
ANALISIS KEKUATAN PENGARUH MODEL BRACING TERHADAP PONDASI KATROL LADDER PADA KAPAL ISAP PRODUKSI (KIP)

Hariyono¹, Azhar Aras Mubarak²

¹Program Studi Teknik Perkapalan, Politeknik Batulicin, Jl. Malewa Raya, Batulicin, 72273

²Program Studi Teknik Perkapalan, Universitas Sembilanbelas November Kolaka, Jl. Pemuda,
Kolaka, 93561

e-mail: hariyono.ismail07@gmail.com¹, arasmubarak28@gmail.com²

ABSTRACT

With the use of the bracing model that was built during the building of the ladder-pulley foundation, this research intends to analyze the strength of the ladder-pulley foundation on the Kapal Isap Produksi (KIP). Finite element analysis (FEA) and modeling with the Ansys software were used in the investigation. The 58 m length of the actual ladder is considered when creating the model. Then, create each model of a diagonal brace and an x-bracing specifically for the pulley foundation. After that, a special diagonal brace and an x-bracing model were developed, respectively, for the pulley foundation's building. The load acting on the ladder for the two versions is the same: 1.42×10^5 N for the pipe and mud, 0.57×10^5 N for the cutter, and 0.67×10^8 Nmm for the cutter torque. According to the analysis's findings, the diagonal brace model's strut component experiences the highest level of stress, measuring 57.32 N/mm², whereas the x-bracing model's greatest stress value is 25.44 N/mm². These findings suggest that, to reduce structural failure in the ladder pulley area, it is preferable to use x-bracing construction for the brace design put there. This is because it has a lower minimum stress value than the diagonal brace model.

Keywords: *Bracing, Ladder, KIP, FEA.*

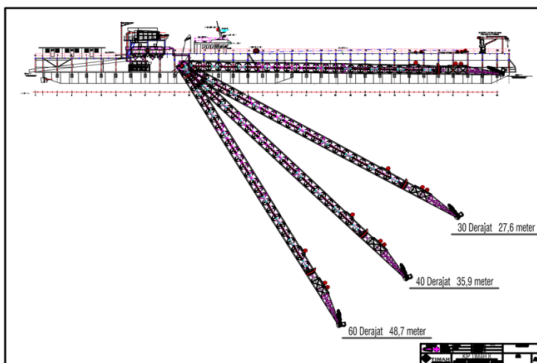
ABSTRAK

Riset ini bertujuan untuk menganalisis kekuatan pondasi katrol ladder pada Kapal Isap Produksi (KIP) akibat pengaruh model bracing yang dipasang pada konstruksi pondasi katrol ladder. Riset dilaksanakan menggunakan Finite Element Analysis (FEA) dengan pemodelan menggunakan bantuan software Ansys. Model ladder dibuat sesuai aktual dengan panjang ladder 58 m. Kemudian dibuat masing-masing model brace diagonal dan x-bracing khusus pada konstruksi pondasi katrol. Beban yang bekerja pada ladder untuk 2 model sama yaitu berat pipa dan lumpur sebesar $1,42 \times 10^5$ N, berat cutter sebesar $0,57 \times 10^5$ N dan torsi cutter sebesar $0,67 \times 10^8$ Nmm. Hasil analisa menunjukkan bahwa tegangan maksimum terjadi pada komponen strut tepat di bawah pondasi katrol untuk model brace diagonal yaitu $57,32$ N/mm² dibandingkan dengan model x-bracing yang memiliki nilai tegangan maksimum $25,44$ N/mm². Hasil ini menunjukkan bahwa untuk konstruksi brace yang dipasang pada area katrol ladder sebaiknya menggunakan konstruksi x-bracing karena memiliki nilai tegangan minimum dibandingkan model brace diagonal sehingga dapat meminimalisir kegagalan struktur pada area katrol ladder.

Kata kunci: *Bracing, Ladder, KIP, FEA.*

PENDAHULUAN

Pulau Bangka, Belitung dan Batam adalah penghasil timah tertinggi di Indonesia baik di darat maupun dilaut. Pengelolaan penambangan timah harus sebaik mungkin agar menguntungkan banyak pihak [1]. Pertambangan di laut memerlukan sarana seperti kapal. Kapal yang digunakan untuk menambang timah dinamakan Kapal Isap Produksi (KIP) yaitu suatu alat gali atau pemindahan tanah yang dipergunakan untuk menggali lapisan tanah bawah laut, peralatan mekanis dan pengolahan materialnya bertumpu pada sebuah ponton. Lapisan tanah bawah laut yang mengandung pasir timah dipotong dengan menggunakan *cutter*/pemotong [1]. KIP merupakan kapal dengan tipe *cutter suction dredger*, yang proses penggaliannya menggunakan *cutter* untuk memberai tanah dan menggunakan pompa lumpur untuk menghisap tanah yang terberai melalui pipa yang berada di bawah *cutter* untuk kemudian dialirkan menuju instalasi pencucian sementara yang ada di KIP [2]. *Ladder* dapat beroperasi pada sudut maksimum 60 derajat seperti pada Gambar 1.



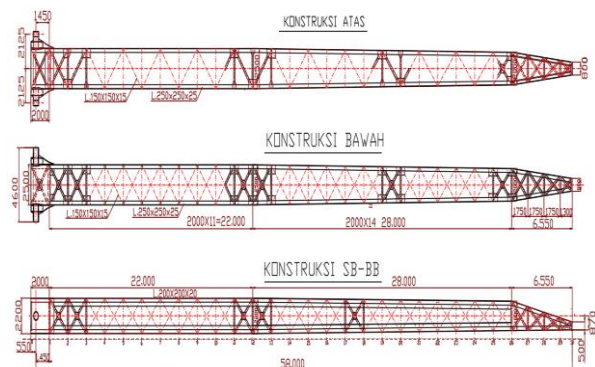
Gambar 1. Simulasi kedalaman *ladder* KIP Timah 8. [2]

Ladder KIP Timah 8 akan dilakukan pertambahan panjang dan telah dilakukan analisis oleh peneliti sebelumnya ternyata tegangan maksimum terjadi pada area katrol *ladder* akibat pengaruh *model bracing* yang digunakan pada area katrol

[1]. Beberapa *ladder* mengalami gagal struktur seperti pada KIP Timah 19 tahun 2019 yang mengalami patah *ladder* dan kerusakan bermula di sekitar area katrol, mungkin disebabkan oleh korosi, umur *ladder* maupun kekuatan (struktur) *ladder* [1]. Analisis kekuatan *ladder* harus dilakukan dengan perhitungan yang cermat agar tidak terjadi kegagalan struktur [4]. Biaya perbaikan *ladder* yang patah sangat besar yaitu sekitar ± 6 milyar rupiah. Analisis kekuatan pertambahan panjang *ladder* KIP Timah 8 telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya ternyata nilai tegangan maksimum terjadi pada area katrol *ladder* dengan pondasi katrol menggunakan *diagonal bracing* sesuai kondisi aktual. Oleh karena itu peneliti ingin melakukan analisis lebih lanjut mengenai pengaruh model *bracing* yang dipasang pada area katrol *ladder*.

TINJAUAN PUSTAKA

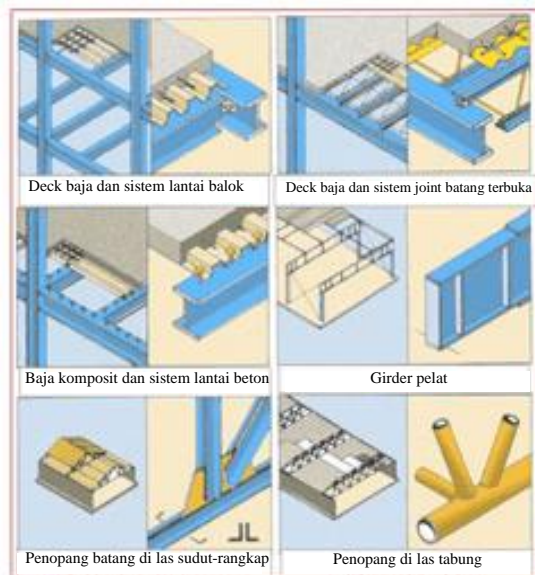
Ladder adalah kerangka baja panjang yang berfungsi sebagai tiang dan tempat penempatan *cutter*, pipa isap, pompa lumpur dan pipa tekan [3] seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Konstruksi *Ladder* KIP Timah 8 [4]

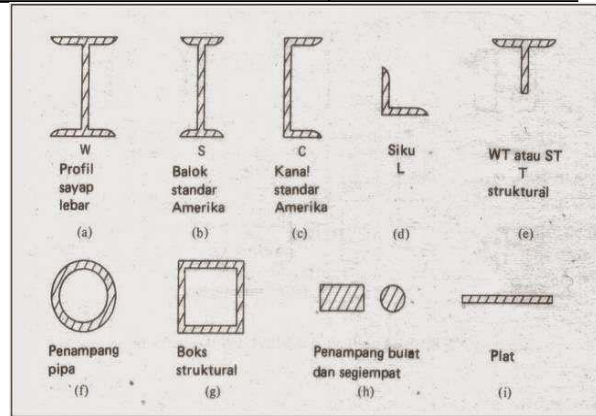
Pada saat *ladder* digunakan, *ladder* diturunkan pada kedalaman tertentu bertujuan pengoperasian *cutter* dalam penggalian tanah dan pengisapan tanah oleh pipa isap. Setiap KIP mempunyai panjang *ladder* yang berbeda-beda [5]. Kolom merupakan suatu kesatuan struktur yang pada hakikatnya tidak dapat berlaku secara independen dalam praktik biasanya diartikan

sebagai pembatasan antara lendutan stabil dan tidak stabil pada batang tekan [6]. Balok adalah gabungan dari elemen tarik dan elemen tekan balok umumnya dipandang sebagai batang yang memikul beban gravitasi transversal termasuk momen ujung [7]. Berikut beberapa profil baja seperti pada Gambar 3.



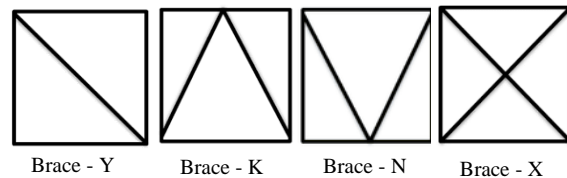
Gambar 3. Sistem konstruksi untuk struktur baja. [8]

Balok geladak berfungsi untuk menyalurkan beban yang bekerja pada pelat geladak ke penumpu utama geladak (*main truss*) yang kemudian ke kaki geladak, dimana ukuran balok geladak tergantung jarak antar balok geladak. Jika geladak tidak ditutup dengan sebuah modul, maka bagian geladak ditutup dengan pelat baja yang ketebalannya tergantung jarak balok geladak [7]. Beberapa bentuk penampang seperti persegi, bulat, siku, persegi empat dan berbagai macam diantaranya dihasilkan dalam batasan ukuran yang luas dan digunakan seperti halnya pada pelat datar dan batang solid dengan berbagai ketebalan [8]. Profil sayap lebar adalah profil yang banyak digunakan sebagai dukungan pelat menurut *Salmon dan Jhon (1991)* terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Penampang profil [8]

Bracing system berfungsi untuk membantu menyalurkan beban horizontal ke pondasi, melindungi keutuhan struktur selama proses fabrikasi dan instalasi, menahan gerak sentakan dari sistem *jacket-pile* yang terpasang [8]. Model *brace* pada struktur sangat bervariasi menurut *Anwar (2018)* beberapa model *brace* digambarkan seperti pada Gambar 5 [7].

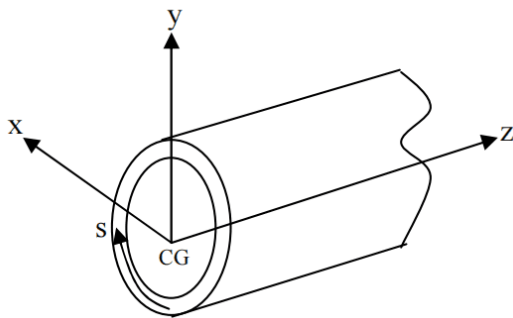


Gambar 5. Model penampang *brace* [7]

Brace Y yang merupakan pola perangkaan struktur yang sederhana, pola ini memiliki jumlah join yang sedikit, tidak simetris dan tidak memiliki redundansi yang baik. *Brace K* merupakan pola perangkaan yang terhubung pada kaki struktur yang menumpu *brace* horizontal. Pola perangkaan ini memiliki jumlah join yang cukup banyak, memiliki bentuk yang simetris dengan redundansi yang cukup. *Brace N*, merupakan pola perangkaan yang menghubungkan kaki jaket atau kaki geladak dengan tumpuan *brace* horizontal, pola perangkaan ini memiliki jumlah join yang cukup banyak dan memiliki bentuk cabang V pada sisi transversal yang akan menyebabkan ukuran horizontal *brace* yang cukup besar. *Brace x* berfungsi untuk memperpendek panjang efektif rangka tanpa

mengurangi kekakuan struktur rangka penyangga. Apabila satu kaki rangka X dalam keadaan tertekan dan yang lain tertarik, maka bagian yang tertarik akan menahan bagian yang tertekan dari lendutan keluar bidang pada pertemuan rangka tersebut dan diameter kedua rangka tersebut dapat dikurangi sehingga mengurangi beban gelombang pada anjungan [7].

Berdasarkan teknologi pemodelan terbalik digital, persamaan konstitutif sebenarnya dari bahan pipa baja itu diperkenalkan untuk melakukan simulasi yang tepat pada tekuk perilaku pipa baja dalam kondisi tekanan internal, lentur dan membentuk simulasi numerik teknologi untuk kapasitas regangan tekuk pipa baja [9]. Sistem koordinat didefinisikan sebagai ditunjukkan pada Gambar 6. Sumbu x dan y didefinisikan pada balok penampang dan sumbu z sejajar dengan balok sumbu. Asal dari sistem koordinat terletak di pusat gravitasi penampang. Koordinat s didefinisikan di sepanjang garis ketebalan tengah. Dengan asumsi bahwa penampang tetap tidak terdistorsi selama deformasi, perpindahan U, V dan W pada Persamaan (4, 5, dan 6) di x, y, dan z pada koordinat (x, y, z) bisa diekspresikan seperti pada Gambar 6 [10].



Gambar 6. Koordinat Balok Berdinding Tipis [10]

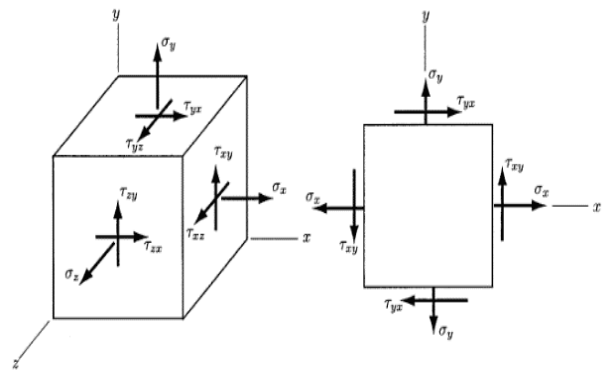
$$U(x,y,z) = u_s(z) - (y-y_s)\theta(z) \quad (1)$$

$$V(x,y,z) = v_s(z) + (x-x_s)\theta(z) \quad (2)$$

$$W(x,y,z) = w(z) + xu'_s(z) - yv'_s(z) + \omega_{ns}(x,y)\theta'(z) \quad (3)$$

Dengan u_s dan v_s adalah perpindahan di pusat geser dalam arah x dan y dan w adalah perpindahan pada pusat gravitasi ke arah z. θ adalah sudut rotasi sekitar pusat geser x_s dan y_s adalah koordinat x dan y dari pusat geser. ω_{ns} adalah fungsi pembengkokan pada geser pusat. Bilangan prima (') menunjukkan diferensiasi ke koordinat-z [10]. Pada suatu bidang yang dikenal suatu gaya akan terdapat dua jenis tegangan yang mempengaruhi bidang tersebut. Umumnya tiga dimensi elemen tegangan diilustrasikan pada Gambar 7. Tiga tegangan normal positif σ_x, σ_y dan σ_z , dan ada 6 tegangan geser positif, $\tau_{xy}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zy}, \tau_{zx},$ dan τ_{xz} , ditampilkan untuk memastikan keseimbangan statis, seperti pada Persamaan 4 berlaku [11].

$$\tau_{xy} = \tau_{yx}, \quad \tau_{yz} = \tau_{zy}, \quad \tau_{zx} = \tau_{xz} \quad (4)$$



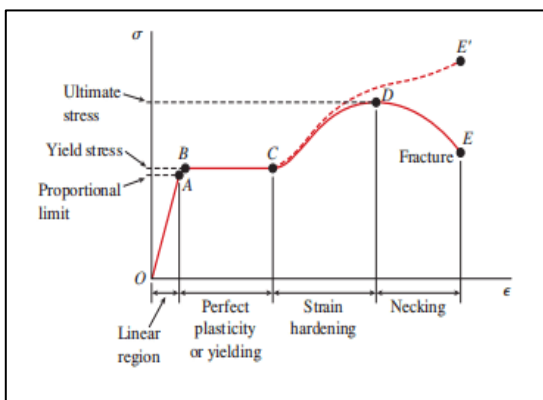
Gambar 7. Tegangan yang bekerja pada suatu bidang [11]

Tegangan izin adalah tegangan tertinggi yang diizinkan dalam suatu konstruksi atau dapat dikatakan sebagai tegangan maksimum yang terjadi dalam konstruksi atau dapat dikatakan sebagai tegangan maksimum yang terjadi dalam suatu konstruksi yang tidak diperkenankan untuk dilampaui. Secara khusus tegangan izin ditentukan oleh [12]. bahwa tegangan izin yang bekerja tidak boleh melewati:

$$Tegangan = \frac{150}{k} [N/mm^2] \quad (3)$$

Baja struktur lambung adalah baja yang mempunyai nominal nilai lulus atas minimal (yield point) R_{EH} 235 N/mm² dan kekuatan tarik (tensile strenght) R_m 400-520 N/m² [12]. Beban terdistribusi merata dengan beban titik,

keduanya memiliki kurva defleksi yang berbeda-beda. Pada beban terdistribusi merata *slope* yang terjadi pada bagian batang yang paling dekat lebih besar dari *slope* titik. Ini karena sepanjang batang mengalami beban sementara pada beban titik hanya terjadi pada beban titik tertentu saja [13]. Menurut Gere dan Goodno (2009) kurva tegangan regangan dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Diagram hubungan antara tegangan-regangan [14]

Diagram tegangan-regangan untuk baja struktural tipikal dalam tarik ditunjukkan pada Gambar 8. Regangan pada sumbu horizontal dan tegangan pada sumbu vertikal. Grafik hubungan antara tegangan dan regangan ditunjukkan secara skematis (tidak berskala) untuk spesimen baja pada Gambar 8. grafik ini disebut sebagai diagram tegangan-regangan [14].

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala fisis. Tipe masalah teknik dan matematis fisis yang dapat diselesaikan dengan metode elemen hingga yaitu analisis struktur dan non struktur [15].

METODE PENELITIAN

Penelitian ini terfokus pada pondasi katrol *ladder* Kapal Isap Produksi (KIP) Timah 8. Pengelompokan beban-beban yang

bekerja pada *ladder* KIP Timah 8 yaitu kerja *cutter*, berat lumpur dan pipa, kerja pompa, posisi sling, dan sudut *ladder*. Pemodelan dilakukan dengan bantuan *software ansys* dengan memodelkan 2 jenis *brace* khususnya pada area pondasi katrol dan memvariasikan ketebalan *brace* mulai dari 10 mm, 15 mm, 20 mm dan 25 mm dengan beban yang bekerja pada *ladder* konstan. Kemudian dilakukan hasil analisis struktur berupa tegangan dan pergeseran elemen.

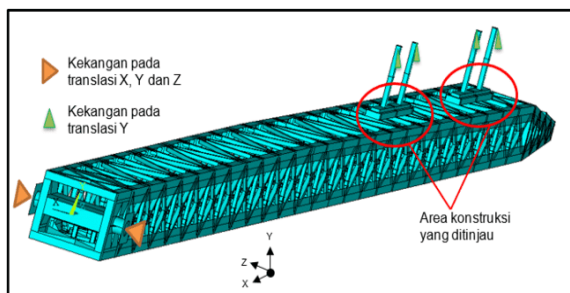
Tegangan izin berdasarkan *rules* BKI yang hasilnya dapat menjadi pertimbangan bagi desainer kapal dan acuan penelitian (referensi) dalam bidang analisis pondasi katrol *ladder* Kapal Isap Produksi (KIP). Agar simulasi analisis kekuatan pertambahan panjang *ladder* kapal *cutter suction dredger* sesuai dengan realitas maka digunakan data *ladder* yang sudah ada. Jenis data pada penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber-sumber yang berhubungan dengan objek penelitian, diantaranya gambar konstruksi *ladder* dan material yang digunakan. Sumber data penelitian diperoleh dari KIP Timah 8 dan Kantor PT. Timah (Persero), Tbk yang berlokasi di pulau kundur, Batam.

Tegangan izin berdasarkan *rules* BKI yang hasilnya dapat menjadi pertimbangan bagi desainer kapal dan acuan penelitian (referensi) dalam bidang analisis pondasi katrol *ladder* Kapal Isap Produksi (KIP). Agar simulasi analisis kekuatan pertambahan panjang *ladder* kapal *cutter suction dredger* sesuai dengan realitas maka digunakan data *ladder* yang sudah ada. Jenis data pada penelitian ini adalah data sekunder. Data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber-sumber yang berhubungan dengan objek penelitian, diantaranya gambar konstruksi *ladder* dan material yang digunakan. Sumber data penelitian diperoleh dari KIP Timah 8 dan Kantor PT. Timah (Persero), Tbk yang berlokasi di pulau kundur, Batam.

Tabel 1. Komponen konstruksi *ladder*

Elemen	Ukuran (mm)
<i>Bracket</i>	400 x 400 x 12
<i>Doubling plate diagonal bracing</i>	500 x 572 x 12
<i>Doubling plate x-bracing</i>	400 x 400 x 12
<i>Diagonal Bracing</i>	150 x 150 x 15
<i>Strut</i>	200 x 200 x 20
<i>Diameter Shaft Ladder</i>	140
<i>Shaft ladder Plat</i>	20

Pemodelan ini menggunakan sumbu x, y, dan z. Sumbu x positif menunjukkan lebar *ladder*, sumbu y positif menunjukkan tinggi *ladder*, dan sumbu z menunjukkan panjang *ladder*. seperti pada Gambar 9



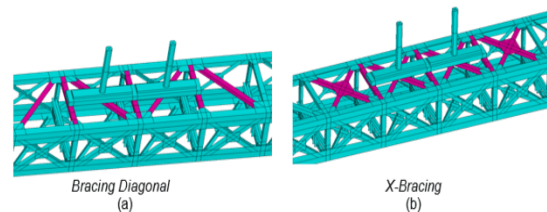
Gambar 9. Posisi sumbu dan pengekanan pada model *ladder*

Pemasangan tumpuan pada model dilakukan pada titik di kedua ujung *shaft ladder* dengan kekangan yang diberikan pada titik tersebut yaitu kekangan pada translasi x, translasi y dan translasi z. Terdiri dari 4 katrol yang dibuat 4 titik pada model yang diberikan kekangan pada translasi y.



Gambar 10. Konstruksi *ladder* KIP yang mengalami gagal struktur pada *brace* pondasi katrol [5].

Gambar 10 menunjukkan kegagalan struktur *ladder* pada KIP Timah 19 tahun 2019 dengan kerusakan bermula pada area pondasi katrol *ladder*. Oleh karena itu pada KIP Timah 8 telah dilakukan analisis penambahan panjang *ladder* oleh peneliti sebelumnya dan ternyata tegangan maksimum terjadi pada konstruksi pondasi *ladder*. Sehingga untuk meminimalisir kegagalan struktur maka dibuat pondasi *ladder* dengan model *bracing diagonal* sesuai aktual dan model *x-bracing* seperti pada Gambar 11.



Gambar 11. Pemodelan konstruksi *brace* area *ladder* sesuai aktual *bracing diagonal* (a) dan pemodelan alternatif dengan *x-bracing* (b)

HASIL dan PEMBAHASAN

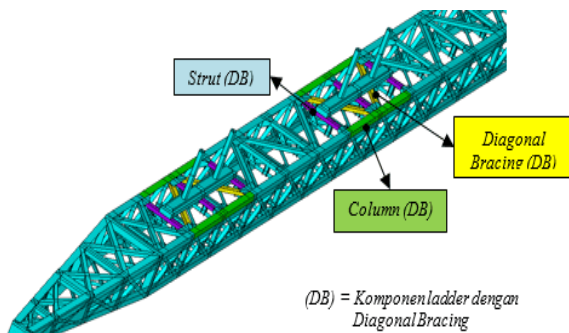
Dalam penelitian dilakukan perhitungan beban *ladder* yaitu berat pipa dan lumpur seperti persamaan 1 dan 2, berat *cutter* dan *torsi cutter* pada persamaan 3.

$$W_p = (\pi R^2) \times L \times B_{jb} - (\pi r^2) \times L \times B_{jb} \quad (1)$$

$$W_B = V_p \times \gamma_b \quad (2)$$

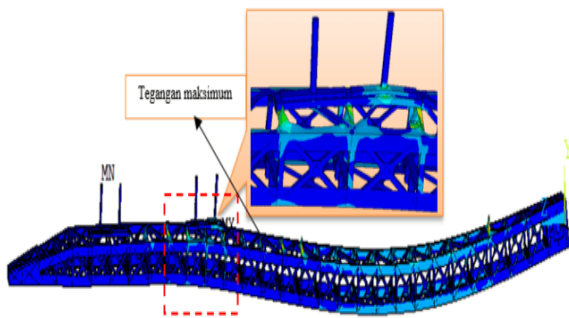
$$M_T = \frac{P}{2\pi n} \quad (3)$$

Berdasarkan persamaan 1, 2, dan 3 didapatkan hasil berat pipa dan lumpur yaitu $1,42 \times 10^5$ N, berat *cutter* sesuai berat aktual yaitu $0,57 \times 10^5$ N dan *torsi cutter* $0,67 \times 10^8$ Nmm. Akibat beban pipa, beban *cutter* dan *torsi cutter* maka berdasarkan hasil analisis tegangan maksimum terjadi pada konstruksi area katrol. Berdasarkan Gambar 10 KIP Timah 19 mengalami patah *ladder* pada sekitar area katrol untuk itu akan dianalisis lebih lanjut komponen struktur *ladder* yang mengalami tegangan maksimum pada model *ladder* KIP Timah 8. Agar memudahkan maka dibagi komponen seperti Gambar 12.



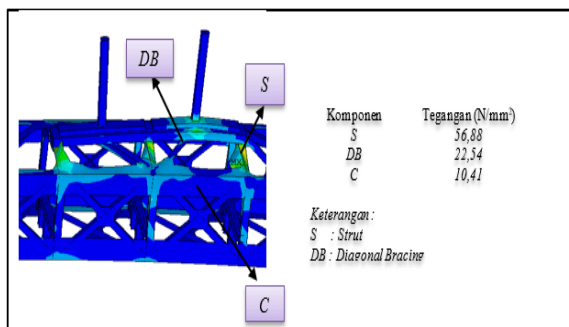
Gambar 12. Pembagian komponen konstruksi ladder pada model pondasi katrol diagonal bracing

Berdasarkan Gambar 12 pembagian komponen pada model pondasi katrol diagonal bracing yang akan dianalisis yaitu terdapat 3 komponen konstruksi yaitu diagonal bracing, column dan strut.



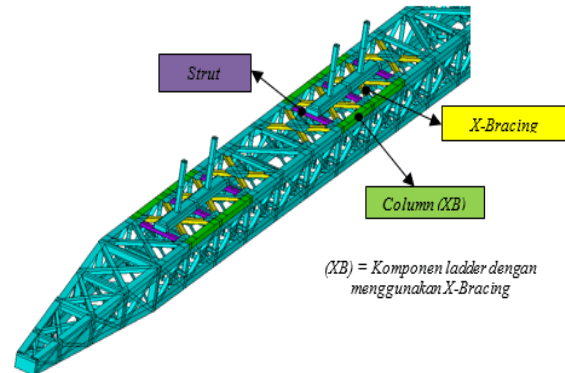
Gambar 13. Perilaku dan distribusi tegangan kerja pada struktur ladder dengan model pondasi katrol diagonal bracing

Berdasarkan Gambar 13 distribusi tegangan maksimum terjadi pada strut pondasi ladder berjarak 35 meter dari poros shaft ladder dengan nilai tegangan masing-masing komponen seperti pada Gambar 14.



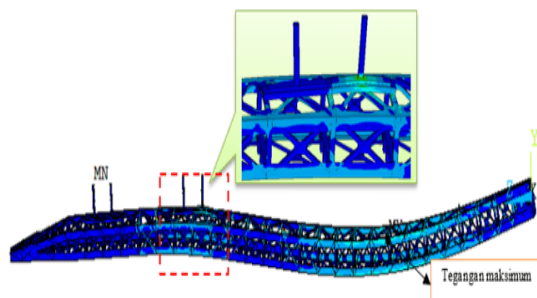
Gambar 14. Nilai tegangan pada komponen area katrol dengan model pondasi diagonal bracing.

Berdasarkan Gambar 14 tegangan maksimum terjadi pada strut tepat berada di bawah katrol sebesar 56,88 N/mm². Untuk model ladder menggunakan model diagonal bracing pada pondasi katrol, jarak tegangan maksimum adalah 35 meter dari shaft ladder. Strut memiliki nilai tegangan maksimum karena paling besar menahan berat pipa dan struktur ladder.



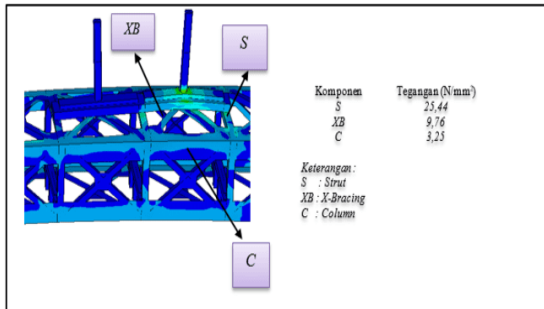
Gambar 15. Pembagian komponen konstruksi ladder pada model x-bracing

Berdasarkan Gambar 15 pembagian komponen pada model pondasi katrol X-Bracing yang akan dianalisis yaitu terdapat 3 komponen konstruksi yaitu X-Bracing, column dan strut.



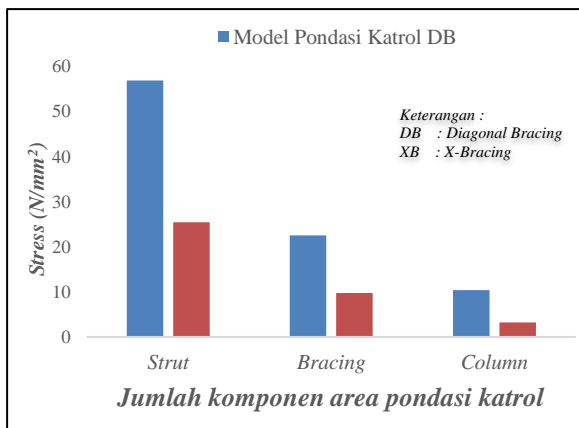
Gambar 16. Perilaku dan distribusi tegangan kerja pada struktur ladder dengan model pondasi katrol x-bracing

Berdasarkan Gambar 16 distribusi tegangan maksimum berada pada strut berjarak 16 meter dari poros shaft ladder dengan nilai tegangan 34,33 N/mm² pada beban yang sama yang menandakan bahwa tegangan maksimum tidak lagi terjadi pada pondasi katrol ladder dengan model pondasi X-Bracing. Distribusi tegangan pada area katrol ladder dengan model pondasi katrol X-bracing seperti pada Gambar 17.



Gambar 17. Nilai tegangan pada komponen area katrol dengan model pondasi X-Bracing.

Gambar 17 menunjukkan bahwa model *bracing* yang digunakan pada pondasi katrol sangat mempengaruhi nilai tegangan. Konstruksi *strut* pada model pondasi *Diagonal Bracing* memiliki nilai tegangan 56,88 N/mm² jika dibandingkan model pondasi *X-Bracing* nilai tegangan *strut* 25,44 N/mm² dengan selisih perbandingan 55,27 % seperti pada Gambar 18.



Gambar 18. Hubungan antara tegangan dengan komponen struktur area pondasi katrol.

Berdasarkan Gambar 18 dapat dilihat kurva tegangan dari beberapa komponen yang berada di sekitar katrol untuk model pondasi menggunakan *diagonal bracing* dan *x-bracing*. Komponen *strut* pada model *diagonal bracing* memiliki tegangan paling besar dibandingkan dengan model *x-bracing* dengan selisih perbandingan 55,27% sehingga untuk meminimalisir kerusakan *ladder* pada area katrol seharusnya menggunakan konstruksi *x-bracing*.

KESIMPULAN

Penelitian ini menggunakan metode *Finite Element Analysis (FEA)* yaitu metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik yang timbul dalam rekayasa dan pemodelan matematika sehingga dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa berdasarkan hasil analisis dari beban yang bekerja pada *ladder* Kapal Isap Produksi (KIP) yaitu beban pipa, beban *cutter* dan torsi *cutter* untuk model pondasi katrol dengan *diagonal bracing* dan *x-bracing*. Pembebanan dibuat sama sesuai aktual untuk model yang berbeda dengan tegangan yang bekerja masih memenuhi tegangan izin. Model *diagonal bracing* memiliki tegangan lebih besar dibandingkan dengan model *x-bracing* dengan selisih perbandingan 55,27%. Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya telah diteliti kekuatan *ladder* sebelum dan setelah diperpanjang dengan tegangan maksimum terjadi pada area katrol *ladder* dengan model pondasi aktual menggunakan *diagonal bracing* sebesar 56,88 N/mm². Kemudian model pondasi katrol dibuat menggunakan *x-bracing* dengan nilai tegangan menjadi 25,44 N/mm² yang terjadi pada *strut* pondasi *ladder* sehingga untuk meminimalisir kegagalan struktur *ladder* pada area katrol seharusnya dibuat menggunakan konstruksi *x-bracing*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hariyono. 2022. Analisis Kekuatan Pertambahan Panjang *Ladder* Kapal *Cutter Suction Dredger*. Universitas Hasanuddin
- [2] PT. Timah (Persero) Tbk. 2020. Kundur. Kepulauan Riau
- [3] Andri,R. 2017. Kajian Teknis Kinerja Jig Kapal Isap Produksi Timah 16 Unit Penambangan Laut Bangka PT Timah (Persero) Tbk Provinsi Bangka Belitung. Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang
- [4] Tang Z and Stumpf W. 2008. *The effect of microstructure and processing variables on the yield to ultimate tensile strength*

- ratio in a Nb-Ti and a Nb-Ti-Mo line pipe steel Mater. Sci. Eng. A* 490 391–402
- [5] Dokumen Pribadi. 2021. Kundur. Kepulauan Riau
- [6] Schodek L. D. 1998. Struktur. PT Rafika Aditama. Bandung, Indonesia
- [7] Anwar. 2018. Pengaruh Brace Terhadap Kekuatan Kaki Struktur Helideck dalam Menahan Beban Pendaratan Darurat Helikopter.
- [8] Salmon C.G., dan Jhon E.J., 1991. Struktur Baja, Desain dan Perilaku, Edisi 2, Erlangga, Jakarta, Indonesia
- [9] Feng Y, Ji L, Chen H, Jiang J, Wang X, Ren Y, Zhang D, Niu H, Bai M and Li S. 2021. *Research progress and prospect of key*
- [10] Muis Alie M Z. 2016. *Residual Strength Analysis of Asymmetrically Damaged Ship Hull Girder Using Beam Finite Element Method. Makara J. Technol.* 20 7
- [11] Marghitu D B. 2001. *Mechanical Engineer's Handbook. Academic Press*
- [12] Biro Klasifikasi Indonesia. 2019. Pedoman Lambung Domestik Jilid 1. BKI : Jakarta.
- [13] Binsar Hariandja. 1996. Mekanika Teknik: Statika dalam analisis struktur berbentuk rangka. Erlangga, Jakarta
- [14] Gere J M and Goodno B J. 2009. *Mechanics of Materials Seventh Edition* : Cengage Learning.
- [15] Susatio, Y. 2004. *Metode Elemen Hingga*. ITS: Surabaya 83.
-