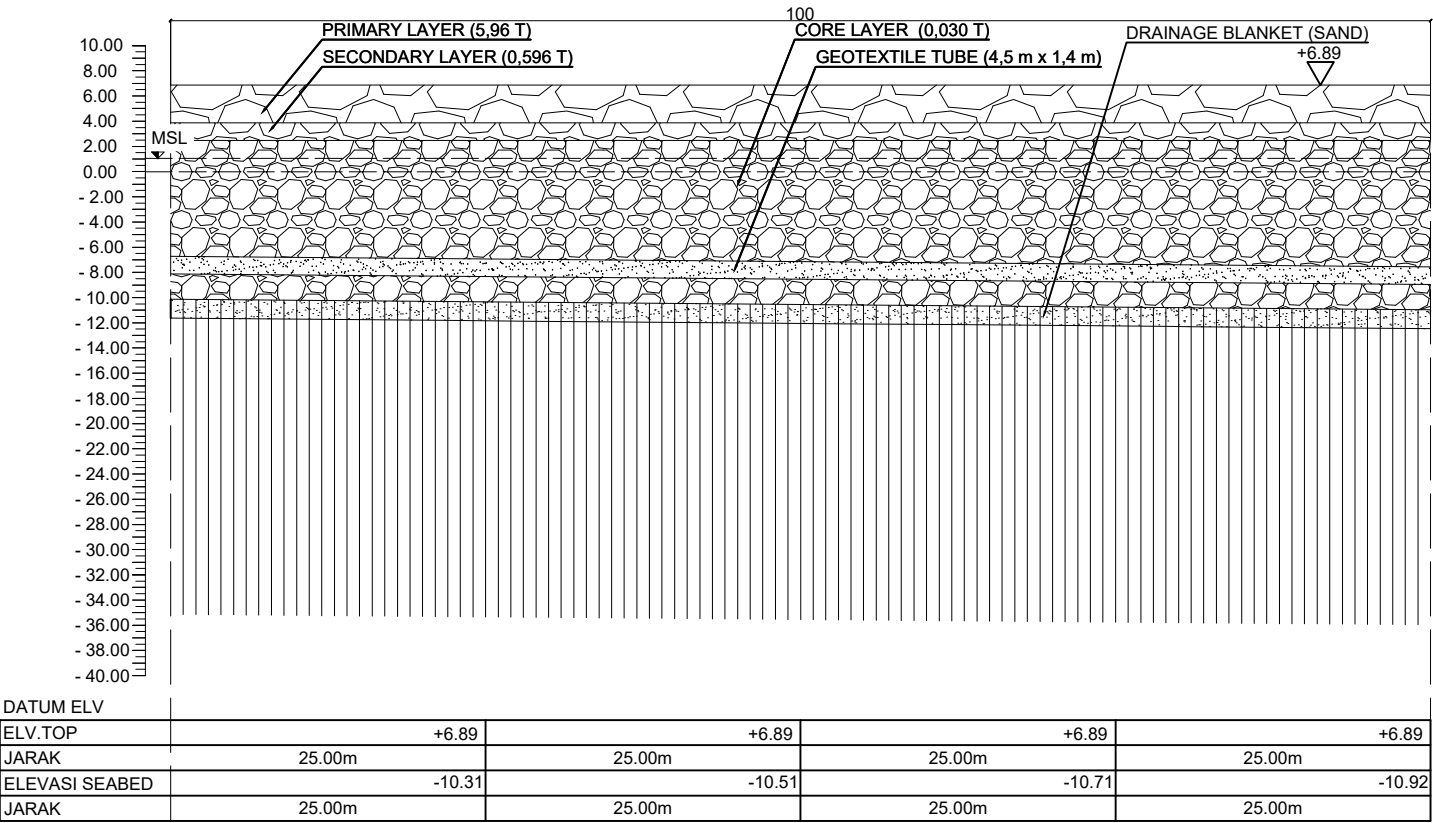
JUMLAH

07

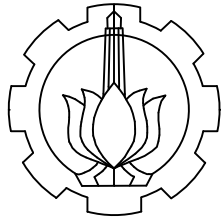
25



Long Section CH.476 - CH. 646
Skala 1 : 500



⊕ Long Section CH.646 - CH. 886
Skala 1 : 600



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Long Section CH.646 -
CH.886

SKALA

Skala 1 : 600

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

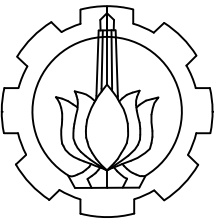
Satuan meter

NO.GAMBAR

JUMLAH

08

25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Long Section CH.886 -
CH.1086

SKALA

Skala 1 : 600

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

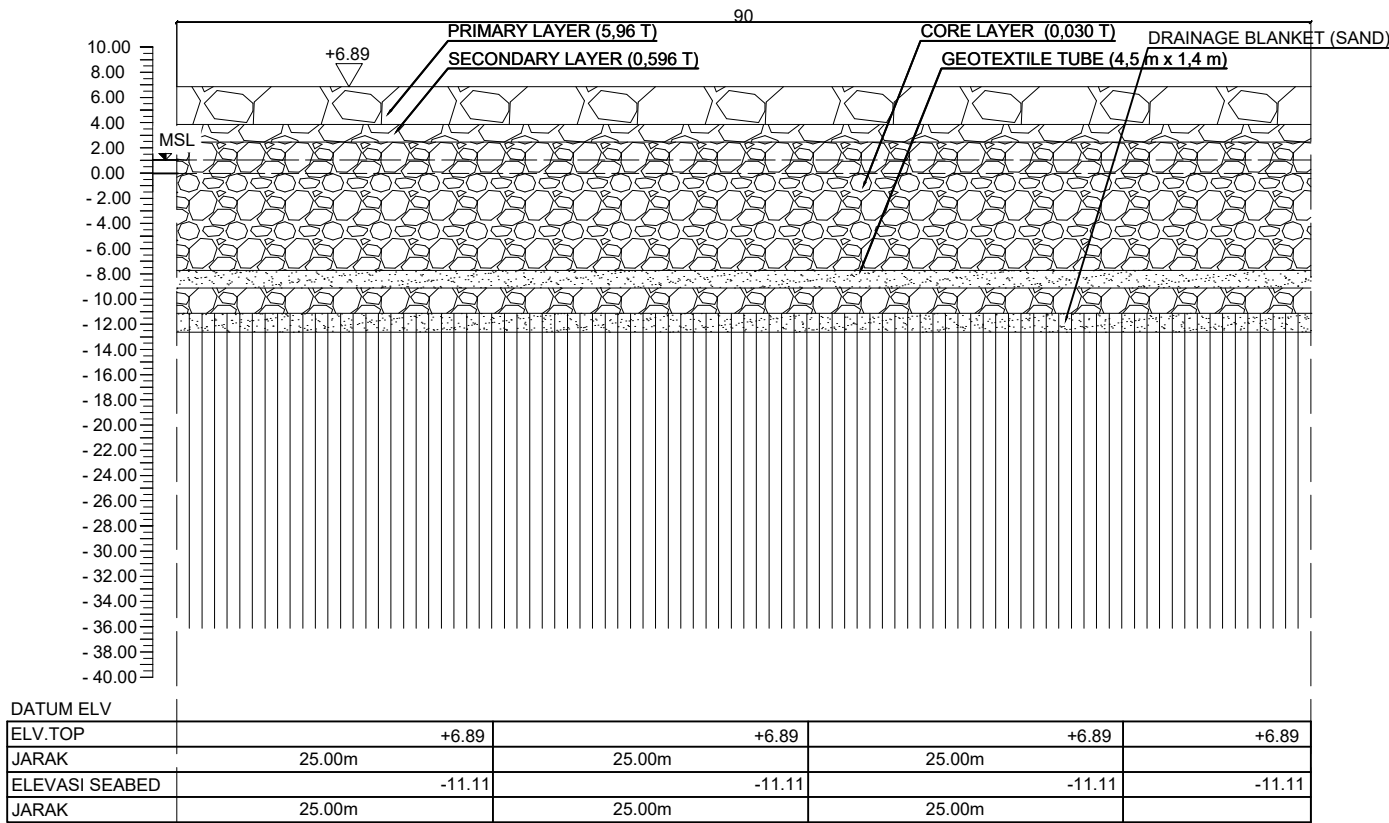
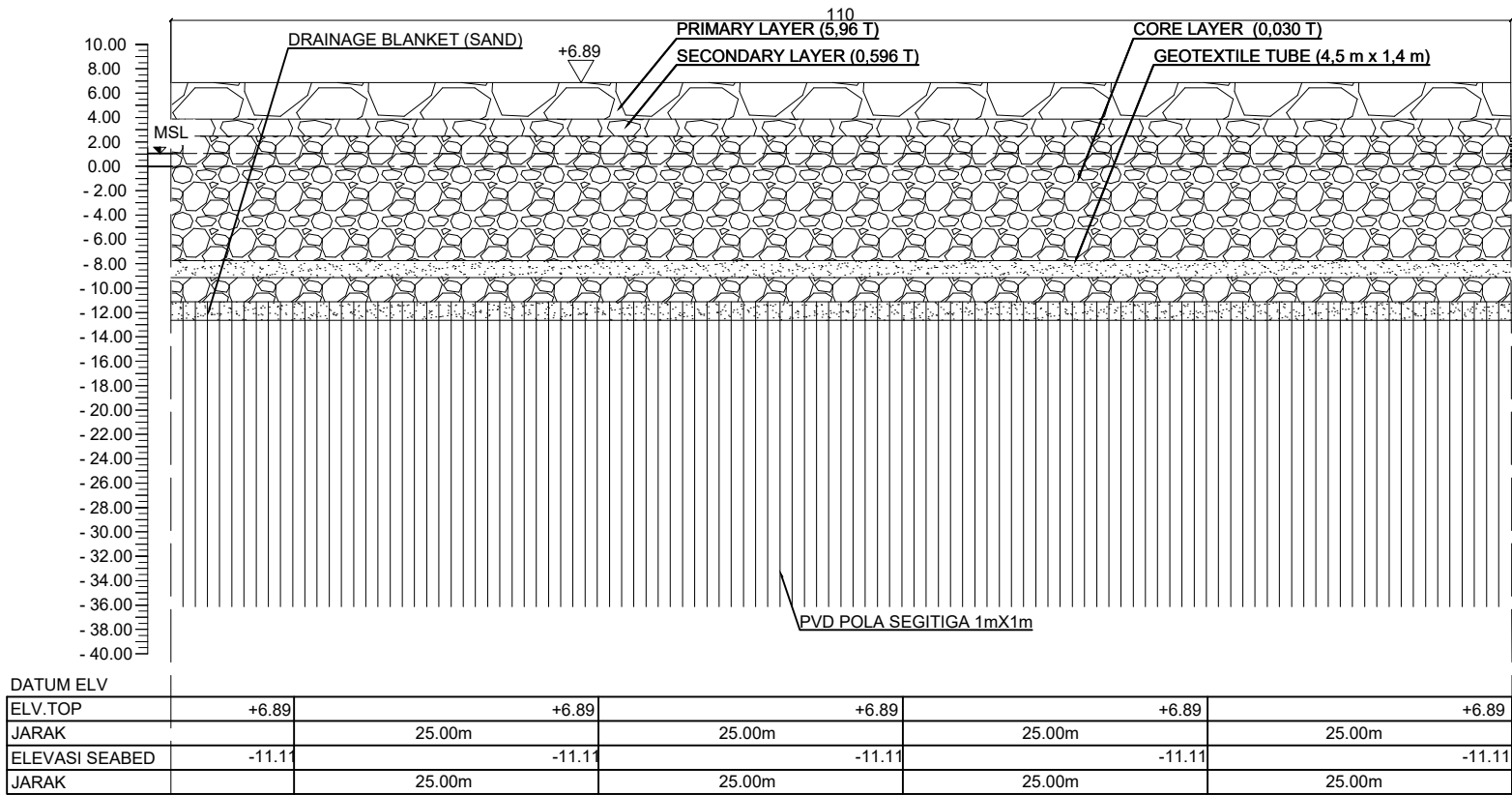
Satuan meter

NO.GAMBAR

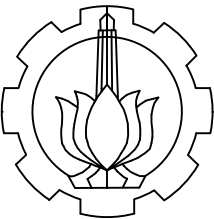
JUMLAH

09

25



⊕ Long Section CH.886 - CH. 1086
Skala 1 : 600



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Long Section CH.1086 -
CH.1286

SKALA

Skala 1 : 600

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

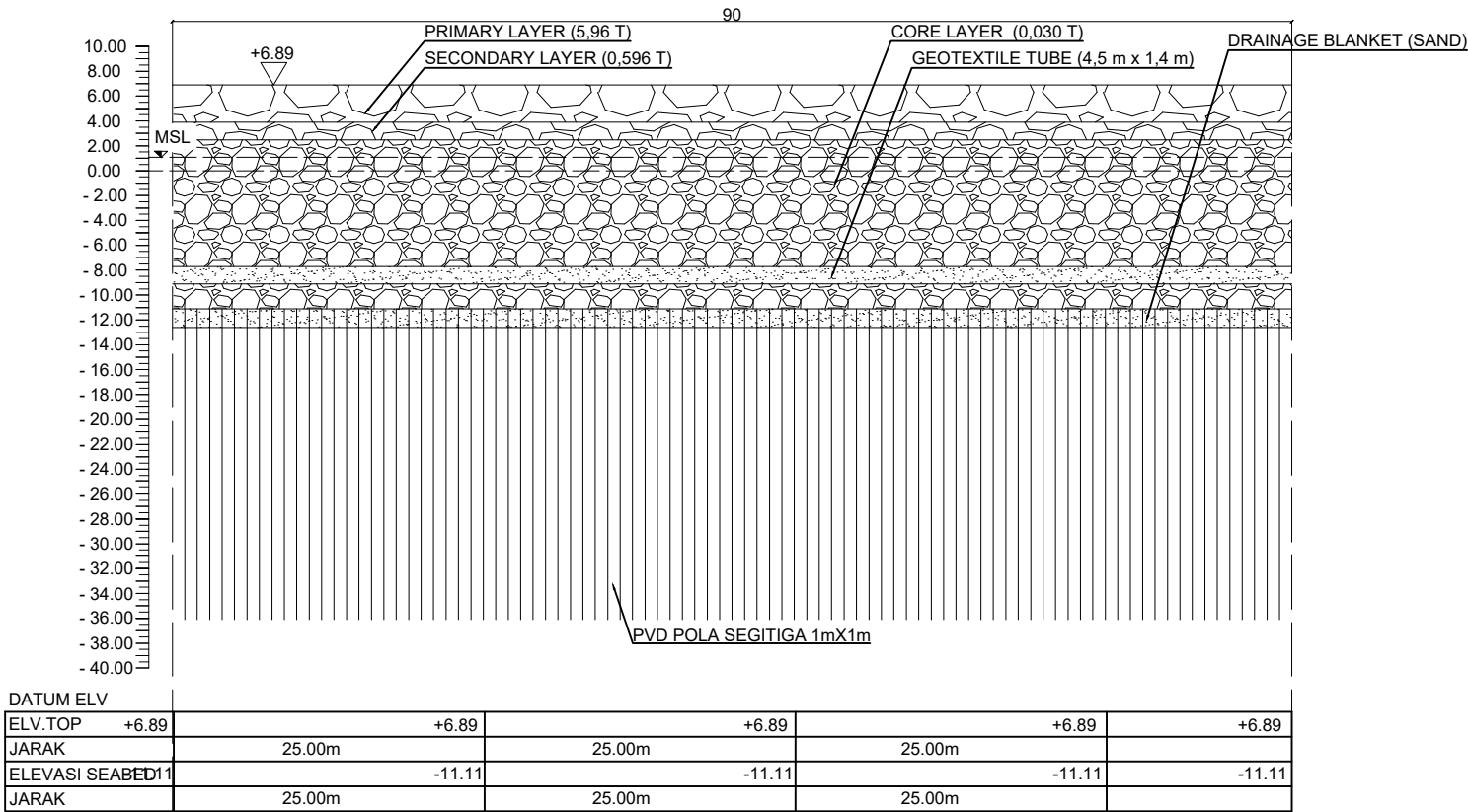
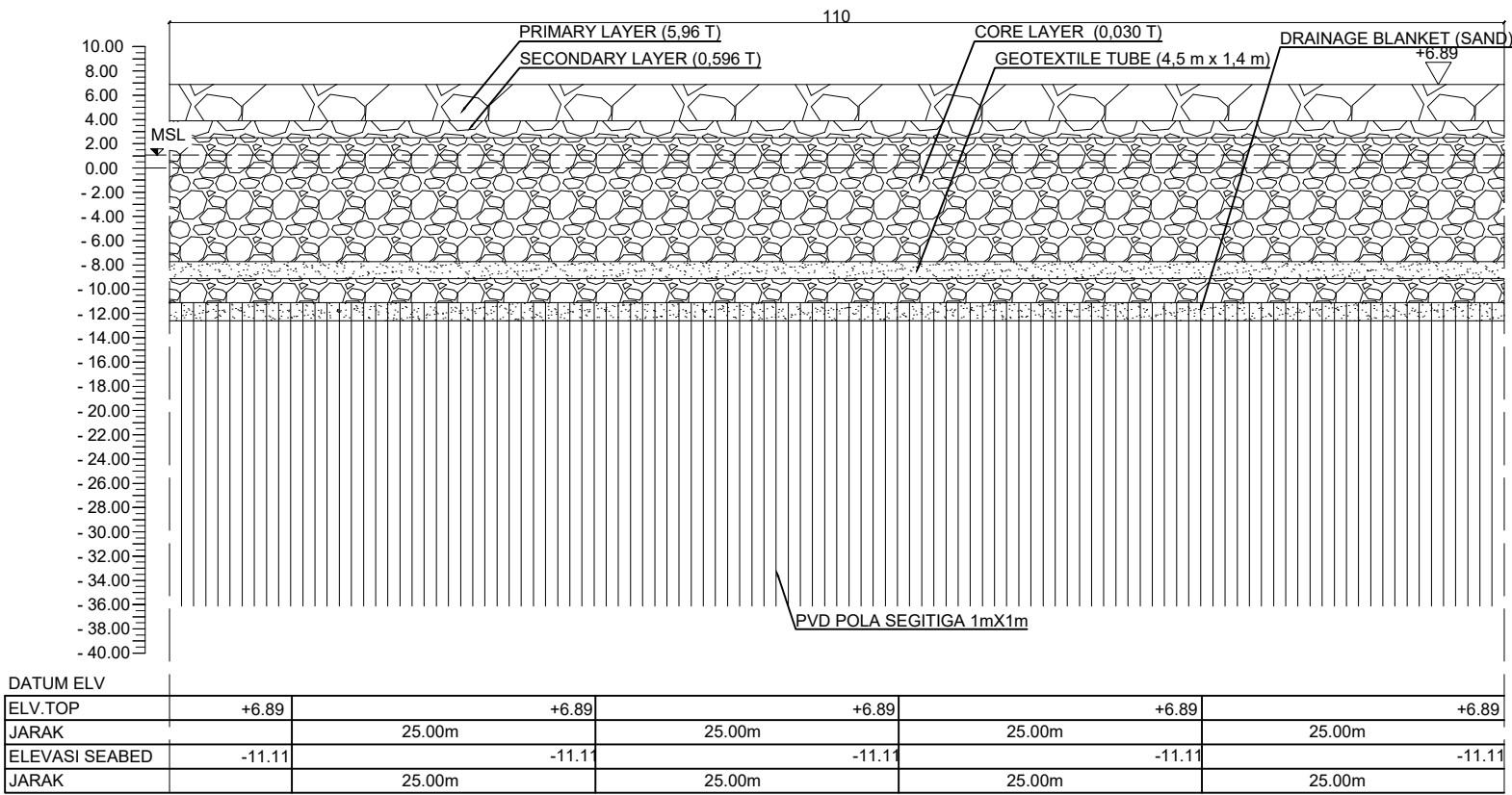
Satuan meter

NO.GAMBAR

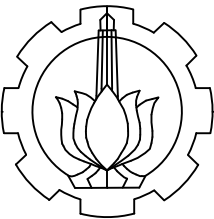
JUMLAH

10

25



⊕ Long Section CH.1086 - CH. 1286
Skala 1 : 600



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Long Section CH.1286 -
CH.1486

SKALA

Skala 1 : 600

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

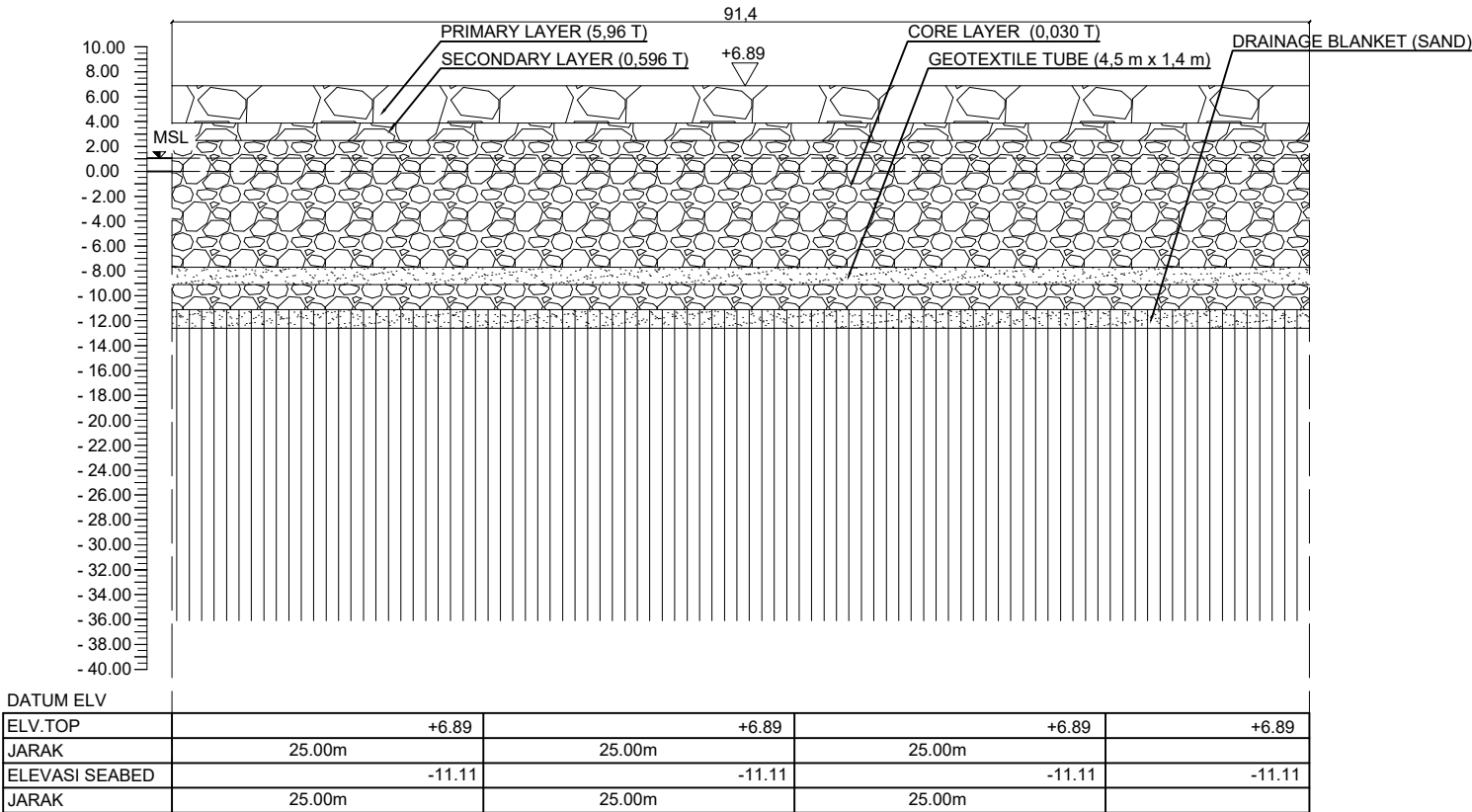
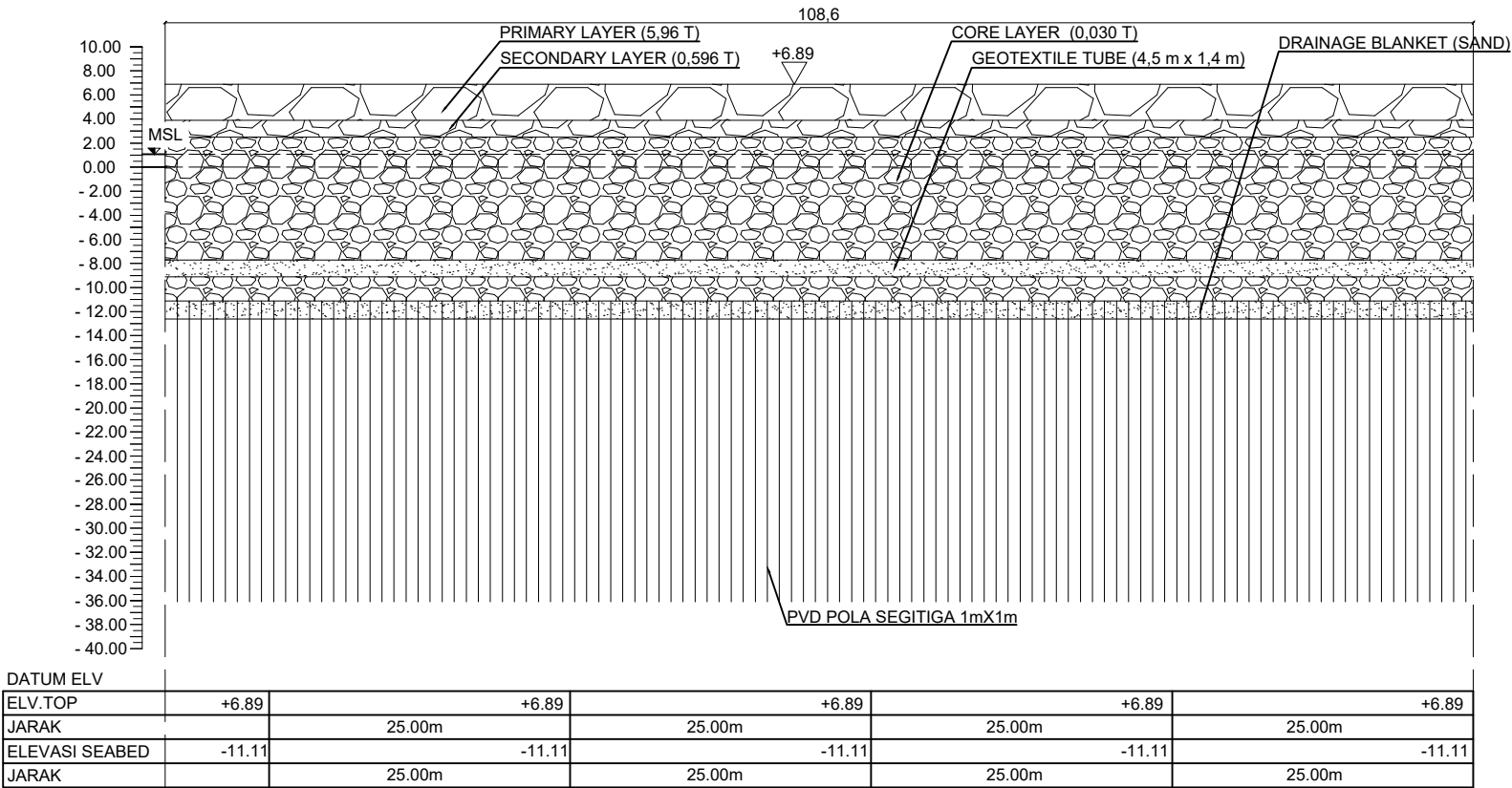
Satuan meter

NO.GAMBAR

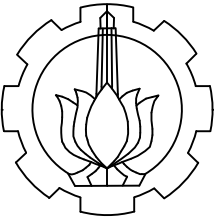
JUMLAH

11

25



⊕ Long Section CH.1286 - CH. 1486
Skala 1 : 600



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Long Section CH.1486 -
CH.1809,8

SKALA

Skala 1 : 800

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

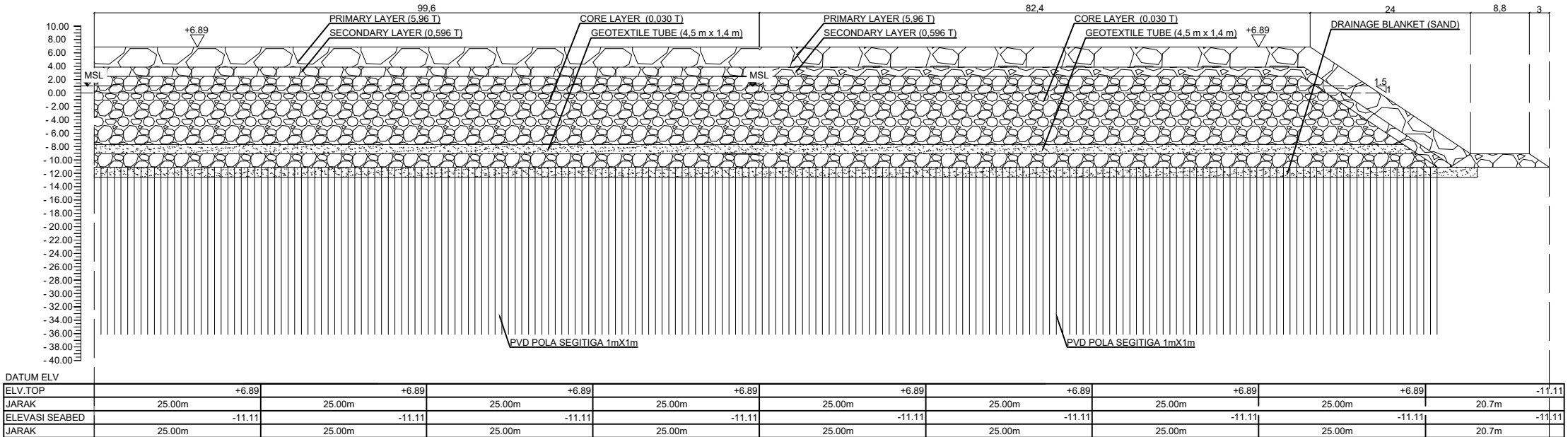
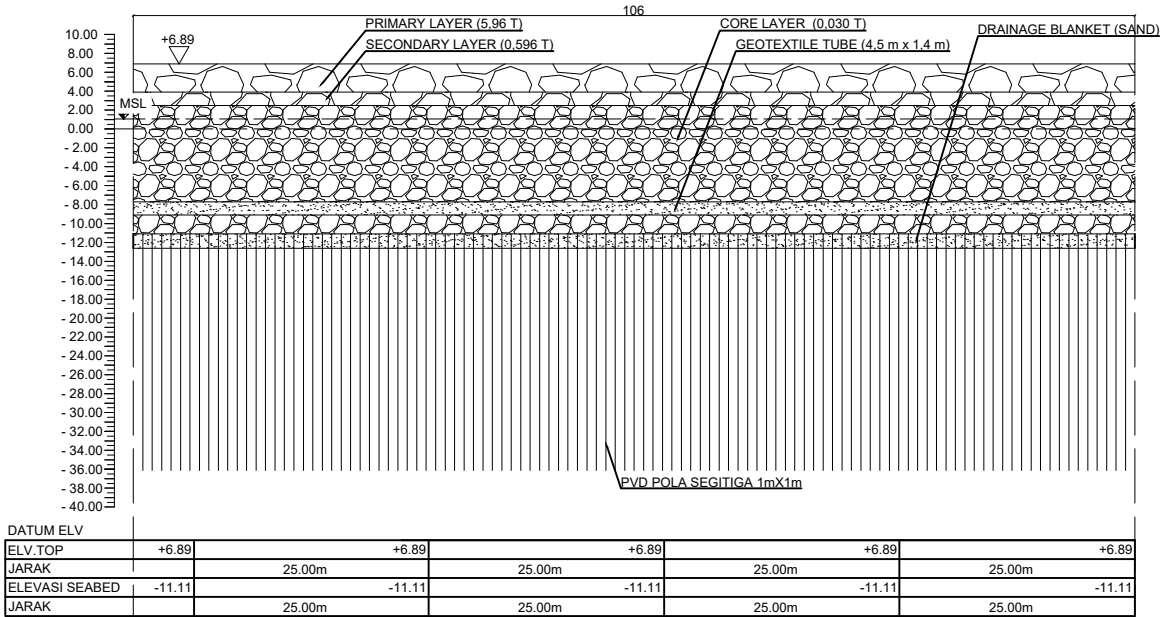
Satuan meter

NO.GAMBAR

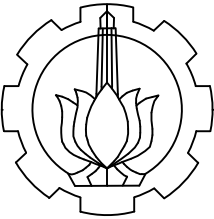
JUMLAH

12

25



Long Section CH.1486 - CH. 1809,8
Skala 1 : 800



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan A - A

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

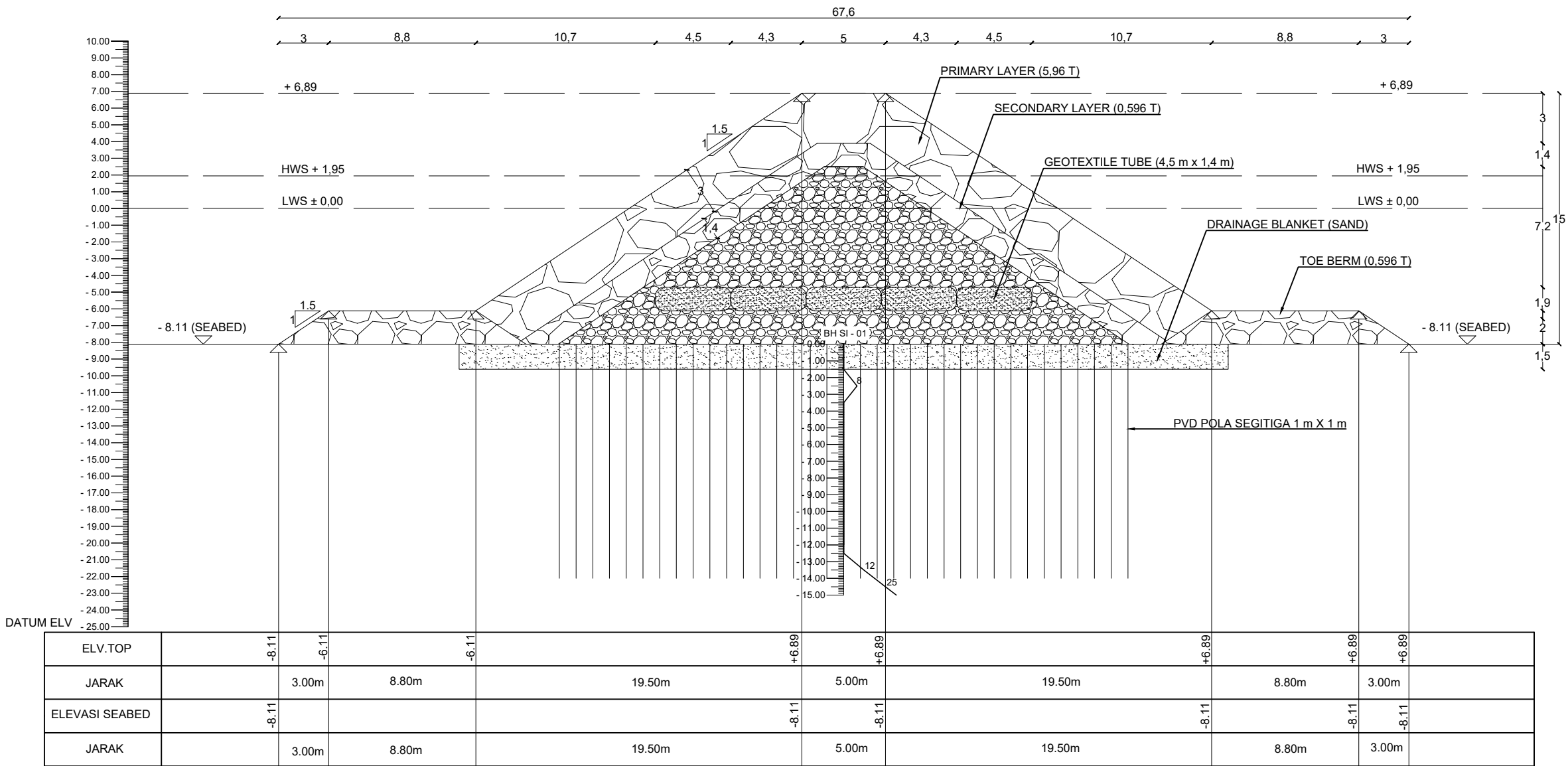
Satuan meter

NO.GAMBAR

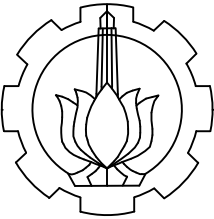
JUMLAH

13

25



Potongan A - A
Skala 1 : 300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan B - B

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

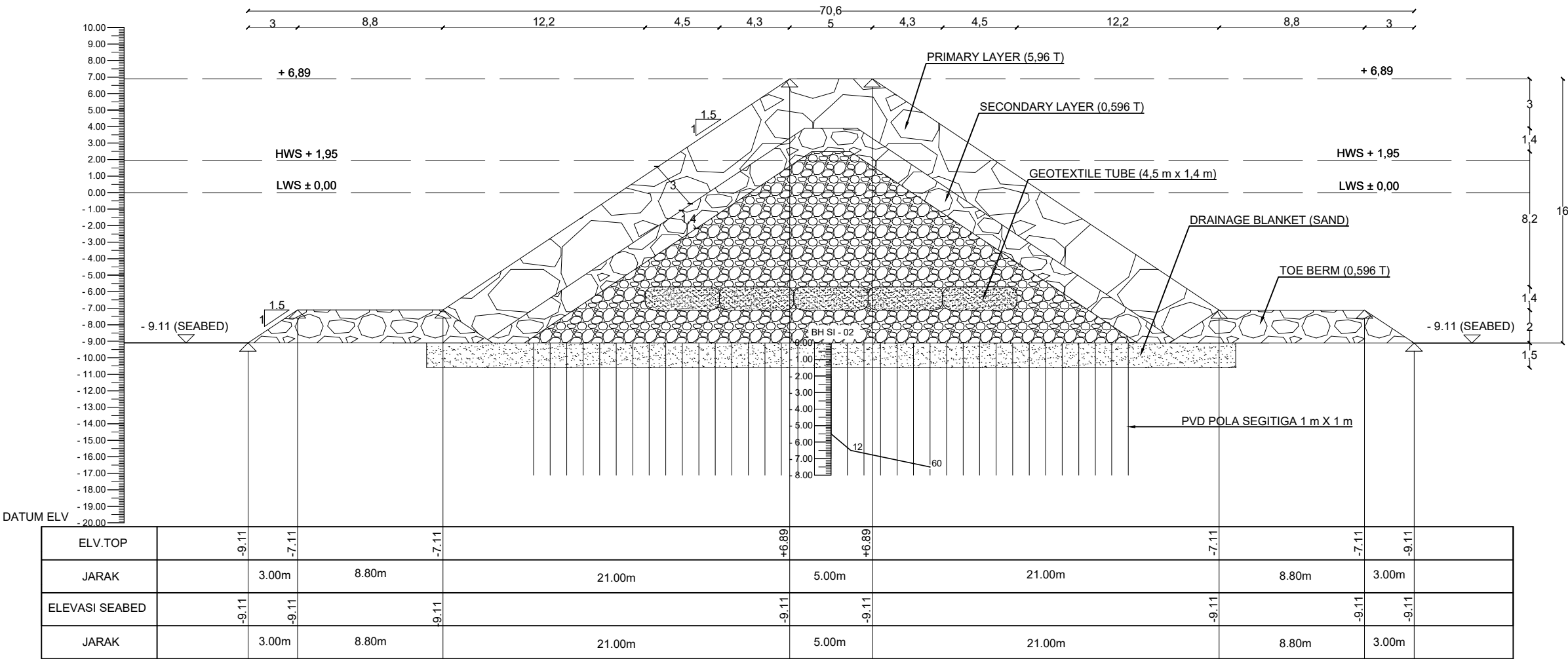
Satuan meter

NO.GAMBAR

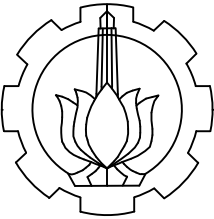
JUMLAH

14

25



Potongan B - B
Skala 1 : 300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan C - C

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

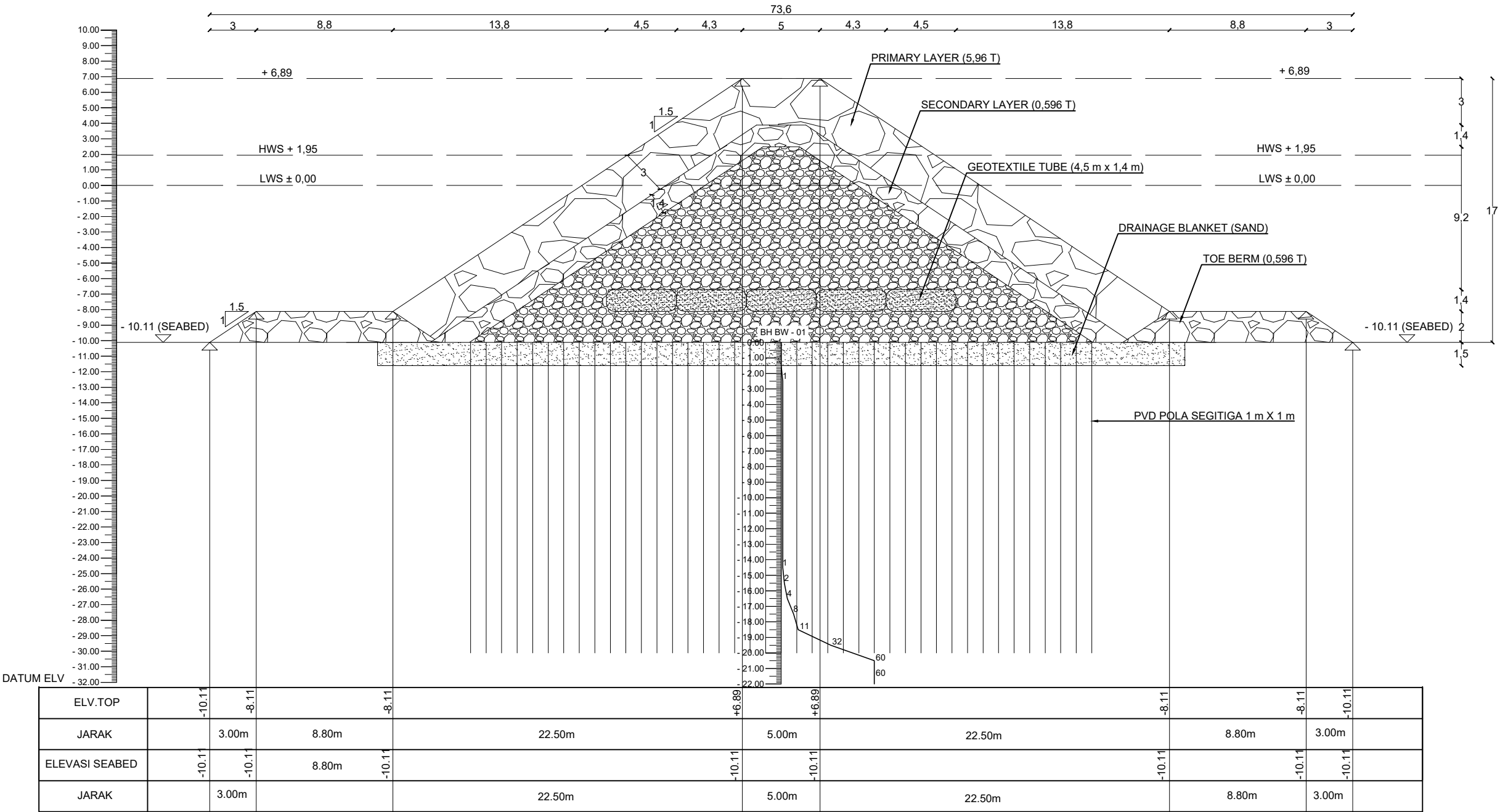
Satuan meter

NO.GAMBAR

JUMLAH

15

25



Potongan C - C
Skala 1 : 300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan D - D

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

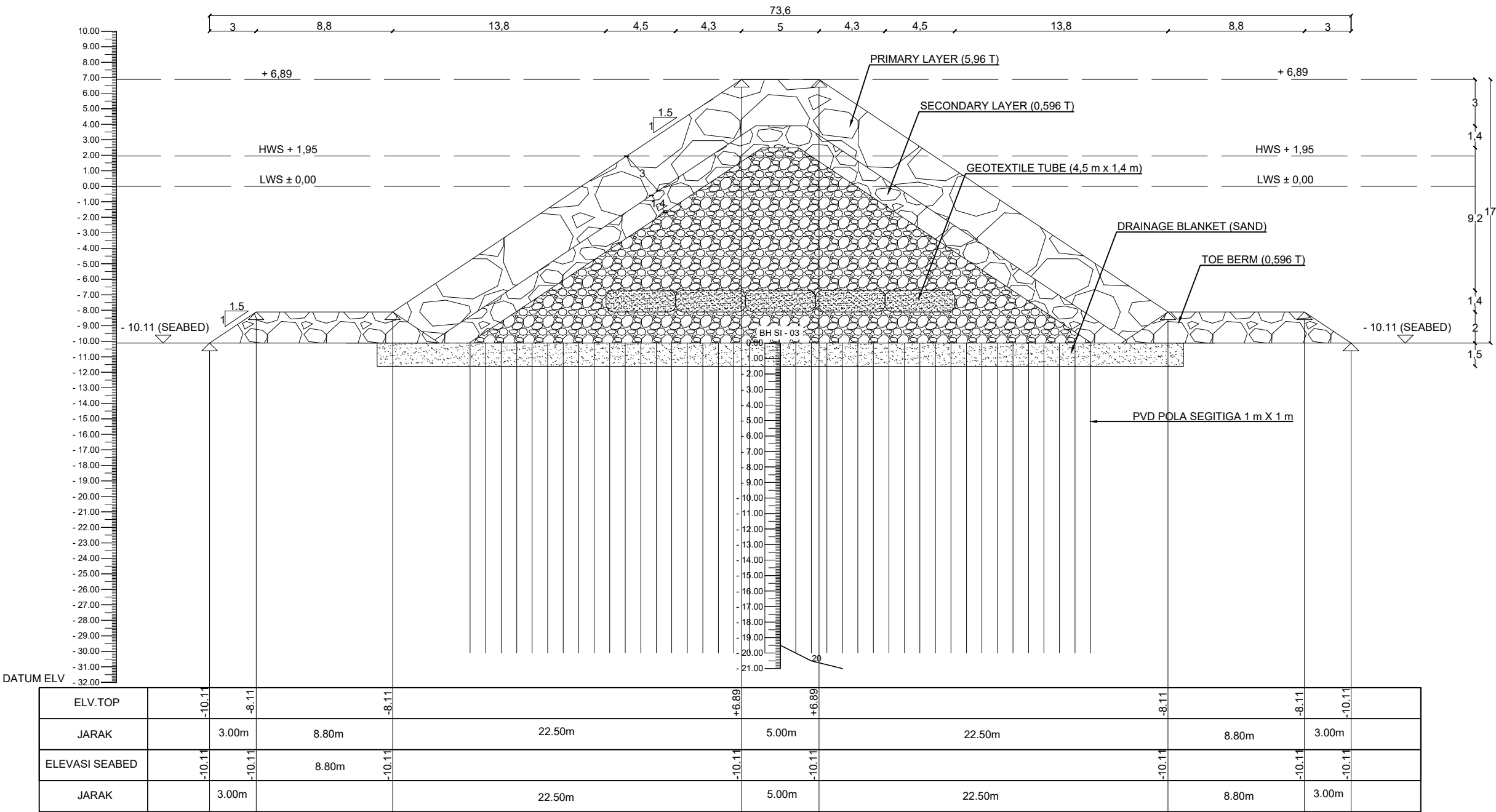
Satuan meter

NO.GAMBAR

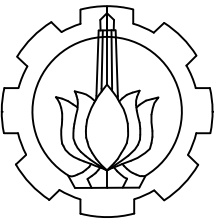
JUMLAH

16

25



Potongan D - D
Skala 1 : 300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan E - E

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

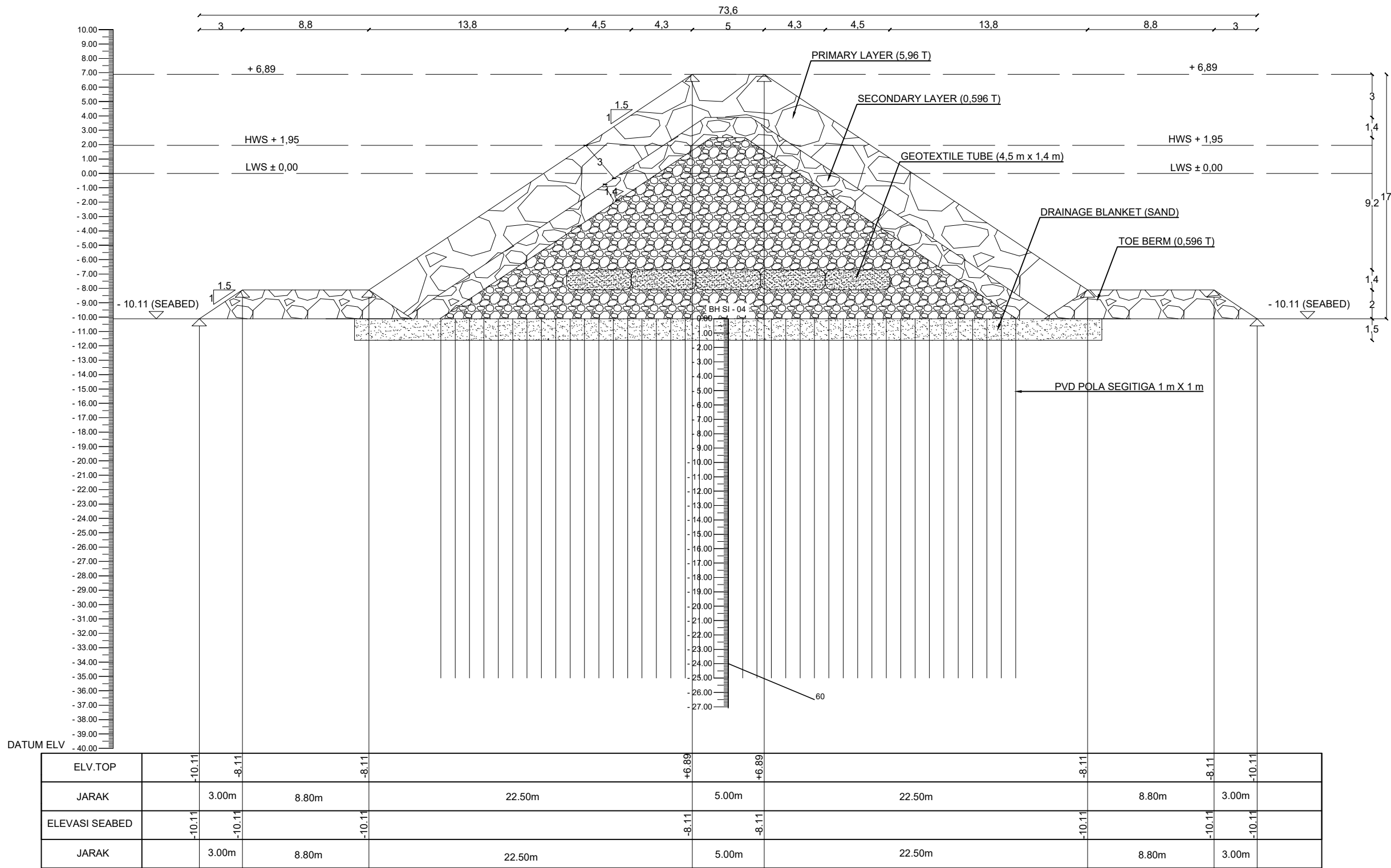
Satuan meter

NO.GAMBAR

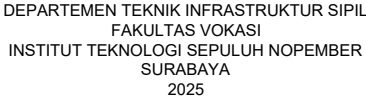
JUMLAH

17

25



Potongan E - E
Skala 1 : 300



PERENCANAAN BREAKWATER DI LAMONGAN SHOREBASE

Potongan F - F

Skala 1 : 300

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

Moh. Fadhlán Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.

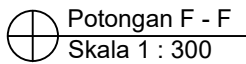
NIP 19970318 202406 1 003

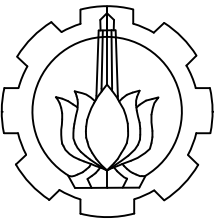
Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

Satuan meter

JUMLAH

25





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan G - G

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

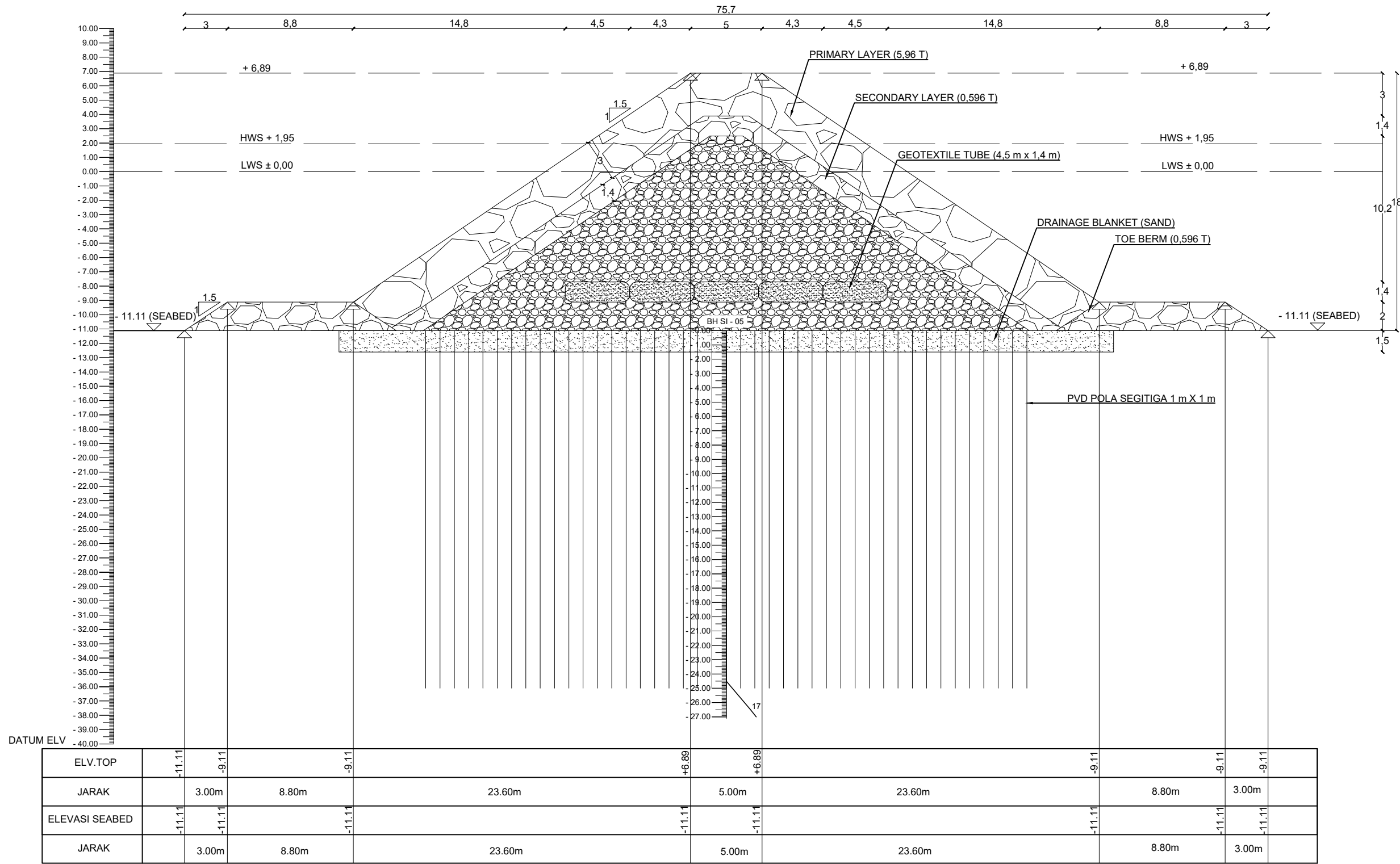
Satuan meter

NO.GAMBAR

JUMLAH

19

25



Potongan G - G
Skala 1 : 300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan H - H

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

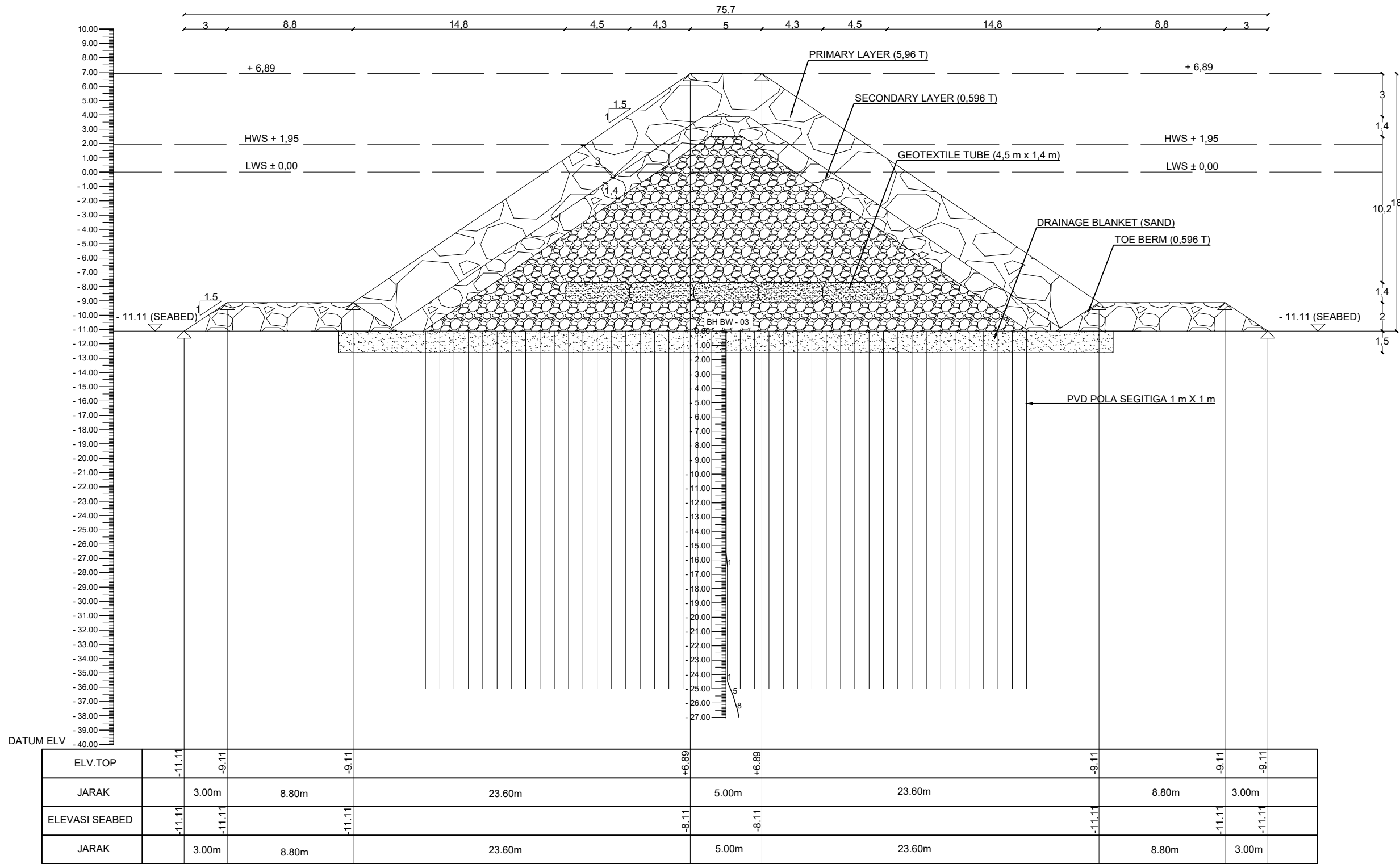
Satuan meter

NO.GAMBAR

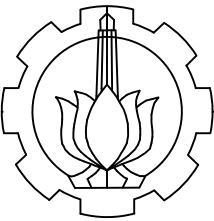
JUMLAH

20

25



Potongan H - H
Skala 1 : 300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan I - I

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

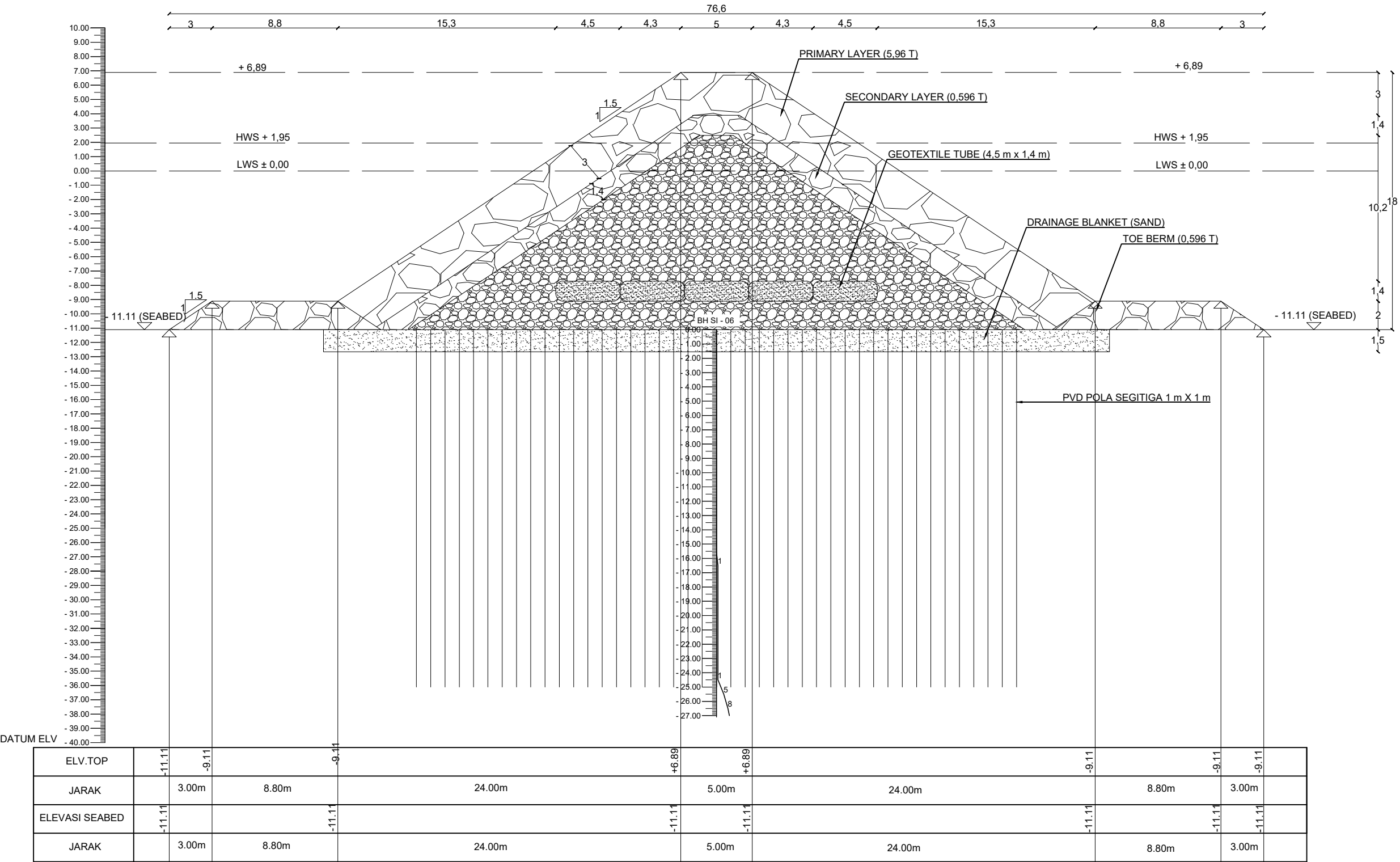
Satuan meter

NO.GAMBAR

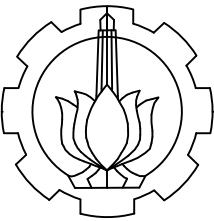
JUMLAH

21

25



Potongan I - I
Skala 1 : 300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan J - J

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

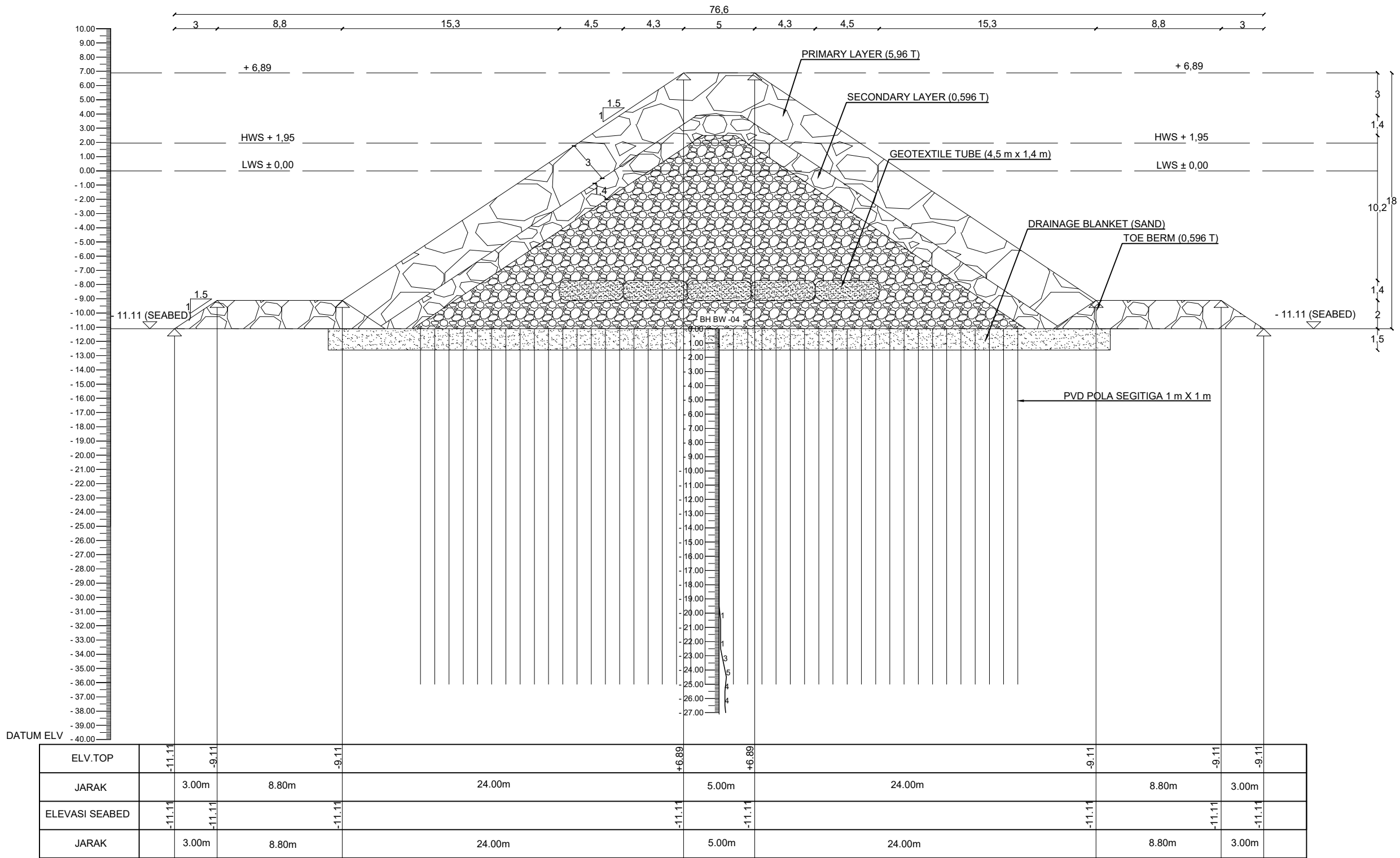
Satuan meter

NO.GAMBAR

JUMLAH

22

25



Potongan J - J
Skala 1 : 300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Potongan K - K

SKALA

Skala 1 : 300

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

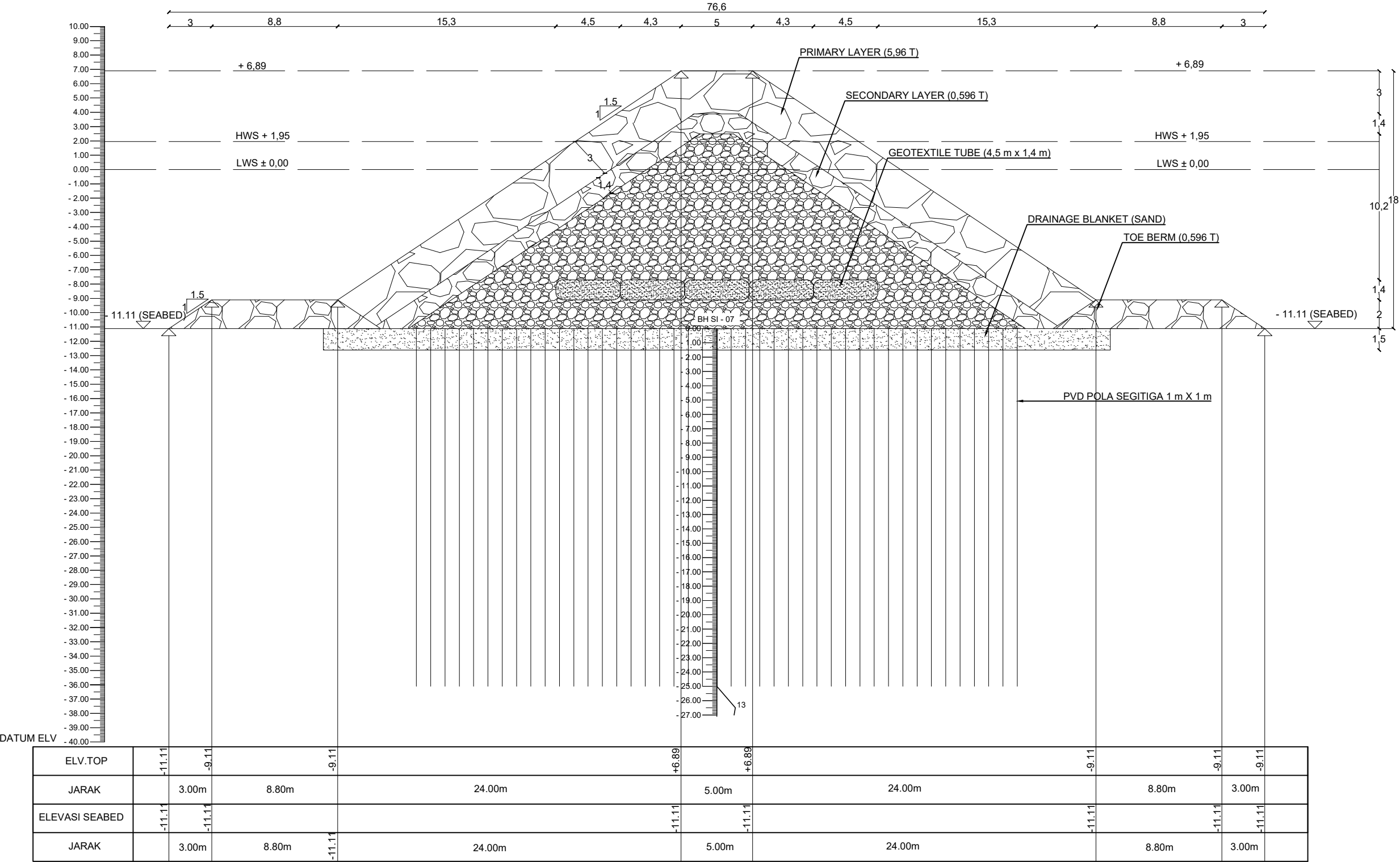
Satuan meter

NO.GAMBAR

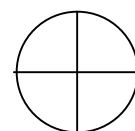
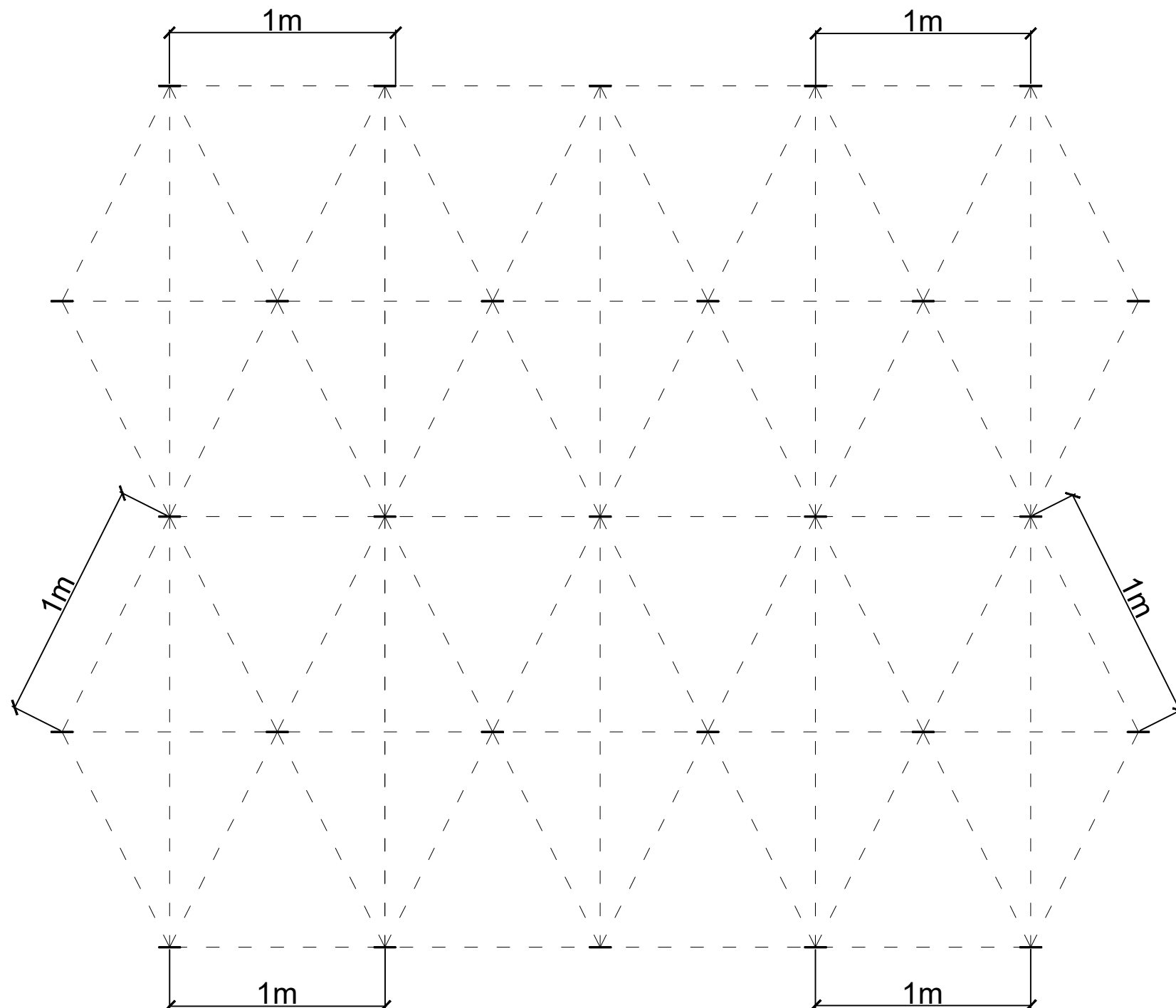
JUMLAH

23

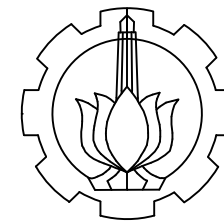
25



Potongan K - K
Skala 1 : 300



Detail Pemasangan Prefabricated Vertical Drain (PVD) Pola Segitiga 1m
Skala 1 : 25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Detail Pemasangan
Prefabricated Vertical Drain
(PVD) Pola Segitiga 1 m

SKALA

Skala 1 : 25

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

Satuan meter

NO.GAMBAR

JUMLAH

24

25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2025

PROYEK AKHIR

PERENCANAAN
BREAKWATER DI
LAMONGAN SHOREBASE

JUDUL GAMBAR

Detail Geotextile Tube

SKALA

Skala 1 : 100

DOSEN PEMBIMBING 1

Dr. Ir. Hendra Wahyudi, M.T.
NIP 19630426 198803 1 003

DOSEN PEMBIMBING 2

Moh. Fadhlan Rosyidi,
S.Tr.T., M.T.
NIP 19970318 202406 1 003

NAMA MAHASISWA

Bima Ardyan Wijaya
NRP 2036211016

KETERANGAN

Satuan meter

NO.GAMBAR

JUMLAH

25

25

