

Analisis Penurunan Lapisan Tanah di Bawah Struktur Breakwater Timur Laut Pelabuhan Patimban

Analysis of Settlement of Subsoil Under the Northeast Breakwater Structure of Patimban Port

Cokorda Bagus Purnama Dwisa^{1*}, Ali Sumara El Khomeiny², Wahyono Bimarso³, Muhammad Farhan Abdilah⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Transportasi dan Logistik, Institut Transportasi dan Logistik Trisakti, Jl. IPN No.2, Cipinang Besar Selatan, Jakarta Timur 13410, Indonesia

*Email Korespondensi: farhanitltrisakti19@gmail.com

Abstract

Patimban Port is a port located in Pusakanagara sub-district, Subang Regency, West Java Province and is set to become the largest port on the east side of Jakarta. The condition of the port, which is directly facing the open sea, is always a challenge in traffic safety. In order to protect Patimban port, a breakwater building was built as an infrastructure to prevent wave hazards in the port waters area. After the breakwater building at Patimban port was completed in 2021, a problem arose, namely the decrease in breakwater as high as ± 2.7 m, which is known from the results of monitoring during the maintenance period for 730 days or for 2 years after the breakwater construction period. So that calculations are needed to determine the value of the immediate Settlement of 4.34 m, primary consolidation, secondary consolidation, and calculation of the time of the degree of consolidation that will occur in the next six years, so that further monitoring can be carried out in order to avoid a decrease in elevation again which can interfere with port activities due to the inability of the breakwater to withstand waves.

Keywords : *breakwater, Patimban port, primary consolidation, settlement, secondary consolidation.*

Abstrak

Pelabuhan Patimban merupakan pelabuhan yang terletak di kecamatan Pusakanagara, Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat dan disiapkan untuk menjadi Pelabuhan terbesar di sisi timur Jakarta. Kondisi pelabuhan yang berhadapan langsung dengan laut terbuka selalu mendapatkan tantangan dalam keamanan berlalu lintas. Guna melindungi pelabuhan Patimban, kemudian dibangunlah bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) sebagai infrastruktur pencegah bahaya gelombang di daerah perairan pelabuhan. Setelah bangunan *breakwater* di pelabuhan Patimban selesai dibangun pada tahun 2021 terdapat sebuah permasalahan yang muncul, yaitu terjadinya penurunan *breakwater* setinggi ± 2.7 m yang diketahui dari hasil *monitoring* dalam masa *maintenance* selama 730 hari atau selama 2 tahun setelah masa pembangunan *breakwater*. Hal ini menyebabkan diperlukannya perhitungan guna mengetahui nilai dari penurunan segera sebesar 4.34 m, penurunan konsolidasi primer, penurunan konsolidasi sekunder, serta perhitungan waktu derajat konsolidasi yang akan terjadi pada tahun ke enam mendatang, sehingga dapat dilakukan *monitoring* lebih lanjut agar menghindari terjadinya penurunan elevasi kembali yang dapat

mengganggu aktifitas kepelabuhan akibat tidak mampunya breakwater dalam menahan gelombang.

Kata kunci : *breakwater*, konsolidasi primer, konsolidasi sekunder, pelabuhan Patimban, penurunan segera.

A. Pendahuluan

Perkembangan zaman yang beriringan dengan meningkatnya kebutuhan manusia menjadikan pelabuhan sebagai tempat kegiatan bongkar muat barang berskala besar, dengan tujuan pengiriman barang dan muatan ke daerah lain, baik antar pulau, ekspor dan impor (Devita, 2023). Pelabuhan memiliki peran penting dalam mencapai sistem transportasi laut yang efektif dan efisien (Simamora, 2023). Efektifitas kegiatan di pelabuhanan masih terkendala oleh beberapa permasalahan. Permasalahan yang terjadi di pelabuhan diantaranya yang menyangkut hubungan antara kapal, muatan, dermaga dan lain-lain (Putri, 2023). Kemudian permasalahan lainnya yang terjadi di pelabuhan yaitu gelombang laut yang besar, sehingga mengakibatkan susahny kapal untuk bersandar. Disisi lain ketersediaan fasilitas penunjang pelabuhan yang terkadang kurang memadai.

Kondisi tersebut diatas menyebabkan pengelolaan pelabuhan menjadi belum berkelanjutan. Pengelolaan pelabuhan berkelanjutan sangat penting karena dapat menghasilkan kinerja pelabuhan yang baik. Pelabuhan berkelanjutan, antara lain dapat dicapai melalui penerapan pengelolaan pelabuhan berwawasan lingkungan, yang belum berjalan dengan baik di Indonesia (Haryani, 2023a). Disisi lain diketahui bahwasannya hasil dari analisis integrasi hubungan antara penyelenggara pelabuhan berwawasan lingkungan yang baik dapat berpengaruh positif terhadap kinerja suatu pelabuhan (Haryani, 2023b).

Pelabuhan Patimban merupakan pelabuhan yang terletak di kecamatan Pusakanagara, Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat dan disiapkan untuk menjadi Pelabuhan terbesar di sisi timur Jakarta. Pelabuhan Patimban saat ini tengah mempersiapkan fasilitas transportasi laut yang lebih memadai. Hal ini dapat dilakukan dengan membangun dan memelihara pelabuhan Patimban untuk menunjang aktifitas perekonomian tersebut, salah satunya diperlukan alur pelayaran dan kolam labuh yang aman terhadap gelombang (Syalasi & Saputro, 2022).

Kondisi pelabuhan yang berhadapan langsung dengan laut terbuka selalu mendapatkan tantangan dalam keamanan berlalu lintas (Taofiqurohman, 2021). Guna melindungi pelabuhan Patimban, kemudian dibangunlah bangunan pemecah gelombang (*breakwater*) sebagai infrastruktur pencegah bahaya gelombang di daerah perairan pelabuhan. *Breakwater* adalah struktur bangunan pantai yang dibangun guna melindungi fasilitas di daerah pesisir.

Kemudian untuk melindungi dari kondisi iklim yang menantang, bangunan ini memainkan peran penting, yaitu untuk melindungi pelabuhan dari hantaman gelombang serta mengurangi energi gelombang yang akan menghantam pelabuhan, sehingga gelombang yang datang dan menghantam pelabuhan sudah pecah dan tidak akan mengganggu aktivitas pelayaran di area perairan pelabuhan (Triatmodjo, 2009).

Pemecah gelombang sisi miring digunakan di daerah pantai dan area pesisir, umumnya di daerah yang memiliki tipe tanah lunak. Karena tingginya tingkat kompresibilitas dari tanah, penurunan substansial timbul selama masa pembangunan *breakwater* (Bayesteh & Mansouriboroujeni, 2020).

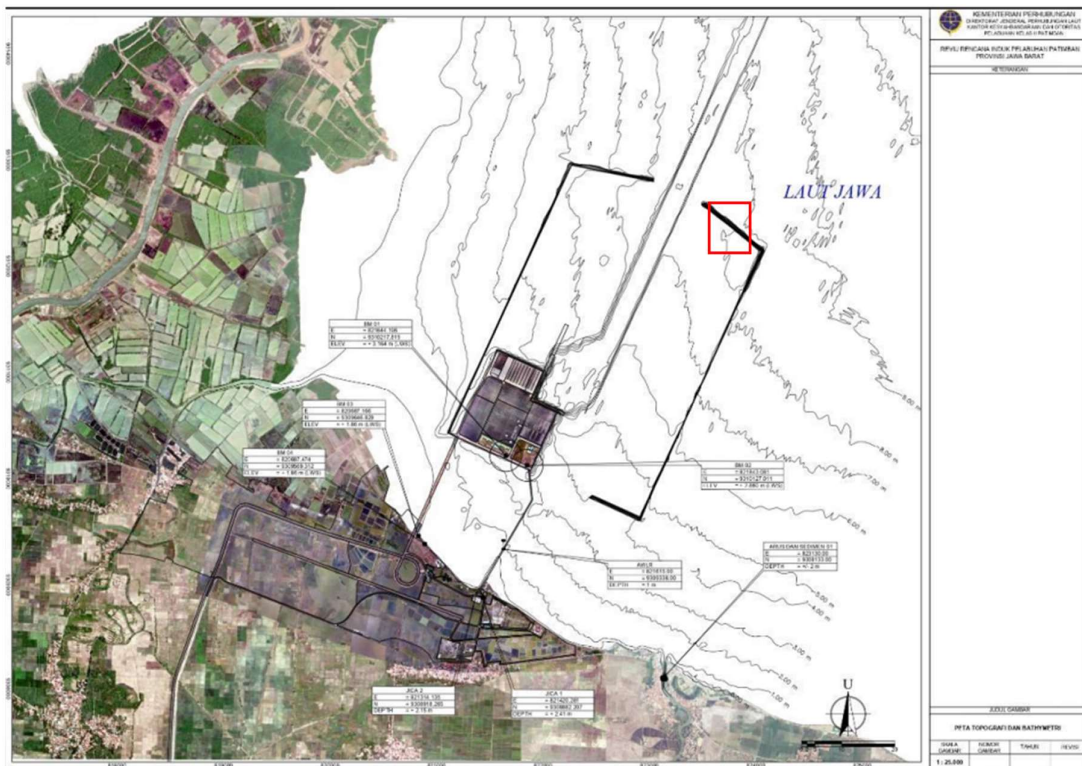
Proses pembangunan pemecah gelombang di pelabuhan Patimban ini telah dimulai dilaksanakan pada bulan Maret tahun 2019 dan diselesaikan pada bulan September 2021, dengan panjang pemecah gelombang ± 1.930 m (KSOP Kelas II Patimban, 2021). Kondisi geologi, geografi, hidrologi, dan karakteristik suatu tanah menjadi tinjauan keamanan dalam suatu struktur bangunan, terutama kondisi tanah yang fluktuatif yang sangat mempengaruhi struktur dari suatu bangunan, sehingga diperlukannya perencanaan yang sangat matang. Pelabuhan Patimban terletak di tanah *alluvial* lunak (Ginanjari, 2020). Kondisi tanah ini dapat menimbulkan masalah serius pada tanah, yang merupakan landasan dari struktur bangunan, karena kekuatan geser yang rendah dan kompresibilitas yang tinggi, yang dapat mengganggu kinerja dan fungsi dari struktur yang didukung (Ginanjari, 2020).

Setelah *breakwater* di pelabuhan Patimban selesai dibangun pada tahun 2021, terdapat sebuah permasalahan yang muncul saat ini yaitu terjadinya penurunan pemecah gelombang setinggi ± 2.7 m, yang diketahui dari hasil monitoring pada masa *maintenance* selama 730 hari atau selama 2 tahun setelah masa pembangunan *breakwater* (KSOP Kelas II Patimban, 2021). Agar penurunan yang akan terjadi di masa mendatang dapat diketahui, oleh sebab itu penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis terhadap nilai penurunan segera, penurunan konsolidasi primer, penurunan konsolidasi sekunder dan waktu derajat konsolidasi dari tanah dibawah permukaan *breakwater* pelabuhan Patimban, sehingga dapat diketahui nilai penurunannya dan dapat memilih perbaikan penurunan elevasi *breakwater* tersebut terhadap kondisi eksisting.

B. Metode Penelitian

Lokasi penelitian ini sebagaimana Gambar 1 berada di pelabuhan Patimban, Kabupaten Subang, Provinsi Jawa Barat. Pembangunan *breakwater* ini adalah salah satu pembangunan fasilitas di pelabuhan Patimban (Kementerian Perhubungan, 2022). Pembangunan *breakwater* ini dimulai pada bulan Maret 2019 dan selesai pada 30 September

2021, atau kurang lebih memerlukan waktu selama 941 hari kerja. Setelah pembangunannya dilakukan oleh pihak ketiga, berlaku masa *maintenance* selama 730 hari atau selama 2 tahun (KSOP Kelas II Patimban, 2021). Selama masa *maintenance* dilakukan *monitoring* dan ditemukan terjadinya penurunan pada bangunan eksisting pemecah gelombang. Kemudian dilakukan perbaikan *breakwater* kurang lebih berlangsung selama 3 bulan, dimulai dari bulan Mei sampai dengan bulan Juli 2023 (PatimOne Consul, 2023). Layout pelabuhan dapat dilihat pada Gambar 1 dan lokasi penurunan lapisan tanah yang diteliti ditandai dalam kotak berwarna merah pada Gambar 1.



Sumber : Excecutive Summary RIP Patimban (2018)

Gambar 1 Layout Pelabuhan Patimban dan Lokasi Penelitian Dalam Kotak Merah.

Penelitian ini menggunakan data sekunder sebagai sumber data yang didapatkan yaitu berupa desain awal dan perubahan *breakwater*, data tanah, dan data beban. Data sekunder didapatkan dari instansi atau perusahaan. Prosedur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2. Metode pengolahan data yang digunakan dalam perhitungan penurunan tanah dibawah *breakwater*, menggunakan metode manual Terzaghi dan juga metode akar waktu dalam menentukan waktu derajat konsolidasinya, sebagai berikut:

1. Perhitungan penurunan tanah

Perhitungan penurunan menggunakan metode Terzaghi, bahwa terdapat tiga perhitungan penurunan yaitu penurunan segera, penurunan konsolidasi primer dan penurunan konsolidasi sekunder (Das, 2022), dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

a. Perhitungan penurunan segera

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai penurunan segera adalah berikut ini:

$$p_i = p \cdot B \frac{1-\mu^2}{E} I_p \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan: p_i adalah penurunan elastis, p adalah tekanan bersih yang dibebankan, B adalah lebar pondasi (diameter untuk yang berbentuk lingkaran), μ adalah *poisson ratio*, E adalah modulus elastis tanah (modulus *young*), I_p adalah faktor pengaruh (*influence factor*) yang tidak mempunyai dimensi.

Dimana:

$$m_1 = \frac{\text{Panjang pondasi}}{\text{Lebar pondasi}} \dots\dots\dots(2)$$

b. Perhitungan penurunan konsolidasi primer

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai penurunan yang diakibatkan oleh konsolidasi primer adalah berikut ini:

$$S = \frac{C_c H}{1+e_o} \log \left(\frac{p_o + \Delta p}{p_o} \right) \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan: S adalah Penurunan Primer, C_c adalah Indeks Pemampatan, H adalah luas Penampang, e_o adalah angka pori, p_o adalah tekanan efektif, Δp adalah timbunan.

c. Perhitungan penurunan konsolidasi sekunder

Persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai penurunan yang diakibatkan oleh konsolidasi sekunder adalah berikut ini:

$$C_\alpha = \frac{\Delta e}{\log t_2 - \log t_1} = \frac{\Delta e}{\log(t_2/t_1)} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan: C_α adalah indeks pemampatan sekunder, Δe adalah perubahan angka pori, t_1, t_2 adalah waktu.

Besarnya konsolidasi sekunder dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$S_s = C'_\alpha H \log(t_2/t_1) \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan: e_p adalah angka pori akhir konsolidasi primer, H adalah tebal lapisan lempung.

Dimana:

$$C'_\alpha : C_\alpha / (1+e_p) \dots\dots\dots(6)$$

2. Perhitungan waktu derajat konsolidasi

Persamaan yang digunakan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan untuk mencapai suatu derajat konsolidasi (Das, 2022), adalah berikut ini:

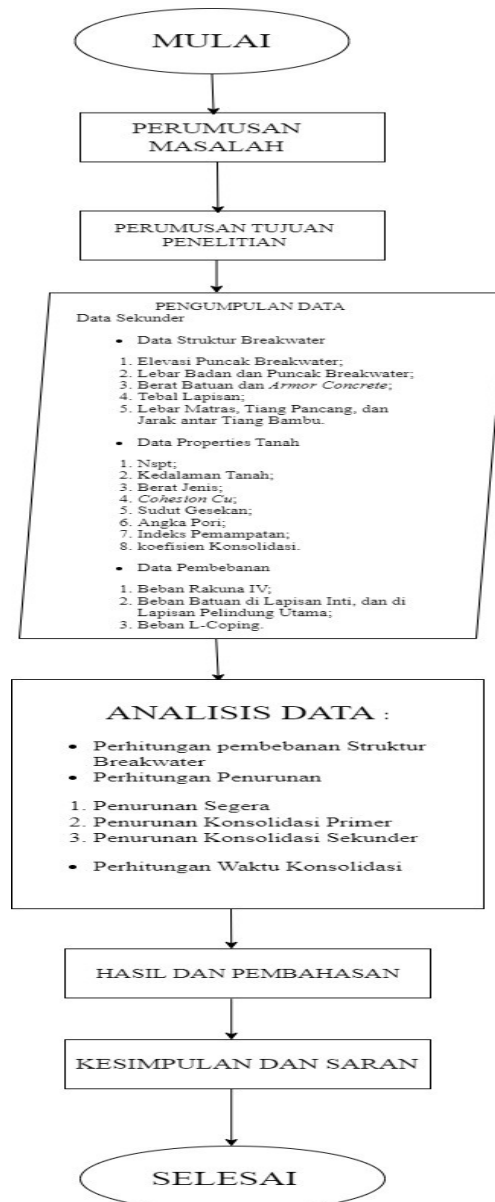
$$T_v = \frac{C_v t_v}{H_{dr}^2} \dots \dots \dots (7)$$

Atau:

$$C_v = \frac{T_v H_{dr}^2}{t_{50}} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan: H_{dr} adalah panjang aliran rata-rata yang harus ditempuh oleh air pori selama proses konsolidasi.

Prosedur penelitian sebagaimana diagram alir pada Gambar 2 dibawah ini.

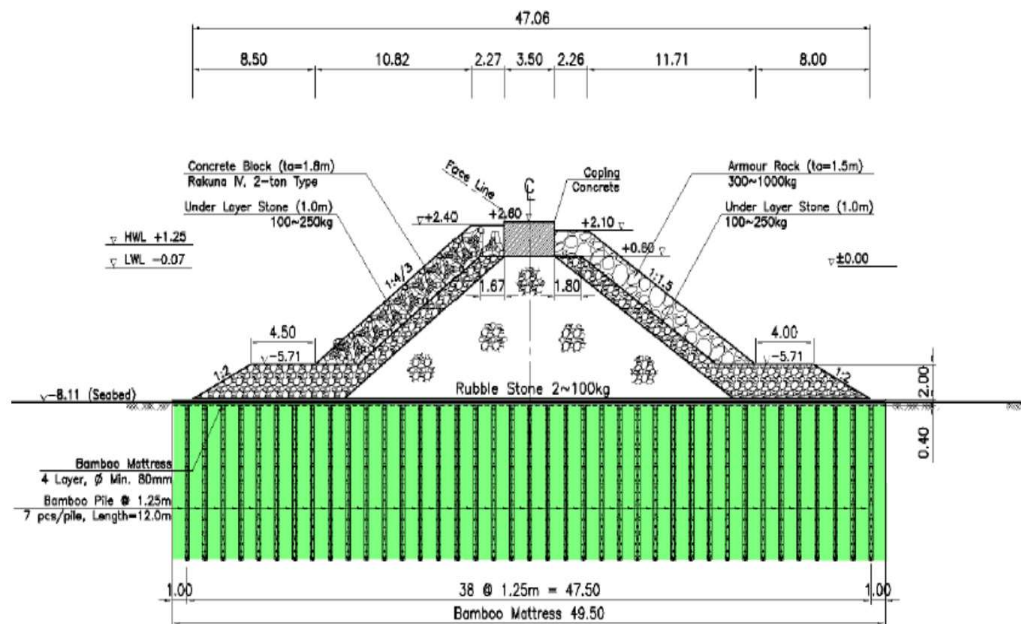


Sumber : Analisis Penelitian (2023)
Gambar 2 Diagram Alir Prosedur Penelitian

C. Hasil dan Pembahasan

1. Desain dan dimensi struktur breakwater

Desain awal *breakwater* di pelabuhan patimban menggunakan tipe *rubblemound breakwater*, dibangun diatas matras bambu dan juga tiang pancang bambu yang dipancang hingga lapisan tanah NSPT > 4 (JICA, 2017). *Breakwater* ini menggunakan lapisan pelindung utama berupa Rakuna IV yang berlisensi Nikken Kogaku Ltd. *Cross Section*. Desain awal *cross section breakwater* dapat dilihat di Gambar 3.

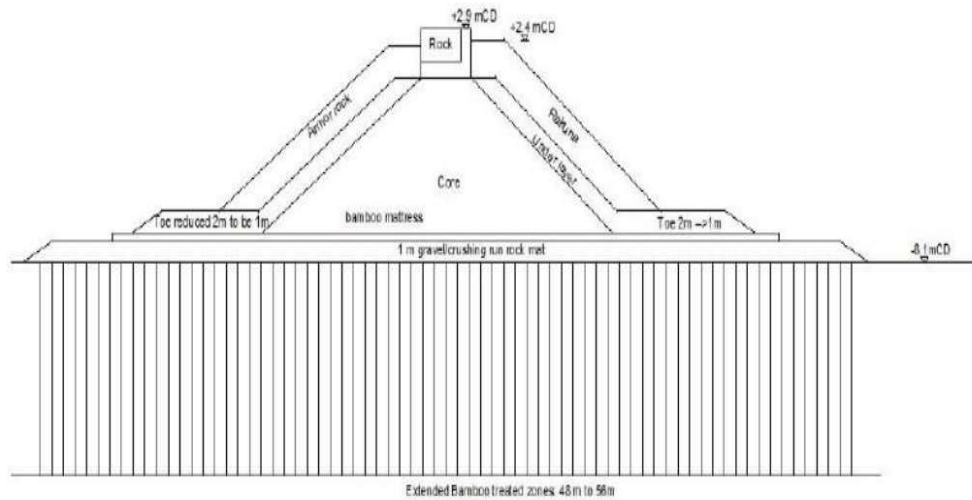


Sumber : JICA (2017)

Gambar 3 Desain Awal *Cross Section Breakwater*

2. Perubahan desain struktur *breakwater*

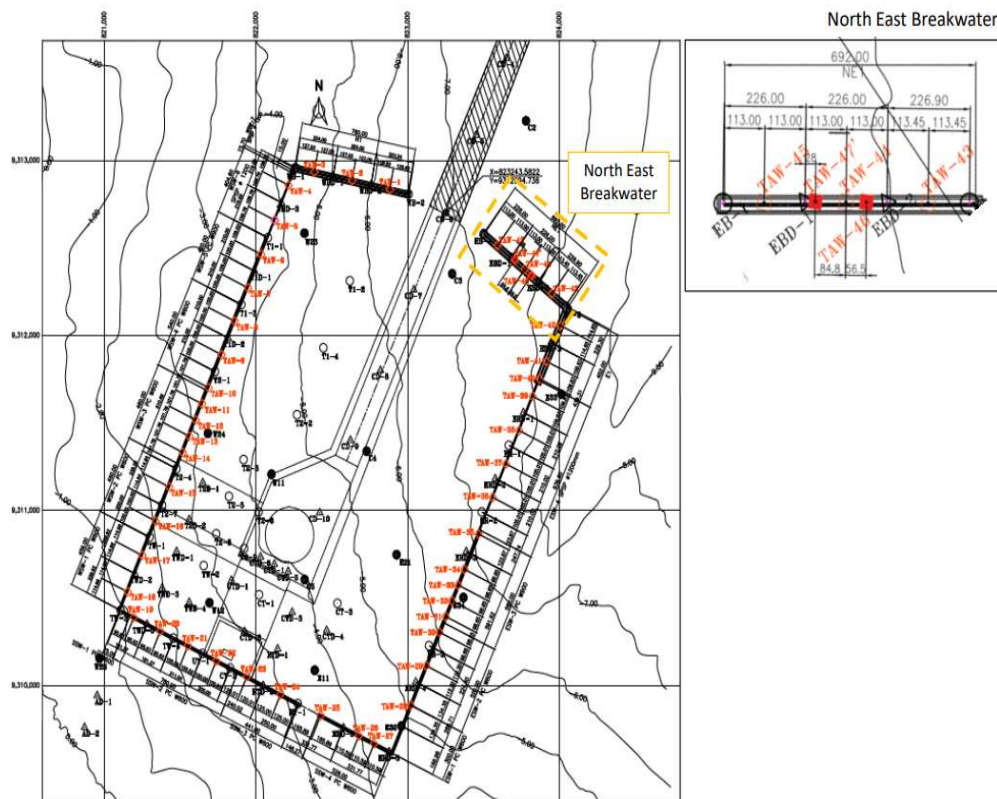
Saat penyelidikan tanah lebih lanjut, ditemukan bahwa ada lapisan tanah lempung lunak yang lebih lemah, berada di sepanjang bagian tengah sisi timur laut *breakwater* pada Gambar 5 (PatimOne Consul, 2023). Hal ini menyebabkan diperlukannya peninjauan ulang stabilitas *breakwater* untuk memastikan keamanan dan keselamatan konstruksi, sehingga mengakibatkan perubahan desain *breakwater* di sisi timur laut (PatimOne Consul, 2023). Kemudian perubahan desain diilustrasikan pada Gambar 4 dibawah ini.



Sumber : PatimOne Consul (2023)
Gambar 4 Modifikasi Desain Struktur *Breakwater*

3. Penyelidikan data tanah

Penyelidikan data tanah dengan mengambil sampel tanah menggunakan *boreholes* di sekitar *breakwater* sisi timur laut yang diperlihatkan dalam Gambar 5 yang ditandai dengan kotak berwarna kuning.



Sumber: TAW JV and JICA Study Team (2021)
Gambar 5 Lokasi Penyelidikan Tanah di *Breakwater* Sisi Timur Laut

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah lanjutan didapatkan hasil kondisi tanah terbaru di area *breakwater* sisi timur laut, yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Kondisi Tanah Terbaru *Breakwater* Sisi Timur Laut

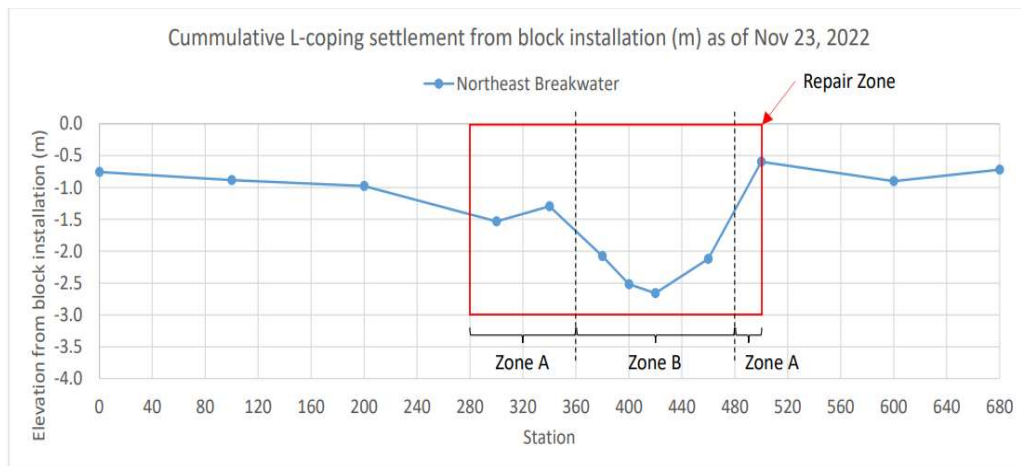
Soil ID	Nave Value	Applicable depth	Unit weight (kN/m ³)	Cohesion Cu (kN/m ²)	Φ (°)	Θ_0	Cc	Cv (cm ² /day)
Clay 1	0	0-5m	14.5	3.5 (1~10)	5	3	1	20
Clay 2a	1	5-10m	15.5	10 (5-20)	5	1.9	0.8	20
	(0~1)							
Clay 2b	2-4	5-10m	15.5	25	5	1.9	0.8	20
Clay 3	6	5-15m	16.5	35-45	0	1.2	0.4	30
	(5~8)							
Clay 4	11	5-15m	18	80	0	1	0.3	30
	(8~13)							

Sumber: PatimOne Consul (2023)

Pada Tabel 1 ditunjukkan hasil penyelidikan kondisi tanah terbaru dengan data-data diantaranya lapisan tanah, kedalaman lapisan tanah, berat jenis tanah, dan hasil dari test konsolidasi yang ditandai dengan Cc dan Cv dan uji tekan Cu.

4. Monitoring penurunan

Selama masa monitoring *breakwater* ditemukan bahwa *breakwater* mengalami penurunan yang tercatat oleh dua datum yang berbeda (PatimOne Consul, 2023). Gambar 6 adalah grafik penurunan dari *plate* yang dipancang melalui bagian bawah badan *breakwater* hingga matras bambu, dan juga blok L-Coping yang merupakan puncak *breakwater* (PatimOne Consul, 2023).



Sumber: TAW JV and JICA Study Team (2021)

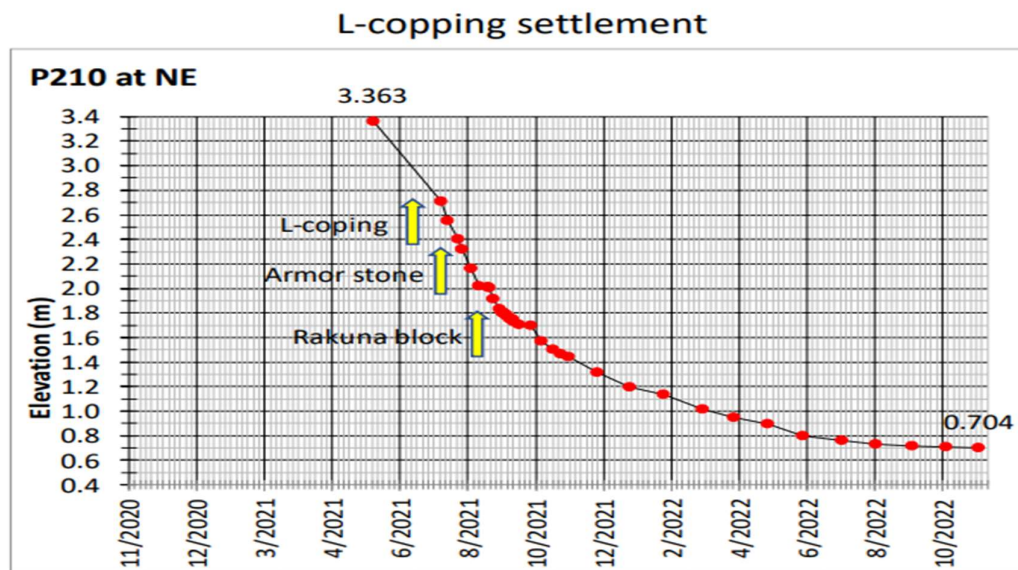
Gambar 6 Grafik Monitoring Elevasi di Puncak Rakuna dan L-Coping

Pada Gambar 6 menunjukkan hasil *monitoring* elevasi di puncak blok L-Coping dan Rakuna yang dibatasi hanya pada sisi timur laut *breakwater* diwakili oleh garis berwarna biru. Keseluruhan analisis penurunan di sepanjang sisi timur laut *breakwater* dibagi menjadi tiga area penting yaitu zone perbaikan, zona A, zona B (PatimOne Consul, 2023), dengan penjelasan sebagai berikut:

- a. Zona perbaikan digambarkan dengan menggunakan kotak berwarna merah. Area perbaikan berada pada sta 0+280 sampai sta 0+500;
- b. Zona A digambarkan dengan garis biru, zona A adalah area dimana elevasi eksisting L-Coping lebih tinggi dari +1.3 m. Zona A berada pada sta 0+280 sampai sta 0+360, dan sta 0+480 sampai sta 0+500;
- c. Zona B digambarkan dengan garis biru, zona B adalah area dimana elevasi eksisting L-Coping lebih rendah dari +1.3 m. zona B berada pada sta 0+360 sampai dengan sta 0+480;

5. Penurunan di Zona B

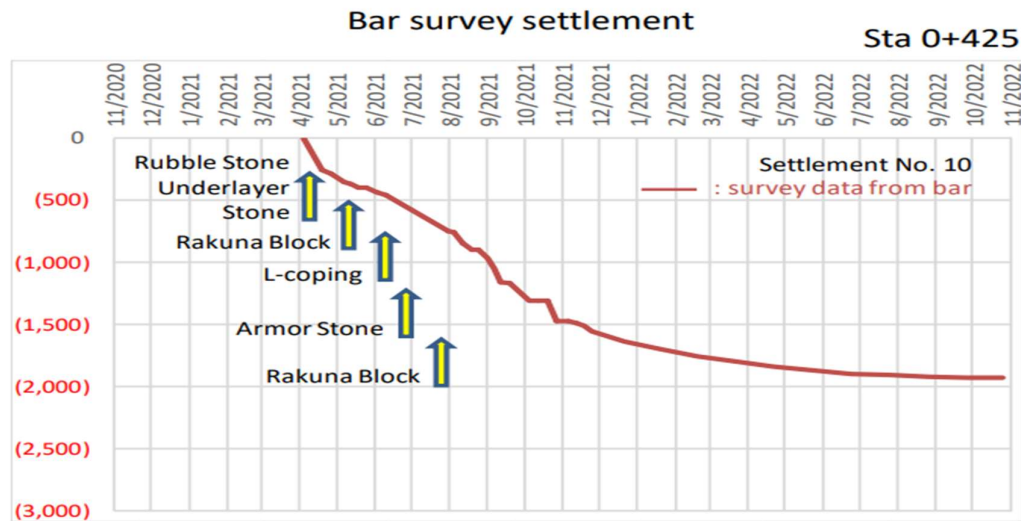
Penurunan di zona B merupakan penurunan terbesar terjadi di lokasi sta 0+420 (PatimOne Consul, 2023). Ditampilkan dengan dua grafik yaitu pada Gambar 7 dan Gambar 8, dengan skala yang sama untuk menggambarkan perbandingan. Sejak instalasi L-Coping hingga saat ini, total penurunan yang diukur dari puncak L-Coping adalah $\pm 2.7\text{m}$ sebagaimana diilustrasikan pada Gambar 7 (PatimOne Consul, 2023).



Sumber: TAW JV and JICA Study Team (2021)

Gambar 7 Grafik Monitoring Penurunan *Breakwater* Berdasarkan L-Copping

Sedangkan penurunan yang diukur dari batang survey pada Gambar 8 adalah ± 1.5 m, selisih 1.2 m antara kedua pengukuran menunjukkan bahwa tingkat keruntuhan di kepala pemecah gelombang lebih tinggi dari yang ada di badan atau di dalam bagian bawah *breakwater* (PatimOne Consul, 2023).



Sumber: TAW (2021)

Gambar 8 Grafik Monitoring Penurunan *Breakwater* dengan Batang Survei

Hal ini menunjukkan bahwa penurunan tanah di dalam badan *breakwater* tidak signifikan penurunan diatas pemecah gelombang (PatimOne Consul, 2023).

6. Instalasi batu

Saat instalasi batuan di *breakwater* terdapat perbedaan jumlah material antara batuan yang dipasang di lokasi bervariasi dengan desain rencana (PatimOne Consul, 2023). Perbedaan volume material batuan yang dipasang di stasiun perwakilan di setiap zona berdasarkan volume yang dicatat dijabarkan dalam Tabel 2.

Tabel 2 Volume Instalasi Batu di Setiap Zona

Zone	Representative Station	Core and underlayer (Class II & III Rock)			Armor Rock (Class I)		
		Design Volume (m ²)	Installation Volume (m ²)	Excessive Volume	Design Volume (m ²)	Installation Volume (m ²)	Excessive Volume
A	0+320	192	180.9		22	14.2	
B	0+440	192	208.3	8%	22	39.5	80%
C	0+640	192	194.8	1.50%	22	19.3	

Sumber: TAW JV and JICA Study Team (2021)

Sesuai Tabel 2 diketahui bahwa ada kelebihan batu pelindung yang dipasang di zona B sebesar 80% dari rencana desain, sedangkan jumlah batuan kelas II dan III yang dipasang di zona B meningkat sebesar 8% dari rencana desain awal. Jumlah penempatan batu pelindung yang berlebihan ini akan mengakibatkan terjadinya penurunan yang sangat besar pada *breakwater* karena bebannya. Kelebihan volume batu pelindung yang diinstalasikan pada *breakwater* menjadi salah satu penyebab terjadinya penurunan yang sangat signifikan yang terjadi diatas *breakwater* yang diamati (PatimOne Consul, 2023).

7. Perhitungan pembebanan

Data-data yang digunakan dalam perhitungan pembebanan dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Berat Beban *Breakwater*

	No of Layer (-)	Concrete volume (m3/block)	Equipment Cube Diameter (m)	Layer Thickness (m)	Porosity (%)	Layer Coefficient	Packing Density	Apprent Density (ton/m3)	Load per m long (ton/m/m)
	n	V	D _n	ta	n _v	K _t	Φ	P _b	
Rakuna IV 2 ton	2	0.924	0.97	1.8	56.50%	0.92	0.8	2.4	1.88
Rock (0.5-2 ton)	2	NA	0.88	1.6	34.00%	0.91	0.6	2.65	2.8
Coping Concrete	NA	3.5	NA	1	0.00%	NA	NA	2.4	2.4

Sumber: TAW JV and JICA Study Team (2023)

Sehingga perhitungan pembebanan yang berada pada zona B bahwa penurunan *breakwater* diketahui dengan mengkalikan antara beban per meter pada Tabel 2 dengan volume instalasi batuan yang berada pada zona B di Tabel 3, dengan penjelasan dibawah ini:

a. Pembebanan Rakuna IV di zona B

Berdasarkan asumsi bahwa luasan instalasi rakuna sama dengan instalasi *pada rock armor* yang dikalikan dengan berat satuan per meter persegi maka didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\text{Rakuna Load's} = 1.88 \text{ ton/m}^2 = 18.43 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Rakuna Load's} = 18.43 \times 22 = 405.46 \text{ kN/m}^2$$

b. Pembebanan *rock core and underlayer* dan *rock armor* di zona B

Berdasarkan perkalian antara luasan instalasi *rock core and underlayer* dengan berat satuan per meter persegi maka didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\text{Core and underlayer load's} = 2.80 \text{ ton/m}^2 = 27.45 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Core and underlayer load's} = 27.45 \times 208.3 = 5717.83$$

c. Pembebanan *rock armor load's* di zona B

Berdasarkan perkalian antara luasan instalasi *Rock armor load's* dengan berat satuan per meter persegi maka didapatkan nilai sebagai berikut:

$$\text{Rock armor load's} = 2.80 \text{ ton/m}^2 = 27.45 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Rock armor load's} = 27.45 \times 39.5 = 1084.27$$

d. Pembebanan *L-Coping* di zona B

$$\text{L-Coping load's} = 2.40 \text{ ton/m}^2 = 23.53 \text{ kN/m}^2$$

Nilai dari beban total pada zona B *breakwater* sisi timur laut zona B didapatkan dengan menjumlahkan semua perhitungan pembebanan diatas. Beban Total = Beban Rakuna + Beban *core and underlayer* Beban *armor rock* + Beban *L-Coping*. Beban Total = $405.46 + 5717.83 + 1084.27 + 23.53 = 7231.1 \text{ kN/m}^2$. Sehingga nilai beban total di zona B sebesar 7231.1 kN/m^2 .

8. Penurunan segera

Penurunan segera untuk pondasi yang berada diatas material yang elastis (dengan ketebalan yang tidak terbatas) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan yang diturunkan dengan menggunakan dasar teori elastis (Das, 2022). Bentuk persamaanya tersebut adalah sebagai berikut:

$$m_1 = \frac{L}{B} = \frac{12}{15} = 0.88 \sim > 1 \dots\dots\dots(9)$$

Maka didapatkan nilai dari faktor pengaruh pondasi sebesar 0.88 yang mana angka ini didapatkan dari Tabel 4 faktor pengaruh pondasi dibawah ini.

Tabel 4 Faktor Pengaruh Pondasi

Bentuk	m_1	I_p	
		Lentur	Kaku
		tengah-tengah	pojok
Bundar		1	0.64
	1	1.12	0.56
	1.5	1.36	0.68
	2	1.53	0.77
Persegi	3	1.78	0.89
	5	2.1	1.05
	10	2.54	1.27
	20	2.99	1.49
	50	3.57	1.8

100	4.01	2	3.43
-----	------	---	------

Sumber: Das (2022)

Setelah mendapatkan nilai dari faktor pengaruh pondasi selanjutnya masukan kedalam persamaan penurunan segera.

$$p_i = p \cdot B \frac{1-\mu^2}{E} I_p \dots \dots \dots (10)$$

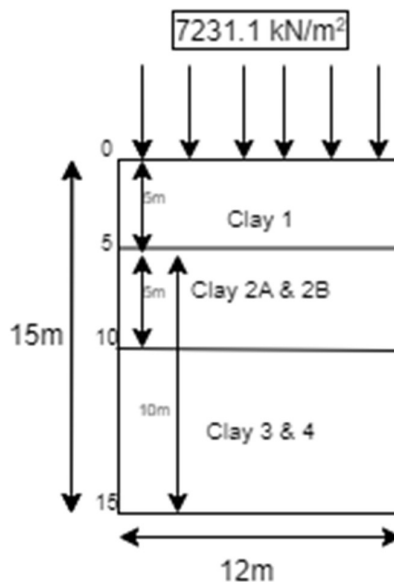
$$p_i = 7231.1 \cdot (15) \frac{1 - 0.3^2}{20.000} 0.88$$

$$p_i = 4.34 \text{ m}$$

Jadi nilai penurunan segera yang terjadi pada lapisan tanah dibawah zona B setelah ditambahkan beban adalah sebesar 4.34 m. Artinya bahwa penurunan tanah yang terjadi di *breakwater* pelabuhan Patimban cukup besar dengan nilai penurunan segera sebesar 4,34 m, sehingga disarankan untuk dilakukan penambahan elevasi *breakwater* hingga ketinggian +2,9 m (PatimOne Consul, 2023).

9. Penurunan Primer

Perhitungan penurunan primer yang terjadi setelah penambahan elevasi *breakwater* dengan menggunakan data tanah yang ada di Tabel 1 dan hasil perhitungan pembebanan pada langkah nomor 7 di atas, digambarkan lebih lanjut pada Gambar 9.



Sumber: Data Penelitian
Gambar 9 Pembebanan Pada Tanah di Zona B

Tabel 5 Penurunan Primer

Lapisan	P_o (kN/m ²)	C_c	H	e_o	Δp (kN/m ²)	S (m)
Clay 1	72.5	1	5	3	7231.1	2.5
Clay 2	77.5	0.8	5	1.9	7231.1	2.72
Clay 3	123.75	0.3	10	1	7231.1	1.33

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)

Maka dengan menggunakan perhitungan metode Terzaghi dengan persamaan diatas didapatkan nilai penurunan primer pada lapisan clay 1, lapisan clay 2 dan lapisan clay 3 sebagaimana pada Tabel 5 tersebut diatas.

10. Penurunan Sekunder

Penurunan Sekunder diperhitungkan dalam 10 tahun dengan menggunakan metode Terzaghi.

Tabel 6 Penurunan Sekunder

Lapisan	C'_a	H (m)	t_1	t_2	S_s (m)
clay 1	1.11	5	10	2	3.87
clay 2	1.31	5	10	2	4.57
clay 3	1.24	10	10	2	8.66

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)

Penurunan sekunder yang terjadi di zona B (Tabel 6) adalah sebesar 3.87 m untuk lapisan clay 1, 4.57 m lapisan clay 2, dan 8.66 m untuk clay 3 yang akan terjadi dalam waktu 10 tahun, yang berarti pertahunnya tanah mengalami penurunan sebesar 0.86 m pertahun setelah selesainya penurunan primer.

Total penurunan setelah didapatkan hasil dari perhitungan penurunan primer dan penurunan sekunder adalah sebesar:

a. Lapisan *clay* 1

$$S_{total} = S_{primer} + S_{sekunder} = 2.50 + 3.87 = 6.37 \text{ m.}$$

b. Lapisan *clay* 2

$$S_{total} = S_{primer} + S_{sekunder} = 2.72 + 4.57 = 7.29 \text{ m.}$$

c. Lapisan *clay* 3

$$S_{total} = S_{primer} + S_{sekunder} = 1.33 + 8.66 = 9.99 \text{ m.}$$

11. Derajat Konsolidasi

Perhitungan waktu derajat konsolidasi menghasilkan waktu derajat konsolidasi yang diketahui sebagai berikut.

Tabel 7 Derajat Konsolidasi

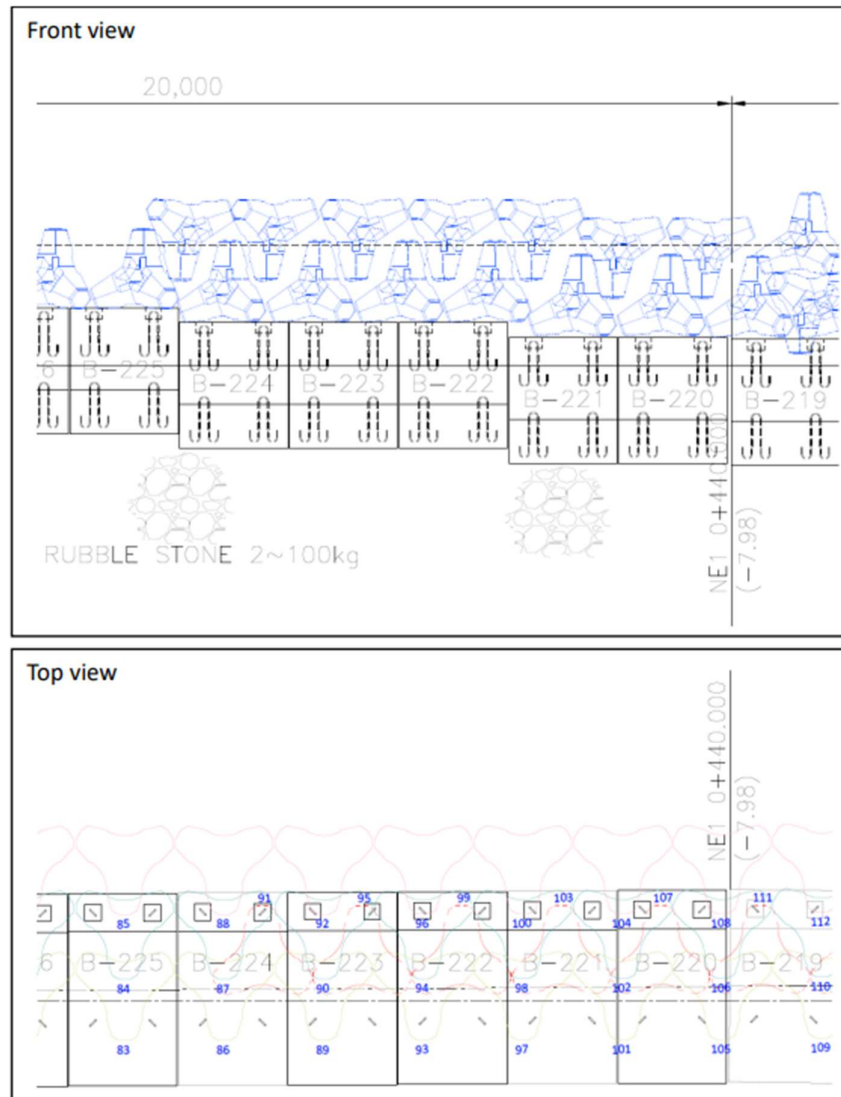
Lapisan	T ₅₀	T ₈₀	T ₉₀	H ² dr	C _v	t ₅₀	t ₈₀	t ₉₀
Clay 1	0.197	0.567	0.848	5	0.002m ² /day	6 tahun, 9 bulan, 2.5 hari	19 tahun, 5 bulan, 2.5 hari	29 tahun, 15 hari
Clay 2	0.197	0.567	0.848	5	0.002m ² /day	6 tahun, 9 bulan, 2.5 hari	19 tahun, 5 bulan, 2.5 hari	29 tahun, 15 hari
Clay 3	0.197	0.567	0.848	10	0.003m ² /day	17 tahun, 11 bulan, 29 hari	51 tahun, 9 bulan, 15 hari	77 tahun, 5 bulan, 12 hari

Sumber: Hasil Analisis Penelitian (2023)

Kemudian waktu derajat konsolidasi yang terjadi di *breakwater* pelabuhan Patimban yang akan terjadi berdasarkan hasil perhitungan derajat konsolidasi yaitu pada tahun ke enam yang akan mendatang, yang ditandai dengan warna kuning pada Tabel 7. Oleh sebab itu diperlukannya monitoring lebih lanjut selama masa konsolidasi, sehingga ketika terjadi penurunan kembali dapat diantisipasi guna menghindari terjadinya penurunan elevasi kembali. Karena hal ini dapat mengakibatkan terganggunya aktifitas kepelabuhanan akibat ketidakmampuan *breakwater* dalam menahan gelombang.

12. Perbaikan Elevasi breakwater

Perbaikan elevasi breakwater dengan penambahan blok Rakuna IV di atas tempat terjadinya penurunan elevasi. Pemilihan penggunaan Rakuna IV disebabkan oleh lebih ringannya bobot Rakuna IV serta biaya yang dikeluarkan dibanding dengan instalasi *rock armour*. Gambar 10 memperlihatkan ilustrasi untuk rencana penempatan Rakuna IV di atas *breakwater*. Gambar 4.11 menunjukkan rencana penempatan Rakuna IV di sekitar sta 0+440 dimana terjadinya penurunan terbesar.



Sumber: TAW 2023

Gambar 10 Rencana Perbaikan Elevasi *Breakwater*

Secara umum, perbaikan elevasi direncanakan dengan menempatkan satu lapisan di daerah yang penurunannya tidak terlalu besar (zona A) dan dua lapisan di zona B. jumlah Rakuna IV di setiap bagian tergantung dari penurunan elevasi. Desain awal *breakwater* elevasi puncak adalah +2.6m, sedangkan dalam perencanaan perbaikan elevasi *breakwater* ini direncanakan penambahan ketinggian elevasi menjadi sekitar +2.9 m berdasarkan hasil perhitungan ketinggian elevasi *overtopping* puncak *breakwater*.

D. Kesimpulan

Setelah melakukan perhitungan dengan menggunakan metode Terzaghi didapatkan nilai penurunan segera sebesar 4.34 m. Penurunan konsolidasi primer pada lapisan clay 1 sebesar 2.50 m, clay 2 sebesar 2.72 m, clay 3 sebesar 1.33 m. Penurunan konsolidasi

sekunder lapisan clay 1 sebesar 3.87 m, lapisan clay 2 sebesar 4.57 m, lapisan clay 3 sebesar 8.66 m yang mana pada penurunan sekunder ini terjadi dalam waktu 10 tahun. Total penurunan yang terjadi pada ketiga lapisan yaitu sebesar 6.37 m untuk lapisan clay 1, 7.29 m untuk lapisan clay 2, dan 9.99 m untuk lapisan clay 3.

Bahwa penurunan tanah yang terjadi di *breakwater* pelabuhan Patimban cukup besar dengan nilai penurunan segera sebesar 4,3 m, sehingga disarankan untuk dilakukan penambahan elevasi *breakwater* hingga ketinggian +2,9 m. Kemudian waktu derajat konsolidasi di *breakwater* pelabuhan Patimban akan terjadi pada tahun ke enam yang akan mendatang. Oleh sebab itu monitoring harus dilakukan periodik selama masa konsolidasi, guna menghindari terjadinya penurunan elevasi kembali, agar tidak mengganggu aktivitas kepelabuhanan.

Agar penurunan yang terjadi dapat diatasi, maka diperlukannya analisis dan pemodelan yang lebih komprehensif terhadap penurunan segera, penurunan konsolidasi primer, penurunan konsolidasi sekunder, derajat konsolidasi dari lapisan tanah di bawah struktur *breakwater* menggunakan data yang terkini sehingga dapat diketahui nilai penurunannya dan dapat memilih perbaikan untuk penurunan elevasi *breakwater* dengan kondisi eksisting pada pelabuhan Patimban.

Daftar Pustaka

- Bayesteh, H., & Mansouriboroujeni, R. (2020). Mechanisms of settlement of a rubble mound *breakwater* on a soft soil in tidal flats. *Marine Georesources and Geotechnology*, 38(10), 1163–1176. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2019.1656312>
- Das, B. M. (2022). *Principles of Geotechnical Engineering* (10th ed.). Cengage. <https://books.google.co.id/books?id=JFrBzQEACAAJ>
- Devita, D. (2023). *Kinerja dan Pengaruh Fender Dermaga 05B dan 05C Terminal Ciwandan Pelabuhan Banten*. 2(1). <https://jtt.itltrisakti.ac.id>
- Ginanjari. (2020, March 12). *Digilib ITB*. <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/46852>
- Haryani, E. B. S. (2023a). Analysis of ecoport management implementation and seaport performance. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1221(1), 012062. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1221/1/012062>
- Haryani, E. B. S. (2023b). Integration between ecoport management and capacity utilization of container terminals as a sustainable seaports development strategy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1221(1), 012058. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1221/1/012058>

- JICA. (2017). *Directorate General of Sea Transportation Ministry of Transportation (DGST) Republic of Indonesia The Preparatory Survey On Patimban Port Development Project In The Republic Of Indonesia Final Report*.
- Kementerian Perhubungan Tahun. (2022). *Studi Reviu Rencana Induk Pelabuhan Patimban Kabupaten Subang Provinsi Jawa Barat*.
- KSOP Kelas II Patimban. (2021). *Perencanaan Pengembangan Pelabuhan*.
- PatimOne Consul. (2023). *Technical Note Settlement in North East Breakwater Section North East*.
- Putri, S. R. (2023). Penentuan Tipe Fender Dermaga Untuk Kapal Multipurpose Berukuran Maksimum 30.000 DWT. *Jurnal Teknik Transportasi*, 2(1).
- Simamora, S. C. (2023). Kinerja dan Proyeksi Pelayanan Kapal di Dermaga 004 Pelabuhan Banten. *Jurnal Teknik Transportasi*, 2(1).
- Syalasi, D. A., & Saputro, S. (2022). Analisis Perencanaan Alur Pelayaran Dan Kolam Pelabuhan Pada Pelabuhan Patimban. *Prosiding Seminar Intelektual Muda #7*, 978–623. <https://www.e-journal.trisakti.ac.id/index.php/sim/article/view/14586/8380>
- Taofiqurohman, A. (2021). Faktor-Faktor Penyebab Risiko Wisata Bahari Berdasarkan Dinamika Fisik Pantai di Pesisir Selatan Jawa Barat. *Jurnal Ilmiah Pariwisata*, 26(1). <http://jurnalpariwisata.stptrisakti.ac.id/index.php/JIP/article/view/1367/227>
- Triatmodjo, B. (2009). *Perencanaan Pelabuhan*. Beta Offset.