

MODIFIKASI SCROLL COMPRESSOR UNTUK DIFUNGSIKAN SEBAGAI TURBIN PADA PROTOTYPE SISTEM OTEC

Muhammad Daffa Zia Ur Rahman ^{1*}, Dr. Eng. Muhammad Anis Mustaghfirin, S.T., M.T. ², Mardis Santoso, S.T., M.Eng.Sc. ³

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: daffa.zia@student.ppns.ac.id^{1*}; mustaghfirin@ppns.ac.id^{2*}; mardisantoso@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC) is a type of power plant that utilizes the temperature difference between seawater at the surface and seawater at a depth of 1 km. Although suitable turbine components are not yet available, this type of power plant aids in the exploration of alternative energy sources. Addressing these issues, this research focuses on the creation and development of an OTEC system by creating a prototype of the OTEC system. The study involves designing a simple prototype simulation of the OTEC system by replacing the turbine component with a scroll compressor and then modifying the compression chamber and motor. The results of the prototype OTEC system research showed a COP value of 4.099, an OTEC system efficiency of 24.33%, and an electrical power output of the prototype OTEC system of 0.0048 VA

Keyword: Alternative energy, Efficiency of turbine, Electricity power, Motor, Power plant

Nomenclature

COP	=	Coefficient of Performance
HRR	=	Heat Rejection Ratio
\dot{m}_{410a} (kg/s)	=	Laju aliran massa sistem pendingin
\dot{m}_{22} (kg/s)	=	Laju aliran massa sistem OTEC
$W_{c\ ref}$	=	Kerja kompresor (watt)
W_t	=	Kerja turbin (watt)
W_{in} (watt)	=	Kerja yang dibutuhkan kompresor
$Q_{e\ ref}$	=	Kapasitas pendinginan evaporator sistem refrigerasi (watt)
$Q_{c\ OTEC}$	=	Panas yang dilepaskan oleh kondensor sistem OTEC (watt)
I	=	Arus (Ampere)
V	=	tegangan listrik (V)
$\cos \varphi$	=	faktor daya
h	=	enthalpy (kJ/Kg)
η	=	efisiensi sistem
L	=	Kalor laten es (J/kg)
C	=	Kalor jenis air (J/kg.°C)
T	=	Suhu (°C)

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan sesuatu yang memiliki peran sangat penting bagi kehidupan sehari-hari manusia, terutama energi listrik. Energi listrik menjadi salah satu sumber daya utama pada

perkembangan teknologi sebab hampir semua peralatan dan kegiatan membutuhkan listrik[1].

Mengingat bahwa Indonesia adalah negara kepulauan yang melarang distribusi bahan bakar fosil, maka sangat penting untuk mengeksplorasi pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar energi alternatif seperti tenaga surya, angin, dan laut dengan mengingat output energi yang dihasilkan bervariasi tergantung dari jenis sumber energinya [2]. Oleh karena itu, dikembangkanlah suatu jenis pembangkit listrik energi alternatif yang memanfaatkan panas dari lautan yaitu OTEC.

OTEC sendiri merupakan singkatan dari Ocean Thermal Energy Conversion yang mana memanfaatkan panas dari lautan untuk menghasilkan energi. Di mana suhu air laut yang bervariasi dengan kedalaman dan stratifikasi kolom air stabil, yang secara teoritis memungkinkan untuk mengekstraksi tenaga mekanik dalam mesin panas [3]. Ini adalah metode tidak langsung yang memanfaatkan tenaga surya. Pada lokasi tertentu di daerah tropis, perbedaan temperatur antara permukaan air laut dan air di dasar lautan adalah sekitar 20 hingga 25 °C [4]. Uap menyebar di dalam turbin untuk memproduksi kerja mekanis yang menggerakkan generator. Sedangkan air dingin di dasar lautan digunakan sebagai pengembunan uap yang kembali dari turbin. Cairan yang terkondensasi kemudian dipompa ke evaporator untuk

menyelesaikan siklusnya. Pada sistem ini menggunakan prinsip dasar siklus rankine dengan *work fluid* refrigerant.

Pada uraian diatas merupakan dasar penulis dalam mengerjakan Tugas Akhir ini dengan membuat prototype sederhana. Karena turbin yang sesuai untuk operasi OTEC belum tersedia. Maka, pada penelitian ini dilakukan modifikasi dengan merubah komponen motor pada scroll compressor menggunakan generator untuk menguji berapa daya dan efisiensi yang dihasilkan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk melakukan penelitian ini maka diperlukan beberapa langkah diantaranya adalah sebagai berikut:

2.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini berisi Spesifikasi scroll compressor, Spesifikasi AC, dan table termodinamika R-410a. Berikut tabel 1 menunjukkan spesifikasi scroll compressor, tabel 2 menunjukkan spesifikasi AC, tabel 3 dan Gambar 2 menunjukkan tabel termodinamika R410a.

Tabel 1. Spesification of Scroll Compressor

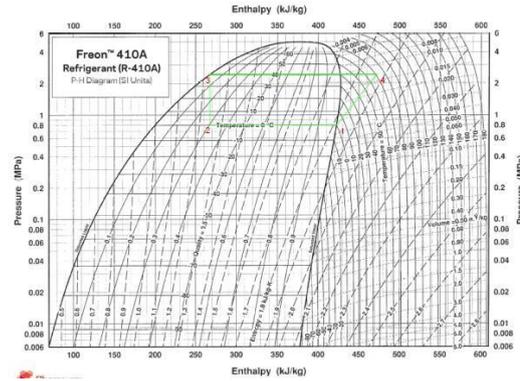
Scroll Compressor	
Merk	Copeland
Jenis	Scroll Compressor
Volt	220-240 V
Frekuensi	50 Hz
Arus	13.6 A
Daya	3 Hp
Refrigeran	R-22

Tabel 2. Specification of Outdoor AC

Specification		
Capacity	9000	Btu/h
Input	770	Watt
Phase	1	
Voltage	220-240	volt
Frequency	50	Hz
Current	3.7	A
Refrigerant	R-410	

Tabel 3. Table of Thermodynamic R-410a

Thermodynamic			
Prop	Unit	Evaporator	Condenser
T	°C	-10	40
P	Bar	5.721	24.19
h	kJ/Kg	419.4	267.1



Gambar 1. P-h diagram R-410a

2.2 Menghitung Laju Aliran Massa

Untuk menentukan nilai laju aliran massa digunakan persamaan sebagai berikut:

$$COP = \frac{Q_{he(410)}}{W_c} \quad (1)$$

$$Q_{evap\ ref} = \dot{m}_i \cdot (h_3 - h_4) \quad (2)$$

2.3 Laju Aliran Massa Refrigeran Sistem OTEC

Perhitungan laju aliran massas sistem OTEC dapat dilihat pada Persamaan

$$Q_{evap\ ref} = Q_{cond\ OTEC} \quad (3)$$

$$\dot{m}_{410a} \cdot (h_3 - h_4) = \dot{m}_{22} \cdot (h_5 - h_6) \quad (4)$$

$$\dot{m}_{22} = \frac{\dot{m}_{410a} \cdot (h_3 - h_4)}{(h_5 - h_6)} \quad (5)$$

2.4 Persamaan Kerja Kompresi

Perhitungan kerja kompresi sistem OTEC dapat dilihat pada Persamaan

$$W_{turbin} = \dot{m}_{22} \cdot (h_8 - h_5) \quad (6)$$

Kerja kompresor juga dapat diketahui dari daya listrik yang kita berikan ke kompresor, dengan rumus:

$$W_{in} = V \cdot I \cdot \cos\phi \quad (7)$$

2. 5 Persamaan Panas pada Evaporator dan Kondensor

Perhitungan panas yang berhasil dikeluarkan melalui kondensor pada sistem OTEC dapat dilihat pada Persamaan

$$Q_{cond\ OTEC} = \dot{m}_{22} \cdot (h_5 - h_6) \quad (8)$$

Perhitungan kapasitas pendinginan pada evaporator system refrigerasi dapat dilihat pada Persamaan

$$Q_{evap\ ref} = \dot{m}_{410a} \cdot (h_3 - h_4) \quad (9)$$

2.6 Persamaan COP Sistem OTEC

Perhitungan COP pada sistem OTEC dapat dilihat pada Persamaan

$$COP_{OTEC} = \frac{Q_{cond\ OTEC}}{W_{turbin} + W_{comp\ ref}} \quad (10)$$

2.7 Efisiensi Sistem OTEC

Efisiensi adalah perbandingan antara kerja dengan kalor yang masuk kedalam evaporator, yang mana dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{Q_{cond\ OTEC}}{Q_{evap\ ref}} \cdot 100\% \quad (11)$$

2.7 Kalor dan Perpindahan Wujud

Pengertian dari kalor sendiri adalah satu bentuk energy yang dapat berpindah dari satu benda ke benda lainnya karena adanya perubahan suhu.

Terdapat dua rumus untuk menghitung besarnya energy kalor, yaitu sebagai berikut:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (12)$$

(digunakan untuk menghitung energi kalor pada fase kenaikan suhu)

Keterangan:

m = Massa (kg)

C = Kalor Jenis (J/Kg.°C)

ΔT = Perubahan Suhu (°C)

Kalor jenis adalah banyaknya kalor yang dibutuhkan untuk menaikkan suhu 1 kg zat sebesar 1 derajat celcius. Alat yang digunakan dalam mencari besar kalor jenis adalah calorimeter.

$$Q = m \cdot L \quad (13)$$

(digunakan untuk menghitung energi kalor pada fase perubahan wujud)

Keterangan:

m = Massa (kg)

L = Kalor Laten (J/Kg)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukannya pengujian pada eksperimennya maka bisa dilanjutkan untuk melakukan perhitungan laju aliran massa sistem refrigerasinya.

3.1 Perhitungan Laju Aliran Massa Sistem Refrigerasi

Dari persamaan 1 dan 2 dan table 3 maka didapatkan nilai laju aliran massa sistem refrigerasi sebagai berikut:

$$COP = \frac{Q_{he(410)}}{W_c}$$

$$3.5 = \frac{Q_{he(410)}}{0.746\ kW}$$

$$Q_{he(410)} = 2.611\ kW$$

$$Q_{he(410)} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_4)$$

$$\dot{m} \cdot (h_1 - h_4) = 2.611\ kW$$

$$\dot{m} = \frac{2.611\ kW}{(419.4 - 267.5)}$$

$$\dot{m} = 0.01719\ kg/s$$

Sehingga pada persamaan diatas bias kita jadikan acuan dalam mencari nilai panjang dan diameter pipa kapiler yang dibutuhkan yaitu sebesar 0.07" atau 1.778 mm dengan panjang pipa kapiler sebesar 1.89 m dan temperature evaporating-nya sebesar -2 °C.

3.2 Contoh Perhitungan Rancangan Awal Sistem OTEC (Alternatif I)

Pada tahap ini, perhitungan dilakukan pada tahap pertama rancangan dari sistem OTEC dengan data sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Data Rancangan Awal Sistem OTEC

No.	Keterangan	nilai
1	Temp. keluar evaporator (°C)	30
2	Temp. masuk kondensor (°C)	15
3	Tekanan keluar evaporator (bar)	10.4
4	Tekanan masuk kondensor (bar)	7.9

- Dari data pada tabel 3.1, maka bias kita dapatkan nilai laju aliran massa sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$Q_{he(22)} = Q_{he(410)}$$

$$\dot{m}_{22} \cdot (h_5 - h_6) = \dot{m}_{410} \cdot (h_4 - h_3)$$

$$\dot{m}_{22} = \frac{2.611\ kW}{(410.4 - 213.2)}$$

$$\dot{m}_{22} = 0.0132403651\ kg/s$$

Jadi, nilai laju aliran massa refrigerant 22 yang mengalir pada sistem yaitu sebesar 0.0132403651 kg/s.

- lalu kita hitung nilai kerja kompresi sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$W_{turbin} = \dot{m}_{22} \cdot (h_8 - h_5)$$

$$W_{turbin} = 0.0132403651 \cdot (419.4 - 410.4)$$

$$W_{turbin} = 0.059581643\ Kw$$

- lalu kita hitung nilai kerja pompa sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$W_{pump} = v f_{6(22)} \cdot (P_7 - P_6)$$

$$W_{pump} = 0.0008079 \cdot (10.44 - 6.81)$$

$$W_{pump} = 0.002932677\ Kw$$

- lalu kita hitung nilai Q Kondensor dan Q evaporator sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$Q_{cond\ OTEC} = \dot{m}_{22} \cdot (h_5 - h_6)$$

$$Q_{cond\ OTEC} = 0.0132403651 \cdot (410.4 - 213.2)$$

$$Q_{cond\ OTEC} = 2.61\ Kw$$

$$Q_{evap\ OTEC} = \dot{m}_{22} \cdot (h_8 - h_7)$$

$$Q_{evap\ OTEC} = 0.0132403651 \cdot (414.9 - 213.5)$$

$$Q_{evap\ OTEC} = 2.67\ kW$$

- lalu kita hitung nilai COP sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$COP_{OTEC} = \frac{Q_{evap\ OTEC}}{W_{turbin} + W_{pump}}$$

$$COP_{OTEC} = \frac{2.67 \text{ kW}}{0.059581643 \text{ kW} + 0.002932677 \text{ kW}}$$

$$COP_{OTEC} = 42.71$$

- lalu kita hitung nilai HRR sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$HRR = \frac{Q_{cond \ OTEC}}{Q_{evap \ ref}}$$

$$HRR = \frac{2.61}{2.67}$$

$$HRR = 0.98$$

- lalu kita hitung nilai efisiensi sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$\eta = \frac{W_{turbin} - W_{pompa}}{Q_{evap \ OTEC}} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{0.059581643 - 0.002932677}{2.67} \cdot 100\%$$

$$\eta = 2.12\%$$

Dari perhitungan alternatif 1, didapatkan nilai COP_{OTEC} sebesar 41.75 yang mana jika menggunakan alternatif perhitungan ini artinya sistem akan memiliki performa yang sangat baik. Akan tetapi, nilai efisiensinya sangat kecil yaitu 2.12% yang menjadi kendala pada sistem ini adalah nilai kerja dari turbin (scroll compressor) dan pompa yang terlalu kecil sehingga akan sangat sulit mencari komponen tersebut dengan nilai kerja yang terlalu kecil. Oleh karena itu, pada penelitian ini menggunakan perhitungan alternatif II.

3.3 Contoh Perhitungan Rancangan Awal Sistem OTEC (Alternatif II)

- Dari data yang sama pada tabel 3.1, maka bias kita dapatkan nilai laju aliran massa sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$P_{turbin} = \dot{m}_{22} \cdot (h_8 - h_5) \cdot 0.8$$

$$2.24 = \dot{m}_{22} \cdot (417.2 - 410.4) \cdot 0.8$$

$$\dot{m}_{22} = 0.4112383209316884 \text{ kg/s}$$

Jadi, nilai laju aliran massa refrigerant 22 yang mengalir pada sistem yaitu sebesar 0.4112383209316884 kg/s.

- lalu kita hitung nilai kerja kompresi sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$W_{turbin} = \dot{m}_{22} \cdot (h_8 - h_5)$$

$$W_{turbin} = 0.4112383209316884 \cdot (417.2 - 410.4)$$

$$W_{turbin} = 2.79 \text{ kW}$$

- lalu kita hitung nilai kerja dan daya pompa sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$W_{pompa} = V f_6(22) \cdot (P_7 - P_6)$$

$$W_{pompa} = 0.0008079 \cdot (1044 - 681.2)$$

$$W_{pompa} = 0.2934 \text{ kW}$$

Setelah didapatkan nilai kerja dari pompa, maka bisa kita hitung nilai daya dari pompa dengan asumsi efisiensi sebesar 0.8 sebagai berikut:

$$P_{pompa} = (\dot{m}_{22} \cdot W_{pompa}) / 0.8$$

$$P_{pompa} = (0.4112383209316884 \cdot 0.2934) / 0.8$$

$$P_{pompa} = 0.15067 \text{ kW}$$

$$P_{pompa} = 150.67 \text{ Watt}$$

- lalu kita hitung nilai Q Kondensor dan Q evaporator sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$Q_{cond \ OTEC} = \dot{m}_{22} \cdot (h_5 - h_6)$$

$$Q_{cond \ OTEC} = 0.4112383209316884 \cdot (410.4 - 213.2)$$

$$Q_{cond \ OTEC} = 81.09 \text{ kW}$$

$$Q_{evap \ OTEC} = \dot{m}_{22} \cdot (h_8 - h_7)$$

$$Q_{evap \ OTEC} = 0.4112383209316884 \cdot (417.2 - 213.5)$$

$$Q_{evap \ OTEC} = 83.77 \text{ kW}$$

- lalu kita hitung nilai COP sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$COP_{OTEC} = \frac{Q_{evap \ OTEC}}{W_{turbin} + W_{pompa}}$$

$$COP_{OTEC} = \frac{83.77}{2.79 + 0.2934}$$

$$COP_{OTEC} = 27.17$$

- lalu kita hitung nilai HRR sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$HRR = \frac{Q_{cond \ OTEC}}{Q_{evap \ ref}}$$

$$HRR = \frac{81.09}{2.61}$$

$$HRR = 31.07$$

- lalu kita hitung nilai efisiensi sistem OTEC-nya yaitu sebagai berikut:

$$\eta = \frac{W_{turbin} - W_{pompa}}{Q_{evap \ OTEC}} \cdot 100\%$$

$$\eta = \frac{2.79 - 0.2934}{83.77} \cdot 100\%$$

$$\eta = 2.98\%$$

Karena besarnya nilai HRR pada alternatif II yaitu 31.07, yang mana kalor yang dilepaskan kondensor sistem OTEC terlalu besar daripada kalor yang bisa diserap oleh evaporator sistem pendingin, maka diperlukan suatu media yang bias membantu evaporator sistem pendingin untuk menyerap kalor yang dilepaskan kondensor sistem OTEC. Media bantu yang digunakan yaitu es balok dengan rumus sebagai berikut:

$$Q = m \cdot L + m \cdot c \cdot \Delta T$$

(asumsikan temperatur es balok = 0 oC, maka $\Delta T = 5 \text{ oC}$)

$$Q_{cond\ OTEC} = \dot{m}_e L_{es} + \dot{m}_a C_{air} \Delta T$$

$$Q_{cond\ OTEC} = \dot{m} (L_{es} + C_{air} \Delta T)$$

$$81090\ J/s = \dot{m} (336 \times 10^3 + 4.186 \times 10^3 \cdot 5)\ J/s$$

$$\dot{m} = 0.2271874036926008\ kg/s$$

$$\dot{m} = 817.88\ kg/h$$

Jadi, banyaknya es balok yang dibutuhkan untuk menyerap kalor dari condenser sistem OTEC perjam-nya adalah 817.88 kg/h.

3.4 Data Hasil Pengujian Sistem OTEC

Pada tahap ini, didapatkan data hasil pengujian dari sistem OTEC sebagai berikut:

Tabel 3. 2 Data Hasil Pengujian

No.	Keterangan	Nilai
1	Temp. keluar evaporator (h_8) (°C)	30.2
2	Temp. masuk evaporator (h_7) (°C)	65.1
3	Temp. keluar kondensor (h_6) (°C)	24.5
4	Temp. masuk kondensor (h_5) (°C)	28.8
5	Tekanan keluar evaporator (P_8) (bar)	7.5
6	Tekanan masuk evaporator (P_7) (bar)	7.5
7	Tekanan keluar kondensor (P_6) (bar)	3.4
8	Tekanan masuk kondensor (P_5) (bar)	5.6
9	Arus Listrik (A)	0.3
10	Tegangan Listrik (V)	0.02

Dengan data yang didapatkan dari pengujian, maka bisa hitung dengan persamaan-persamaan seperti pada sub-bab 3.3 sebagai berikut:

Tabel 3. 3 Enthalpy *Prototype* Sistem OTEC

No.	Keterangan	Nilai
1	Enthalpy keluar evaporator (h_8) (kJ/kg)	434
2	Enthalpy masuk evaporator (h_7) (kJ/kg)	430.4
3	Enthalpy keluar kondensor (h_6) (kJ/kg)	430.4
4	Enthalpy masuk kondensor (h_5) (kJ/kg)	433.1

Tabel 3. 4 Data Aktual Sistem OTEC

No.	Keterangan	Nilai
1	Laju aliran massa (\dot{m}_{22})	0.4974
2	Kerja kompresi turbin (kW)	2.796
3	Kerja pompa (kW)	0.03462
4	Q kondensor (kW)	8.692
5	Q evaporator (kW)	11.48

6	COP sistem	4.099
7	Heat rejection ratio	3.33
8	Efisiensi sistem (%)	24.33
9	Daya listrik (VA)	0.0048

4. KESIMPULAN

Pada penelitian eksperimen rancang bangun prototype system OTEC dengan memfungsikan scroll compressor sebagai turbin yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan :

- Rancangan simulator prototype sistem OTEC, diperlukan 2 prototype yang mensimulasikan permukaan dan dasar laut. Untuk dasar laut dengan target temperatur minimal 5 °C menggunakan sistem pendingin, sedangkan untuk permukaan laut dengan target temperatur ruang maka terdapat empat komponen utama untuk mensimulasikannya, yaitu evaporator, kondensor, kompresor torak (pompa), dan scroll compressor (turbin).
- Cara memodifikasi scroll compressor untuk difungsikan sebagai turbin adalah dengan merubah fungsi motor menjadi generator dengan spesifikasi sebagai berikut:
 Jenis/merk : Scroll Compressor/Copeland
 Tipe : ZR34KH-PFJ-522
 Voltage/Hz : 220-240V/50 Hz
 Ampere : 13.6 A
 Daya : 3 HP (2.24 kW)
 Refrigeran : R22
 Pada motor scroll compressor terdiri dari stator dan rotor, untuk permukaan pada bagian rotor ditempelkan dengan magnet *neodymium* untuk meningkatkan induksi elektromagnetik. Jenis magnet ini digunakan karena memiliki sifat magnetik yang kuat dan bisa meningkatkan efisiensi dari generator.
- Pada pengujian prototype sistem OTEC didapatkan nilai daya sebesar 0.0048 VA dan efisiensi sebesar 24.33% yang berarti ada beberapa faktor yang menyebabkan keluaran daya dari scroll compressor ini kecil. Salah satunya adalah putaran dari shaft dalam scroll compressor yang pelan sehingga keluaran tegangan dan arus yang dihasilkan kecil.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari penyelesaian jurnal ini tidak terlepas dari bimbingan dan motivasi dari berbagai pihak, penulis menyampaikan rasa terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

- Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan moril dan materil, motivasi, kasih sayang serta do'a yang selalu mengalir kepada penulis.
- Bapak Dr. Eng. Muhammad Anis Mustaghfirin, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing I

3. Bapak Mardi Santoso, S.T., M.Eng.Sc.
selaku dosen pembimbing II
4. Kerabat dan sahabat seperjuangan Teknik
Permesinan Kapal-PPNS

6. PUSTAKA

- [1] E. Lewis, Principles of Naval Architecture,
Jerse, 1988.
- [2] J. E. Shigley, MECHANICAL
ENGINEERING DESIGN, Mc. GRAW
HILL BOOK COMPANY, 1997.
- [3] &. A. R. Rahmatullah, "Analisa Pengujian
Lelah Material Bronze dengan Menggunakan
Rotary Bending Fatigue Machine," *Jurnal
Rekayasa Material, MANufaktur dan Energi
Voll*, vol. 1, pp. 1-11, 2018.
- [4] M. I. A. Hasyim, "Analisis Fatigue Lifee
Pada Shaft Propeller Kapal TB. 1030 HP
dengan Menggunakan Finite Element
Method," 2023.
- [5] M. Muhaimin, "Analisis Kelelahan Shaft
Propeller Pada Kapal Tanker 6500 DWT,"
Surabaya, 2022.
- [6] G. V. Vizentin, "Common Failures of Ship
Propulsion," *Journal Marine Science and
Technology*, 2020.
- [7] T. &. A. R. C. Yulianto, "Analisis Kekuatan
Shaft Propeller Kapal Rescue 40 Meter
dengan Metode Elemen Hingga," vol. 16, p.
6, 2019.