



e-ISSN: 2962-3359

Hak Cipta© 2024, Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin

Penggandaan atau penerjemahan sebagian/seluruh bagian dari jurnal ilmiah ini harus seijin tertulis Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Alamat Sekretariat:

Redaksi Jurnal Riset & Teknokogi Terapan Kemaritiman (JRT2K)
Lantai 3, Gedung Naval A
Kampus Fakultas Teknik Gowa, Universitas Hasanuddin (UNHAS)
Jl. Poros Malino, km. 6, Bontomarannu
Kabupaten Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia
E-mail : jrt2k@unhas.ac.id
Website : <https://journal.unhas.ac.id/index.php/jrt2k>

Staf Redaksi

- Pengarah : Dekan Fakultas Teknik, UNHAS
- Pemimpin Redaksi : Dr.Eng. Ir. Faisal Mahmuddin, ST., M.Inf.Tech., M.Eng
- Editor Pelaksana : Balqis Shintarahayu, ST, M.Sc.
- Dewan Redaksi : Ir. H. Zulkifly A. Yususf, MT
Muhdar Tasrief, ST., M.Eng., P.hD
Dr. Ir. Ganding Sitepu, Dipl,-Ing
A. Haris Muhammad,MT.,PhD
Baharuddin, ST., MT
Dr. Rahimuddin, ST., MT
Haryanti Rivai, ST., MT, PhD
Suryanti Hariyanto, ST., MT
Hasnawiyah Hasan, ST., M.Eng
Andi Husni Sitepu, ST., MT
Muhammad Iqbal Nikmatullah, ST., MT
Wira Setiawan, ST.,MT
Apriyansyah,ST.,MT
- Redaktur Pelaksana : Fadel Rezky Ramadhan, ST
Nurhikmah Jaya, SP
- Staf Kesekretariatan : Abdul Rahman, S.Sos

Kata Pengantar Redaksi

Assalamu Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh
Salam Hormat,

Alhamdulillah Rabbil 'Alamin. Dalam kesempatan ini, kami dengan rendah hati mempersembahkan edisi terbaru Jurnal Ilmiah Jurnal Riset & Teknologi Terapan Kemaritiman (JRT2K) Volume 3 Nomor 1, Juni 2024. Edisi ini memuat berbagai artikel ilmiah yang mengangkat topik penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan yang aktual, inovatif, serta relevan dengan kebutuhan dunia kemaritiman saat ini. Pada edisi kali ini, terdapat 5 (lima) makalah penelitian (Riset Kemaritiman) dan 1 (satu) makalah terapan riset. Seluruh artikel mengangkat isu-isu strategis yang berkaitan dengan teknologi perkapalan, sistem energi dan efisiensi operasional.

Makalah pertama membahas analisis efektivitas heat exchanger tipe shell and tube menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja perpindahan panas serta distribusi aliran fluida, sehingga dapat meningkatkan efisiensi sistem pendinginan pada aplikasi maritim. Makalah kedua mengkaji simulasi CFD pada turbin Archimedes screw lima bilah sebagai alternatif pembangkit listrik bagi kapal nelayan tradisional. Hasil penelitian ini memberikan gambaran potensi pemanfaatan energi terbarukan di sektor perikanan, khususnya untuk meningkatkan kemandirian energi kapal skala kecil.

Makalah ketiga mengangkat desain sistem monitoring pemakaian bahan bakar berbasis LabVIEW, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi konsumsi bahan bakar serta memudahkan pengawasan operasional secara real-time pada sistem permesinan kapal. Makalah keempat membahas analisis beban pendingin palka ikan pada kapal katinting dengan menggunakan simulasi CFD. Penelitian ini berfokus pada distribusi suhu dan performa sistem pendinginan guna menjaga kualitas hasil tangkapan selama proses pelayaran. Makalah kelima mengkaji optimalisasi rute pelayaran berbasis analisis big data untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar kapal laut. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan data dalam skala besar mampu memberikan rekomendasi rute terbaik yang lebih hemat energi dan waktu.

Kami mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para penulis dan reviewer yang telah berkontribusi dalam menjaga kualitas setiap artikel pada edisi ini. Apresiasi juga kami sampaikan kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam proses pengelolaan, penyuntingan, hingga penerbitan jurnal ini. Kami berharap bahwa hasil-hasil penelitian yang dipublikasikan dalam edisi ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang kemaritiman, serta menjadi referensi yang bermanfaat bagi akademisi, praktisi, dan masyarakat luas.

Wassalamu Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.
Makassar, 4 Mei 2024

Dr.Eng. Faisal Mahmuddin, ST. M.Inf.Tech., M.Eng.
Pemimpin Redaksi

Daftar Isi

| | |
|--|--------------|
| Staf Redaksi | i |
| Kata Pengantar Redaksi | ii |
| Daftar Isi | iv |
| | |
| ✚ Riset Kemaritiman | |
| Analisis Efektivitas Heat Exchanger Type Shell and Tube Menggunakan CFD Muhammad Iqbal Nikmatullah, Andi Husni Sitepu, Rahimuddin, Surya Hariyanto, M. Rusydi Alwi, Muhammad Ilham Nur | 1-7 |
| CFD Simulation of Five Blades Archimedes Screw Turbine as Alternative Power Plant for Traditional Fishing Boat Muhammad Iqbal Nikmatullah, Andi Haris Muhammad, Baharuddin, Zulkifli, Haryanti Rivai | 8-13 |
| Desain Sistem Monitoring Pemakaian Bahan Bakar menggunakan LabVIEW Muhammad Fayyadh Arkaan Yunus, Haryanti Rivai, Muhammad Iqbal Nikmatullah | 14-23 |
| Analisis Beban Pendingin Palka Ikan Kapal Katinting Menggunakan Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) Syerly Klara, Surya Hariyanto, Balqis Shintarahayu, Eunike Barangan | 24-31 |
| Optimalisasi Penentuan Rute Terbaik Pelayaran Berbasis Analisis Big Data untuk Efisiensi Bahan Bakar Kapal Laut Ariyanto Setiawan, Abdul Razak Bin Abdul Hadi, Upik Widyaningsih, Anjar Pamungkas | 32-39 |

Analisis Efektivitas Heat Exchanger Type Shell and Tube Menggunakan CFD

Andi Husni Sitepu^{1,*}, Rahimuddin¹, Muhammad Rusydi Alwi¹, Surya Hariyanto¹,
Muhammad Iqbal Nikmatullah¹, Muhammad Ilham Nur¹

¹*Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia*

*Email: andihusnisitepu@unhas.ac.id

Abstrak

Heat exchanger type shell and tube merupakan alat penukar kalor yang banyak digunakan karena memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh, kemudahan dari segi perawatan dan terhitung ekonomis. Salah satu industri perkapalan yang mengaplikasikan heat exchanger type shell and tube adalah KM. Sirimau sebagai oil cooler untuk mendinginkan oil. Oil menjadi hal yang sangat penting dalam operasional permesinan kapal karena merupakan lapisan pelindung untuk memisahkan dua permukaan pada mesin yang saling bergesekan. Kenaikann suhu oil dapat menurunkan efisiensi kerja yang dapat berakibat fatal pada bagian permesinan. Sehingga perlunya pengkajian mengenai oil cooler khususnya heat exchanger type shell and tube agar suhu oil dapat dipertahankan pada suhu tertentu. Analisis dilakukan menggunakan ANSYS untuk mengetahui selisih temperatur rata-rata logaritmik dan efektivitas heat exchanger dengan variasi tekanan pada fresh water. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan menggunakan ANSYS CFX, pada tekanan 2,2 bar diperoleh selisih temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) sebesar 31,221 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,73% dan efektivitas hasil perhitungan 63,29%. Pada tekanan 2,3 bar diperoleh nilai LMTD sebesar 31,341 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,47% dan efektivitas hasil perhitungan 62,27%. Pada tekanan 2,4 bar nilai LMTD sebesar 31,444 °C dengan efektivitas hasil simulasi 65,24% dan efektivitas hasil perhitungan 61,31%.

Abstract

Analysis of the Effectiveness of Shell and Tube Type Heat Exchanger Using CFD. Heat exchanger type shell and tube is a heat exchanger device that is widely used because it has a simple, sturdy construction, is easy to maintain and is relatively economical. One of the shipping industries that applies heat exchanger type shell and tube is KM. Sirimau as an oil cooler to cool oil. Oil is very important in ship machinery operations because it is a protective layer to separate two surfaces on the machine that rub against each other. An increase in the temperature of the oil can reduce work efficiency which can have fatal consequences for machine parts. So it is necessary to study oil coolers, especially heat exchanger type shell and tube so that the temperature of the oil can be maintained at a certain temperature. Analysis was carried out using ANSYS to determine the difference in logarithmic average temperature and heat exchanger effectiveness with variations in pressure in fresh water. Based on the simulation results conducted using ANSYS CFX, at a pressure of 2.2 bar, a logarithmic mean temperature difference (LMTD) difference of 31.221 °C was obtained with a simulation effectiveness of 65.73% and a calculation effectiveness of 63.29%. At a pressure of 2.3 bar, an LMTD value of 31.341 °C was obtained with a simulation effectiveness of 65.47% and a calculation effectiveness of 62.27%. At a pressure of 2.4 bar, the LMTD value was 31.444 °C with a simulation effectiveness of 65.24% and a calculation effectiveness of 61.31%.

Kata kunci: Heat exchanger type shell and tube; oli; tekanan

1. Pendahuluan

Heat Exchanger adalah suatu alat yang digunakan untuk mentransfer energi panas antara dua fluida atau lebih, antara permukaan padat dengan fluida, atau juga antara fluida dengan partikel padat. Dimana keduanya memiliki perbedaan temperatur sehingga menyebabkan kontak termal antara fluida dengan

partikel padat tersebut [1]. Salah satu bentuk heat exchanger yang banyak digunakan adalah heat exchanger type shell and tube karena memiliki konstruksi yang sederhana, kokoh, kemudahan dari segi perawatan dan terhitung ekonomis [2].

Heat exchanger tipe ini adalah salah satu jenis alat heat exchanger memiliki konstruksi sekumpulan tube

yang dipasangkan di dalam shell berbentuk silinder di mana dua jenis fluida yang saling bertukar kalor mengalir secara terpisah, masing-masing melalui sisi tube dan sisi shell. Satu fluida mengalir di dalam pipa, sementara fluida lain dialirkan dalam shell. Agar aliran dalam shell turbulen dan untuk memperbesar koefisien perpindahan panas konveksi, maka pada shell dipasang penghalang (baffle) [3].

Adapun komponen dari heat exchanger type shell and tube adalah antara lain tube, Shell, tube sheet dan baffle. Susunan pipa tube pada heat exchanger type shell and tube memiliki beberapa bentuk utama yaitu square (90°), rotated triangular (60°), triangular (30°), rotated square (45°). Dari keempat susunan tube di atas, susunan tube dengan sudut 30° atau triangular memiliki nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar, dan susunan tube square (90°) memiliki nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh terkecil [4].

Dalam pengaplikasian heat exchanger type shell and tube, salah satu industri perkapalan yang mengaplikasikannya adalah PT. Pelni. Contohnya pada kapal KM. Sirimau. Dimana oil cooler pada kapal ini menggunakan Heat Exchanger Type Shell and Tube. Oil cooler berfungsi sebagai pendingin minyak pelumas dengan media fresh water. Minyak pelumas (oil) yang mengalir pada sisi shell sedangkan fresh water sebagai pendingin mengalir melalui pipa tube.

Oil merupakan zat kimia berupa cairan yang berada diantara dua benda yang saling bergesekan untuk mengurangi gaya gesek. Pelumas berfungsi sebagai lapisan pelindung yang memisahkan dua permukaan yang saling bergesekan. Cairan (minyak pelumas) merupakan salah satu dari empat fase benda yang volumenya tetap dalam kondisi suhu dan tekanan tetap. Dari empat fase benda tersebut adalah zat cair, padat, gas, dan massa jenis [5].

Oil menjadi hal yang sangat penting dalam operasional permesinan kapal karena merupakan lapisan pelindung untuk memisahkan dua permukaan pada mesin yang saling bergesekan. Penurunan kinerja pada oli dapat menyebabkan kerusakan pelumasan mesin yang menyebabkan terjadinya keausan mekanis, korosi kimia, dan panas berlebih sehingga dapat berakibat fatal pada permesinan [6].

Salah satu faktor yang menurunkan kinerja dari oil adalah suhu yang terlalu tinggi yang dapat menurunkan viskositas dari oil tersebut. Sehingga oil tidak bekerja secara efisien. Oleh karena itu, perlunya pengkajian mengenai oil cooler khususnya Heat Exchanger Type Shell and Tube agar suhu oil dapat dipertahankan pada suhu tertentu.

Salah satu software yang dapat digunakan untuk mensimulasikan fluida pada heat exchanger adalah ANSYS. Software ANSYS merupakan suatu program yang dapat digunakan untuk memberikan solusi

numerik berdasarkan metode volume of fluid model beserta simulasi visualnya [7]. Salah satu bagain ANSYS yang digunakan dalam simulasi adalah ANSYS CFX. Software tersebut salah satu program simulasi numerik yang paling umum digunakan untuk menganalisa aliran fluida. Didalamnya terdapat CFX-Pre yang digunakan dalam proses setup [8].

Penelitian terkait dengan pengujian heat exchanger dengan variasi mass flow rate telah dilakukan oleh Arif Suryanto [9] dengan judul penelitian rancang bangun dan pengujian heat exchanger cross flow mixed, tube non finned four pass, untuk mengeringkan empon-empon dengan variasi mass flow rate. Salah satu tujuan dari penelitian tersebut adalah untuk mengetahui pengaruh mass flow rate fluida dingin terhadap efisiensi heat exchanger. Dimana hasil yang didapatkan adalah semakin besar mass flow rate fluida dingin maka semakin kecil efisiensi kalor yang diserap heat exchanger tersebut.

Penelitian mengenai heat exchanger type shell and tube juga dilakukan oleh Mika Patayang dan Shanty, [10] dengan judul Analisis laju perpindahan panas Locooler type shell and tube aliran berlawanan arah pada KM. Pantokrator. Penelitian tersebut menganalisis minyak pelumas SAE 30 sebagai fluida yang didinginkan dan air laut sebagai media pendingin. Dari hasil penelitian tersebut diperoleh data temperatur minyak pelumas dan air laut masuk dan keluar dan berdasarkan perhitungan diperoleh rata-rata temperatur logaritmik (LMTD) adalah 78°C dan besarnya perpindahan panas adalah 6395,9402 Kw.

Penelitian sebelumnya mengenai simulasi heat exchanger yang dilakukan oleh Anggareza, dkk [11] dengan judul Simulasi performa heat exchanger type shell and tube dengan double segmental Baffle terhadap helical Baffle. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari variasi baffle spacing terhadap nilai temperatur keluaran fluida. Penelitian tersebut menggunakan ANSYS FLUENT dalam mensimulasikan heat exchanger dengan menggunakan turbulence model k-epsilon.

Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Mulyanto, A., dkk. [12] mengenai simulasi heat exchanger type shell and tube pada ANSYS. Dimana pada penelitian tersebut menggunakan k-epsilon realizable sebagai turbulence model. Penelitian tersebut menganalisis pengaruh variasi jarak antar baffle dari diameter shell pada koefisien perpindahan panas dan pressure drop dengan mempertimbangkan empat nilai persentase pemotongan baffle yang berbeda.

Dari uraian latar belakang diatas, pada penelitian ini dilakukan simulasi heat exchanger tipe shell and tube terhadap sistem pendingin oil KM. Sirimau menggunakan ANSYS CFX, dimana menggunakan turbulence model jenis k-epsilon dengan variasi tekanan fresh water untuk mengetahui beda

temperatur (LMTD) tiap variasi tekanan dan mengetahui pengaruh perubahan tekanan fresh water terhadap efektivitas heat exchanger type shell and tube.

2. Metodologi

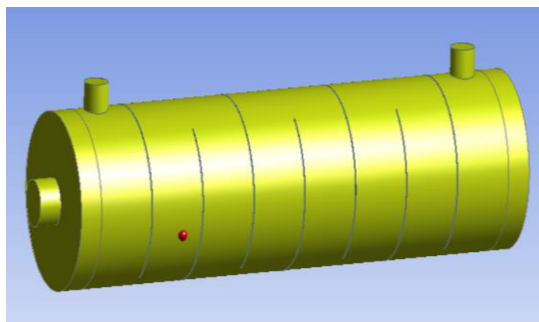
Penelitian ini dilakukan dengan mensimulasikan *heat exchanger type shell and tube* menggunakan software ANSYS CFX. Berikut dimensi utama dari *heat exchanger type shell and tube*:

1. *Tube length* : 1000 mm
2. *Tube Od* : 17,44 mm
3. *Tube ID* : 15,44 mm
4. Jarak antar *tube* : 6 mm
5. *Number of tube* : 91 buah
6. *Shell length* : 1000 mm
7. *Shell OD* : 335 mm
8. *Shell ID* : 320 mm
9. *Number of shell* : 1 buah
10. Tekanan L.O : 3 Bar
11. Temperatur *Oil Inlet* : 65 °C
12. Temperatur *Oil Out* : 55 °C
13. Tekanan *Fresh Water* : 2,2; 2,3; 2,4 Bar
14. Jumlah *buffle* : 7 buah
15. Jarak antar *buffle* : 125 mm
16. Jenis fluida pada *shell* : *Lubricating Oil*
17. Jenis fluida pada *tube* : *Fresh Water*

Dalam melakukan simulasi CFX dilakukan beberapa tahap yaitu:

2.1. Tahap Pemodelan

Tahap pertama yang dilakukan adalah membuat model penelitian dalam hal ini *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. Dimana terdiri dari pipa *tube*, pipa *shell* dan *buffle*. Penggambaran model dilakukan pada *spaceclaim* yang merupakan bagian dari *Software ANSYS*. Gambar 1 menunjukkan tampilan *spaceclaim* pada *software ANSYS*. Berikut hasil pemodelan *heat exchanger type shell and tube* pada Gambar 1.



Gambar 1. Model *heat exchanger type shell and tube*

2.2. Tahap Meshing

Setelah membuat model pada ANSYS *spaceclaim*, langkah selanjutnya yaitu melakukan *meshing* atau membagi model menjadi beberapa elemen sederhana

untuk proses perhitungan. Selain itu, dalam proses *meshing* juga dilakukan *named selection* yaitu, *inwater*, *outwater*, *inoil* dan *outoil*. Dalam melakukan tahap *meshing* dilakukan *body sizing* dan *face sizing* untuk mengatur ukuran *mesh* dari *body* dan *face*. Gambar 2 memperlihatkan hasil *meshing* dari *heat exchanger type shell and tube*.

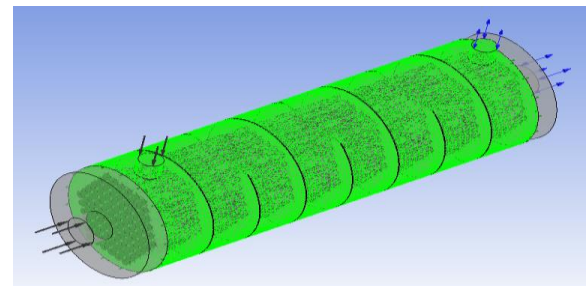


Gambar 2. *Meshing*

2.3. Tahap Setup

Setelah melakukan *mesh*, maka langkah selanjutnya adalah melakukan *setup* pada *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. Pada *setup* ini dibagi menjadi dua domain yaitu domain *oil (shell)* dan domain *water (tube)*.

1. Pada domain *oil* dibagi menjadi beberapa bagian seperti pengaturan kondisi batas domain *oil*. Pengaturan kondisi batas pada domain *oil (shell)* dibagi menjadi empat boundary yaitu, *inoil*, *outoil*, *oil default* dan *Default Fluid Fluid Interface side 1*. Gambar 3 menunjukkan pengaturan kondisi batas domain *oil*.



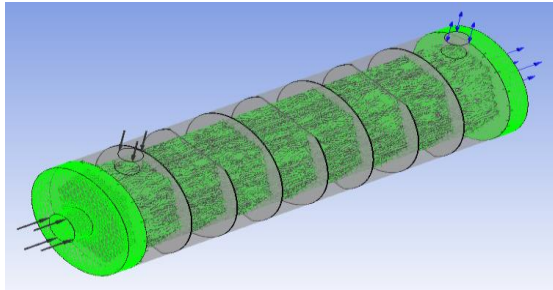
Gambar 3. Pengaturan kondisi batas domain *oil*

2. Setelah melakukan proses *setup* pada domain *oil (shell)*, langkah selanjutnya adalah pemberian batas kondisi fisik pada bagian domain pipa *tube*. Pengaturan kondisi batas pada domain *water* dibagi menjadi empat boundary yaitu, *inwater*, *outwater*, *water default* dan *Default Fluid Fluid Interface side 2 1*. Pengaturan kondisi batas domain *water* seperti pada Gambar 4.

2.4. Solution

Setelah melakukan *setup*, tahap selanjutnya yaitu *solution*. Dimana dalam tahapan ini proses perhitungan (*running*) model akan dilakukan berupa iterasi. Jumlah iterasi yang dilakukan pada simulasi

Shell And Tube sebanyak 50 iterasi. Berikut gambar yang menunjukkan apabila proses *solution* telah selesai. Tampilan konvergensi dari hasil simulasi pada ANSYS CFX seperti pada Gambar 5.



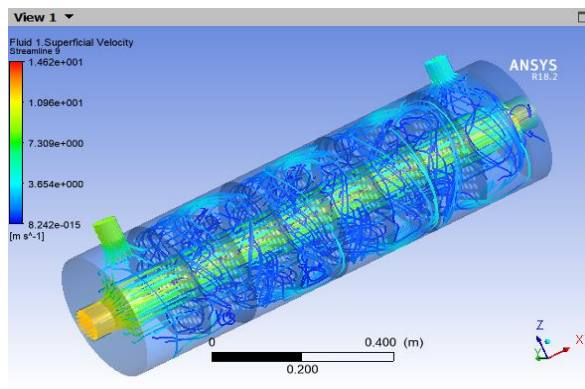
Gambar 4. Pengaturan batas kondisi domain water



Gambar 5. Tampilan CFX solver

2.5. Results

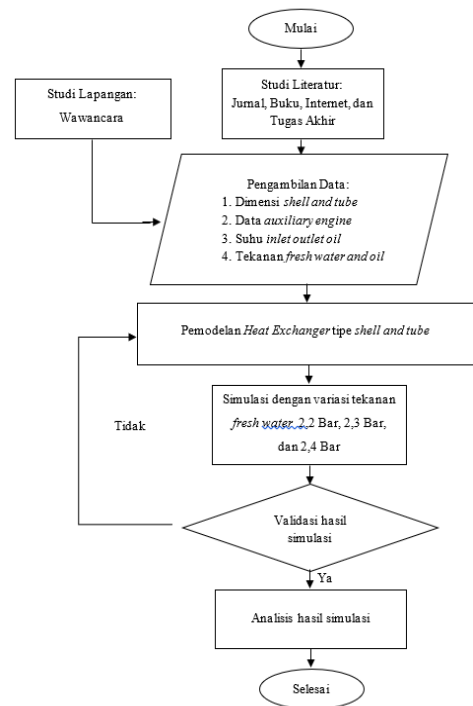
Setelah proses *running* selesai, maka hasil simulasi dari *Heat Exchanger Type Shell and Tube* dapat dilihat pada bagian *result*. Dalam penelitian ini hasil yang diinginkan adalah nilai temperatur *oil* yang keluar dan koefisien perpindahan panas pada bagian pipa *tube* dari *Heat Exchanger Type Shell and Tube*. Selain itu, pada tahap *result*, dapat melihat *contour* suhu yang terdapat pada *heat exchanger* dan juga bentuk aliran yang masuk pada *heat exchanger* tersebut. Gambar 6 menggambarkan proses tersebut.



Gambar 6. Bentuk aliran *heat exchanger type shell and tube*

2.6. Kerangka Penelitian

Adapun alur penelitian ini digambarkan berdasarkan *flow chart* pada Gambar 7.



Gambar 7. Diagram alur penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Perhitungan Beda Temperatur Rata-Rata Logaritmik

Log Mean Temperature Different (LMTD) merupakan pendekatan analisis dimana suhu masuk dan keluar dari heat exchanger harus diketahui untuk menentukan besar selisih keduanya. Suhu antara fluida panas dan fluida dingin pada saat masuk dan keluar dari heat exchanger tidaklah sama, maka perlu menentukan nilai rata-rata untuk menentukan jumlah kalor yang dipindahkan pada heat exchanger.

1. Perubahan Suhu Terhadap Variasi Tekanan

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan pada ANSYS CFX terjadi perubahan suhu akbit dari perubahan tekanan *fresh water*, dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengaruh tekanan terhadap perubahan suhu *heat exchanger type shell and tube*

| Tekana Fresh Water | Tekanan Oil | T _{c_i} (°C) | T _{c_o} (°C) | T _{h_i} (°C) | T _{h_o} (°C) |
|--------------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 2,2 Bar | 3 Bar | 27 | 29,423 | 65 | 54,237 |
| 2,3 Bar | 3 Bar | 27 | 29,163 | 65 | 54,237 |
| 2,4 Bar | 3 Bar | 27 | 28,935 | 65 | 54,236 |

Pada tabel tersebut, dapat dilihat bahwa dengan penambah tekanan 0,1 bar pada tiap tekanan *Fresh Water* sangat mempengaruhi suhu out dari *Fresh Water*, namun tidak begitu berpengaruh pada suhu out dari *oil*. Semakin besar tekanan *fresh water* maka perubahan suhu dari dingin menjadi panas semakin

rendah. Hal ini, disebabkan karena dengan bertambahnya tekanan pada *fresh water* maka kecepatan fluida dingin yang melewati pipa *tube* juga semakin besar, mengakibatkan kontak antar fluida panas dan fluida dingin semakin singkat.

2. Perbandingan Temperatur Hasil Simulasi dengan Data Lapangan

Berdasarkan data yang ada dilapangan suhu *oil* yang keluar dari *Heat Exchanger Type Shell and Tube* ini sebesar 55 °C atau 273,15 K pada pada suhu masuk *oil* sebesar 65 °C atau 338,15 K, dengan tekanan *oil* yang masuk sebesar tiga bar dan tekanan *fresh water* yang masuk sebesar 2,2 bar. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan pada ANSYS CFX suhu masuk dengan tekanan *oil* dan *fresh water* yang sama, didapatkan suhu *oil* yang keluar dari *Heat Exchanger* sebesar 54,237 °C atau 327,387 K. dari hasil perbandingan data tersebut maka didapatkan error sebesar 1,387%.

3. Perhitungan Beda Temperatur Rata-Rata Logaritmik (LMTD) Hasil Simulasi

Selisih temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) berpengaruh terhadap temperatur *oil* dan *fresh water* yang masuk maupun keluar dari *Heat Exchanger*. Dalam menghitung nilai LMTD, suhu yang digunakan merupakan hasil simulasi dari ANSYS CFX. Dalam menghitung LMTD digunakan persamaan menurut buku J.P Holman [13].

$$LMTD = \frac{(T_{hin} - T_{cout}) - (T_{hout} - T_{cin})}{\ln \frac{(T_{hin} - T_{cout})}{(T_{hout} - T_{cin})}}$$

$$= 31,221 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Dimana T_{hin} adalah suhu oli panas masuk ke sistem, T_{cout} adalah suhu air pendingin keluar, T_{hout} adalah suhu oli keluar dari sistem dan T_{cin} adalah suhu air pendingin yang masuk ke sistem, semuanya dalam satuan °C.

Dengan menggunakan prinsip perhitungan yang sama dengan perhitungan sebelumnya, maka diperoleh nilai beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD), dimana nilai suhu yang digunakan dalam persamaan merupakan hasil simulasi dari ANSYS CFX. Berikut tabel nilai LMTD pada tiap perubahan tekanan

Tabel 2. Pengaruh tekanan terhadap nilai LMTD

| Tekanan <i>Fresh Water</i> | Tekanan <i>Oil</i> | LMTD (°C) |
|----------------------------|--------------------|-----------|
| 2,2 Bar | 3 Bar | 31,221 |
| 2,3 Bar | 3 Bar | 31,341 |
| 2,4 Bar | 3 Bar | 31,444 |

Tabel 2 merupakan nilai perhitungan LMTD dari suhu hasil simulasi yang telah dilakukan. Dimanan nilai beda temperatur rata-rata yang disimulasikan setara dengan nilai beda temperatur rata-rata eksperimen. Dari tabel tersebut menunjukkan bahwa, dengan penambahan 0,1 bar tekanan *fresh water* yang

masuk ke *heat exchanger* memberikan pengaruh terhadap nilai selisih temperatur rata-rata logaritmik. Dimana nilai LMTD terbesar pada tekanan 2,4 bar sebesar 31,441 °C, dan nilai LMTD terkecil pada tekanan 2,2 bar sebesar 31,221 °C.

3.2. Efektivitas Heat Exchanger Type Shekk and Tube

Dalam menghitung efektivitas pada heat exchanger type shell and tube menggunakan metode NTU (Number of Transfer Units). Dimana terlebih dahulu koefisien perpindahan panas menyeluruh harus dihitung terlebih dahulu.

1. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U_i)

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan di ANSYS CFX terjadi perubahan koefisien perpindahan panas menyeluruh akibat perubahan tekanan dari *fresh water*. Dimana koefisien perpindahan panas menyeluruh pada *Heat Exchanger Shell and Tube* pada penelitian ini ditinjau pada bagain pipa *tube*, dan dapat dilihat pada table berikut.

Tabel 3. Pengaruh tekanan terhadap koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa *tube*

| Tekanan <i>Fresh Water</i> | Tekanan <i>Oil</i> | U_i (W/m ² °C) |
|----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 2,2 Bar | 3 Bar | 14980,3 |
| 2,3 Bar | 3 Bar | 15501,6 |
| 2,4 Bar | 3 Bar | 16000,4 |

Table 3 merupakan hasil simulasi koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa *tube* dengan variasi tekanan pada *Fresh Water*. dari table tersebut, diketahui bahwa dengan penambah tekanan 0,1 bar pada *Fresh Water* mempengaruhi koefisien perpindahan panas pada pipa *tube*. Dimana koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar yaitu 16000,4 (W/m²°C) dengan tekanan 2,3 bar dan koefisien perpindahan panas menyeluruh terkecil yaitu 14980,3 (W/m²°C) dengan tekanan 2,2 bar.

2. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh Dengan Rumus Empiris

Selain menggunakan hasil simulasi, koefisien perpindahan panas menyeluruh yang terjadi pada pipa *tube* juga bisa ditentukan menggunakan pendekatan rumus empiris. Dimana rumus yang digunakan dalam menghitung koefisien perpindahan panas menyeluruh pada bagian pipa digunakan rumus pada persamaan menurut Buku Ozisik M. Necati [14].

$$U_i = \frac{1}{R_{Ai}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \left[\frac{1}{2k} \right] Di \ln \left(\frac{d_o}{d_i} \right) + \left(\frac{d_i}{d_o} \right) \left(\frac{1}{h_o} \right)}$$

$$= 14018,96 \text{ W/m}^2\text{ } ^\circ\text{C}$$

Dengan menggunakan prinsip perhitungan yang sama dengan perhitungan sebelumnya, maka diperoleh

nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh pada bagian dalam pipa tube adalah sebagai berikut.

Tabel 4. Nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh menggunakan rumus emperis

| Tekanan <i>Fresh Water</i> | Tekanan <i>Oil</i> | U_i (W/m ² °C) |
|----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 2,2 Bar | 3 Bar | 14018,96 |
| 2,3 Bar | 3 Bar | 14207,07 |
| 2,4 Bar | 3 Bar | 14379,87 |

Tabel 4 merupakan hasil perhitungan nilai koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa tube. Dari tabel tersebut, diketahui bahwa dengan penambahan tekanan pada *Fresh Water* sebesar 0,1 Bar maka, memberikan pengaruh pada nilai dari koefisien perpindahan panas menyeluruh pada pipa tube. Dimana koefisien perpindahan panas menyeluruh terbesar yaitu 14379,87 (W/m²°C) dengan tekanan 2,4 bar dan koefisien perpindahan panas menyeluruh terkecil yaitu 14018,96 (W/m²°C) dengan tekanan 2,2 bar.

3. Perhitungan Efektivitas *Heat Exchanger Type Shell and Tube* Hasil Simulasi

Untuk mengetahui nilai efektivitas dari alat *heat exchanger* maka dapat digunakan persamaan menurut buku cengel, Yunus A:

$$\mathcal{E} = 1 - \exp(-NTU)$$

Sedangkan untuk nilai NTU didapatkan dari:

$$NTU = U_i \times A_s / C_{min} = 1,002$$

Jadi nilai efektivitas dari *heat exchanger* kalor jenis *shell and tube* pada kondisi tekanan *fresh water* 2,2 bar sebesar 63,29 %. Terdapat perbedaan antara efektivitas hasil perhitungan dan efektivitas hasil simulasi. Untuk mengetahui nilai *error* dari efektivitas *heat exchanger type shell and tube* tersebut digunakan perhitungan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \%Error &= \frac{\text{efektivitas perhitungan} - \text{efektivitas simulasi}}{\text{efektivitas perhitungan}} \times 100 \\ &= \frac{63,29\% - 65,73\%}{63,29\%} \times 100 = 3,85\% \end{aligned}$$

Dengan menggunakan prinsip perhitungan yang sama dengan perhitungan sebelumnya, maka diperoleh nilai efektivitas dari alat penukat kalor *shell and tube* sebagai berikut.

Dari Tabel 5 dapat dilihat perbandingan perhitungan efektivitas *heat exchanger type shell and tube* dari hasil perhitungan dan hasil simulasi. Dimana nilai efektivitas tertinggi hasil simulasi sebesar 65,75 % dan hasil perhitungan sebesar 63,39 % dengan tekanan *fresh water* sebesar 2,2 bar. Adapun nilai

efektivitas terkecil yaitu pada tekanan *fresh water* 2,4 bar dengan nilai efektivitas hasil simulasi sebesar 65,24 % dan hasil perhitungan sebesar 61,31%. Nilai *error* terbesar antara efektivitas hasil simulasi dan hasil perhitungan sebesar 6,40%. Hal ini terjadi karena nilai koefisien perpindahan panas yang dihitung dan yang disimulasikan pada tekanan *fresh water* 2,4 bar memiliki perbedaan yang paling besar diantara variasi tekanan yang disimulasikan. Dan nilai *error* terkecil yaitu 3,85%. Pada tekanan 2,2 bar, nilai *error* terkecil karena nilai koefisien perpindahan panas yang dihitung dan yang disimulasikan pada tekanan *fresh water* 2,2 bar memiliki perbedaan yang paling kecil diantara variasi tekanan yang disimulasikan.

Tabel 5. Pengaruh Tekanan Terhadap Efektivitas Heat Exchanger Shell and Tube

| Tekanan <i>fresh water</i> | Tekanan <i>Oil</i> | Efektivitas Simulasi (%) | Efektivitas Hitung (%) | Error (%) |
|----------------------------|--------------------|--------------------------|------------------------|-----------|
| 2,2 bar | 3 bar | 65,73 | 63,29 | 3,85 |
| 2,3 bar | 3 bar | 65,47 | 62,27 | 5,15 |
| 2,4 bar | 3 bar | 65,24 | 61,31 | 6,40 |

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dikemukakan pada bab sebelumnya, maka dapat disimpulkan bahwa beda temperatur rata-rata logaritmik (LMTD) terhadap variasi tekanan *fresh water* pada simulasi *heat exchanger type shell and tube* adalah sebagai berikut. Pada tekanan 2,2 bar nilai LMTD sebesar 31,221 °C, pada tekanan 2,3 bar nilai LMTD sebesar 31,341 °C dan pada tekanan 2,4 bar nilai LMTD sebesar 31,444 °C. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar tekanan pada *fresh water* maka semakin besar pula selisih temperatur rata-rata logaritmik pada *heat exchanger* tersebut. Sedangkan tekanan *fresh water* mempengaruhi efektivitas *heat exchanger type shell and tube*. Semakin besar tekanan pada *fresh water* maka semakin kecil efektivitas dari *Heat Exchanger* tersebut. Nilai efektivitas terbesar didapatkan pada tekanan *fresh water* 2,2 bar dengan efektivitas hasil simulasi sebesar 65,73% dan efektivitas hasil perhitungan sebesar 63,29%. Sedangkan nilai efektivitas terkecil pada tekanan *fresh water* 2,4 bar dengan efektivitas hasil simulasi sebesar 65,24% dan efektivitas hasil perhitungan sebesar 61,31%.

Referensi

- [1] Burmawi, Mulyanef, and A. P. Saputra, "Analisa Unjuk Kerja dari Heat Exchanger Tipe Shell and Tube menggunakan Air sebagai Fluida Panas dan Fluida Dingin," *J. Penelit. dan Kaji. Ilm. Univ. Muhammadiyah Sumatera Barat*, vol. 15, pp. 1–8, 2021.
- [2] A. Husen, T. M. I. Akbar, and N. Cholis, "Analisis Pengaruh Kecepatan Aliran Fluida Dingin Terhadap Efektivitas Shell and Tube Heat Exchanger," *Bina Tek.*, vol. 16, pp. 1–10, 2020.

- [3] I. Bizzy and R. Setiadi, "Studi Perhitungan Alat Penukar Kalor Tipe Shell and Tube dengan Program Heat Transfer Research Inc. (HTRI)," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 13, pp. 67–77, 2013.
- [4] D. Nilasari, "Analisis Pengaruh Susunan Sudut Pitch Tube Terhadap Karakteristik Aliran Fluida dan Perpindahan Panas Yang Melintasi Serrated Fin Tube," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2017.
- [5] T. Tona, "Analisa Naiknya Temperatur Minyak Lumas pada Mesin Induk di Kapal MT. PALUH TABUAN," *J. Venus*, vol. 10, no. 1, pp. 26–37, 2022.
- [6] A. Hendrawan, A. S. Dwiono, and S. Pramono, "Perilaku Temperatur Minyak Lumas Pada Kapal," *Din. Bahari*, vol. 3, pp. 52–59, 2022.
- [7] P. Ramadhany, "Komputasi Dinamika Fluida pada T-Micro Mixer," *J. Rekayasa Proses*, vol. 11, pp. 43–53, 2017.
- [8] R. M. Hutauruk, "Simulasi Numerik Tahanan Kapal Gillnet Menggunakan Pendekatan Computational Fluids Dynamics," *J. Perikan. dan Kelaut.*, vol. 18, no. 1, pp. 53–62, 2013.
- [9] Y. Wijanarko and S. Putro, "Rancang Bangun dan Pengujian Heat Exchanger Cross Flow Mixed, Finned Tube Four Pass, untuk Mengeringkan Empon-Empon dengan Variasi Mass Flow Rate," Universitas Muhammadiyah Surakarta, 2017.
- [10] M. Patayang and Shanty, "Analisa Laju Perpindahan Panas Locooler Tipe Shell and Tube Aliran Berlawanan Arah Pada KM Pantokrator," *SNITT Politek. Negeri Balikpapan*, vol. 2, pp. 26–32, 2017.
- [11] A. Adhitiya and D. Ichسانی, "Simulasi Performansi Heat Exchanger Type Shell And Tube Dengan Double Segmental Baffle Terhadap Helical Baffle," *J. Tek. ITS*, vol. 2, pp. 419–424, 2013.
- [12] A. Mulyanto, P. R. Suryanto, R. D. Putra, and M. A. Salim, "Pengaruh Parameter Segmental Baffle pada Shell and Tube Terhadap Koefisien Perpindahan Panas dan Pressure Drop Menggunakan Simulasi ANSYS," *J. Tek. Mesin*, vol. 13, pp. 1–9, 2023.
- [13] J. P. Holman, *Heat Transfer*. McGraw-Hill, 1986.
- [14] M. N. Ozisik, *Heat Transfer: A Basic Approach*, 10th ed. New York: McGraw-Hill Book Company, 1985.

CFD Simulation of Five Blades Archimedes Screw Turbine as Alternative Power Plant for Traditional Fishing Boat

Muhammad Iqbal Nikmatullah^{1,*}, Andi Haris Muhammad¹, Baharuddin¹, Zulkifli¹, Haryanti Rivai¹

¹*Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia*

*Email: lakibbal@unhas.ac.id

Abstract

The need for electrical energy for traditional fishermen has greatly increased, considering that almost all equipment is now powered by electricity. Archimedes screw turbines, which are generally used as micro hydro power plants, especially in rivers or dams that incline, can be used as an alternative power generator for traditional fishing boats. This research aims to determine the performance of a five-blade Archimedes screw turbine using Ansys CFX software. The simulation was carried out with a flow velocity at the inlet boundary of 2.5 m/s using the transient simulation method, in order to obtain information about the flow characteristics around the turbine as the turbine rotates. So that the turbine can rotate during the simulation, the turbine domain is set using a Rigid Body Solution, so that its rotation will be influenced by the flow rate entering the turbine as is done in the laboratory. The results of this research will be used to optimize the performance of the turbine so that it can produce maximum power. From the simulation and analysis carried out, it was obtained that the mechanical power was 0.08 Watts and the hydraulic power was 0.49 Watts with a turbine efficiency of 17.28%. Apart from that, the increase in rotation produced by the turbine due to the hydraulic power of the water is directly proportional to the increase in mechanical power and torque in the turbine. The low value of mechanical power and efficiency obtained in this research is caused by the absence of an inclination angle between the inlet and outlet parts of the turbine.

Keywords: Archimedes screw turbine; transient simulation; rigid body solution

1. Introduction

The use of Archimedes screw turbines in micro-hydro power plants is one of the current options [1]. This is because this type of turbine has advantages not only economically but also environmentally [2]. One of the advantages of this turbine is ease of installation, durability and the ability to operate in unclean water conditions [3].

In the maritime world, especially on traditional fishing boats, the use of turbines can be used as an alternative power generator by modifying the outrigger shape [4]. In designing a turbine that will be implemented on an outrigger, several components must be considered, such as the diameter ratio, pitch ratio and length of the turbine. This component influences the electrical energy that can be generated by the turbine [1], [5].

Selecting the right dimensions can produce optimal turbine rotation [5], [6]. Apart from that, one factor that must be considered is the selection of the number

of blades [7], considering that the increase in flow rate, turbine rotation, torque and power produced is not directly proportional to the increase in efficiency of the turbine itself [8], [9].

In general, the use of Archimedes screw turbines as micro-hydro power plants are installed at a certain tilt angle [1]–[3], [7], [8], this is certainly difficult to apply to ship outriggers. To overcome this, a turbine with a larger number of blades was chosen [4], [10]. Increasing the number of blades provides increased turbine performance, especially when operating at low speeds and small water volumes [10], [11].

This research aims to analyze the performance of a five blades Archimedes screw turbine used as an alternative power generator on traditional fishing boats in the South Sulawesi region, Indonesia.

2. Methods

The planning of the Archimedes screw turbine in this study is limited by the dimensions of the

outrigger, both diameter and length, to maintain the initial function of the outrigger as a stabilizer. From previous research [4], the optimal turbine dimensions applied to the outriggers were obtained as presented in Table 1.

In Fig. 1, a two-dimensional view of the turbine profile is presented which can be used to calculate the optimal diameter and pitch ratio with the help of nondimensional parameters [12], such as

$$\text{Radius Ratio} = \frac{R_i}{R_o} \quad (1)$$

$$\text{Pitch Ratio} = \frac{P}{2\pi R_o} \quad (2)$$

Table 1. Turbine dimension [4]

| Symbol | Name | Value |
|----------|-----------------------------|---------|
| Di | Thread inside diameter | 0.03 m |
| Do | Thread outside diameter | 0.096 m |
| L | Turbine length | 0.12 m |
| β | Thread angle at Di position | 34° |
| α | Thread angle at Do position | 65° |
| n | Number of blades | 5 |
| P | Pitch | 0.140 m |

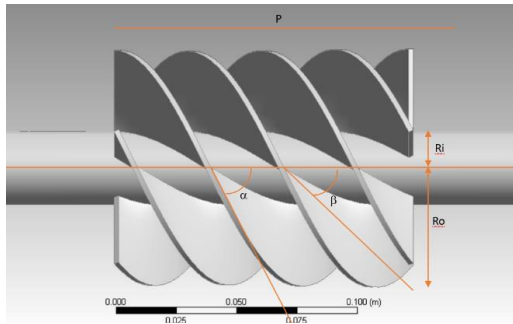


Figure 1. Two-dimensional view of five blades turbine

The installation of the turbine on the outrigger is shown in Fig. 2. The clearance between the turbine and the outrigger is 0.028 m, with a radius ratio of 0.3125 and a pitch ratio of 0.2322. Clearance is kept as small as possible to avoid reducing turbine efficiency due to large amounts of flow not hitting the blades.

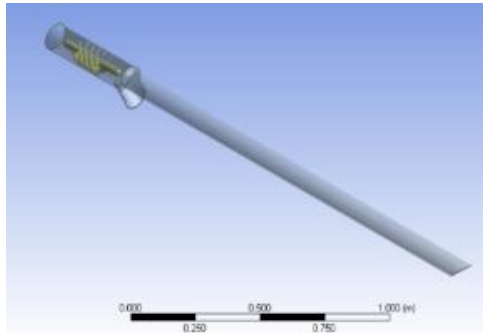


Figure 2. Outrigger and turbine model on Ansys

Turbine operational conditions depend on the flow rate (Q) in m³/s, angular velocity (ω) in m/s and the height difference between the inlet and outlet (H) in m [5]. In this research, the H value is obtained from the difference between the radius of the turbine and the height of the immersed part of the turbine. The hydraulic power (Ph) supplied by water to the turbine is calculated using the formula [5], [7].

$$P_h = \rho g Q H \text{ (Watt)} \quad (3)$$

Where ρ is the density of water (kg/m³) and g is the acceleration due to gravity (m/s²).

The mechanical power (Pm) produced by the turbine due to the push from the water can be calculated as seen in equation 4 [5], [7].

$$P_m = T \omega \text{ (Watt)} \quad (4)$$

$$\omega = 2\pi n \quad (5)$$

Where T is the torque of the turbine (Nm) and n is the turbine rotation in rps.

By comparing the supply power (Ph) with the generated power (Pm), the efficiency of the Archimedes screw turbine can be obtained as follows [5], [7].

$$\eta = \frac{P_m}{P_h} \times 100\% \quad (6)$$

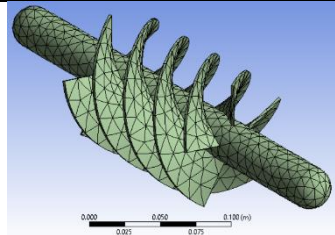
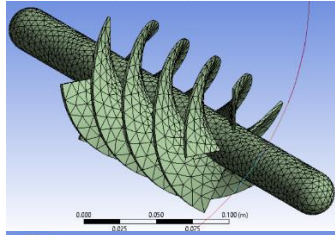
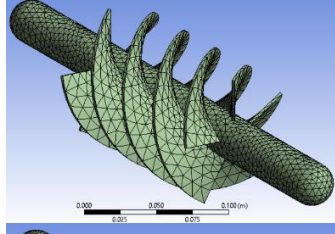
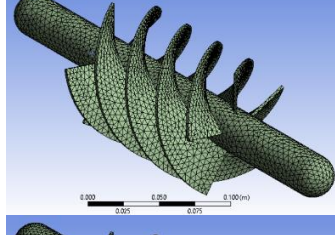
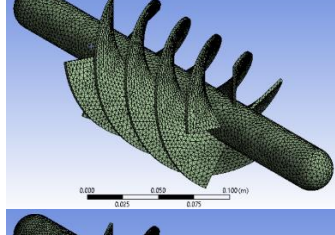
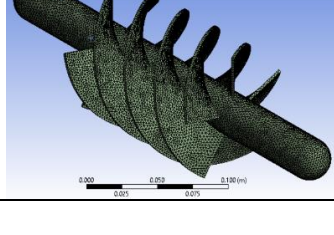
2.1. Mesh Sensitivity

Ansys CFX software was used in this research to carry out CFD modeling and simulation. Determining the shape and size of the mesh greatly influences the simulation results [13], so it is necessary to repeat it when selecting the mesh. Repetition is carried out until convergent results are obtained, especially on rotating objects such as turbines [14]. In this research, six repetitions were carried out by comparing the number of elements to the torque produced. The torque values obtained from the Ansys simulation were validated with experimental results in previous research [4].

Comparison of mesh shapes to obtain convergent results as well as the comparison of the number of elements to torque are presented in Table 2 and Fig. 3. A large number of elements indicates a small mesh size, the consequence is that the simulation time becomes longer [7], [14]. This is also a consideration in choosing an appropriate mesh size that does not overload the computer in the simulation process.

From Fig. 3 it can be seen that increasing the number of elements from 483049 to 697394 produces torque values that are not much different, a difference of 0.8 – 1.3% compared to laboratory tests [4]. So for a faster simulation with relatively accurate results, the mesh is chosen with the number of elements that are between the two or one of the two.

Table 2. Comparison between mesh and number of elements

| Name | No. of Element |
|---|----------------|
|  | 313025 |
|  | 375447 |
|  | 407517 |
|  | 430880 |
|  | 483049 |
|  | 697394 |

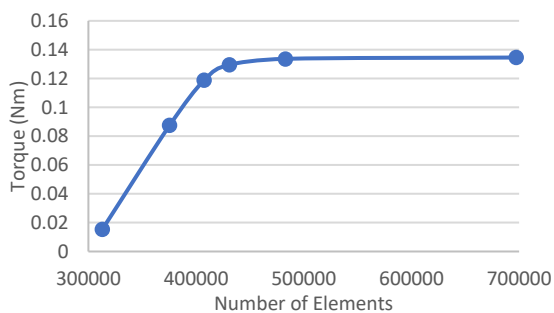


Figure 3. Relationship between the number of elements and torque

2.2. CFX Setup

The setup in Ansys consists of determining boundary conditions, selecting the turbulence model, and determining the type of simulation, steady-state or transient. In this research, a transient simulation was carried out to obtain the flow shape when the turbine rotates (Fig. 4). There are three domains created, namely water, outrigger and turbine can be seen in Fig. 5.

```

FLOW: Flow Analysis 1
SOLUTION UNITS:
Angle Units = [rad]
Length Units = [m]
Mass Units = [kg]
Solid Angle Units = [sr]
Temperature Units = [K]
Time Units = [s]
END
ANALYSIS TYPE:
Option = Transient
EXTERNAL SOLVER COUPLING:
Option = None
END
INITIAL TIME:
Option = Automatic with Value
Time = 0 [s]
END
TIME DURATION:
Option = Total Time
Total Time = 100 [s]
END
TIME STEPS:
Option = Timesteps
Timesteps = 1 [s]
END
END
    
```

Figure 4. Transient analysis setup

The boundary of the outrigger was set to 3L (3 x length of the outrigger) to x+, 4L to x-, 1L both to z- and z-, also 1L to y+ and y-.

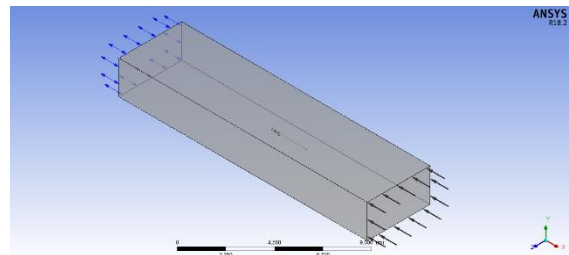


Figure 5. Domains of the setup

Water is set into a fluid domain with the Shear Stress Transport turbulence model. This turbulence model was chosen because of the large turbulence of water that occurs in the turbine and its surroundings. At the inlet, the velocity was set at 2.5 m/s, in line with laboratory experiments in previous research [4]. Meanwhile, the outlet section is set as an opening with a relative pressure of 1 atm.

The outriggers and turbine are set as immersed solid, but the outriggers do not move (stationary) while the turbine is set in the Rigid Body Solution (Fig. 6). This aims to ensure that the turbine can rotate on the x-axis when there is hydraulic power from water acting on the blades. In the Rigid Body Solution, the turbine weight and mass moment of inertia are entered for components xx, yy, zz, xy, xz and yz.

```

DOMAIN: outrigger
Coord Frame = Coord 0
Domain Type = Immersed Solid
Location = B219
BOUNDARY: outriggers Default
Boundary Type = WALL
Location = \
F217.219, F219.219, F220.219, F221.219, F222.219, F223.219, F224.219, F225.2\
19, F226.219, F227.219, F228.219, F229.219, F230.219, F231.219, F232.219, F23\
3.219, F234.219, F235.219, F236.219, F237.219
END
DOMAIN MODELS:
DOMAIN MOTION:
Option = Stationary
END
END
DOMAIN: turbine
Coord Frame = Coord 0
Domain Type = Immersed Solid
Location = B645
BOUNDARY: turbine Default
Boundary Type = WALL
Location = \
F646.645, F647.645, F648.645, F649.645, F650.645, F651.645, F652.645, F653.6\
45, F654.645, F655.645, F656.645, F657.645, F658.645, F659.645, F660.645, F66\
1.645, F662.645, F663.645, F664.645, F665.645, F666.645, F667.645, F668.645, \
F669.645, F670.645, F671.645, F672.645, F673.645
END
DOMAIN MODELS:
DOMAIN MOTION:
Mass = 2 [kg]
Option = Rigid Body Solution
DYNAMICS:
DEGREES OF FREEDOM:
ROTATIONAL DEGREES OF FREEDOM:
Option = X axis
END
TRANSLATIONAL DEGREES OF FREEDOM:
Option = None
END
END
GRAVITY:
Gravity X Component = 0 [m s^-2]
Gravity Y Component = -9.81 [m s^-2]
Gravity Z Component = 0 [m s^-2]
Option = Cartesian Components
END
END
MASS MOMENT OF INERTIA:
    
```

Figure 6. Outrigger and turbine setup

3. Results

From the simulation results on the transient type Ansys CFX, velocity contours of water around the turbine are obtained in the time range set in the setup section before, presented in Fig. 7. In addition, the angular velocity of the turbine (velocity in station frame) and the torque that occurs in the turbine can be obtained in the calculation menu, the result can be seen in Table 4.

From Fig. 7 it can be seen the difference in the shape of the flow through the outrigger and into the turbine as well as the pressure received by the turbine. In the first 60 seconds of the simulation, it is known that there is a large increase in pressure on the blade and shaft. This is influenced by the unstable incoming flow so the turbine rotation is not optimal. After 80 seconds of simulation, the turbine rotation has started to stabilize and the pressure on the blade has also become relatively more stable because the flow entering the outrigger has started to become constant.

With a water density of 1000 kg/m^3 , gravitational acceleration of 9.81 m/s^2 , turbine head of 0.015 m and area of the outrigger outlet is 0.0078 m^2 , the hydraulic power and mechanical power which are then compared to obtain the efficiency of the Archimedes turbine installed in the outrigger by using equation 3, 4, 5 and 6 can be seen in Fig. 8. The relationship between the rotation of the turbine and mechanical power is presented in Fig. 9.

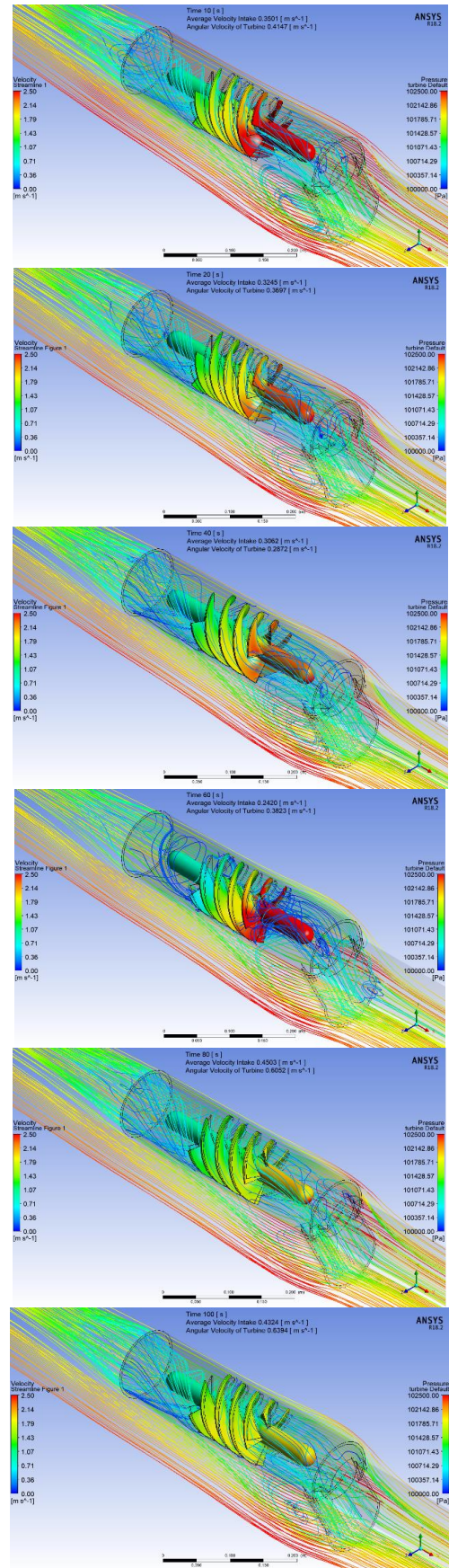


Figure 7. Velocity contour around the turbine and pressure contour in the turbine in various time ranges

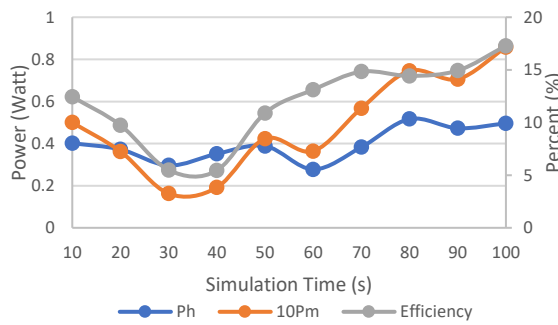


Figure 8. Hydraulic and mechanical power of the turbine

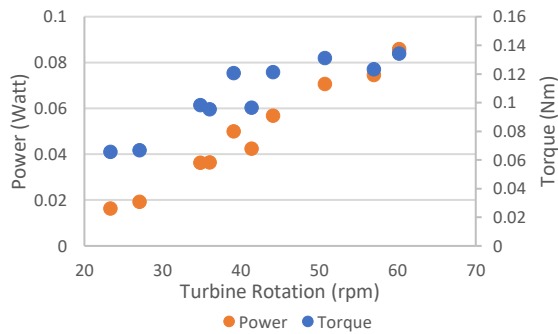


Figure 9. The relationship between turbine rotation and mechanical power

Fig. 8 shows that in the simulation of the Archimedes turbine on the outrigger of a fishing boat, mechanical power was obtained which had a different trend to hydraulic power, especially when the simulation lasted up to 60 seconds, after that both powers had relatively the same fluctuation trend. This condition is influenced by the unstable flow turbulence entering the turbine, as can be seen in Fig. 7. After the 60th second of the simulation, the incoming flow is relatively constant so that the increase in hydraulic power is comparable to the increase in mechanical power.

If viewed from the turbine rotation, the increase in mechanical power and torque in the turbine is directly proportional to the increase in turbine rotation. This is in line with the approach that can be taken using equations 4 and 5.

As a comparison, in Fig. 10 the flow contour around the outrigger is shown from the test results in the laboratory and the test results using Ansys. In Fig. 10, it can be seen that the flow turbulence that appears in the Ansys simulation results is not as complex as experiment in the laboratory, this is due to the graphical limitations of the device. However, in general the contour lines produced by Ansys depict similarities to water fluctuations that occur during laboratory experiment.

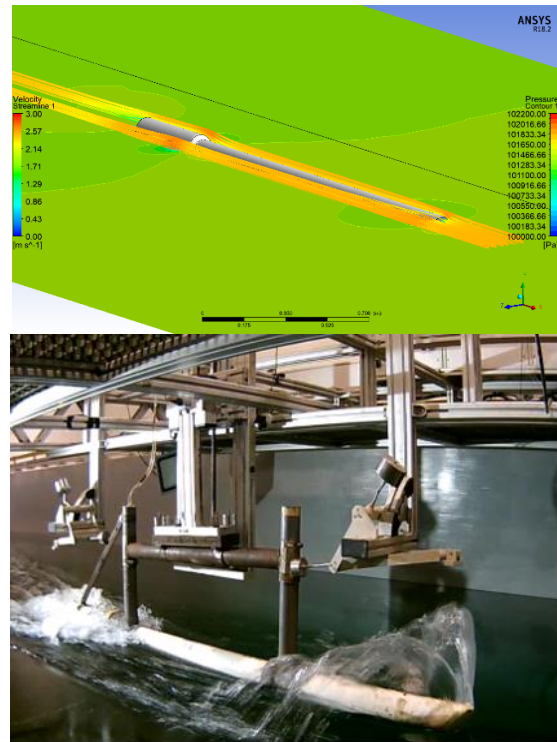


Figure 10. Difference between Ansys simulation and laboratory experiment

4. Conclusion

From the results of the simulation and analysis carried out, it can be concluded that the installation of an Archimedes screw turbine on a traditional fishing boat can be used as an alternative power generator, this is based on the turbine's ability to rotate and produce mechanical power and torque capable of turning the generator as was done in previous research.

The absence of an inclination angle results in a reduction in the turbine head value so that it directly affects the amount of hydraulic power provided by the water. This condition also causes small efficiency gains. It is necessary to modify the shape and size of the turbine to obtain more optimal power with better efficiency.

References

- [1] K. Shahverdi, G. Najafi, R. A. Bakar, M. Ghazali, A. El-Shafy, and M. Mousa, "Introducing a Design Procedure for Archimedes Screw Turbine based on Optimization Algorithm," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 72, pp. 162–172, 2023.
- [2] D. S. Edirisinghe, H.-S. Yang, M.-S. Kim, B.-H. Kim, S. P. Gunawardane, and Y.-H. Lee, "Computational Flow Analysis on a Real Scale Run-of-River Archimedes Screw Turbine with a High Incline Angle," *Energies*, vol. 14, no. 11, p. 3307, 2021.
- [3] M. Shimomura and M. Takano, "Modeling and Performance Analysis of Archimedes Screw Hydro Turbine Using Moving Particle Semi-Implicit Method," *J. Comput. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 338–353, 2013.
- [4] M. I. Nikmatullah, Baharuddin, Zulkifli, M. R. Alwi, and A. H. Sitepu, "Modification of Traditional Fishing Boat

- Outriggers into a Simple Electric Power Plant,” *Indones. J. Marit. Technol.*, vol. 1, no. 2, pp. 65–70, 2023.
- [5] H. B. Lamesgin and A. N. Ali, “Optimization of Screw Turbine Design Parameters to Improve the Power Output and Efficiency of Micro-Hydropower Generation,” *Cogent Eng.*, vol. 11, 2024.
- [6] A. I. Montilla-López, L. I. Velásquez-García, J. Betancour, A. Rubio-Clemente, and E. Chica, “Performance of an Archimedes Screw Turbine with Spiral Configuration for Hydrokinetic Applications,” *Rev. Fac. Ing.*, 2022.
- [7] O. S. Abdullah, W. H. Khalil, A. H. Kamel, and A. J. Shareef, “Investigation of Physical and Numerical Model of Archimedes Screw Turbine,” *J. Power Energy Eng.*, vol. 8, pp. 26–42, 2020.
- [8] M. Zamani, R. Shafaghat, and B. Alizadeh, “Enhancing Performance Evaluation of Archimedes Screw Turbines under Optimal Conditions: A Focus on Flow Rate Analysis, Empirical Equations, and Comparative Scaling Methods,” *Iran. J. Energy Environ.*, vol. 15, pp. 123–134, 2024.
- [9] M. Alonso-Martinez, J. L. S. Sierra, J. J. del C. Díaz, and J. E. Martinez-Martinez, “A New Methodology to Design Sustainable Archimedean Screw Turbines as Green Energy Generators,” *Int. J. Environmental Res. Public Heal.*, vol. 17, p. 9236, 2020.
- [10] Erinofiardi, R. Koirala, N. Shiwakoti, and A. Date, “Sustainable Power Generation Using Archimedean Screw Turbine: Influence of Blade Number on Flow and Performance,” *Sustainability*, vol. 14, p. 15948, 2022.
- [11] A. Y. Doost and W. D. Lubitz, “Development of an Equation for the Volume of Flow Passing Through an Archimedes Screw Turbine,” in *Sustaining Tomorrow*, 2021, pp. 17–37.
- [12] N. Adhikari, N. Adhikari, S. K. Poudel, S. Gurung, S. Subedi, and D. Bastakoti, “Study on Effect of Flow Rate and Number of Blades on Sizing of Archimedes Screw Turbine,” in *Proceedings of 11th IOE Graduate Conference*, 2022, p. 11.
- [13] Khairuddin, A. H. Muhammad, M. I. Nikmatullah, and F. Mahmuddin, “Water Depth Effect to Ferry Ship Resistance with Computational Fluid Dynamic Method,” *CFD Lett.*, vol. 14, no. 5, pp. 98–105, 2022.
- [14] M. I. Nikmatullah, A. H. Muhammad, F. Mahmuddin, Zulkifli, and Alfian, “Variation of Pitch Ratio Propeller Bos Cap Fins (PBCF) on Fishing Ship’s B-Series Propeller,” in *AIP Conference Proceedings*, 2022.

Desain Sistem Monitoring Pemakaian Bahan Bakar menggunakan LabVIEW

Haryanti Rivai^{1,*}, Muhammad Iqbal Nikmatullah¹, Muhammad Fayyadh Arkaan Yunus¹

¹*Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia*

*Email: haryantirivai@unhas.ac.id

Abstrak

Bahan bakar memiliki peran yang sangat penting pada sebuah mesin atau kendaraan baik itu di darat, laut maupun udara. Bahan bakar merupakan suatu aspek yang tidak bisa dihilangkan pada sebuah mesin. Akibat dari pentingnya peranan bahan bakar inilah banyak oknum-oknum yang sengaja memanfaatkan ketidaktelitian pemilik kendaraan, para oknum-oknum sengaja mengambil bahan bakar yang berada didalam tangki dan dimanfaatkan untuk diri sendiri. Dari kasus inilah penelitian ini diadakan dengan cara memonitoring pemakaian bahan bakar menggunakan sensor-sensor yang berkaitan seperti sensor ultrasonik untuk mengukur volume tangki bahan bakar sebagai patokan awal bahan bakar, sensor flowmeter untuk mengukur laju aliran yang keluar dari tangki. Dari sensor-sensor ini dapat terbaca nilai-nilai seperti jumlah pemakaian bahan bakar dan volume bahan bakar yang terdapat di dalam tangki. Maka dapat dilihat apakah ada selisih antara pemakaian bahan bakar dengan sisa bahan bakar yang ada di tangki. Hal ini dapat meminimalisir kecurangan oknum-oknum dalam penggunaan bahan bakar karena hasil dari pembacaan sensor dapat langsung terbaca oleh pemilik kendaraan melalui software LabVIEW yang nantinya dapat digunakan sebagai monitoring bahan bakar oleh pemilik kendaraan. Adapun pada penelitian ini peneliti menemukan beberapa nilai konsumsi bahan bakar pada beberapa RPM seperti pada 1000 RPM total konsumsi bahan bakarnya sebanyak 68,34 ml selama 120 detik, pada RPM 1500 total konsumsi bahan bakarnya sebanyak 73,29 ml selama 120 detik, sedangkan pada RPM 2000 total konsumsi bahan bakarnya sebanyak 76,33 selama 120 detik. Hal ini berarti perbandingan antara RPM dan konsumsi bahan bakar adalah berbanding lurus.

Abstract

Designing a Fuel Usage Monitoring System using LabVIEW. Fuel has a very important role in an engine or vehicle whether on land, sea or air. Fuel is an aspect that cannot be eliminated in an engine. As a result of the important role of fuel, many individuals deliberately take advantage of the inaccuracy of vehicle owners, individuals deliberately take the fuel that is in the tank and use it for themselves. From this case, this research was conducted by monitoring fuel usage using related sensors such as an ultrasonic sensor to measure the volume of the fuel tank as an initial benchmark for fuel, a flowmeter sensor to measure the flow rate coming out of the tank. From these sensors, values such as the amount of fuel used and the volume of fuel in the tank can be read. Then you can see whether there is a difference between fuel usage and the remaining fuel in the tank. This can minimize fraud by individuals in fuel usage because the results of sensor readings can be directly read by the vehicle owner via LabVIEW software which can later be used as fuel monitoring by the vehicle owner. Meanwhile, in this research, researchers found several fuel consumption values at several RPM, such as at 1000 RPM the total fuel consumption was 68,34 ml for 120 seconds, at 1500 RPM the total fuel consumption was 73,29 ml for 120 seconds, while at RPM 2000 the total fuel consumption is 76,33 for 120 seconds. This means that the ratio between RPM and fuel consumption is directly proportional.

Kata Kunci: Bahan Bakar; monitoring; LabVIEW

1. Pendahuluan

Salah satu komponen penting penggerak kapal adalah bahan bakar minyak (BBM). Bahan bakar minyak digunakan untuk menggerakkan mesin diesel sehingga menghasilkan daya dorong penggerak

kapal. BBM yang dibutuhkan mesin diesel didapat dari supplier minyak dengan membelinya, dimana bahan bakar tersebut dikirim ke kapal di pelabuhan melalui mobil tangki atau dikirim ke kapal saat kapal di laut dengan memakai sarana tongkang. Bahan

bakar yang dibeli perusahaan pelayaran merupakan biaya operasional kapal yang berada pada kisaran 70% dari biaya operasi kapal tersebut. Oleh karena itu, semua perusahaan pelayaran seharusnya selalu mengawasi konsumsi BBM di kapalnya secara ketat agar tidak ada pemborosan konsumsi BBM.

Kecurangan yang sering dilakukan oleh para awak kapal ketika berlayar menyusuri lautan. Mereka menjual bahan bakar secara ilegal kepada kapal-kapal lain untuk keuntungan pribadi. Seringkali pasokan bahan bakar yang ada pada tangki servis yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan bahan bakar secara langsung habis sebelum sampai ke tempat tujuan. Lalu tidak samanya pemberian informasi antara pemakaian bahan bakar pada kapal secara nyata dengan laporan para anak buah kapal. Kecurangan ini membuat kerugian yang sangat besar pada pihak manajemen kapal. Selain itu belum adanya sistem monitoring jumlah pemakaian bahan bakar yang bisa diakses langsung oleh pihak manajemen kapal dan awak kapal [1].

Dari hasil studi pendahuluan yang dilakukan peneliti selama di kapal, dibagian Armada dan operasi [2], diperoleh monitoring BBM banyak memiliki kendala. Kendala yang sering dijumpai adalah para pengawas di kantor lebih berkonsentrasi bagaimana kapal dapat beroperasi, tiba ditempat tujuan tepat waktu dan selamat, sedangkan monitoring konsumsi BBM secara detail di kapal tidak dilakukan. Hal ini berakibat kapal yang diawasinya tidak efisien dalam konsumsi BBM sehingga kedepannya akan mengganggu keuangan perusahaan dalam mengoperasikan kapal tersebut [3].

Berdasarkan kondisi seperti diatas maka dilakukan Desain Sistem Monitoring Pemakaian Bahan Bakar Pada Kapal. Dalam penelitian kali ini peneliti menggunakan LabVIEW untuk meneliti pemakaian bahan bakar pada kapal. Agar pihak manajemen dan para anak buah kapal bisa mengakses dan memonitoring pemakaian bahan bakar pada kapal secara langsung sehingga dapat mengurangi kecurangan yang biasa dilakukan oleh awak kapal. Pada sistem monitoring ini terdapat unit pengambilan keputusan yang menunjukkan jumlah pemakaian bahan bakar pada kapal menggunakan LabVIEW. LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) merupakan software atau perangkat lunak yang telah dikembangkan oleh National Instrument untuk mempermudah proses akuisisi data dikomputer (Personal Computer), dimana user atau pengguna dapat menggunakan piranti tersebut. LabVIEW merupakan sebuah perangkat lunak yang menggunakan konsep pemrograman obyek dan visual, sehingga dapat memudahkan pengguna dalam membuat suatu aplikasi tertentu [4].

Mikrokontroler merupakan sistem komputer fungsional yang di dalamnya terdapat sebuah chip. Pada komponen tersebut terkandung sebuah inti processor, memori, dan perlengkapan input output [5].

Kemudian penelitian menurut Prihatmoko, yang berjudul "Perancangan dan Implementasi Pengontrol Suhu Ruangan Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno". Pada penelitian tersebut metode perancangan dimulai dari kajian arsitektur sistem, perancangan sistem kontrol suhu, dan pembuatan prototype sistem kontrol suhu. Penelitian tersebut menghasilkan prototype sistem kontrol suhu yang dilengkapi dengan fitur penampil suhu dengan LCD, dan pendingin akan mati jika suhu berada di bawah batas minimum [6].

Arduino merupakan sebuah mikrokontroler yang mudah digunakan, karena bahasa yang digunakan yaitu bahasa C. Arduino memiliki processor yang besar dan memori yang dapat menampung cukup banyak program. Arduino uno juga menggunakan board mikrokontroler yang didasarkan pada ATmega328, dan mempunyai 14 pin digital input output [7].

Sebuah sensor atau transduser telah menyediakan antarmuka waktu nyata (real time) antara dunia nyata serta sistem akuisisi data dengan mengubah atau mengkonversi suatu Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu Ruangan gejala (fenomena) fisik ke dalam sinyal elektrik yang dapat diterima pengkondisi sinyal dan atau piranti akuisisi data. Sebagai contoh sensor atau transduser yang memungkinkan mengubah hampir semua pengukuran fisik ke sinyal elektrik yaitu sensor suhu seperti Thermocouples, Resistive Temperature Detectors (RTDs), Thermistor dan LM-35 [8].

2. Metodologi

2.1. Lokasi dan Waktu Penelitian

2.1.1. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di ruang Laboratorium Mesin Departemen Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar.

2.1.2 Waktu Penelitian

Kegiatan penelitian, perakitan alat, dan pembuatan software mulai efektif dikerjakan dari bulan Oktober 2023.

2.2. Teknik dan Metode Pengambilan Data Penelitian

Teknik pengambilan data dilakukan dengan cara melakukan pengukuran secara langsung terhadap mesin yang dijadikan penelitian. Pengambilan data penelitian dilakukan pada *MESIN DIESEL FORD ESCORD 1.8*

Tabel 1. Alat, bahan, dan komponen penelitian

| No | Peralatan | Fungsi |
|----|---|--|
| 1. | Mesin Diesel Ford Escord 1.8  | Digunakan sebagai objek untuk melakukan penelitian. |
| 2. | Volumetric Fuel Flow  | Sebuah alat untuk mengukur bahan bakar yang masuk kedalam mesin dan menjaga aliran bahan bakar agar tetap konstan. |
| 3. | Arduino Uno  | Sebagai pengambil data sensor |
| 4. | Sensor Ultrasonik  | Sebagai pembaca ketinggian fluida di dalam tangki. |
| 5. | Sensor Flowmeter YF-S201  | Berfungsi sebagai sensor yang membaca laju aliran dari tangki bahan bakar menuju ke mesin. |
| 6. | Sensor Proximity  | Digunakan untuk mengukur putaran mesin. |
| 7. | Laptop  | Berfungsi sebagai interface dari monitoring laju bahan bakar. |

2.3. Alat, Bahan dan Komponen Penelitian

Berikut beberapa alat dan bahan yang digunakan diantaranya :

2.3.1. Alat Penelitian

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini terlampir pada Tabel 1.

2.3.2. Bahan Penelitian

Bahan penelitian yang digunakan adalah bahan bakar minyak jenis solar untuk dijadikan sebagai aspek keberhasilan alat. Volume solar yang digunakan sekitar 2 Liter.

2.4. Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yang akan dilakukan. Kegiatan utama yang dilakukan dalam setiap tahap adalah sebagai berikut:

2.4.1. Studi Literatur

Dalam studi literatur pencarian dari beberapa sumber informasi atau bahan materi baik dari buku, jurnal, maupun sumber-sumber lainnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Studi literatur sangat bermanfaat untuk menambahkan referensi.

2.4.2. Observasi Lapangan

Dilakukan untuk studi yang diperlukan dan mendukung penelitian ini. Hal ini memiliki tujuan untuk survey dan mencari alat dan bahan yang dibutuhkan seperti sensor-sensor, solar dan lainnya.

2.4.3. Pembuatan Program

Pada tahap ini, untuk membuat program dibutuhkan mempelajari Bahasa pemrograman c++ yang digunakan pada Arduino serta mempelajari sistem HMI (*Human Machine Internet*) yang harus melakukan pengujian berulang untuk memastikan program yang dibuat berjalan baik.

2.4.4. Persiapan (Perencanaan Sistem Kendali dan Maintenance Alat)

Perencanaan sistem kendali dapat dilakukan dengan mendesain program yang nantinya akan terhubung dengan beberapa komponen instrumen penunjang serta perawatan pada mesin dan instalasi pendukungnya sehingga memberikan kemudahan dalam penelitian selanjutnya.

2.4.5. Penelitian dan Pengambilan Data

Instalasi alat yang sudah dirangkai lalu mengkoneksikan semua instrumen ke dalam program dan mengambil data yang diperlukan, seperti konsumsi bahan bakar, volume bahan bakar dan lain lain.

2.4.6. Kalibrasi sensor

Perlunya kalibrasi sensor untuk meminimalisir kesalahan pembacaan pada sensor dengan pengujian yang berulang-ulang.

2.4.7. Analisa Hasil Penelitian

Kegiatan yang dilakukan setelah mendapatkan data hasil pengujian dan mengolahnya baik dalam bentuk tabel atau grafik sehingga memudahkan dalam

membaca. Serta membandingkan data yang didapat dengan teori yang telah didapat di studi literatur.

2.5. Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini diantaranya :

2.5.1. Kalibrasi Sensor Ultrasonik

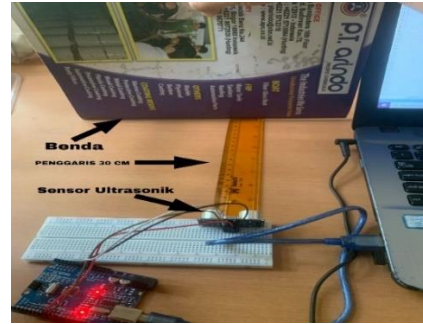
Menurut Kho, bahwa banyak beredar beberapa jenis sensor yang dapat mengukur jarak, yaitu sensor jarak induktif, sensor jarak kapasitif, sensor jarak fotolistrik dan sensor jarak ultrasonik (Kho, -). Setiap sensor jarak tersebut memiliki cara kerja yang berbeda namun memiliki satu tujuan yang sama, yaitu sama-sama dapat membaca jarak antara sensor dengan target atau objek [9].

Menurut Santoso bahwa Sensor ultrasonik adalah sebuah sensor yang berfungsi untuk mengubah besaran fisis (bunyi) menjadi besaran listrik dan sebaliknya. Cara kerja sensor ini didasarkan pada prinsip dari pantulan suatu gelombang suara sehingga dapat dipakai untuk menafsirkan eksistensi (jarak) suatu benda dengan frekuensi tertentu. Disebut sebagai sensor ultrasonik karena sensor ini menggunakan gelombang ultrasonik (bunyi ultrasonik). Gelombang ultrasonik adalah gelombang bunyi yang mempunyai frekuensi sangat tinggi yaitu 20.000 Hz. Bunyi ultrasonik tidak dapat didengar oleh telinga manusia. Bunyi ultrasonik dapat Kalibrasi didengar oleh anjing, kucing, kelelawar, dan lumba-lumba. Bunyi ultrasonik bisa merambat melalui zat padat, cair dan gas. Reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat padat hampir sama dengan reflektivitas bunyi ultrasonik di permukaan zat cair. Akan tetapi, gelombang bunyi ultrasonik akan diserap oleh tekstil dan busa [10].

Menurut Fauzan, bahwa sensor ultrasonik HC-SR04 yang terdapat pada gambar 1 merupakan sensor ultrasonik yang menggunakan frekuensi 40Hz. Sensor ultrasonik HC-SR04 merupakan sensor yang dapat digunakan untuk mengukur jarak antara objek dengan sensor HC-SR04. Sensor ultrasonik HC-SR04 terdiri dari 4 buah pin, yaitu Vcc, Trigger, Echo dan Ground. Berikut ini merupakan spesifikasi dari sensor ultrasonik HC-SR04, yaitu sensor bekerja pada tegangan DC 5V dengan arus kerja sebesar 15mA, Frekuensi kerja 40Hz, Jarak pengukuran maksimal yaitu 4 meter dan jarak pengukuran minimal yaitu 2cm, pengukuran sudut 15 derajat, sinyal masukan pemicu yaitu 10s TTL pulsa [11].

Sensor Ultrasonik type HC-SR04 dapat dilakukan dengan benda rata sebagai benda yang dideteksi dan penggaris 30 cm sebagai alat ukur jarak standar dengan prosedur sebagai berikut [12], [13] :

- Siapkan alat dan bahan seperti pada Gambar 1.
- Atur jarak sensor dan benda sejauh 20 cm terhadap penggaris.
- Catat hasil pembacaan sensor.



Gambar 1. Kalibrasi sensor ultrasonik

- Ulangi tahapan 2 dan 3 untuk jarak 19 cm sampai 5 cm dengan beda spasi 1 cm tiap pergeseran.
- Menghitung eror relatif pembacaan sensor terhadap penggaris menggunakan persamaan :

$$\%error\ relatif = \frac{X_{penggaris} - X_{sensor}}{X_{penggaris}} \times 100\%$$

(1)

- Diperoleh data seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Kalibrasi sensor ultrasonik

| Sensor | Penggaris | Hasil Kalibrasi | %Error |
|--------|-----------|-----------------|--------------|
| 18.56 | 10 | 19.94923234 | 0.25383828 |
| 17.61 | 19 | 18.97686796 | 0.121747562 |
| 16.66 | 18 | 18.00450358 | -0.025019902 |
| 15.69 | 17 | 17.01166837 | -0.068637486 |
| 14.74 | 16 | 16.03930399 | -0.245649949 |
| 13.67 | 15 | 14.94411464 | 0.372569098 |
| 12.77 | 14 | 14.02292733 | -0.163766633 |
| 11.71 | 13 | 12.93797339 | 0.477127785 |
| 10.8 | 12 | 12.00655067 | -0.054588878 |
| 9.89 | 11 | 11.07512794 | -0.682981297 |
| 8.98 | 10 | 10.14370522 | -1.437052201 |
| 7.97 | 9 | 9.109928352 | -1.221426234 |
| 6.77 | 8 | 7.881678608 | 1.4790174 |
| 6 | 7 | 7.093551689 | -1.336452698 |
| 4.81 | 6 | 5.875537359 | 2.074377346 |

Sensor ini memiliki rang 2 cm – 400 cm. Namun, pada percobaan kalibrasi ini alat didesain untuk mengukur perubahan jarak antara 6 – 20 cm, hal ini disesuaikan dengan tinggi tabung yang digunakan dan juga bertujuan untuk memperkecil error. Dari hasil kalibrasi ini terlihat bahwa sensor ini bekerja optimal pada jarak 11 cm – 20 cm.

- Dari data pada Tabel 2 dapat dibuat grafik hubungan antara hasil pembacaan dari sensor dan penggaris, dimana hasil pembacaan sensor sebagai sumbu y dan hasil pembacaan penggaris sebagai sumbu x.

h. Diperoleh persamaan $y = 0.977x - 0.9304$, persamaan ini yang akan ditanamkan pada program arduino nantinya dengan mengambil nilai x sebagai hasil pembacaan sensor yang telah terkalibrasi.

$$x = (y - 0.9304) / 0.977 \quad (2)$$

Dimana :

y = nilai pembacaan dari sensor

x = keluaran dari sensor yang terkalibrasi

2.5.2. Kalibrasi Sensor Flowmeter

Pertama, penelitian oleh Azhari, Ahmad, Satria (2022) yang berjudul Design And Implementation Of Water Flow Measurement Using A Portable Flow Meter Based On The Internet Of Things (Study Case PDAM Madiun District). Dalam pengukuran petugas PDAM dalam menghitung debit masih manual dilakukan dan memakan waktu yang lama proses pengukurannya, sehingga data yang didapat lama diproses membuat pekerjaan tidak efisien dan efektif. Dalam penelitian ini memiliki tujuan untuk mendesain sebuah alat pengukur debit air yang bersifat portable yang dapat dipakai di mana saja pada saat pengukuran di PDAM. Luaran yang diperoleh dari metode penelitian ini adalah selesainya pembuatan Portable Flow Meter. Adapun poin-poin tercapainya tujuan penelitian tersebut adalah Portable Flow Meter yang telah dibuat berhasil mengukur debit air pada saat implementasi dan pengujian. Data debit air yang sudah dibaca di mikrokontroler telah berhasil dikirimkan ke database Firebase dan dapat dilihat secara realtime [14].

Sensor Flow Meter memiliki akurasi baik dengan metode inline ataupun metode instalasi insertion. Dari segi pengukuran tidak dapat menghambat proses produksi karena bagian sensor tidak ada yang menghalangi di dalam pipa yang membuat produksi terhambat. Flow Meter ini memakai prinsip Hukum Faraday karena terdapat pada bagian sensor yang nanti bergesekan dengan air ataupun jenis lain yang menghasilkan gesekan listrik lalu dikirimkan kepada transmitter untuk diolah menjadi angka [15].

Tabel 3. Kalibrasi sensor flowmeter

| No. | Rps | Debit (ml/s) | Rasio (ml/Rps) |
|-----|----------|--------------|----------------|
| 1 | 88.7 | 4.35 | 0.490196078 |
| 2 | 8.173913 | 4.48 | 0.54787234 |

Kalibrasi sensor Flowmeter dilakukan dengan menggunakan spoit yang mempunyai volume 100 ml yang dihunungkan dengan sensor dan pengambilan datanya dilakukan menggunakan Arduino dengan variasi waktu yang berbeda-beda. Data ditunjukkan pada Tabel 3.

2.6. Langkah Penelitian

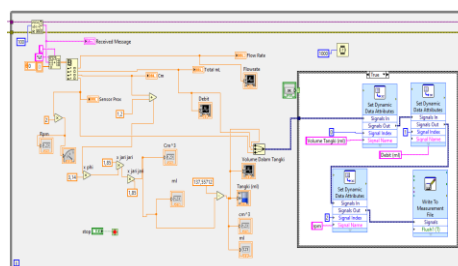
Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah dibawah ini :

- Mempersiapkan semua alat dan bahan
- Memasang sensor-sensor di tempat yang telah di tentukan di bagian mesin
- memastikan semua instrumen terkait sudah tersambung dna berfungsi dengan baik
- Melakukan konfigurasi pada program Labview
- Menjalankan atau me-running Mesin
- Mengukur putaran mesin (RPM)
- Memonitor hasil pembacaan instrumen pada Labview (RPM, debit, dan volume bahan bakar)
- Melakukan poin 6 dan 7 dengan beberapa variasi putaran mesin seperti 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM
- Menganalisa data yang telah ditampilkan di Labview.

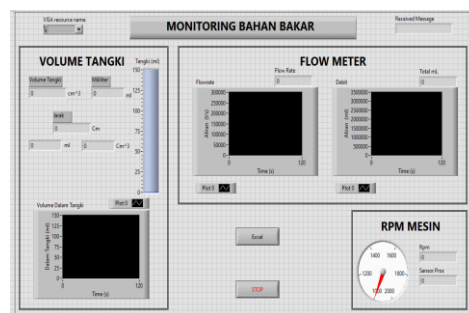
3. Hasil dan Pembahasan

Langkah pertama yang dilakukan dalam pembuatan program menggunakan *software* LabView yaitu membuka *software* LabVIEW 2020 yang akan menampilkan dua antar muka, yaitu *Front panel* dan *Block diagram* yang masing-masing memiliki *toolbox* berisi program-program yang akan dirangkai dan saling dihubungkan sesuai dengan yang diinginkan.

Bagian awal dari program LabView memberikan dua tampilan antarmuka dengan sheet diisi dengan program-program yang tersedia pada *toolbox* masing-masing antarmuka.



Gambar 2. Tampilan block diagram



Gambar 3. Tampilan front panel

Dalam pembuatan desain program, kedua antarmuka, yaitu; *Front panel* pada Gambar 3 dan *block diagram* seperti pada Gambar 2 harus sesuai. *Front panel* adalah antarmuka yang interaktif dan memiliki panel instrumen fisik sedangkan *Block diagram* adalah antarmuka yang tidak menampilkan representasi bergambar dari ikon yang sudah dieksekusi di *Front Panel*.

Adapun input dan output data pada program sebagai berikut seperti terlampir pada Tabel 4.

Tabel 4. Tools dan fungsi perintah

| Input Data | | |
|-------------|----------------------------|---|
| No. | Tools | Fungsi |
| 1 | Visa Resource Name | Port atau lokasi yang digunakan untuk mengidentifikasi saluran komunikasi di komputer yang digunakan untuk mengetahui perintah komunikasi |
| 2 | Visa Configure Serial Port | Berfungsi untuk inialisasi port serial yang ditentukan oleh nama sumber daya Visa ke pengaturan yang ditentukan. |
| 3 | Spreadsheet To Array | Berfungsi untuk mengonversi string spreadsheet menjadi array dengan dimensi dan representasi tipe array. Fungsi ini berfungsi untuk tipe array string dan tipe array angka. |
| 4 | Visa Close | Berfungsi untuk menutup sesi pembacaan pada perangkat atau objek peristiwa yang ditentukan oleh nama sumber daya Visa |
| Output Data | | |
| No. | Tools | Fungsi |
| 1 | Received Message | Menerima seluruh pembacaan dari setiap sensor. |
| 2 | Waveform Charts | Menampilkan grafik dari pembacaan sensor yang terpasang pada mesin diesel dan menampilkannya dalam bentuk visual di interface. |
| 3 | Index Array | Berfungsi untuk memecah hasil pembacaan dari setiap sensor untuk diolah di <i>Labview</i> . |
| 4 | Merge Signal | Berfungsi untuk menggabungkan semua data pembacaan dari semua sensor agar data dari pembacaan sensor dapat disimpan di spreadsheet atau excel. |
| 5 | Write to Measurement File | Berfungsi untuk merekam data yang telah dikirim oleh mikrokontroler dan kemudian menyimpan data tersebut |

3.1. Peletakan Sensor

Peletakan sensor pada bagian mesin diletakkan pada beberapa bagian sesuai dengan keperluan atau kegunaan sensor serta melihat objek apa yang ingin diukur menggunakan sensor tersebut.

Sensor ultrasonik atau sensor HCSR-04 diletakkan pada bagian atas gelas ukur yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan bahan bakar. Sensor ultrasonik diletakkan seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Peletakan sensor ultrasonik

Sensor Ultrasonik diletakkan diatas gelas ukur bertujuan untuk mengukur pengurangan jumlah volume bahan bakar pada gelas ukur dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V = \pi x r^2 x t \quad (3)$$

Dimana ;

V = Volume gelas ukur atau tangki (cm^3)

r = Jari-jari gelas ukur atau tangki (cm)

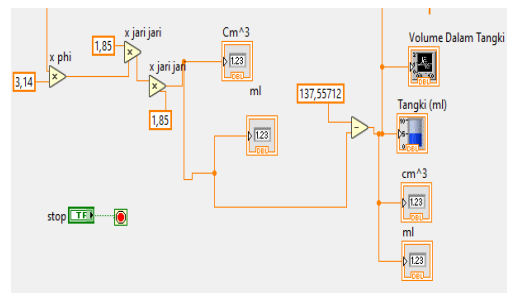
t = tinggi dari gelas ukur yang terbaca pada sensor ultrasonik (cm)

Hasil pembacaan dari sensor nantinya akan diolah di *Labview* pada bagian *block diagram* sesuai pada Gambar 5.

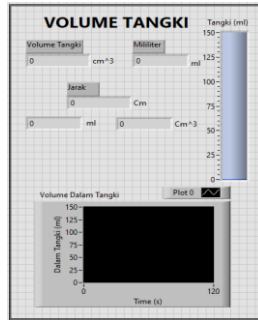
Hasil dari pengolahan data tersebut akan di tampilkan pada bagian *Front panel* dan di tampilkan dalam beberapa bentuk seperti Gambar 6.

Sensor flowmeter diletakkan pada bagian bawah atau pada bagian keluarnya bahan bakar menuju ke *Volumetric Fuel Flow* seperti pada Gambar 7.

Sensor flowmeter diposisikan di bawah dari gelas ukur atau tangki yang berfungsi untuk mengukur laju aliran yang keluar dari tangki dan hasil dari pembacaan sensor tersebut akan di tampilkan pada *Front Panel* di *Labview* seperti Gambar 8.



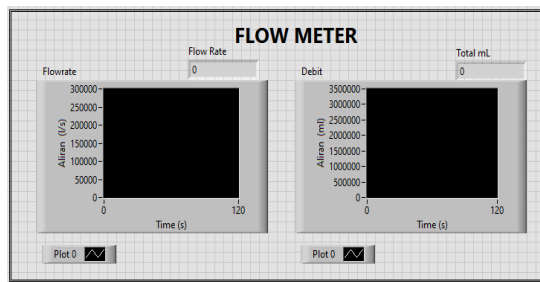
Gambar 5. Pengolahan pembacaan sensor pada LabVIEW



Gambar 6. Tampilan *front panel* pengukuran volume tangki



Gambar 7. Peletakan sensor flowmeter



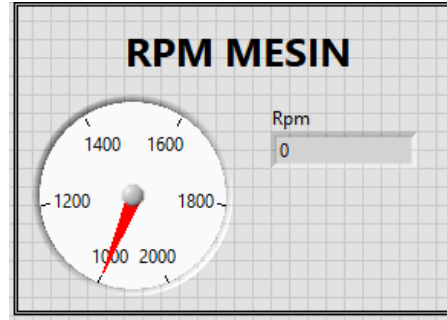
Gambar 8. Tampilan *front panel* pengukuran debit aliran

Sensor Infrared Proximity diletakkan berhadapan dengan *pulley* pada mesin seperti pada Gambar 9.



Gambar 9. Peletakan sensor proximity

Sensor ini nantinya akan membaca putaran mesin (RPM) sesuai dengan putaran *pulley* pada mesin. Hasil pembacaan dari sensor ini nantinya akan ditampilkan pada *Front panel* pada Labview seperti pada Gambar10.



Gambar 10. Tampilan *front panel* pembacaan putaran mesin (RPM)

Nantinya hasil dari pembacaan setiap sensor akan disimpan pada Microsoft excel sebagai hasil dari penelitian ini.

3.2. Pengaruh Variasi RPM Terhadap Bahan Bakar

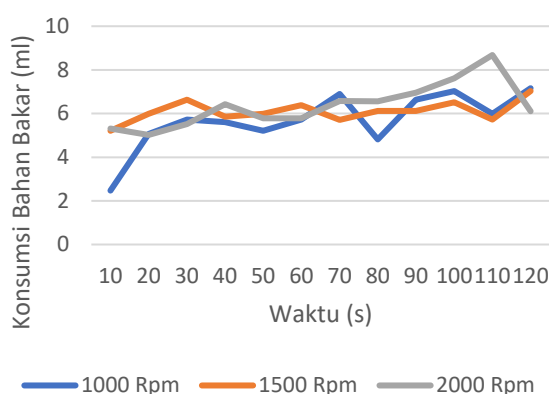
Penambahan kecepatan pada putaran mesin atau penambahan RPM mesin akan mempengaruhi konsimisi bahan bakar, mesin nantinya akan dijalankan pada beberapa putaran seperti 1000 RPM, 15000 RPM, dan 2000 RPM. Nantinya kita dapat mengetahui pengaruh penambahan kecepatan putaran mesin terhadap konsumsi bahan bakar.

Konsumsi bahan bakar pada saat mesin dijalankan pada putaran 1000, 15000, dan 2000 RPM. Konsumsi bahan bakar dari hasil pembacaan sensor yang berada pada volumetric. Berdasarkan hasil pengujian pada masing-masing putaran mesin dan pengambilan data setiap 10 detik didapatkan konsumsi bahan bakar seperti pada Tabel 5.

Dari tabel 5 dapat dilihat adanya peningkatan konsumsi bahan bakar pada kenaikan variasi RPM, pada putaran 1000 RPM konsumsi bahan bakar sebesar 2.47 ml – 7.16 ml yang diambil dalam rentang waktu 120 detik, pada putaran mesin 1500 RPM konsumsi bahan bakar meningkat menjadi 5.21 ml – 7.03 ml yang diambil dalam rentang waktu 120 detik, dan pada putaran mesin 2000 RPM konsumsi bahan bakar paling banyak berada di 5.02 ml – 8.68 ml yang diambil dalam rentang waktu 120 detik.

Tabel 5. Konsumsi rata-rata solar dalam 120 detik

| Waktu (s) | Konsumsi Solar (ml) | | |
|-----------|---------------------|----------|----------|
| | 1000 RPM | 1500 RPM | 2000 RPM |
| 0-10 | 2.47 | 5.21 | 5.31 |
| 11-20 | 5.07 | 5.99 | 5.02 |
| 21-30 | 5.73 | 6.64 | 5.52 |
| 31-40 | 5.60 | 5.86 | 6.43 |
| 41-50 | 5.21 | 5.99 | 5.78 |
| 51-60 | 5.73 | 6.38 | 5.78 |
| 61-70 | 6.90 | 5.71 | 6.58 |
| 71-80 | 4.81 | 6.12 | 6.56 |
| 81-90 | 6.64 | 6.12 | 6.96 |
| 91-100 | 7.03 | 6.51 | 7.61 |
| 101-110 | 5.99 | 5.73 | 8.68 |
| 111-120 | 7.16 | 7.03 | 6.10 |
| Total | 68.34 | 73.29 | 76.33 |
| Avarage | 5.695 | 6.107 | 6.360 |



Gambar 11. Grafik konsumsi bahan bakar setiap 10 detik

Konsumsi bahan bakar pada Gambar 11 menunjukkan bahwa adanya peningkatan setiap perubahan putaran mesin, adapun rata-rata bahan bakar yang digunakan pada putaran mesin 1000 RPM sebanyak 5.695 ml, rata-rata penggunaan bahan bakar pada putaran mesin 1500 RPM adalah sebanyak 6.107 ml, dan untuk rata-rata pemakaian bahan bakar pada putaran mesin 2000 RPM adalah sekitar 6.360 ml. Adapun dari grafik diatas terlihat beberapa persamaan, secara langsung peneliti terkadang memperhatikan putaran sensor laju aliran atau flowmeter yang berfungsi untuk mengukur bahan bakar sangat bervariasi terkadang mengalami percepatan pada putaran dan terkadang juga mengalami pelambatan pada putarannya hal ini diakibatkan karena adanya mekanisme reservoir pada volumetric dan filter yang mengakibatkan putaran pada sensor flowmeter kadang mengalami perlambatan.

3.3. Total Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 6. Total konsumsi bahan bakar

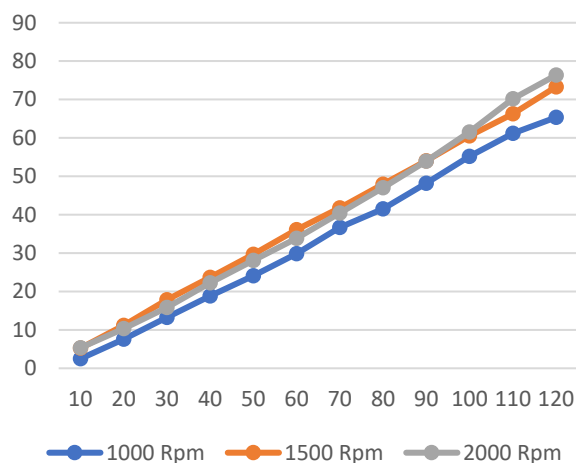
| Waktu (s) | Konsumsi Solar (ml) | | |
|-----------|---------------------|----------|----------|
| | 1000 RPM | 1500 RPM | 2000 RPM |
| 0-10 | 2.47 | 5.21 | 5.31 |
| 11-20 | 7.54 | 11.2 | 10.33 |
| 21-30 | 13.27 | 17.84 | 15.85 |
| 31-40 | 18.87 | 23.7 | 22.28 |
| 41-50 | 24.08 | 29.69 | 28.06 |
| 51-60 | 29.81 | 36.07 | 33.84 |
| 61-70 | 36.71 | 41.78 | 40.42 |
| 71-80 | 41.52 | 47.9 | 46.98 |
| 81-90 | 48.16 | 54.02 | 53.94 |
| 91-100 | 55.19 | 60.53 | 61.55 |
| 101-110 | 61.18 | 66.26 | 70.23 |
| 111-120 | 65.34 | 73.29 | 76.33 |

Dari Tabel 6 dapat dilihat penggunaan bahan bakar meningkat secara linear pada setiap perubahan putaran mesin, konsumsi bahan bakar pada putaran mesin 1000 RPM totalnya sebesar 65.43 ml, konsumsi bahan bakar pada putaran mesin 1500 RPM totalnya sebesar 73.29 ml, dan konsumsi bahan bakar pada putaran mesin 2000 RPM totalnya sebesar 76.33 ml yang masing-masing diukur dalam

rentang waktu 120 detik. Terjadi peningkatan penggunaan bahan bakar mulai dari putaran mesin 1000 RPM sampai dengan putaran mesin 2000 RPM yaitu sebesar 10.99 ml. Adapun total bahan bakar yang yang melalui sensor flowmeter adalah sekitar 214.96 ml. Kita dapat melihat kenaikan konsumsi bahan bakar pada setiap variasi RPM seperti pada Gambar 12.

3.4. Pengukuran Volume Tangki Selama Pengujian

Volume tangki bahan bakar diambil pada saat mesin dijalankan sesuai dengan putaran mesin yang ditetapkan. Volume tangki didapatkan dari hasil pembacaan sensor yang berada pada permukaan tangki. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada masing-masing putaran mesin dan pengambilan data pada setiap 10 detik didapatkan volume tangki seperti pada Tabel 7.

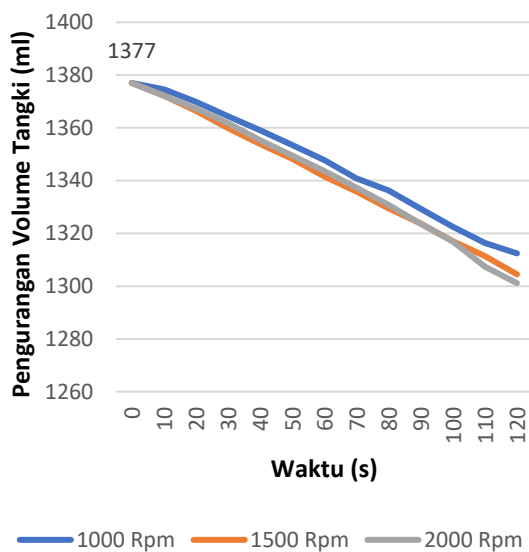


Gambar 12. Grafik total konsumsi bahan bakar

Dari tabel & dapat dilihat adanya pengurangan dari volume tangki pada setiap kenaikan putaran mesin. Pada RPM 1000 yang mulanya tangki berisi sebanyak 1377 ml ketika dilakukan percobaan mengalami pengurangan volume pada tangki bahan bakar menjadi 1312,408 ml sehingga total bahan bakar digunakan adalah sekitar 64,592 ml, pada RPM 1500 yang mulanya volume tangki sebanyak 1377 ml ketika dilakukan percobaan mengalami pengurangan volume pada tangki bahan bakar menjadi 1304,470 ml sehingga total bahan bakar yang di perlukan pada RPM ini adalah sekitar 72,53 ml, dan pada percobaan di 2000 RPM volume tangki bahan bakar adalah sebanyak 1377 ml ketika dilakukan percobaan volume bahan bakar pada tangki berkurang menjadi 1301,125 ml sehingga total bahan bakar yang diperlukan pada RPM 2000 adalah sekitar 75,875 ml. Adapun total bahan bakar yang digunakan pada setiap pecobaan adalah sebanyak 212,997 ml.

Tabel 7. Pengurangan volume tangki dalam 120 detik

| Waktu (s) | Volume Tangki (ml) | | |
|----------------------------|--------------------|----------|----------|
| | 1000 RPM | 1500 RPM | 2000 RPM |
| 0-10 | 1374,525 | 1372,180 | 1372,202 |
| 11-20 | 1369,844 | 1366,449 | 1367,294 |
| 21-30 | 1364,374 | 1359,937 | 1361,765 |
| 31-40 | 1359,034 | 1353,815 | 1355,339 |
| 41-50 | 1353,433 | 1348,214 | 1349,419 |
| 51-60 | 1347,702 | 1341,572 | 1343,647 |
| 61-70 | 1340,799 | 1335,860 | 1337,308 |
| 71-80 | 1336,240 | 1329,478 | 1330,741 |
| 81-90 | 1329,337 | 1323,747 | 1323,651 |
| 91-100 | 1322,564 | 1317,104 | 1316,933 |
| 101-110 | 1316,312 | 1311,373 | 1307,357 |
| 111-120 | 1312,408 | 1304,470 | 1301,125 |
| Total Konsumsi Bahan Bakar | 64,592 | 72,53 | 75,875 |



Gambar 13. Grafik volume tangki pada setiap RPM

Dari Gambar 13 dapat kita lihat pengurangan volume tangki yang terisi pada setiap variasi RPM.

3.5. Perbandingan Antara Debit dan Volume Tangki

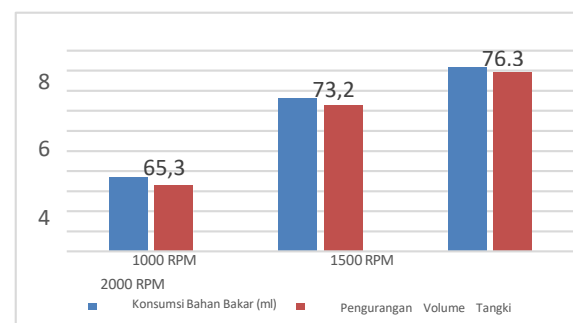
Pada penelitian kali ini peneliti menumukan selisih antara volume tangki yang dibaca oleh sensor *Ultrasonik* dengan debit aliran yang melalui sensor *Flowmeter* selisih tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pebandingan debit dan volume pada tangki

| RPM | Total Bahan Bakar (ml) | |
|------|------------------------|---------------|
| | Debit | Volume Tangki |
| 1000 | 65,34 | 64,592 |
| 1500 | 73,29 | 72,53 |
| 2000 | 76,33 | 75,875 |

Pada Tabel 8 terdapat selisih antara debit aliran yang terbaca pada sensor *Flowmeter* dengan volume pada tangki yang terbaca pada sensor *Ultrasonik*. Seperti yang kita lihat pada saat mesin berputar pada kecepatan 1000 RPM jumlah debit yang terbaca pada sensor *Flowmeter* adalah sebesar 65,34 ml sementara

pengurangan pada volume tangki yang terbaca pada sensor *Ultrasonik* adalah sebesar 64,592 ml pada kedua pembacaan tersebut terdapat selisih sebesar 0,74 ml, sedangkan pada saat mesin berputar pada kecepatan 1500 RPM jumlah debit yang terbaca pada sensor *Flowmeter* adalah sebesar 73,29 ml sementara pengurangan pada volume tangki yang terbaca pada sensor *Ultrasonik* adalah sebesar 72,53 ml pada kedua pembacaan tersebut terdapat selisih sebesar 0,76 ml, dan pada saat mesin berputar pada kecepatan 2000 RPM jumlah debit yang terbaca pada sensor *Flowmeter* adalah sebesar 76,33 ml sementara pengurangan pada volume tangki yang terbaca pada sensor *Ultrasonik* adalah sebesar 75,875 ml pada kedua pembacaan tersebut terdapat selisih sebesar 0,455 ml.



Gambar 14. Grafik perbandingan volume tangki dan debit

Dari gambar 14 dapat dilihat selisih antara volume tangki yang terbaca dari sensor *Ultrasonik* dengan debit aliran yang terbaca melalui sensor *Flowmeter*. Peneliti menyadari selisih ini dapat terjadi karena letak sensor *Flowmeter* berada jauh dari tangki bahan bakar sehingga bahan bakar yang keluar dari tangki tidak langsung masuk atau terbaca pada sensor *Flowmeter*.

3.6. Validasi Keakuratan Program

Untuk memvalidasi keakuratan program peneliti melakukan pengujian dengan cara mengisi tangki bahan bakar yang berupa gelas ukur kemudian diisi dengan bahan bakar sebanyak 200 ml lalu mesin dinyalakan pada kecepatan 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM kemudian di lihat berapa lama waktu yang dibutuhkan mesin untuk menghabiskan seluruh bahan bakar yang berada di dalam tangki bahan bakar yang hasilnya nanti di bandingkan dengan data-data yang telah diperoleh sebelumnya pada penelitian ini dengan menggunakan perbandingan-perbandingan antara data pembacaan sensor yang dibandingkan dengan karakteristik mesin yang diperoleh secara manual dengan cara melihat berapa konsumsi bahan bakar mesin pada putaran 1000 RPM, 1500 RPM, dan 2000 RPM. Adapun hasil yang di dapatkan akan di tampilkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Validasi keakuratan program

| RPM | Waktu (detik) | |
|------|---------------|--------|
| | Program | Manual |
| 1000 | 423 | 425 |
| 1500 | 349 | 352 |
| 2000 | 274 | 276 |

Dari Tabel 9 dapat kita lihat pada kecepatan mesin 1000 RPM waktu yang dibutuhkan mesin untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak 200 ml yang berada di dalam tangki adalah sekitar 423 detik ketika di validasi secara manual waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar 200 ml pada kecepatan mesin 1000 RPM dibutuhkan waktu selama 425 detik. Pada kecepatan mesin 1500 RPM waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak 200 ml yang berada di dalam tangki adalah sekitar 349 detik dan ketikan di uji validasi secara manual waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar 200 ml pada kecepatan mesin 1500 RPM dibutuhkan waktu selama 352 detik. Sedangkan pada kecepatan mesin 2000 RPM waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar sebanyak 200 ml yang berada di dalam tangki adalah sekitar 274 detik dan ketikan di uji validasi secara manual waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar 200 ml pada kecepatan mesin 2000 RPM dibutuhkan waktu selama 276 detik. Dari hasil validasi diatas dapat disimpulkan program yang dibuat berjalan dengan normal dan hasilnya akurat.

4. Kesimpulan

Desain sistem Monitoring dapat dibuat dengan menggunakan berbagai macam program salah satunya labview pada program ini kita dapat menggunakan beberapa perintah seperti komunikasi dengan arduino adapun perintah komunikasi Labview dengan arduino menggunakan Visa. Visa dapat berkomunikasi dengan arduino dengan menghubungkan serial port kemudian data pembacaan dari arduino diteruskan ke Labview untuk diolah menggunakan fitur-fitur yang terdapat pada program Labview. Kecepatan putaran dalam sebuah mesin sangat berpengaruh dalam penggunaan konsumsi bahan bakar hal ini terbukti pada penelitian ini. Pada saat mesin berada di putaran 1000 RPM konsumsi bahan bakar yang terbaca pada sensor adalah sebesar 64,592 ml ketika kecepatan di naikkan ke putaran 1500 RPM konsumsi bahan bakar meningkat sekitar 7,938 ml menjadi 72,53 ml begitu pula saat mesin ditingkatkan putarannya menjadi 2000 RPM konsumsi bahan bakar kembali meningkat menjadi 75,875 ml. Peningkatan bahan bakar ini juga terlihat pada debit aliran yang melalui sensor Flowmeter. Pada saat mesin berada

dikecepatan 1000 RPM jumlah debit bahan bakar yang melalui sensor Flowmeter adalah sebesar 65,34 ml ketika kecepatan putaran mesin di naikkan ke 1500 RPM debit yang melalui sensor juga meningkat menjadi 73,29 ml begitu pula saat kecepatan mesin ditingkatkan menjadi 2000 RPM jumlah debit bahan bakar yang melewati sensor juga ikut meningkat menjadi 76,33 ml. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara kecepatan putaran mesin dengan jumlah konsumsi bahan bakar berbanding lurus yang berarti semakin besar putaran mesin maka semakin besar pula bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada rekan-rekan mahasiswa yang telah membantu dalam proses penelitian khususnya dalam pengambilan dan pengolahan data.

Referensi

- [1] A. Sumarjono, "Sistem Monitoring dan Pengendalian Suhu Ruangan di Laboratorium dengan Menggunakan Labview Berbasis Arduino," *Integr. Lab J.*, vol. 6, pp. 19–28, 2018.
- [2] R. R. Wahyusah, A. S. Aisjah, and A. A. Masroeri, "Perancangan Sistem Monitoring Pengambilan Keputusan Pemakaian Bahan Bakar pada Kapal Berbasis Logika Fuzzy," *J. Tek. ITS*, vol. 2, pp. 198–201, 2013.
- [3] N. Almuzani, B. Wahyudi, and I. Fachrudin, "Analisis Konsumsi Bahan Bakar Kapal Niaga Berdasarkan American Society for Testing Materials the Institute of Petroleum (ASTM-IP)," *Din. Bahari*, vol. 1, pp. 21–26, 2020.
- [4] M. Nasir, M. A. Mudhoffar, and Nurhadi, "Perancangan Sistem Monitoring Volume Bahan Bakar pada Prototype Siphull Bubble Vessel," *Wave J. Ilm. Teknol. Marit.*, vol. 4, pp. 29–34, 2010.
- [5] Y. N. I. Fathulrohman and A. Saepulloh, "Alat Monitoring Suhu dan Kelembaban Menggunakan Arduino UNO," *J. Manaj. dan Tek. Inform.*, vol. 2, pp. 161–171, 2018.
- [6] D. Prihatmoko, "Perancangan dan Implementasi Pengontrol Suhu Ruangan Berbasis Mikrokontroler Arduino UNO," *J. Tek. Ind. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 7, pp. 117–122, 2016.
- [7] A. Saidah, "Rancang Bangun Prototype Sistem Pengendali Suhu dan Kelembaban pada Penyimpan Tepung," *J. Jar. Telekomun.*, vol. 5, pp. 23–28, 2017.
- [8] S. Adinandra, "Dasar Sistem Kendali : Modul Praktikum," Yogyakarta, 2017.
- [9] D. Kho, "Pengertian Proximity Sensor (Sensor Jarak) dan Jenis-Jenisnya."
- [10] H. Santoso, *Panduan Praktis Arduino untuk Pemula*. ElangSakti.com, 2015.
- [11] L. C. Adiputri and M. N. Fauzan, *Tutorial Membuat Prototipe Prediksi Ketinggian Air (Pka) Untuk Pendeteksi Banjir Peringatan Dini Berbasis IoT*. Kreatif, 2020.
- [12] K. Teknik, *Proposal untuk Penggantian Bahan Bakar dari MDO ke MFO*. 2007.
- [13] R. R. Wirhatmolo, *Monitoring, Evaluasi dan Pengendalian: Konsep dan Pembahasan*. Jakarta: Lembaga Administrasi Negara, 2008.
- [14] "Flow Meter Air Baku PDAM, Indonesia Industrial Parts."
- [15] D. Lauwis, "Alat Penghitung Debit Air dan Biaya Pemakaian Air dari Flowmeter PDAM yang Dapat Dipantau Melalui Internet," Universitas Kristen Satya Wacana, 2017.

Analisis Beban Pendingin Palka Ikan Kapal Katinting Menggunakan Simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD)

Surya Hariyanto¹, Syerly Klara¹, Balqis Shintarahayu¹, Eunike Barangan^{1,*}

¹Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin
Jalan Poros Malino km. 6 Bontomarannu, Gowa, Indonesia

*Email: eunikebarangan12@gmail.com

Abstrak

Palka ikan merupakan tempat menyimpan dan menjaga kesegaran hasil tangkapan yang penempatannya secara permanen maupun yang masih bisa diangkat dan diturunkan dari kapal. Berdasarkan hasil wawancara dan survei langsung terhadap beberapa nelayan di Makassar, khususnya nelayan kapal katinting, sebagian besar masih memanfaatkan kotak *styrofoam* yang biasanya diisi dengan es batu untuk mempertahankan kesegaran dan mutu ikan hingga sampai ke tangan konsumen. Namun metode pendinginan tersebut dapat mengurangi kapasitas ruang muat palka. Untuk itu diperlukan sebuah sistem pendingin yang optimal dan juga ramah terhadap lingkungan. Sistem pendingin palka ikan berbasis energi surya merupakan opsi yang tepat untuk digunakan. Penggunaan dan pengaplikasiannya yang cenderung lebih mudah dan sangat memungkinkan diterapkan pada perahu nelayan. Dengan memanfaatkan sistem pendingin tersebut tentunya pada dinding palka harus dilapisi dengan material isolator yang mampu mempertahankan suhu yang diinginkan di dalam ruang palka. Maka pada penelitian ini dilakukan perhitungan beban pendingin dengan *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)* dan menganalisa perbandingan penggunaan material insulasi palka yakni *polystyrene* dan *polyurethane* menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)*. Palka dengan lapisan insulasi *polystyrene* (*fiberglass* 3 mm + *polystyrene* 1 cm + *fiberglass* 2 cm) dengan perhitungan diperoleh beban panas (Q) sebesar 92 W dan *heat flux* 47,339 W/m², dari hasil simulasi diperoleh temperatur operasi ruang palka 2,073°C, *heat flux* 46,163 W/m², dan persentase penyimpangan antara hitungan dengan simulasi sebesar -2,484%. Palka dengan lapisan insulasi *polyurethane* (*fiberglass* 3 mm + *polyurethane* 1 cm + *fiberglass* 2 cm) dengan perhitungan diperoleh beban panas (Q) sebesar 84 W dan *heat flux* 43,378 W/m², dari hasil simulasi diperoleh temperatur operasi ruang palka 2°C, *heat flux* 42,593 W/m², dan persentase penyimpangan antara hitungan dengan simulasi sebesar -1,808%, dengan beban panas, *heat flux*, dan persentase penyimpangan yang lebih rendah didapatkan pada palka dengan material insulasi *polyurethane*, sehingga material insulasi yang tepat untuk diaplikasikan pada palka ikan Katinting yaitu *polyurethane*.

Abstract

Analysis of Cooling Load in Katinting Boat Fish Hold using Computational Fluid Dynamics (CFD). Fish holds are places for storing and maintaining the freshness of catch, whether they are permanently placed or can be lifted and lowered from the vessel. Based on interviews and direct surveys with several fishermen in Makassar, particularly those operating Katinting boats, most still utilize styrofoam boxes filled with ice as an alternative to maintaining the freshness and quality of fish until they reach consumers' hands. However, this cooling method can reduce the cargo capacity of the fish hold. Therefore, an optimal and environmentally friendly cooling system is needed. A solar-powered fish hold cooling system is a suitable option for this purpose. Its usage and application are relatively more accessible and highly feasible for fishermen's boats. By utilizing such a cooling system, the fish hold walls must be lined with insulating material capable of maintaining the desired temperature inside the hold space. Hence, this study calculates the cooling load using the Cooling Load Temperature Difference (CLTD) and analyzes the comparison of insulation materials for the fish hold, namely polystyrene and polyurethane, using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method. For a fish hold with a polystyrene insulation layer (fiberglass 3 mm + polystyrene 1 cm + fiberglass 2 cm), the calculated heat load (Q) is 92 W and the heat flux is 47,339 W/m². The simulation results show an operating temperature of 2.073°C, heat flux 46,163 W/m², and a deviation percentage between calculation and simulation of -2.484%. Meanwhile, for a fish hold with a polyurethane insulation layer (fiberglass 3 mm + polyurethane 1 cm + fiberglass 2 cm), the calculated heat load (Q) obtained is 84 W and the heat flux 43,378 W/m². The simulation results show an operating temperature of 2°C, heat flux 42,593 W/m², and a deviation percentage between calculation and simulation of -1.808%. With lower heat load, heat flux, and deviation percentage, polyurethane insulation is deemed more suitable for application in Katinting fish holds.

Kata Kunci: Palka ikan; kapal katinting; polystyrene; polyurethane; ANSYS R2 2018

1. Pendahuluan

Palka merupakan tempat penyimpanan muatan yang penempatannya secara permanen maupun yang masih bisa diangkat dan diturunkan dari kapal. Ruang palka ini berguna untuk menyimpan dan mengawetkan muatan berupa ikan hasil tangkapan. Muatan harus dapat tersimpan dengan baik, tidak rusak, tidak busuk, kedap air, dan tidak mudah terpengaruh panas dari luar sehingga suhu di dalamnya tetap dalam kondisi dingin. Cara yang paling mudah untuk pendinginan adalah dengan menggunakan es sebagai bahan pendingin [1].

Dari wawancara yang dilakukan terhadap beberapa nelayan dengan Kapal Katinting di Makassar, sebagian besar masih memanfaatkan kotak gabus/*styrofoam* yang diisi dengan es batu sebagai alternatif untuk mempertahankan kesegaran dan mutu ikan hasil tangkap hingga sampai ke tangan konsumen. Karena dianggap lebih ekonomis dan mudah.

Namun jika dianalisa dengan baik secara teknis maupun ekonomis, banyak kelemahan dalam sistem pendingin es batu tersebut. Dari sisi teknis, dengan adanya es sebagai media pendingin, maka berat esnya akan menjadikan berat kapal bertambah, sehingga menambah tahanan kapal yang sebetulnya harus dihindari karena dampaknya terhadap konsumsi bahan bakar yang akan menjadi besar untuk mencapai kecepatan yang sama sebelumnya tahanannya bertambah. Dari segi ekonomis, *owner* kapal mengalami kerugian karena hilangnya kapasitas angkut ikan yang oleh karena penggunaan sebagian ruang muat untuk mengisi kotak gabus dan es. Selain itu, lama pelayaran juga akan terbatas karena menyesuaikan dengan waktu mencairnya es, serta rasa dan berat ikan akan berubah dengan pemberian garam untuk memperlambat pencairan es [2].

Untuk itu diperlukan sebuah sistem pendingin yang optimal dan juga ramah terhadap lingkungan. Sistem pendingin palka ikan berbasis energi surya menjadi salah satu opsi yang dapat digunakan. Selain penggunaan dan pengaplikasian yang cenderung lebih mudah dibandingkan energi terbarukan yang lain, juga sangat memungkinkan diterapkan pada perahu nelayan [3]. Dengan memanfaatkan sistem pendingin tersebut tentunya pada dinding palka harus dilapisi dengan material isolator yang mampu mempertahankan suhu yang diinginkan di dalam ruang palka.

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini penulis ingin menganalisis beban pendingin palka ikan berinsulasi yang permanen pada lambung kapal dengan panel surya sebagai penyuplai dayanya.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Palka Ikan

Menurut Furkanudin [4] palka merupakan tempat menampung dan atau mengawetkan hasil tangkapan, baik penempatannya secara permanen maupun tidak permanen (yang dapat diangkat dan diturunkan) dalam lambung kapal.

Terdapat empat jenis palka ikan di kapal, yaitu palka berinsulasi, palka yang tidak berinsulasi, palka berinsulasi dengan refrigasi mekanik untuk pendinginan, dan palka berinsulasi dengan refrigasi mekanik untuk pembekuan [5].

Bentuk palka ikan secara umum dibedakan menjadi dua yaitu berbentuk ruang persegi dan ada yang bentuknya mengikuti bentuk badan kapal di bagian dasar dan atau di sisi samping kapal [6].

2.2. Isolasi Ruang Palka

Sistem isolasi/insulasi ruang palka berfungsi sebagai penghalang panas dari luar untuk masuk ke dalam ruang palka. Berbagai sistem insulasi telah populer diaplikasikan pada penangkap ikan, diantaranya *polystyrene* dan *polyurethane* hal ini dikarenakan kemudahan dalam aplikasinya. Bahan ini dapat diaplikasikan pada berbagai bentuk palka karena bentuknya yang cair saat disisipkan ke dinding palka, sehingga dapat masuk ke seluruh bagian dinding palka sebelum mengeras [7].

Karakteristik *polyurethane* dan *polystyrene* terlampir pada Tabel 1.

Tabel 1. Karakteristik *polyurethane* [8]

| Material | Expanded Polyurethane | Polystyrene |
|--|-----------------------|-------------|
| Densitas (kg/m ³) | 40 | 15-30 |
| Konduktivitas Termal (W/m°C) | 0,023 | 0,033 |
| Ketahanan terhadap api | Kurang bagus | Baik |
| Kekuatan kompresi (kg/m ²) | 3000 | Tidak bagus |
| Harga | Cukup mahal | Murah |
| Biaya pasang | Cukup mahal | Cukup murah |

2.3. Refrigerasi

Refrigerasi atau pendinginan merupakan proses pengambilan atau pengeluaran kalor dari suatu materi atau ruangan dan mempertahankan keadaannya sedemikian rupa sehingga temperaturnya lebih rendah dari pada lingkungan sekitarnya.

Refrigerasi kompresi uap adalah jenis pendingin yang memanfaatkan siklus kompresi uap untuk melakukan pendinginan. Pendingin ini menggunakan fluida kerja dalam bentuk refrigeran untuk menghasilkan kondisi dingin. Pendinginan dilakukan dengan proses pengembunan refrigeran oleh kondensor dan penguapan oleh evaporator.

Komponen utama dari pendingin kompresi uap meliputi kompresor, kondensor, evaporator, katup ekspansi, dan refrigeran. Salah satu jenis cairan refrigeran yang bisa dipilih dan paling cocok dengan alat pada penelitian ini adalah R134A.

2.4. Perhitungan Beban Pendingin

Metode yang digunakan adalah *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)*. Berdasarkan buku pegangan ASHARE, *Cooling Load* secara keseluruhan merupakan gabungan dari *eksternal load* dan *internal load*. *eksternal load* merupakan beban yang berasal dari perpindahan panas yang ada di luar ruangan, sedangkan *internal load* yang berasal dari panas yang ditimbulkan oleh manusia, alat elektronik, dan alat penerangan seperti lampu.

Pada *eksternal load* ini dilakukan perhitungan beban pendingin dari luar yang sumbernya dari kalor sensibel dinding, atap, dan lantai dinamakan beban transmisi. Beban kalor dalam kurun waktu tertentu tergantung pada laju aliran panas yang menembus dinding. Berikut merupakan perhitungan laju perpindahan panas yang dapat dilihat pada persamaan ini.

$$Q = U \times A \times \Delta T \quad (1)$$

Nilai koefisien perpindahan panas keseluruhan (U) pada dinding, atap, dan lantai dapat dihitung melalui persamaan:

$$U = 1/(1/h_{in} + x/k + 1/h_{out}) \quad (2)$$

Beban kalor infiltrasi udara adalah kehilangan atau perpindahan kalor yang disebabkan oleh perembesan udara luar ke dalam ruang pendingin. Dihitung dengan persamaan:

$$q_{inf} = V \times f \times \rho_{ud} \times c_{ud} \times \Delta T \quad (3)$$

Pada *internal load* beban pendingin yang disebabkan oleh bobot muatan rangkaian perhitungan tiga tahap yaitu; pelepasan kalor sebelum beku, pelepasan kalor laten produk serta pelepasan kalor setelah beku. Namun untuk pendinginan yang digunakan tidak mencapai titik beku sehingga hanya dihitung sampai tahap pertama. Dapat dihitung dengan persamaan;

$$Q = m \times C_p \times (t_o - t_i) \quad (4)$$

2.5. Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD adalah salah satu cabang dari mekanika fluida yang menggunakan metode numerik dan algoritma untuk menganalisa dan menyelesaikan masalah yang terjadi pada aliran fluida. Adapun tahapan yang dilakukan ketika menggunakan simulasi *Computational Fluid Dynamics* pada *software ANSYS R2 2018* yaitu *geometri, meshing, setup, solution* dan *result*.

3. Metode

Objek penelitian Kapal Katinting yang sedang dibangun di galangan Taiyo Marineng, Makasar. Setelah mengidentifikasi objek, pada konstruksinya belum dilengkapi dengan sistem insulasi palka, kemudian dilakukan studi literatur terkait bahan pustaka atau literatur yang menunjang penelitian dan dilakukan studi lapangan, dalam hal ini peneliti melakukan wawancara dengan nelayan yang mengoperasikan kapal dengan tipe yang sama dengan objek yang diteliti.

Pengumpulan data diperlukan untuk pembuatan model palka, bahan insulasi, dan ketebalan bahan insulasi. Data yang dikumpulkan seperti data utama kapal, material kapal, ukuran palka, trayek pelayaran, data ikan yang menjadi target penangkapan, spesifikasi bahan insulasi yang digunakan serta hal lain yang mendukung pengerjaan penelitian ini.

Pemodelan palka dengan membuat sketsa hasil pengukuran objek pada *Autocad* dan membuat model 3D pada *Solidworks* dalam hal ini variasi ketebalan material dan jenis material insulasi. Modifikasi palka ini menggunakan *polystyrene* dan *polyurethane* dengan ketebalan yang sama yakni 1 cm. Selanjutnya dilakukan perhitungan beban kalor.

Dalam menghitung beban kalor perlu memperhatikan material palka dan produk yang akan dibawa, baik menggunakan metode *CLTD* yang memanfaatkan perbedaan temperatur luar dan dalam palka, dan juga dilakukan analisis perpindahan panas palka menggunakan *CFD* dengan menggunakan *software ANSYS CFX R2 2018*.

3.1. Data

Data kapal yang terlihat pada Gambar 1 diambil dengan melakukan pengukuran langsung di galangan fiber Taiyo Marineng seperti yang ditampilkan pada Tabel 2.

Foto kapal dapat dilihat pada Gambar 2. Sedangkan dimensi palka yang diperoleh dari pengukuran langsung ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 2. Data utama kapal

| | |
|--|--------------------|
| Tipe Kapal | Katinting |
| LOA | 8,25 m |
| B | 0,73 m |
| T | 0,51 m |
| H | 0,55 m |
| Mesin | Honda GX270, 9 PK |
| Lama Berlayar | 8 Jam |
| Kecepatan kapal dengan mesin Honda GX270, 9 PK | 8,96 Knot |
| Alat Tangkap | Jaring dan pancing |



Gambar 1. Kapal Katinting

Tabel 3. Dimensi palka

| | |
|---------|--------------------------|
| Bentuk | Mengikuti bentuk lambung |
| Panjang | 0,95 m |
| Lebar | 0,63 m |
| Tinggi | 0,454 m |



Gambar 2. Ruang palka ikan

Data spesifikasi hasil tangkapan didapatkan dari wawancara terhadap nelayan yang menggunakan kapal dengan tipe yang sama dan relevan.

Tabel 4. Spesifikasi hasil tangkapan (Ikan Cepa/Kuwe)

| | |
|---------------------|------------------------|
| Kingdom | Animalia |
| Filum | Chordata |
| Kelas | Actinopterygii |
| Ordo | Perciformes |
| Famili | Carangidae |
| Genus | Caranx |
| Spesies | Caranx Ignobilis |
| Suhu Habitat | 28 -30 °C |
| Suhu awal | 28 °C |
| Panas Spesifik | 0,9 kkal/kg/°C |
| Panjang sampel Ikan | 15 cm |
| Berat sampel Ikan | 0,2 kg |
| Volume sampel Ikan | 0,00032 m ³ |

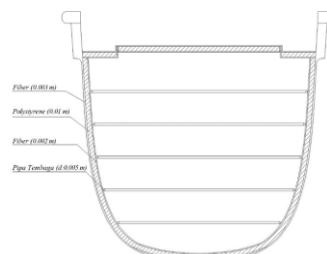
3.2. Variasi Model

Variasi ketebalan material dan jenis material insulasi. Modifikasi palka ini menggunakan *polystyrene* pada model 1 dan *polyurethane* model 2 dengan ketebalan yang sama yakni 1 cm. Berikut ini variasi model palka modifikasi secara detail.

• Variasi model 1

Tabel 5. Penyusun dinding palka model 1

| Susunan | Bahan | Tebal (m) |
|---------|-------------|-----------|
| 1 | Fiber | 0,003 |
| 2 | Polystyrene | 0,01 |
| 3 | Fiber | 0,002 |

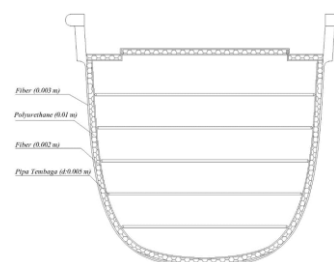


Gambar 3. Susunan dinding palka variasi model 1

• Variasi model 2

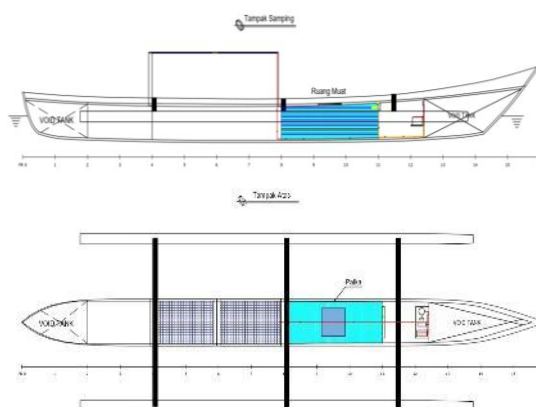
Tabel 6. Penyusun dinding palka model 2

| Susunan | Bahan | Tebal (m) |
|---------|--------------|-----------|
| 1 | Fiber | 0,003 |
| 2 | Polyurethane | 0,01 |
| 3 | Fiber | 0,002 |

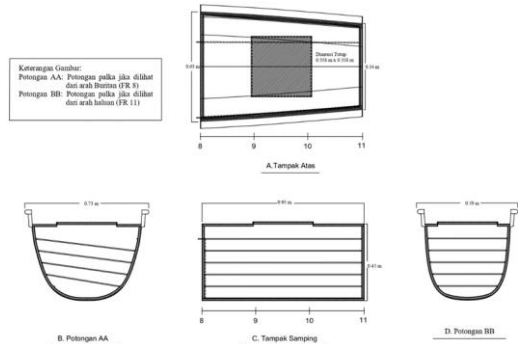


Gambar 4. Susunan dinding palka variasi model 2

4. Hasil dan Pembahasan



Gambar 5. General Arrangement Kapal Katinting



Gambar 6. Desain 2D model palka Kapal Katinting dengan software Autocad

Waktu pelayaran 8 jam/hari dan waktu operasi sistem pendingin 7 jam/hari. Sedangkan alat tangkap yang digunakan pada kapal ini ialah jaring dan pancing dengan hasil tangkapan ialah Ikan Cepa atau biasa juga dikenal dengan Ikan Kuwe.

4.1. Perhitungan Beban Pendingin

• Beban Transmisi

Beban transmisi merupakan kehilangan atau perolehan kalor akibat beda suhu antara kedua sisi elemen bangunan palka. Maka dalam penelitian ini ada beberapa sisi yang menjadi faktor perhitungan beban transmisi yaitu tutup palka, sisi kiri dan sisi kanan palka, alas palka, serta sisi depan dan belakang palka. Adapun beban transmisi dari kedua model sebagai berikut.

Tabel 7. Hasil perhitungan beban transmisi

| Model | Q tutup (W) | Q sisi (W) | Q depan (W) | Q belakang (W) | Q atap (W) | Q trans (W) |
|-------|-------------|------------|-------------|----------------|------------|-------------|
| 1 | 4,68 | 31,99 | 5,89 | 4,67 | 11,45 | 58,69 |
| 2 | 3,99 | 27,93 | 5,027 | 4,19 | 9,85 | 50,99 |

• Beban Infiltrasi

Beban infiltrasi adalah beban kalor yang diakibatkan adanya udara yang masuk/menyusup (*infiltrate*) melalui tutup palka yang terbuka selama proses bongkar muat. Adapun perolehan beban infiltrasi dari kedua model sebagai berikut.

Tabel 8. Hasil perhitungan beban infiltrasi

| Model | V (m ³) | f | ρ_{ud} (kg/m ³) | c_{ud} (kJ/kgK) | ΔT (K) | Q (kJ/jam) | Q (W) |
|-------|---------------------|----|----------------------------------|-------------------|----------------|------------|-------|
| 1 | 0,13 | 32 | 1,3 | 0,72 | 28 | 9,1 | 25,3 |
| 2 | 0,13 | 32 | 1,3 | 0,72 | 28 | 9,1 | 25,3 |

• Beban Produk

Beban produk atau *internal load* merupakan data-data jumlah beban yang ada dalam ruangan tersebut. Berikut hasil dari kedua model.

Tabel 9. Hasil perhitungan beban produk

| Model | m (kg) | Cp (kJ/kgK) | ΔT (K) | Q (W) |
|-------|--------|-------------|----------------|--------|
| 1 | 82,12 | 3,7656 | 26 | 8,0399 |
| 2 | 82,12 | 3,7656 | 26 | 8,0399 |

Dari hasil tersebut diperoleh beban panas total kedua model palka sebagai berikut.

Tabel 10. Beban panas total

| Model | Beban kalor (W) | | | Q _{tot} (W) |
|-------|--------------------|------------------|---------------------|----------------------|
| | Q _{trans} | Q _{inf} | Q _{produk} | |
| 1 | 58,69 | 25,3 | 8,0399 | 92,027 |
| 2 | 50,99 | 25,3 | 8,0399 | 84,326 |

Beban panas total tersebut diperoleh dari total jumlah antara beban transmisi, beban infiltrasi, dan beban produk atau muatan pada ruang palka. Jika diperhatikan pada Tabel 11 di atas, yang membedakan antara model 1 dengan model 2 yaitu beban transmisi (Q transmisi) dimana beban transmisi ini sendiri merupakan jumlah panas yang ditransfer melalui suatu material insulasi dari satu sisi luar ke sisi bagian dalam palka karena adanya beda temperatur antara sisi luar dengan bagian dalam palka.

Besar kecilnya beban transmisi pada palka sangat dipengaruhi oleh konduktivitas termal material insulasi dinding yang digunakan. Semakin rendah konduktivitas termal, semakin sedikit panas yang dapat ditransfer melalui material tersebut. Begitupun sebaliknya untuk konduktivitas termal yang tinggi, kemampuannya untuk menghantarkan panas akan lebih tinggi sehingga banyak panas yang ditransfer ke dalam ruang palka. Dari hal ini diketahui alasan beban transmisi pada kedua model di atas berbeda dikarenakan nilai konduktivitas material insulasi yang berbeda, yakni *polystyrene* konduktivitas (k) 0,033 W/m°C dan *polyurethane* dengan konduktivitas termal (k) 0,023 W/m°C. Nilai konduktivitas material *polyurethane* lebih rendah dibandingkan dengan *polystyrene*. Oleh karena itu, beban transmisi pada model 2 lebih rendah dibandingkan dengan model 1.

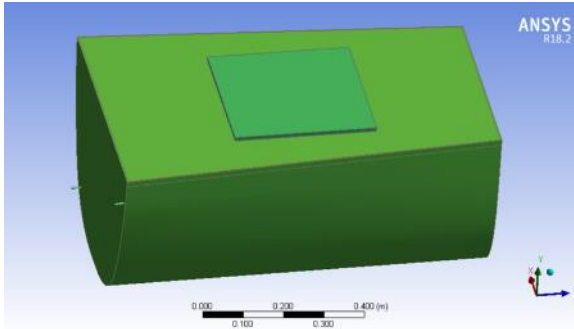
Besar kecilnya beban transmisi pada palka mempengaruhi kebutuhan daya pendinginan palka. Daya yang dibutuhkan untuk mempertahankan suhu palka adalah energi yang diperlukan untuk menyeimbangkan panas yang hilang atau ditambahkan ke sistem agar suhu tetap konstan. Dari hal ini dapat diketahui bahwa daya yang diperlukan untuk mempertahankan suhu palka yang diinginkan pada penelitian ini yakni 2 °C akan lebih rendah jika menggunakan *polyurethane* dibandingkan dengan *polystyrene*.

4.2. Analisis Menggunakan CFD

Analisis menggunakan CFD dilakukan dengan simulasi pada ANSYS CFX. Adapun beberapa tahapannya sebagai berikut.

- Tahap *Geometri*

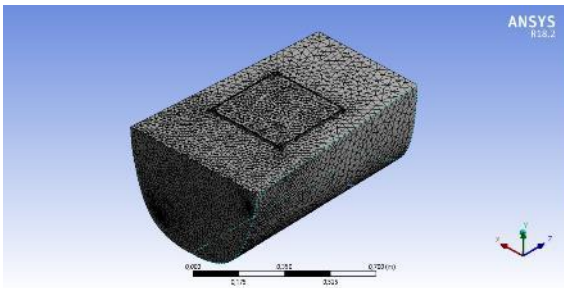
Model diimport ke software ANSYS CFX R2 2018. Setelah itu menentukan wilayah yang akan disimulasikan dalam hal ini dinding dalam dan dinding luar ruang palka serta pipa evaporator.



Gambar 7. Pemodelan pada tahap *geometri*

- Tahap *Meshing*

Salah satu faktor yang paling berpengaruh pada simulasi ini ialah tahap *meshing* atau *gridling*. Tahap ini sangat mempengaruhi akurasi, konvergensi, dan kecepatan simulasi. Semakin kecil cacahannya maka semakin akurat pula hasil yang didapatkan, namun jika terlalu kecil pula maka persamaan dan proses komputasi juga akan lama.



Gambar 8. Pembentukan *mesh* pada model

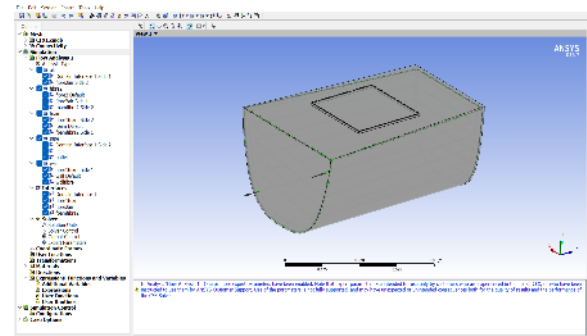
- Tahap *Setup*

Tahap ini adalah tahapan yang dilakukan untuk memasukkan variable-variabel yang berhubungan dengan simulasi yang dilakukan. Pada tahapan ini dibagi menjadi *default* dilakukan untuk mengatur sifat dalam analisis, seperti arah aliran, sifat fisik dan fluida yang digunakan dan *wall* merupakan pengaturan standar *boundary condition* untuk *domain fluid* yang meliputi sisi kiri dan sisi kanan, atap termasuk tutup palka, serta alas palka dapat dilihat pada Gambar 9.

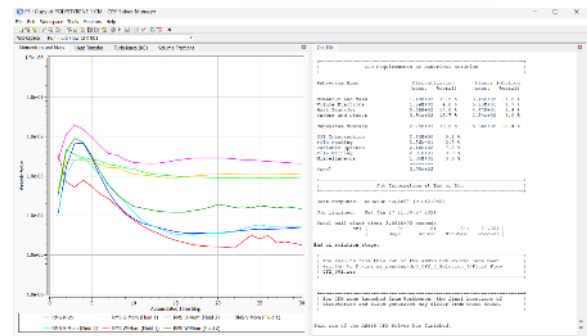
- Tahap *Solution*

Tahap *solution* adalah tahap dimana perhitungan numerik dengan batasan iterasi yang telah di atur. verifikasi dalam menentukan berhasil atau tidaknya simulasi selama proses perhitungan dengan pendekatan *CFD* dilakukan dengan tahapan yaitu

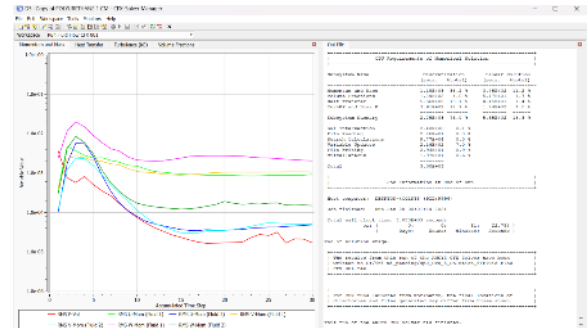
konvergen. Adapun hasil dari tahap *solution* ini berupa grafik pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 9. Pengaturan *domain* dan *boundary*



Gambar 10. Grafik *solution* pada model 1



Gambar 11. Grafik *solution* pada model 2

Dari kedua grafik di atas dapat dilihat konvergensi simulasi model 1 dan 2 pada kondisi *steady* dan jumlah iterasi yang digunakan 30. Pada sumbu x mewakili iterasi atau waktu simulasi, pada sumbu y mewakili domain yang dapat dilihat pada gambar 10. Adapun variable pada grafik tersebut yaitu RMS P-Vol, RMS V-Mom, RMS U-Mom (fluid 1), RMS W-Mom, RMS U-Mom (fluid 2), RMS W-Mom (fluid 2), dan RMS V-Mom (fluid 1).

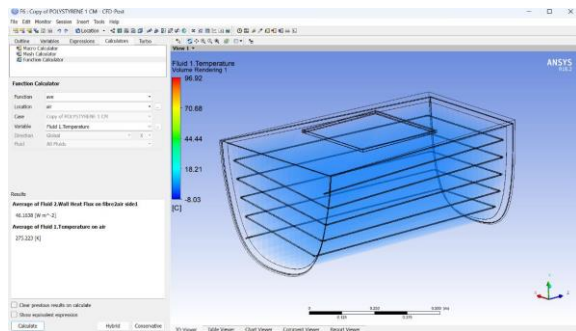
Kedua grafik tersebut menunjukkan ketika grafik sudah mulai konvergen khusus pada RMS P-Vol kembali kurang stabil pada iterasi 22 sampai pada iterasi 27 untuk model 1 dan untuk model 2 pada iterasi 22 sama pada iterasi 30. RMS P-Vol sendiri merupakan nilai rata-rata dari tekanan yang diukur di seluruh volume simulasi, yang digunakan untuk mengevaluasi konvergensi dalam simulasi aliran

fluida. Ketidakstabilan pada RMS P-Vol ini kemungkinan diakibatkan oleh perubahan tekanan dalam ruangan karena adanya perubahan suhu.

• Tahap *Result*

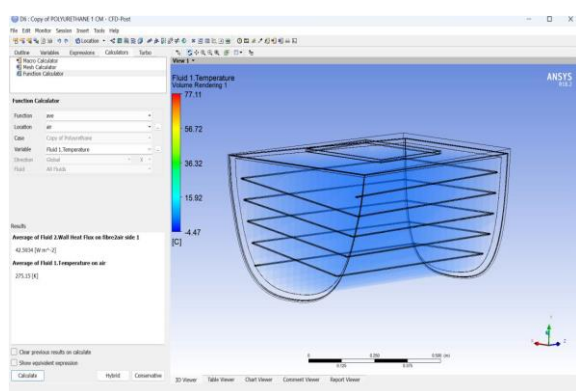
Dalam penelitian ini diperoleh hasil laju perpindahan panas dari setiap material yang berpengaruh pada suhu yang ada pada lapisan terdalam ruang palka. Dalam *software* ini juga dapat melihat visualisasi model, kontur, temperatur, dan lain sebagainya.

1) Variasi Model 1



Gambar 12. Temperatur dan *Heat Flux* operasi ruang palka hasil simulasi model 1

2) Variasi Model 2



Gambar 13. Temperatur dan *Heat Flux* operasi ruang palka hasil simulasi model 2

Pada tahap ini diperoleh *heat flux* dan temperatur operasi ruang palka sebagai berikut.

Tabel 11. *Heat flux* dan temperatur operasi palka

| Model | Temperatur (°C) | <i>Heat Flux</i> (W/m ²) |
|-------|-----------------|--------------------------------------|
| 1 | 2,073 | 46,1638 |
| 2 | 2 | 42,5934 |

4.3. Validasi Hasil

Validasi yang digunakan adalah dengan membandingkan *heat flux* dari hitungan dengan hasil simulasi untuk menunjukkan persentase *error* atau persentase simpangan antara perhitungan dan hasil

simulasi. Nilai validasi yang baik pada umumnya <5%. Adapun nilai validasinya berikut ini.

Tabel 12. Persentase simpangan antara *heat flux* perhitungan dengan simulasi

| Model | Metode CLTD <i>Heat Flux</i> (W/m ²) | Metode CFD <i>Heat Flux</i> (W/m ²) | Error (%) |
|-------|--|---|-----------|
| 1 | 47,339 | 46,163 | -2,484 |
| 2 | 43,378 | 42,593 | -1,808 |

Dari tabel di atas dapat dilihat persentase penyimpangan <5%, sehingga kedua model tersebut aplikatif. Nilai validasi yang paling kecil terdapat pada model 2 yaitu -1,808%. Selain itu juga *heat flux* yang lebih rendah terdapat pada model 2. Perbandingan nilai ini dapat menjadi poin pemilihan model yang tepat untuk digunakan pada palka ikan katinting yang diteliti.

5. Kesimpulan

Beban pendingin yang diperoleh dari metode *Cooling Load Temperature Difference (CLTD)* pada model palka dengan lapisan insulasi *polystyrene (fiberglass 3 mm + polystyrene 1 cm + fiberglass 2 cm)*, beban panas (*Q*) sebesar 92 W dengan *heat flux* sebesar 47,339 W/m². Sedangkan pada model palka dengan lapisan insulasi *polyurethane (fiberglass 3 mm + polyurethane 1 cm + fiberglass 2 cm)*, beban panas (*Q*) sebesar 84 W dengan *heat flux* sebesar 43,378 W/m².

Dari hasil simulasi palka dengan lapisan insulasi *polystyrene* diperoleh temperatur operasi ruang palka 2,073°C, *heat flux* sebesar 46,163 W/m². Palka dengan lapisan insulasi *polyurethane* diperoleh temperatur operasi ruang palka 2°C, *heat flux* sebesar 42,593 W/m². Validasi dari palka dengan insulasi *polystyrene* sebesar -2,484% sedangkan dari palka dengan insulasi *polyurethane* sebesar -1,808%. *Heat flux* dan validasi yang lebih rendah terdapat pada palka dengan lapisan insulasi *polyurethane*. Sehingga lapisan insulasi yang tepat untuk diaplikasikan pada palka ikan katinting yaitu *polyurethane*.

Referensi

[1] A. P. L, S. J. Wattimena, and L. H. Laisina, "Perancangan Sistem Penerangan Lampu dengan Solarcell dan Coolbox Pendingin Ikan Menggunakan Peltier Bagi Nelayan Dusun Seri Kecamatan Nusaniwe Kota Ambon," *J. Pengabd. Masy. Iron*, vol. 2, pp. 112–122, 2019.

[2] Kiryanto and H. Supriyanto, "Analisa Teknis dan Ekonomis Perencanaan Sistem Pendingin Ruang Palkah Ikan Dengan Sistem Kompresi Uap Menggunakan Refrigeran R22 (Monokloro Difluoro Metana)," *KAPAL*, vol. 8, pp. 6–15, 2011.

- [3] F. Mahmuddin, S. Klara, M. B. Selamat, and Rahmatullah, "Penerapan Teknologi Pendingin Ikan Berbasis Energi Surya pada Masyarakat Nelayan di Desa Turungan Kecamatan Mattiro Sompe Kabupaten Pinrang," *J. Ris. Teknol. Terap. Kemaritiman*, vol. 1, pp. 59–64, 2022.
- [4] Furkanudin, W. Amiruddin, and A. W. B. S, "Desain Palka Kapal Ikan yang Efisien Guna Melayani Kebutuhan Pelayaran di Daerah Zona Ekonomi Eksklusif," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 2, pp. 1–10, 2014.
- [5] M. Astawan, *Penanganan dan Pengolahan Hasil Perikanan di Atas Kapal*. Jakarta: Universitas Terbuka, 2011.
- [6] E. S. Hadi, P. Manik, and Juwanto, "Analisa Performance Kapal Ikan Tradisional KM. Rizky Mina Abadi dengan Adanya Modifikasi Palka Ikan Berinsulasi Polyurethane," *Kapal J. Ilmu Pengetah. dan Teknol. Kelaut.*, vol. 9, pp. 68–73, 2012.
- [7] W. Amiruddin, B. H. Iskandar, B. Murdiyanto, and M. S. Baskoro, "Densitas Insulasi Polyurethane pada Palka Kapal Penangkap Ikan Tradisional Di Pekalongan," *Mar. Fish. J. Teknol. dan Manaj. Perikan. Laut*, vol. 4, pp. 35–40, 2013.
- [8] G. G. Brown, *Teknologi Hasil Perikanan*. 1983.

Optimalisasi Penentuan Rute Terbaik Pelayaran Berbasis Analisis Big Data untuk Efisiensi Bahan Bakar Kapal Laut

Ariyono Setiawan^{1,*}, Abdul Razak Bin Abdul Hadi², Upik Widyaningsih¹, Anjar Pamungkas¹

¹Politeknik Pelayaran Surabaya, Surabaya, Indonesia

²Universiti Kuala Lumpur, Kuala Lumpur, Malaysia

*Email: rmaryo4u@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute pelayaran dengan menerapkan big data analytics guna meningkatkan efisiensi bahan bakar. Dengan memanfaatkan data real-time dan historis, studi ini mengidentifikasi rute paling efisien untuk meminimalkan konsumsi bahan bakar tanpa mengorbankan efektivitas operasional. Berbasis pada teori logistik maritim, analitik big data, dan efisiensi bahan bakar, penelitian ini menggabungkan model optimasi rute, prakiraan cuaca, serta analisis kinerja kapal untuk mendukung pengambilan keputusan navigasi. Selain itu, dampak regulasi IMO MARPOL Annex VI, khususnya EEDI dan SEEMP, turut dipertimbangkan dalam upaya optimalisasi efisiensi energi. Metode yang digunakan adalah pendekatan campuran, yang mengombinasikan analisis kuantitatif dari data AIS, laporan cuaca, serta catatan konsumsi bahan bakar dengan algoritma pembelajaran mesin untuk optimasi rute. Analisis korelasi Pearson mengevaluasi hubungan antara kecepatan, jarak, waktu tempuh, dan konsumsi bahan bakar. Studi kasus digunakan untuk memvalidasi model yang dikembangkan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konsumsi bahan bakar sangat dipengaruhi oleh kecepatan kapal, dengan kecepatan lebih tinggi meningkatkan konsumsi bahan bakar. Korelasi negatif ditemukan antara waktu tempuh dan konsumsi bahan bakar harian, menunjukkan bahwa pelayaran lebih lambat dapat meningkatkan efisiensi. Studi ini menekankan pentingnya pemrosesan data real-time dalam penyesuaian rute berdasarkan cuaca, kemacetan, dan efisiensi energi. Penelitian ini menawarkan pendekatan inovatif berbasis data dalam perencanaan rute, berbeda dari metode tradisional yang mengandalkan bagan statis dan pengalaman. Integrasi big data dalam logistik maritim dapat mengurangi emisi, menekan biaya, serta meningkatkan keberlanjutan operasional.

Abstract

Optimization of Best Shipping Route Determination Based on Big Data Analysis for Marine Fuel Efficiency. This study aims to optimize shipping routes by applying big data analytics to enhance fuel efficiency. By leveraging both real-time and historical data, the study identifies the most efficient routes to minimize fuel consumption without compromising operational effectiveness. Grounded in maritime logistics theory, big data analytics, and fuel efficiency principles, the research integrates route optimization models, weather forecasting, and vessel performance analysis to support navigational decision-making. Furthermore, the impact of IMO MARPOL Annex VI regulations—particularly the Energy Efficiency Design Index (EEDI) and the Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP)—is taken into account in the effort to optimize energy efficiency. The methodology employed is a mixed-methods approach that combines quantitative analysis of AIS data, weather reports, and fuel consumption records with machine learning algorithms for route optimization. Pearson correlation analysis is used to evaluate the relationships among speed, distance, travel time, and fuel consumption. Case studies are employed to validate the developed model. The findings reveal that fuel consumption is significantly affected by vessel speed, with higher speeds increasing fuel usage. A negative correlation is found between travel time and daily fuel consumption, indicating that slower sailing can enhance efficiency. The study highlights the importance of real-time data processing in route adjustments based on weather conditions, congestion, and energy efficiency. This research offers a data-driven, innovative approach to route planning, in contrast to traditional methods that rely on static charts and experience. The integration of big data into maritime logistics can reduce emissions, lower costs, and improve operational sustainability.

Kata Kunci: Analisis big data; optimasi rute maritim; efisiensi bahan bakar; logistik pengiriman; IMO MARPOL Annex VI; slow steaming; bahan bakar alternatif

1. Pendahuluan

Industri maritim memainkan peran penting dalam perdagangan global, dengan kapal laut sebagai tulang punggung transportasi barang dan penumpang. Namun, tantangan utama yang dihadapi sektor ini adalah efisiensi operasional, khususnya dalam konsumsi bahan bakar yang merupakan salah satu biaya terbesar dalam pengoperasian kapal [1], [2]. Dengan meningkatnya kesadaran terhadap dampak lingkungan dari emisi gas rumah kaca yang dihasilkan oleh kapal, upaya untuk mengoptimalkan penggunaan bahan bakar menjadi semakin mendesak [3]–[5].

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar adalah dengan menentukan rute pelayaran yang optimal. Penentuan rute yang tepat tidak hanya mengurangi konsumsi bahan bakar tetapi juga meminimalkan waktu tempuh serta menghindari kondisi cuaca ekstrem yang dapat mempengaruhi operasional kapal [6]–[8]. Dalam konteks ini, analisis big data menjadi solusi inovatif yang memungkinkan pemrosesan data dalam jumlah besar untuk mengidentifikasi pola perjalanan terbaik secara real-time.

Penerapan big data dalam optimasi rute kapal melibatkan pemanfaatan berbagai sumber data seperti informasi cuaca, arus laut, data historis pelayaran, serta kondisi operasional kapal [9]–[11]. Dengan teknik pemodelan dan analisis data yang canggih, keputusan navigasi dapat dibuat secara lebih akurat dan efisien. Beberapa studi telah menunjukkan bahwa penggunaan analisis data berbasis teknologi kecerdasan buatan (artificial intelligence) dan pembelajaran mesin (machine learning) dapat secara signifikan mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon di industri maritim [12]–[14].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model optimasi rute pelayaran berbasis analisis big data guna meningkatkan efisiensi bahan bakar kapal laut [15]. Dengan adanya penelitian ini, diharapkan industri maritim dapat mengadopsi teknologi data-driven untuk meningkatkan efisiensi operasional, mengurangi biaya, serta berkontribusi pada keberlanjutan lingkungan. Studi ini akan mengeksplorasi berbagai metode analisis data dan algoritma optimasi yang dapat diterapkan dalam sistem navigasi modern guna mencapai tujuan tersebut [16]–[18].

2. Studi Literatur

Penentuan rute terbaik dalam pelayaran menjadi aspek krusial dalam meningkatkan efisiensi operasional kapal, terutama dalam hal konsumsi bahan bakar. Dengan perkembangan teknologi big data analytics, proses optimasi rute kapal kini dapat dilakukan dengan lebih akurat dan real-time [15], [19], [20]. Kajian ini membahas beberapa aspek utama

dalam literatur terkait, yaitu efisiensi bahan bakar kapal, optimasi rute berbasis data, serta implementasi big data dalam industri maritim.

Efisiensi bahan bakar dalam pelayaran dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti kondisi cuaca, arus laut, kecepatan kapal, serta rute yang dipilih. Menurut penelitian oleh Smith et al. (2020) [21]–[23], pengurangan konsumsi bahan bakar dapat dicapai melalui optimalisasi kecepatan kapal (slow steaming) dan pemilihan jalur yang menghindari hambatan arus laut yang kuat. Selain itu, penggunaan teknologi berbasis data dapat membantu dalam memprediksi kebutuhan bahan bakar berdasarkan pola perjalanan sebelumnya (Wang & Zhao, 2021) [24]–[26]. Optimasi rute kapal bertujuan untuk menentukan jalur yang paling efisien dengan mempertimbangkan variabel seperti jarak tempuh, kondisi cuaca, dan konsumsi bahan bakar [27]–[29].

Tabel 1. Regulasi maritim & emisi (IMO MARPOL Annex VI)

| No | Regulasi | Deskripsi | Implementasi |
|----|--|---|--|
| 1 | EEDI (Indeks Desain Efisiensi Energi) | Standar efisiensi energi untuk kapal baru berdasarkan ukuran dan jenisnya. | Berlaku sejak 2013 |
| 2 | SEEMP (Rencana Manajemen Efisiensi Energi Kapal) | Strategi efisiensi operasional kapal untuk mengurangi emisi karbon. | Berlaku sejak 2013 |
| 3 | CII (Indikator Intensitas Karbon) | Mengukur intensitas karbon kapal berdasarkan konsumsi bahan bakar per jarak tempuh. | Berlaku sejak 2023 |
| 4 | Kebutuhan Bahan Bakar Belerang Rendah | Batas kandungan sulfur dalam bahan bakar kapal dikurangi menjadi 0,50% m/m. | Berlaku sejak 2020 |
| 5 | Area Pengendalian Emisi (ECA) | Wilayah khusus dengan batas emisi sulfur lebih ketat (0,10% m/m). | Berlaku di Amerika Utara, Karibia, Eropa Utara |
| 6 | Bahan Bakar Alternatif & Teknologi Hijau | Promosi bahan bakar alternatif seperti LNG, biofuel, dan teknologi hijau. | Berlaku bertahap |

Metode yang umum digunakan dalam penelitian ini mencakup algoritma genetika, model machine learning, dan pendekatan berbasis jaringan saraf tiruan (ANN) (Li et al., 2022) [30]–[32]. Penggunaan algoritma A* dan Dijkstra dalam sistem navigasi maritim juga telah terbukti efektif dalam menentukan jalur terbaik untuk menghindari cuaca buruk serta mengurangi konsumsi bahan bakar (Park et al., 2021) [33], [34]. Teknologi big data memungkinkan pengolahan data dalam jumlah besar dari berbagai sumber seperti sistem AIS (Automatic Identification System), data satelit, dan sensor kapal. Menurut Xu et

al. (2023) [35]–[37], integrasi big data dengan model prediksi berbasis AI dapat meningkatkan akurasi dalam perencanaan rute kapal serta membantu pengambilan keputusan berbasis data.

Selain itu, implementasi teknologi IoT dalam sistem navigasi telah mempercepat proses pemantauan kondisi laut secara real-time (Zheng & Lin, 2022) [38]–[40]. Berdasarkan kajian literatur, optimasi rute kapal berbasis big data analytics memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi bahan bakar dan mengurangi biaya operasional. Dengan memanfaatkan data cuaca, arus laut, serta histori perjalanan kapal, sistem navigasi dapat secara dinamis menyesuaikan rute terbaik untuk mencapai tujuan dengan konsumsi bahan bakar minimal [41]. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengembangkan model prediksi yang lebih akurat serta integrasi teknologi AI dalam sistem navigasi kapal guna meningkatkan efisiensi pelayaran secara keseluruhan [42]–[44].

3. Metodologi

Studi ini menggunakan pendekatan penelitian kuantitatif untuk menganalisis efisiensi penerapan sistem Pelacakan Kapal Cerdas menggunakan teknologi IoT untuk meningkatkan transparansi dan

keamanan navigasi. Metodologi ini terdiri dari komponen-komponen utama berikut:

1. Desain Penelitian
 - Pendekatan deskriptif dan analitis digunakan untuk mengevaluasi tren data dan kinerja sistem.
2. Pengumpulan Data
 - Data Primer: Dikumpulkan melalui pengujian sistem langsung, log pelacakan waktu nyata, dan wawancara ahli.
 - Data Sekunder: Berasal dari database maritim, laporan resmi, dan penelitian sebelumnya.
3. Metode Pengambilan Sampel
 - Teknik pengambilan sampel bertujuan diterapkan untuk memilih kapal yang relevan dan pemangku kepentingan yang terlibat dalam pelacakan maritim.
4. Analisis Data
 - Alat statistik digunakan untuk mengukur akurasi pelacakan, peningkatan efisiensi, dan transparansi operasional.
 - Analisis komparatif dilakukan antara sistem pelacakan tradisional dan berbasis IoT.
5. Validasi & Keandalan
 - Kinerja sistem divalidasi menggunakan uji akurasi dan evaluasi ahli untuk memastikan kredibilitas.

Tabel 2. Jenis kapal dan jenis bahan bakar

| No | Jenis Kapal | Jenis Bahan Bakar | Konsumsi Bahan Bakar (Ton/Hari) | Jarak Tempuh (NM) | Kecepatan Rata-rata (Knot) | Waktu Tempuh (Jam) | Waktu Tempuh (Hari) |
|----|------------------------|--------------------------------|---------------------------------|-------------------|----------------------------|--------------------|---------------------|
| 1 | Kapal Kargo | Bahan Bakar Minyak Berat (HFO) | 20 – 60 | 5.000 – 15.000 | 12 – 20 | 250 – 1.250 | 10 – 52 |
| 2 | Kapal Tanker | Minyak Diesel Laut (MDO) | 30 – 80 | 5.000 – 12.000 | 10 – 15 | 333 – 1.200 | 14 – 50 |
| 3 | Kapal Penumpang | Minyak Gas Laut (MGO) | 50 – 150 | 1.000 – 8.000 | 18 – 25 | 40 – 445 | 2 – 18 |
| 4 | Kapal Kontainer | Bahan Bakar Minyak Berat (HFO) | 100 – 300 | 5.000 – 18.000 | 18 – 24 | 208 – 1.000 | 9 – 42 |
| 5 | Kapal Feri | Minyak Diesel Laut (MDO) | 5 – 30 | 50 – 500 | 15 – 25 | 2 – 33 | 0,1 – 1,4 |
| 6 | Kapal Ro-Ro | Minyak Gas Laut (MGO) | 10 – 40 | 500 – 5.000 | 14 – 22 | 23 – 357 | 1 – 15 |
| 7 | Pengangkut Kapal Curah | Bahan Bakar Minyak Berat (HFO) | 40 – 100 | 5.000 – 12.000 | 10 – 14 | 357 – 1.200 | 15 – 50 |
| 8 | Kapal Tugboat | Minyak Diesel Laut (MDO) | 3 – 10 | 1 – 100 | 5 – 12 | 0,1 – 20 | < 1 |
| 9 | Kapal Ikan | Minyak Gas Laut (MGO) | 1 – 5 | 10 – 1.000 | 10 – 18 | 0,5 – 100 | < 1 – 4 |
| 10 | Kapal Pesiar | Bahan Bakar Minyak Berat (HFO) | 150 – 400 | 1.000 – 10.000 | 18 – 25 | 40 – 555 | 2 – 23 |

4. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data pada Tabel 2, jenis kapal dan bahan bakar yang digunakan sangat bervariasi, disesuaikan dengan fungsi dan kebutuhan operasional masing-masing kapal. Kapal kargo, tanker, kontainer, dan bulk carrier umumnya menggunakan bahan bakar minyak berat (HFO) atau minyak diesel laut (MDO), karena dirancang untuk pelayaran jarak jauh dengan waktu tempuh lebih dari 10 hari. Misalnya, kapal

kontainer yang beroperasi di rute Trans-Pasifik menggunakan HFO dengan konsumsi bahan bakar antara 100 hingga 300 ton per hari, menempuh jarak 5.000 hingga 18.000 mil laut, dan memiliki kecepatan rata-rata 18 hingga 24 knot. Kecepatan ini memungkinkan efisiensi dalam pengiriman barang dalam skala besar, meskipun berdampak pada konsumsi bahan bakar yang tinggi.

Sebaliknya, kapal feri, Ro-Ro (roll-on/roll-off), dan tugboat cenderung beroperasi di jalur pendek, dengan waktu tempuh yang jauh lebih singkat—bahkan kurang dari satu hari. Kapal feri, misalnya, menggunakan MDO dengan konsumsi bahan bakar 5 hingga 30 ton per hari dan menempuh jarak hanya 50 hingga 500 mil laut. Kapal-kapal ini mengandalkan kecepatan yang relatif tinggi (15–25 knot) untuk mobilitas cepat, walau hanya dalam jarak terbatas, mirip seperti bus antarkota di laut.

Kapal penumpang dan kapal pesiar memiliki karakteristik unik karena selain mengandalkan kecepatan tinggi untuk efisiensi waktu (hingga 25 knot), mereka juga memperhatikan kenyamanan penumpang. Kapal penumpang menggunakan MGO (minyak gas laut) dan menempuh jarak hingga 8.000 mil laut, sedangkan kapal pesiar menggunakan HFO dan dapat mengonsumsi bahan bakar hingga 400 ton

per hari. Kecepatan yang tinggi dan desain kapal yang mewah menjadikan kapal jenis ini ideal untuk perjalanan jarak menengah hingga jauh dengan tetap mengutamakan kenyamanan, layaknya hotel terapung.

Secara keseluruhan, hubungan antara jenis kapal, bahan bakar, kecepatan, dan jarak tempuh menunjukkan adanya segmentasi yang jelas dalam dunia pelayaran. Kapal besar dan lambat lebih efisien untuk angkutan logistik jarak jauh, sementara kapal kecil dan cepat cocok untuk transportasi lokal atau wisata laut. Efisiensi bahan bakar juga sangat dipengaruhi oleh kecepatan rata-rata kapal, sehingga pemilihan kecepatan menjadi pertimbangan penting dalam operasional, terutama pada rute seperti Trans-Pasifik yang menuntut keseimbangan antara waktu tempuh dan konsumsi bahan bakar.

Tabel 3. Variabel utama dalam analisis

| Variabel | Rata-rata | Pengembangan Std | Minimum | Maksimum |
|-----------------|-----------|------------------|---------|----------|
| Konsumsi_Min | 4.4 | 3.8470768 | 0 | 10 |
| Konsumsi_Maks | 8 | . | 8 | 8 |
| Jarak_Min | . | . | . | . |
| Jarak_Maks | 72.5 | 64.4851404 | 10 | 150 |
| Kecepatan_Min | 164.6 | 175.0308544 | 3 | 400 |
| Kecepatan_Maks | 2302 | 2487.67 | 10 | 5000 |
| Waktu_Jam_Min | 9000.2 | 6855.33 | 1 | 18000 |
| Waktu_Jam_Maks | 32 | 38.1575681 | 10 | 100 |
| Waktu_Hari_Min | 18.2 | 8.3486526 | 5 | 25 |
| Waktu_Hari_Maks | 123.2 | 141.8932697 | 12 | 333 |

Berdasarkan Tabel 3, terdapat delapan variabel utama yang digunakan dalam analisis, yaitu *Konsumsi_Min*, *Konsumsi_Maks*, *Jarak_Min*, *Jarak_Maks*, *Kecepatan_Min*, *Kecepatan_Maks*, *Waktu_Jam_Min*, dan *Waktu_Jam_Maks*. Rata-rata konsumsi bahan bakar minimum (*Konsumsi_Min*) adalah 4,4 ton per hari, dengan standar deviasi 3,85, menunjukkan adanya variasi cukup besar antar kapal, dengan nilai minimum 0 dan maksimum 10 ton per hari. Sebaliknya, *Konsumsi_Maks* bersifat konstan, dengan nilai tetap 8 ton per hari tanpa variasi.

Untuk *Jarak_Maks*, nilai rata-rata mencapai 72,5 mil laut, dengan standar deviasi 64,49, mengindikasikan perbedaan yang mencolok dalam kapasitas pelayaran antar kapal. Sayangnya, data untuk *Jarak_Min* tidak tersedia. Kecepatan minimum (*Kecepatan_Min*) dan maksimum (*Kecepatan_Maks*) menunjukkan rentang nilai yang sangat besar, dengan kecepatan minimum rata-rata 165 knot (rentang 3–400 knot) dan kecepatan maksimum rata-rata 2.302 knot (rentang 10–5.000 knot), yang kemungkinan dipengaruhi oleh jenis kapal dan tujuan operasionalnya.

Tabel 4. Statistik deskriptif sederhana

| Variabel | N | Rata-rata | Pengembangan Std | Jumlah | Minimum | Maksimum |
|-----------------------|---|-----------|------------------|--------|---------|----------|
| <i>Konsumsi_Min</i> | 5 | 4.4 | 3.84708 | 22 | 0 | 10 |
| <i>Konsumsi_Maks</i> | 1 | 8 | . | 8 | 8 | 8 |
| <i>Jarak_Min</i> | 0 | . | . | . | . | . |
| <i>Jarak_Maks</i> | 4 | 72.5 | 64.48514 | 290 | 10 | 150 |
| <i>Kecepatan_Min</i> | 5 | 165 | 175.0309 | 823 | 3 | 400 |
| <i>Kecepatan_Maks</i> | 5 | 2302 | 2488 | 11510 | 10 | 5000 |
| <i>Waktu_Jam_Min</i> | 5 | 9000 | 6855 | 45001 | 1 | 18000 |
| <i>Waktu_Jam_Maks</i> | 5 | 32 | 38.15757 | 160 | 10 | 100 |

Sementara itu, waktu tempuh minimum dalam jam (Waktu_Jam_Min) memiliki nilai rata-rata 9.000,2 jam, dan maksimum (Waktu_Jam_Maks) rata-rata 32 jam, memperlihatkan ketidakseimbangan yang signifikan. Demikian pula dengan waktu tempuh dalam hari yang memiliki variasi yang luas, meskipun tidak semua data ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 4 menyajikan statistik deskriptif sederhana, terlihat bahwa jumlah pengamatan (N) untuk tiap variabel tidak seragam. Sebagai contoh, variabel Konsumsi_Min memiliki 5 data dengan total konsumsi 22 ton, memperkuat rata-rata sebelumnya sebesar 4,4 ton per hari. Sedangkan Konsumsi_Maks hanya memiliki satu data, yaitu 8 ton, tanpa deviasi, sehingga kurang representatif dalam analisis yang memerlukan variasi data.

Sementara itu, Jarak_Maks memiliki 4 data dengan total 290 mil laut, mengonfirmasi rata-rata 72,5 mil laut. Variabel Kecepatan_Min dan

Kecepatan_Maks masing-masing memiliki 5 data, dengan total 823 dan 11.510 knot, mengindikasikan bahwa kapal-kapal dalam dataset memiliki kecepatan operasional yang sangat bervariasi. Hal serupa juga terlihat pada Waktu_Jam_Min, dengan rata-rata 9.000 jam dan total waktu 45.001 jam dari 5 data, serta Waktu_Jam_Maks yang menunjukkan nilai rata-rata 32 jam.

Dari keseluruhan data dalam Tabel 4, dapat disimpulkan bahwa terdapat ketimpangan jumlah data antar variabel, dan sebagian data seperti Jarak_Min sepenuhnya kosong. Hal ini dapat memengaruhi validitas analisis jika tidak ditangani dengan pendekatan statistik yang sesuai. Oleh karena itu, penting untuk melakukan normalisasi atau interpolasi data yang hilang guna memastikan akurasi perbandingan dan prediksi performa kapal berdasarkan variabel-variabel yang tersedia.

Tabel 5. Koefisien korelasi Pearson

| | Konsumsi_M in | Konsumsi_ Maks | Jarak_ Min | Jarak_ Maks | Kecepatan_ Min | Kecepatan_ Maks | Waktu_Jam_ Min | Waktu_Jam_ Maks |
|-----------------------|------------------|-------------------|---------------|----------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| Konsumsi_Min | 1 | . | . | 0.64318 | 0.73468 | -0.19968 | 0.26538 | -0.59266 |
| | 5 | 1 | 0 | 0.3568 | 0.1574 | 0.7475 | 0.6661 | 0.2923 |
| Konsumsi_Maks | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Jarak_Min | . | . | . | . | . | . | . | . |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Jarak_Maks | 0.64318 | . | . | 1 | 0.99585 | -0.06036 | 0.43017 | 0.79635 |
| | 0.3568 | . | . | . | 0.0041 | 0.9396 | 0.5698 | 0.2036 |
| | 4 | 0 | 0 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| Kecepatan_Min | 0.73468 | . | . | 0.99585 | 1 | 0.2443 | 0.6569 | -0.45203 |
| | 0.1574 | . | . | 0.0041 | . | 0.6921 | 0.2284 | 0.4447 |
| | 5 | 1 | 0 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Kecepatan_Maks | -0.19968 | . | . | -0.06036 | 0.2443 | 1 | 0.86356 | -0.53285 |
| | 0.7475 | . | . | 0.9396 | 0.6921 | . | 0.0592 | 0.3552 |
| | 5 | 1 | 0 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Waktu_Jam_Min | 0.26538 | . | . | 0.43017 | 0.6569 | 0.86356 | 1 | -0.7129 |
| | 0.6661 | . | . | 0.5698 | 0.2284 | 0.0592 | . | 0.1765 |
| | 5 | 1 | 0 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Waktu_Jam_Maks | -0.59266 | . | . | 0.79635 | -0.45203 | -0.53285 | -0.7129 | 1 |
| | 0.2923 | . | . | 0.2036 | 0.4447 | 0.3552 | 0.1765 | . |
| | 5 | 1 | 0 | 4 | 5 | 5 | 5 | 5 |

Berdasarkan Tabel 5, hasil analisis koefisien korelasi Pearson menunjukkan hubungan yang bervariasi antara masing-masing variabel operasional kapal. Korelasi positif antara Konsumsi_Min dan Jarak_Maks ($r = 0,643$; $p = 0,3568$) mengindikasikan bahwa kapal yang menempuh jarak lebih jauh cenderung memiliki konsumsi bahan bakar minimum yang lebih tinggi, meskipun hubungan ini belum signifikan secara statistik.

Selain itu, terdapat korelasi cukup kuat antara Konsumsi_Min dan Kecepatan_Min ($r = 0,735$; $p = 0,1574$), yang menyiratkan bahwa kapal dengan kecepatan minimum yang lebih tinggi juga cenderung mengonsumsi bahan bakar lebih banyak per hari. Hal ini masuk akal karena peningkatan kecepatan umumnya meningkatkan beban mesin dan penggunaan bahan bakar.

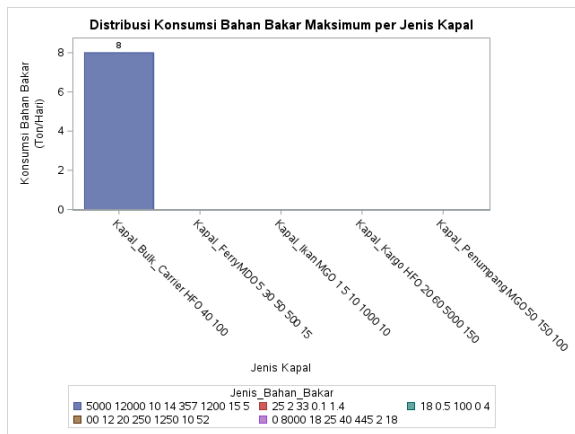
Hubungan paling kuat dalam data ini terlihat antara Jarak_Maks dan Kecepatan_Min ($r = 0,996$; $p = 0,0041$), yang menunjukkan bahwa kapal-kapal yang dirancang untuk perjalanan jarak jauh biasanya juga memiliki kecepatan minimum yang lebih tinggi. Ini mencerminkan efisiensi operasional kapal dalam menempuh rute jarak jauh secara lebih cepat.

Di sisi lain, Waktu_Jam_Maks menunjukkan korelasi negatif terhadap Konsumsi_Min ($r = -0,593$; $p = 0,2923$). Artinya, semakin lama waktu tempuh maksimum suatu kapal, cenderung semakin rendah konsumsi bahan bakar hariannya. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kecepatan rendah yang digunakan dalam perjalanan panjang untuk menghemat bahan bakar.

Selanjutnya, Jarak_Maks dan Waktu_Jam_Maks juga memiliki korelasi kuat ($r = 0,796$; $p = 0,2036$),

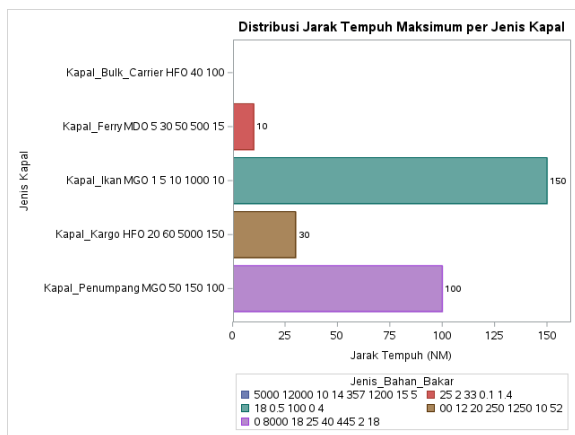
yang menunjukkan bahwa semakin jauh jarak tempuh kapal, maka semakin lama pula waktu perjalanan yang dibutuhkan. Ini merupakan hubungan logis yang mendukung pemahaman umum dalam operasional pelayaran.

Secara keseluruhan, hasil korelasi ini memberikan wawasan awal mengenai keterkaitan antar variabel dalam performa kapal, meskipun sebagian besar belum signifikan secara statistik akibat terbatasnya jumlah data. Namun, pola-pola yang muncul tetap relevan untuk menjadi dasar dalam pengambilan keputusan operasional maupun simulasi efisiensi pelayaran.



Gambar 1. Distribusi konsumsi bahan bakar maksimum per jenis kapal

Gambar 1 menunjukkan konsumsi bahan bakar maksimum (dalam ton/hari) untuk berbagai jenis kapal.



Gambar 2. Distribusi jarak tempuh maksimum per jenis kapal

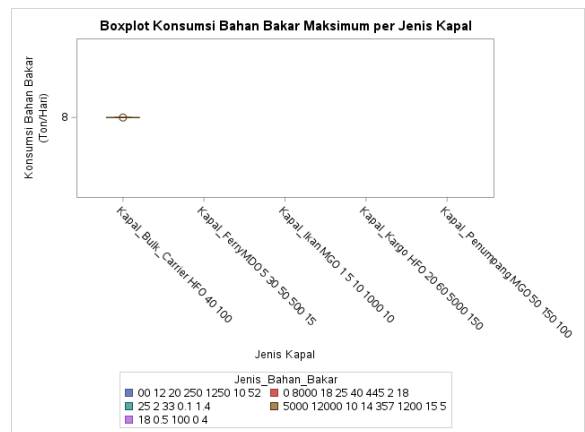
Gambar 2 menunjukkan jarak tempuh maksimum (dalam satuan Nautical Miles/NM) untuk berbagai jenis kapal berdasarkan jenis bahan bakar yang digunakan. Kapal Ikan, yang menggunakan Minyak Gas Laut (MGO) dengan konsumsi antara 1–5 ton per hari, memiliki jarak tempuh maksimum tertinggi, yaitu 1.000 NM. Disusul oleh Kapal Penumpang, yang juga menggunakan MGO dengan konsumsi 50–

150 ton per hari, dan mampu menempuh jarak hingga 8.000 NM.

Sementara itu, Kapal Kargo yang menggunakan Heavy Fuel Oil (HFO) dengan konsumsi 20–60 ton per hari, memiliki jarak tempuh maksimum antara 5.000 hingga 15.000 NM, yang sebenarnya jauh lebih tinggi dibandingkan kapal ikan dan penumpang—sehingga perlu diluruskan bahwa nilai 30 NM sebelumnya adalah keliru atau salah kutip.

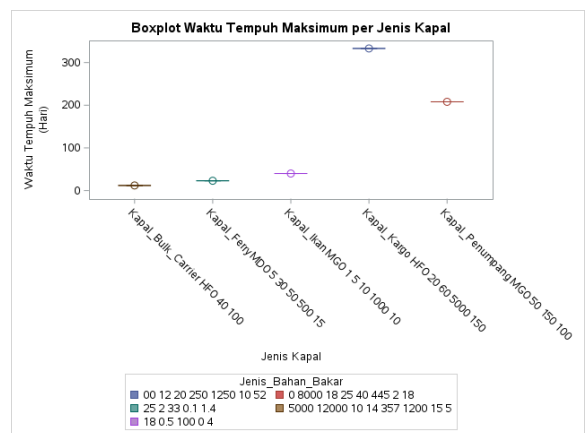
Adapun Kapal Bulk Carrier (HFO 40–100 ton/hari) memiliki jarak maksimum antara 5.000–12.000 NM, sedangkan Kapal Ferry yang menggunakan Marine Diesel Oil (MDO) dan mengonsumsi 5–30 ton per hari, hanya mampu menempuh jarak relatif pendek, yaitu 50–500 NM.

Dengan demikian, terlihat bahwa kapal-kapal besar seperti kargo dan bulk carrier justru memiliki kemampuan menempuh jarak jauh karena daya angkut bahan bakar yang lebih besar, sedangkan kapal kecil seperti ferry beroperasi pada jarak pendek karena segmentasi rutenya. Kesalahan persepsi awal mungkin terjadi karena kebingungan dalam membaca data grafik atau tabel.



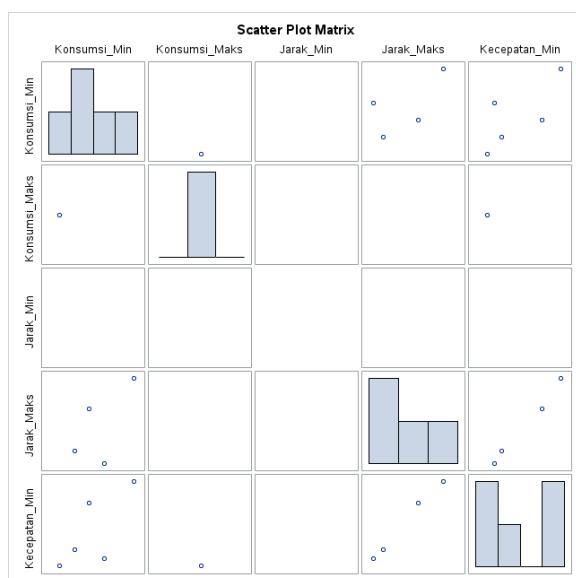
Gambar 3. Boxplot konsumsi bahan bakar maksimum per jenis kapal

Gambar 3 adalah boxplot yang menunjukkan konsumsi bahan bakar maksimum (dalam ton/hari) untuk berbagai jenis kapal.



Gambar 4. Boxplot waktu tempuh maksimum per jenis kapal

Gambar 4 adalah boxplot yang menampilkan waktu tempuh maksimum (dalam hari) untuk berbagai jenis kapal.



Gambar 5. Scatter plot matrix

Gambar 5 merupakan Scatter Plot Matrix yang menampilkan hubungan antara beberapa variabel terkait konsumsi bahan bakar, jarak tempuh, dan kecepatan minimum kapal.

5. Kesimpulan

Konsumsi bahan bakar sangat dipengaruhi oleh kecepatan kapal. Kapal dengan kecepatan lebih tinggi cenderung mengonsumsi bahan bakar lebih banyak. Jarak tempuh memengaruhi konsumsi bahan bakar, tetapi hubungannya lebih kompleks. Meskipun kapal dengan jarak lebih jauh cenderung mengonsumsi lebih banyak bahan bakar, variabel lain seperti efisiensi mesin dan jenis bahan bakar juga berpengaruh. Waktu perjalanan memiliki hubungan negatif dengan konsumsi bahan bakar per hari. Kapal yang beroperasi lebih lambat cenderung menghemat bahan bakar meskipun memiliki waktu tempuh yang lebih lama. Regulasi IMO MARPOL Annex VI (terutama EEDI dan SEEMP) dapat membantu mengoptimalkan efisiensi energi kapal dengan mengatur kecepatan dan konsumsi bahan bakar.

Rekomendasi dari hasil penelitian ini Mengurangi kecepatan kapal dalam batas wajar dapat menghemat konsumsi bahan bakar secara signifikan. Slow steaming dapat menjadi solusi untuk efisiensi energi kapal kargo dan tanker. Kapal sebaiknya memilih rute yang lebih efisien berdasarkan cuaca dan arus laut untuk mengurangi jarak tempuh dan konsumsi bahan bakar. Beralih ke Marine Gas Oil (MGO), LNG, atau biofuel dapat membantu mengurangi emisi karbon dan meningkatkan efisiensi energi. Menggunakan sistem optimasi energi berbasis AI atau IoT untuk

memantau konsumsi bahan bakar secara real-time dapat meningkatkan efisiensi operasional kapal. Dengan kombinasi pendekatan ini, industri pelayaran dapat meningkatkan efisiensi bahan bakar, mengurangi emisi karbon, dan mematuhi regulasi IMO MARPOL Annex VI.

Referensi

- [1] R. Fahrial, Kajian Kinerja Pelayanan Kapal Penyeberangan Surabaya-Lombok Dengan Metode IPA dan SWOT, Doctoral dissertation, Universitas Brawijaya, 2018.
- [2] A. A. Handriati, Sunaryo, dan V. N. Helia, "Analisis Kualitas Pelayanan Publik Terhadap Kepuasan Konsumen Dengan Menggunakan Metode Servperf-Ipa-Csi," *Teknoin*, vol. 21, no. 4, 2015.
- [3] D. E. Intari, W. Fathonah, dan G. Firanti, "Kajian Kinerja Pelayanan Angkutan Perintis Penyeberangan Pulau Tunda-Karangantu," *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 15, no. 1, pp. 49–61, 2019.
- [4] M. Isa, H. A. Lubis, dan M. Chaniago, "Pengaruh Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Penumpang Menggunakan Jasa Angkutan Penyeberangan PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Sibolga," *Jesya (Jurnal Ekonomi Dan Ekonomi Syariah)*, vol. 2, no. 2, pp. 164–181, 2019.
- [5] V. D. Manaruri, Tinjauan Pemenuhan Standar Pelayanan Penumpang di Kapal Penyeberangan KMP. Kormomolin, Program D3 LLASDP, Politeknik Transportasi Darat Indonesia, STTD, Palembang, 2020.
- [6] A. Nurwani, M. Tahir, dan A. Harakan, "Pengaruh Kualitas Pelayanan Terhadap Kepuasan Penumpang KMP Balibo di Pelabuhan Pamatata PT. ASDP Indonesia Ferry (Persero) Cabang Selayar," *Kajian Ilmiah Mahasiswa Administrasi Publik (KIMAP)*, vol. 4, no. 1, pp. 39–53, 2023.
- [7] Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. KM 49 Tahun 2005 tentang Sistem Transportasi Nasional, 2005.
- [8] Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. PM 104 Tahun 2017 tentang Penyelenggaraan Angkutan Penyeberangan, 2017.
- [9] Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia No. PM 62 Tahun 2019 tentang Standar Minimal Pelayanan Angkutan Penyeberangan, 2019.
- [10] N. L. M. A. M. Pradnyadari, I. W. G. D. Yoga, dan J. M. G. Goncalves, "Evaluasi Pelayanan Penumpang (Studi Kasus: Pelabuhan Dili Timor Leste)," *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, vol. 1, no. 1, pp. 11–19, 2022.
- [11] R. Purwasih, "Analisis Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) di Pelabuhan Penyeberangan Ferry Bira," *Sensistek*, Fakultas Teknik Unhas, Gowa, 3 November 2021.
- [12] M. A. Q. Ramadhan, Analisis Kinerja Pelayanan Angkutan Penyeberangan KMP Opudi Lintas Sorowako-Nuha Kabupaten Luwu Timur Provinsi Sulawesi Selatan, Diss. Universitas Hasanuddin, 2023.
- [13] I. K. Swarjana dan M. SKM, Populasi-sampel, teknik sampling & bias dalam penelitian, Yogyakarta: Penerbit Andi, 2022.

- [14] I. J. Verdianto, "Pola Pelayanan Penyeberangan Kapal Ferry di Dermaga Konvensional Pelabuhan Bakauheni," *Jurnal Momen Teknik Sipil Suryakencana*, vol. 6, no. 2, pp. 103–109, 2023.
- [15] T. I. E. Wahyuni, et al., "Analisis Perkembangan Transportasi Laut Dalam Wilayah Sulawesi Untuk Mendukung Tol Laut," *Jurnal Venus*, vol. 7, no. 13.