

NASKAH ORISINAL

Pengembangan Desain Perbaikan dan Perkuatan Struktur *Graving Dock* Kapasitas 500 DWT di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang

R. Buyung Anugrah Affandhie | Yuyun Tajunnisa* | Muhammad Sigit Darmawan | Nur Achmad Husin | Ridho Bayuaji | Ibnu Pudji Rahardjo | Sungkono Sungkono | Suwandi | Kohar Yudoprasetyo | Moh. Safi'i Mansur

Departemen Teknik Infrastruktur Sipil,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Surabaya, Indonesia

Korespondensi

*Yuyun Tajunnisa. Departemen Teknik
Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi
Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
Alamat e-mail: yuyun_t@ce.its.ac.id

Alamat

Jalan Menur 127 Manyar, Laboratorium
Material dan Struktur Gedung.

Abstrak

Graving Dock adalah sebuah tempat untuk membangun atau memperbaiki kapal. Struktur *graving dock* pada umumnya terdiri dari struktur dinding beton dan struktur pelat lantai beton. Struktur *graving dock* yang ditinjau saat ini sering mengalami kerusakan pada struktur pelat dan struktur dindingnya. Kerusakan yang terjadi pada pelat lantai dapat disebabkan karena umur dan material bangunan yang sudah lebih dari 50 tahun, sedangkan pada dinding *graving dock* dapat disebabkan karena terbuat dari pasangan bata yang ditunjang *sloof* yang berada di atas fondasi batu kali tetapi tidak menjadi satu kesatuan dengan fondasi tersebut. Hal itu berpotensi menyebabkan kerusakan berat dan dapat mengganggu aktivitas perbaikan kapal di *graving dock*. Untuk menghindari kerusakan berat, pada pengabdian masyarakat ini dilakukan perbaikan dan perkuatan pada struktur pelat lantai dan dinding *graving dock*. Langkah awal yang dilakukan adalah survei pendahuluan bertujuan untuk memperoleh data kondisi saat ini. Selanjutnya dilakukan analisis dan evaluasi terhadap struktur *graving dock* yang ada saat ini. Langkah terakhir yang dilakukan adalah desain perbaikan *graving dock*. Hasil desain perbaikan, didapatkan dimensi dan penulangan yaitu struktur dinding tebal 30 cm dengan tulangan D16-150, struktur dinding miring tebal 50 cm dengan tulangan D19-150, pelat lantai tengah tebal 60 cm dengan tulangan D19-150, dan pelat lantai tepi tebal 45 cm dengan tulangan D19-150.

Kata Kunci:

Perbaikan dan Perkuatan Struktur, *Graving Dock*, Struktur Dinding Beton, Struktur Pelat Lantai Beton, Perbaikan Kapal.

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

Graving Dock yang sering juga disebut dok kolam/dok gali adalah suatu bangunan dok berbentuk kolam yang terletak di tepi laut atau sungai, mempunyai struktur dinding dan lantai yang kokoh seperti kolam. Untuk keluar masuknya kapal dari dok, dok kolam/*graving dock* dilengkapi sebuah pintu yang berbentuk seperti sebuah *ponton*, terbuat dari konstruksi baja, di mana pada pintu tersebut terdapat rongga-rongga yang dapat diisi air ataupun dikosongkan^[1]. Selain itu, pintu dok juga dilengkapi dengan katup-katup yang digunakan untuk proses pengisian rongga-rongga tersebut dengan air supaya pintu itu tenggelam^[2]. Untuk mengeluarkan air baik dari rongga-rongga pada pintu maupun air yang berada pada kolam maka dok ini dilengkapi dengan pompa air. Sebagai tempat untuk membangun atau memperbaiki kapal, *graving dock* dalam operasionalnya menggunakan berbagai peralatan angkat (*crane*) yang mempunyai kapasitas angkat sesuai dengan kapasitas dok kolam/*graving dock* itu. Salah satu layanan yang dilakukan di *graving dock* meliputi fasilitas dan pelayanan pemenuhan kebutuhan logistik kapal maupun penyedia *docking facility*.

Struktur *graving dock* milik PT Pelabuhan Indonesia (PT. Pelindo) yang berada di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang ini terdiri dari struktur dinding dan struktur beton pada pelat lantainya. Kondisi struktur *graving dock* yang ditinjau saat ini berada di sisi barat area operasional PT Pelindo. Selama beberapa tahun terakhir, *graving dock* tersebut sering mengalami kerusakan pada struktur pelat lantai dan dinding, khususnya pada bagian dinding sisi barat dan timur. Kerusakan yang terjadi pada pelat dapat disebabkan karena umur dan material bangunan yang sudah lebih dari 50 tahun, sedangkan pada dinding *graving dock* disebabkan karena terbuat dari pasangan bata yang ditunjang dengan fondasi batu kali. Namun, balok dan *sloof* yang di atas fondasi batu kali tidak menjadi satu kesatuan. Hal tersebut berpotensi menyebabkan kerusakan berat dan dapat mengganggu aktivitas perbaikan kapal di *graving dock*. Untuk menghindari kerusakan berat tersebut, perlu dilakukan perbaikan dan perkuatan pada struktur pelat lantai dan dinding *graving dock*.

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Permasalahan utama yang dihadapi dalam kegiatan pengabdian masyarakat ini adalah kerusakan struktural pada *Graving Dock* di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang, yang berpotensi mengganggu aktivitas perbaikan kapal. Kerusakan terjadi pada struktur dinding dan pelat lantai *graving dock*, yang disebabkan oleh umur bangunan yang sudah lebih dari 50 tahun. Masalah lain yang teridentifikasi adalah gaya *uplift* yang berlebihan saat *dock* tidak digunakan, yang menyebabkan deformasi pada struktur lantai.

Solusi yang diusulkan dalam kegiatan ini meliputi perbaikan dan perkuatan pada struktur dinding dan pelat lantai. Strategi utama yang dilakukan adalah melalui penyusunan *Detailed Engineering Design* (DED), yang mencakup perhitungan struktur, analisis gaya-gaya internal, serta evaluasi stabilitas geoteknik *graving dock*.

1.3 | Target Luaran

Kegiatan perbaikan dan perkuatan struktur *graving dock* ini bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dan kinerja struktur pelat lantai dan dinding pada *graving dock* dalam bentuk desain teknis berupa dokumen perencanaan *Detailed Engineering Design* (DED) sehingga kegiatan ini dapat menghasilkan perencanaan teknis perbaikan *graving dock* yang dapat dilaksanakan.

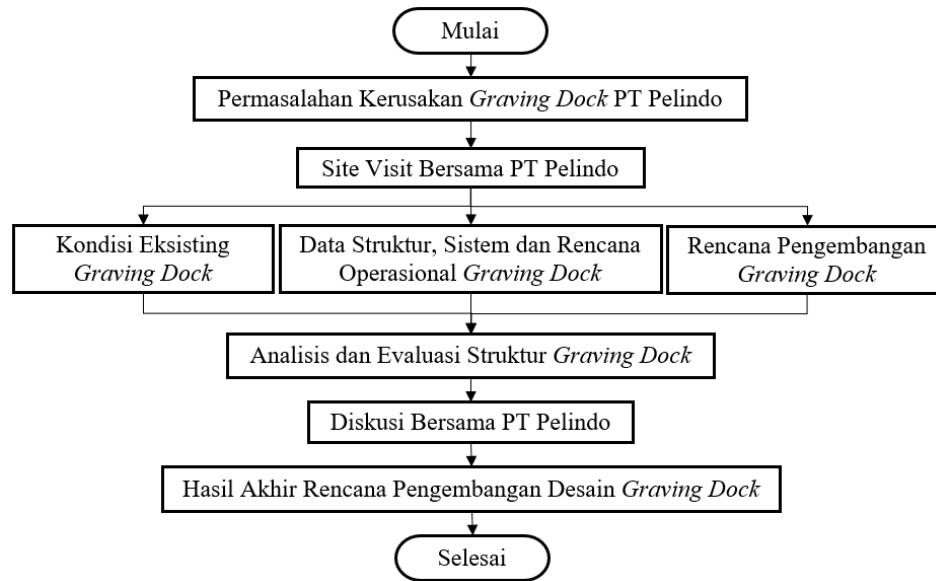
2 | METODE PELAKSANAAN

Gambar 1 menunjukkan langkah-langkah yang dilalui dalam kegiatan perbaikan dan penguatan struktur *graving dock*, yang meliputi beberapa tahapan, yaitu studi literatur, pengumpulan data, analisis struktur, hingga kesimpulan dan saran yang diberikan berdasarkan hasil analisis.

2.1 | Studi Litelatur

Pelaksanaan evaluasi struktur *graving dock* saat ini menggunakan acuan dan peraturan:

1. ACI 318-77, *Building Code Requirements for Reinforced Concrete*^[3].



Gambar 1 Diagram Alir Perbaikan dan Perkuatan Struktur *Graving Dock*.

2. SNI 03-2847-2019, Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung^[4].
3. SNI 8460:2017, Persyaratan Perancangan Geoteknik^[5].
4. Plaxis 2D Reference Manual Connect Edition V20^[6].
5. CSI Analysis Reference Manual for SAP 2000, ETABS, and SAFE^[7].
6. Standard Design Criteria for Ports in Indonesia 1984^[8].
7. Technical Standards for Port and Harbour Facilities in Japan^[9].

2.2 | Pengumpulan Data

Tahapan ini dilakukan untuk mengumpulkan berbagai data primer dan data sekunder. Pengambilan data primer dilakukan melalui survei dan pengujian di lapangan. Data primer meliputi:

1. Pengamatan visual dan pengambilan dokumentasi kerusakan-kerusakan yang ada. Hasil dokumentasi kerusakan yang terjadi dilihat pada Gambar 2 dan Gambar 3.
2. Pengukuran elevasi struktur saat ini. Detail elevasi ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 5.
3. Penyelidikan tanah di sekitar lokasi *graving dock*. Untuk hasil penyelidikan tanah ditunjukkan pada Tabel 1 yang berisi mengenai jenis tanah, konsistensi, dan nilai N-SPT.

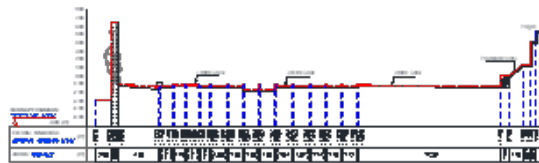


Gambar 2 Kerusakan dinding *graving dock* sisi timur pada tahun 2016.

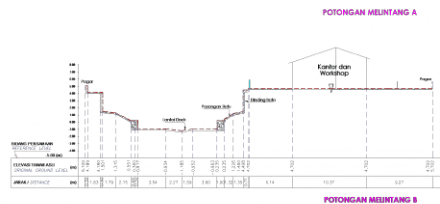


Gambar 3 Kerusakan dinding *graving dock* sisi barat pada tahun 2017.

Menurut informasi yang diperoleh, elevasi muka air pada saat terjadi banjir rob bisa mencapai 30 cm di atas elevasi puncak dinding *graving dock*. Kondisi tersebut dapat menyebabkan tanah di sekeliling *graving dock* menjadi jenuh sehingga tekanan tanah aktif akibat air terhadap struktur *graving dock* mencapai maksimal. Hal tersebut menjadi salah satu penyebab rusaknya dinding *graving dock* seperti pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 4 Elevasi pada Potongan Memanjang *Graving Dock*.



Gambar 5 Elevasi pada Potongan Melintang *Graving Dock*.

Dari hasil pengukuran topografi dan elevasi seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5, diperoleh ukuran panjang *graving dock* sebesar 50,60 m pada bagian atas dan 46,64 m pada bagian dasar, sedangkan lebar *graving dock* sebesar 19,35 m pada bagian atas dan 11,46 m pada bagian dasar. Untuk kedalaman *graving dock* dari permukaan sampai dengan dasar, nilainya bervariasi antara 5,70 m sampai dengan 5,90 m. Hasil pengukuran di lokasi *graving dock* ini, selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam perhitungan struktur rencana perbaikan *graving dock*.

Tabel 1 Jenis dan Konsistensi Tanah pada Titik Bor Dalam BH II

| Kedalaman (m) | Jenis Tanah | Konsistensi | N-SPT |
|---------------|-------------------------------|------------------------|---------|
| 0 – 2 | Tanah Timbunan | | |
| 0 – 24 | Lempung Berlanau | <i>Very Soft-Stiff</i> | 1 – 16 |
| 24 – 27 | Lempung Berlanau Kulit Kerang | <i>Hard</i> | 30 |
| 27 – 36 | Lempung Berlanau | <i>Very Stiff-Hard</i> | 27 – 32 |
| 36 – 45 | Pasir Berlanau | <i>Medium-Dense</i> | 26 – 36 |

Mengingat bangunan *graving dock* adalah bangunan lama, sehingga pengumpulan data sekunder dilakukan sepenuhnya berdasarkan data primer yang diperoleh saat pengukuran lapangan. Data material baik saat kondisi awal maupun kondisi perbaikan ditunjukkan pada Tabel 2 yang menunjukkan data teknis seperti mutu beton, mutu tulangan, dan data bobot kapal.

Tabel 2 Data Spesifikasi Teknis yang Digunakan

| Jenis Data | Kondisi Awal (Saat Ini) | Kondisi untuk Perbaikan |
|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| Data Mutu Beton | 17 MPa | 30 MPa |
| Data Mutu Tulangan | Ulir, $f_y = 400$ MPa | Ulir, 400 MPa |
| | Polos, $f_y = 240$ MPa | Polos, $f_y = 240$ MPa |
| Data Kapal | 400 DWT | 500 DWT |

2.3 | Analisis Struktur *Graving Dock*

Analisis *graving dock* dilakukan dengan dua tahap, yaitu analisis tahap satu kondisi *graving dock* bertujuan untuk mencari penyebab terjadinya kerusakan yang sudah terjadi. Kemudian Analisis tahap dua, analisis struktur saat ini perbaikan dan perkuatan dengan beban bobot kapal 500 DWT. Analisis dilakukan dengan menggunakan program bantu SAP 2000 dan Plaxis sebagai analisis metode elemen hingga, yang mana sebagai salah satu program bantu geoteknik yang memiliki *solver* yang kuat^[10]. Hasil analisis struktur *graving dock* saat ini yang dilakukan kemudian dilanjutkan dengan pembuatan desain perbaikan terhadap struktur *graving dock*.

2.4 | Serah Terima Hasil ABMAS

Berdasarkan hasil analisis struktur, disusun kesimpulan mengenai kondisi saat ini dan saran untuk tindakan perbaikan agar *graving dock* dapat berfungsi kembali secara normal. Setelah kegiatan perbaikan dan perkuatan struktur di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang selesai, dokumen *Detailed Engineering Design* (DED) diserahkan kepada pengelola *graving dock*.

Dokumen ini mencakup perencanaan teknis perbaikan dinding dan pelat lantai, serta spesifikasi material yang dibutuhkan. Dengan serah terima DED, mitra diharapkan segera melaksanakan perbaikan untuk meningkatkan keamanan dan operasional *graving dock*. Proses ini menandai berakhirnya kegiatan pengabdian masyarakat, dengan harapan hasilnya bermanfaat dan mendukung keberlanjutan operasional *graving dock*.

3 | HASIL DAN DISKUSI

3.1 | Analisis Tahap Satu Kondisi Awal Saat Ini

Kegiatan ini bertujuan untuk menganalisis kondisi *graving dock* di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang yang sering mengalami kerusakan pada pelat lantai dan dinding. Analisis dilakukan oleh tim dari Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS bekerja sama dengan PT Pelindo untuk mengevaluasi deformasi, momen, dan *displacement* pada struktur *dock*. Kerusakan ini diduga disebabkan oleh pembebanan kapal dan gaya *uplift* air, sehingga diperlukan identifikasi penyebab kerusakan guna menemukan solusi perbaikan yang tepat.

Proses analisis menggunakan perangkat lunak SAP 2000 dan Plaxis untuk memodelkan kondisi *dock* dengan dan tanpa kapal. Hasilnya menunjukkan *displacement* dan momen *uplift* yang signifikan, yang menandakan perlunya perkuatan pada struktur *graving dock* agar dapat terus berfungsi optimal sebagai fasilitas perbaikan kapal berkapasitas hingga 500 DWT. Analisis kondisi *graving dock* dilakukan untuk mencari penyebab terjadinya kerusakan yang sudah beberapa kali terjadi. Berikut hasil analisis awal kondisi saat ini:

1. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa bangunan *graving dock* tidak mengalami *fail* atau *rupture*.

2. Hasil perhitungan tanpa *barge* memiliki *lateral displacement* yang relatif kecil yaitu 7 cm, kemudian meningkat secara signifikan saat dibebani dengan *barge* yaitu ± 30 cm.
3. Kondisi tanpa *barge*, *displacement* arah vertikal menunjukkan besaran ± 7 cm, saat *barge loading* nilai *displacement* menunjukkan besaran ± 11 cm arah ke bawah. Hal tersebut terjadi akibat reaksi *loading-unloading barge*.
4. Momen pada lantai *graving dock* menunjukkan hasil yang signifikan. Dalam kondisi tanpa *barge* terjadi momen akibat *uplift* sebesar 365 kNm/m, sedangkan dalam kondisi *barge loading* menunjukkan beban sekitar 307 kNm/m. Kedua momen ini merupakan momen yang berlawanan arah akibat beban *loading* dan *unloading*.
5. *Displacement* yang signifikan atau berlebihan kemungkinan karena dimensi dinding, kolom, dan lantai yang kurang tebal.
6. Kerusakan yang terjadi sampai saat ini dapat disebabkan karena kondisi *loading-unloading* yang cukup sering sehingga material mengalami *fatigue*.

Dari hasil evaluasi kondisi saat ini yang sudah dilakukan, rekomendasi yang perlu dilakukan yaitu perbaikan dan perkuatan pada struktur dinding, kolom, dan memperkuat daya dukung tanah di bawah lantai.

3.2 | Analisis Tahap Dua Kondisi Perbaikan Saat Ini

3.2.1 | Konsep Pendekatan Analisis Struktur

Struktur *Graving Dock* dianalisis menggunakan paket program bantu analisis struktur SAP 2000 dan Plaxis. Analisis struktur memakai SAP 2000 dilakukan untuk mendapatkan gaya-gaya dalam dan deformasi di pelat dan dinding beton. Analisis memakai Plaxis digunakan untuk mendapatkan angka keamanan terhadap geser, guling, dan kapasitas daya dukung tanah.

3.2.2 | Identifikasi Pembebanan

Pembebanan yang diperhitungkan dalam melakukan pemodelan analisis struktur *graving dock* meliputi beban mati, beban hidup, beban akibat tekanan tanah dan beban akibat tekanan air. Untuk detail jenis beban dan besaran nilai pembebanan dapat dilihat pada Tabel 3.

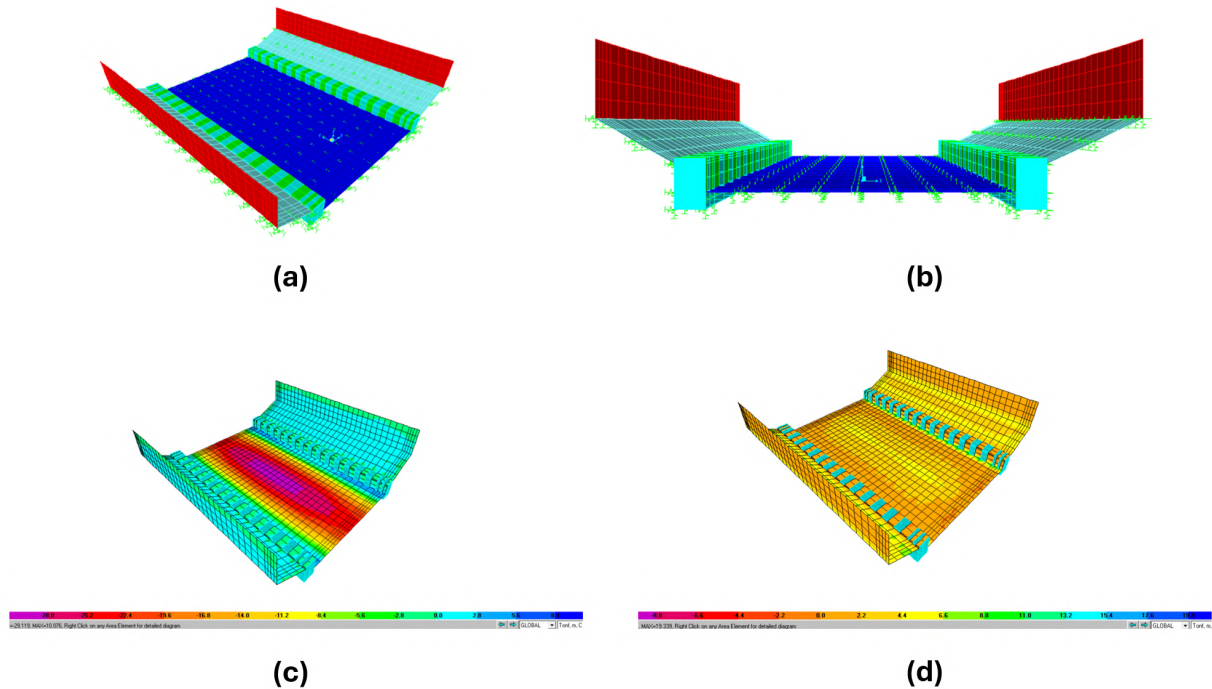
Tabel 3 Identifikasi Pembebanan Struktur *Graving Dock*

| Jenis Beban | Nilai | Satuan |
|-----------------------------------|-------------|-------------------|
| Beban mati (<i>self weight</i>) | 25 | kN/m ³ |
| Beban hidup (beban kapal) | 78,36 | kN/m' |
| Beban hidup (air) | 10 | kN/m ³ |
| Beban tekanan tanah | 17,83–19,10 | kN/m ³ |
| Beban tekanan air <i>uplift</i> | 10 | kN/m ³ |

Pada Tabel 3 beban hidup pada beban kapal terdiri dari beban pada *keel* sebesar 72,36 kN/m dan berat *keel*/m yaitu sebesar 6 kN, sehingga diperoleh beban hidup kapal total sebesar 78,36 kN/m.

3.2.3 | Pemodelan dan Analisis Struktur dengan SAP2000

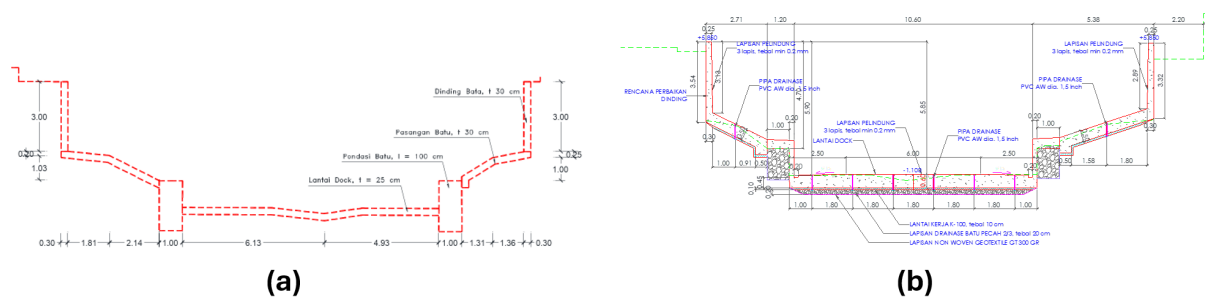
Pemodelan struktur *graving dock* dengan bantuan program SAP 2000 dapat dilihat pada Gambar 6a tampilan bidang XYZ dan Gambar 6b tampilan bidang XZ. Hasil analisis struktur *graving dock* dengan menggunakan program bantu SAP 2000 disajikan dalam bentuk grafis pada Gambar 6c dan Gambar 6d. Berdasarkan Gambar 8 menunjukkan bahwa nilai maksimum akibat momen lentur M11 adalah sebesar 29,12 kN.m yang terjadi pada area tengah pelat lantai. Pada Gambar 6d menunjukkan bahwa nilai maksimum akibat momen lentur M22 adalah sebesar 19,34 kN.m di mana terjadi pada area tepi pelat lantai.



Gambar 6 (a) Model 3D SAP 2000 Struktur *Graving Dock* Bidang XYZ, (b) Model 3D SAP 2000 Struktur *Graving Dock* Bidang XZ, (c) Diagram Momen Lentur M11 Struktur *Graving Dock*, (d) Diagram Momen Lentur M22 Struktur *Graving Dock*.

3.2.4 | Pemodelan dan Analisis Tegangan Tanah dengan Plaxis

Analisis stabilitas dilakukan dengan pendekatan metode elemen hingga menggunakan program bantu Plaxis 2D, yaitu dengan cara menghitung nilai *Safety factor* (SF) terhadap kelongsoran. Nilai SF di bawah 1,0 menunjukkan berpotensi longsor. Untuk kondisi stabil, syarat nilai SF minimum ditetapkan sebesar 1,2. Pada pemodelan dengan program bantu Plaxis, akan dimodelkan 2 tipe struktur *graving dock*, yaitu struktur saat ini dan struktur setelah perbaikan yang dapat ditunjukkan pada Gambar 7a dan Gambar 7b.



Gambar 7 (a) Cross Section Struktur *Graving Dock* Saat Ini, (b) Cross Section Struktur *Graving Dock* Setelah Perbaikan.

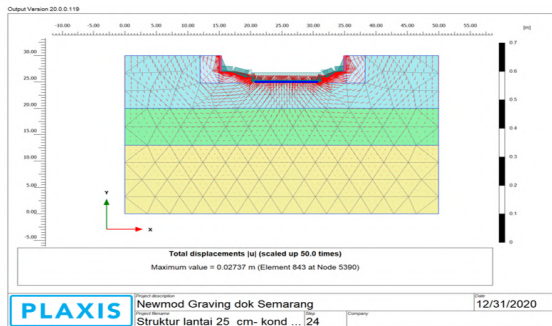
Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 7a, struktur saat ini memiliki tebal pelat lantai sebesar 25 cm, kemudian akan dilakukan perbaikan dengan mempertebal menjadi 45-60 cm seperti pada Gambar 7b. Analisis menggunakan program bantu Plaxis dengan memodelkan 4 kondisi, sebagai berikut:

1. *Graving dock* saat ini tanpa barge
2. *Graving dock* saat ini ada barge

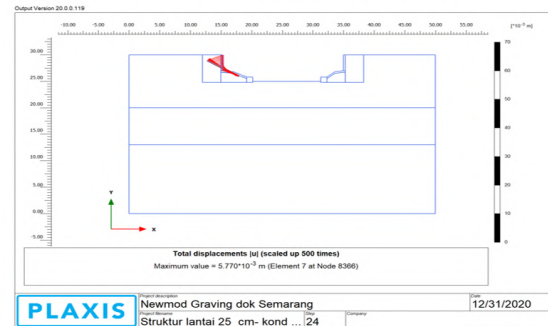
3. *Graving dock* setelah perbaikan tanpa barge
4. *Graving dock* setelah perbaikan ada barge

1. Hasil Analisis Struktur *Graving Dock* Saat Ini Tanpa Barge

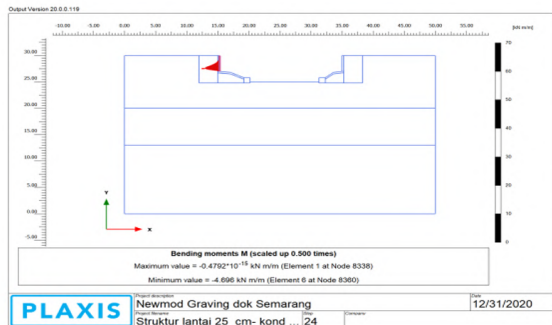
Hasil analisis struktur *graving dock* kondisi saat ini tanpa barge ditunjukkan pada Gambar 8(a-d). Hasil *displacement* pada dinding *graving dock* seperti pada Gambar 8b secara geoteknik menunjukkan masih dalam kestabilan dan tidak mengalami *failure*, dengan nilai maksimum *displacement* sebesar 0,00577 m yang mana masih di bawah nilai maksimum *displacement* yang diijinkan SNI Geoteknik yaitu 5% dari kedalaman *graving dock* atau sebesar 0,285 m.



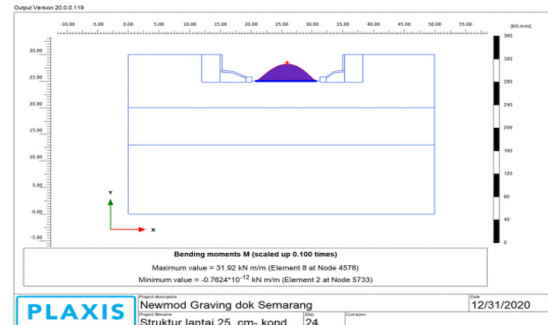
(a)



(b)



(c)



(d)

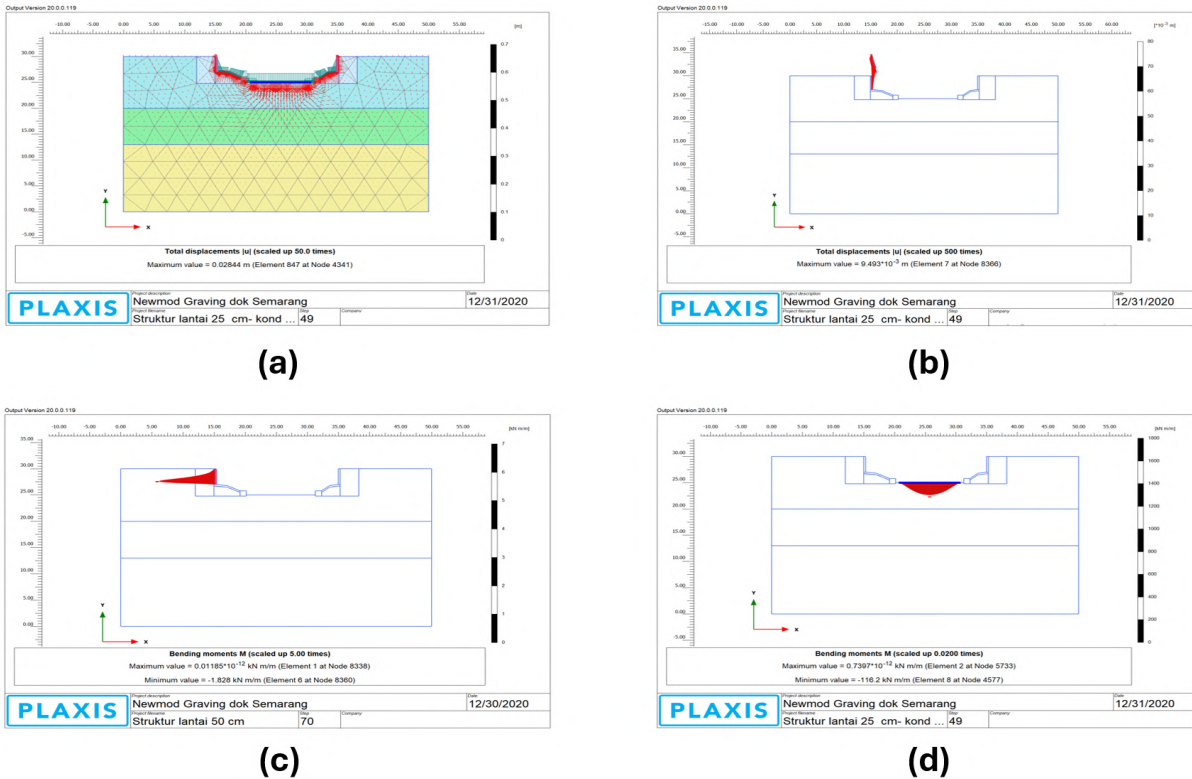
Gambar 8 (a) *Displacement* pada Pelat Lantai *Graving Dock* Kondisi Saat Ini Tanpa Barge Sebesar 0,0274 m, (b) *Displacement* Maksimum pada Dinding *Graving Dock* Kondisi Saat Ini Tanpa Barge Sebesar 0,00577 m, (c) Momen Maksimum pada Dinding *Graving Dock* Kondisi Saat Ini Tanpa Barge Sebesar -4,696 kN.m/m, (d) Momen Maksimum Pelat Lantai *Graving Dock* Kondisi Saat Ini Tanpa Barge Sebesar 31,92 kN.m/m.

Pada Gambar 8d, nilai *bending moment* saat tidak ada barge (*unloading*) sebesar 31,92 kN.m/m positif ke atas. Hal tersebut terjadi karena gaya *uplift* akibat air cukup besar apabila sedang tidak ada barge (*unloading*).

2. Hasil Analisis Struktur *Graving Dock* Saat Ini Ada Barge

Hasil analisis struktur *graving dock* kondisi saat ini dengan barge ditunjukkan dalam bentuk grafis pada Gambar 9(a-d).

Displacement pada lantai saat ada barge (*loading*) dapat ditunjukkan pada Gambar 9a yaitu sebesar 0,0284 m ke bawah. Nilai tersebut hampir sama saat kondisi tanpa barge (*unloading*) dapat ditunjukkan pada Gambar 5a yaitu sebesar 0,0274 m, namun kearah atas. Nilai *displacement* ke atas saat *unloading* memberi indikasi bahwa lantai mendapatkan gaya *uplift* saat kosong.



Gambar 9 (a) *Displacement* Pada Lantai *Graving Dock* Kondisi Saat Ini Ada *Barge* dengan *Displacement* Maksimum 0,0284 m, (b) *Displacement* Maksimum pada Dinding *Graving Dock* Kondisi Saat Ini Ada *Barge* Sebesar 0,0094, (c) Momen Maksimum pada Dinding *Graving Dock* Kondisi Saat Ini Ada *Barge* Sebesar -1,87 kN.m/m, (d) Momen Maksimum pada Pelat Lantai *Graving Dock* Kondisi Saat Ini Ada *Barge* Sebesar -116,2 kN.m/m.

Berdasarkan pada Gambar 9b, nilai *displacement* struktur *graving dock* saat ini sedikit meningkat (0,0094 m) ketika *graving dock* dibebani kapal. Nilai *displacement* tersebut juga masih memenuhi nilai *displacement* yang diizinkan SNI Geoteknik yaitu 5% dari kedalaman *graving dock* atau 0,285 m.

Berdasarkan Gambar 9c menunjukkan bahwa nilai momen maksimum yang terjadi pada dinding sebesar 1,87 kN.m/m saat *loading*. Nilai ini menurun apabila dibandingkan dengan saat kondisi *unloading* seperti pada Gambar 9b yaitu sebesar 4,696 kN.m/m. Hal tersebut dapat terjadi karena beban tekanan aktif tanah yang mendorong dinding *graving dock* sebagian tertahan oleh beban air yang meningkat dan menekan dinding *graving dock* dari dalam saat *graving dock* dibebani kapal.

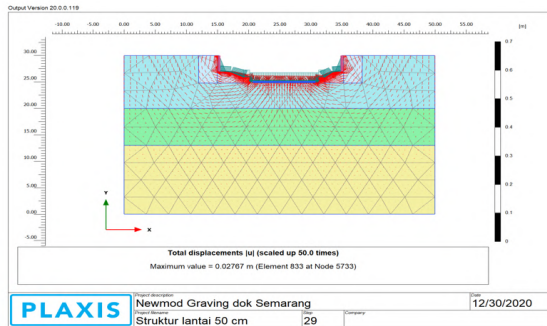
Momen maksimum akibat ada *barge* (*loading*) pada Gambar 9d menunjukkan nilai 116,2 kNm/m ke bawah, yang berarti *bending moment* akibat kapal atau *loading* lebih menentukan dibandingkan momen akibat *uplift* atau *unloading*.

3. Hasil Analisis Struktur *Graving Dock* Setelah perbaikan Tanpa *Barge*

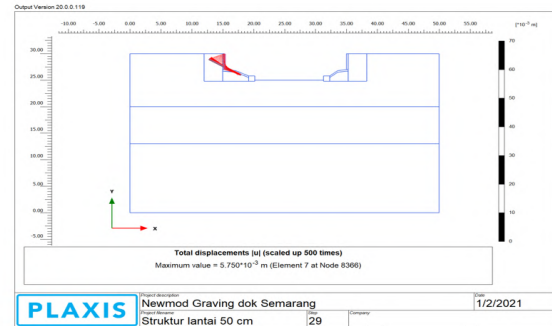
Hasil analisis struktur *graving dock* kondisi setelah perbaikan tanpa *barge* ditunjukkan dalam bentuk grafis pada Gambar 10(a-d).

Dari pemodelan *graving dock* setelah perbaikan terlihat bahwa *displacement* yang terjadi pada lantai *graving dock* yang ditunjukkan pada Gambar 10a sebesar 0,0277 m arah ke atas. Nilai *displacement* ke atas saat *unloading* memberi indikasi bahwa lantai mendapatkan gaya *uplift* saat kosong.

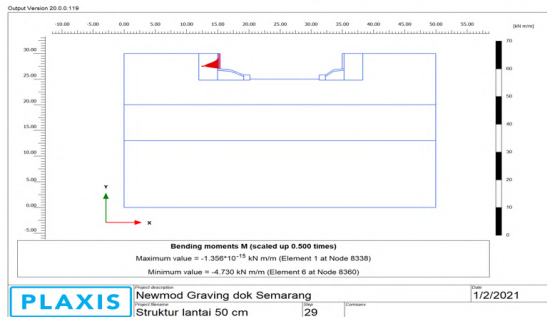
Hasil *displacement* struktur *graving dock* setelah perbaikan yang ditunjukkan pada Gambar 10b yaitu sebesar 0,00575 m di mana nilai tersebut masih di bawah nilai maksimum *displacement* yang diizinkan SNI Geoteknik yaitu 5% dari kedalaman *graving dock* atau sebesar 0,285 m.



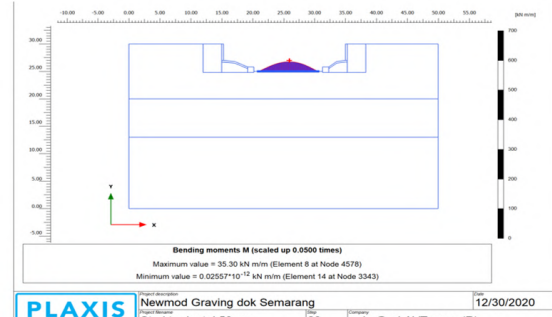
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 10 (a) *Displacement* pada Lantai *Graving Dock* Kondisi Setelah Perbaikan Tanpa *Barge* dengan *Displacement* Maksimum 0,0277 m, (b) *Displacement* Maksimum pada Dinding *Graving Block* Kondisi Setelah Perbaikan Tanpa *Barge* Sebesar 0,00575 m, (c) Momen Maksimum pada Dinding *Graving Dock* Kondisi Setelah Perbaikan Tanpa *Barge* Sebesar -4,73 kN.m/m, (d) Momen Maksimum Pelat Lantai *Graving Dock* Kondisi Setelah Perbaikan Tanpa *Barge* Sebesar 35,30 kN.m/m.

Pada Gambar 10d, nilai *bending moment* saat tidak ada *barge* (*unloading*) sebesar 35,30 kN.m/m positif ke atas. Hal tersebut terjadi karena gaya *uplift* akibat air cukup besar apabila sedang tidak ada *barge* (*unloading*).

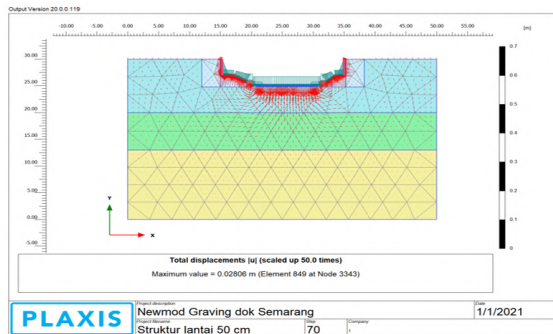
4. Hasil Analisis Struktur *Graving Dock* Setelah Perbaikan Ada *Barge*

Hasil analisis struktur *graving dock* kondisi saat ini dengan *barge* ditunjukkan dalam bentuk grafis pada Gambar 11(a-d).

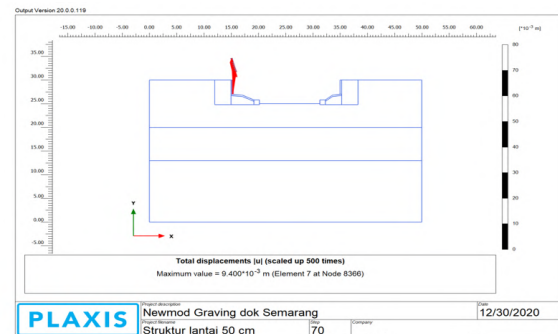
Berdasarkan Gambar 11a bahwa nilai *displacement* yang terjadi pada lantai *graving dock* sebesar 0,0281 m arah ke bawah. Nilai *displacement* ke bawah saat *loading* menunjukkan bahwa pembebanan kapal lebih dominan dibandingkan akibat *uplift*.

Dari pemodelan *graving dock* setelah perbaikan terlihat bahwa *displacement* yang terjadi pada kolom dinding saat tanpa *barge* atau *unloading* adalah 0.00575m ditunjukkan pada Gambar 10a, sedangkan saat dibebani *barge* atau *loading* nilai ini meningkat menjadi 0.0094m. Selanjutnya pada *bending moment* saat *unloading* adalah 4.73 kNm dapat ditunjukkan pada Gambar 10b, nilai ini menurun menjadi 1.828 kNm pada Gambar 11c.

Momen maksimum akibat ada *barge* (*loading*) pada Gambar 11d menunjukkan nilai 125 kNm/m ke bawah, yang berarti *bending moment* akibat kapal atau *loading* lebih menentukan dibandingkan momen akibat *uplift*.



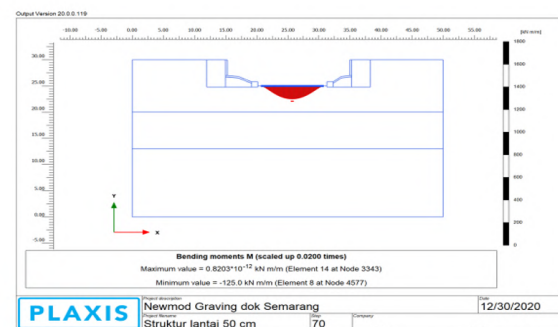
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 11 (a) *Displacement* pada Lantai *Graving Dock* Kondisi Setelah Perbaikan Ada *Barge* dengan *Displacement* Maksimum 0,0281 m, (b) *Displacement* Maksimum pada Dinding *Graving Dock* Kondisi Setelah Perbaikan Ada *Barge* Sebesar 0,0094 m, (c) Momen Maksimum pada Dinding *Graving Dock* Kondisi Setelah Perbaikan Ada *Barge* Sebesar -1,828 kN.m/m, (d) Momen Maksimum Pelat Lantai *Graving Dock* Kondisi Setelah Perbaikan Ada *Barge* Sebesar -125 kN.m/m.

5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan dengan Plaxis

Rekapitulasi hasil perhitungan dengan program bantu Plaxis ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4 Rekapitulasi Hasil Perhitungan dengan Plaxis

| Struktur | Displacement (cm) | Momen (kN.m/m) |
|--|-------------------|----------------|
| Kondisi saat ini tebal lantai 25 cm | | |
| Kolom dinding Tanpa kapal | 0,577 | 4,696 |
| Kolom dinding dengan kapal | 0,949 | 1,871 |
| Pelat lantai tanpa kapal | 2,737 | 31,92 |
| Pelat lantai dengan kapal | 2,844 | 116,2 |
| Kondisi perbaikan lantai tebal 45–60 cm | | |
| Kolom dinding Tanpa kapal | 0,575 | 4,730 |
| Kolom dinding dengan kapal | 0,940 | 1,828 |
| Pelat lantai tanpa kapal | 2,727 | 35,30 |
| Pelat lantai dengan kapal | 2,806 | 125,0 |

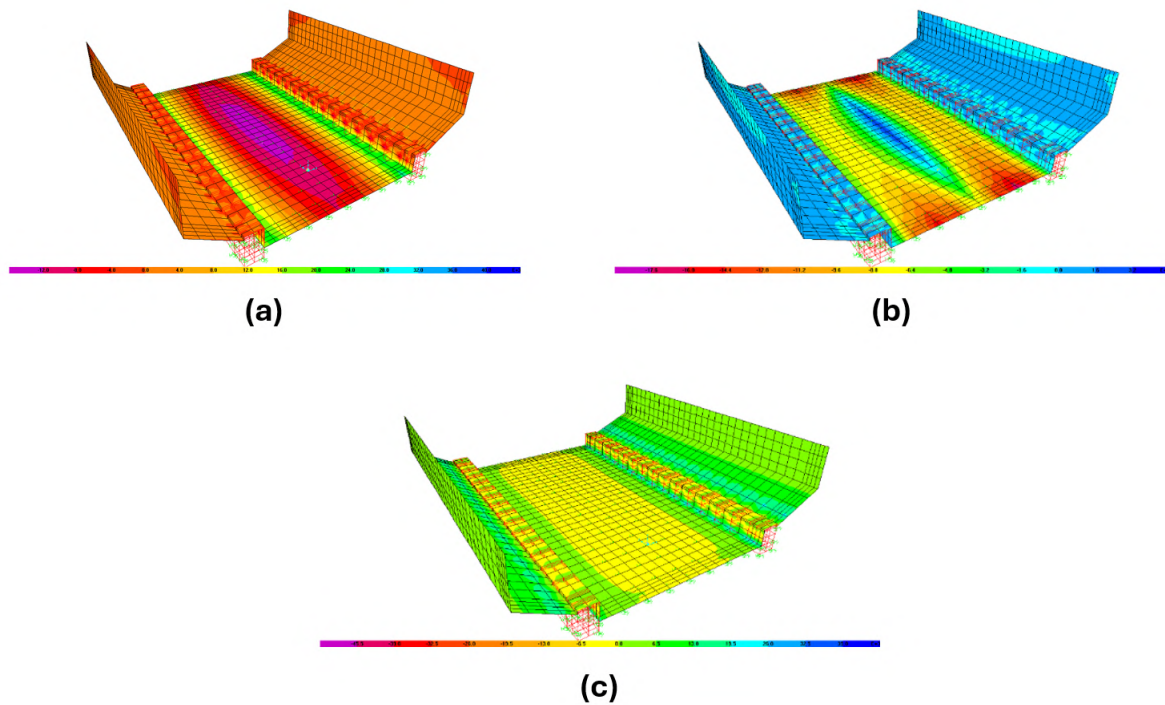
3.3 | Desain Perbaikan *Graving Dock*

Perbaikan akan dibedakan menjadi 2 jenis perbaikan, yaitu perbaikan pelat lantai *graving dock* dan perbaikan dinding *graving dock*.

3.3.1 | Gaya Dalam untuk Perhitungan Tulangan

1. Pelat Lantai

Analisis struktur dilakukan dua kondisi yaitu kondisi *unloading* (tanpa *barge*) dan kondisi sedang *loading* (ada *barge*), selanjutnya diambil nilai terbesar. Hasil analisis struktur pelat lantai ditunjukkan diagram momen pada Gambar 12a dan Gambar 12b. Berdasarkan Gambar 12a dan Gambar 12b hasil diagram momen menghasilkan momen maksimum sebesar 26 kN.m untuk pelat lantai tengah dan 4 kN.m.



Gambar 12 (a) Diagram hingga Pelat Lantai Kondisi Tanpa *Barge*, (b) Diagram Momen Pelat Lantai Kondisi Ada *Barge*, (c) Diagram Momen Struktur Dinding.

2. Struktur Dinding

Hasil analisis struktur dinding *graving dock* dapat ditunjukkan dengan diagram momen pada Gambar 12c.

Berdasarkan Gambar 12c hasil diagram momen menghasilkan momen maksimum sebesar 5,4 kN.m untuk struktur dinding dan 25 kN.m untuk struktur dinding miring.

3. Rekapitulasi Hasil Gaya Dalam

Untuk keperluan perhitungan penulangan diambil nilai yang terbesar dari hasil analisis memakai SAP 2000 dan Plaxis ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Ringkasan Hasil Perhitungan dengan SAP2000 dan Plaxis

| Elemen | Tebal (cm) | Mu. Max (ton.m) | |
|-------------------------|------------|-----------------|---------|
| | | Plaxis | SAP2000 |
| Pelat lantai tengah | 60 | 12,5 | 26 |
| Pelat lantai tepi | 45 | 12,5 | 4,0 |
| Struktur dinding | 30 | 0,50 | 5,4 |
| Struktur dinding miring | 50 | 0,50 | 25 |

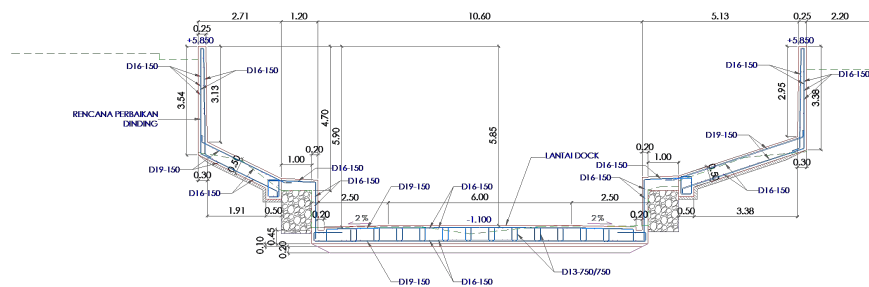
3.3.2 | Hasil Desain Penulangan

Rekapitulasi penulangan struktur perbaikan *graving dock* ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6 Rangkaian Hasil Perhitungan dengan SAP2000 dan Plaxis

| Elemen | Tebal (cm) | Penulangan |
|-------------------------|------------|------------|
| Pelat lantai tengah | 60 | D19-150 |
| Pelat lantai tepi | 45 | D19-150 |
| Struktur dinding | 30 | D16-150 |
| Struktur dinding miring | 50 | D19-150 |

Detail penulangan pada rencana struktur perbaikan *graving dock* ditunjukkan pada Gambar 13.

**Gambar 13** Tipikal Penulangan Struktur Perbaikan *Graving Dock*.

4 | KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah menganalisis dan mengevaluasi struktur *graving dock* sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan dari kegiatan ini. Pada kondisi saat ini terlihat bahwa bangunan *graving dock* secara geoteknik menunjukkan masih dalam kestabilan dan tidak mengalami *failure*. Hal ini ditunjukkan dari *displacement* 0.577 cm (saat tidak ada *barge*) pada kolom dinding yang masih di bawah batas maksimum *displacement* yang diizinkan SNI Geoteknik (5% dari kedalaman *graving dock*). *Displacement* ini sedikit meningkat (0.9493 cm) ketika *graving dock* dibebani kapal di mana *bending moment* yang terjadi pada kolom dinding menunjukkan nilai 4,696 kNm saat *unloading*, namun nilai ini menurun menjadi 1.871 kNm/m saat *loading*. *Displacement*

pada lantai saat *unloading* adalah 2.737 cm arah ke atas, di mana nilai ini hampir sama saat *loading* yaitu 2.844 cm, namun ke arah bawah, *displacement* ke atas saat *unloading* memberi indikasi bahwa lantai mendapatkan gaya *uplift* saat kosong. *Bending moment* yang terjadi saat *uplift* adalah 39.12 kNm/m positif ke atas, sedang saat pembebanan kapal atau *loading bending moment* ini menjadi 116.2 kNm/m positif ke bawah, yang berarti *bending moment* akibat kapal atau *loading* lebih menentukan dibanding momen akibat *uplift* atau *unloading*.

Kondisi setelah perbaikan terlihat bahwa bangunan *graving dock* menunjukkan bahwa *displacement* yang terjadi pada kolom dinding saat tanpa kapal atau *unloading* adalah 0.575 cm, sedang saat dibebani kapal atau *loading* nilai ini meningkat menjadi 0.94cm, sedang *bending moment* saat *unloading* adalah 4.73 kNm, nilai ini menurun menjadi 1.828 kNm saat *loading*. *Displacement* lantai saat *unloading* adalah 2.7267 cm arah ke atas, sedang saat *loading* 2.806 cm arah ke bawah, sedang *bending moment* saat *unloading* adalah 35.3 kNm/m positif ke atas, nilai ini menjadi 125 kNm/m negatif ke bawah, hal ini menunjukkan momen akibat pembebanan kapal lebih dominan dibandingkan akibat *uplift*.

Dari hasil desain perbaikan, didapatkan dimensi dan penulangan yaitu struktur dinding tebal 30 cm dengan tulangan D16-150, struktur dinding miring tebal 50 cm dengan tulangan D19-150, pelat lantai tengah dengan tulangan D19-150, dan pelat lantai tepi dengan tulangan D19-150. Adapun rekomendasi dari kegiatan ini adalah segera dilakukan perbaikan mengingat kondisi *graving dock* saat ini sudah banyak mengalami kerusakan. Hal utama yang perlu diperhatikan saat perbaikan lantai adanya *uplift* saat *graving dock* kosong sehingga sedapat mungkin mengurangi tekanan *uplift* yang timbul dengan memberikan lubang-lubang pada lantai dan pompa yang cukup untuk memompa air ke laut.

Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian yang telah dilakukan ini berjalan sesuai dengan harapan. Analisis dan evaluasi yang dilakukan telah memberikan hasil yang komprehensif dan dapat menjadi dasar yang kuat untuk pelaksanaan perbaikan. Perbaikan yang direncanakan diharapkan dapat meningkatkan kekuatan struktur *graving dock* secara optimal, terutama dalam mengatasi masalah *uplift* dan beban kapal. Oleh karena itu, tindak lanjut perbaikan yang segera dilakukan akan membawa dampak positif pada keseluruhan kestabilan bangunan *graving dock* ke depannya.

5 | UCAPAN TERIMA KASIH

Pengabdian masyarakat ini didukung oleh Laboratorium Material dan Struktur Gedung (LMSG), Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya.

Referensi

1. Heger R. In: Dockmaster Training Manual Heger Dry Dock Inc.; 2018. p. 1–15.
2. Royal HaskoningDHV. Dock & Lock Gates. Netherlands: Royal HaskoningDHV; 2018.
3. ACI Committee 318. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-95) and Commentary (ACI 318R-95). Farmington Hills, MI, USA: American Concrete Institute; 1995.
4. Badan Standardisasi Nasional, SNI 03-2847-2019: Tata Cara Perencanaan Struktur Beton untuk Bangunan Gedung. Jakarta, Indonesia; 2019.
5. Badan Standardisasi Nasional, SNI 8460:2017: Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta, Indonesia; 2017.
6. Bentley Systems. Plaxis 2D Reference Manual Connect Edition V20. Exton, PA, USA; 2020.
7. Computers & Structures, Inc . CSI Analysis Reference Manual for SAP2000, ETABS, SAFE, and CsiBridge. Berkeley, CA, USA; 2004.
8. Maritime Sector Development Programme, Directorate General of Sea Communications. Standard Design Criteria for Ports in Indonesia. Jakarta, Indonesia; 1984.
9. Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism. In: Goda Y, Takahashi S, Yamato S, editors. Technical Standards and Commentaries for Port and Harbour Facilities in Japan The Overseas Coastal Area Development Institute of Japan;

2009. .

10. Villas BS, Khaja M. Finite Element Analysis of Soil Bearing Capacity using Plaxis. International Journal for Scientific Research & Development 2015;3(4):891–894.

Cara mengutip artikel ini: Affandhie, R. B. A., Tajunnisa, Y., Darmawan, M. S., Husin, N. A., Bayuaji, R., Rahardjo, I. P., Sungkono, S., Suwandi, S., Yudoprasetyo, K., Mansur, M. S., (2025), Pengembangan Desain Perbaikan dan Perkuatan Struktur *Graving Dock* Kapasitas 500 DWT di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang, *Sewagati*, 9(4):849–863, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i4.210>.