



Article Info:

Received 08 May 2026

Accepted 08 June 2026

Published 27 July 2026

Corresponding Author:

Rekky Dwi Pahlawan
Department of Shipbuilding
Engineering
Shipbuilding Institute of
Polytechnic Surabaya
E-mail: -

© 2026 Pahlawan et al. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY) license, allowing unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided proper credit is given to the original authors.



Fatigue Life Analysis of the Turbine Foundation Structure for a Wind Power Plant on a 100-m Accommodation Work Barge (AWB)

Analisis Fatigue Life Konstruksi Dudukan Turbin (Turbine Foundation) Pembangkit Listrik Tenaga Angin Pada Accommodation Work Barge (AWB) 100 M

Rekky Dwi Pahlawan^a, Hariyanto Soeroso^a, Kharis Abdullah^a

^a Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya, 60111, Indonesia

Abstract

Indonesia's maritime industry has experienced rapid development alongside technological advancements. One of the major challenges is the increasing demand for energy, which has encouraged the development of renewable energy sources. This study aims to analyze the fatigue life of a wind turbine foundation structure installed on a 100-meter Accommodation Work Barge (AWB), with a foundation length of 4.95 meters positioned on the rooftop deck. The analyzed loads consist of four types: turbine load (6082.2 N), wind load (0.000065 MPa), rooftop deck load (0.02306 MPa), and office deck load (0.0035 MPa). The analysis was conducted using ANSYS R1 2021 software with the Simplified Fatigue Assessment method. The results indicate a maximum deformation of 70.06 μm and a maximum stress of 5.5929 MPa. The estimated fatigue life of the turbine foundation is 25.91 years, which satisfies the Det Norske Veritas (DNV) standard requiring a minimum design life of 20 years.

Keywords: Fatigue Life, Wind Turbine Foundation, Simplified Fatigue Assessment

Abstrak

Industri kemaritiman Indonesia mengalami perkembangan pesat seiring kemajuan teknologi. Salah satu tantangan utama adalah kebutuhan energi, yang mendorong pengembangan energi terbarukan. Penelitian ini bertujuan menganalisis umur kelelahan (fatigue life) dari konstruksi pondasi turbin angin pada Accommodation Work Barge (AWB) 100 meter, dengan panjang pondasi 4,95 meter yang ditempatkan pada rooftop deck. Beban yang dianalisis terdiri dari empat jenis, yaitu beban turbin (6082,2 N), beban angin (0,000065 MPa), beban rooftop deck (0,02306 MPa), dan beban office deck (0,0035 MPa). Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak ANSYS R1 2021 dengan metode Simplified Fatigue Assessment. Hasil menunjukkan deformasi maksimum sebesar 70,06 μm dan tegangan maksimum 5,5929 MPa. Umur kelelahan pondasi diperkirakan mencapai 25,91 tahun, yang memenuhi standar DNV dengan batas umur desain minimal 20 tahun.

Kata Kunci: Fatigue Life, Pondasi Turbin Angin, Simplified Fatigue Assessment

1. Pendahuluan

Industri kemaritiman di Indonesia telah menunjukkan perkembangan signifikan, seiring dengan kemajuan teknologi yang mendukung peningkatan efisiensi dan inovasi di sektor ini. Peningkatan kebutuhan energi, khususnya pada sistem pendukung kapal seperti Accommodation Work Barge (AWB), mendorong perlunya pengembangan sumber energi terbarukan. Salah satu alternatif yang potensial adalah pemanfaatan energi angin melalui pemasangan turbin angin sebagai sumber energi tambahan atau darurat.

Penelitian ini merupakan tindak lanjut dari studi sebelumnya yang telah merancang pondasi turbin untuk sistem pembangkit listrik tenaga magnet. Namun, belum dilakukan analisis secara komprehensif terhadap umur kelelahan struktur pondasi tersebut. Oleh karena itu, fokus penelitian ini adalah menganalisis umur kelelahan (fatigue life) pondasi turbin angin yang ditempatkan di rooftop deck AWB 100 meter dengan bantuan perangkat lunak simulasi ANSYS.

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah apakah konstruksi pondasi turbin angin pada AWB 100 m memenuhi kriteria tegangan dan umur kelelahan sesuai standar klasifikasi BKI dan DNV. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam aspek perencanaan struktur maritim yang aman dan berkelanjutan.

2. Bahan dan Metode

Penelitian ini menerapkan metode kuantitatif dengan pendekatan eksperimental dan deskriptif. Metode kuantitatif dimanfaatkan untuk memperoleh dan menganalisis data numerik melalui penerapan teknik statistik guna menghasilkan kesimpulan yang dapat dipertanggungjawabkan. Dalam pendekatan eksperimental, peneliti melakukan intervensi terhadap variabel bebas untuk mengamati dampaknya terhadap variabel terikat, sehingga memungkinkan untuk mengidentifikasi hubungan kausal antar variabel secara sistematis. Pendekatan ini juga memungkinkan pengujian hipotesis melalui eksperimen yang terkontrol.

Di samping itu, pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan fenomena yang diamati dengan menyajikan data secara sistematis. Data yang dikumpulkan melalui observasi dan analisis kemudian diolah menjadi informasi kuantitatif dalam bentuk angka dan statistik, yang merepresentasikan karakteristik atau kondisi objek penelitian. Dengan pendekatan ini, penelitian bertujuan menyajikan gambaran yang komprehensif mengenai pengaruh variabel yang dikaji, sekaligus mendeskripsikan hasil penelitian secara objektif dan mendalam.

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dalam diagram alir pada Gambar 1 dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Ukuran utama kapal

Kapal yang digunakan untuk analisis ini mempunyai ukuran utama yang dapat di lihat di bawah ini:

Length Barge 99,85 meter

Beam Barge 31,79 meter

Depth (Moulded) 6,35 meter

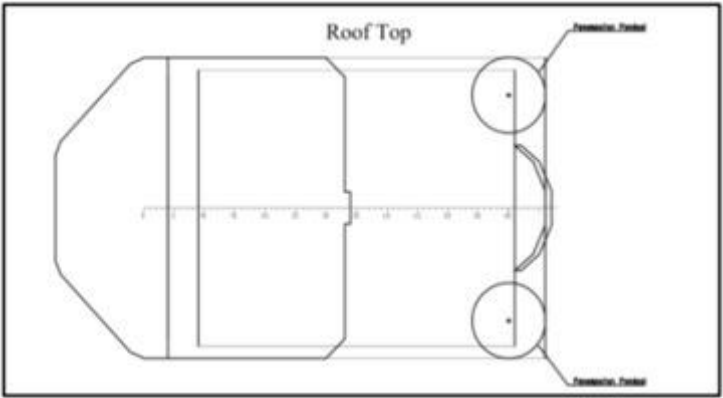
Design Draft 5,00 meter

Frame Spacing 610 mm

Complement 160

Spesifikasi Turbin dan Penempatan Pondasi

Untuk spesifikasi turbin serta penempatan pondasi dapat dilihat pada gambar di bawah ini, sebagai berikut:



Gambar 2. Rooftop Deck pada AWB 100 m

Specification								
Model	FH-1000A	FH-1000B	FH-2000	FH-3000	FH-5000	FH-10kw	FH-20kw	FH-30kw
Rated power	1000W	1000w	2000w	3000w	5000w	10kw	20kw	30kw
Maximum power	1100W	1500w	2500w	3500w	5500w	12kw	22kw	32kw
Rated voltage	24v-96v	48v-220v	120v-380v	120v-380v	120v-380v	300v-380v	300v-400v	300v-400v
Start wind speed	2.5m/s	2.5m/s	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s	3m/s
Rated wind speed	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s	10m/s
Rated RPM	220	280	300	350	300	200	150	150
Net weight	90kg	170kg	190kg	232kg	350	620kg	1560kg	1560kg
Wheel diameter	1.6m	2m	2m	2.4m	4m	5m	5m	5m
Blades height	2.0m	2.8m	3.2m	3.6m	5m	6m	7m	7m
Number of blades	3	3	3	3	3	3	3	3
Blades material	Aluminium alloy							
Generator type	3 phase permanent magnet AC synchronous generator							
Magnet material	NdFeB							
Yaw mode	Electromagnet							
Working	-40°C-80°C							

Gambar 3. Spesifikasi Turbin

3.2. Hasil Perhitungan Konstruksi

Setelah menentukan penempatan serta pemilihan turbin, maka dilakukan perhitungan berdasarkan rules yang digunakan, yaitu Biro Klasifikasi Indonesia (BKI) Rules For Classification and Construction untuk Sea Going Ship, Volume II dan tentang Rules of Hull tahun 2022 Consolidated. Untuk hasil perhitungannya dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini, sebagai berikut :

Tabel 1. Rangkuman Hasil Perhitungan Konstruksi Pondasi

Referensi		Hasil Perhitungan	
Bab	Point	Kriteria	Hasil
Referensi BKI Volume II tahun 2021			
X	B.1	Girder	T
		- Roof Top	270x12/180x12
		- Selain Rooftop	T 120x10/80x12
IX	A.5	Web Frame	T
		- Roof Top	270x12/90x12
		- Selain Rooftop	T 120 x 10/60x10
VIII	C.3	Dimensi Top Plate	610 mm
		a. Panjang	610 mm
		b. Lebar	16 mm
		c. Tebal	
X	C.1	Dimensi Pillar	2400 mm
		a. Tinggi	150 mm
		b. Diameter	
III	D.1	Tebal Bracket	6,5 mm

Setelah melakukan perhitungan konstruksi, maka dilanjutkan perhitungan pembebanan yang akan dianalisis pada penelitian dan dilanjutkan ke tahap pemodelan yang akan diuraikan pada penjelasan selanjutnya

3.3. Perhitungan Beban

Perhitungan ini menjadi hal yang harus diperhatikan dalam penelitian ini, ada 4 beban yang terdapat analisis ini yaitu beban terpusat yang diakibatkan berat turbin (Beban I) yang di dapat dari spesifikasi yang tersedia, untuk yang kedua yaitu beban angin (Beban II) berupa beban merata yang di dapat dengan menggunakan perhitungan secara manual, dan yang ketiga ada juga beban yang diakibatkan oleh beban geladak itu sendiri untuk di rooftop (Beban III) berupa beban merata juga serta untuk beban geladak di office deck (Beban IV). Untuk hasil dari perhitungan beban, dapat dilihat pada tabel 2 di bawah ini, sebagai berikut:

Tabel 2. Ringkasan Hasil Perhitungan Beban

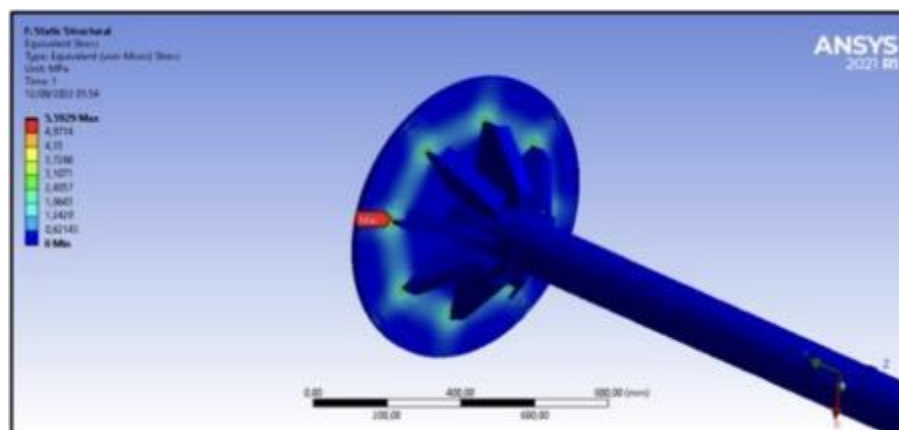
No	Jenis Beban	Hasil Beban
1	Beban I	6082,2 N
2	Beban II	0,000065 MPa
3	Beban III (<i>Rooftop</i>)	0,02306 MPa
4	Beban IV (<i>Office Deck</i>)	0,0035 MPa

3.4. Pelaksanaan Desain

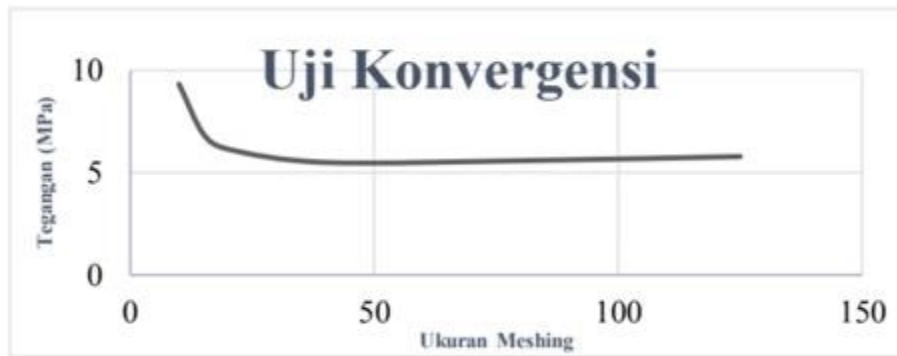
Perencanaan yang telah dilakukan pada sub bab sebelumnya berupa perhitungan konstruksi selanjutnya dilakukan penggambaran atau direpresentasikan ke dalam bentuk 3D dengan bantuan perangkat lunak AutoCAD. Dalam proses penggambaran, dilakukan penggambaran dalam bentuk solid. Hal ini dimaksudkan agar mampu di-input ke dalam software Ansys dengan melakukan export menjadi format .igs, .iges, ataupun .sat. Selain itu juga, untuk memudahkan dan mempercepat proses meshing, dilakukan optimalisasi konstruksi yang berupa pillar yang ditumpu langsung oleh plat, bracket, girder, dan web frame serta untuk daerah yang dianalisis yaitu hanya konstruksi tersebut dan area berbentuk persegi yang mempunyai sisi masing-masing 310 mm. Setelah dilakukan pembatasan tersebut, dilakukan penggabungan setiap komponen konstruksi yang akan dilakukan analisis pada software Ansys. Sebelum diinput ke dalam software, penulis melakukan export objek ke dalam bentuk format ACIS (.sat) yang membantu memudahkan dalam analisis pada Ansys.

3.5. Simulasi pada Software Ansys

Simulasi Ansys terdiri dari beberapa tahap, mulai dari mengidentifikasi material yang dipakai, melakukan meshing, pemberian beban dan kondisi batas, serta pemilihan solution. Setelah melakukan simulasi hasil tegangan untuk setiap model akan didapatkan, salah satu hasilnya dapat dilihat pada Gambar 2 di bawah ini, sebagai berikut:

**Gambar 4.** Hasil Simulasi Tegangan di Ansys

Setelah itu digambarkan kurva dari uji konvergensi sebagai validasi ukuran meshing yang didapatkan melalui analisis secara bertahap menggunakan software Ansys Workbench dengan ketelitian yang bermacam dan cenderung ukuran meshing semakin mengecil dan otomatis keakuratan pun akan lebih baik, sudah terbukti pada simulasi pada software tersebut semakin kecil ukuran meshing, maka semakin akurat juga hasil analisisnya. Dalam penelitian ini, penulis mengambil ukuran meshing 82 mm untuk dilakukan analisis selanjutnya, untuk hasil dari kurva konvergensinya, sebagaimana yang ditunjukkan pada kurva di Gambar 3 di bawah ini, sebagai berikut :



Gambar 5. Kurva Hasil Uji Konvergensi

Analisis Tegangan Ijin

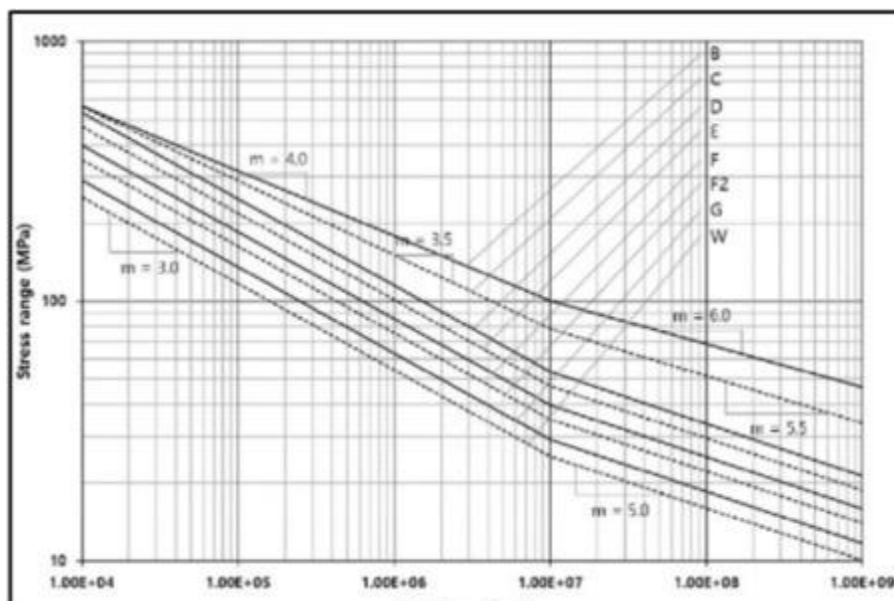
Berikut adalah perhitungan tegangan ijin yang diperbolehkan BKL.

$$\begin{aligned}\sigma_v &= 1901 \\ &= 190 \text{ N/mm}^2 \\ &= 190 \text{ MPa}\end{aligned}$$

Hasil perhitungan tersebut menjadi acuan untuk menilai tegangan dari tiap model yang didapatkan di Ansys.

3.6. Perhitungan Fatigue Life

Dalam bahasan ini akan dilakukan beberapa analisis yang berkaitan dengan *fatigue life*, dalam sub bab ini akan membahas penuh mengenai *fatigue life* dari konstruksi pondasi yang penulis rencanakan, banyak hal-hal yang perlu diperhatikan dalam menganalisis umur kelelahan dari sebuah konstruksi, salah satunya yaitu Kurva S-N yang akan digunakan, tipe *class* yang dipilih berdasarkan keterangan yang ada, lalu perhitungan umur yang mengacu terhadap salah satu klasifikasi yang mengatur mengenai *fatigue life* ini. Adapun beberapa tahap yang akan dilakukan dalam sub bab ini. Diantaranya adalah : Penentuan Kurva S-N dan Analisis *Fatigue Damage*.



Gambar 6. Kurva S-N

Di atas merupakan kurva S-N serta pemilihan kelas yang akan digunakan dalam perhitungan *fatigue life* pada penelitian ini. Setelah itu maka dilakukan perhitungan untuk hasil dari kurva S-N berdasarkan kelas yang

dipilih, berikut tabel 3 yang merupakan hasil perhitungan kurva S-N, sebagai berikut :

Tabel 3. Perhitungan Kurva S-N

Alternating Stress	K ₂	m	N
3511,52662	4,33E+11	3	10
2787,10053	4,33E+11	3	20
2053,55323	4,33E+11	3	50
1629,90628	4,33E+11	3	100
1200,92521	4,33E+11	3	250
756,535477	4,33E+11	3	1000
557,420106	4,33E+11	3	2500
258,731494	4,33E+11	3	25000
162,990628	4,33E+11	3	100000
120,092521	4,33E+11	3	250000
75,6535477	4,33E+11	3	1000000
55,7420106	4,33E+11	3	2500000
35,1152662	4,33E+11	3	10000000
29,3004752	5,399E+14	5	25000000
22,2056078	5,399E+14	5	100000000
18,48735	5,399E+14	5	250000000

Hasil perhitungan kurva S-N yang tertera pada Tabel 4 selanjutnya di-input pada *software Ansys* bertujuan untuk mendapatkan maksimum *cycle*

3.7. Analisis Fatigue Damage

Pembahasan harus ditulis dalam subbab yang berbeda setelah bagian hasil.

Untuk memperoleh nilai dari *cumulative fatigue damage* (DM) pada analisis, diperlukan jumlah kejadian (*cycle*) yang didapatkan dari hasil analisis pada *software Ansys Workbench*. Hasil dari perhitungan ini kemudian akan digunakan untuk menghitung perkiraan umur kelelahan (*fatigue life*) yang terjadi pada konstruksi pondasi turbin ini. Untuk nilai dari *cumulative damage* dihitung secara manual.

$$T_L = 6,307 \times 10^8 \text{ (Ketentuan DNV untuk 20 Tahun)}$$

$$L = 4,950 \text{ m (Panjang Pondasi Turbin)}$$

$$N_i = 2,5 \times 10^8 \text{ (Hasil Analisis Ansys)}$$

$$N_L = \frac{0,85 \times 6,307 \times 10^8}{4,950}$$

$$= \frac{5,36 \times 10^8}{4,950}$$

$$= 1,0729 \times 10^8$$

Maka, untuk nilai DM adalah:

$$DM = \frac{N_d}{N_f}$$

$$= \frac{1,929 \times 10^8}{2,5 \times 10^8}$$

$$= 0,771$$

Setelah nilai DM diketahui, maka umur kelelahan dari konstruksi pondasi turbin ini dapat diketahui, untuk *design life* itu 20 Tahun. Untuk mengetahui umur kelelahan bisa menggunakan perhitungan dengan persamaan berikut:

$$Fatigue\ Life = \frac{Design\ Life}{DM} \times 365$$

$$= \frac{20}{0,771} \times 365$$

$$= 9458,43\text{ Hari}$$

$$= 25,91\text{ Tahun}$$

Dari perhitungan di atas, dapat disimpulkan bahwa *fatigue life* untuk konstruksi pondasi turbin ini dengan material *steel* memenuhi standard DNV (20 tahun) karena mendekati standar dengan umur 25,91 tahun.

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian ini adalah:

1. Desain struktur pondasi turbin yang dirancang telah memenuhi batas tegangan izin sesuai ketentuan yang ditetapkan oleh Biro Klasifikasi Indonesia (BKI).
2. Hasil analisis menunjukkan bahwa pondasi turbin mengalami tegangan maksimum sebesar 5,5929 MPa pada kondisi pembebanan penuh (100%). Titik konsentrasi tegangan tertinggi terletak pada sambungan antara bracket dan flange, sedangkan area dibawah flange menunjukkan nilai tegangan yang paling rendah.
3. Umur kelelahan (*fatigue life*) dari konstruksi pondasi turbin diperkirakan mencapai 25,91 tahun, sehingga masih berada dalam rentang aman dan sesuai dengan standar umur desain minimum yang ditetapkan oleh DNV, yaitu 20 tahun

Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik yang perlu dilaporkan

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya atas dukungan fasilitas dan izin penelitian. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada semua pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

Pernyataan Penggunaan AI dalam Penulisan

Selama penyusunan karya ini, penulis menggunakan ChatGPT untuk memeriksa kepaduan kalimat yang diterjemahkan dan Grammarly untuk meninjau keakuratan tata bahasa. Setelah menggunakan alat/layanan ini, penulis meninjau dan mengedit konten sesuai kebutuhan dan bertanggung jawab penuh atas isi publikasi tersebut

Daftar Pustaka

- Anwar Sadat, M. N. (2012). Analisa Umur Kelelahan (*Fatigue Life*) Scantling Support Structure Module FSO Cinta Natomas. Jurnal Teknik ITS.
- Arbintarso, E. (n.d.). Mekanika Perpatahan III.

- Arianta, F. H. (2021). Perbandingan Kurva S-N dalam Menentukan Umur Kelelahan Struktur. *Journal of Sustainable Construction*.
- Bagus Anggoro Wiratmoko, S. W. (2019). Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Gedung Ketahanan Pangan Nganjuk. *JURMATEKS*, 111.
- Biro Klasifikasi Indonesia. (2021). *Rules For Classification and Construction*. Jakarta: Biro Klasifikasi Indonesia.
- Dita Septiana, S. d. (2012). Perkiraan Fatigue Life pada Bracket Kapal Tanker Berdasarkan Common Structural Rules. *Jurnal Teknik ITS*.
- DNV GL. (2015). *Fatigue Assessment of Ship Structures*.
- Dr. Wahidmurni, M. (2017). *Pemaparan Metode Penelitian Kuantitatif*.
- Guven, E. M. (n.d.). *The Finite Element Method and Applications in Engineering Using Ansys*. Virginia: Springer.
- International Association of Classification Societies. (2009). *Appendix of JTP Common Structural Rules for Oil Tanker*. London.
- IR. A.A. Ketut Ngurah Tjerita, M. (2018). *Metoda Elemen Hingga : Torsi Pada Penampang Batang Non-Circular*.
- Jaya, I. L. (2020). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta, Indonesia: Quadrant.
- Jeyakarthikeyan, H. P. (2018). Mesh convergence study and estimation of discretization error of hub in clutch disc with integration of ANSYS. *ICAME 2018*.
- Kementerian Kelautan dan Perikanan. (2021, Agustus 19). Retrieved from <https://kkp.go.id/brsdm/pusriskel/artikel/33478-ahli-sejak-2000-an-ilmu-kelautan-dan-perikanan-terapan-terus-berkembang>
- Logan, D. L. (2007). *A First Course in the Finite Element Method*. Toronto, Canada: Chris Carson.
- Mankar, A., & Sørensen, J. D. (2019). Probabilistic Fatigue Fesign of Reinforced-Concrete Wind Turbine. *13th International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, ICASP13*.
- Ningrum, M. (2018). *Analisis Fatigue Life Konstruksi Kapal 17500 LTDW Crude Oil Tanker*.
- Nugroho, M. I. (2021). *Perencanaan Konstruksi Dudukan Turbin (Turbine Foundation) Pada Redesain Pembangkit Listrik Tenaga Magnet Sebagai Sistem Pembangkit Energi Terbaru Pada Accommodation Work Barge (AWB) 100 M*.
- Sinaga, S. C. (2016). *Pengaruh Frekuensi Beban Siklik Terhadap Umur Kelelahan Struktur Jembatan Rangka Baja*.
- Stania Ekarista Bitty, S. B. (2015). *Analisis Kelelahan Struktur Pada Tiang Pincang Di Dermaga Amurang Dengan Metode S-N Curve*. TEKNO.
- Sulton, S. (2021). *Analisis Kekuatan dan Perhitungan Fatigue Life Pondasi Boat Crane Alumunium Pada Kapal Patroli Kelas III*.
- Sungwoo Im, J. C. (2021). Comparison of Fatigue in Various Codes and Standards -Part1: Basic Design S-N Curves of Non Tubular Steel Members. *Journal of Ocean Engineering and Technology*.