

ANALISIS KEKUATAN PONDASI TOWING WINCH KAPAL AHTS 7600 HP DENGAN FEM

Siti Rahayuningsih¹⁾, Graceciel Redhaningrum²⁾, Tri Tiysmihadi³⁾, Fuad Mahfud
Assidiq⁴⁾, Muhammad Al Hazman⁵⁾, Alwi Sina Khaqiqi⁶⁾

^{1,2,3,5,6} Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

⁴Teknik Kelautan, Universitas Hasanuddin

E-mail: sitirahayuningsih@ppns.ac.id

Abstract

This study analyzes the structural strength of the towing winch foundation on an AHTS 7600 HP vessel due to changes in tensile strength specifications, employing the Finite Element Method (FEM). The change in specification occurs as a result of a towing winch vendor replacement during the ship construction phase, which has the potential to affect the foundation's design and strength. FEM simulations are conducted to evaluate the structural response under both static and dynamic loading up to the maximum load limits. The analysis results indicate that, under various loading scenarios according to the new specification, the maximum stress experienced by the foundation remains below the safety factor as stipulated by BKI regulations. This study concludes that the existing foundation design is still capable of withstanding the loads resulting from the specification change and provides design improvement recommendations to ensure that the safety factors remain fulfilled during offshore operations.

Keywords: *towing winch, FEM, Offshore vessel, AHTS, Structural Strength*

PENDAHULUAN

Ladang minyak di perairan dalam kini memegang peranan penting seiring menurunnya kapasitas ladang minyak konvensional di perairan dangkal dalam memenuhi kebutuhan pasar (Legorburu et al., 2018). Dalam dekade terakhir, pasar kapal pendukung lepas pantai (*Offshore Support Vessel/OSV*) sedang berkembang pesat (*Global Market Insight*, 2019). Salah satu jenis OSV adalah *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS), yang memiliki kemampuan utama seperti mengangkut peralatan, pasokan logistik, serta pekerja ke dan dari anjungan pengeboran (Dwiana et al., 2023). *Towing winch* menjadi salah satu perangkat utama yang berfungsi untuk mengendalikan tali penarik yang menghubungkan kapal dengan objek lain (Ole et al., 2022). Dengan spesifikasi kuat tarik yang tinggi, *towing winch* harus dipasang pada struktur yang mampu menahan beban dinamis dan statis yang signifikan selama operasi, sehingga analisis kekuatan struktur pondasi *towing winch* menjadi sangat penting (Arifudin et al., 2023; Valentino et al., 2022).

Dalam proses pembangunan kapal, penyelesaian seluruh tahapan konstruksi sesuai jadwal yang tercantum dalam kontrak sangat krusial untuk menghindari sanksi penalti kepada

galangan kapal (Chen et al., 2025; Diaz et al., 2020; Haaja & Evers, 2025; Hardiana et al., 2019; Sibuea & Saragi, 2019). Pada proyek pembangunan Kapal AHTS XX 7600 HP, terjadi perubahan spesifikasi kuat tarik pada *towing winch* akibat pergantian vendor yang disebabkan ketidakmampuan memenuhi tanggal kebutuhan, yang dapat berdampak pada jadwal pembangunan kapal. Perubahan spesifikasi kuat tarik *towing winch* tersebut memiliki implikasi signifikan terhadap desain serta kekuatan struktur pondasi kapal (Iglesias-Baniela et al., 2021).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa beban tarik yang diterima oleh *towing winch* dapat menyebabkan distribusi tegangan yang berpotensi merusak struktur pondasi penopangnya (Sutisna et al., 2017). Oleh karena itu, penting untuk melakukan analisis mendalam mengenai kekuatan struktur pondasi dalam menghadapi perubahan spesifikasi ini, agar dapat memastikan keselamatan dan kinerja optimal kapal (Taşdemir et al., 2021).

Dalam penelitian ini, fokus utama adalah menganalisis kekuatan struktur pondasi *towing winch* pada kapal AHTS 7600 HP akibat perubahan spesifikasi kuat tariknya. Metode analisis yang digunakan adalah *Finite Element Method* (FEM) yang memungkinkan evaluasi lebih akurat terhadap perilaku struktural di bawah berbagai kondisi pembebanan (Moatamedi & Khawaja, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan memastikan bahwa struktur pondasi memenuhi standar keselamatan yang ditetapkan oleh lembaga klasifikasi seperti Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) (Valentino et al., 2022). Dengan pemahaman yang lebih baik mengenai kekuatan dan perilaku struktural pondasi *towing winch*, diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan desain struktur kapal AHTS yang lebih aman dan efisien. Hal ini sangat relevan mengingat meningkatnya kebutuhan akan kapal-kapal yang handal dalam mendukung eksplorasi dan operasi di sektor *offshore*, terutama dalam menghadapi tantangan lingkungan yang semakin kompleks.

METODE PENELITIAN

Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah proses sistematis yang dilakukan untuk mengumpulkan informasi yang relevan dan diperlukan dalam penelitian. Proses ini merupakan langkah penting dalam metodologi penelitian, karena data yang dikumpulkan akan menjadi dasar bagi analisis. Data ukuran utama kapal dan data spesifikasi *towing winch* yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Data Kapal	Dimensi
1	LoA	64.00 m
2	B	16.00 m
3	H	6.00 m
4	T	3,50 m
5	Daya	7600 HP

Tabel 2. Spesifikasi *Towing Winch* Sebelum dan Sesudah Perubahan

No	Spesifikasi	Sebelum	Sesudah
1	<i>Drum capacity</i>	1000 m x 56 mm	1000 m x 72 mm
2	<i>Rated pull</i>	150 Ton	250 Ton
3	<i>Break holding</i>	200 Ton	350 Ton
4	<i>Power</i>	362 HP	402 HP
5	<i>Est. weight</i>	50 Ton	65 Ton

Pengolahan Data

Tahapan pengolahan data pada penelitian ini meliputi:

1. Menentukan variasi pembebanan mencakup beban statis, beban dinamis, dan pengaruh arah tali atau *wire rope* pada *towing winch* yang memuat beban.
2. Menghitung nilai tegangan ijin berdasarkan regulasi Biro Klasifikasi Indonesia yang berlaku untuk struktur pondasi *towing equipment*.
3. Pemodelan pondasi *towing winch* dua dimensi (2D) dan tiga dimensi (3D) untuk simulasi.
4. Kemudian dilakukan konvergensi *mesh* pada model 3D yang sudah dibuat untuk memastikan keakuratan hasil analisis.
5. Setelah *mesh* dinyatakan konvergen, proses dilanjutkan dengan analisis Metode Elemen Hingga. Pada tahap ini dilakukan input *material properties*, penentuan kondisi batas (*boundary condition*), pembebanan (*loadcase*), pengaturan simulasi (*setup*), dan proses perhitungan (*solving*).
6. Hasil simulasi yang diperoleh selanjutnya divalidasi dengan membandingkan nilai tegangan maksimum terhadap batasan tegangan yang diijinkan menurut standar

regulasi BKI, serta perhitungan faktor keamanan (*safety factor*) menurut BKI Part *Part 1 Vol. II Rules for Hull Section 3* menggunakan persamaan berikut;

$$F = \frac{\sigma_v}{\sigma_w}$$

Dengan σ_v adalah nilai tegangan ijin dan σ_w merupakan tegangan maksimum yang terjadi.

7. Pembahasan hasil analisis dan validasi, serta menarik kesimpulan dari penelitian yang sudah dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Pembebanan

Pembebanan ini dilakukan untuk mengetahui beban maksimal yang dapat ditopang oleh pondasi *towing winch*, dengan variasi pembebanan didasarkan pada spesifikasi kuat tarik maksimal *towing winch* itu sendiri, yaitu 250ton dengan asumsi awal beban dinamis dimulai dari 50ton dan berkelipatan 50ton untuk pembebanan selanjutnya hingga ditemukan beban maksimal yang dapat diterima oleh pondasi, beserta arah pembebanan dari *wire rope*. Rincian perencanaan pembebanan yang dipakai adalah sebagai berikut.

Tabel 3. Variasi Pembebanan

Kondisi	Arah Vertikal	
	Sudut 90°	Sudut 45°
<i>Load Condition 1</i>	50 Ton	50 Ton
<i>Load Condition 2</i>	100 Ton	100 Ton
<i>Load Condition 3</i>	150 Ton	150 Ton
<i>Load Condition 4</i>	200 Ton	200 Ton
<i>Load Condition 5</i>	250 Ton	250 Ton

Tegangan Ijin

Perhitungan nilai tegangan ijin untuk pondasi *towing equipment* menurut Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) *Part 1 Vol. II Rules for Hull Section 27* adalah dengan menggunakan rumus berikut.

$$\sigma_v = 0,85 \cdot ReH$$

di mana : σ_v = Tegangan ijin (untuk *Equivalent Stress*)

ReH = Kuat luluh (*Yield Strength*) material

Maka diperoleh nilai tegangan ijin sebagai berikut.

$$\sigma_v = 0,85 \cdot ReH$$

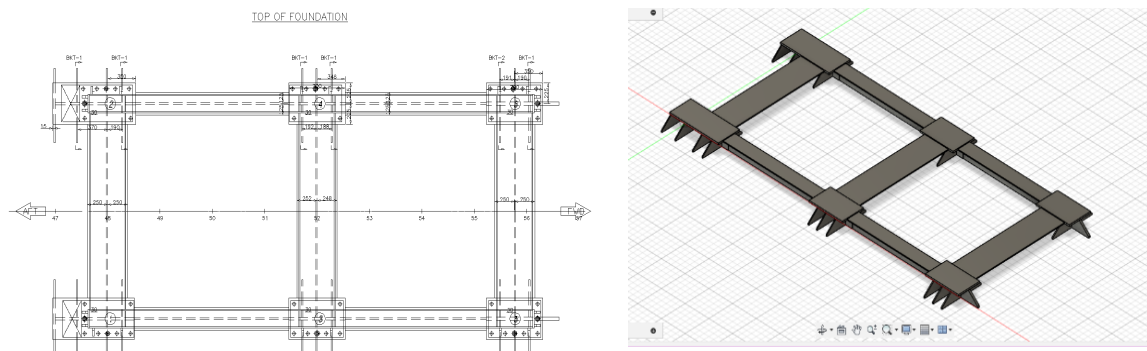
$$\sigma_v = 0,85 \cdot 235$$

$$\sigma_v = 199,75 \text{ MPa}$$

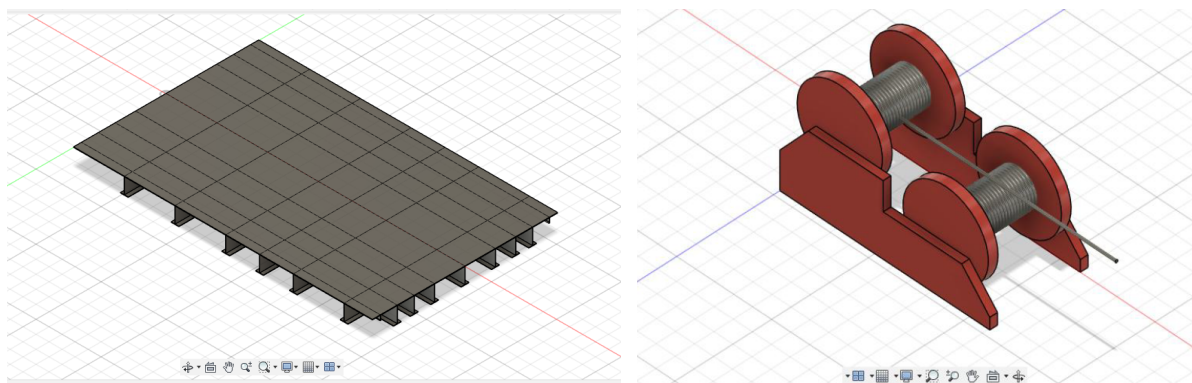
Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa nilai tegangan ijin (*permissible stress*) yang ditetapkan adalah 199,75 MPa. Nilai tegangan ijin ini selanjutnya dapat dijadikan acuan untuk penerimaan hasil simulasi.

Hasil Pemodelan

Hasil dari pembuatan model pondasi *towing winch* beserta komponennya yang akan digunakan dalam analisis elemen hingga. Adapun komponen pendukung dalam analisis yang juga perlu dimodelkan adalah main deck penumpu pondasi *towing winch*, yang akan diinputkan sebagai fixed geometry dan asumsi unit *towing winch* solid yang nantinya diperlukan sebagai beban statis. Hasil dari gambar 2D dan pemodelan 3D adalah sebagai berikut.



Gambar 1. 2D dan 3D Pondasi *Towing Winch*



Gambar 2. *Deck Penumpu dan Towing Winch*

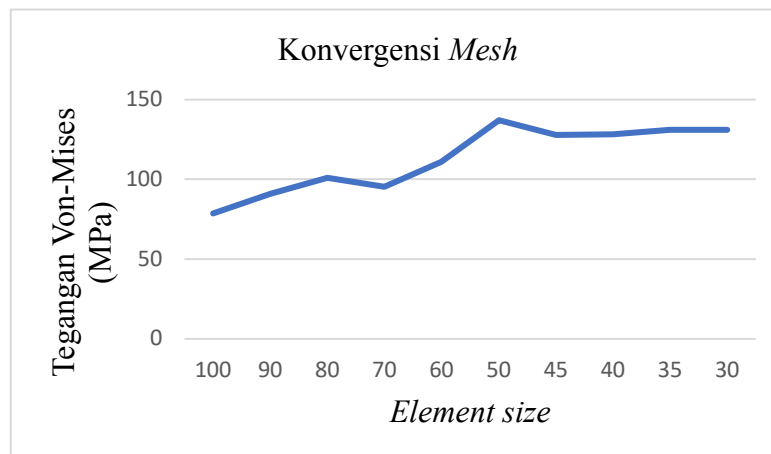
Material Properties

Material yang digunakan untuk struktur pondasi *towing winch* pada kapal AHTS 7600 HP ini adalah *Mild Steel ABS Gr. A*. Dalam penelitian ini, material *properties* didefinisikan sesuai dengan variasi kuat tarik yang akan dianalisis. *Properties* material yang harus didefinisikan meliputi:

- Modulus elastisitas (E) dalam satuan Pa $= 2 \times 10^{11}$
- Rasio Poisson (ν) $= 0,3$
- Kuat luluh/*yield strength* (σ_y) dalam satuan Pa $= 235 \times 10^6$
- Kuat tarik ultimat/*ultimate stress* (σ_u) dalam satuan Pa $= 250 \times 10^6$
- Densitas material (ρ) dalam satuan kg/m^3 $= 7850$

Konvergensi Meshing

Dalam penelitian ini, uji konvergensi *mesh* dilakukan untuk memastikan bahwa ukuran elemen yang digunakan dalam model sudah cukup halus sehingga hasil analisis mendekati nilai yang stabil dan valid. Metode *scaling down* diterapkan untuk memperkecil ukuran elemen *mesh* secara proporsional, sehingga proses simulasi menjadi lebih efisien tanpa mengurangi akurasi hasil. Dengan tabel ini, dapat dilihat progresivitas hasil simulasi dari ukuran *mesh* kasar hingga halus, sehingga pemilihan *mesh* yang optimal dapat dilakukan berdasarkan keseimbangan antara akurasi dan efisiensi komputasi. Grafik hasil konvergensi mesh dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 3. Grafik Konvergensi Mesh

Dari hasil konvergensi yang telah disajikan pada grafik tersebut, nilai tegangan maksimum yang terjadi pada simulasi ke-9 dan ke-10 berturut-turut adalah 131,12 MPa dan 131,17 MPa. Sehingga bisa dilakukan perhitungan persentase selisih sebagai berikut.

$$\begin{aligned}\text{Persentase selisih} &= \left| \frac{R_{10} - R_9}{R_9} \right| \times 100\% \\ &= \left| \frac{311,12 - 131,17}{131,17} \right| \times 100\% \\ &= 0,04\%\end{aligned}$$

Dengan hasil persentase selisih 0,04% maka hasil mesh dengan ukuran 35mm dapat dikatakan memenuhi, karena tidak melebihi batas toleransi sebesar 5% yang telah ditetapkan pada pedoman *mesh convergence* untuk *structural analysis*.

Hasil Analisis

Pada hasil analisis ini akan disajikan data dan temuan dari berbagai kondisi arah pembebanan yang diterapkan pada struktur pondasi *towing winch*. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode elemen hingga untuk mengevaluasi respons struktur terhadap variasi arah gaya tarik maksimum yang bekerja pada pondasi *towing winch*. Dengan memeriksa berbagai skenario pembebanan, diharapkan dapat diperoleh hasil tentang bagaimana perubahan arah gaya mempengaruhi kestabilan dan performa struktur secara keseluruhan. Nilai tegangan maksimum yang terjadi tidak boleh melebihi nilai tegangan ijin. Maka perbandingan nilai tegangan ijin dan tegangan maksimum yang terjadi disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 4. Hasil Simulasi Arah Pembebanan 90°

Kondisi	Beban Tarik	Tegangan yang terjadi	Tegangan Ijin	Safety Factor	Keterangan
<i>Load 1</i>	50.000 N	131,12 MPa	199,75 MPa	1,5234	Memenuhi
<i>Load 2</i>	100.000 N	181,12 MPa	199,75 MPa	1,1028	Memenuhi
<i>Load 3</i>	150.000 N	231,11 MPa	199,75 MPa	0,8643	Tidak Memenuhi
<i>Load 4</i>	200.000 N	281,16 MPa	199,75 MPa	0,7104	Tidak Memenuhi
<i>Load 5</i>	250.000 N	331,09 MPa	199,75 MPa	0,6033	Tidak Memenuhi

Berdasarkan tabel di atas dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi ketika *towing winch* beroperasi pada variasi arah pembebanan 90° dengan beban tarik sebesar 250ton adalah 331,09 MPa, dengan nilai *safety factor* sebesar 0,6033. Nilai ini melebihi batas tegangan ijin dan tidak memenuhi kriteria keselamatan material karena nilai *safety factor* kurang dari 1,1.

Tabel 5. Hasil Simulasi Arah Pembebanan 45°

Kondisi	Beban Tarik	Tegangan yang terjadi	Tegangan Ijin	Safety Factor	Keterangan
Load 1	50.000 N	130,74 MPa	199,75 MPa	1,5278	Memenuhi
Load 2	100.000 N	180,34 MPa	199,75 MPa	1,1076	Memenuhi
Load 3	150.000 N	229,94 MPa	199,75 MPa	0,8687	Tidak Memenuhi
Load 4	200.000 N	279,55 MPa	199,75 MPa	0,7145	Tidak Memenuhi
Load 5	250.000 N	329,15 MPa	199,75 MPa	0,6068	Tidak Memenuhi

Sedangkan untuk arah pembebanan 45° dapat diketahui bahwa nilai tegangan maksimum yang terjadi ketika *towing winch* beroperasi dengan beban tarik sebesar 250ton adalah 329,15 MPa, dengan nilai *safety factor* sebesar 0,6068. Nilai ini juga melebihi batas tegangan ijin dan tidak memenuhi kriteria keselamatan material karena nilai *safety factor* kurang dari 1,1.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis menggunakan FEM, pondasi *towing winch* yang terpasang pada kapal AHTS 7600 HP tidak mampu menahan unit *towing winch* dengan berat dan kuat tarik maksimum yang baru. Pondasi saat ini hanya mampu menahan beban tarik sebesar 100ton. Sedangkan tegangan maksimum yang terjadi untuk beban tarik sebesar 250ton sesuai dengan spesifikasi *towing winch* yang baru adalah sebesar 331,09 MPa pada arah pembebanan 90° dan 329,15 MPa pada arah pembebanan 45°. Tegangan maksimum yang terjadi sudah melebihi batas tegangan ijin menurut regulasi BKI, serta nilai *safety factor* kurang dari 1,1. Dengan demikian, desain pondasi yang saat ini terpasang pada kapal tidak memenuhi syarat keselamatan, sehingga perlu dilakukan penggantian pondasi *towing winch* yang disesuaikan dengan berat dan juga spesifikasi kuat tarik maksimum dari *towing winch* yang baru. Penelitian ini mendukung pentingnya analisis mendetail dalam memastikan keamanan struktur pendukung perangkat utama pada kapal penunjang *offshore*.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifudin, A., Wulandari, A., & Wicaksono, M. (2023). Study of Towing Lug Strength in 300 feet Barge at Docking Process. *Kapal: Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Kelautan*, 20(2), 154–162.
- Chen, S., Meng, B., & Kuang, H. (2025). High-order moment joint risk spillovers and investment management: Implications for green shipbuilding policy and practice. *Transport Policy*, 163, 152–167. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2025.01.011>
- Diaz, R., Smith, K., Landaeta, R., & Padovano, A. (2020). Shipbuilding supply chain framework and digital transformation: A project portfolios risk evaluation. *Procedia Manufacturing*, 42, 173–180. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.02.067>
- Dwiana, A. S., Hendrawan, A., & Nusantara, A. M. (2023). *Analisa Kinerja Tiga Buah Mesin Induk Penggerak Utama Kapal di AHTS Christos LVII*. 7(1).
- Global Market Insight. (2019, August). *Offshore Support Vessel Market Statistics*.
- Haaja, E., & Evers, N. (2025). Adapting to sustainability: Reorchestrating collective eco-innovation in project-based shipbuilding networks. *Industrial Marketing Management*, 128, 117–130. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2025.06.006>
- Hardiana, X., Prasetyawati, D., & Syahrir, I. (2019). Analisa Manajemen Proyek Pada Proses Pembangunan Kapal Keruk di Galangan X. *Jurnal Midship*, 2(1), 37–41.
- Iglesias-Baniela, S., Vinagre-Ríos, J., & Pérez-Canosa, J. M. (2021). Ship Handling in Unprotected Waters: A Review of New Technologies in Escort Tugs to Improve Safety. In *Applied Mechanics* (Vol. 2, Issue 1, pp. 46–62). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/applmech2010004>
- Legorburu, I., Johnson, K. R., & Kerr, S. A. (2018). Offshore oil and gas. In *Building Industries at Sea: “Blue Growth” and the New Maritime Economy* (pp. 231–256). Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1201/9781003337430-10>
- Moatamedi, M., & Khawaja, H. (2018). *Finite Element Analysis*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9780429453076>
- Ole, T., Farsakoglou, T., Pedersen, H. C., & Andersen, T. O. (2022, March). Review of offshore winch drive topologies and control methods Review of offshore winch drive topologies and control methods. *The 13th International Fluid Power Conference*.
- Sibuea, M. E., & Saragi, H. S. (2019). Analisis Risiko Keterlambatan Material dan Komponen pada Proyek Pembangunan Kapal dengan Metode House of Risk (HOR) Studi Kasus:

Pembangunan Kapal Ro-Ro 300 GT Danau Toba. *Jurnal Sistem Teknik Industri (JSTI)*, 21(2), 28–42.

Sutisna, E., Mulyatno, P., & Jokosisworo, S. (2017). Analisa Kekuatan Struktur Main Deck Sebagai Penumpu Towing Winch Pada Kapal OSV.Go Perseus Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 5(4), 707–715.
<http://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>

Taşdemir, A., Nohut, S., & Akman, M. (2021). Analytical and Numerical Analysis of the Strength Performance of a Novel Ship Construction Profile. *Journal of Eta Maritime Science*, 9(3), 200–209. <https://doi.org/10.4274/jems.2021.87049>

Valentino, P., Yudo, H., & Zakki, A. F. (2022). Strength Analysis of Towing Hook Support Structure on TB. Khatulistiwa 01. In *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research* (Vol. 7, Issue 4).