

RE-DESIGN DAN PENANGANAN BREAKWATER DI PELABUHAN BATANG

Ari Surya Bawono, Rizki Indianto, Indrastono Dwi Atmanto^{*)}, Bambang Pardoyo^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Pada daerah pesisir pantai khususnya diperlukan suatu pencegahan terhadap abrasi air laut terhadap geomorfologi pantai. Salah satu pencegahannya adalah mendirikan sebuah breakwater. Breakwater tersebut harus dianalisis agar dapat kuat menahan tekanan dari air laut yang berasal dari gelombang. Analisisnya mencakup kondisi dimana pada lereng terjadi pergerakan tanah yang menyebabkan keruntuhan bangunan. Pada analisis ini meliputi analisis manual stabilitas lereng dengan menggunakan metode Fellenius dan analisis dengan menggunakan software plaxis terhadap breakwater pada sta 00+350 di Pelabuhan Kabupaten Batang. Hasil analisis ini menghasilkan $1.25 < \text{faktor keamanan} < 1.4$ yang dapat dikatakan bahwa kestabilan kelerengan pada breakwater aman tetapi tidak stabil dan solusi penanganan pada saat konstruksi adalah menggunakan pondasi Bore-Pile Ø800mm dengan kedalaman 24 m dari dasar laut dan elevation step construction.

kata kunci : *longsoran, stabilitas lereng, metode Fellenius, plaxis.*

ABSTRACT

Onshore especially needed a prevention to sea water abration towards the geomorfology of shore. The Ones of prevention is build a breakwater. Breakwater must be analyst for strong to prevent from sea water pressure are come from the sea wave. That analyst include condition where on slope occured landslide are make The building collapse. On this analyst is settle The manual analysis of slope stability with Fellenius method and Plaxis analisys for breakwater on sta 00+350 in Ports of Batang Districs. Result of this analyst is generate $1.25 < \text{Safety of Factor} < 1.4$ is determined that The slope stability on breakwater is safe but not stable and The handling solution based on construction is used The bore-pile foundation Ø800mm with depth 24 m from seabed and elevation step construction.

keywords: *landslides, slope stability, Fellenius method, plaxis.*

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

PENDAHULUAN

Wilayah Kabupaten Batang merupakan bagian dari provinsi Jawa Tengah. Ibukota Kabupaten Batang terletak di ujung barat laut wilayah kabupaten, yakni tepat di sebelah timur Kota Pekalongan, sehingga kedua kota ini seolah-olah menyatu. Kabupaten Batang terletak pada $6^{\circ} 51' 46''$ sampai $7^{\circ} 11' 47''$ Lintang Selatan dan antara $109^{\circ} 40' 19''$ sampai $110^{\circ} 03' 06''$ Bujur Timur di pantai utara Jawa Tengah. Luas daerah 78.864,16 Ha dengan jumlah penduduk 896,18 jiwa/km². Batas-batas wilayahnya sebelah utara Laut Jawa, sebelah timur Kabupaten Kendal, sebelah selatan Kabupaten Wonosobo dan Kabupaten Banjarnegara, sebelah barat Kota dan Kabupaten Pekalongan. Untuk meningkatkan perekonomian masyarakat, pemerintah Kabupaten Batang membangun pelabuhan.

Pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan disekitarnya dengan batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi. Untuk melindungi pelabuhan batang tersebut pemerintah Kabupaten Batang membuat pemecah gelombang (*breakwater*).

Breakwater pelabuhan Batang tersebut mengalami penurunan mencapai 15m. Karena terjadi penurunan tersebut *breakwater* tidak dapat berfungsi dengan baik.

Maksud dari Tugas Akhir ini adalah :

1. Mengevaluasi faktor keamanan (FK) pada kondisi eksisting serta faktor keamanan setelah dilakukan penanganan.
2. Memberikan solusi penanganan perkuatan yang sesuai dengan kondisi di lapangan.
3. Mengevaluasi stabilitas lereng dan bidang longsornya.

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisa nilai faktor keamanan lereng (SF) pada lokasi penelitian.
2. Pemanfaatan *software* Plaxis sebagai salah satu cara untuk menganalisa stabilitas lereng.

Perkuatan longsor direncanakan menggunakan Dinding Penahan Tanah (DPT), Gabion, *geotextile wall* dan *Bored Pile*. Dipilih alternatif penanganan longsor berdasarkan pemodelan konstruksi yang direncanakan.

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah studi kasus pada proyek *Breakwater* Pelabuhan Batang. Gambar lokasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.

LANDASAN TEORI

Parameter Tanah

Dalam mendesain bangunan geoteknik, diperlukan data-data tanah yang mempresentasikan keadaan lapangan. Pengujian laboratorium dan pengambilan sampel tanah tidak dilakukan

pada seluruh lokasi namun ditempatkan di lokasi-lokasi kritis yang memungkinkan dan dianggap mewakili kondisi sebenarnya.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Klasifikasi tanah yang ada mempunyai beberapa versi, hal ini disebabkan karena tanah memiliki sifat-sifat yang bervariasi. Adapun beberapa metode klasifikasi tanah yang ada antara lain :

1. Klasifikasi Tanah Berdasarkan Tekstur
2. Klasifikasi Tanah Sistem klasifikasi AASHTO
3. Klasifikasi Tanah Sistem klasifikasi Unified

Teori Kelongsoran

Longsoran adalah setiap massa tanah yang terletak di bawah permukaan tanah yang miring atau di bawah sisi miring dan suatu galian terbuka memiliki kecenderungan bergerak ke arah bawah dan ke arah luar karena pengaruh gravitasi dan rembesan (*seepage*). Jenis gerakan yang terjadi ada dua, yaitu gerakan berbentuk rotasi dan translasi. Longsoran rotasi adalah longsoran yang mempunyai bentuk bidang longsor : setengah lingkaran, log spiral, hiperbola, atau bentuk lengkung tidal teratur lainnya. Longsoran translasi umumnya ditentukan oleh bidang lemah seperti sesar, kekar perlapisan dan adanya perbedaan kuat geser antar lapisan atau bidang kontak antara batuan dasar dengan bahan rombakan di atasnya.

Longsoran pada umumnya terjadi pada sudut lereng 15 – 70 %, karena pada tempat tersebut sering ditempati batuan lempung dan bahan rombakan lain yang mudah longsor. Relief-relief kecil seperti jalan raya, jalan kereta api, tebing penggalian batu, tebing saluran perlu dicatat karena dapat mengundang terjadinya longsoran. Tanah yang longsor dapat merupakan tanah timbunan, tanah yang diendapkan secara alami, atau kombinasi keduanya.

Penyebab Kelongsoran

Pada prinsipnya tanah longsor terjadi bila gaya pendorong pada lereng lebih besar daripada gaya penahan. Gaya penahan umumnya dipengaruhi oleh kekuatan batuan dan kepadatan

tanah. Sedangkan gaya pendorong dipengaruhi oleh besarnya sudut lereng, air, beban serta berat jenis tanah batuan

Macam-Macam Kelongsoran

Ada 6 jenis tanah longsor, antara lain :

1. Longsoran Translasi
2. Longsoran Rotasi
3. Pergerakan Blok
4. Runtuhan Batu
5. Rayapan Tanah
6. Aliran Bahan Rombakan

Penanggulangan Kelongsoran

Banyak cara yang dilakukan dalam penanggulangan longsor agar kejadian tersebut dapat teratasi dengan baik dan tidak mengakibatkan kerugian yang sangat besar. Adapun cara yang dilakukan dalam penanggul longsor yaitu :

1. Stabilisasi Tanah
2. Pemadatan
3. Penambatan
4. Drainase

Cara Analisa Kemantapan Lereng

Secara garis besar analisis kemantapan lereng terbagi menjadi empat kelompok, yaitu:

1. Pengamatan visual
2. Menggunakan komputasi.
3. Menggunakan grafik.
4. Menggunakan software komputer antara lain PLAXIS, GEOSLOPE, XSTABL, RHEOSTAUB, dan lain-lain.

Dalam menganalisa stabilitas lereng harus ditentukan terlebih dahulu faktor keamanan (FK) dari lereng tersebut. Secara umum faktor keamanan didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya penahan dan gaya penggerak longsor

$$FK = \frac{\text{Gaya Penahan}}{\text{Gaya Penggerak}}$$

Metode Irisan (Method of Slices)

Analisa stabilitas dengan menggunakan metode irisan, dapat dijelaskan dengan menggunakan gambar 2.8 Dengan AC merupakan lengkung lingkaran sebagai permukaan bidang longsor percobaan. Tanah yang berada di atas bidang longsor percobaan dibagi dalam beberapa irisan tegak. Lebar tiap-tiap irisan tidak harus sama. Perhatikan satu satuan tebal tegak lurus irisan melintang talud, gaya-gaya yang bekerja pada irisan tertentu (irisn no n) ditunjukkan dalam gambar. W_n adalah berat irisan. Gaya-gaya N_r dan T_r adalah komponen tegak dan sejajar dari reaksi R. P_n dan P_{n+1} adalah gaya normal yang bekerja pada sisi-sisi irisan. Demikian juga, gaya geser yang bekerja pada sisi irisan adalah T_n dan

T_{n+1} . Untuk memudahkan, tegangan air pori dianggap sama dengan nol. Gaya P_n , P_{n+1} , T_n , dan T_{n+1} adalah sulit ditentukan. Tetapi, kita dapat membuat asumsi perkiraan bahwa resultan P_n dan T_n adalah sama besar dengan resultan P_{n+1} dan T_{n+1} , dan juga garis-garis kerjanya segaris.

Untuk pengamatan keseimbangan

$$N_r = W_n \cos \alpha_n$$

Gaya geser perlawanan dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$T_r = \tau_d(\Delta L) = \frac{\tau_f(\Delta L_n)}{F_s} = \frac{1}{F_s} [c + \sigma \tan \phi] \Delta L_n$$

Tegangan normal σ dalam persamaan diatas adalah :

$$\frac{N_r}{\Delta L_n} = \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n}$$

Untuk keseimbangan blok percobaan ABC, momen gaya dorong terhadap titik O adalah sama dengan momen gaya perlawanan terhadap titik O, atau

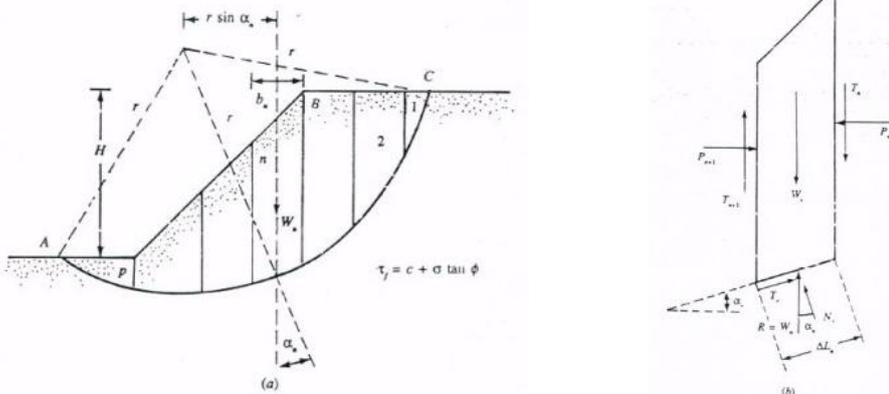
$$\sum_{n=1}^{n=p} W_n r \sin \alpha_n = \sum_{n=1}^{n=p} \frac{1}{F_s} \left(c + \frac{W_n \cos \alpha_n}{\Delta L_n} \tan \phi \right) (\Delta L_n)(r)$$

atau

$$F_s = \frac{\sum_{n=1}^{n=p} (c \Delta L_n + W_n \cos \alpha_n \tan \phi)}{\sum_{n=1}^{n=p} W_n \sin \alpha_n}$$

Catatan :

$$\Delta L_n = \frac{(b_n)}{\cos \alpha_n}, \text{ dengan } b_n = \text{lebar potongan nomor } n.$$



Gambar 2. Gaya – gaya yang bekerja pada irisan bidang longsor

Metode Fellenius

Besarnya gaya P ditentukan dengan menguraikan gaya-gaya lain dalam arah garis kerja P.

$$P = (W + X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha$$

$$P = W \cos \alpha - (X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha$$

$$\text{Harga : } (X_n - X_{n+1}) \cos \alpha - (E_n - E_{n+1}) \sin \alpha \cong 0$$

$$\text{Sehingga : } P = W \cos \alpha$$

Dalam analisis tegangan efektif harga faktor keamanan adalah sebagai berikut :

$$F_k = \frac{\sum [c' + (P - u) \tan \phi']}{W \sin \alpha}$$

Dengan memasukkan harga P dari persamaan diatas, maka diperoleh harga :

$$F_k = \frac{\sum [c'l + (W \cos \alpha - u \cdot l) \tan \phi]}{W \sin \alpha}$$

Dalam hal ini :

c' : kohesi tanah dalam kondisi tegangan efektif

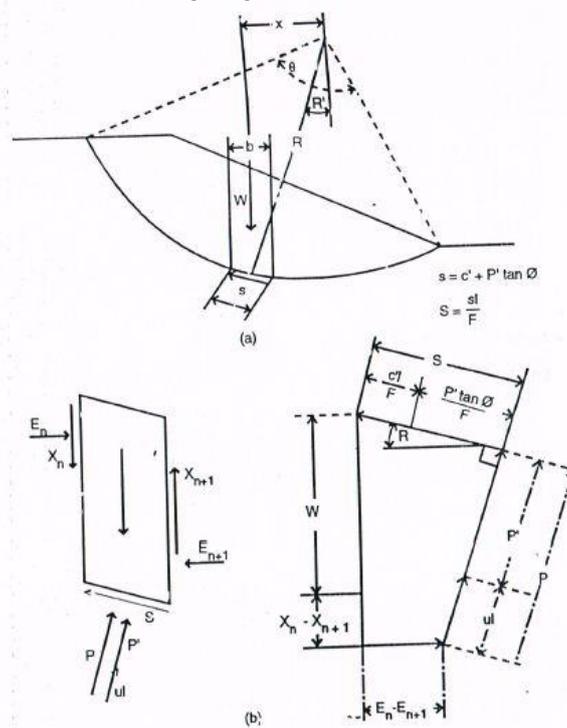
l : panjang busur segmen

W : berat segmen tanah

U : tegangan air pori

ϕ : sudut geser dalam tanah

α : sudut antara garis vertikal dan jari-jari R



Gambar 11.18. Kemantapan lereng analisis Fellenius
(a) Kelongsoran pada ujung kaki
(b) Gaya-gaya pada segmen

Gambar 3. Sistem gaya pada cara Fellenius

Penentuan Bidang Longsor

Lengkungan bidang longsor dapat berupa bentuk bidang lingkaran, log spiral atau kombinasi dari keduanya. Kadang-kadang dijumpai pula suatu bidang longsor yang kurva menerus akibat perpotongan dengan lapisan tanah keras. Mengingat bidang longsor dipengaruhi oleh :

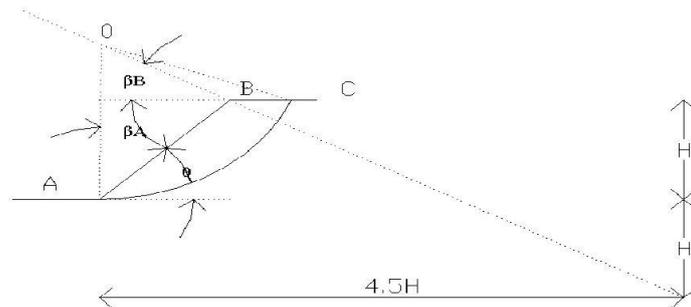
1. Lapisan tanah keras
2. Lempung sangat kaku
3. Pasir padat
4. Permukaan batu
5. Lapisan tanah yang sangat lunak

Data pengujian laboratorium yang dapat digunakan untuk memperkirakan letak dan bentuk bidang longsor antara lain : sondir, SPT (*Standard Proctor Test*), UCS dan geolistrik. Dari data sondir pada umumnya bidang longsor akan melalui tanah yang memiliki nilai q_c kecil dengan konsistensi yang sangat lunak, atau melalui tanah dengan q_c yang tinggi yang berbatasan dengan lapisan tanah yang lain dengan konsistensi yang sebanding. Bidang longsor terjadi pula pada tanah dengan N-SPT yang kecil, di mana sudut gesernya pun akan sangat kecil.

Analisis lereng terbatas dengan bidang longsor yang berbentuk lingkaran pada umumnya mempunyai tiga macam tipe kelongsoran, yaitu :

1. Kelongsoran muka lereng
2. Kelongsoran dasar
3. Kelongsoran ujung kaki / bawah lereng

Bidang longsor tersebut kemudian dianalisa untuk menentukan faktor keamanan lerengnya dengan menggunakan metode 'trial and errors'. Untuk memudahkan proses itu maka titik-titik pusat bidang longsor harus ditentukan dahulu melalui suatu pendekatan. Fellenius memberikan petunjuk-petunjuk untuk menentukan letak titik pusat busur longsor kritis yang melalui tumit suatu lereng pada tanah kohesif.



Gambar 4. Lokasi pusat busur longsor kritis pada tanah kohesif

Tabel 1. Sudut – sudut petunjuk menurut Fellenius

Lereng 1 : n	Sudut Lereng θ^0	Sudut-sudut Petunjuk	
		βA^0	βB^0
$\sqrt{3} : 1$	60	29	40
1 : 1	45	28	38
1 : 1,5	33.41	26	35
1 : 2	25.41	25	35
1 : 3	18.26	25	35
1 : 5	11.19	25	37

Pada tanah kohesif untuk menentukan letak titik pusat busur lingkaran sebagai bidang longsor yang melalui tumit lereng dilakukan secara coba-coba dimulai dengan menggunakan bantuan sudut-sudut petunjuk dari *Fellenius* di atas.

Grafik Fellenius memperlihatkan bahwa dengan meningkatnya nilai sudut geser maka titik pusat busur longsor akan bergerak naik. Titik 0 merupakan perkiraan letak titiktitik pusat

busur longsor. Titik 0 ditarik dari garis dengan koordinat $4.5H$ dan H dari tumit lereng. Dari busur-busur longsor tersebut dianalisa masing-masing angka keamanannya pada titik-titik di sekitarnya, untuk memperoleh nilai faktor keamanan yang paling minimum sebagai indikasi bidang longsor kritis. Apabila belum ditemukan titik dengan nilai faktor keamanan yang paling minimum, maka ditentukan lagi sebuah koordinat pendekatan pada garis tersebut sepanjang 2 m dari titik sebelumnya.

Analisa secara manual pada umumnya adalah dengan membagi bidang busur lingkaran longsor tersebut menjadi pias-pias untuk memudahkan perhitungan. Pias-pias tersebut dibuat setebal $b = (0.1) R$. Penyelesaiannya dapat dengan menggunakan cara Fellenius ataupun Bishop.

Dengan penyelidikan, untuk menentukan bentuk bidang longsor pada penampang sepanjang as longsor, diperlukan minimal 3 titik yang menunjukkan kedalamannya. Titik pertama diambil dari titik potong antara as longsor dengan retakan yang ada pada mahkota longsor. Dua titik lainnya didapat dari hasil pengamatan inklinometer atau pipa PVC/unting-unting. Selain itu perlu dievaluasi juga sebagai berikut :

- Data penampang geologi teknik lengkap, seperti letak lapisan tanah terlemah.
- Data pengujian laboratorium, misalnya hubungan antara kadar air dan batas-batas Atterberg.
- Data penyelidikan terinci, misalnya uji penetrasi standar.

Gelombang

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 yang diakibatkan oleh gaya tarik benda-benda langit terutama matahari dan bulan terhadap bumi, gelombang tsunami terjadi karena letusan gunung di laut, gelombang yang dibangkitkan oleh kapal yang bergerak dsb. Di antara beberapa bentuk gelombang tersebut yang paling penting dalam bidang teknik pantai adalah gelombang pasang surut dan gelombang angin (Triatmodjo, 1999:11). Analisa gelombang dalam perencanaan pelabuhan dibutuhkan untuk mengetahui tinggi gelombang di wilayah perairan pelabuhan, sehingga dapat diputuskan perlu atau tidaknya sebuah breakwater atau bangunan pelindung pelabuhan.

Menurut Triatmodjo dalam buku Teknik Pantai (1999), gelombang memiliki bentuk yang tidak teratur, dengan tinggi dan periode yang tidak konstan. Pengukuran gelombang di suatu tempat memberikan pencatatan muka air sebagai fungsi waktu. Pengukuran ini dilakukan dalam waktu cukup panjang, sehingga data gelombang akan sangat banyak. Mengingat kekompleksan dan besarnya data tersebut maka gelombang akan dianalisa secara statistik untuk mendapatkan bentuk gelombang yang bermanfaat. Dalam bidang teknik sipil, parameter gelombang yang digunakan adalah tinggi gelombang. Untuk keperluan perencanaan bangunan-bangunan pantai, perlu dipilih tinggi dan periode gelombang individu yang dapat mewakili satu spektrum gelombang. Gelombang tersebut disebut gelombang representatif. Apabila tinggi gelombang dari suatu pencatatan diurutkan dari yang terbesar sampai yang terendah atau sebaliknya, maka dapat ditentukan nilai H_n yang merupakan rerata dari n persen gelombang tertinggi. Dengan bentuk tersebut, maka akan diperoleh karakteristik gelombang alam dalam bentuk gelombang tunggal. Misalnya H_{10} adalah tinggi rerata dari 10 % gelombang tertinggi dari suatu pencatatan gelombang.

Bentuk yang paling banyak digunakan adalah H33 atau rerata dari 33 % gelombang tertinggi dari sebuah pencatatan gelombang; disebut juga H_s (tinggi gelombang signifikan).

Pemecah Gelombang

Pemecah gelombang (*breakwater*) merupakan pelindung utama bagi pelabuhan utama. Tujuan utama mengembangkan breakwater adalah melindungi daerah pedalaman perairan pelabuhan, yaitu memperkecil tinggi gelombang laut, sehingga kapal dapat berlabuh dengan tenang guna dapat melakukan bongkar muat. Untuk memperkecil gelombang pada perairan dalam, tergantung pada tinggi gelombang (H), lebar muara (b), lebar perairan pelabuhan (B) dan panjang perairan pelabuhan (L), mengikuti rumus empiris Thomas Stevenson. (Kramadibrata, 2002)

Struktur *breakwater* sangat rentan terhadap bahaya kelongsoran atau geser. Oleh karena itu, harus dipastikan struktur tersebut memiliki gaya penahan momen penggeser / *Resisting Momen* (M_r) yang lebih besar dari gaya yang menimbulkan momen penggeser / *Driving Momen* (M_d). Menurut Soedjono Kamadibrata dalam bukunya Perencanaan Pelabuhan, suatu struktur breakwater akan stabil jika memiliki nilai Faktor Keamanan (FS) = $M_r / M_d > 1,25$.

METODOLOGI

Analisa stabilitas dan penanganan pada *Breakwater* di Pelabuhan Batang dilakukan dengan menggunakan 2 cara, yaitu perhitungan manual dengan menggunakan metode Fellenius dan perhitungan dengan program PLAXIS. Analisa dalam penulisan tugas akhir ini adalah menghitung Stabilitas breakwater dan lapisan tanah yang ada serta memberi alternatif solusi terhadap permasalahan tersebut. Dimana kajian geoteknik berasal dari data penyelidikan di lapangan dan di laboratorium.

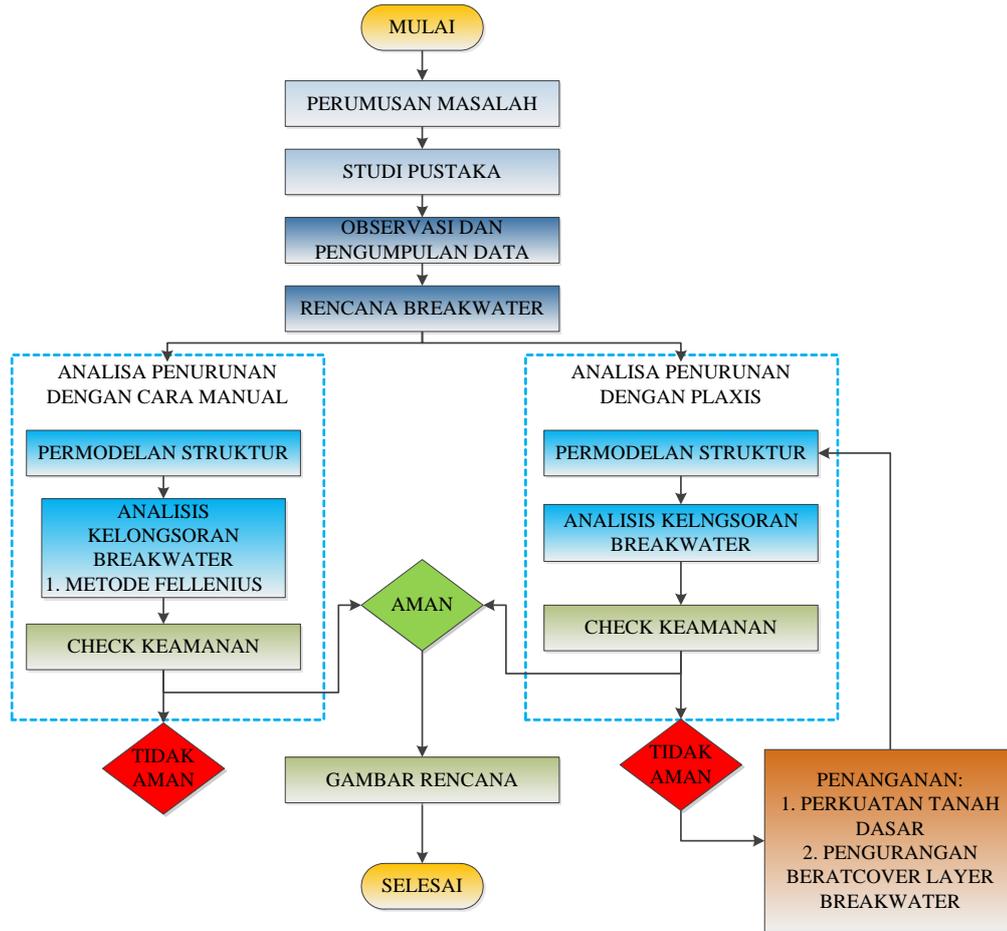
Alur *flowchart* Analisa terdapat pada Gambar 5.

ANALISA DATA

Data penyelidikan tanah dilakukan dengan menggunakan sondir dan bor log (N-SPT) dengan kedalaman sampai 40 meter didapat dari pengamatan dengan menggunakan alat *Gouda / Dutch Penetrometer* untuk sondir. Untuk memastikan kondisi tanah dibawah breakwater maka dilakukan pengujian sondir di sekitar lokasi breakwater. Pada analisis ini dilakukan tes sondir di tiga titik yakni S1, S2 dan S3. Pengamatan untuk bor log (N-SPT) dilakukan pada satu titik yaitu BH1.

Stratigrafi dan Profil Tanah

Stratigrafi tanah yaitu penggambaran lapisan tanah yang dibuat berdasarkan hasil pengeboran dan interpretasi hasil N-SPT. Tujuan dilakukan stratigrafi yaitu untuk mengetahui perkiraan pelapisan tanah yang berguna untuk keperluan desain, selain itu dapat diketahui lokasi yang memiliki nilai kekuatan terendah dan digunakan sebagai perencanaan konservatif desain profil tanah yang mewakili.



Gambar 5. Alur *Flowchart* Analisa

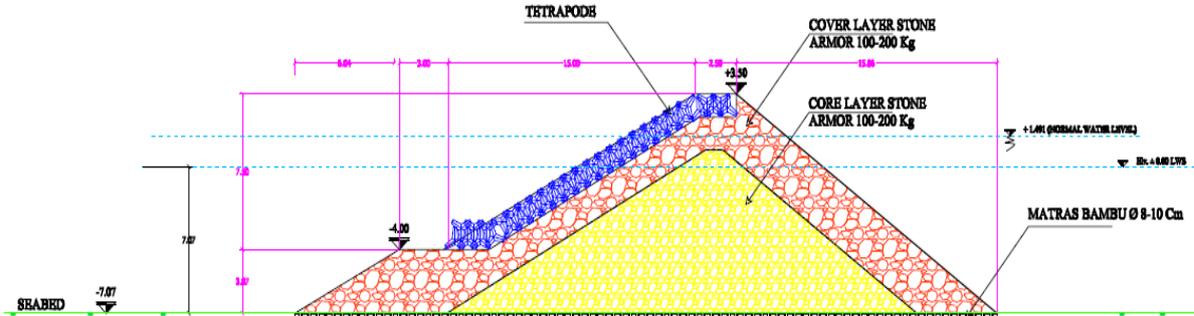
Stratigrafi dilakukan dengan melakukan penggambaran lapisan tanah berdasarkan kesamaan data pada lapisan tertentu yang mengacu pada data N-SPT.



Gambar 6. Stratifigrasi Tanah

Geometri Breakwater

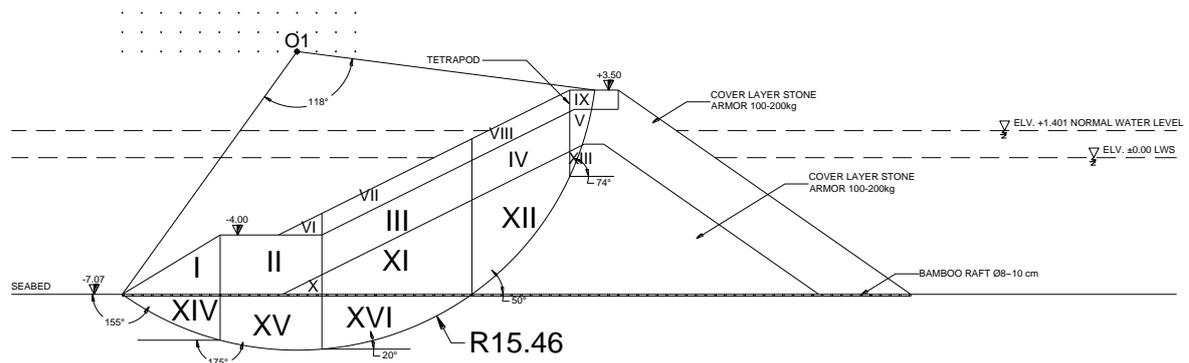
Pada *breakwater* di pelabuhan batang ini, bentuk geometri yang akan ditinjau adalah pada Sta .00+350 yang terjadi kelongsoran dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



Gambar 7. Potongan Melintang Breakwater Sta.00+350

Analisis Kelongsoran Secara Manual

Dalam analisis kestabilan lereng secara manual digunakan metode Fellenius. Dibawah ini adalah contoh salah satu trial error menggunakan metode Fellenius



Gambar 8. Permodelan Lereng Breakwater Sta.00+350 R = 15.46 m

Dari hasil perhitungan manual didapatkan faktor keamanan untuk :
Metode Fellenius = 1,863

Untuk contoh perhitungan diambil Pada Luasan I dengan R = 15.46 m.

1. Luas I = 7.736 m² (didapat dari AutoCad)
2. $W_I = \gamma \times A$
 $= 21.7,736$
 $= 131.519 \text{ kN/m/m}^2$
3. $\alpha_I = -25^\circ$ (didapat dari AutoCad)
4. $N_a = W \times \cos \alpha$
 $= 131.519 \times \cos (-25^\circ)$
 $= 119.197 \text{ kN/m/m}^2$
5. $T_a = W \times \sin \alpha$
 $= 131.519 \times \sin (-25^\circ)$
 $= -55.582 \text{ kN/m/m}^2$

6. $U_i = 10.250 \text{ kN/m/m}^{\prime}$ (air laut)
7. $(N_a - U_i) \times \tan \emptyset = (119.197 - 10.25) \times \tan (1^{\circ})$
 $= 1.902 \text{ kN/m/m}^{\prime}$
8. $L = \beta / 180 \times \pi \times R$
 $= 117 / 180 \times \pi \times 15.46$
 $= 31.824 \text{ m}$
9. $C_{\text{soil}} = 10 \text{ kN/m}^2/\text{m}^{\prime}$
10. $C \times L = 10 \times 31.554$
 $= 318.24 \text{ kN/m/m}^{\prime}$
11. $FK = ((C \times L) + \sum(N_a - U_i) \times \tan \emptyset) / \Sigma \tau_a$
 $= (318.24 + 1140.578) / 781.674$
 $= 1.863$

Analisis Kelongsoran Menggunakan Program Plaxis

Dengan diperolehnya penampang melintang lapisan tanah dari SPT dan penyelidikan laboratorium, maka dapat diketahui parameter tanah masing-masing lapisan tersebut untuk keperluan simulasi kelongsoran dengan program *Plaxis V 8*. *Plaxis V.8* adalah program analisa geoteknik, terutama untuk analisa stabilitas tanah dengan menggunakan metode elemen hingga yang mampu melakukan analisa yang dapat mendekati perilaku sebenarnya. Geometri tanah yang akan dianalisa memungkinkan untuk diinput dengan cukup teliti. Selain itu *Plaxis V.8* menyediakan berbagai analisa tentang *displacement*, tegangan-tegangan yang terjadi pada tanah, faktor keamanan lereng dan lain-lain. Untuk melakukan analisis dari penampang melintang lereng daerah Weleri, digunakan metode elemen hingga dengan kondisi *plane strain* (regangan bidang). Model *plane strain* digunakan dengan asumsi bahwa sepanjang sumbu potongan melintang lereng relatif sama dan peralihan dalam arah tegak lurus potongan tersebut dianggap tidak terjadi.

Penentuan Parameter Tanah

Perilaku tanah dan batuan dibawah beban umumnya bersifat non-linier. Perilaku ini dapat dimodelkan dengan berbagai persamaan, yaitu model *Mohr Coulomb*, *Hardening Soil Model*, *Soft Soil Model*, dan *Soft Soil Creep Model*. Pada analisis ini digunakan model *Mohr-Coulomb* yang memerlukan 5 buah parameter :

Kohesi (c)

Sudut geser dalam (\emptyset)

Modulus Young (E_{ref})

Poisson Ratio (ν)

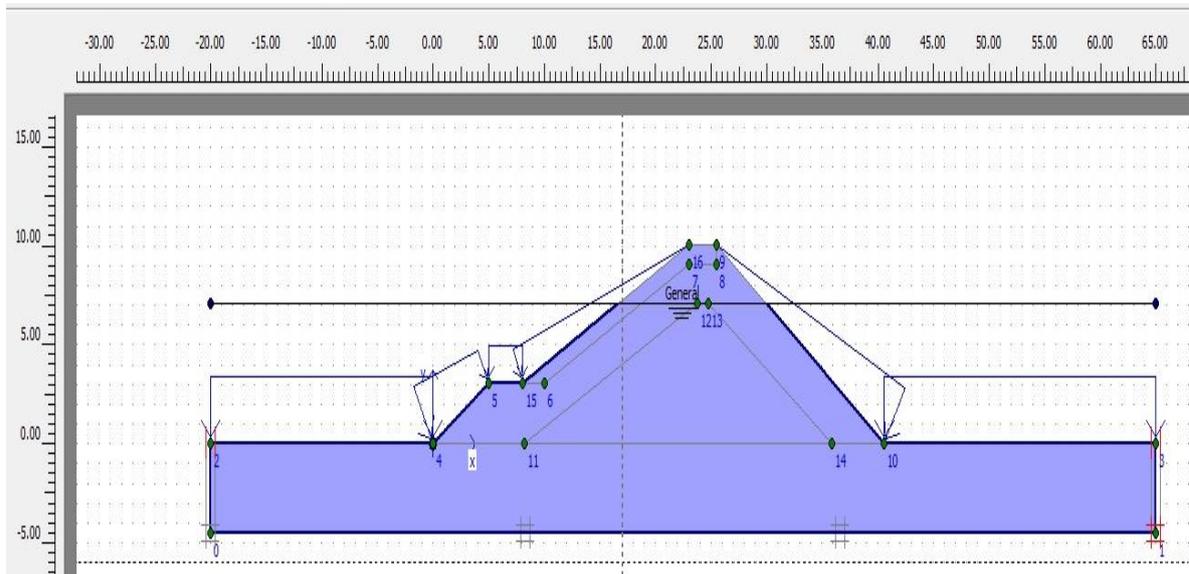
Berat isi tanah kering (γ_{dry})

Berat isi tanah jenuh air (γ_{sat})

Permeabilitas (k)

Nilai nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (\emptyset) didapat dari hasil pengujian tanah *direct shear* (geser langsung), dikarenakan elemen tanah telah mengalami deformasi jauh melewati tegangan puncak sehingga tegangan yang tersisa adalah tegangan sisa (*residual strength*). Dalam hal ini kuat geser yang representatif adalah kuat geser residual. Sedangkan modulus Young (E_{ref}) didapat dari pengujian *Unconfined Compression Test*. Nilai *Poisson's ratio* adalah berkisar 0,3.

Pemodelan PLAXIS digunakan permodelan dimana kondisi belum ada perkuatan tanah di lokasi tersebut dan adanya tekanan air laut dengan $\gamma = 10,25 \text{ kN/m}^2$.



Gambar 9. Permodelan dengan *Water Pore Pressure*

Dari hasil perhitungan manual didapatkan faktor keamanan untuk :
Plaxis v8.2 = 1,2612

Dari hasil perbandingan analisis stabilitas lereng Fellenius dengan berbagai metode baik manual maupun dengan *software* didapatkan besaran angka keamanan $FK > 1,4$ yang berarti kondisi stabilitas breakwater tersebut aman dan stabil dari kelongsoran untuk metode manual, sedangkan untuk metode dengan *software* Plaxis, memberikan angka keamanan $1.25 < FK < 1.4$ yang berarti kondisi breakwater tersebut tidak stabil tetapi aman dari kelongsoran. Hasil ini tidak sesuai dengan perkiraan keadaan yang terjadi di lapangan bahwa lereng breakwater mengalami kelongsoran sehingga menyebabkan penurunan breakwater. Berarti kemungkinan hanya terjadi pada daya dukung tanah asli yang tidak dapat menahan berat breakwater.

SOLUSI PENANGANAN

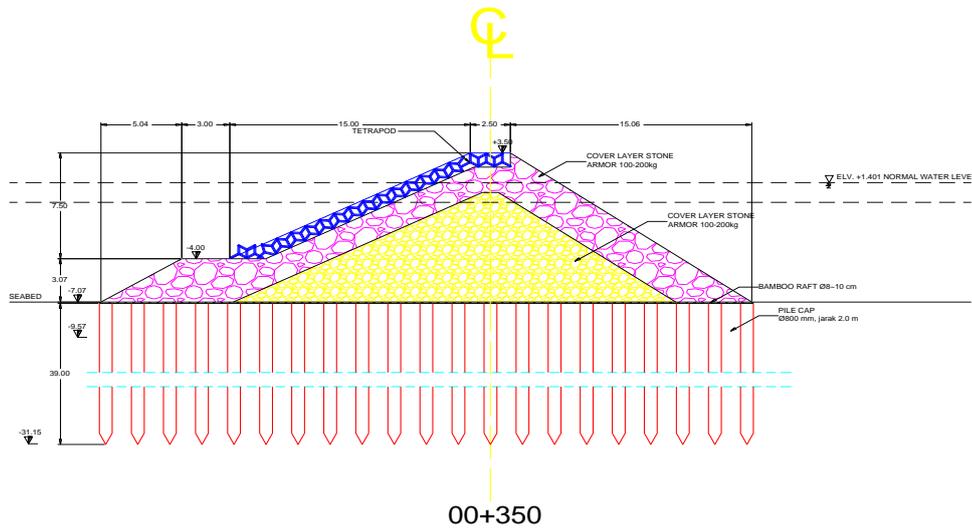
Pada kasus ini ternyata perlu dilakukan penanganan terhadap beberapa parameter bangunan breakwater di pelabuhan Kabupaten Batang diperkirakan masih kurang stabil karena kondisi di lapangan mengalami kelongsoran atau penurunan bangunan pada titik tertentu, meskipun pada analisa menyatakan bahwa struktur breakwater stabil. Penanganan yang dilakukan berupa :

1. Perkuatan Tanah Dasar.
2. Mengurangi berat cover layer stone breakwater.
3. Pada saat proses penumpukan batuan breakwater pada tanah dasar dilakukan tahap demi tahap per *elevation step construction*.

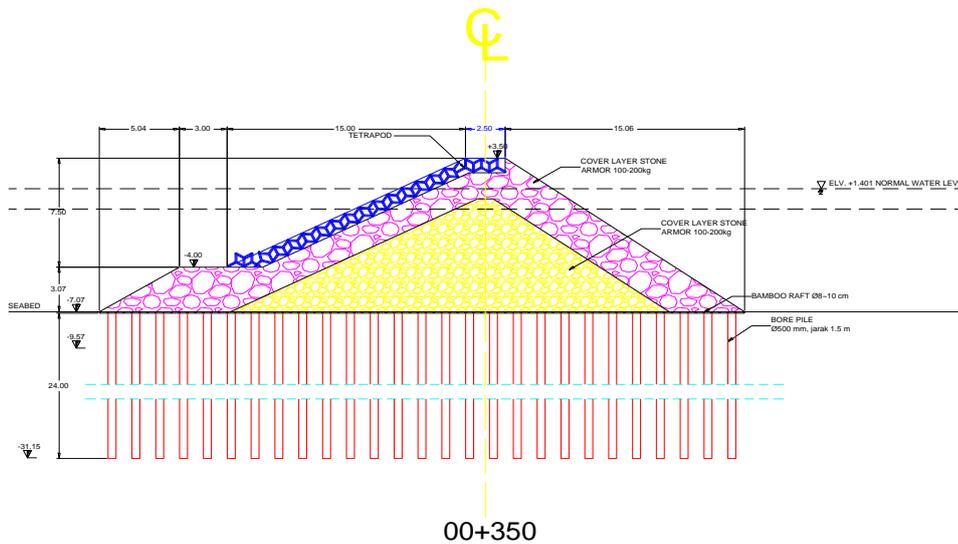
Perkuatan Tanah Dasar

Tabel 2. Solusi Perkuatan Tanah Dasar

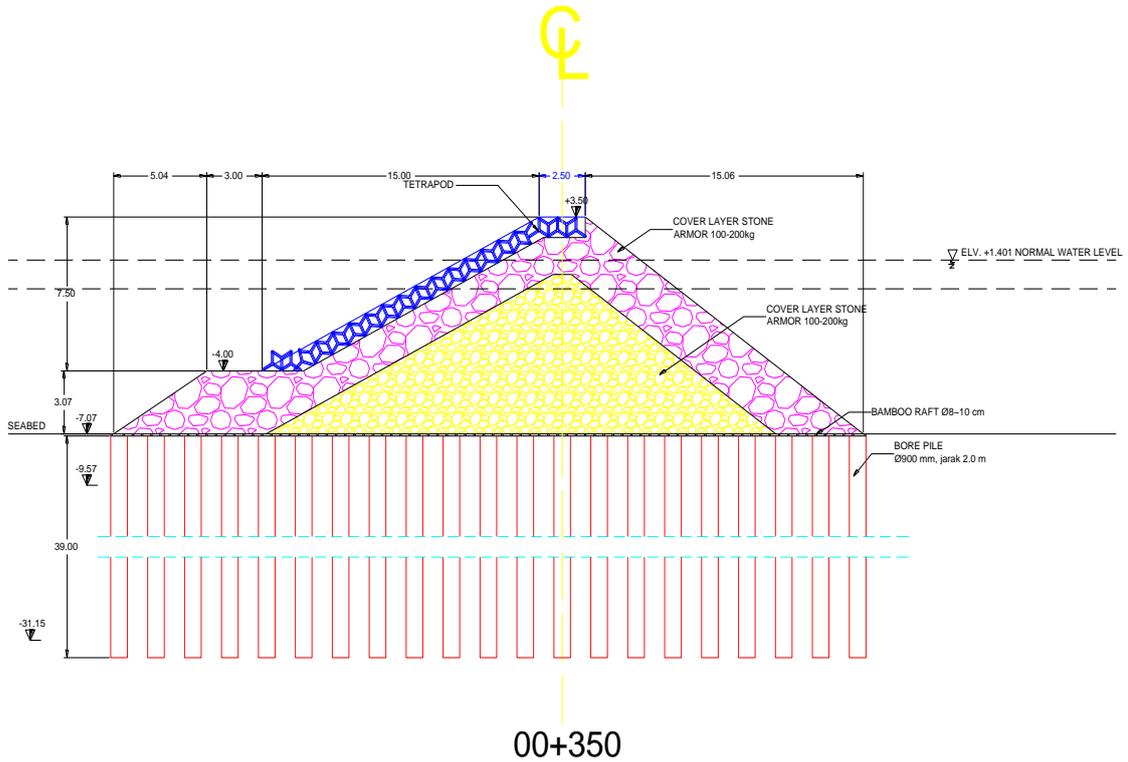
Properties	Foundation Type	Tiang Pancang	Bore-Pile	Bore-Pile	Bore-Pile	Unit
Material model	Model	Non-Organic	Non-Organic	Non-Organic	Non-Organic	-
Type of material behaviour	Type	Pile	Bore	Bore	Bore	-
Depth	D	Seabed to 29.50	Seabed to -24.00	Seabed to -39.00	Seabed to 24.00	M
Diameter	Ø	1.0	0.5	1.0	0.8	M
Jarak	S	2.0	1.5	2.0	2.0	M
Execution	Construction	Dapat Dilakukan dan harus teliti	Dapat dilakukan	Dapat Dilakukan	Dapat Dilakukan	-
Economy	Cost	Very Expensive	Expensive	Very Expensive	Very Expensive	-
Safety Factor	SF	1.4426	1.0515	1.4991	1.0778	-
Settlement	Uy	0.055	0.023	0.070	0.059	M
Keamanan	-	Aman dan Stabil	Aman tapi kritis	Aman dan stabil	Aman tapi kritis	-



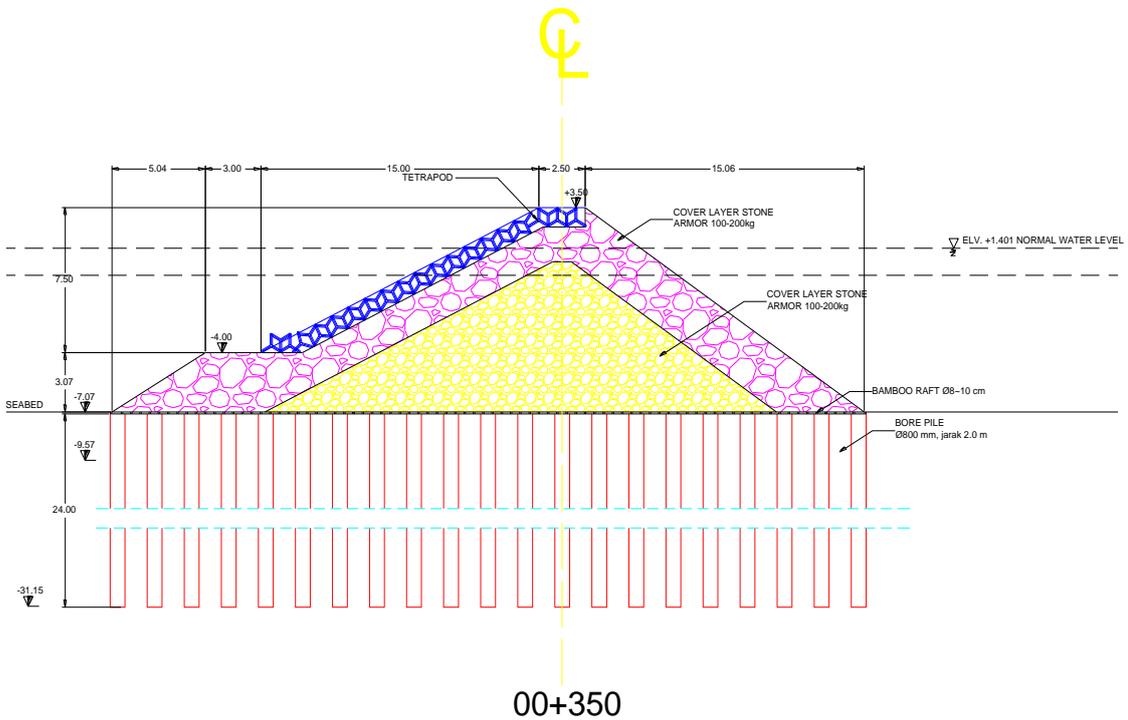
Gambar 10. Permodelan Solusi Perkuatan Tanah 1



Gambar 11. Permodelan Solusi Perkuatan Tanah 2

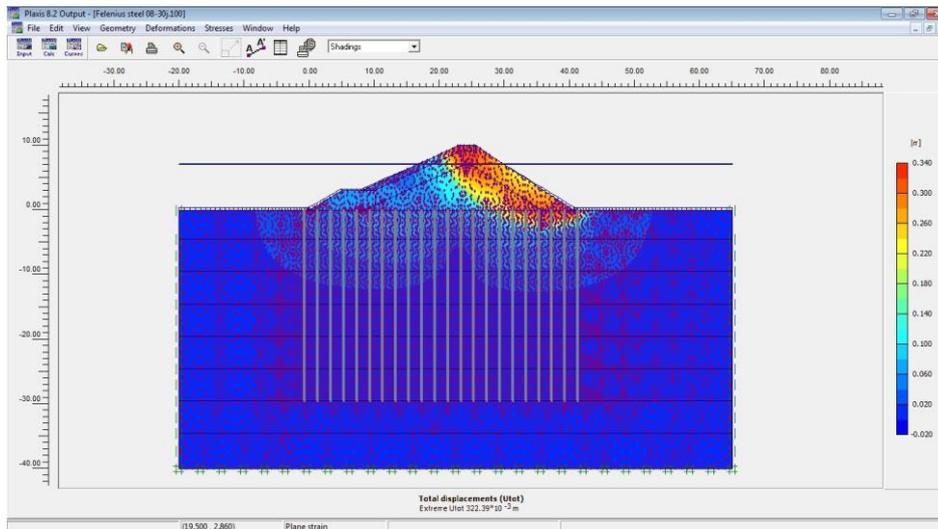


Gambar 12. Permodelan Solusi Perkuatan Tanah 3

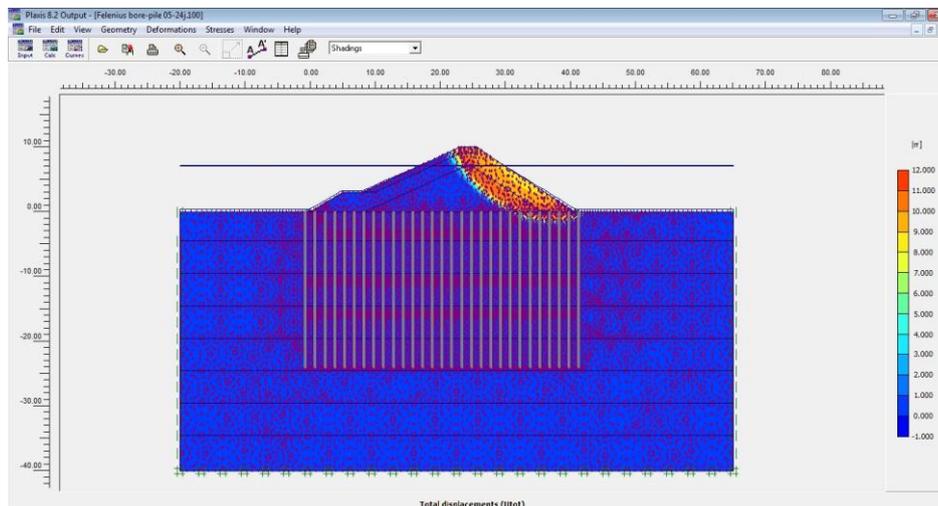


Gambar 13. Permodelan Solusi Perkuatan Tanah 4

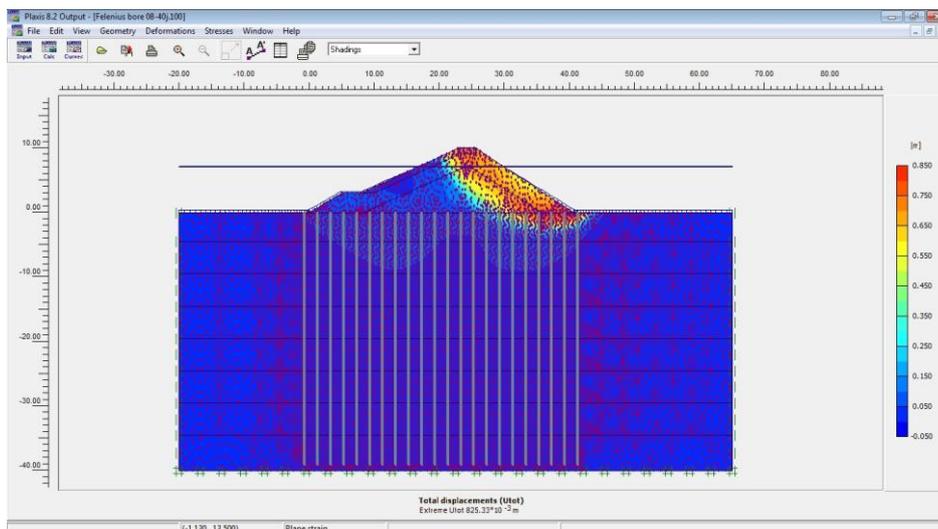
Hasil running dengan menggunakan PLAXIS diperoleh bidang longsor seperti gambar berikut:



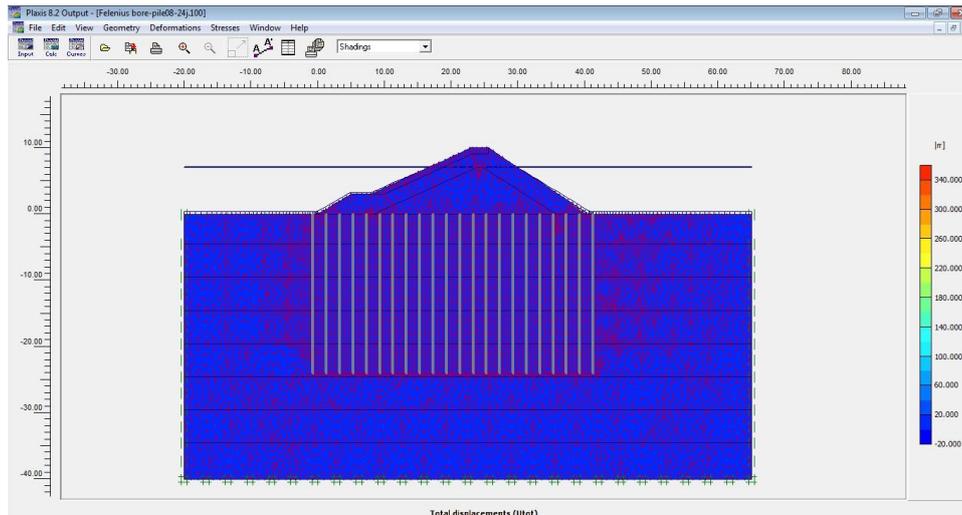
Gambar 14. Output Shading Solusi Perkuatan Tanah 1



Gambar 15. Output Shading Solusi Perkuatan Tanah 2



Gambar 16. Output Shading Solusi Perkuatan Tanah 3



Gambar 17. Output Shading Solusi Perkuatan Tanah 4

Pengurangan Berat Cover Layer Breakwater

Untuk mengurangi penurunan akibat beban berat sendiri breakwater, maka diperlukan pengurangan beban dari material yang digunakan yaitu seperti pada tabel.

Tabel 3. Solusi Pengurangan Berat Cover Layer

Properties	Layer Type	Batu Alam	Batu Alam	Batu Alam	Batu Alam	Unit
Material model	Model	<i>Coarse</i>	<i>Very Fine</i>	<i>Fine</i>	<i>Coarse</i>	-
Type of material behaviour	Type	Rock	Rock	Rock	Rock	-
Weight	W	100-200	50-100	100-150	100-150	kg
Diameter	\emptyset	1	0.25	0.75	0.75	m
Location	Layer	1	3	2 dan 3	2	-
<i>Friction angle</i>	ϕ	35	35	35	35	°
<i>Dilantacy angle</i>	ψ	0	0	0	0	°

*) Pada kasus ini akan dicoba menggunakan solusi perkuatan dengan pondasi yang ke-2

Untuk pengurangan berat cover layer yang dicoba dengan menginput material seperti pada tabel maka didapatkan :

SF sebelum = 1,0515

SF sesudah = 1,0654

Uy sebelum = 0,023 m

Uy sesudah = 0,01974 m

Dari hasil pengurangan berat cover layer didapatkan peningkatan hasil baik faktor keamanan maupun penurunan.

Elevation Step Construction

Pada solusi ini, penanganan dilakukan menggunakan elevasi pada struktur bangunan breakwater yang pada tahap konstruksi membutuhkan waktu yang cukup lama dalam penanganan dan menggunakan lebar jagaan .

Dan Langkah-langkah yang digunakan adalah:

1. Meletakkan material pada *bamboo raft* setinggi per 1 m
2. Kemudian amati penurunan tanah sampai mencapai penurunan 1 m sampai periode waktu tertentu.
3. Material hanya boleh diletakan jika penurunan sudah tidak terjadi lagi karena jika tidak maka akan didapatkan permukaan yang tidak rata dan tidak memudahkan untuk konstruksi.
4. Karena kemungkinan pekerjaan akan sulit dilakukan pada saat penumpukan batuan, maka harus diperlukan pengawasan secara menyeluruh.

Untuk penurunan tanah disaat konstruksi penumpukan material *cover layer stone* pada solusi perkuatan tanah pondasi yang ke-4 dengan menggunakan *software* plaxis dapat dilihat seperti tabel.

Tabel 4. Penurunan Tanah pada *Elevation Step Construction*

Elev. From Seabed	Uy(mm)
+1	1.21
+2	3.13
+3	5.66
+4	9.40
+5	14.89
+6	22.38
+7	33.44
+8	60.00
+9	86.38
+10.57	114.17

KESIMPULAN

Melalui analisa data tanah serta analisa kestabilan lereng dengan Metode Fellenius dan program PLAXIS *Version* 8.2 maka dapat disimpulkan untuk solusi penanganan terhadap beberapa parameter bangunan *breakwater* di pelabuhan Kabupaten Batang adalah seperti berikut:

1. Perkuatan Tanah Dasar.

Pada perkuatan tanah dasar dipilih menggunakan tiang pancang pada kedalaman dari dasar laut (*seabed*) sampai -29.50 m dengan Øtiang 1.0 m dan jarak antar tiang 2.0 m dengan *bamboo raft* dengan tebal 80 cm meskipun terlalu mahal.

2. Pengurangan Berat *Breakwater Cover Layer Stone*.

Untuk pengurangan berat *cover layer stone* kami menyimpulkan :

- a. *Layer 1* menggunakan Batu Alam *Coarse* dengan berat 100-200 kg
- b. *Layer 2* menggunakan Batu Alam *Fine* dengan berat 100-150 kg
- c. *Layer 3* menggunakan Batu Alam *Very Fine* dengan berat 50-100 kg

3. Elevation Step Construction.

Pada elevation step construction harus dilakukan secara teliti dan dengan pengawasan yang ketat karena kalau tidak akan sangat merugikan.

SARAN

Untuk kasus di pelabuhan Kabupaten Batang kami menyarankan untuk solusi penanganan yang ke-3, yaitu elevation step construction dilakukan secara hati-hati karena penanganan tersebut memerlukan ketelitian dan ketepatan meskipun membutuhkan waktu yang lama untuk mengerjakannya.

DAFTAR PUSTAKA

- Alhadar, Syafiq; Asrida, Luluk. 2013. *Laporan Tugas Akhir: Slope Stability Analysis On Clay Shale Soil In Toll Road Projects Semarang-Solo Package VI Access Branch Stack In Bawen Ramp-3 Sta 0+100 to Sta 0+200*. Teknik Sipil UNDIP. Semarang.
- D'Angremond, K; Van Roode, F.C. 2003. *Breakwater and Closure Dam*. Spoon Press Taylor & Francis Group: London and New York.
- Handayani, Maria S; Aryanto Yosef. 2013. *Laporan Tugas Akhir: Penanganan Longsoran Ruas Jalan Prupuk – Bts. Banyumas (Ciregol, Kec. Tonjong, Kab. Brebes) Pada Km. Pkl 115+550 s/d Km. Pkl 115+650*. Teknik Sipil UNDIP. Semarang.
- Khrisna, Rama Harya. 2013. *Laporan Tugas Akhir: Evaluation of the Stability of the Strengthened Slope of Ungaran Bawen Section of Semarang – Solo Toll Road*. Teknik Sipil UNDIP. Semarang.
- Look, Burt G. 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design table*. Taylor & Francis Group. London/ Leden/ New York/ Philadelphia/ Singapore.
- Laporan Hasil Penyelidikan Tanah Pada Review Desain Konstruksi Breakwater Pelabuhan Batang. 2013*. Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro: Semarang.
- Mechanical Properties of Bamboo*. http://bambus.rwth-aachen.de/eng/reports/mechanical_properties/referat2.html
- Muhrozi; WS, Kresno. 2013. *Nota Perhitungan Simulasi Stabilitas Breakwater di Pelabuhan Batang*. Soil Mechanic Laboratory Diponegoro University. Semarang.
- Slope Stability*. 2003. U.S Army Corps of Engineers. U.S.A.