

ANALISA KEKUATAN RAMP PLATE UNTUK LOADOUT MENGGUNAKAN MODULAR TRAILER AKIBAT BEBAN STATIS BERBASIS METODE ELEMEN HINGGA

Muhammad Burhanuddin, ST¹

Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik Universitas Borobudur

ABSTRAK

Istilah *loadout* sering digunakan dalam proses fabrikasi dan instalasi anjungan minyak lepas pantai di dunia industri minyak dan gas bumi; dimana struktur penopang (*jacket*) dan anjungan (*topside*) yang sebelumnya difabrikasi di lapangan fabrikator (*yard*) harus dipindah (*di-transport*) ke atas sarana angkutan laut (tongkang, kapal) untuk diinstalasi di tengah laut. Jika pemindahan struktur tersebut sangat berat dan besar maka sarana *material handling* yang digunakan biasanya menggunakan sarana transportasi khusus yang memiliki roda banyak (*multi-axle trailer* atau *modular trailer*) yang dapat berjalan sendiri (*self-propeller*) atau harus ditarik dan didorong dengan *prime mover* atau kepala truk. Penelitian tentang kekuatan *Ramp Plate* yang digunakan untuk menyeberangi *jetty* ke tongkang dilakukan untuk menganalisa bagaimana tegangan yang terjadi akibat beban statis tersebut ketika satu *axle* roda *modular trailer* harus berhenti dan menunggu untuk berjalan maju atau mundur dengan menggunakan program berbasis *Metode Elemen Hingga (MEH)*. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil tegangan model dengan tegangan yang diizinkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI), atau merujuk pada kriteria lain seperti *American Institute of Steel Construction (AISC)*. Hasil analisa memperlihatkan bahwa; tegangan maksimum terjadi pada node 8184 sebesar 18,05MPa, dan deformasi maksimum terjadi pada node 7371 sebesar 0,15mm. Tegangan ini masih dalam kondisi aman karena dibawah tegangan ijin menurut BKI, AISC, dan kekuatan bahan itu sendiri. Analisa ini juga menghasilkan nilai *safety factor* sebesar 18,85.

Kata kunci: Loadout, Ramp Plate, Beban Statis, Tegangan, Metode Elemen Hingga.

Abstract

Loadout term is often used in the offshore oil platforms fabrication and installation in oil and gas industry; wherein the supporting structure (*jacket*) and platforms (*topside*) that previously manufactured on fabricator yard to be transferred or transported in to barges, and next to be installed in offshore. If the transferring of these structures are very heavy and oversized, then the material handling needed is a special trailer with has multi wheels (*modular trailer*) as well as operated with self-propeller power or pulled and pushed by the head-truck. Research on the stress analysis of Ramp Plate that would be

¹ Alumni Fakultas Teknik Universitas Borobudur, Jakarta (Method Engineer, PT. Indonesia Project Logistics, Jakarta)

used to cross over the jetty to the barge was carried out to analyze the stress caused by static load when one axle line modular trailer had to stop and wait to walk forward or backward by using program *Finite Element Method (FEM)* based. Validation had been done by comparing the results of the model with allowed by BKI, or refer to AISC standard criteria. The results showed that the maximum stress occurs at the node 8184 at 18.05 MPa and maximum deformation occurs at the node 7371 at 0.15mm. This stress is still safe since still under the allowable stress according to BKI, AISC, and material strength. This analysis resulted in the value of safety factor at 18.85.

Keywords: Loadout, Ramp Plate, Stress Analysis, Finite Element Method

I. PENDAHULUAN

Secara umum terdapat perbedaan yang sangat mendasar proses pembangunan sebuah anjungan lepas pantai dengan bangunan darat (*land-base structures*). Sebuah bangunan darat, proses pembangunannya sejak dari tahap awal hingga akhir dilakukan di tempat yang sama. Sebaliknya, sebuah anjungan lepas pantai, apapun jenisnya, dibangun atau difabrikasi di tempat yang berbeda dengan lokasi akhir tempat instalasinya.

Loadout sendiri menurut *GL Nobel Denton Guideline No. 0013/REV7* adalah proses relokasi bangunan lepas pantai (*deck, jacket, pile*, dan lain lain) dari *erection area* (lokasi pendirian/fabrikasi) ke atas tongkang (*barge/pontoon*) baik dengan menggerakkan struktur secara horizontal ataupun dengan metode pengangkatan (*lifting*).

Dalam proses tahap ini, pemindahan dan peletakan struktur ke atas kapal angkut atau tongkang, biasanya menggunakan bantuan alat angkat dan angkut. Biasanya, kapal angkut atau tongkang diposisikan di tempat terdekat dengan lapangan fabrikasi.

Proses ini termasuk tahap yang cukup kritis, karena stabilitas sarana angkut harus diperhitungkan dengan cermat setelah ada beban di atasnya, apalagi obyek yang akan menyeberangi dermaga menuju keatas tongkang (Chakrabarti, 2005).

Sebuah jembatan (*ramp*) sudah harus disiapkan agar sarana angkut yang membawa struktur tersebut dapat masuk ke atas tongkang dengan selamat. Kegagalan pada proses ini dapat mengakibatkan jatuhnya struktur ke laut selama pengangkutan; dan tidak menutup kemungkinan kegagalan tersebut bisa terjadi pada saat proses loadout tersebut.

Oleh karena itu desain jembatan rampa (*ramp*) harus benar-benar cukup kuat dan stabil sesuai dengan standar yang diminta dan berlaku. Tujuannya adalah untuk menunjukkan bahwa material yang digunakan adalah aman untuk proses loadout tersebut;- yang menggunakan *modular trailer* saat beban maksimum terjadi pada 1 (satu) *line axle* saat diatas rampa.

Pada kasus ini, penulis hanya melakukan analisa kekuatan pada kondisi *ramp plate* yang dihamparkan antara dermaga (*jetty*) untuk menutupi cela atau *gap* dengan kapal tongkang tersebut. Akibat beban statis yang berada diatasnya, ada tegangan yang terjadi pada konstruksi *ramp plate* tersebut.

Tegangan ini tidak boleh melebihi batas maksimum tegangan *yield* ($\sigma_{ultimate}$) dari material *ramp plate* yang digunakan, dan tegangan ijin ($\sigma_{allowable}$) berdasarkan standar dari Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) atau menggunakan rujukan standar lain seperti kriteria dari *AISC ASD 9th Edition*.

Penulis mengambil studi kasus di PT. Gunanusa Fabricators Utama, Cilegon (PTG) dimana *ramp plate* yang dianalisa adalah double *steel plate* ASTM 36 dengan masing-masing ketebalan 1 inch yang akan digunakan untuk proses loadout PHE-12 Deck milik Pertamina Hulu Eksplorasi West Madura Offshore (PHE-WMO).

Analisa kekuatan *ramp plate* dilakukan dengan pendekatan *ultimate* dari beban maksimum bahan yang digunakan, sehingga dari hasil analisa, dapat diketahui beban yang terjadi pada posisi maksimal di *45 ton per axle line* dan karakteristiknya.

Terdapat dua tujuan utama dari kajian ini, yaitu; untuk menerangkan pemodelan *Finite Element* *ramp plate* untuk loadout; dan untuk mengetahui beban *ultimate* yang bisa diberikan dan menguraikan perilaku *ramp plate* tersebut.

Dalam tulisan ini, perhitungan kekuatan *ramp plate* menggunakan Metode Elemen Hingga (MEH) dan dibantu dengan software berbasis MEH selain perhitungan manual.

I.1. Rumusan Masalah

Karena analisis adalah aktivitas yang memuat sejumlah kegiatan seperti; mengurai, membedakan, memilah sesuatu untuk digolongkan dan dikelompokkan kembali menurut kriteria tertentu kemudian dicari kaitannya dan ditafsirkan maknanya, maka dalam analisis ini diperlukan metode analisisnya, yaitu metode elemen hingga (*Finite Element Method*) selain menghitung tegangan ijin (ASD). Tujuannya adalah untuk memecahkan masalah dengan target yang jelas (Archer, 1965).

Dengan memperhatikan pokok permasalahan yang terdapat pada latar belakang diatas, maka diambil beberapa rumusan masalah pada analisa ini antara lain:

- a) Bagaimana karakteristik tegangan yang terjadi pada konstruksi *ramp plate* untuk loadout?
- b) Dimana letak komponen yang paling kritis pada konstruksi *ramp plate* tersebut setelah diberi pembebanan?
- c) Berapa nilai *safety factor* pada konstruksi *ramp plate* tersebut?

I.2. Batasan Masalah

Karena banyaknya permasalahan yang bisa dianalisa dari kasus *ramp plate* ini, maka perlu dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut:

- a) Perhitungan hanya pada kekuatan konstruksi *ramp plate* saja.
- b) Tidak menghitung kekuatan konstruksi dari dermaga (*jetty*).
- c) Tidak menghitung kekuatan struktur tongkang (*barge*), dan stabilitas tongkang.

I.3. Manfaat Kajian

- a) Pengambilan keputusan menghadapi ketidak-pastian dengan resiko tinggi bila melakukan kekeliruan terhadap obyek yang menjadi pekerjaan utama, yakni loadout.

- b) Menemukan komponen fisik yang tepat untuk menciptakan suatu struktur fisik yang nantinya akan digunakan dalam proses operasional lebih lanjut dengan menggunakan pemodelan terhadap infrastruktur yang di digunakan.
- c) Dapat digunakan sebagai rujukan untuk melakukan simulasi atas sesuatu pekerjaan yang sama sebelum benar-benar melakukan pekerjaan tersebut di lain waktu (*simulating what we want to do it as many times, as may be necessary to feel confident in the final result*) dimana simulasi dapat dilakukan berulang-ulang atau sesering mungkin sehingga dirasa yakin akan hasil akhirnya.
- d) Sebagai aktifitas kreatif sebagai seorang *engineer* yang didalamnya terkandung penciptaan sesuatu metode kerja yang baru dan bermanfaat yang sebelumnya tidak ada, dan mengutamakan keselamatan kerja.

II. METODE

Pengambilan Data Material Bahan

Seperti kebanyakan baja di pasaran, Baja A36 atau ASTM 36 memiliki kepadatan 7.850 kg/m^3 ($\pm 0,28/\text{cu.in}$). Modulus Young untuk baja A36 adalah 200 GPa (29.000.000 psi). Besi baja A36 memiliki *Poisson Rasio* dari 0,26; dan modulus geser (*shear modulus*) sekitar 79,365 GPa (10.900.000 psi).

Sedangkan plat baja A36 (wikipedia, 2015), baik berbentuk bar, dan bentuk lain yang mempunyai ketebalan kurang dari 8 inch (203 mm) memiliki kekuatan luluh minimum atau *minimum yield strength* sekitar 36.000 psi (250 MPa) dan kekuatan tarik atau *ultimate tensile strength* antara 58,000-80,000 psi (400-550 MPa).

Plat tebal lebih dari 8 inch memiliki *minimum yield strength* 32.000 psi (220 MPa) dan kekuatan tarik utama yang sama. Besi Baja bentuk bar A36 dan bentuk lain akan mempertahankan kekuatan utama mereka hingga suhu 650 °F. Setelah itu, kekuatan minimumnya akan menurun dari 58.000 psi menjadi 54.000 psi pada suhu 700 °F; 45.000 psi pada suhu 750 °F; dan 37.000 psi pada suhu 800 °F.

Data ini akan sangat berguna untuk simulasi pemodelan kekuatan bahan ketika mendapat tumpuan beban beserta analisisnya.

Standar Kriteria Analisa Teknik

Sudah lama perkembangan dan desain struktur baja telah bergeser menuju prosedur desain yang lebih rasional dan berdasarkan konsep probabilitas. Konsep desain ini pertama kali diadopsi oleh *American Institute of Steel Construction* (AISC).

Desain ini memberikan keamanan struktur yang menjamin penghematan secara menyeluruh dengan memperhatikan variabel-variabel desain yaitu faktor beban dan ketahanan material, dengan menggunakan kriteria desain secara probabilistik (AISC, 1986a).

Metode ini dikenal dengan desain faktor beban dan tahanan (*Load and Resistance Factor Design*) atau metode LRFD, namun di Indonesia kebanyakan desain masih dilakukan dengan desain tegangan ijin, atau *Allowable Stress Design* (metode ASD).

Metode ASD menitik beratkan pada beban layanan (beban kerja) dan tegangan yang dihitung secara elastik dengan cara membandingkan tegangan terhadap harga batas yang diijinkan.

Dalam makalah ini untuk perhitungan dan analisis juga mengacu kepada *American Institute of Steel Construction* AISC (360-05, 2005) Edisi 9 Maret 2005 dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

Allowable Bearing Stress:

$$\sigma_{be(allow)} = 0.9 \times \sigma_y \quad (1)$$

Allowable Bending Stress (In-plane):

$$\sigma_{bd(allow)} = 0.6 \times \sigma_y \quad (2)$$

Allowable Bending Stress (Out of-plane):

$$\sigma_{bdo(allow)} = 0.75 \times \sigma_y \quad (3)$$

Allowable Shear Stress:

$$\tau_{s(allow)} = 0.4 \times \sigma_y \quad (4)$$

Suatu tegangan pada sebuah titik, secara matematis dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$\sigma = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (5)$$

dimana F adalah suatu gaya yang bekerja tegak lurus terhadap potongan, sedangkan A merupakan luas yang bersangkutan. (Popov, 1994). Selain itu tegangan normal dapat menghasilkan tegangan tarik (*tensile stress*), tegangan tekan (*compressive stress*), dan tegangan geser (*shearing stress*).

Hubungan antara tegangan dan regangan boleh dikatakan berbentuk linier untuk semua bahan. Hal ini menuju kepada idealisasi dan penyamarataan yang berlaku untuk semua bahan, yang dikenal dengan hukum Hooke.

Hukum Hooke dinyatakan dengan persamaan:

$$\sigma = E \times \varepsilon \quad (6)$$

atau

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (7)$$

Menurut aturan *Det Norske Veritas* (DnV), proses loadout termasuk dalam salah satu kegiatan yang dilakukan di atas laut dan oleh karena itu harus merujuk kepada aturan atau standar yang berlaku secara Internasional, seperti *IMO Code on Intact Stability* edisi 2002, tentang design, kriteria yang diberlakukan untuk semua kapal yang

dipakai dalam kegiatan loadout tersebut sebagaimana yang tercantum dalam section 3.1.2.4.

Sedangkan di Indonesia, untuk desain ramp kapal dapat merujuk pada perhitungan tegangan ijin pada ramp door dengan menggunakan ketentuan BKI 2010 Section 6.H.2 dimana persamaannya adalah sebagai berikut:

Bending Stress:

$$\sigma_b = \frac{120}{k} MPa \quad (8)$$

Shear Stress:

$$\tau = \frac{80}{k} MPa \quad (9)$$

Analisis Kekuatan Bahan

Jika ilmu statika adalah ilmu yang mempelajari gaya dan system gaya yang bekerja pada benda kaku dan diam, maka kekuatan bahan (*strength of material*) dapat disebut sebagai ilmu yang mempelajari hubungan antara gaya luar yang bekerja pada benda elastis dan tegangan-regangan dalam yang disebabkan oleh gaya gaya yang bekerja. Berdasarkan prinsip-prinsip kekuatan bahan, akan dinyatakan bahwa ada benda elstis terhadap kondisi internal jika mengalami kondisi pembebanan yang bervariasi.

Pada kajian ilmu statika, suatu perubahan dimensional biasanya diabaikan (benda dianggap kaku). Pada kajian kekuatan bahan, benda tidak selalu dianggap kaku. Deformasi dan perubahan dimensional akan menjadi perhatian penting. Berdasarkan prinsip-prinsip kekuatan bahan; pendekatannya menjadi semakin rasional dan analitis.

Faktor Keamanan (Factor of Safety)

Faktor keamanan adalah faktor yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu material teknik menerima beban dari luar, yaitu beban tekan maupun tarik. Gaya/beban luar yang diperlukan agar terjadi tingkat optimal pada material di dalam menahan gaya/beban tersebut sampai akhirnya material menjadi pecah disebut dengan beban ultimate (*ultimate load*). Faktor keamanan identik dengan perbandingan antara tegangan ultimate (*ultimate stress*) dengan tegangan ijin (*allowable stress*) suatu material uji tarik.

Umumnya, di dalam banyak desain seperti baja struktural, tegangan maksimum (*yield stress*) dianggap sebagai tegangan patah. Meskipun baja atau bahan lainnya itu belum benar patah (*rupture*) pada titik ini, dan biasanya akan terjadi deformasi dulu yang cukup signifikan pada kondisi ini.

Safety Factor:

$$SF = \frac{\sigma_{ultimate}}{\sigma_{allowable}} \quad (10)$$

Metode Elemen Hingga (MEH)

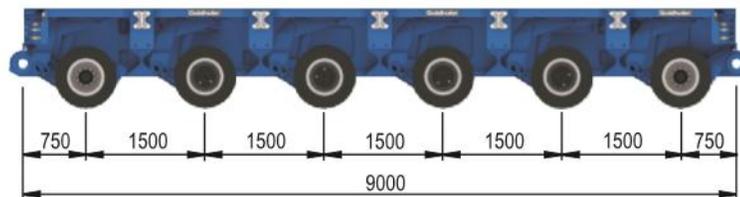
Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) merupakan salah satu metode numeris untuk penyelesaian masalah teknik dan fisika matematis. Masalah tersebut meliputi analisa struktur, *heat transfer*, aliran fluida, perpindahan massa, elektromagnetik, dan lain-lain. (Logan, 2002).

Penyelesaian Metode Elemen Hingga (MEH) menghasilkan persamaan dari masalah yang dianalisa, sehingga memberikan hasil penyelesaian pendekatan dari nilai yang tidak diketahui titiknya dalam sistem yang kontinyu.

Selain itu, untuk menyelesaikan suatu permasalahan, selalu dilakukan pemodelan terhadap masalah tersebut. Kemudian dilakukan diskritisasi (*discretization*) pada model dengan membaginya menjadi elemen-elemen kecil (elemen hingga) yang dihubungkan dengan node-node sebagai batas suatu objek.

Data Modular Trailer

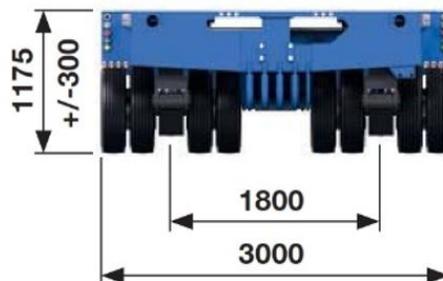
Modular Trailer yang digunakan adalah *Heavy Duty Module* buatan Goldhofer, Jerman tipe THP/SL dengan kapasitas muatan 45 ton per axle line.



Gambar 1. Gambar tampak samping Modular Trailer THP/SL 6-12x08

Satu axle line terdiri dari 8 roda ukuran 215/75R 17.5 twin-tire, dimana modular trailer dilengkapi ball bearing race ring yang dapat membelok (*steering degree*) hingga 55°.

Selain itu kemampuan modular trailer ini dapat naik dan turun 300mm dari tinggi normalnya pada saat jalan sehingga posisinya akan tetap trim dan list jika kontur tanahnya tidak rata.



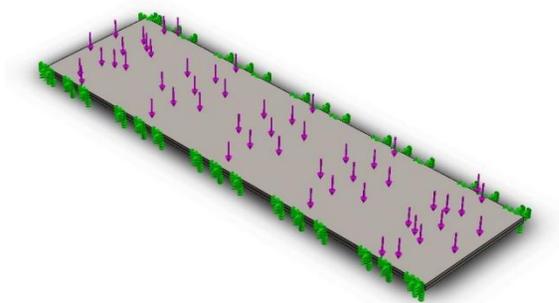
Gambar 2. Gambar tampak depan Modular Trailer THP/SL 6-12x08

Rencana Aplikasi di Lapangan

Pada saat loadout Topide Deck diangkut dengan Modular Trailer dengan total 12 axle line dimana beban sebenarnya sesuai dengan weighing report adalah sebesar 535 ton dan berat Modular Trailer sebesar 85,8 ton.

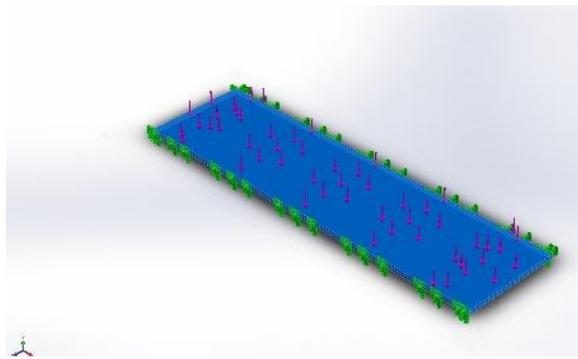
Pemodelan

Langkah pertama yang dilakukan dalam kajian ini adalah pemodelan struktur dari ramp plate. Pemodelan awal menggunakan software Solidwork sesuai dengan data steel plate yang ada berdasarkan data dimensi dari lapangan.

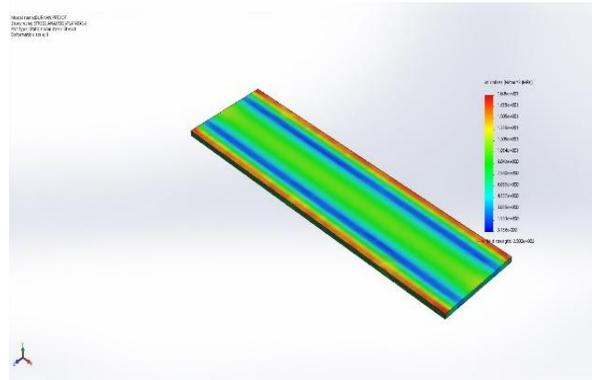


Gambar 4. Ramp Plate Model dengan SolidWork

Setelah memodelkan struktur dari ramp plate, kemudian dilakukan running dengan menggunakan software Solidwork Simulation. Pada saat running dengan Static Study, ditinjau pada dua kondisi yaitu kondisi beban sebenar (258.700 Newton) dan kondisi beban maksimum (450.000 Newton).



Gambar 5. Ramp Plate dengan Pembebanan sebesar 45 ton



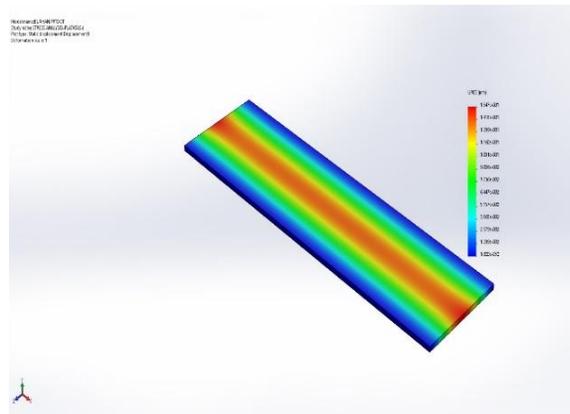
Gambar 6. Hasil simulasi Stress Analysis untuk Von Mises

Output dari *Static Study* dalam Solidwork Simulation adalah nilai *Stress Analysis - Von Mises*, dan *Displacement* selain *Factor of Safety* dan *Strain*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa Tegangan Dengan FEM

Hasil *running* simulasi dengan bantuan software berbasis MEH memperlihatkan hasil tegangan maksimum yang diterima ramp plate terletak pada node 8184 sebesar 18,0527 MPa. Sedangkan deformasi terbesar terletak pada node 7371 sebesar 0,154 milimeter.



Gambar 7. Hasil simulasi untuk Displacement

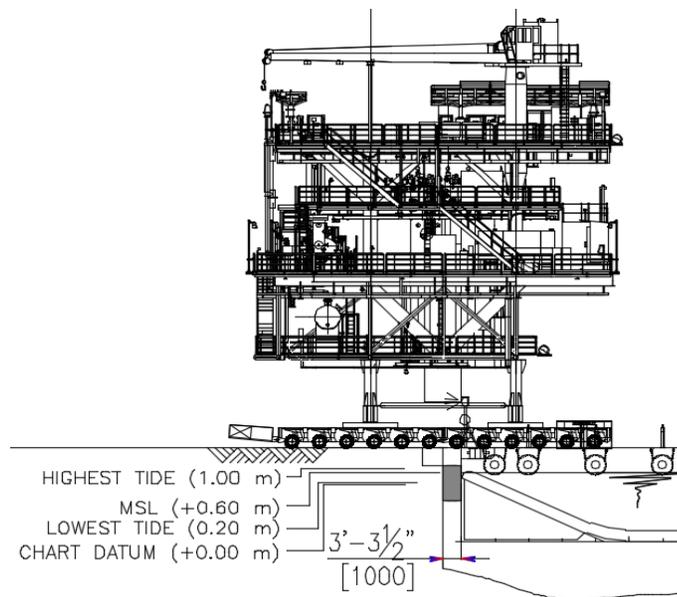
Dengan menggunakan kriteria AISC dengan formula (1) sampai nomor (4) maka didapatkan hasil sebagai berikut jika diketahui $\sigma_{ultimate} = 250$ MPa. Allowable bearing stress sebesar 225 MPa, allowable bending stress (in-plane) sebesar 150 MPa, allowable bending stress (out of-plane) sebesar 187,5 MPa, dan allowable shear stress sebesar 100 MPa.

Adapun perhitungan tegangan ijin pada ramp plate menggunakan ketentuan BKI 2010 Section 6.H.2 dimana persamaannya adalah sebagai berikut:

Harga k adalah faktor material. Harga k ditentukan dengan rumus:

$$k = \frac{235}{R_{eH}} \quad (11)$$

R_{eH} adalah harga minimum upper yield point dari material (*yield stress*). Untuk material stern ramp door menggunakan $R_{eH} = 220$ MPa, sehingga harga k = 1,068.



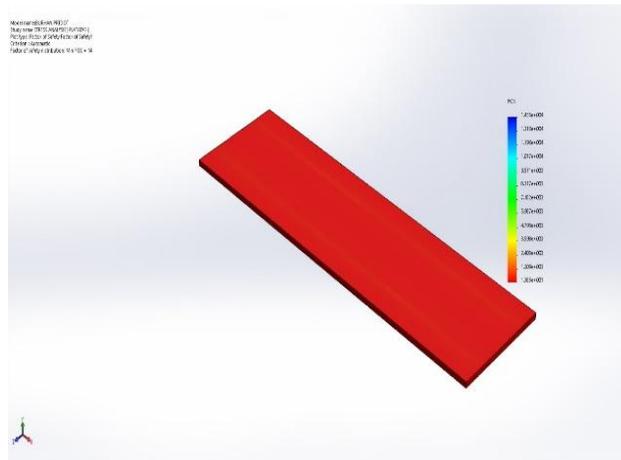
Gambar 3. Gambar rencana pemuatan Topside Deck diatas Modular Trailer

Namun dalam pemodelan ini beban disimulasikan maksimum 45 ton *per axle line*, meskipun kenyataannya dilapangan beban yang terjadi hanya 25,87 ton *per axle line* pada saat menyeberang dari dermaga ke atas tongkang yang terdapat cela atau gap sebesar 1 meter karena dibawah terdapat *rubber fender*.

Dari perhitungan tegangan ijin BKI, diketahui bahwa tegangan yang terjadi pada ramp plate masih jauh di bawah tegangan ijin BKI. Begitu pula dengan tegangan ijin materialnya masih diatas kondisi pembebanannya.

Bending stress ijin (σ_{allow}) sebesar 112,36 MPa dan shear stress (τ) sebesar 74,91 MPa.

Nilai safety factor untuk pemodelan ramp plate persamaan nomer (10) didapatkan sebesar 13.848 sama dengan hasil analisis di Solidwork.



Gambar 8. Hasil simulasi Stress Analysis untuk Factor of Safety

Tabel 1. Perhitungan Desain Ramp Plate untuk Loadout

SPREADSHEET DESAIN RAMP PLATE UNTUK LOADOUT			
Parameter	Simbol	Nilai	Unit
Allowable Yield Stress	σ_Y	250	MPa
Design Load Factor (untuk dynamic loads saat loadout)	DLF	1.5	
RAMP PLATE PROPERTIES (plat disesuaikan untuk single file Trailer Axle line)			
Panjang ramp Plate (Lihat Figure 1)	L_P	6000	mm
Lebar of Ramp Plate (Lihat Figure 2)	B	3600	mm
Ketebalan Ramp Plate	T	49	mm
Details DERMAGA - TONGKANG			
Parameter	Simbol	Nilai	Unit
Lebar cela antara Jetty dengan Tongkang (Lihat Figure 1)	L	1000	mm
Detail Modular Trailer (SPMT) *			
Parameter	Simbol	Nilai	Unit
Total Load di Modular Trailer (Berat Topside + Self-weight of Modular Trailer) – tidak termasuk design load factor	P	270	MT
No. of Axle Lines	n_{AX}	6	line
No. of Files (Lihat Figure 2)	n_F	1	
Jarak antara dua axle lines (Lihat Figure 1)	d	1500	mm
Total Lebar dari 1 Axle Line (Lihat Figure 2)	W	3000	mm

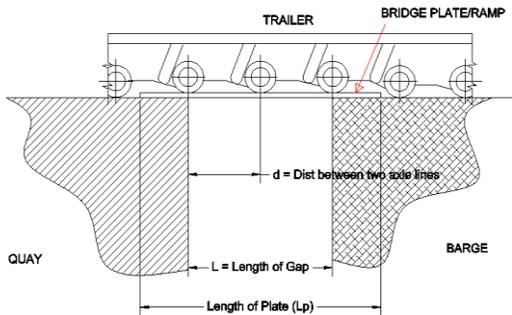


Figure 1. Loadout Ramp Plate (Gambar Tampak Samping)

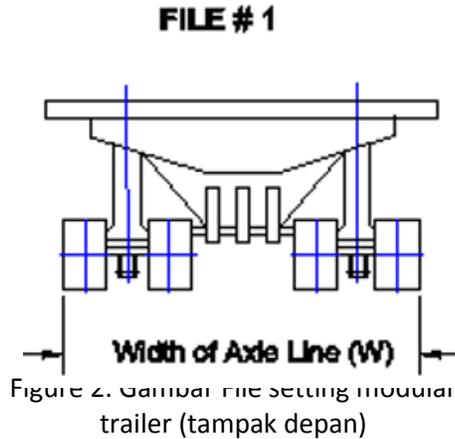


Figure 2. Gambar file setting modular trailer (tampak depan)

Tabel 2. Perhitungan Desain Ramp Plate untuk Loadout

DESAIN BEBAN DAN TEGANGAN IJIN				
Parameter	Symbol	Formula	Nilai	Units
Allowable Stresses¹				
Allowable Bearing Stress	$\sigma_{be(allow)}$	$0.9 \times \sigma_y$	225.00	MPa
Allowable Bending Stress (In-plane)	$\sigma_{bd(allow)}$	$0.6 \times \sigma_y$	150.00	MPa
Allowable Bending Stress (Out of-plane)	$\sigma_{bdo(allow)}$	$0.75 \times \sigma_y$	187.50	MPa
Allowable Shear Stress	$T_{s(allow)}$	$0.4 \times \sigma_y$	100.00	MPa
Design Loads				
Total Load on SPMT	P		270.00	MT
No. of Axle Lines	n_{AX}		6	MT
No. of Files	n_F		1	MT
Load on each Axle Line	P_{AX}	$P/(n_{AX} \times n_F)$	45.00	MT
Design Load Factor	DLF		1.50	
Design Load on each Axle Line	P_d	$P_{AX} \times DLF$	67.50	MT

¹ As per AISC ASD 9th Ed

Tabel 3. Properti Penampang Ramp Plate

PLATE SECTION PROPERTIES				
Plate Dimensions				
Parameter	Symbol	Formula	Value	Units
Panjang Plat	L_p		6000.00	mm
Lebar Plat	B		3600.00	mm
Ketebalan Plat (2 x plat tebal 1 inch)	T		49.00	mm
B.1 PLATE Properties²				
Shear Area	A_s	$5/6 \times B \times T$	147000.00	mm ²
Max Distance from Neutral Axis - Y	C_y	$T/2$	24.50	mm
Moment of Inertia about X axis	I_{xx}	$BT^3/12$	35294700.00	mm ⁴
Section Modulus about X axis	Z_{xx}	I_{xx}/C_y	1440600.00	mm ³

² From Roark's formulae for Stress and Strain, 7th Ed, Appendix A, Table A.1 – 2

Validasi Perhitungan

Validasi metoda analisis adalah suatu tindakan penilaian terhadap parameter tertentu, berdasarkan percobaan dalam simulasi, guna membuktikan bahwa parameter tersebut memenuhi persyaratan untuk penggunaannya.

Validasi metode analisis bertujuan untuk memastikan dan mengkonfirmasi bahwa metode analisis tersebut sudah sesuai untuk peruntukannya.

Dalam hal ini hasil dari Metode Elemen Hingga (MEH) dibandingkan dengan didapatkan sebagai berikut:

- Maksimum Shear Force dari Load per axle line x Design Load Factor = 67,50 Ton
- Shear Area sebesar $1,47 \times 10^5 \text{ mm}^2$
- Shear Stress pada Plat dari Maximum Shear Force dibagi dengan Shear Stress = 4,59 MPa.
- Maximum Bending Moment (BM) sebesar 16875 Ton-m dengan formula:

$$BM = \frac{1PL}{4} - \frac{0Pd}{8} \quad (12)$$

Dimana:

P = Desain Load per axle

L = Unsupported Length of Plate

D = Jarak Ankara axle line

- Section Modulus (X-axis) $14,406 \times 10^5 \text{ mm}^3$.
- Bending Stress sebesar 114,91 MPa dari BM/Z_{xx}
- Sesuai dengan kriteria AISC, maka defleksi dari span yang diijinkan adalah sebesar 5mm dengan formula $\Delta_{all} < L/200$.

IV. KESIMPULAN

Hasil tegangan maksimum yang diterima ramp plate terletak pada node 8184 sebesar 18,0527 MPa.

Deformasi terbesar terjadi pada node 7371 sebesar 0,154 millimeter, masih jauh di bawah span yang diijinkan adalah sebesar 5mm dengan formula $\Delta_{all} < L/200$.

Hasil perhitungan tegangan ijin BKI memperlihatkan bahwa tegangan yang terjadi pada stern ramp door masih jauh di bawah tegangan ijin BKI, dengan nilai SF = 18,848. Dengan demikian maka penggunaan *double plate* tebal 2 inch sebagai *ramp plate* untuk *loadout* menggunakan *Modular Trailer* dengan beban maksimal 45 ton per axle line dan *gap* antara dermaga dengan tongkang berjarak 1 meter aman.

DAFTAR PUSTAKA

- 0013/ND. (2015). Guidelines For Loadout Rev. 8. GL Nobel Denton Guidelines.
- 360-05, A. (2005). Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings. Americal Institute of Steel Construction.
- AISC. (1986a). Steel Design Guide Series - Extended End-Plate, Moment Connections. Americal Institute of Steel Construction.
- Archer, L. B. (1965). Systematic Methods for Designer. Great Britain: Reprinted from Article Redesign.
- Biro Klasifikasi Indonesia, "Rules For The Classification And Construction Of Seagoing Steel Ships", Volume II Rules For Hull, Jakarta, 2010.
- Chakrabarti, S. K. (2005). Handbook of Offshore Engineering. Plainfield, Illinois, USA: Offshore Structure Analysis, Inc.
- Drs. H. Moh. Pabundu Tika. (2006; hlm.10). Metodologi Riset Bisnis (cetakan pertama). Jakarta: PT. Bumi Aksara.
- Logan, D.L., "A First Course in the Finite Element Method", 4th Edition, Brooks/Cole Thompson Learning, Boston, 2002.
- Popov, E.P., "Mechanics of Materials", 2nd edition, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 1994
- Warren C. Young & Richard G. Budynas. Roark's Formula for Stress and Strain, 7th Edition. McGraw-Hill, New York, 2002
- Wikipedia. (2015). Retrieved from https://en.wikipedia.org/wiki/A36_steel