TESIS – ME142516

MONITORING KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG BERDASARKAN KINERJA KAPAL MENGGUNAKAN DATA *AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM* (AIS) UNTUK MENGHITUNG ENERGI EFFISIENSI OPERASIONAL INDEX

AL TAQNA ADAM WIJAYA

04211850010007

DOSEN PEMBIMBING

Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

PROGRAM MAGISTER
DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

THESIS - ME142516

FUEL CONSUMPTION MONITORING AND ESTIMATION OF EXHAUST GAS EMISSION BASED ON SHIP PERFORMANCE USING AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS) DATA TO CALCULATE EFFICIENCY ENERGY OPERATIONAL INDEX

AL TAQNA ADAM WIJAYA

04211850010007

SUPERVISOR

Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.

Dr. Eng. Dhimas Widhi Handani, S.T., M.Sc.

MASTER PROGRAM
MARINE ENGINEERING DEPARTMENT
FACULTY OF MARINE TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2020

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M. T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Oleh
Al Taqna Adam Wijaya
NRP. 04211850010007

Tanggal Ujian : 16 Januari 2020
Periode Wisuda : Desember 2020

Disetujui oleh:

Pembimbing:

1. Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
   NIP. 1971 0610 1995 12 1001

2. Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc.
   NIP. 1987 0527 2014 04 1001

Penguji:

1. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc.
   NIP. 1971 0915 1994 12 1001

2. Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.
   NIP. 1979 0319 2008 01 1008

Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan

Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.
NIP. 1979 0319 2008 01 1008

Halaman ini sengaja dikosongkan

MONITORING KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG BERDASARKAN KINERJA KAPAL MENGGUNAKAN DATA AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS) UNTUK MENGHITUNG ENERGI EFFISIENSI OPERASIONAL INDEX

Nama mahasiswa : Al Taqna Adam Wijaya
NRP : 04211850010007
Pembimbing : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc.

ABSTRAK

Meningkatnya jumlah kapal laut berdampak pada peningkatan jumlah konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang yang dihasilkan kapal ketika beroperasi. Analisa IEA dan ICCT menunjukkan jumlah emisi dan konsumsi tahun 2007 hingga 2015 relatif mengalami peningkatan. Emisi gas buang kapal menjadi salah satu sumber utama pencemaran lingkungan laut. Polutan yang berasal dari emisi kapal yang memiliki CO, Nox, HC, SO_2 dan CO_2 yang tinggi, bahkan polutan belerang dapat mengakibatkan risiko terganggunya sistem kesehatan manusia. Oleh karena itu dibutuhkan teknologi monitoring yang digunakan oleh user atau operator untuk memastikan bahwa kapal beroperasi secara efisien. Sistem monitoring yang terintegrasi diharapkan dapat melaporkan informasi seperti konsumsi bahan bakar, emisi serta EEOI yang dihasilkan oleh kapal. Algoritma yang dikembangkan dalam kajian ini menggunakan rumusan empiris Metode Holtrop (untuk dasar perhitungan tahanan) dan Metode Stawave (untuk perhitungan tahanan angin, gelombang, perubahan draft serta sifat air) yang ditulis dalam bahasa pemrograman PHP script. Bahasa pemrograman ini nantinya diharapkan menjadi dasar pengembangan pada interface suatu program untuk memunculkan data monitoring bahan bakar, EEOI serta emisi secara real time pada setiap kapal.

Kata Kunci : Monitoring Bahan Bakar, Emisi, EEOI, Holtrop, Stawave

Halaman ini sengaja dikosongkan

FUEL CONSUMPTION MONITORING AND ESTIMATION OF EXHAUST GAS EMISSION BASED ON SHIP PERFORMANCE USING AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS) DATA TO CALCULATE EFFICIENCY ENERGY OPERATIONAL INDEX

Name : Al Taqna Adam Wijaya
NRP : 04211850010007
Supervisor : Dr. I Made Ariana, S.T., M.T.
Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc.

ABSTRACT

The increasing number of ships has an impact on increasing the amount of fuel consumption and exhaust emissions produced by ships when operating. Analysis of IEA and ICCT shows the amount of emissions and consumption in 2007 to 2015 relatively increased. Ship exhaust emissions become one of the main sources of pollution of the marine environment. Pollutants originating from emissions of ships that have high CO, Nox, HC, SO_2 and CO_2, even sulfur pollutants can cause the risk of disruption of the human health system. Therefore monitoring technology is used by the user or operator to ensure that the ship operates efficiently. An integrated monitoring system is expected to report information such as fuel consumption, emissions and EEOI generated by the ship. The algorithm developed in this study uses the empirical formulation of the Holtrop Method (for basic resistance calculations) and the Stawave Method (for calculation of wind resistance, waves, draft changes and water properties) written in the PHP script programming.. This programming is the basis of development at the interface of a program to bring up fuel monitoring data, EEOI and emissions in real time on each ship.

Keyword : Fuel Consumption Monitoring, Emission, EEOI, Holtrop, Stawave

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT karena dengan rahmat, karunia serta taufik hidayahnya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan tepat waktu yang berjudul :

"MONITORING KONSUMSI BAHAN BAKAR DAN ESTIMASI EMISI GAS BUANG BERDASARKAN KINERJA KAPAL MENGGUNAKAN DATA AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS) UNTUK MENGHITUNG ENERGI EFFISIENSI OPERASIONAL INDEX"

Tesis ini sebagai syarat memperoleh gelar Magister Teknik pada bidang studi *Reliability, Availability, Maintainability and Safety* (RAMS) Program Studi S-2 Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Pada kesempatan kali ini penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah berperan dalam penyusunan Tesis ini, yaitu :

1. Kedua orang tua Soenaryo dan Dewi Sri Hartati atas perhatian dan dukungan moral serta materi yang diberikan kepada penulis serta Kak Qisha Aulia dan Aisya yang selalu mensupport baik dengan dukungan maupun doa.

2. Bapak Dr. I Made Ariana, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing pertama atas pelajaran baik tentang materi kuliah maupun pembelajaran dalam bersikap, yang selalu menginspirasi penulis, dan terimakasih telah memberikan begitu banyak kesempatan kepada penulis untuk meng*explore* hal-hal yang baru yang menjadi impian bagi penulis.

3. Bapak Dr. Dhimas Widhi Handani, ST., M.Sc., selaku dosen pembimbing kedua atas kesabaran dalam mengajarkan ilmunya serta selalu membantu penulis ketika mengalami kesulitan dalam progres pengerjaan tesis.

4. Prof. Dr. Ketut Buda Artana, S.T., M.Sc. sebagai ketua laboratorium RAMS dan A. A. B Dinariyana S.T., MES., Ph. D selaku dosen di laboratorium RAMS

yang selalu memberikan arahan, pelajaran dan wejangan kepada mahasiswanya.

5. Teman-teman seperjuangan tesis yaitu Barok, Desta, Pak Ghofur, Pak Guntur, Donny, Chika, Pak Ratno, Jangka semangat menuju wisuda ITS 121.

6. Hayy Nur Abdillah alias calon Ny. Wijaya terima kasih atas segala perhatian dan segala bentuk support moral. Semangat menempuh studi s3 ya.

7. Vario H 6067 AH terima kasih sudah menemani kemanapun pergi dalam mengarungi perjuangan di Kota Surabaya.

Tesis ini tentunya masih jauh dari sempurna, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun atas ketidaksempurnaan penyusunan Tesis ini sangat penulis harapkan. Semoga Tesis ini dapat memberi manfaat bagi para pembaca pada umumnya dan penyusun pada khususnya.

Surabaya, 12 Januari 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK i
ABSTRACT iii
KATA PENGANTAR v
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL xi
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 5
1.3 Tujuan Tesis 6
1.4 Manfaat 6
1.5 Batasan Masalah 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 9
2.1 *Automatic Indentification System* (AIS) 9
2.2 Efisiensi Energi Operational Index 9
2.3 Parameter Kinerja Kapal 11
2.4 Daya Kapal dan Konsumsi Bahan Bakar Kapal 16
2.5 PHP *Script* 18
2.6 MySQL *Script* 18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 21
3.1 Perumusan Masalah 22
3.2 Studi Literatur 23
3.3 Pengambilan Data 23
3.4 BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika) 23
3.5 Parameter Kinerja Kapal 25
3.6 Daya Kapal dan Konsumsi Bahan Bakar Kapal 29
3.7 Perhitungan Bahan Bakar dan Emisi 31
3.8 Perhitungan EEOI 32
3.9 Pembuatan Browser 33
3.10 Pembuatan Display Mapping 33
3.11 Verifikasi dan Komparasi 34

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Umum 35
4.2 Pengambilan Data 35
4.3. Perhitungan Tahanan Menggunakan Metode Holtrop 51
4.4 Perhitungan Tahanan Menggunakan Metode STAWAVE 59
4.5. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar 66
4.6. Perhitungan Emisi 74
4.7 Validasi Perhitungan Empiris Konsumsi Bahan Bakar dengan Pengukuran Kondisi Aktual 79
4.8 Index Effisiensi (EEOI) 83
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 89
5.1 Kesimpulan 89
5.2. Saran 90
DAFTAR PUSTAKA 91

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Data Peningkatan Jumlah Kapal Niaga Dunia 1
Gambar 1. 2 Total Estimasi Konsumsi Bahan Bakar dari IEA, IMO da ICCT 2
Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian 21
Gambar 3. 2 Peta Prakiraan Tinggi Gelombang 24
Gambar 3. 3 Peta Prakiraan Arah dan Kecepatan Angin 25
Gambar 4. 1 Rute Pelayaran KM. Doro Londa Surbaya – Jakarta.....37
Gambar 4. 2 Rute Pelayaran KM. Doro Londa Jakarta – Surabya 38
Gambar 4. 3 Validasi Rute KM.Doro Londa Surabaya – Jakarta 39
Gambar 4. 4 Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa Surabaya – Jakarta 9 s.d 10 Oktober 2019..... 42
Gambar 4. 5 Flow Rate Konsumsi Bahan Bakar KM Doro Londa 9 s.d 10 Oktober 2019..... 43
Gambar 4. 6 Konsumsi Bahan Bakar KM Doro Londa tanggal 11 s.d 12 Oktober 2019..... 46
Gambar 4. 7 Flow Rate Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa 11 s.d 12 Oktober 2019..... 47
Gambar 4. 8 Peta Perkiraan Gelombang pada tanggal 10 Oktober 2019..... 50
Gambar 4. 9 Peta Perkiraan arah angin pada tanggal 10 Oktober 2019 51
Gambar 4. 10 Nilai c_{stern} yang di dapat dari hasil pendekatan gambar yang menyerupai bentuk potongan badan kapal kita 52
Gambar 4. 11 Grafik tahanan KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta berdasarkan Metode Holtrop dengan 25 variasi lokasi dan kondisi lingkungan yang berbeda 56
Gambar 4. 12 Grafik tahanan KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya berdasarkan Metode Holtrop dengan 25 variasi lokasi dan kondisi lingkungan yang berbeda 58
Gambar 4. 13 Grafik koreksi tahanan KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta berdasarkan Metode STAWAVE dengan 25 variasi lokasi dan kondisi lingkungan yang berbeda. 63
Gambar 4. 14 Grafik koreksi tahanan KM. Doro Londa Rute Jakarta- Surabaya berdasarkan Metode STAWAVE dengan 25 variasi lokasi dan kondisi lingkungan yang berbeda. 65

Gambar 4. 15 Grafik tahanan total KM. Doro Londa berdasarkan Metode STAWAVE dan Metode Holtrop dengan 25 variasi lokasi serta kondisi lingkungan yang berbeda 66
Gambar 4. 16 Grafik *flow rate* bahan bakar KM. Doro Londa Surabaya-Jakarta73
Gambar 4. 17 Grafik *flow rate* bahan bakar KM. Doro Londa Jakarta-Surabaya 73
Gambar 4. 18 Grafik Perhitungan Komulatif Bahan Bakar secara Empiris Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta..... 79
Gambar 4. 19 Grafik Perhitungan Komulatif Bahan Bakar secara Empiris Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya..... 80

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Perbandingan Emisi CO_2 Pelayaran dengan Emisi CO_2 Global 3
Tabel 2. 1 Faktor konversi massa bahan bakar menjadi CO_2 10
Tabel 4. 1. Ship Particular KM. Doro Londa 36
Tabel 4. 2. Tabel Posisi Latitude & Longitude KM. Doro Londa tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019..... 36
Tabel 4. 3 Posisi Latitude & Longitude KM. Doro Londa 37
Tabel 4. 4 Record Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019..... 40
Tabel 4. 5 Record Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa tanggal 11 s.d 12 Oktober 2019..... 44
Tabel 4. 6 Data BMKG berdasarkan Posisi Latitude & Longitude KM Doro Londa pada Tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019 48
Tabel 4. 7 Data BMKG berdasarkan Posisi Latitude & Longitude KM Doro Londa pada Tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019 49
Tabel 4. 8 *Range of variables for statistical power prediction method* 51
Tabel 4. 9. *Approximate 1 + k_2 values*..... 54
Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan Empiris Tahanan berdasarkan Metode Holtrop Rute Surabaya-Jakarta 57
Tabel 4. 11. Hasil Perhitungan Empiris Tahanan berdasarkan Metode Holtrop Rute Jakarta-Surabaya 58
Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Empiris Tahanan Tambahan berdasarkan Metode STWAVE Rute Surabaya-Jakarta..... 62
Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Empiris Tahanan Tambahan berdasarkan Metode STWAVE Rute Jakarta- Surabaya. 64
Tabel 4. 14. Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Rute Surabaya-Jakarta. 70
Tabel 4. 15. Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Rute Jakarta-Surabaya. 72
Tabel 4. 16. Hasil Perhitungan Emisi KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta. 77
Tabel 4. 17. Hasil Perhitungan Emisi KM. Doro Londa Rute Jakarta–Surabaya 78
Tabel 4. 18. Rekapitulasi Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar secara Empiris VS Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar secara Aktual..... 81

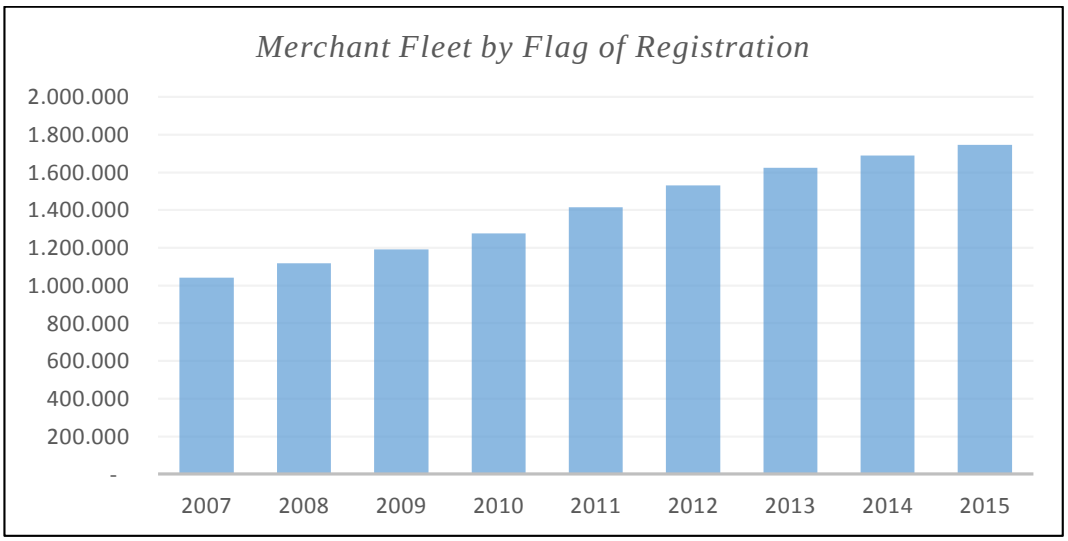
Tabel 4. 19. Faktor konversi massa bahan bakar menjadi CO_2 87
Tabel 4. 20. Massa muatan yang diangkut 87

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

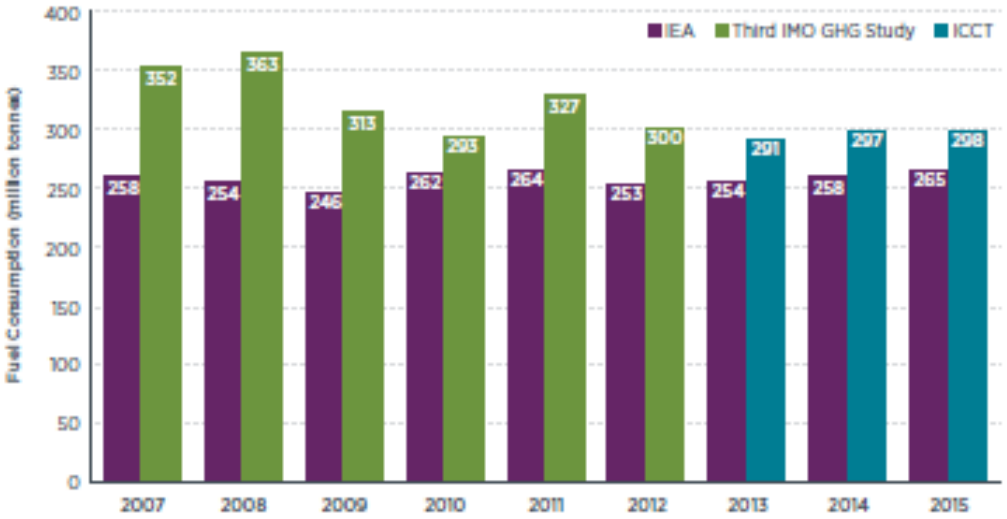
Sektor transportasi mempunyai peranan penting sebagai urat nadi dalam pembangunan nasional untuk membawa dampak positive dalam perkembangan suatu negara. Sektor transportasi merupakan bagian yang dominan dalam pembangunan di bidang politik, ekonomi, sosial, budaya dan pertahanan keamanan. Sejalan dengan program Nawa Cita yang digagas oleh Pemerintah bahwa peranan transportasi diharapkan dapat menghubungkan wilayah perairan Indonesia, yang dalam era perekonomian global arus persaingannya menjadi sangat ketat, sebuah persaingan yang menuntut adanya proses bisnis yang cepat,aman dan efisien. Seluruh keterkaitan ini,akan menjadi penentu dalam era perdagangan bebas pada abad ini. Selain sarana, juga diperlukan prasarana transportasi sebagai salah satu upaya untuk membangkitkan pembangunan nasional (Wagijono, 2011).

Sebagian besar dari semua perdagangan global terjadi melalui kapal. Pada waktu tertentu, ada ribuan kapal yang beroperasi di seluruh dunia. Pada tiap tahun selalu ada peningkapan jumlah kapal yang diregistrasi. Data tersebut bisa dilihat melalui Gambar 1. 1 (UNCTADSTAT, 2015).



Gambar 1. 1 Data Peningkatan Jumlah Kapal Niaga Dunia
Sumber : (UNCTADSTAT, 2015)

Meningkatnya jumlah kapal laut berdampak pada peningkatan jumlah konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang yang dihasilkan kapal ketika beroperasi. Data pada Gambar 1. 2 menunjukkan jumlah emisi dan konsumsi tahun 2007 hingga 2015 relatif mengalami peningkatan sesuai analisa IEA dan ICCT. Total konsumsi bahan bakar pengiriman meningkat dari 291 juta ton menjadi 298 juta ton (+ 2,4%) jika dilihat pada 3 tahun terakhir dari tahun 2013 hingga tahun 2015. Seperti Studi GHG Ketiga IMO, perkiraan konsumsi bahan bakar secara sistematis lebih tinggi daripada perkiraan konsumsi bahan bakar (IEA) dari Badan Energi Internasional . Namun, kesenjangan estimasi IEA lebih kecil dari Studi GHG IMO. Ini kemungkinan merupakan hasil dari peningkatan cakupan data AIS dari waktu ke waktu, yang mengurangi ketidakpastian estimasi (Olmer, et al., 2017).



Gambar 1. 2 Total Estimasi Konsumsi Bahan Bakar dari IEA, IMO da ICCT, Sumber : (Olmer, et al., 2017)

Data Tabel 1. 1 menunjukan bahwa total emisi pengiriman CO_2 meningkat dari 910 juta ton menjadi 932 juta ton (+ 2,4%) pada 3 tahun terkahir yaitu dari tahun 2013 hingga tahun 2015. Emisi pelayaran internasional meningkat 1,4%; emisi pelayaran domestik meningkat 6,8%; dan emisi perikanan meningkat sebesar 17%. Pada 2015, total emisi pengiriman bertanggung jawab atas 2,6% emisi CO_2 global dari penggunaan bahan bakar fosil dan proses industri. Perkapalan

internasional berkontribusi paling besar, mewakili sekitar 87% total emisi CO_2 dari kapal setiap tahun (Olmer, et al., 2017).

Tabel 1. 1. Perbandingan Emisi CO_2 Pelayaran dengan Emisi CO_2 Global

Item	Third IMO GHG Study (Million Tonnes)						ICCT (Million Tonnes)		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Global CO2 Emissions	31,95	32,13	31,82	33,66	34,72	34,96	35,67	36,08	36,06
International Shipping	881	916	858	773	853	805	801	813	812
Domestic Shipping	133	139	75	83	110	87	73	78	78
Fishing	86	80	44	58	58	51	36	39	42
Total Shipping	1,100	1,135	977	914	1,021	942	910	930	932
% of Global	3,50 %	3,50 %	3,10 %	2,70 %	2,90 %	2,60 %	2,50 %	2,60 %	2,60 %

Sumber : *(Olmer, et al., 2017)*

Emisi gas buang menjadi ancaman serius untuk masyarakat yang tinggal di sekitar wilayah pesisir. Polutan berasal dari emisi kapal yang memiliki kandungan SO_2 tinggi dan polutan lainnya (K.W. Ng. Simon, 2013). Emisi gas buang kapal menjadi salah satu sumber utama pencemaran lingkungan laut. Konten belerang akan meningkatkan risiko manusia pada pengurangan kesehatan. Kualitas atmosfer berkorelasi dengan kesehatan manusia. Hal ini secara signifikan berdampak pada risiko kesehatan di sepanjang area yang memiliki lalu lintas kapal yang padat (A.J.Hedley, 2002).

Pada saat yang sama, ada peraturan lingkungan baru yang diterapkan di seluruh dunia. Saat ini, setiap kapal yang bepergian di area kendali emisi (ECA) dimana emisi yang dihasilkan oleh bahan bakar mengandung sulfur rendah, tetapi mulai tahun 2020, Organisasi Maritim Internasional (IMO) akan menerapkan pada semua kapal untuk menggunakan bahan bakar sulfur rendah di mana pun mereka beroperasi. Dalam hal ini dilakukan untuk menekan pencemaran udara oleh emisi yang dihasilkan kapal ketika beroperasi (S&P Global Platts, 2016).

Maka dibutuhkan teknologi pemantauan kinerja yang digunakan oleh pemilik kapal untuk memastikan bahwa kapal beroperasi secara efisien. Pada umumnya ada beberapa faktor yang menunjang kinerja kapal yaitu kondisi lambung, kondisi baling-balingnya, kondisi perairan saat berlayar, komposisi kandungan bahan bakar, dan lain lain. Sebagai contoh ketika kapal beroperasi degan jenjang waktu yang lama, lambung dan baling-baling dapat menjadi kotor (pertumbuhan organisme laut di kapal). Mungkin ada penurunan kinerja kapal yang signifikan dari waktu ke waktu. Dan dibutuhkan teknik pemantauan atau monitoring kinerja memungkinkan pemilik kapal, operator, dan penyewa untuk melacak kinerja kapal dari waktu ke waktu. Teknik-teknik pemantauan kinerja juga dapat memungkinkan penyewa kapal untuk dapat membandingkan satu kapal dengan yang lain untuk membantu menentukan kapal mana yang lebih hemat biaya untuk disewa.

Beberapa kapal yang lebih baru memiliki perancangan sistem monitoring khusus yang diinstal mencakup pemasangan sensor dan sistem pembelajaran mesin untuk mengevaluasi kinerja kapal. Namun, sebagian besar kapal tidak memiliki sistem monitoring. Pada kapal-kapal ini, satu-satunya informasi kinerja dapat secara manual direkam pada laporan ABK, rekaman informasi kunci sekali sehari seperti lokasi, kecepatan, kondisi cuaca, dan penggunaan bahan bakar. Teknik monitoring dikembangkan dalam tesis sebelumnya dengan asumsi yang bahwa kecepatan kapal dan kondisi cuaca tidak berubah selama satu hari penuh dapat menyebabkan kesalahan besar dalam analisis.

Sekalipun kapal tidak memiliki sensor yang terpasang di kapal, ada sumber informasi lain yang dapat digunakan untuk membantu mengevaluasi kinerja kapal. Banyak kapal besar dan semua kapal penumpang berapapun ukurannya diperlukan untuk dilengkapi dengan *Automatic Identification System* (AIS). Sistem AIS secara otomatis melaporkan informasi utama termasuk posisi, kursus, dan kecepatan, antara data lainnya. Data AIS secara otomatis ditransmisikan dari kapal setiap 30 detik atau 3 menit, tergantung pada kecepatan kapal saat ini. Kajian ini bertujuan untuk mempelajari berbagai cara data AIS dalam frekuensi tinggi yang kemudian

dapat diaplikasikan dalam teknik monitoring untuk meningkatkan analisis kinerja kapal, dengan mengembangkan model analisis monitoring. Integrasi ekonomi internasional memberikan peluang luar biasa bagi negara-negara berkembang untuk mencapai pembangunan ekonomi melalui jalur perdagangan dan investasi internasional. Upaya internasional untuk mengurangi dan menghapus hambatan berbasis peraturan dan hambatan non-tarif terhadap perdagangan telah meningkatkan akses negara-negara berkembang ke pasar industri utama dengan meningkatkan daya saing relatif barang mereka. Pengurangan hambatan-hambatan mendorong peningkatan daya saing perdagangan antar negara, dan menjadikan barang tersedia untuk setiap individu dengan berbagai ragam dan pilihan

Oleh karena itu pentingnya memonitoring seluruh kinerja kapal saat berlayar harus bisa dipastikan agar terpantau untuk dikendalikan. Perangkat (AIS) yang digunakan dengan tujuan awal untuk mengetahui informasi tentang kinerja kapal dan konsumsi bahan bakarnya serta index emisi yang dikeluarkan oleh kapal ketika kapal beroperasi. AIS merupakan alat yang memancarkan gelombang VHF untuk memberikan informasi kepada pihak luar (kapal lain, pelabuhan, administrator, charter, Owner Superitendent, dll).

Dengan penggunaan (AIS) dapat mengidentifikasi *Maritime Mobile Service Identity* (MMSI) kapal, kecepatan, posisi, dimensi dan tipe kapal. Dari data ini kita gabungkan dengan data *shipping database* yang menyediakan berbagai informasi dari kapal salah satunya adalah *Gross Tonnage* (GT) yang dari data tersebut dapat kita analisa sehingga dapat memberikan informasi kepada pihak perusahaan perkapalan tentang informasi yang berkaitan dengan oprasional bahan bakar kapal saat berlayar secara *realtime* .

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan pokok pada tesis ini antara lain :

1. Bagaimana merumuskan algoritma perhitungan konsumsi bahan bakar, emisi, dan EEOI dengan mempertimbangkan kondisi pelayaran secara aktual?

2. Bagaimana memvalidasi hasil algortima perhitungan konsumsi bahan bakar dengan data *Engine Log Book* atau data aktual operasional kapal?
3. Bagaimana mengestimasi Index Effisiensi (EEOI) dan emisi dari data aktual secara hitungan empiris dituliskan di bahasa pemrograman PHP script?

1.3 Tujuan Tesis

Secara umum tujuan penelitian ini adalah untuk :

1. Mengembangkan rumusan algoritma perhitungan bahan bakar, emisi dan EEOI dengan mempertimbangkan kondisi pelayaran secara aktual berdasarkan pendekatan rumusan empiris.
2. Memverifikasi hasil algoritma perhitungan rumusan empiris konsumsi bahan bakar yang berdasarkan kondisi pelayaran secara aktual dengan laporan penggunaan bahan bakar (*Engine Log Book*)
3. Menghitung Index Effisiensi (EEOI) dan emisi berdasarkan data aktual secara rumusan empiris untuk kemudian dituliskan di bahasa pemrograman PHP script.

1.4 Manfaat

Kebermanfaatan pada penelitian ini menyasar beberapa pihak dalam operasional kegiatan pelayaran. Dari sudut pandang operator atau pemilik kapal digunakannya sistem berbasis monitoring armada sehingga dapat meningkatkan efisiensi dengan cara pengambilan keputusan yang lebih tepat. Dari sudut pandang regulator monitoring emisi memudahkan regulator untuk pengawasan dan implementasi peraturan terkait dan mendukung program penegakan peraturan secara tepat dan efisien.

Selain kebermanfaatan dari segi operator dan regulator, secara akademis penelitian ini memberikan kontribusi multidisiplin ke industri perkapalan. Pada era dimana industri perkapalan dituntut untuk lebih efisien implementasi multidisiplin diharapkan dapat memajukan industri perkapalan. Pemanfaatan sistem monitoring

merupakan salah satu usaha untuk mendigitalisasi indusri perkapalan sehingga industri perkapalan dapat menjadi efisien dalam operasionalnya.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian yang tidak dibatasi, maka cakupan penelitian dan hasilnya akan meluas, serta berpotensi tidak optimal. Oleh karena itu, penelitian ini akan dibatasi oleh beberapa poin yang diantaranya:

1. Optimasi data aktual pelayaran menjadi parameter perhitungan bahan bakar, produksi emisi dan EEOI yang dikeluarkan oleh *engine maker*.
2. Verifikasi hasil perhitungan empiris dengan data aktual (*Engine Log Book*) pemakaian bahan bakar di Kapal Doro Londa dengan rute pelayaran Surabaya-Jakarta dan sebaliknya.
3. Interpertasi hasil verifikasi konsumsi bahan bakar dan pengeluaran emisi sebagai parameter database untuk optimasi menjadi display kontrol bahan bakar dan emisi berbasis internet.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Automatic Indentification System* (AIS)

Automatic Identification System (AIS) mengacu pada teknologi yang bekerja pada gelombang radio *Very High Frequency* (VHF) yang memungkinkan berbagai informasi kapal seperti nama, posisi, jenis, kecepatan, kursus, kargo, tujuan dll. Secara otomatis dipertukarkan antara kapal untuk mengirim serta antar kapal ke pantai secara real time. Sejak diperkenalkan ke berbagai sektor industri perkapalan, peran penting AIS telah dimainkan dalam memastikan keselamatan navigasi, keamanan maritim, pencarian dan penyelamatan kelautan dan perlindungan lingkungan di laut dan di darat telah diakui dengan baik. Saat ini, pemanfaatan jaringan stasiun AIS berbasis pantai untuk menangkap informasi kapal yang ditransmisikan dari peralatan AIS di atas kapal untuk melacak dan memantau kapal-kapal yang dekat dengan pantai telah menjadi praktik standar layanan pemantauan kapal untuk otoritas maritim di banyak negara. (Chen, 2014).

Untuk saat ini, AIS bisa mengenali kapal lebih dari 300 GT pada perjalanan internasional dan kapal lebih dari 500 GT pada rute domestik. Data statis dan dinamis dari kedua jenis kapal tersebut dapat diperoleh. Informasi dinamis diperbarui setiap 2 sampai 10 detik tergantung pada kecepatan kapal. Informasi statis terdiri dari MMSI (*Maritime Mobile Service Identify*), IMO *number, ships name, call sign, length and beam, type of ship, location of position-fixing antenna on the ship*. Informasi yang dinamis terdiri dari *Coordinated Universal Time* (UTC), *Course Over Ground* (COG), *Speed Over Ground* (SOG), *Heading, Navigation Status*. AIS data digunakan dalam kajian ini adalah MMSI *number, latitude and longitude*, IMO *number*. (Rizkie Garnawan, 2012)

2.2 Efisiensi Energi Operational Index

Indikator Operasional Efisiensi Energi didefinisikan sebagai perbandingan massa CO_2 yang dikeluarkan per satuan kerja transportasi. EEOI merupakan sebuah nilai representatif efisiensi energi operasi kapal selama satu periode yang konsisten

yang mewakili keseluruhan pola trading kapal. Bermacam satuan untuk periode dimana EEOI dihitung dapat digunakan dengan memperhitungkan pola operasi setiap individu kapal (misal satuan harian, satuan mingguan, satuan bulanan, satuan pelayaran dari pelabuhan ke pelabuhan, satuan pelayaran ke tujuan, dll). Untuk periode dimana EEOI dihitung, pelayaran dalam kondisi ballast maupun pelayaran yang tidak dimaksudkan untuk transportasi muatan, misalnya pelayaran untuk docking harus dimasukkan.

Faktor konversi massa bahan bakar menjadi CO_2 , CF, merupakan faktor non dimensiantara konsumsi bahan bakar dan emisi CO_2 berdasarkan kandungan karbon. Nilai CF untuk setiap jenis bahan bakar ditunjukkan dalam Tabel 2. 1 berikut:

Tabel 2. 1 Faktor konversi massa bahan bakar menjadi CO_2

Jenis Bahan Bakar	**Referensi**	$\boldsymbol{C_f(t-CO_2/t-Fuel)}$
Diesel/Gas Oil	ISO8217 DMX-DMC	3.206000
Light Fuel Oil (LFO)	ISO8217 RMA-RMD	3.151040
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO8217 RME-RMK	3.114400
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane Butane	3.000000 3.030000
Liquefied Natural Gas (LNG)	-	2.750000

Sumber : (WG/Efek, 2012)

EEOI menetapkan jumlah ton emisi CO_2 per ton mil laut dihitung menggunakan data operasional aktual (konsumsi bahan bakar, massa muatan yang diangkut, dan jarak berlayar) dan merupakan efisiensi energi kapal yang dicapai secara aktual selama operasi. EEOI dihitung sebagai berikut:

$$EEOI = \frac{(\text{Faktor konversi massa bahan bakar menjadi } CO_2)\ x\ (Konsumsi\ bahan\ bakar)}{(massa\ muatan\ aktual\ yang\ diangkat)\ x\ (jarak\ berlayar\ aktual)}$$

Perhitungan EEOI untuk setiap pelayaran secara detail dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$EEOI = \frac{\sum j \; FC_j \; x \; C_{Fj}}{(m_{cargo})}$$

Untuk menghitung rata-rata EEOI dalam periode perhitungan termasuk beberapa pelayaran:

$$EEOI_{rata-rata} = \frac{\sum i \sum j \; (FC_j \; x \; C_{Fj})}{\sum i \; (m_{cargo} \; x \; D_i)}$$

dimana:

j : jenis bahan bakar

i : jumah pelayaran

FC_{ij} : massa bahan bakar yang dikonsumsi *j* pada pelayaran

CF_j : massa bahan bakar untuk faktor konveri massa CO_2 untuk bahan bakar *j* pada pelayaran

m_{cargo} : muatan yang diangkut (ton) atau kerja yang dilakukan (jumlah TEU atau penumpang) atau gross tonnes untuk kapal penumpang.

D : jarak dalam mil laut sesuai dengan muatan yang diangkut atau kerja yang dilakukan.

Karena muatan cargo bervariasi tergantung pada jenis kapal, perlu dicatat bahwa satuan EEOI dapat bervariasi menurut jenis kapal. Dalam kasus di mana EEOI dihitung dengan hanya menggunakan data operasional pada kondisi ballast, EEOI mencapai nilai tak terbatas karena massa kargo yang diangkut diambil nilai nol dalam kondisi ballast. Oleh karena itu, untuk mengevaluasi EEOI tersebut, harus dihitung dalam periode tertentu, termasuk pelayaran dengan muatan. (WG/Efek, 2012)

2.3 Parameter Kinerja Kapal

Bagian ini memberikan informasi dasar mengenai parameter utama resistensi dan propulsi kapal yang dianalisis dalam tesis ini. Tahanan tambahan atau *added resistance* menggunakan metode STWAVE, dalam metode ini dilakukan

perhitungan perubahan tahanan tambahan pada tahanan gelombang, tahanan angin, tahanan akibat perubahan sarat/draft serta tahanan sifat air. Nilai tahanan tambahan ini diakibatkan adanya pengaruh faktor lingkungan.

2.3.1 Resistansi Kapal

Hambatan kapal yang bepergian melalui air terdiri dari banyak komponen. Ini dapat dibagi menjadi komponen yang dihitung dalam lingkungan statis, seperti resistensi lambung, dan komponen karena lingkungan yang dinamis, seperti keberadaan angin dan gelombang. Komponen utama resistensi yang dipelajari dalam analisis ini dijelaskan di bawah ini.

2.3.2 Hambatan Lambung

Saat lambung kapal melewati badan air, kapal itu mengalami hambatan terhadap gerakan ke depan. Hambatan lambung kapal terutama terdiri dari dua komponen: resistansi akibat gelombang, dan resistansi karena gesekan (Larsson, et al., 2010). Resistansi akibat pembuatan gelombang memperhitungkan perpindahan air dan gelombang yang dihasilkan oleh lambung kapal saat bepergian melalui badan air yang tenang. Hambatan gesekan memperhitungkan resistensi karena lambung menyeret air bersama dengan itu, karena lapisan batas. Area lambung dan geladak di atas garis air juga mengalami hambatan udara saat bepergian dengan kecepatan maju. Hambatan yang membuat gelombang dan hambatan udara untuk kondisi pemuatan tertentu tidak diharapkan berubah seiring waktu, karena bentuk lambung dan geladak diharapkan tetap konstan selama periode yang dianalisis. Namun, resistensi gesekan akan berubah. Resistansi gesekan dari sebuah kapal sebanding dengan kekasaran lambung, yang meningkat karena lambung menjadi kotor dari waktu ke waktu. Sebagai lambung menjadi busuk dan resistensi gesekan meningkat, kinerja kapal akan menurun.

2.3.3 Menambahkan Perlawanan Gelombang

Ketika sebuah kapal melewati gelombang laut, kapal itu mengalami resistensi tambahan karena dua sistem gelombang: refleksi gelombang pendek di

lambung kapal, dan gerakan naik-turun yang digerakkan oleh gelombang dan gerakan pitch (Henk van den Boom, 2013). Besarnya tahanan tambahan tergantung pada sejumlah faktor, termasuk keterangan kapal, seperti panjang, balok, dan kecepatan, serta parameter gelombang, seperti tinggi gelombang yang signifikan, periode gelombang, dan arah gelombang. Oleh karena itu, besarnya resistensi gelombang yang ditambahkan akan berubah secara konstan selama umur kapal. Untuk dapat membandingkan kinerja kapal dari waktu ke waktu, resistensi tambahan akibat gelombang harus dihilangkan dari resistansi total, tergantung pada kondisi gelombang yang dialami di setiap lokasi dan waktu tertentu.

$$R_{AWL} = 2 \int_0^{\infty} \frac{R_{wave}(\omega; STW)}{\zeta_A^2} S_n(\omega) d\omega$$

Dimana:

R_{AWL} : peningkatan resistensi rata-rata pada gelombang tidak beraturan dalam Newton

R_{wave} : peningkatan resistensi rata-rata pada gelombang reguler dalam Newton

ζ_A^2 : amplitudo gelombang dalam meter

ω : frekuensi melingkar dari gelombang reguler dalam rad / s

STW : kecepatan kapal dalam m / s

S_n : spektrum frekuensi gelombang dalam m2 / s

2.3.4 Menambahkan Hambatan Angin

Meskipun hambatan lambung kapal di dalam air adalah bagian dominan dari resistansi total, ada juga resistansi tambahan karena pergerakan udara. Meskipun perkiraan resistansi dari tes model memperhitungkan resistansi udara di udara diam, masih ada resistansi tambahan akibat angin. Penambahan tahanan karena angin tergantung pada keterangan kapal, seperti koefisien drag dan area depan, dan parameter angin, seperti kecepatan dan arah. Dalam situasi di mana angin datang dari belakang kapal, resistansi tambahan dapat menjadi negatif, menurunkan resistansi total kapal. Mirip dengan resistensi gelombang tambahan, hambatan angin tambahan juga akan terus berubah dari waktu ke waktu, dan harus dihilangkan dari total hambatan yang dialami di setiap lokasi dan waktu tertentu untuk dapat membandingkan kinerja kapal dari waktu ke waktu.

$$R_{wind} = \frac{1}{2} \rho_{air} V_{air}^2 C_X A_F$$

Dimana :

R_{wind} : kekuatan angin di Newton

ρ_{air} : massa jenis udara pada suhu udara yang berpengalaman dalam kg / m3

V_{air}^2 : kecepatan angin dalam m / s

C_X : koefisien angin untuk arah angin relatif

A_F : area permukaan kapal di atas air dalam m^2

2.3.5 Perubahan Resistansi karena Draft

Resistensi lambung kapal berubah tergantung pada kondisi pemuatan kapal. Sebuah kapal dengan draft yang lebih besar akan memiliki ketahanan ombak yang lebih besar, karena kapal harus memindahkan lebih banyak air dan menghasilkan gelombang yang berbeda saat bepergian dengan kecepatan maju, serta resistensi gesekan yang lebih besar karena area permukaan lambung yang lebih besar. Draft pengoperasian kapal diharapkan untuk berubah secara teratur sepanjang umur kapal.

Draft kemungkinan akan berubah untuk setiap perjalanan baru, karena muatan barang mungkin berbeda dari perjalanan ke perjalanan, atau kapal dapat melakukan perjalanan dalam kondisi pemberat (tidak dimuat). Selanjutnya, dalam perjalanan tertentu, konsep akan berubah karena pembakaran bahan bakar. Agar dapat membandingkan kinerja kapal secara akurat di berbagai perjalanan dengan konsep yang berbeda, koreksi harus diterapkan untuk menormalkan resistensi terhadap kondisi desain.

$$R_{ADIS} = 0.65\ R_T\ (\frac{\Delta_0}{\Delta} - 1)$$

Dimana:

R_{ADIS} : resistensi tambahan karena peningkatan draft dalam Newton

R_T : hambatan total dalam kondisi desain di Newton

Δ_0 : perpindahan dalam kondisi desain

Δ : perpindahan dalam kondisi yang dianalisis

2.3.6 Perubahan Resistansi karena Sifat Air

Resistensi kapal tergantung pada sifat-sifat air yang digunakannya untuk berpergian. Hambatan lambung sebanding dengan kepadatan dan viskositas air. Air dengan kepadatan lebih tinggi dan viskositas lebih tinggi pada gilirannya akan meningkatkan ketahanan kapal. Kepadatan dan viskositas air laut tergantung pada suhu dan salinitas air, yang bervariasi tergantung pada badan air, lokasi, dan waktu dalam setahun. Agar dapat membandingkan kinerja kapal secara akurat di berbagai perjalanan, koreksi resistansi harus diterapkan untuk menyesuaikan resistansi dengan kondisi air yang dinormalisasi.

$$R_{AS} = R_T\,(1 - \frac{P_w}{P_{w0}}) - R_F(1 - \frac{C_f}{C_{f0}})$$

Dimana:

R_{AS} : koreksi resistansi karena perubahan sifat air di Newton

R_T : hambatan total pada sifat air standar dari uji model

R_F : hambatan gesekan dalam kondisi air di Newton

C_{f0} : koefisien tahanan gesek dalam kondisi air standar

C_f : koefisien tahanan gesek dalam kondisi air

P_w : kepadatan air dalam kondisi air dalam kg / m3

P_{w0} : kepadatan air dalam kondisi air standar dalam kg / m3

2.3.7 Koreksi Resistansi

Hambatan terkoreksi kapal selama setiap periode laporan dapat dihitung dengan mengurangi pekerjaan yang dilakukan oleh koreksi (koreksi jarak yang ditempuh selama setiap periode AIS) dari total kerja efektif yang dilakukan oleh kapal, dan kemudian membaginya dengan total jarak yang ditempuh.

$$R_{corrected} = \frac{W_E - \sum_{i=1}^{n} R_{AWL}\,.\,di - \sum_{i=1}^{n} R_{wind}\,.\,di - \sum_{i=1}^{n} R_{ADIS}\,.\,di - \sum_{i=1}^{n} R_{AS}\,.\,di}{\sum_{i=1}^{n} di}$$

Dimana:

$R_{corrected}$: resistensi terkoreksi rata-rata selama periode laporan dalam Newton

W_E : power efektif yang dilakukan oleh kapal

R_{AWL} : koreksi resistansi akibat gelombang

R_{wind} : koreksi resistansi akibat angin

R_{ADIS} : koreksi resistansi akibat draft

R_{AS} : koreksi resistansi akibat sifat air

2.4 Daya Kapal dan Konsumsi Bahan Bakar Kapal

Untuk kapal yang dipelajari dalam tesis ini, tenaga pendorong dari mesin ditransmisikan ke air sekitarnya melalui baling-baling. Kinerja baling-baling tidak hanya tergantung pada desain baling-baling, tetapi juga sangat tergantung pada aliran ke bidang baling-baling. Beberapa nilai dimaksudkan untuk menggambarkan aliran ke dalam baling-baling, seperti koefisien fraksi bangun, koefisien deduksi dorong, efisiensi lambung, dan efisiensi relatif-rotatif, dihitung selama pengujian model. Kinerja baling-baling itu sendiri, dijelaskan oleh gaya dorong dan koefisien torsi, ditentukan selama tes model air terbuka.

2.4.1 Daya Kapal

Daya yang dikirim ke baling-baling dapat dihitung berdasarkan tahanan yang dikoreksi dan parameter kapal lainnya. Karena kecepatan kapal berubah beberapa kali per hari, kecepatan melalui air dan efisiensi diambil sebagai rata-rata tertimbang selama periode laporan siang hari, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan.

$$P_{DCorrective} = \frac{R_{Corrective.}\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} STW_{i.di}}{\sum_{i=1}^{n} i.di}\right)}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} \eta o.\eta H.\eta RR.idi}{\sum_{i=1}^{n} i.di}\right)}$$

Dimana:

$P_{DCorrective}$: daya yang dikirim selama periode dalam Watt

$R_{Corrective.}$: resistensi terkoreksi dalam Newton

STW_i : kecepatan kapal melalui air untuk setiap periode AIS dalam m / s

ηo : efisiensi lambung untuk setiap periode AIS

ηH : efisiensi (open water) propeller untuk setiap periode AIS

ηRR : efisiensi rotasi relatif untuk setiap periode AIS

2.4.2 Konsumsi Bahan Bakar Kapal

Konsumsi bahan bakar harian berbanding lurus dengan daya yang disalurkan kapal. Ini dihitung seperti yang ditunjukkan pada persamaan .

$$\frac{M_{fc} = P_{DCorrective}.SFOC_{ME}.\ 24}{\eta_{trans}.1000.1000}$$

Dimana:

M_{fc} : massa bahan bakar yang terbakar dalam ton / hari

$P_{DCorrective}$: daya yang dikirim dalam Watt

$SFOC_{ME}$: konsumsi bahan bakar spesifik mesin utama dalam kg / kWh

η_{trans} : effisiensi transmisi

2.4.3 Perhitungan Emisi

Dalam melakukan perhitungan emisi digunakan metode perhitungan berdasarkan karakteristik kapal, seperti mode operasi, kapasitas daya mesin, waktu operasi kapal yang mana data-data tersebut didapatkan dari data AIS. Perhitungan estimasi emisi secara matematis dapat dilihat pada persamaan di bawah ini (Handani, et al., 2018) :

$$E = P\ x\ FL\ x\ T\ x\ EF$$

Dimana:

P : daya mesin (ME, AE dan AB)

FL : *fraction load of engine*

T : waktu operasi engine

EF : faktor emisi mesin (ME, AE dan AB)

2.5 PHP *Script*

PHP *Hypertext Preprocessor* merupakan suatu bahasa pemrograman yang difungsikan untuk membangun suatu website dinamis. PHP menyatu dengan kode HTML, maksudnya adalah beda kondisi. HTML digunakan sebagai pembangun atau pondasi dari kerangka layout web, sedangkan PHP difungsikan sebagai prosesnya sehingga dengan adanya PHP tersebut, web akan sangat mudah di-maintenance.

PHP berjalan pada sisi server sehingga PHP disebut juga sebagai bahasa Server Side Scripting. Artinya bahwa dalam setiap/untuk menjalankan PHP, wajib adanya web server. PHP ini bersifat open source sehingga dapat dipakai secara cuma-cuma dan mampu lintas platform, yaitu dapat berjalan pada sistem operasi Windows maupun Linux. PHP juga dibangun sebagai modul pada web server apache dan sebagai binary yang dapat berjalan sebagai CGI.

PHP sebagai alternatif lain memberikan solusi sangat murah (karena gratis digunakan) dan dapat berjalan diberbagai jenis platform. PHP adalah skrip bersifat server-side yang ditambahkan ke dalam HTML. PHP sendiri merupakan singkatan dari *Personal Home Page Tools*. Skrip ini akan membuat suatu aplikasi dapat diintegrasikan ke dalam HTML sehingga suatu halaman web tidak lagi bersifat statis, namun menjadi bersifat dinamis. Sifat server side berarti pengerjaan skrip dilakukan di server, baru kemudian hasilnya di kirimkan ke browser. (Saputra, 2011)

2.6 MySQL *Script*

Basis data adalah sekumpulan informasi yang diatur agar mudah dicari. Dalam arti umum basis data adalah sekumpulan data yang diproses degan bantuan komputer yang memungkinkan data dapat diakses dengan mudah dan tepat, yang dapat digambarkan sebagai aktivitas dari satu atau lebih organisasi yang berelasi.

MySQL merupakan suatu database. MySQL dapat juga dikatakan sebagai database yang sangat cocok bila dipadukan dengan PHP. Secara umum, database berfungsi sebagai tempat atau wadah untuk menyimpan, mengklasifikasikan data secara prefosional. MySQL bekerja menggunakan SQL *Language* (*Structure Query*

Language). Itu dapat diartikan bahwa MySQL merupakan standar penggunaan database di dunia untuk penganalisa data.

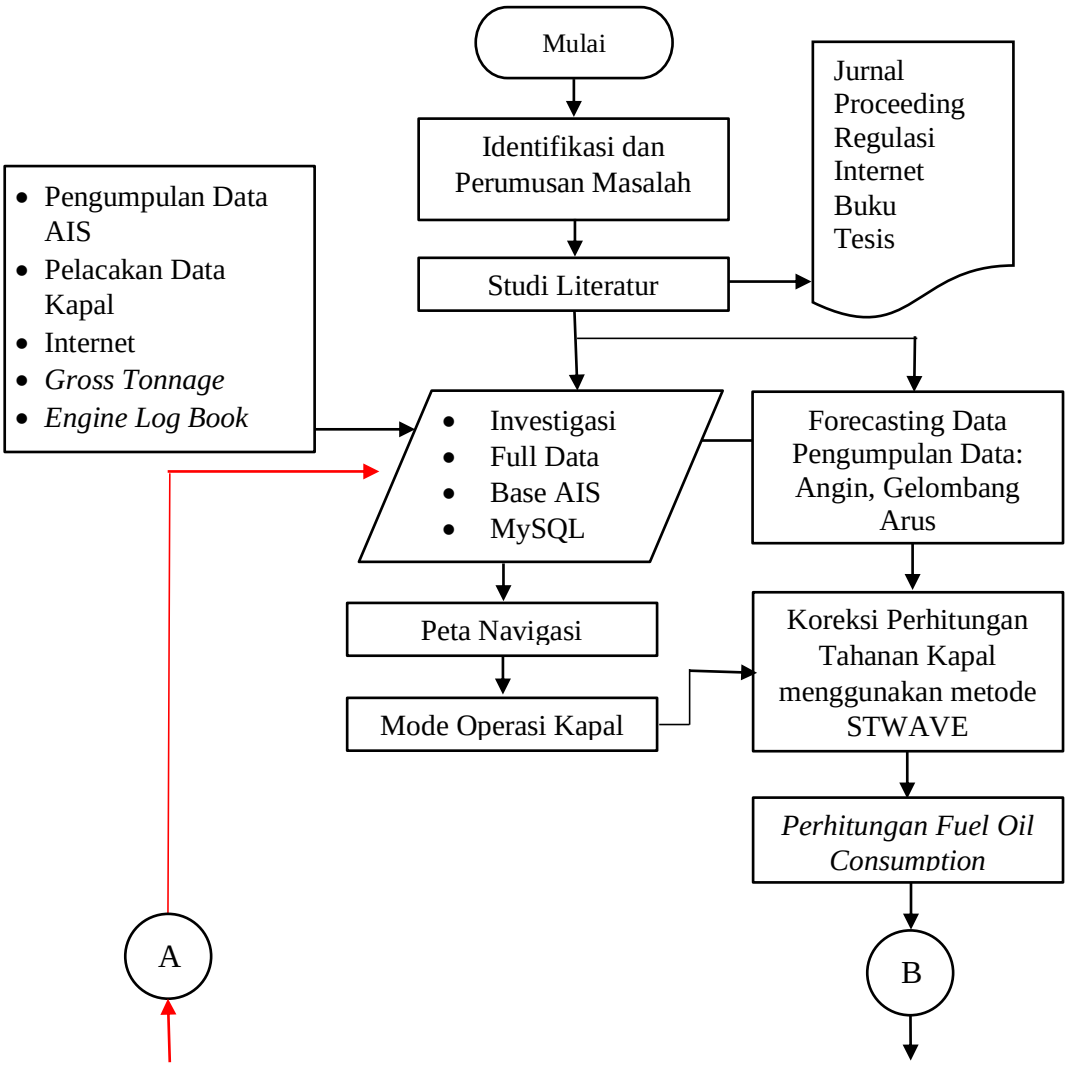
MySQL termasuk jenis RDBMS (*Relational Database Management System*). Sedangkan RDBMS sendiri akam lebih banyak mengenal istilah seperti tabel, baris, dan kolom digunakan dalam perintah-perintah di MySQL. MySQL merupakan sebuah basis data yang mengandung satu atau sejumlah tabel. Tabel terdiri atas sejumlah baris dan setiap baris mengandung satu atau beberapa kolom. Di dalam PHP telah menyediakan fungsi untuk koneksi ke basis data dengan sejumlah fungsi untuk pengaturan baik menghubungkan maupun memutuskan koneksi dengan server database MySQL sebagai sarana untuk mengumpulkan informasi.

Pada umumnya, perintah yang paling sering digunakan dalam mySQL adalah *select* (mengambil), *insert* (menambah), *update* (mengubah), dan *delete* (menghapus). Selain itu, SQL juga menyediakan perintah untuk membuat database, *field*, ataupun index guna menambah atau menghapus data. (Amanisa, 2010)

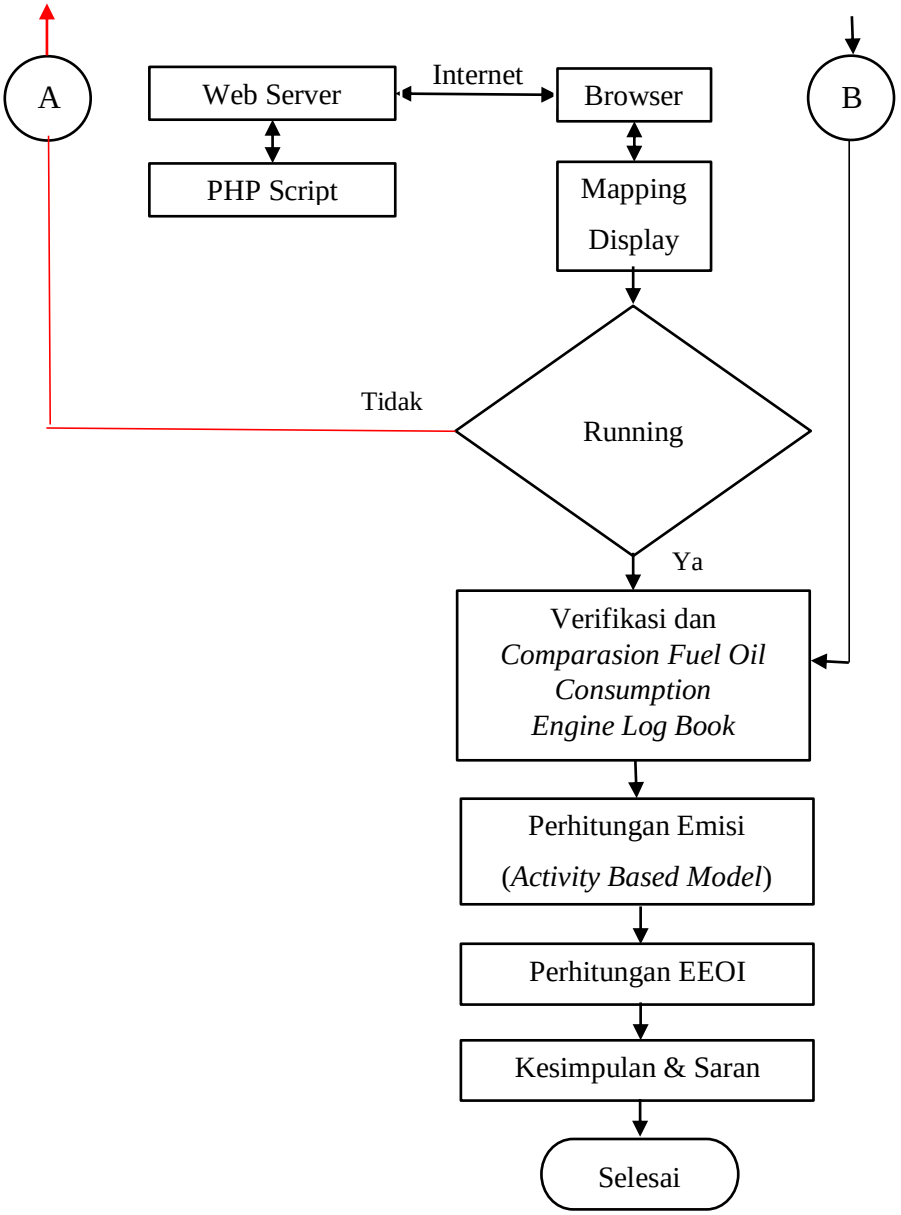
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

Dalam merencakan penelitian yang akan dilakukan, penting untuk membuat sebuah kerangka. Kerangka atau bisa disebut metodologi bertujuan untuk memberikan platform struktur sehingga indikator pengerjaan lebih cepat dan tepat dengan hasil yang optimal. Oleh karena itu pada Gambar 3.1 akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan. Tahapan penelitian ini merupakan langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan tesis ini secara berurutan. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut.



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian



Gambar 3. 1 Diagram Alir Metodologi Penelitian (Lanjutan)

3.1 Perumusan Masalah

Tahap awal dalam sebuah kajian penelitian adalah melakukan penyusunan rumusan masalah yang nantinya point ini akan dijadikan sebagai platform penyelesaian tesis. Perumusan masalah didasarkan pada topik tesis yang telah ditentukan sebelumnya yaitu mengenai monitoring kinerja kapal menggunakan data *automatic identification system* (AIS) untuk menghitung energi effisiensi operasional index.

3.2 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pendalaman teori untuk memperkuat dasar dan analisa yang akan dilakukan, studi literatur terkait dengan topik pembahasan. Pada tahap ini dilakukan study terhadapa referensi – referensi yang terdapat pada jurnal, tugas akhir, internet, dan buku buku materi penunjang. Informasi yang dibutuhkan pada tahap ini adalah referensi untuk mengolah data base AIS untuk menjadi parameter online berbasis internet, sehingga dapat memonitor konsumsi bahan bakar, emisi gas buang yang dihasilkan dan energi effisiensi opersional index kapal saat beroperasi.

3.3 Pengambilan Data

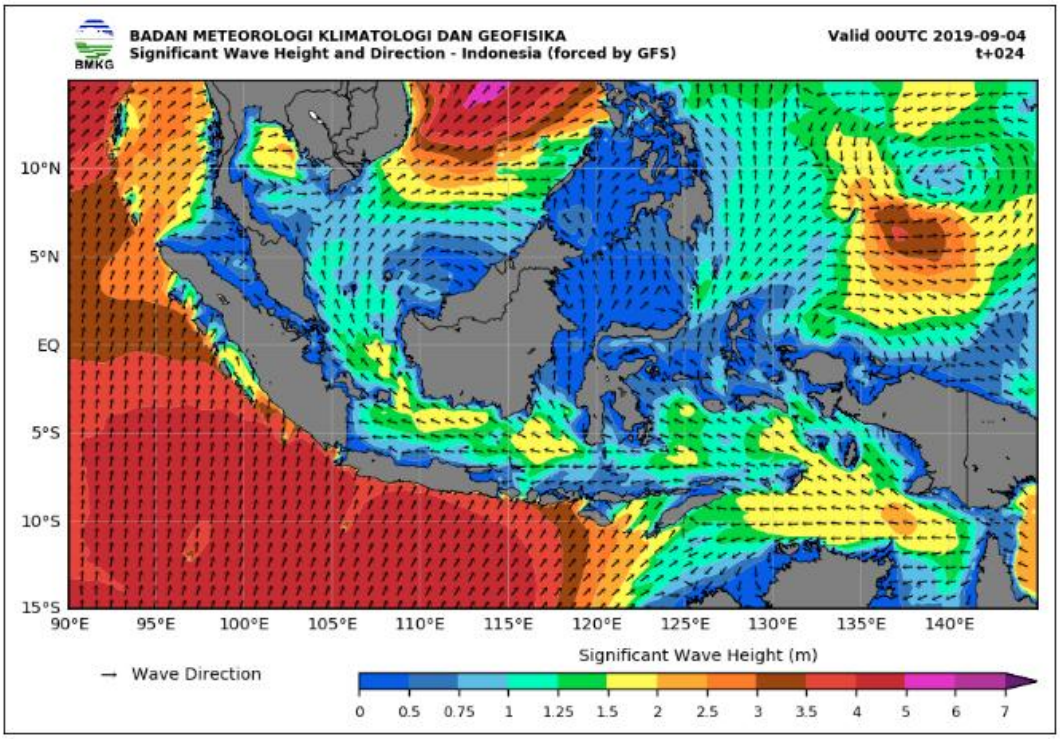
Pengambilan data mengenai monitoring kinerja kapal menggunakan data *automatic identification system* (AIS) untuk menghitung energi effisiensi operasional index diantaranya adalah data AIS, pelacakan data kapal, *gross tonnage* kapal dan MySQL. Data yang didapat akan dijadikan sebagai acuan yang nantinya dibutuhkan terkait dengan monitoring kinerja kapal. Selain itu peta navigasi operasi kapal juga diperlukan untuk mengetahui kondisi lingkungan sekitar secara geografis.

3.4 BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika)

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (disingkat BMKG), sebelumnya bernama Badan Meteorologi dan Geofisika(disingkat BMG) adalah Lembaga Pemerintah Non Departemen Indonesia yang mempunyai tugas melaksanakan tugas pemerintahan di bidang meteorologi, klimatologi, dan geofisika.

Prakiraan Tinggi Gelombang

Faktor mempertimbangkan prakiraan tinggi gelombang sangat penting dalam mendukung kelancaran dan keselamatan kapal saat berlayar. Karena faktor alam juga sangat menetukan dari kinerja mesin dalam mendukung aktifitas kapal saat berlayar.



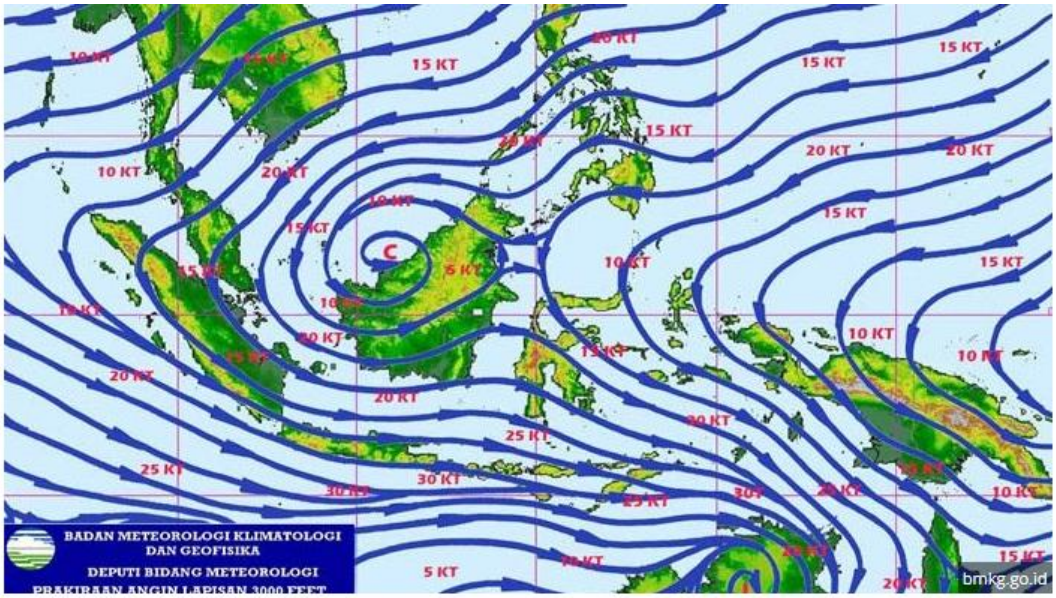
Gambar 3. 2 Peta Prakiraan Tinggi Gelombang
Sumber : *(Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2019)*

Ada beberapa jenis kondisi pelayaran yang dibedakan berdasarkan tinggi gelombang :

- *Slight Sea* (0,5 – 1,25 m)
- *Moderate Sea* (1,25 – 2,50 m)
- *Rough Sea* (2,50 – 4,0 m)
- *Very Rough Sea* (4,0 – 6,0 m)

Prakiraan Angin

Mempertimbangkan kecepatan dan arah angin juga sangat mementukan dalam mendukung keselamatan dan kelangsungan kapal saat beroperasi. Karena faktor kecepatan dan arah angin dapat menjadi tahanan tambahan bagi kapal saat beroperasi. Faktor alam juga menentukan seberapa besar daya mesin yang diperlukan kapal saat beroperasi.



Gambar 3. 3 Peta Prakiraan Arah dan Kecepatan Angin

Sumber : *(Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2019)*

3.5 Parameter Kinerja Kapal

Bagian ini memberikan informasi dasar mengenai parameter utama resistensi dan propulsi kapal yang dianalisis dalam tesis ini.

3.5.1 Resistansi Kapal

Hambatan kapal yang bepergian melalui air terdiri dari banyak komponen. Ini dapat dibagi menjadi komponen yang dihitung dalam lingkungan statis, seperti resistensi lambung, dan komponen karena lingkungan yang dinamis, seperti keberadaan angin dan gelombang. Komponen utama resistensi yang dipelajari dalam analisis ini dijelaskan di bawah ini.

3.5.2 Hambatan Lambung

Saat lambung kapal melewati badan air, kapal itu mengalami hambatan terhadap gerakan ke depan. Hambatan lambung kapal terutama terdiri dari dua komponen: resistansi akibat gelombang, dan resistansi karena gesekan (Larsson, et al., 2010). Resistansi akibat pembuatan gelombang memperhitungkan perpindahan air dan gelombang yang dihasilkan oleh lambung kapal saat bepergian melalui

badan air yang tenang. Hambatan gesekan memperhitungkan resistensi karena lambung menyeret air bersama dengan itu, karena lapisan batas. Area lambung dan geladak di atas garis air juga mengalami hambatan udara saat bepergian dengan kecepatan maju. Hambatan yang membuat gelombang dan hambatan udara untuk kondisi pemuatan tertentu tidak diharapkan berubah seiring waktu, karena bentuk lambung dan geladak diharapkan tetap konstan selama periode yang dianalisis. Namun, resistensi gesekan akan berubah. Resistansi gesekan dari sebuah kapal sebanding dengan kekasaran lambung, yang meningkat karena lambung menjadi kotor dari waktu ke waktu. Sebagai lambung menjadi busuk dan resistensi gesekan meningkat, kinerja kapal akan menurun.

3.5.3 Menambahkan Perlawanan Gelombang

Ketika sebuah kapal melewati gelombang laut, kapal itu mengalami resistensi tambahan karena dua sistem gelombang: refleksi gelombang pendek di lambung kapal, dan gerakan naik-turun yang digerakkan oleh gelombang dan gerakan pitch (Henk van den Boom, 2013). Besarnya tahanan tambahan tergantung pada sejumlah faktor, termasuk keterangan kapal, seperti panjang, balok, dan kecepatan, serta parameter gelombang, seperti tinggi gelombang yang signifikan, periode gelombang, dan arah gelombang. Oleh karena itu, besarnya resistensi gelombang yang ditambahkan akan berubah secara konstan selama umur kapal. Untuk dapat membandingkan kinerja kapal dari waktu ke waktu, resistensi tambahan akibat gelombang harus dihilangkan dari resistansi total, tergantung pada kondisi gelombang yang dialami di setiap lokasi dan waktu tertentu.

$$R_{AWL} = 2 \int_0^{\infty} \frac{R_{wave}\,(\omega; STW)}{\zeta_A^2}\, S_n\,(\omega) d\omega$$

Dimana:

R_{AWL} : peningkatan resistensi rata-rata pada gelombang tidak beraturan dalam Newton

R_{wave} : peningkatan resistensi rata-rata pada gelombang reguler dalam Newton

ζ_A^2 : amplitudo gelombang dalam meter

ω : frekuensi melingkar dari gelombang reguler dalam rad / s

STW : kecepatan kapal dalam m / s

S_n : spektrum frekuensi gelombang dalam m2 / s

3.5.4 Menambahkan Hambatan Angin

Meskipun hambatan lambung kapal di dalam air adalah bagian dominan dari resistansi total, ada juga resistansi tambahan karena pergerakan udara. Meskipun perkiraan resistansi dari tes model memperhitungkan resistansi udara di udara diam, masih ada resistansi tambahan akibat angin. Penambahan tahanan karena angin tergantung pada keterangan kapal, seperti koefisien drag dan area depan, dan parameter angin, seperti kecepatan dan arah. Dalam situasi di mana angin datang dari belakang kapal, resistansi tambahan dapat menjadi negatif, menurunkan resistansi total kapal. Mirip dengan resistensi gelombang tambahan, hambatan angin tambahan juga akan terus berubah dari waktu ke waktu, dan harus dihilangkan dari total hambatan yang dialami di setiap lokasi dan waktu tertentu untuk dapat membandingkan kinerja kapal dari waktu ke waktu.

$$R_{wind} = \frac{1}{2} \rho_{air} V_{air}^2 C_X A_F$$

Dimana :

R_{wind} : kekuatan angin di Newton

ρ_{air} : kepadatan udara pada suhu udara yang berpengalaman dalam kg / m3

V_{air}^2 : kecepatan angin dalam m / s

C_X : koefisien angin untuk arah angin relatif

A_F : area permukaan air di atas kapal dalam m^2

3.5.5 Perubahan Resistansi Karena Draft

Resistensi lambung kapal berubah tergantung pada kondisi pemuatan kapal. Sebuah kapal dengan draft yang lebih besar akan memiliki ketahanan ombak yang lebih besar, karena kapal harus memindahkan lebih banyak air dan menghasilkan gelombang yang berbeda saat bepergian dengan kecepatan maju, serta resistensi gesekan yang lebih besar karena area permukaan lambung yang lebih besar. Draft pengoperasian kapal diharapkan untuk berubah secara teratur sepanjang umur kapal.

Draft kemungkinan akan berubah untuk setiap perjalanan baru, karena muatan barang mungkin berbeda dari perjalanan ke perjalanan, atau kapal dapat

melakukan perjalanan dalam kondisi pemberat (tidak dimuat). Selanjutnya, dalam perjalanan tertentu, konsep akan berubah karena pembakaran bahan bakar. Agar dapat membandingkan kinerja kapal secara akurat di berbagai perjalanan dengan konsep yang berbeda, koreksi harus diterapkan untuk menormalkan resistensi terhadap kondisi desain.

$$R_{ADIS} = 0.65\, R_T \left(\frac{\Delta_0}{\Delta} - 1\right)$$

Dimana:

R_{ADIS} : resistensi tambahan karena peningkatan draft dalam Newton

R_T : hambatan total dalam kondisi desain di Newton

Δ_0 : perpindahan dalam kondisi desain

Δ : perpindahan dalam kondisi yang dianalisis

3.5.6 Perubahan Resistansi Karena Sifat Air

Resistensi kapal tergantung pada sifat-sifat air yang digunakannya untuk berpergian. Hambatan lambung sebanding dengan kepadatan dan viskositas air. Air dengan kepadatan lebih tinggi dan viskositas lebih tinggi pada gilirannya akan meningkatkan ketahanan kapal. Kepadatan dan viskositas air laut tergantung pada suhu dan salinitas air, yang bervariasi tergantung pada badan air, lokasi, dan waktu dalam setahun. Agar dapat membandingkan kinerja kapal secara akurat di berbagai perjalanan, koreksi resistansi harus diterapkan untuk menyesuaikan resistansi dengan kondisi air yang dinormalisasi.

$$R_{AS} = R_T \left(1 - \frac{P_w}{P_{w0}}\right) - R_F \left(1 - \frac{C_f}{C_{f0}}\right)$$

Dimana:

R_{AS} : koreksi resistansi karena perubahan sifat air di Newton

R_T : hambatan total pada sifat air standar dari uji model

R_F : hambatan gesekan dalam kondisi air di Newton

C_{f0} : koefisien tahanan gesek dalam kondisi air standar

C_f : koefisien tahanan gesek dalam kondisi air

P_w : kepadatan air dalam kondisi air dalam kg / m3

P_{w0} : kepadatan air dalam kondisi air standar dalam kg / m3

3.5.7 Koreksi Resistansi

Hambatan terkoreksi kapal selama setiap periode laporan dapat dihitung dengan mengurangi pekerjaan yang dilakukan oleh koreksi (koreksi jarak yang ditempuh selama setiap periode AIS) dari total kerja efektif yang dilakukan oleh kapal, dan kemudian membaginya dengan total jarak yang ditempuh.

$$R_{corrected} = \frac{W_E - \sum_{i=1}^{n} R_{AWL} . di - \sum_{i=1}^{n} R_{wind} . di - \sum_{i=1}^{n} R_{ADIS} . di - \sum_{i=1}^{n} R_{AS} . di}{\sum_{i=1}^{n} di}$$

Dimana:

$R_{corrected}$: resistensi terkoreksi rata-rata selama periode laporan dalam Newton

W_E : power efektif yang dilakukan oleh kapal

R_{AWL} : koreksi resistansi akibat gelombang

R_{wind} : koreksi resistansi akibat angin

R_{ADIS} : koreksi resistansi akibat draft

R_{AS} : koreksi resistansi akibat sifat air

3.6 Daya Kapal dan Konsumsi Bahan Bakar Kapal

Untuk kapal yang dipelajari dalam tesis ini, tenaga pendorong dari mesin ditransmisikan ke air sekitarnya melalui baling-baling. Kinerja baling-baling tidak hanya tergantung pada desain baling-baling, tetapi juga sangat tergantung pada aliran ke bidang baling-baling. Beberapa nilai dimaksudkan untuk menggambarkan aliran ke dalam baling-baling, seperti koefisien fraksi bangun, koefisien deduksi dorong, efisiensi lambung, dan efisiensi relatif-rotatif, dihitung selama pengujian model. Kinerja baling-baling itu sendiri, dijelaskan oleh gaya dorong dan koefisien torsi, ditentukan selama tes model air terbuka.

3.6.1 Daya Kapal

Daya yang dikirim ke baling-baling dapat dihitung berdasarkan tahanan yang dikoreksi dan parameter kapal lainnya. Karena kecepatan kapal berubah

beberapa kali per hari, kecepatan melalui air dan efisiensi diambil sebagai rata-rata tertimbang selama periode laporan siang hari, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan.

$$P_{DCorrective} = \frac{R_{Corrective.}\ (\frac{\sum_{i=1}^{n} STW_{i.di}}{\sum_{i=1}^{n} i.di})}{(\frac{\sum_{i=1}^{n} \eta o.\eta H.\eta RR.idi}{\sum_{i=1}^{n} i.di})}$$

Dimana:

$P_{DCorrective}$ = daya yang dikirim selama periode dalam Watt

$R_{Corrective.}$ = resistensi terkoreksi dalam Newton

STW_i = kecepatan kapal melalui air untuk setiap periode AIS dalam m / s

ηo = efisiensi lambung untuk setiap periode AIS

ηH = efisiensi (open water) propeller untuk setiap periode AIS

ηRR = efisiensi rotasi relatif untuk setiap periode AIS

3.6.2 Konsumsi Bahan Bakar Kapal

Konsumsi bahan bakar harian berbanding lurus dengan daya yang disalurkan kapal. Ini dihitung seperti yang ditunjukkan pada persamaan .

$$\frac{M_{fc} = P_{DCorrective}.SFOC_{ME}.\ 24}{\eta_{trans}.1000.1000}$$

Dimana:

M_{fc} : massa bahan bakar yang terbakar dalam ton / hari

$P_{DCorrective}$: daya yang dikirim dalam Watt

$SFOC_{ME}$: konsumsi bahan bakar spesifik mesin utama dalam kg / kWh

η_{trans} : effisiensi transmisi

3.6.3 Perhitungan Emisi

Dalam melakukan perhitungan emisi digunakan metode perhitungan berdasarkan karakteristik kapal, seperti mode operasi, kapasitas daya mesin, waktu operasi kapal yang mana data-data tersebut didapatkan dari data AIS. Perhitungan estimasi emisi secara matematis dapat dilihat pada persamaan di bawah ini (Handani, et al., 2018) :

$$E = P\ x\ FL\ x\ T\ x\ EF$$

Dimana:

P : daya mesin (ME, AE dan AB)

FL : *fraction load of engine*

T : waktu operasi engine

EF : faktor emisi mesin (ME, AE dan AB)

3.7 Perhitungan Bahan Bakar dan Emisi

3.7.1 Perhitungan Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar harian berbanding lurus dengan daya yang disalurkan kapal. Ini dihitung seperti yang ditunjukkan pada persamaan .

$$\frac{M_{fc} = P_{DCorrective}.SFOC_{ME}.\ 24}{\eta_{trans}.1000.1000}$$

Dimana:

- M_{fc} adalah massa dinormalisasi dari bahan bakar yang dibakar dalam ton / hari
- $P_{DCorrective}$ adalah daya yang dikirim normal dalam Watt
- $SFOC_{ME}$ adalah konsumsi bahan bakar spesifik mesin utama dalam kg / kWh
- η_{trans} adalah efisiensi transmisi

3.7.2 Perhitungan Emisi

Pada tahap ini merupakan tahap perhitungan konsumsi bahan bakar, dimana data-data yang dibutuhkan adalah data operasional dan data teknik kapal meliputi spesifikasi mesin utama dan mesin bantu, konsumsi bahan bakar, dan data utama kapal. Data yang akan digunakan untuk proses penyelesaian penelitian antara lain data kapal yang beroperasi yakni KM. Doro Londa dengan spesifikasi mesin sebagai berikut:

Spesifikasi teknis *main machinery* :

- 2 KRUPP MAK 8 M 601 C
- Output, 8520 kW, 428 RPM

Spesifikasi teknis *aux. machinery* :

- 4 Daihatsu Engine Type 6 DL – 24
- Output, 882 kW, 750 RPM

Proses perhitungan kebutuhan bakar sesuai dengan variasi kecepatan. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan kalkulasi ini antara lain adalah rute pelayaran yang ditempuh, kondisi gelombang saat pelayaran, dan lama waktu sandar pada masing-masing pelabuhan. Berikut merupakan rumusan empiris perhitungan bahan bakar:

$$\text{FC} = BHP\ x\ SFOC\ x\ t$$

Dimana :

FC = *Fuel Consumption* (gr)

BHP = *Power Engine* (kW)

SFOC = *Specific Fuel Oil Consumption* (g/kWh)

t = *Total time* (waktu pelayaran) (*hours*)

3.8 Perhitungan EEOI

EEOI menetapkan jumlah ton emisi CO_2 per ton mil laut dihitung menggunakan data operasional aktual (konsumsi bahan bakar, massa muatan yang diangkut, dan jarak berlayar) dan merupakan efisiensi energi kapal yang dicapai secara aktual selama operasi. EEOI dihitung sebagai berikut:

$$EEOI = \frac{(\text{Faktor konversi massa bahan bakar menjadi } CO_2)\ x\ (Konsumsi\ bahan\ bakar)}{(massa\ muatan\ aktual\ yang\ diangkat)\ x\ (jarak\ berlayar\ aktual)}$$

Perhitungan EEOI untuk setiap pelayaran secara detail dilakukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$EEOI = \frac{\sum j\ FC_j\ x\ C_{Fj}}{(m_{cargo})}$$

Untuk menghitung rata-rata EEOI dalam periode perhitungan termasuk beberapa pelayaran:

$$EEOI_{rata-rata} = \frac{\sum i \sum j \ (FC_j \ x \ C_{Fj})}{\sum i \ (m_{cargo} \ x \ D_i)}$$

Dimana:

j : jenis bahan bakar

i : jumah pelayaran

FC_{ij} : massa bahan bakar yang dikonsumsi *j* pada pelayaran

CF_j : massa bahan bakar untuk faktor konveri massa CO_2 untuk bahan bakar *j* pada pelayaran

m_{cargo} : muatan yang diangkut (ton) atau kerja yang dilakukan (jumlah TEU atau penumpang) atau gross tonnes untuk kapal penumpang.

D : jarak dalam mil laut sesuai dengan muatan yang diangkut atau kerja yang dilakukan.

3.9 Pembuatan Browser

Pembuatan Browser dimulai dengan perencanaan PHP *Hypertext Preprocessor* yang merupakan suatu bahasa pemrograman yang difungsikan untuk membangun suatu website dinamis. PHP menyatu dengan kode HTML, dengan adanya PHP web akan sangat mudah di-maintenance. PHP berjalan pada sisi server sehingga PHP disebut juga sebagai bahasa Server Side Scripting. Artinya bahwa dalam setiap/untuk menjalankan PHP, wajib adanya web server. PHP ini bersifat open source, skrip ini akan membuat suatu aplikasi dapat diintegrasikan ke dalam HTML sehingga suatu halaman web tidak lagi bersifat statis, namun menjadi bersifat dinamis. Sifat server side berarti pengerjaan skrip dilakukan di server, baru kemudian hasilnya di kirimkan ke browser.

3.10 Pembuatan Display Mapping

Setelah semua script selesai dibuat, maka hasil dari script PHP tersebut akan menampilkan sebuah Tabel dari Tampilan Google Maps pada browser internet.

Dimana Tabel tersebut akan menunjukan total konsumsi bahan bakar, emisi gas buang yang dihasilkan, dan nilai EEOI. Hal ini berlaku pada setiap kapal yang terdeteksi AIS System, dan yang yang ditampilkan berupa ; Nama Kapal, Bendera Negara, Konsumsi Bahan Bakar, Emisi Gas Buang, nilai EEOI, serta Parameter kapal lainnya.

3.11 Verifikasi dan Komparasi

Pada bagian ini, akan disimpulkan berbagai kesimpulan terutama yang berkaitan dengan hasil perhitungan konsumsi bahan bakar, estimasi emisi gas buang dan nilai EEOI dengan data konsumsi bahan bakar aktual yang diverifikasi oleh Engine Log Book yang diperoleh langsung dari kapal. Sehingga dapat diberikan tanggapan berupa saran apakah penelitian ini sangat perlu dikembangkan untuk menjangkau seluruh kapal dimanapun berada.

BAB IV
ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Bab ini merupakan uraian mengenai langkah-langkah analisa yang dilakukan dalam mengolah data. Data diperoleh dari hasil survey dari pelayaran kapal KM. Dorolonda dengan rute Surabaya – Jakarta dan sebaliknya Jakarta – Surabaya pada tanggal 9 sampai dengan 12 Oktober 2019. Data yang diperoleh survey saat berlayar adalah data rute kapal berdasarkan posisi *latitude* dan *longitude* serta *record* konsumsi bahan bakar. Selanjutnya data tersebut di analisa dan dilakukan perhitungan konsumsi bahan bakar, emisi dan Indeks Opersional Effisiensi Energi yang ditunjang oleh data kondisi lingkungan secara aktual saat kapal berlayar. Data lingkungan diperoleh dari data yang dikeluarkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) kantor cabang Surabaya. Hasil perhitungan konsumsi bahan bakar tersebut diverifikasi oleh *record* konsumsi bahan bakar kapal yang digunakan, sehingga dengan tingkat error antara hasil perhitungan dan data aktual digolongkan valid. Rumusan perhitungan tersebut dirubah menjadi algorithma untuk diterjemahkan dalam bahasa PHP Script sehingga menjadi *features* AIS dalam memonitor konsumsi besar bahan bakar kapal.

4.2 Pengambilan Data

Dalam tesis untuk mengembangkan sistem monitoring bahan bakar berbasis intenet menggunakan contoh kapal yang dioperasikan oleh sebuah instansi perusahaan pelayaran. Dalam pengambilan data tesis ini dilakukan dengan cara mengikuti kapal KM. Dorolonda berlayar dari Surabaya – Jakarta dan sebaliknya Jakarta – Surabaya pada tanggal 9 sampai dengan 12 Oktober 2019. Pengambilan data dengan berlayar diperlukan untuk mendapatkan *record* konsumsi bahan bakar, letak geografis rute kapal berlayar dan mengumpulkan data-data yang diperlukan untuk membuat rumusan konsumsi bahan bakar, emisi yang dihasilkan, serta nilai indeks operasional. Adapun data utama kapal KM. Dorolonda yang dijadikan model atau contoh ditunjukkan pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1. *Ship Particular* KM. Doro Londa

Nama Kapal	KM. Doro Londa
Tipe Kapal	*Passenger Ship*
MMSI	525005046
LOA	146,5 m
Draft	5,90 m
Breadth	23,4 m
Displacement	10534,7
Vt Design	23,67
Gross Tonnage	14,685
Netto Tonnage	4,629
Death Weight Tonnage	3,175
Main Engine	2 Krupp MAK 8M 601 C
Aux. Engine	Daihatsu 6 DL - 24

4.2.1 Pencatatan Rute Pelayaran

Dari hasil berlayar didapatkan rute pelayaran dan letak geografis yang dilalui oleh kapal KM. Doro Londa yang berlayar pada tanggal 9 sampai dengan 10 Oktober 2019 yang dicatat berdasarkan posisi *latitude* dan *longitude*, yang mana dapat dilihat dari Tabel 4. 2:

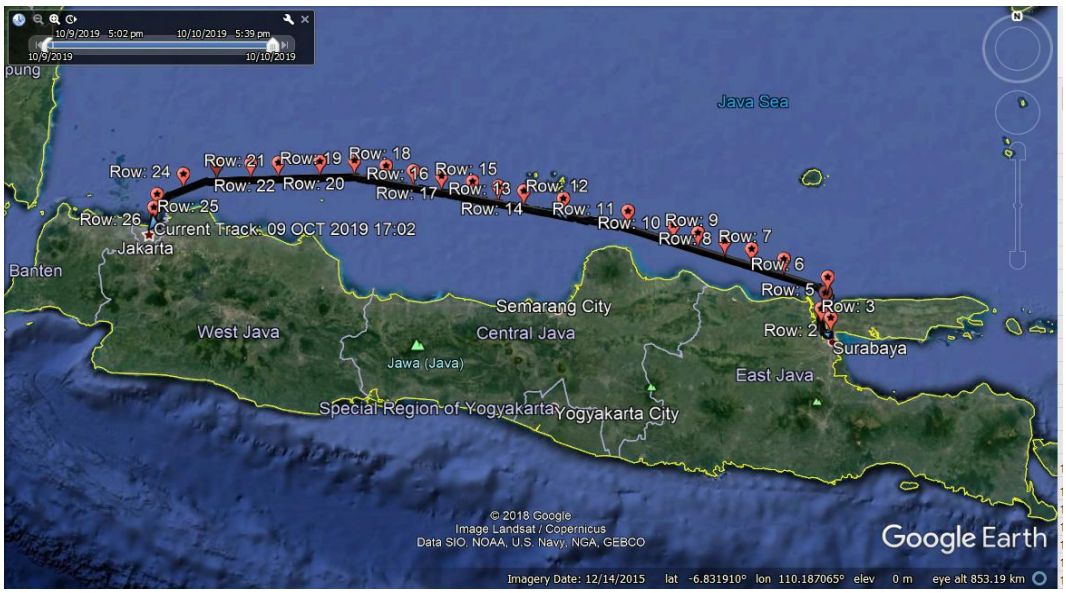
Tabel 4. 2. Tabel Posisi *Latitude & Longitude* KM. Doro Londa tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019

No.	***Row***	***Speed***	***Time***	***Latitude***	***Longitude***
1	Row 1	-	17.04	07° 11. 776' S	112° 44. 041' E
2	Row 2	-	17.58	07° 11. 776' S	112° 44. 041' E
3	Row 3	15	18.20	07° 11. 186' S	112° 41. 759' E
4	Row 4	14,9	18.25	07° 10. 351' S	112° 40. 868' E
5	Row 5	15	18.30	07° 09. 450' S	112° 40. 233' E
6	Row 6	14,8	18.35	07° 08. 155' S	112° 39. 531' E
7	Row 7	14,8	18.40	07° 06. 960' S	112° 39. 375' E
8	Row 8	15	18.55	07° 03. 115' S	112° 39. 738' E
9	Row 9	15	19.00	07° 01. 715' S	112° 40. 228' E

Tabel 4. 2 Tabel Posisi *Latitude & Longitude* KM. Doro Londa tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019 (Lanjutan)

No.	*Row*	*Speed*	*Time*	*Latitude*	*Longitude*
10	*Row 10*	*15*	*19.05*	*07° 00. 672' S*	*112° 40. 709' E*
11	*Row 11*	*15,2*	*19.10*	*06° 59. 663' S*	*112° 41. 345' E*
12	*Row 12*	*15,1*	*19.15*	*06° 58. 610' S*	*112° 42. 094' E*

Dari catatan posisi *latitude* dan *longitude* tersebut diplotkan pada aplikasi *google earth* untuk mengetahui letak geografis yang dilalui kapal KM. Doro Londa pada tanggal 9 sampai dengan 10 Oktober 2019, rute letak geografis tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. 1.



Gambar 4. 1 Rute Pelayaran KM. Doro Londa Surbaya – Jakarta

Sedangkan catatan posisi *latitude* dan *longitud* kapal KM. Doro Londa saat berlayar dari Jakarta – Surabaya pada tanggal 11 sampai dengan 12 Oktober 2019, yang mana dapat dilihat pada Tabel 4. 3.

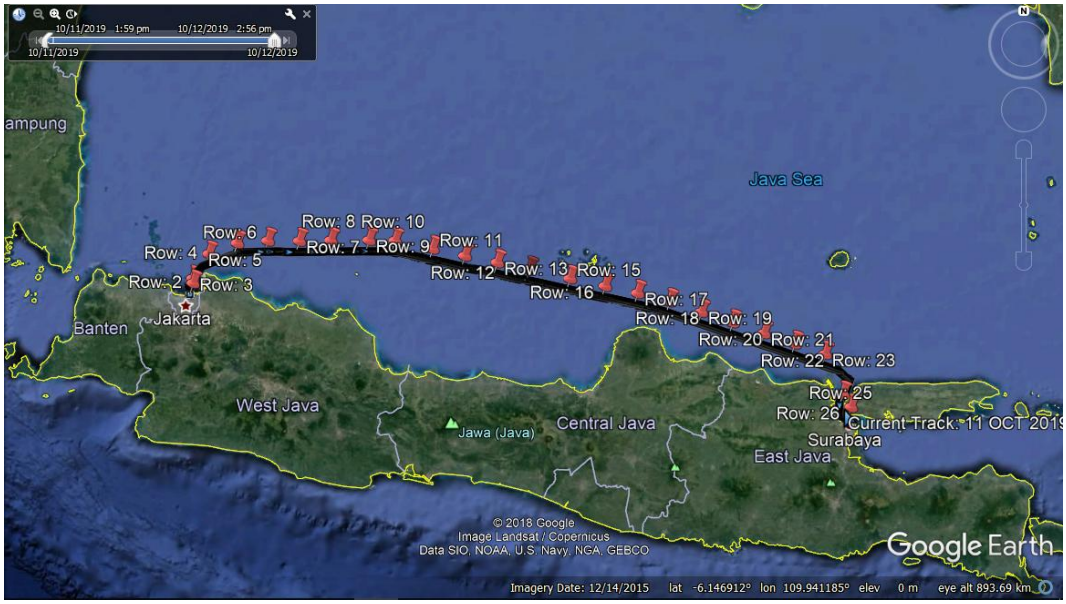
Tabel 4. 3 Posisi *Latitude & Longitude* KM. Doro Londa tgl 11 s.d 12 Oktober 2019

No.	Row	Speed	Time	Latitude	Longitude
1	Row 1	-	14.00	06° 06. 200' S	106° 52. 956' E
2	Row 2	-	15.00	06° 06. 200' S	106° 52. 956' E
3	Row 3	6,9	15.15	06° 05. 921' S	106° 52. 999' E

Tabel 4. 3 Posisi *Latitude & Longitude* KM. Doro Londa tgl 11 s.d 12 Oktober 2019 (Lanjutan)

No.	Row	Speed	Time	Latitude	Longitude
4	Row 4	3,9	15.50	06° 05. 630' S	106° 52. 991' E
5	Row 5	11,7	15.25	06° 04. 849' S	106° 52. 844' E
6	Row 6	12,7	15.30	06° 03. 787' S	106° 52. 766' E
7	Row 7	16,7	16.00	05° 56. 591' S	106° 56. 183' E
8	Row 8	16,2	16.05	05° 55. 393' S	106° 56. 906' E
9	Row 9	16,2	16.10	05° 54. 146' S	106° 57. 762' E
10	Row 10	16,2	16.15	05° 53. 184' S	106° 58. 485' E
11	Row 11	15,8	16.20	05° 52. 211' S	106° 59. 462' E
12	Row 12	15,9	16.25	05° 51. 341' S	107° 00. 544' E

Untuk catatan posisi *latitude* dan *longitude* tersebut diplotkan pada aplikasi *google earth* untuk mengetahui letak geografis yang dilalui kapal KM. Doro Londa pada tanggal 11 sampai dengan 12 Oktober 2019, rute letak geografis tersebut dapat dilihat pada Gambar 4. 2.



Gambar 4. 2 Rute Pelayaran KM. Doro Londa Jakarta – Surabya

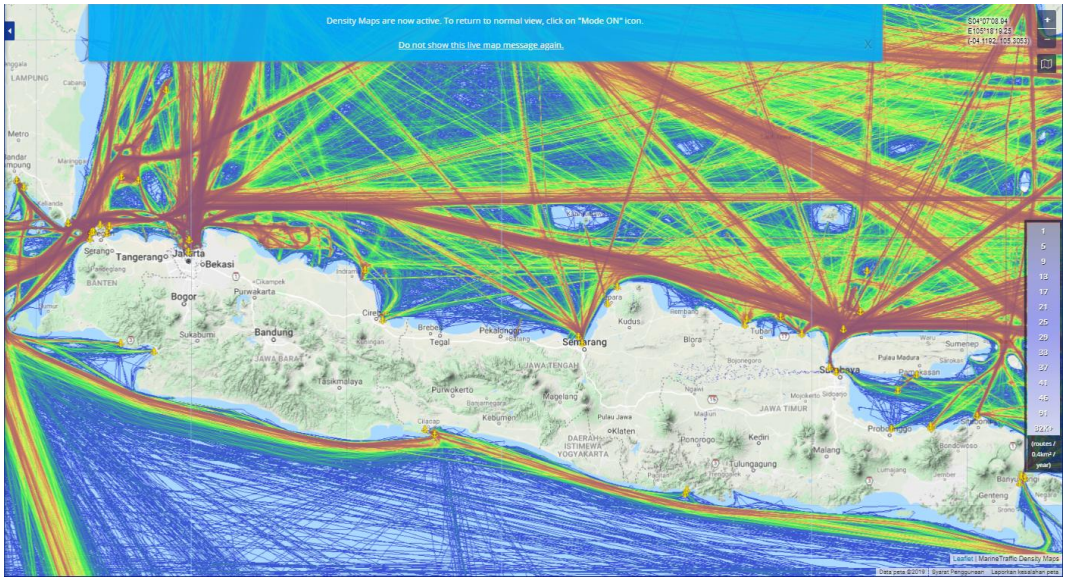
4.2.2 Validasi Rute Pelayaran

Dari hasil pencatatan rute pelayaran KM. Doro Londa yang telah diplotkan di map melalui aplikasi *google earth*, perlu di lakukan nya validasi untuk mengetahui apakah benar rute tersebut rute yang disering dilalui oleh kapal kapal lainya ketika kapal berlayar dari surabaya- jakarta atau sebaliknya. Dalam hal ini terkait untuk menentukan rute pelayaran terbaik dengan beberapa faktor parameter

yang peru dilihat, berikut beberapa faktor yang perlu ditinjau untuk menetukan rute pelayaran:

- *Safety* (tidak mengganggu jalur para nelayan, ditinjau dari tingkat jarak dermaga terdekat jika terjadi *incident*)
- Effisiensi bahan bakar (jalur terdekat untuk menghemat bahan bakar)
- Kondisi lingkungan (cuaca & kondisi perairan juga menetukan rute pelayaran, karena salah satu faktor yang menetukan kinerja mesin kapal saat berlayar)

Jika dilihat dari https://www.marinetraffic.com/ dapat diketahui jalur dengan kepadatan kapal yang lebih besar seperti pada Gambar 4. 3, hal ini membuktian bahwa jalur tersebut merupakan jalur yang sering digunakan oleh kapal saat berlayar.



Gambar 4. 3 Validasi Rute KM.Doro Londa Surabaya – Jakarta / Jakarta – Surabaya

4.2.3 Rekapitulasi Konsumsi Bahan Bakar

Data konsumsi bahan bakar KM. Doro Londa yang berlayar pada tanggal 9 sampai dengan 10 Oktober 2019 dilakukan rekapitulasi pada setiap jamnya, serta ditunjang data posisi *latitude & longitude* untuk mengetahui letak geografis yang dilalui oleh kapal. Kondisi lingkungan pelayaran juga dipertimbangkan karena berpengaruh pada konsumsi bahan bakar. Data menunjukkan konsumsi bahan bakar berbeda dari *point to point record* seperti pada Tabel 4. 4 karena ada perubahan arah angin, kecepatan angin, arah arus, kecepatan arus, arah gelombang dan tinggi rendahnya gelombang yang bererak secara dinamis.

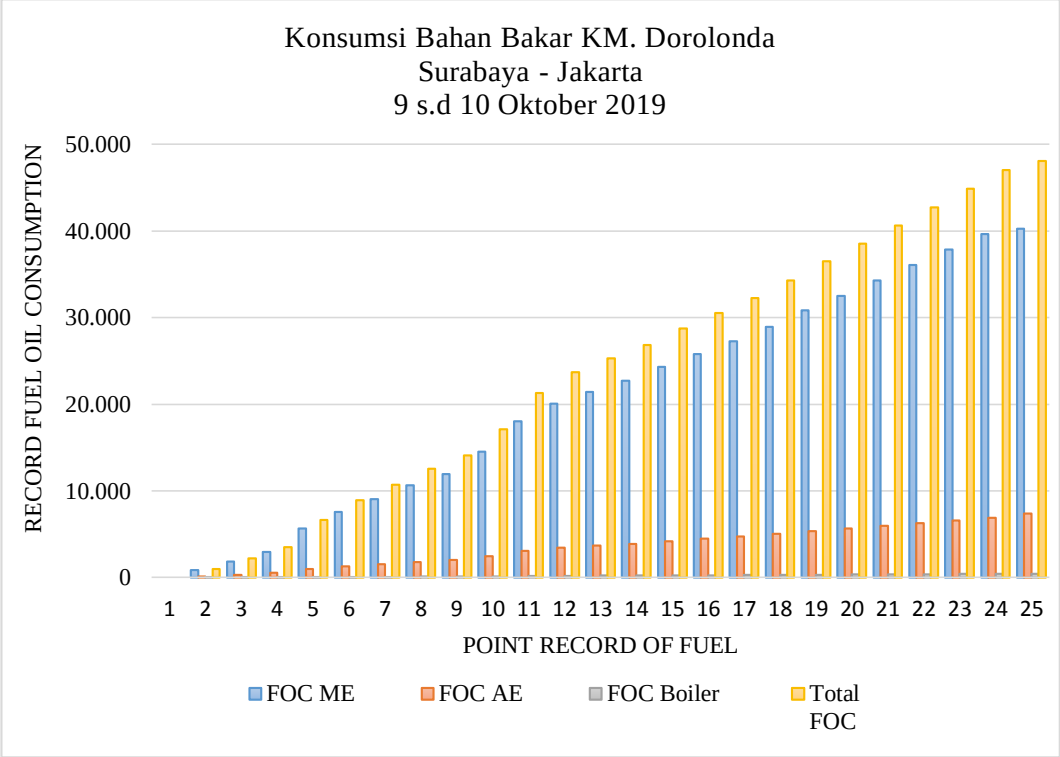
Tabel 4. 4 Record Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019

ROF	FOC Main Engine ME PS / ME SB		Time	Interval Minute	FOC ME PS	FOC ME SB	FOC ME	Flow Rate ME	FOC Aux Engine	FOC AE	Flow Rate AE	FOC Boiler	FOC Boiler	Flow rate Boiler	Total FOC	Flow Rate FOCTotal
1	6.514.627,00	10.116.525,00	17.58	0	0,00	0,00	0,00	0,00	3.768.146,20	0,00	0,00	184.610	0	0,000	0,00	0,00
2	6.514.969,00	10.117.043,00	18.40	42	342,00	518,00	860,00	20,48	3.768.246,20	100,00	2,38	184.620	10	0,238	970,00	23,10
3	6.515.364,00	10.117.652,00	19.15	35	395,00	609,00	1.004,00	28,69	3.768.451,50	205,30	5,87	184.629	9	0,257	1.218,30	34,81
4	6.515.823,50	10.118.264,00	19.55	40	459,50	612,00	1.071,50	26,79	3.768.668,20	216,70	5,42	184.642	13	0,325	1.301,20	32,53
5	6.516.947,50	10.119.852,20	21.20	85	1.124,00	1.588,20	2.712,20	31,91	3.769.109,80	441,60	5,20	184.666	24	0,282	3.177,80	37,39
6	6.517.751,50	10.120.959,00	22.20	60	804,00	1.106,80	1.910,80	31,85	3.769.431,20	321,40	5,36	184.682	16	0,267	2.248,20	37,47
7	6.518.378,00	10.121.842,00	23.10	50	626,50	883,00	1.509,50	30,19	3.769.682,00	250,80	5,02	184.696	14	0,280	1.774,30	35,49
8	6.519.021,00	10.122.773,00	00.00	50	643,00	931,00	1.574,00	31,48	3.769.949,00	267,00	5,34	184.709	13	0,260	1.854,00	37,08
9	6.519.561,50	10.123.561,00	00.45	45	540,50	788,00	1.328,50	29,52	3.770.172,50	223,50	4,97	184.721	12	0,267	1.564,00	34,76
10	6.520.592,00	10.125.069,00	02.10	85	1.030,50	1.508,00	2.538,50	29,86	3.770.599,80	427,30	5,03	184.745	24	0,282	2.989,80	35,17
11	6.522.040,00	10.127.157,00	04.05	115	1.448,00	2.088,00	3.536,00	30,75	3.771.211,50	611,70	5,32	184.785	40	0,348	4.187,70	36,41
12	6.522.842,50	10.128.358,00	05.15	70	802,50	1.201,00	2.003,50	28,62	3.771.565,80	354,30	5,06	184.810	25	0,357	2.382,80	34,04
13	6.523.374,00	10.129.182,00	06.00	45	531,50	824,00	1.355,50	30,12	3.771.810,20	244,40	5,43	184.826	16	0,356	1.615,90	35,91
14	6.523.892,50	10.129.985,00	06.45	45	518,50	803,00	1.321,50	29,37	3.772.044,00	233,80	5,20	184.840	14	0,311	1.569,30	34,87
15	6.524.515,50	10.130.948,00	07.40	55	623,00	963,00	1.586,00	28,84	3.772.333,80	289,80	5,27	184.860	20	0,364	1.895,80	34,47

Tabel 4. 4 Record Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019 (Lanjutan)

ROF	FOC Main Engine ME PS / ME SB		Time	Interval Minute	FOC ME PS	FOC ME SB	FOC ME	Flow Rate ME	FOC Aux Engine	FOC AE	Flow Rate AE	FOC Boiler	FOC Boiler	Flow rate Boiler	Total FOC	Flow Rate FOCTotal
16	6.525.107,50	10.131.845,00	08.30	50	592,00	897,00	1.489,00	29,78	3.772.607,20	273,40	5,47	184.876	16	0,320	1.778,40	35,57
17	6.525.691,00	10.132.714,00	09.18	48	583,50	869,00	1.452,50	30,26	3.772.883	275,80	5,75	184.894	18	0,375	1.746,30	36,38
18	6.526.366,00	10.133.713,00	10.15	57	675,00	999,00	1.674,00	29,37	3.773.179,20	296,20	5,20	184.917	23	0,404	1.993,20	34,97
19	6.527.120,50	10.134.854,00	11.15	60	754,50	1.141,00	1.895,50	31,59	3.773.509,00	329,80	5,50	184.937	20	0,333	2.245,30	37,42
20	6.527.791,00	10.135.877,00	12.15	60	670,50	1.023,00	1.693,50	28,23	3.773.807	298,00	4,97	184.956	19	0,317	2.010,50	33,51
21	6.528.499,00	10.136.962,00	13.15	60	708,00	1.085,00	1.793,00	29,88	3.774.120,00	313,00	5,22	184.975	19	0,317	2.125,00	35,42
22	6.529.199,5	10.138.018,00	14.15	60	700,50	1.056,00	1.756,50	29,28	3.774.433,80	313,80	5,23	184.994	19	0,317	2.089,30	34,82
23	6.529.904,50	10.139.094,00	15.15	60	705,00	1.076,00	1.781,00	29,68	3.774.753,80	320,00	5,33	185.016	22	0,367	2.123,00	35,38
24	6.530.630,50	10.140.190,00	16.15	60	726,00	1.096,00	1.822,00	30,37	3.775.054,20	300,40	5,01	185.035	19	0,317	2.141,40	35,69
25	6.530.901,00	10.140.496,00	17.00	45	270,50	306,00	576,50	12,81	3.775.543,80	489,60	10,88	185.064	29	0,644	1.095,10	24,34

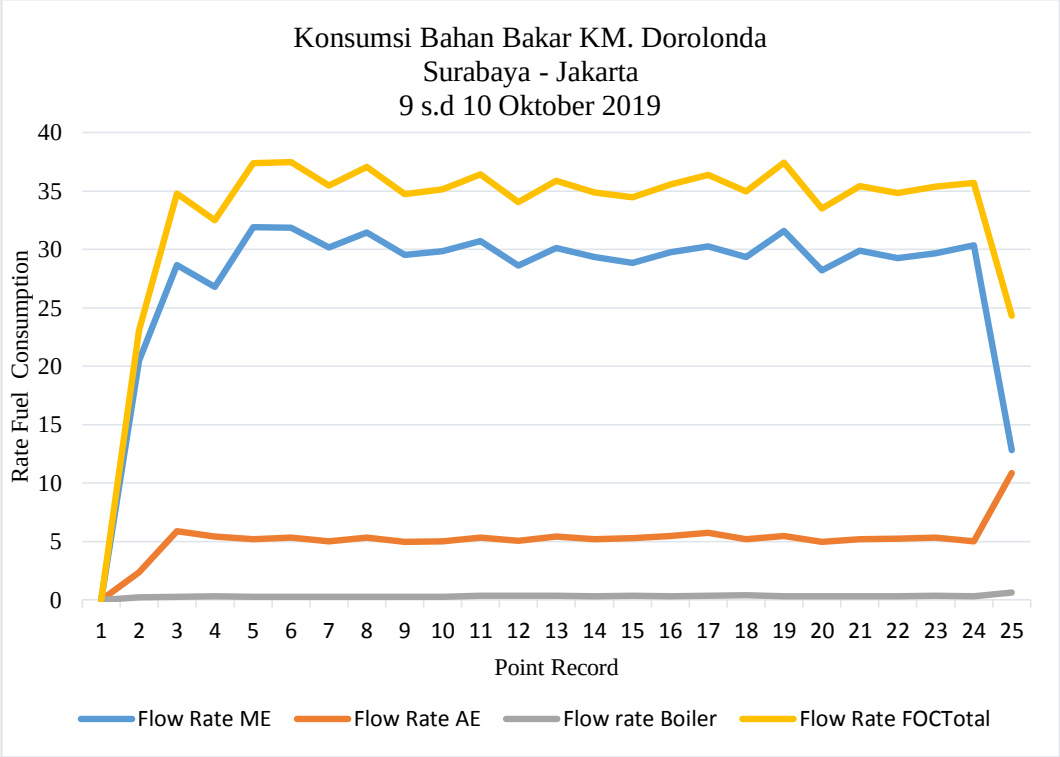
Dari hasil analisa tabel di atas, nilai konsumsi bahan bakar secara komulatif KM. Doro Londa saat berlayar tanggal 9 sampai dengan 10 Oktober 2019 untuk Mesin Induk adalah 40.245 Liter, konsumsi bahan bakar Mesin Bantu adalah 7.397,6 Liter dan konsumsi bahan bakar Boiler adalah 454 Liter. Jadi total konsumsi bahan bakar keseluruhan yaitu 48.096,60 Liter. Grafik selengkapnya dapat diperlihatkan pada Gambar 4. 4.



Gambar 4. 4 Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa Surabaya – Jakarta 9 s.d 10 Oktober 2019

Sedangkan untuk hasil analisa *flow rate* konsumsi bahan bakar KM. Doro Londa pada tanggal 9 sampai dengan 10 Oktober 2019 untuk setiap menitnya bergerak secara fluktuatif pada masing-masing *point record*. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor yaitu salah satunya perbedaan kondisi lingkungan yang berubah pada saat berlayar. Grafik *Flow Rate* konsumsi bahan bakar dapat diamati pada garfik Gambar 4. 5. Contohnya saat empat jam pertama ketika berlayar, grafik menunjukkan terjadinya penurunan konsumsi bahan bakar pada *main engine* dari 28.69 liter ke 26.79 liter, hal ini relevan dengan kondisi aktual lingkungan yang terjadi pada jam tersebut yaitu adanya arah angin dan arus laut yang searah dengan arah kapal. Sebaliknya pada dua puluh jam pelayaran terjadi kenaikan konsumsi

bahan bakar dari 29.37 liter ke 31.59 liter hal ini disebabkan adanya arah angin dan arus laut yang berlawanan dengan arah kapal.



Gambar 4. 5 Flow Rate Konsumsi Bahan Bakar KM Doro Londa 9 s.d 10 Oktober 2019

Data konsumsi bahan bakar KM. Doro Londa yang berlayar pada tanggal 11 sampai dengan 12 Oktober 2019 dilakukan rekapitulasi pada setiap jamnya, serta ditunjang data posisi *latitude & longitude* untuk mengetahui letak geografis yang dilalui oleh kapal. Kondisi lingkungan pelayaran juga dipertimbangkan karena berpengaruh pada konsumsi bahan bakar. Data menunjukkan konsumsi bahan bakar berbeda dari *point to point record* seperti pada Tabel 4.5 karena ada perubahan arah angin, kecepatan angin, arah arus, kecepatan arus, arah gelombang dan tinggi rendahnya gelombang yang bererak secara dinamis. Total konsumsi bahan bakar ketika rute Surabaya-Jakarta dan Jakarta-Surabaya memiliki perbedaan sejumlah 1500 Liter. Dalam perjalanan KM. Doro Londa Surabaya-Jakarta dan sebaliknya memakan waktu kurang lebih 24 jam, adanya perbedaan jumlah kumulatif konsumsi bahan bakar dikarenakan ketika perjalanan pulang kapal melawan arus saat berlayar.

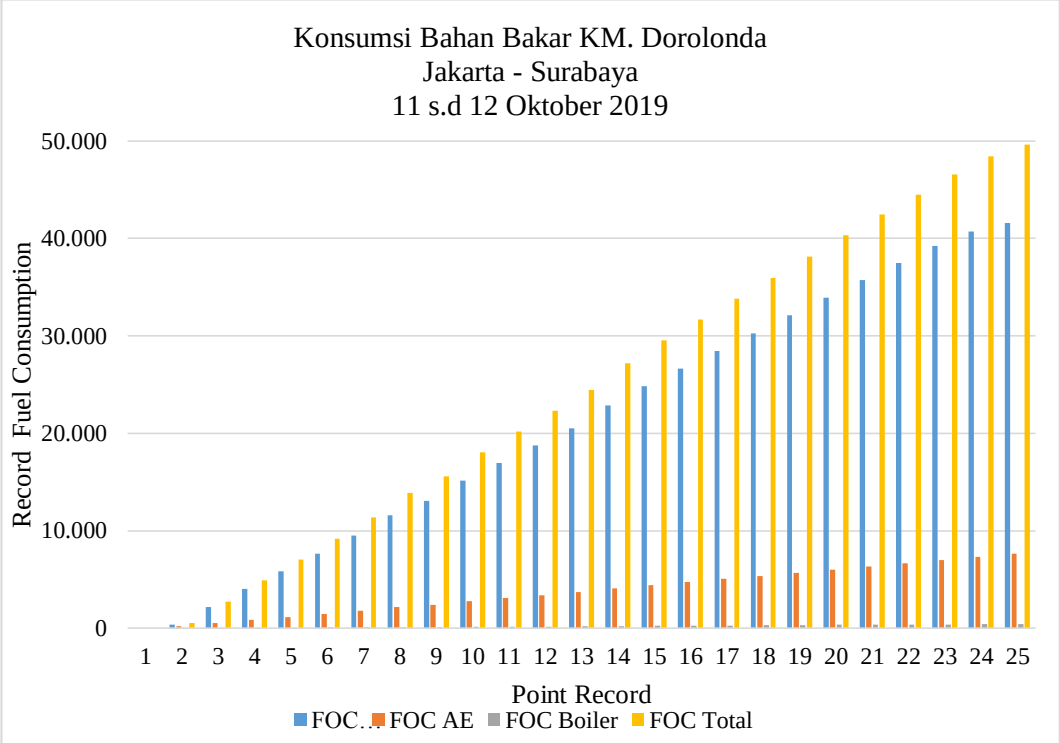
Tabel 4. 5 Record Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa tanggal 11 s.d 12 Oktober 2019

ROF	FOC Main Engine ME PS / ME SB		Time	Interval Minute	FOC ME PS	FOC ME SB	FOC ME	Flow Rate ME	FOC Aux Engine	FOC AE	Flow Rate AE	FOC Boiler	FOC Boiler	Flow Rate Boiler	FOC Total	Flow Rate FOC Total
1	6.530.904,00	10.140.500,00	15.00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	3.781.410,50	0,00	0,00	185.597	0	0	0	0,00
2	6.531.081,50	10.140.690,00	15.30	30	177,50	190,00	367,50	12,25	3.781.601,50	191,00	6,37	185.604	7	0,23	565,50	18,85
3	6.531.787,00	10.141.783,00	16.30	60	705,50	1.093,00	1.798,50	29,98	3.781.925,00	323,50	5,39	185.626	22	0,37	2.144,00	35,73
4	6.532.547,50	10.142.908,00	17.30	60	760,50	1.125,00	1.885,50	31,43	3.782.254,00	329,00	5,48	185.644	18	0,30	2.232,50	37,21
5	6.533.265,50	10.143.980,00	18.30	60	718,00	1.072,00	1.790,00	29,83	3.782.567,20	313,20	5,22	185.660	16	0,27	2.119,20	35,32
6	6.533.987,50	10.145.072,00	19.30	60	722,00	1.092,00	1.814,00	30,23	3.782.882,50	315,30	5,25	185.674	14	0,23	2.143,30	35,72
7	6.534.715,50	10.146.187,00	20.30	60	728,00	1.115,00	1.843,00	30,72	3.783.200,30	317,80	5,30	185.692	18	0,30	2.178,80	36,31
8	6.535.551,00	10.147.472,00	21.42	72	835,50	1.285,00	2.120,50	29,45	3.783.569,50	369,20	5,13	185.710	18	0,25	2.507,70	34,83
9	6.536.112,00	10.148.341,20	22.30	48	561,00	869,20	1.430,20	29,80	3.783.820,50	251,00	5,23	185.722	12	0,25	1.693,20	35,27
10	6.536.919,50	10.149.615,60	23.40	70	807,50	1.274,40	2.081,90	29,74	3.784.182,00	361,50	5,16	185.741	19	0,27	2.462,40	35,18
11	6.537.636,50	10.150.726,00	00.40	60	717,00	1.110,40	1.827,40	30,46	3.784.496,10	314,10	5,24	185.759	18	0,30	2.159,50	35,99
12	6.538.346,50	10.151.804,00	01.40	60	710,00	1.078,00	1.788,00	29,80	3.784.801,80	305,70	5,09	185.776	17	0,28	2.110,70	35,18
13	6.539.066,00	10.152.880,00	02.40	60	719,50	1.076,00	1.795,50	29,93	3.785.106,20	304,40	5,07	185.791	15	0,25	2.114,90	35,25
14	6.540.014,50	10.154.262,00	03.55	75	948,50	1.382,00	2.330,50	31,07	3.785.503,20	397,00	5,29	185.816	25	0,33	2.752,50	36,70
15	6.540.804,00	10.155.447,00	05.00	65	789,50	1.185,00	1.974,50	30,38	3.785.847,00	343,80	5,29	185.841	25	0,38	2.343,30	36,05
16	6.541.536,50	10.156.525,00	06.00	60	732,50	1.078,00	1.810,50	30,18	3.786.162,00	315,00	5,25	185.866	25	0,42	2.150,50	35,84

Tabel 4. 5 Record Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa tanggal 11 s.d 12 Oktober 2019 (Lanjutan)

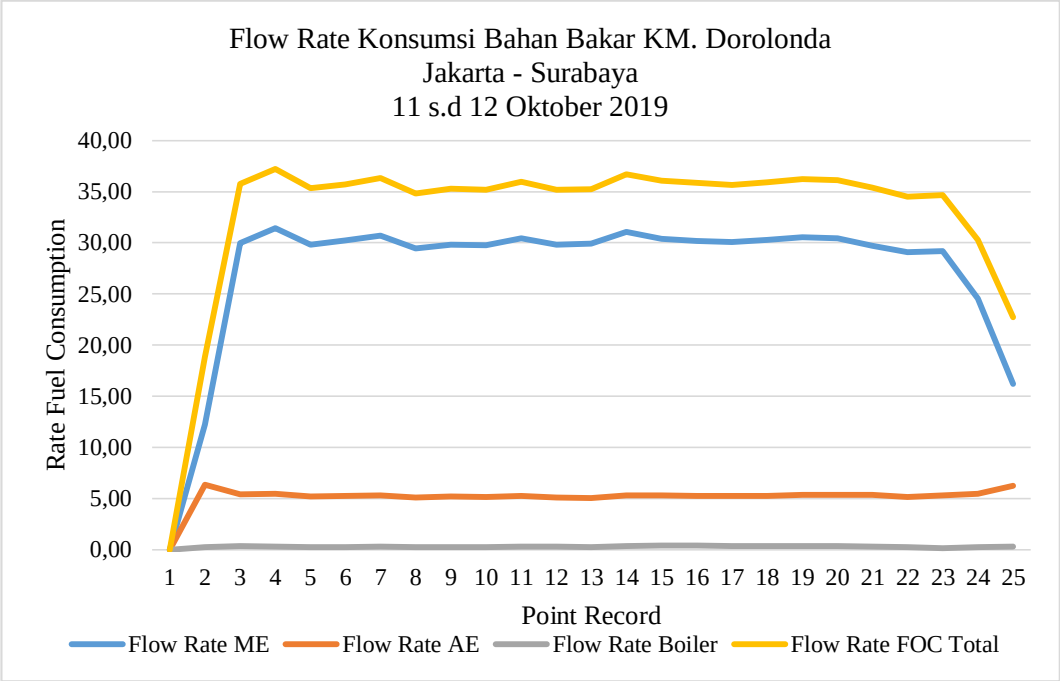
ROF	FOC Main Engine ME PS / ME SB		Time	Interval Minute	FOC ME PS	FOC ME SB	FOC ME	Flow Rate ME	FOC Aux Engine	FOC AE	Flow Rate AE	FOC Boiler	FOC Boiler	Flow Rate Boiler	FOC Total	Flow Rate FOC Total
17	6.542.263,50	10.157.602,00	07.00	60	727,00	1.077,00	1.804,00	30,07	3.786.476,20	314,20	5,24	185.887	21	0,35	2.139,20	35,65
18	6.542.994,50	10.158.689,00	08.00	60	731,00	1.087,00	1.818,00	30,30	3.786.792,20	316,00	5,27	185.908	21	0,35	2.155,00	35,92
19	6.543.737,00	10.159.779,00	09.00	60	742,50	1.090,00	1.832,50	30,54	3.787.114,50	322,30	5,37	185.928	20	0,33	2.174,80	36,25
20	6.544.472,00	10.160.869,00	10.00	60	735,00	1.090,00	1.825,00	30,42	3.787.434,80	320,30	5,34	185.949	21	0,35	2.166,30	36,10
21	6.545.191,50	10.161.933,00	11.00	60	719,50	1.064,00	1.783,50	29,73	3.787.755,80	321,00	5,35	185.967	18	0,30	2.122,50	35,38
22	6.545.931,00	10.162.938,00	12.00	60	739,50	1.005,00	1.744,50	29,08	3.788.065,50	309,70	5,16	185.982	15	0,25	2.069,20	34,49
23	6.546.681,50	10.163.939,00	13.00	60	750,50	1.001,00	1.751,50	29,19	3.788.383,60	318,10	5,30	185.992	10	0,17	2.079,60	34,66
24	6.547.311	10.164.781,00	14.00	60	629,50	842,00	1.471,50	24,53	3.788.713	329,20	5,49	186.007	15	0,25	1.815,70	30,26
25	6.547.742,00	10.165.240,00	14.55	55	431,00	459,00	890,00	16,18	3.789.055,50	342,70	6,23	186.025	18	0,33	1.250,70	22,74

Dari hasil analisa tabel diatas, nilai konsumsi bahan bakar secara komulatif KM Doro Londa saat berlayar tanggal 11 sampai dengan 12 Oktober 2019 lebih meningkat. Hal ini ditunjukan dalam data untuk Mesin Induk adalah 41.578 Liter, konsumsi bahan bakar Mesin Bantu adalah 7.645 Liter dan konsumsi bahan bakar Boiler adalah 428 Liter. Jadi total konsumsi bahan bakar keseluruhan yaitu 49.651 Liter. Grafik selengkapnya dapat diperlihatkan pada Gambar 4. 6.



Gambar 4. 6 Konsumsi Bahan Bakar KM Doro Londa tanggal 11 s.d 12 Oktober 2019

Sedangkan untuk hasil analisa *flow rate* konsumsi bahan bakar KM Doro Londa pada tanggal 11 sampai dengan 12 Oktober 2019 untuk permenitnya bergerak secara fluktuatif pada masing-masing point recordnya. Hal ini disebabkan karena beberapa faktor yaitu salah satunya perbedaan kondisi lingkungan yang berubah pada saat berlayar. Grafik *flow rate* konsumsi bahan bakar dapat diamati pada Gambar 4. 7. Contohnya saat tiga belas jam pertama ketika berlayar, grafik menunjukkan terjadinya peningkatan konsumsi bahan bakar pada *main engine* dari 29.93 liter ke 31.07 liter, hal ini relevan dengan kondisi aktual lingkungan yang terjadi pada jam tersebut yaitu adanya arah angin dan arus laut yang searah dengan arah kapal.



Gambar 4. 7 Flow Rate Konsumsi Bahan Bakar KM. Doro Londa 11 s.d 12 Oktober 2019

4.2.4 Pengambilan Data BMKG

Data BMKG sangat diperlukan untuk mengetahui kondisi letak geografis yang akan dilalui oleh kapal. Hal ini juga untuk menetukan garis haluan kapal atau rute pelayaran yang aman jika dilalui, serta menjadi salah satu parameter kinerja mesin saat berlayar. Begitu juga menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah konsumsi bahan bakar karena faktor perbedaan kondisi dari masing masing letak geografis rute pelayaran.

Ada beberapa data BMKG yang menjadi informasi penting dalam penentuan garis haluan atau rute kapal yaitu sebagai berikut ;

- Pergerakan arah angin & kecepatan angin
- Arah arus & kecepatan arus
- Arah gelombang & tinggi rendahnya gelombang

Masing masing letak geografis mempunyai pergerakan yang dinamis dari waktu ke waktunya. Ini yang menyebabkan perbedaan konsumsi bahan bakar yang berbeda walaupun dengan rute pelayaran yang sama. Data BMKG yang dilalui kapal KM. Doro Londa pada tanggal 9 sampai dengan 12 Oktober 2019 dapat dilihat pada Tabel 4. 6 & Tabel 4. 7.

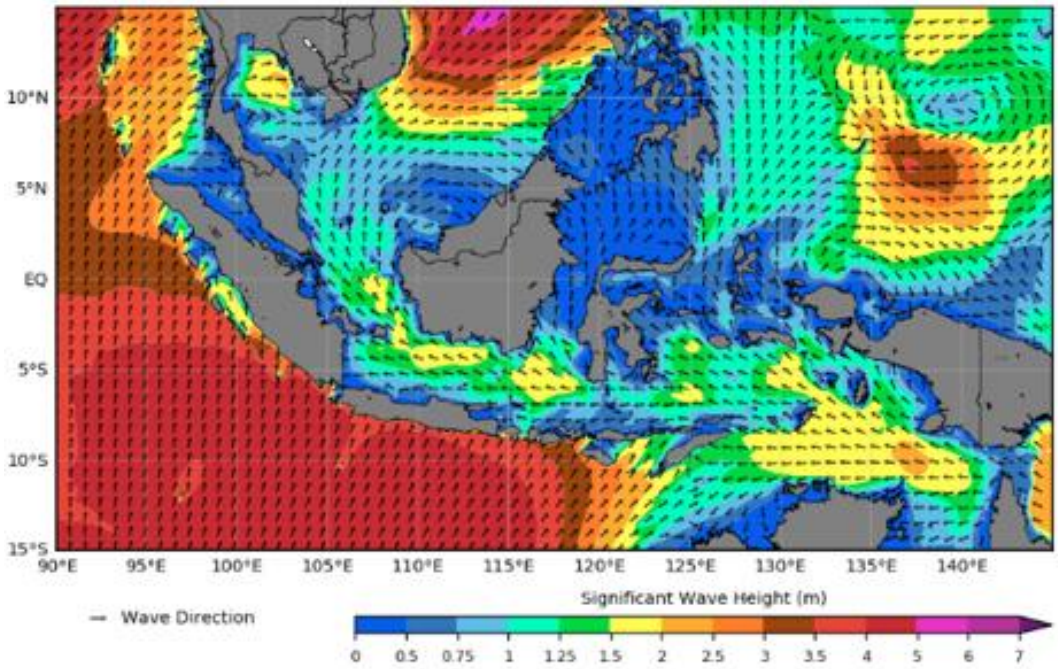
Tabel 4. 6 Data BMKG berdasarkan Posisi Latitude & Longitude KM Doro Londa pada Tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019

ROF	Date	Time (WIB)	WindDir (TN)	WindDir	WindSpd (knot)	CuDir(TN)	CuDir	CuSpd (cm/s)	WaveDir (TN)	WaveDir	Htot (m)	H1/10 (m)	H1/100 (m)	PTot(s)	WaveLen(m)
1	10/11/2019	15	58.93	ENE	4.12	314.38	NW	2.97	88.65	E	.43	.54	.71	4.25	28.24
2	10/11/2019	15	59.43	ENE	4.30	314.16	NW	3.40	89.17	E	.48	.60	.79	4.72	34.70
3	10/11/2019	16	60.49	ENE	6.15	321.03	NW	3.72	90.00	E	.60	.77	1.01	5.61	49.08
4	10/11/2019	17	56.56	ENE	7.32	339.63	NNW	3.76	90.00	E	.64	.82	1.07	5.61	49.11
5	10/11/2019	18	50.61	NE	8.37	357.92	N	5.01	90.00	E	.69	.87	1.15	5.55	48.08
6	10/11/2019	19	46.57	NE	9.67	11.06	N	6.25	90.00	E	.74	.94	1.23	5.49	47.05
7	10/11/2019	20	53.84	NE	8.96	23.24	NNE	4.45	90.00	E	.70	.89	1.17	5.28	43.55
8	10/11/2019	22	68.64	ENE	7.75	64.35	ENE	1.56	90.00	E	.66	.84	1.10	5.24	42.82
9	10/11/2019	23	77.58	ENE	7.49	138.38	SE	1.65	90.00	E	.66	.84	1.11	5.05	39.74
10	10/12/2019	0	82.95	E	7.48	166.28	SSE	1.52	91.02	E	.70	.89	1.17	5.03	39.41
11	10/12/2019	1	82.12	E	7.67	49.88	NE	.19	90.96	E	.72	.91	1.20	5.03	39.46
12	10/12/2019	2	81.80	E	8.04	24.65	NNE	1.81	90.50	E	.73	.93	1.22	5.06	39.98
13	10/12/2019	3	85.22	E	8.20	23.93	NNE	2.59	90.05	E	.73	.93	1.22	5.09	40.36
14	10/12/2019	4	95.01	E	7.49	358.67	N	1.78	90.61	E	.70	.89	1.17	5.28	43.42
15	10/12/2019	5	110.95	SEE	6.95	295.73	WNW	1.18	90.00	E	.66	.84	1.11	5.40	45.42
16	10/12/2019	6	125.80	SE	7.33	251.82	WSW	1.80	90.00	E	.67	.85	1.12	5.44	46.08
17	10/12/2019	7	137.31	SE	8.22	227.14	SW	2.79	90.00	E	.68	.86	1.13	5.42	45.83
18	10/12/2019	8	137.61	SE	7.24	239.34	WSW	4.05	90.00	E	.64	.82	1.07	5.36	44.84
19	10/12/2019	9	136.26	SE	6.49	249.31	WSW	4.52	90.00	E	.60	.76	1.00	5.23	42.75
20	10/12/2019	10	131.66	SE	5.86	264.32	W	4.28	90.00	E	.51	.65	.85	4.67	34.02
21	10/12/2019	11	120.92	SEE	5.15	280.09	W	4.16	90.00	E	.40	.50	.66	3.75	21.97
22	10/12/2019	12	107.34	SEE	4.50	287.72	WNW	4.16	90.00	E	.29	.37	.48	2.84	12.60
23	10/12/2019	13	95.01	E	3.63	285.86	WNW	2.80	90.00	E	.13	.16	.21	1.31	2.67
24	10/12/2019	14	96.42	E	2.19	105.87	SEE	.32	90.00	E	.01	.01	.02	.18	.05
25	10/12/2019	15	84.38	E	1.48	79.80	E	.60	90.00	E	.06	.07	.10	.83	1.06

Tabel 4. 7 Data BMKG berdasarkan Posisi Latitude & Longitude KM Doro Londa pada Tanggal 9 s.d 10 Oktober 2019

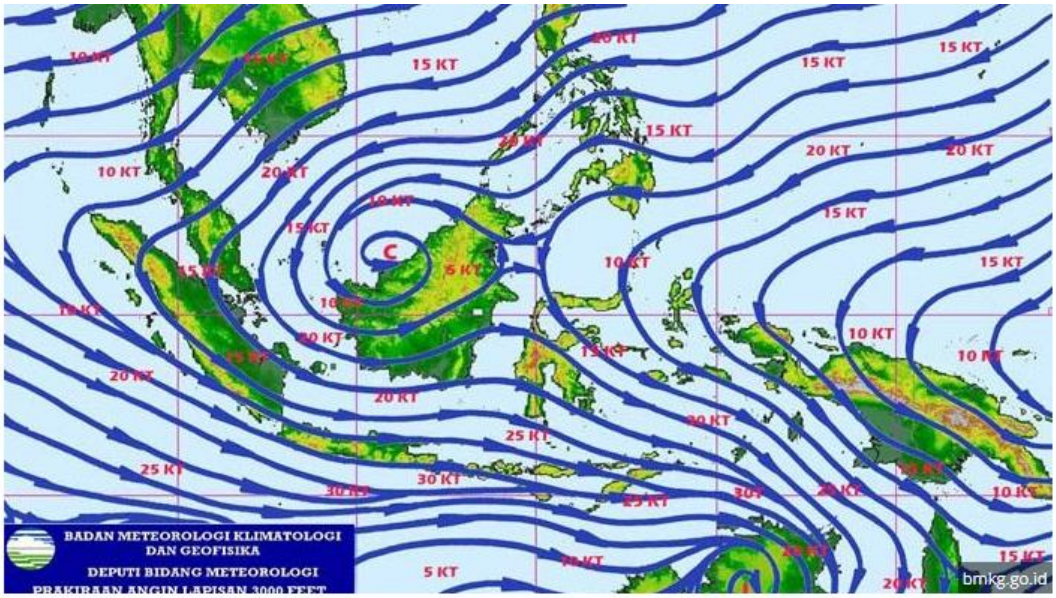
ROF	Date	Time (WIB)	WindDir (TN)	WindDir	WindSpd (knot)	CuDir (TN)	CuDir	CuSpd (cm/s)	WaveDir (TN)	WaveDir	Htot (m)	H1/10 (m)	H1/100 (m)	Ptot (s)	WaveLen (m)
1	10/10/2019	18	101.47	SEE	2.17	69.96	ENE	1.07	90.00	E	.06	.07	.10	.85	1.12
2	10/10/2019	19	86.50	E	2.95	83.38	E	.73	90.00	E	.01	.01	.02	.28	.12
3	10/10/2019	19	85.05	E	4.25	260.84	W	.94	90.00	E	.03	.03	.04	.20	.07
4	10/10/2019	20	90.66	E	5.57	269.52	W	6.04	90.00	E	.20	.26	.34	1.51	3.57
5	10/10/2019	21	91.16	E	7.04	270.99	W	11.31	90.00	E	.45	.57	.75	3.33	17.33
6	10/10/2019	22	94.87	E	7.60	271.17	W	13.77	90.00	E	.58	.74	.97	4.26	28.35
7	10/10/2019	23	99.03	E	7.77	271.00	W	15.61	90.00	E	.69	.88	1.15	4.99	38.85
8	10/11/2019	0	102.94	SEE	7.92	269.64	W	15.11	90.00	E	.76	.97	1.27	5.25	43.04
9	10/10/2019	1	99.90	E	7.51	267.99	W	20.55	90.00	E	.78	1.00	1.31	5.39	45.35
10	10/10/2019	2	100.60	E	8.74	269.75	W	16.97	90.00	E	.88	1.11	1.46	5.42	45.77
11	10/10/2019	4	113.53	SEE	10.21	278.34	W	12.88	90.00	E	.92	1.17	1.54	5.29	43.65
12	10/10/2019	5	119.88	SEE	11.25	289.27	WNW	11.37	90.00	E	.97	1.23	1.61	5.18	41.87
13	10/10/2019	6	128.72	SE	11.85	296.33	WNW	10.62	90.00	E	.99	1.26	1.66	5.07	40.09
14	10/10/2019	7	141.32	SE	11.84	295.75	WNW	10.61	90.00	E	.94	1.19	1.56	5.05	39.74
15	10/10/2019	8	152.41	SSE	9.67	293.65	WNW	10.63	90.00	E	.80	1.02	1.34	5.06	39.90
16	10/10/2019	9	159.60	SSE	8.10	295.08	WNW	9.65	90.00	E	.76	.97	1.27	5.09	40.48
17	10/10/2019	9	167.95	SSE	7.54	298.59	WNW	8.69	90.00	E	.73	.92	1.22	5.16	41.48
18	10/10/2019	10	160.26	SSE	5.66	307.92	NW	8.34	90.00	E	.65	.82	1.08	5.23	42.66
19	10/10/2019	11	147.44	SSE	3.93	305.90	NW	9.80	90.00	E	.62	.78	1.03	5.44	46.16
20	10/10/2019	12	126.52	SE	2.43	300.80	WNW	10.94	90.00	E	.61	.77	1.02	5.62	49.24
21	10/10/2019	13	102.86	SEE	1.45	298.73	WNW	10.19	90.00	E	.60	.77	1.01	5.62	49.19
22	10/10/2019	14	46.91	NE	.38	296.66	WNW	8.62	90.00	E	.60	.76	1.00	5.61	49.11
23	10/10/2019	15	278.17	W	1.41	293.94	WNW	7.82	90.00	E	.57	.73	.96	5.64	49.56
24	10/10/2019	16	262.03	W	3.66	291.68	WNW	7.03	90.00	E	.53	.67	.88	5.52	47.59
25	10/10/2019	17	262.71	W	4.33	287.68	WNW	5.19	88.66	E	.40	.50	.66	4.29	28.68

Dari data tabel 4.7 direpresentasikan menjadi bentuk peta perkiraan gelombang pada tanggal 10 Oktober 2019 yang di keluarkan oleh BMKG, jika diamati lebih dalam terdapat perubahan arah gelombang pada letak geografis yang berbeda. Perubahan tersebut dapat dilihat dari Peta Perkiraan Gelombang seperti pada Gambar 4. 8. Pada Peta BMKG tanggal 10 Oktober arah gelombang dari arah timur searah dengan arah kapal berlayar.



Gambar 4. 8 Peta Perkiraan Gelombang pada tanggal 10 Oktober 2019

Pada tanggal 9 sampai dengan 10 Oktober KM Doro Londa secara garis besar berlayar menuju dengan arah yang sama, ini menyebabkan kecepatan kapal yang lebih optimal dan dapat menghemat konsumsi bahan bakar saat kapal berlayar dari Surabaya menuju ke Jakarta. Hal tersebut dapat diamati pada tabel grafik konsumsi bahan bakar pada tanggal yang sama. Selanjutnya dari data tabel perkiraan cuaca pada tanggal 9 sampai dengan 10 Oktober 2019 juga dapat dipetakan perkiraan arah angin dan kecepatan angin. Pergerakan arah angin dan kecepatan angin juga bergerak secara fluktuatif, ini juga mempengaruhi pergerakan kapal dan konsumsi bahan bakar kapal saat berlayar. Peta tersebut dapat diamati dari Peta Perkiraan arah angin pada Gambar 4. 9.



Gambar 4. 9 Peta Perkiraan arah angin pada tanggal 10 Oktober 2019

4.3. Perhitungan Tahanan Menggunakan Metode Holtrop

Perhitungan tahanan menggunakan metode holtrop dilakukan untuk mengetahui nilai tahanan total kapal yang dipengaruhi oleh nilai Fn, luas permukaan basah kapal, serta koefisien-koefisien lainnya sehingga didapatkan besarnya tahanan tambahan, tahanan gesek, tahanan gelombang dan transom serta tahanan model. Berikut merupakan langkah-langkah rumusan empiris dalam melakukan perhitungan tahanan dengan menggunakan metode holtrop.

4.3.1 Kriteria Metode Holtrop

Tabel 4. 8 *Range of variables for statistical power prediction method at MARIN*

Ship type	Max. Fn	Cp	L/B	B/T
Tanker, Bulk Carriers (Ocean)	0.24	0.73 – 0.85	5.1 – 7.1	2.4 – 3.2
Trawlers, Coaster	0.38	0.55 – 0.65	3.9 – 6.3	2.1 – 3.0
Containerships	0.45	0.55 – 0.67	6.0 – 9.5	3.0 – 4.0
Cargoliners	0.30	0.56 – 0.75	5.3 – 8.0	2.4 – 4.0
Ro-Ro, car-ferries	0.35	0.55 – 0.67	5.3 – 8.0	3.2 – 4.0

(Sumber : Lewis, 1988 : 90)

Dimana batasan pada metode Holtrop :

Fn : hingga 0.35

Cp : 0.55 – 0.67

B/T : 3.20 – 4.00

L/B : 5.30 – 8.00

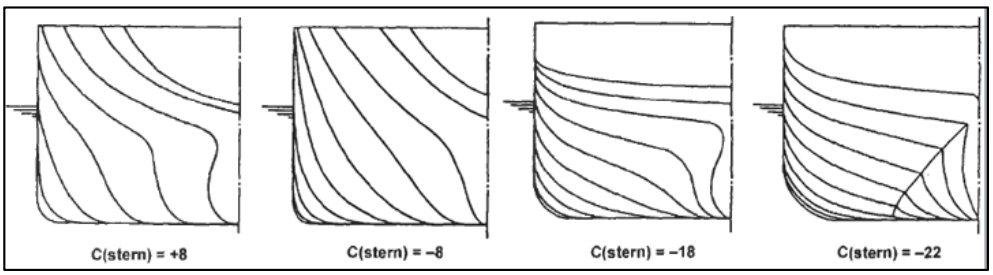
4.3.2 Perhitungan *Form Factor*

$$1 + k = 0.93 + 0.487118c_{14}\,(B/T)^{1.06806}(T/L)^{0.46106}(L/L_R)^{0.121563}$$
$$(L^3/\nabla)^{0.36486}(1 - C_p)^{-0.604247}$$

Dimana :

$$L_R = L\left(\frac{1 - C_p + 0.06\,xC_p\,x\,lcb}{4C_p - 1}\right)$$

$c_{14} = 1 + 0.011\ c_{stern}$



Gambar 4. 10 Nilai c_{stern} yang di dapat dari hasil pendekatan gambar yang menyerupai bentuk potongan badan kapal kita

4.3.3 Perhitungan Luas Permukaan Basah

$$S = L\,(2T + B)\sqrt{C_M}\,(0.453 + 0.4425\,C_B - 0.2862\,C_M - 0.003467B/T$$
$$+ 0.3696\,C_{WP}\,) + 2.38A_{BT}/C_B$$

Dimana :

L : LWL

C_M : Koef. Midship

C_B : Koef. Block

C_{WP} : Koef. Waterline

A_{BT} : Luas penampang melintang dari Bulb

4.3.4 Perhitungan Tahanan Tambahan (R_{APP})

$$R_{APP} = 0.5\rho V^2 S_{APP}(1 + k_2)_{eq} C_F$$

Dimana :

- S_{APP} merupakan luasan area appendage yang meliputi rudder dan bilga keel. Luasan yang mempengaruhi tahanan tambahan pada kapal ini adalah rudder tanpa menggunakan bilge keel. Luasan rudder dapat dicari dengan menggunakan rumus (BKI, 2006 : A.3. 14-1) :

  $$A = C_1 \, x \, C_2 \, x \, C_3 \, x \, C_4 \, x \, \frac{1.75 \, x \, L \, x \, T}{100}$$

  keterangan :

  C1: 1 ,secara umum

  C2: 1 ,secara umum

  C3: 1 ,secara umum

  C4: 1 ,secara umum

- $(1 + k_2)_{eq}$ merupakan appendage resistance factor, kapal yang dirancang memiliki tahanan tambahan rudder di buritan dan bilga keel. Nilai dari $\sum(1 + k_2)$ dapat dicari dengan menjumlahkan komponen-komponen yang ada pada kapal sesuai dengan tabel *approximate* $i+k_2$ *value* dibawah ini

  $$(1 + k_2)_{eq} = \frac{\sum(1+k_2)S_{APP}}{\sum S_{APP}}$$

  C_F merupakan koefisien tahanan gesek dari kapal dengan perhitungan yang menggunakan metode ITTC 1957.

Tabel 4. 9. *Approximate 1 + k_2 values*

Effective From Factor Values k_2 for Different Appendages	
Type of appendage	Value of $1+k_2$
Rudder of single screw ship	1.3-1.5
Spade type rudders of twin screw ships	2.8
Skeg rudders of twin screw ships	1.5-2.0
Shaft brackets	3.0
Bossings	2.0
Bilge keels	1.4
Stabilizer fins	2.8
Shafts	2.0
Sonar dome	2.7

(Sumber : Lewis, 1988 : 92)

- Menentukan Harga Bilangan Froude Number dan Reynould Number (Harvald, 1983 : 118)

  g : 9.8 m/s^2
  υ : 0.94252 x 10^{-6} m^2/s (pada suhu 25^o)

  $$F_n = \frac{V}{\sqrt{g}L}$$

- Mencari Nilai Koefisien Tahanan Gesek (Cf)
  (Harvald, 1983 : 118)

  $$C_f = \frac{0.075}{(Log_{10}Rn - 2)^2}$$

4.3.5 Perhitungan Tahanan Gesek (R_F)

Menurut metode ITTC 1957, tahanan kapal dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$R_F = \frac{1}{2}\ x\ \rho\ x\ C_F\ x\ S\ x\ V^2$$

4.3.6 Perhitungan Tahanan Gelombang (R_w)

$$R_w = C_1 \cdot C_2 \cdot C_5 \cdot \nabla \cdot \rho \cdot g \cdot \exp\{m_1 F_n^d + m_2 \cos(\lambda F_n^{-2})\}$$

Dimana :

- $C_1 = 2223105 \cdot C_7^{3.78613} \cdot \left({}^{T}/_{B}\right)^{1.07961} \cdot (90 - i_E)^{-1.37565}$
- $C_7 = {}^{B}/_{L}$
- $i_E = 9.5\ (setengah\ sudut\ masuk\ 19°/2)$
- $C_2 = exp \cdot (-1.89\sqrt{C_3})$
- $C_3 = 0\ (kapal\ tidak\ menggunakan\ bulbous\ bow)$
- $C_5 = 1 - 0.8 \cdot A_T/(B \cdot T \cdot C_M)$
- $\lambda = 1.446 \cdot C_P - 0.03\,{}^{L}/_{B}$
- $m_1 = 0.0140407 \cdot \frac{L}{T} - 1.75254 \cdot \frac{\nabla^{\frac{1}{3}}}{L} + (-4.79323) \cdot \frac{B}{L} - C_{16}$
- $\mathrm{d} = -0.9$
- $m_2 = C_{15}.C_P^2 \cdot \exp(-0.1 \cdot F_n^{-2})$

4.3.7 Perhitungan Tahanan Model – Ship Correlation (R_A)

$R_A = {}^{1}/_{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot S \cdot \mathrm{C}_A$

Dimana :

- $C_A = 0.006(L + 100)^{-0.16} - 0.00205 + 0.003\sqrt{\frac{L}{7.5}} \cdot C_B^4 \cdot C_2 \cdot (0.04 - C_4)$
- $C_4 = 0.04 \qquad when\ {}^{T_F}/_{L} > 0.04$
- $C_2 = exp \cdot (-1.89\sqrt{C_3})$
- $C_3 = 0\ (kapal\ tidak\ menggunakan\ bulbous\ bow)$
- $C_2 = exp \cdot (-1.89\sqrt{0})$
- $C_2 = 1$

4.3.8 Perhitungan Tahanan Total (R_T)

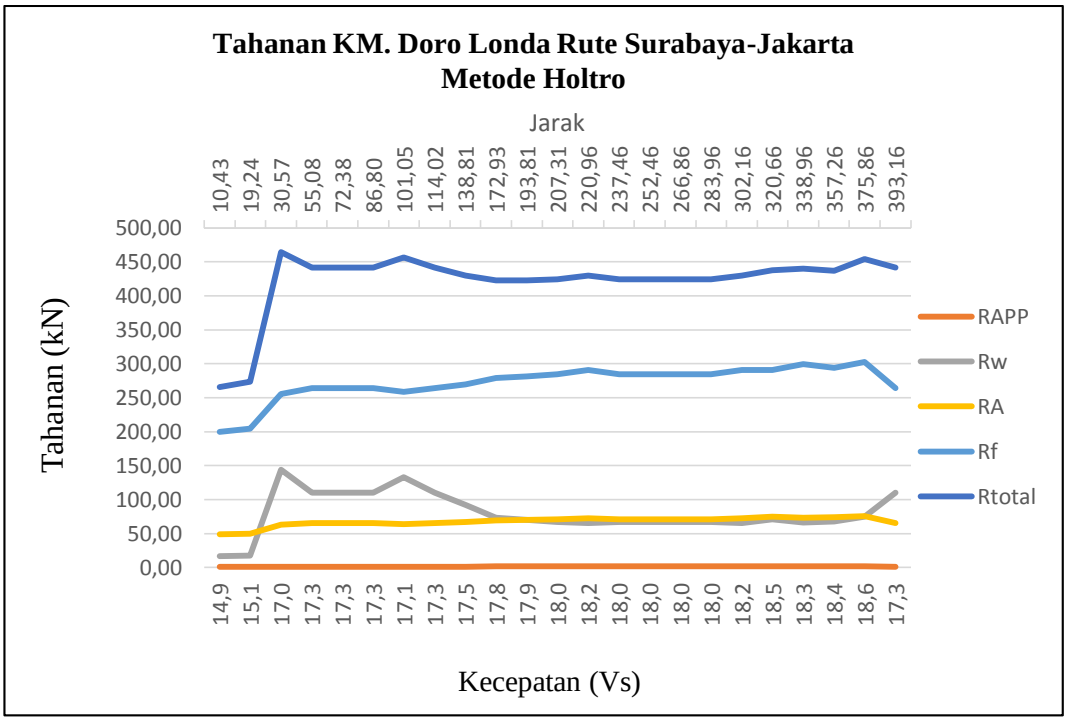
$R_{total} = R_{APP} + R_F + R_W + R_A$

Dimana :

- R_{APP} = Tahanan tambahan
- R_F = Tahanan gesek
- R_W = Tahanan gelombang
- R_A = Tahanan model

4.3.9 Hasil Perhitungan Tahanan Total Rute Surabaya-Jakarta

Berdasarkan Gambar 4. 11 dapat dilihat bahwa tahanan total KM. Doro Londa yang beroperasi dengan rute pelayaran Surabaya-Jakarta berbeda antara satu titik lokasi dengan titik lokasi lainnya meskipun terdapat kecepatan yang sama seperti pada kecepatan 17,3 knots; 18,0 knots; 18,2 knots dan 18,3 knots. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan kondisi lingkungan yang menyebabkan tahanan tambahan, tahanan gesek, tahanan gelombang serta tahanan model berbeda-beda



Gambar 4. 11 Grafik tahanan KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta berdasarkan Metode Holtrop dengan 25 variasi lokasi dan kondisi lingkungan yang berbeda

Dengan menggunakan rumus perhitungan empiris didapatkan nilai tahanan pada kecepatan yang berbeda dengan 25 variasi kondisi dan lokasi yang berbeda seperti pada Tabel 4. 11:

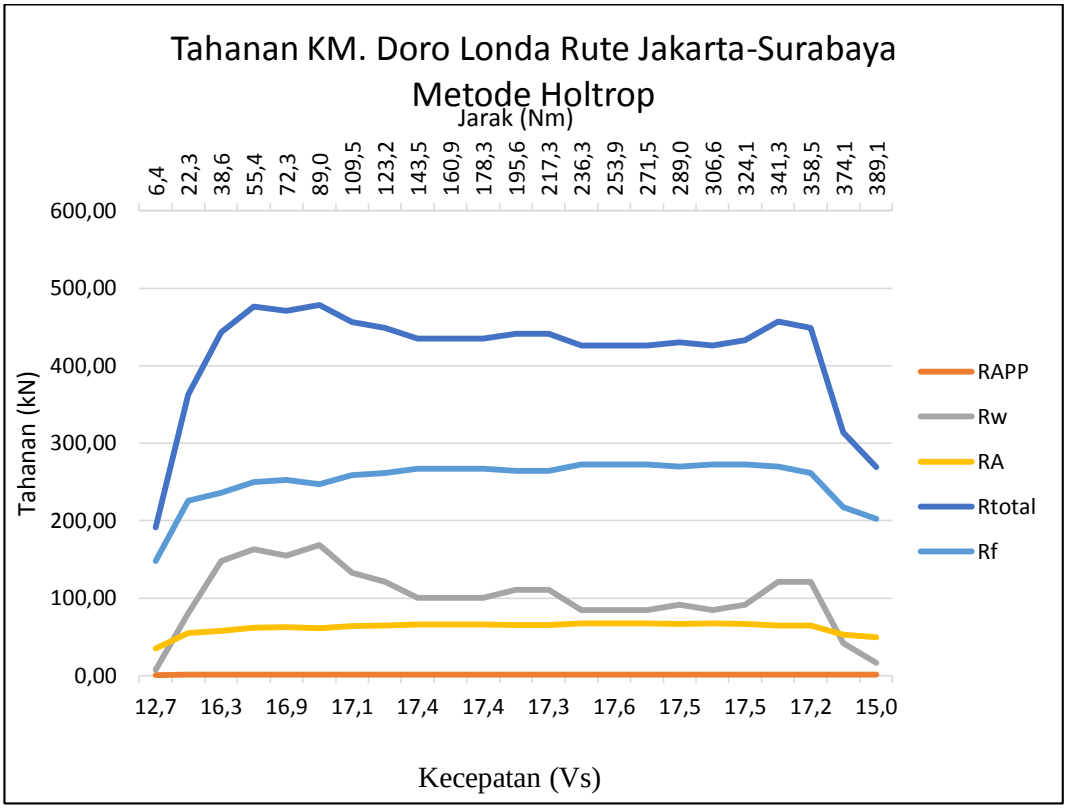
Tabel 4. 10. Hasil Perhitungan Empiris Tahanan berdasarkan Metode Holtrop Rute Surabaya-Jakarta

No.	Vs	R_F	R_{APP}	R_W	R_A	R_{TOTAL}
1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	14,90	199,61	0,96	16,52	48,52	265,61
3	15,10	204,67	0,99	17,68	49,83	273,17
4	17,00	255,67	1,23	144,12	63,16	464,18
5	17,30	264,21	1,27	110,47	65,41	441,36
6	17,30	264,21	1,27	110,47	65,41	441,36
7	17,30	264,21	1,27	110,47	65,41	441,36
8	17,10	258,50	1,25	132,78	63,90	456,43
9	17,30	264,21	1,27	110,47	65,41	441,36
10	17,50	269,97	1,30	91,83	66,93	430,03
11	17,80	278,73	1,34	73,44	69,24	422,75
12	17,90	281,68	1,36	69,79	70,02	422,85
13	18,00	284,64	1,37	67,28	70,81	424,10
14	18,20	290,61	1,40	65,47	72,39	429,87
15	18,00	284,64	1,37	67,28	70,81	424,10
16	18,00	284,64	1,37	67,28	70,81	424,10
17	18,00	284,64	1,37	67,28	70,81	424,10
18	18,00	284,64	1,37	67,28	70,81	424,10
19	18,20	290,61	1,40	65,47	72,39	429,87
20	18,50	290,61	1,44	70,57	74,80	437,42
21	18,30	299,67	1,41	66,12	73,19	440,39
22	18,40	293,62	1,43	67,80	73,99	436,84
23	18,60	302,72	1,46	74,48	75,61	454,27
24	17,30	264,21	1,27	110,48	65,41	441,37
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4.3.10 Hasil Perhitungan Tahanan Total Rute Jakarta-Surabaya

Berdasarkan Gambar 4. 12 dapat dilihat bahwa tahanan total KM. Doro Londa yang beroperasi dengan rute pelayaran Jakarta-Surabaya berbeda antara satu titik lokasi dengan titik lokasi lainnya meskipun terdapat kecepatan yang sama seperti pada kecepatan 17,2 knots; 17,3 knots; 17,4 knots; 17,5 knots dan 17,6 knots. Hal ini dikarenakan adanya perbedaan kondisi lingkungan yang

menyebabkan tahanan tambahan, tahanan gesek, tahanan gelombang serta tahanan model berbeda-beda



Gambar 4. 12 Grafik tahanan KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya berdasarkan Metode Holtrop dengan 25 variasi lokasi dan kondisi lingkungan yang berbeda

Dengan menggunakan rumus perhitungan empiris didapatkan nilai tahanan pada kecepatan yang berbeda dengan 25 variasi kondisi dan lokasi yang berbeda seperti pada Tabel 4. 11 :

Tabel 4. 11. Hasil Perhitungan Empiris Tahanan berdasarkan Metode Holtrop Rute Jakarta-Surabaya

No.	Vs	R_F	R_{APP}	R_W	R_A	R_{TOTAL}
1	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	12,7	147,92	0,71	7,63	35,25	191,51
3	15,9	225,49	1,09	80,70	55,25	362,53
4	16,3	236,26	1,14	147,74	58,06	443,21
5	16,8	250,05	1,20	163,07	61,68	476,01
6	16,9	252,85	1,22	154,56	62,42	471,05
7	16,7	247,26	1,19	168,61	60,95	478,02

Tabel 4. 11. Hasil Perhitungan Empiris Tahanan berdasarkan Metode Holtrop Rute Jakarta-Surabaya (Lanjutan)

8	17,1	258,50	1,25	132,78	63,90	456,43
9	17,2	261,35	1,26	121,35	64,65	448,61
10	17,4	267,08	1,29	100,55	66,17	435,09
11	17,4	267,08	1,29	100,55	66,17	435,09
12	17,4	267,08	1,29	100,55	66,17	435,09
13	17,3	264,21	1,27	110,47	65,41	441,36
14	17,3	264,21	1,27	110,47	65,41	441,36
15	17,6	272,88	1,31	84,41	67,69	426,29
16	17,6	272,88	1,31	84,41	67,69	426,29
17	17,6	272,88	1,31	84,41	67,69	426,29
18	17,5	269,97	1,30	91,83	66,93	430,03
19	17,6	272,88	1,31	84,41	67,69	426,29
20	17,5	272,88	1,30	91,83	66,93	432,94
21	17,2	269,97	1,26	121,35	64,65	457,23
22	17,2	261,35	1,26	121,35	64,65	448,61
23	15,6	217,57	1,05	41,89	53,18	313,69
24	15,0	202,13	0,97	16,64	49,17	268,92
25	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

4.4 Perhitungan Tahanan Menggunakan Metode STAWAVE

4.4.1 Perhitungan Tahanan Gelombang Tambahan

Besarnya tahanan tambahan tergantung pada sejumlah faktor, diantaranya ukuran kapal, kecepatan, serta parameter gelombang, seperti tinggi gelombang yang signifikan, periode gelombang, dan arah gelombang. Untuk dapat membandingkan kinerja kapal dari waktu ke waktu, resistensi tambahan akibat gelombang tergantung pada kondisi gelombang yang dialami di setiap lokasi dan waktu tertentu. Berikut merupakan rumusan empiris dari tahanan gelombang tambahan:

$$R_{AWL} = 2 \int_0^{\infty} \frac{R_{wave}\,(\omega; STW)}{\zeta_A^2}\, S_n\,(\omega) d\omega$$

Dimana:

R_{AWL} : peningkatan resistensi rata-rata pada gelombang tidak beraturan dalam Newton

R_{wave} : peningkatan resistensi rata-rata pada gelombang reguler dalam Newton

ζ_A^2 : amplitudo gelombang dalam meter

ω : frekuensi melingkar dari gelombang reguler dalam rad / s

STW : kecepatan kapal dalam m / s

S_n : spektrum frekuensi gelombang dalam m2 / s

4.4.2 Perhitungan Tahanan Angin Tambahan

Meskipun hambatan lambung kapal di dalam air adalah bagian dominan dari resistansi total, ada juga resistansi tambahan karena pergerakan udara. Penambahan tahanan karena angin tergantung pada koefisien drag dan area depan, serta parameter lain seperti kecepatan dan arah angin. Dalam situasi dimana angin datang dari belakang kapal, resistansi tambahan dapat menjadi negatif, menurunkan resistansi total kapal. Hambatan angin tambahan juga akan terus berubah dari waktu ke waktu, dan harus dihilangkan dari total hambatan yang dialami di setiap lokasi dan waktu tertentu untuk dapat membandingkan kinerja kapal dari waktu ke waktu. Berikut merupakan rumusan empiris dari tahanan angin tambahan:

$$R_{wind} = \frac{1}{2} \rho_{air} V_{air}^2 C_X A_F$$

Dimana :

R_{wind} : kekuatan angin di Newton

ρ_{air} : massa jenis udara pada suhu udara yang berpengalaman dalam kg / m3

V_{air}^2 : kecepatan angin dalam m / s

C_X : koefisien angin untuk arah angin relatif

A_F : area permukaan kapal di atas air dalam m^2

4.4.3 Perhitungan Tahanan Tambahan akibat Perubahan Draft

Kapal dengan draft yang lebih besar akan memiliki ketahanan ombak yang lebih besar, karena kapal harus memindahkan lebih banyak air dan menghasilkan gelombang yang berbeda saat operasi. Selain itu menghasilkan resistensi gesek lebih besar dikarena area permukaan lambung yang tercelup air lebih besar. Draft

dapat berubah dalam setiap operasi, karena muatan barang berbeda dari operasi satu dengan operasi lainnya. Berikut merupakan rumusan empiris dari tahanan tambahan akibat perubahan draft:

$$R_{ADIS} = 0.65\ R_T\ (\frac{\Delta_0}{\Delta} - 1)$$

Dimana:

R_{ADIS} : resistensi tambahan karena peningkatan draft dalam Newton

R_T : hambatan total dalam kondisi desain di Newton

Δ_0 : perpindahan dalam kondisi desain

Δ : perpindahan dalam kondisi yang dianalisis

4.4.4 Perhitungan Tahanan Tambahan karena Sifat Air

Resistensi kapal tergantung pada sifat-sifat air yang dilalui dalam rute pelayaran. Hambatan lambung sebanding dengan kepadatan dan viskositas air. Air dengan kepadatan lebih tinggi dan viskositas lebih tinggi berpengaruh terhadap nilai tahanan kapal. Kepadatan dan viskositas air laut tergantung pada suhu, salinitas air, karakteristik air juga bervariasi disetiap lokasi dan waktu yang berbeda dalam kurun waktu satu tahun. Berikut merupakan rumusan empiris dari tahanan tambahan karena sifat air:

$$R_{AS} = R_T\ (1 - \frac{P_w}{P_{w0}}) - R_F(1 - \frac{C_f}{C_{f0}})$$

Dimana:

R_{AS} : koreksi resistansi karena perubahan sifat air di Newton

R_T : hambatan total pada sifat air standar dari uji model

R_F : hambatan gesekan dalam kondisi air di Newton

C_{f0} : koefisien tahanan gesek dalam kondisi air standar

C_f : koefisien tahanan gesek dalam kondisi air

P_w : kepadatan air dalam kondisi air dalam kg / m3

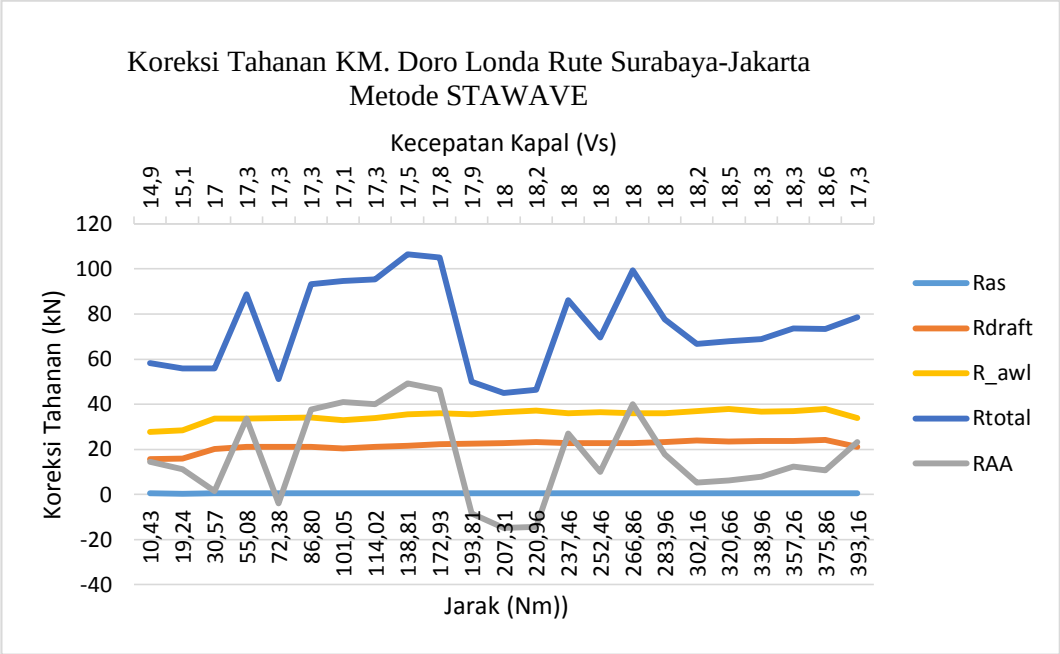
P_{w0} : kepadatan air dalam kondisi air standar dalam kg / m3

4.4.5 Hasil Perhitungan Tahanan Tambahan Rute Surabaya-Jakarta

Hasil perhitungan rumus empiris tahanan gelombang tambahan, tahanan air tambahan, tahanan tambahan akibat perubahan draft serta tahanan tambahan karena sifat air dapat dilihat padaTabel 4. 12 Hasil Perhitungan Empiris Tahanan Tambahan berdasarkan Metode STWAVE Rute Surabaya-Jakarta Tabel 4. 12. Perhitungan ini menggunakan metode STWAVE dan memiliki 25 variasi kondisi dengan beberapa variasi kecepatan. Terdapat beberapa variasi kondisi dengan kecepatan yang sama, hal ini dikarenakan kapal beroperasi dengan kecepatan yang sama dengan kondisi lingkungan yang berbeda sehingga perlu dianalisa untuk mengetahui adanya perubahan tambahan.

Tabel 4. 12 Hasil Perhitungan Empiris Tahanan Tambahan berdasarkan Metode STWAVE Rute Surabaya-Jakarta

No.	Vs	R_{AWL}	R_{AA}	R_{DRAFT}	R_{AS}	R_{TOTAL}
1	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2	14,9	27,73	14,45	15,56	0,40	58,15
3	15,1	28,35	11,05	15,98	0,38	55,76
4	17,0	33,61	1,57	20,26	0,48	55,92
5	17,3	33,58	33,60	20,98	0,49	88,65
6	17,3	33,76	-4,08	20,98	0,49	51,16
7	17,3	34,02	37,66	20,98	0,53	93,19
8	17,1	32,84	40,95	20,50	0,48	94,77
9	17,3	33,97	40,02	20,98	0,49	95,46
10	17,5	35,41	49,13	21,47	0,51	106,51
11	17,8	36,00	46,39	22,21	0,52	105,12
12	17,9	35,42	-8,47	22,46	0,57	49,98
13	18,0	36,47	-14,83	22,71	0,53	44,89
14	18,2	37,06	-14,44	23,22	0,55	46,39
15	18,0	35,90	27,11	22,71	0,53	86,26
16	18,0	36,43	9,91	22,71	0,53	69,58
17	18,0	36,01	40,03	22,71	0,57	99,32
18	18,0	36,03	17,77	23,22	0,53	77,55
19	18,2	36,98	5,13	23,99	0,55	66,65
20	18,5	37,83	6,12	23,48	0,56	67,98
21	18,3	36,66	7,91	23,73	0,55	68,86
22	18,3	36,97	12,23	23,73	0,60	73,53
23	18,6	37,99	10,63	24,25	0,57	73,44
24	17,3	33,94	23,11	20,98	0,49	78,53
25	0,0	0,36	1,57	0,00	0,00	1,94



Gambar 4. 13 Grafik koreksi tahanan KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta berdasarkan Metode STAWAVE dengan 25 variasi lokasi dan kondisi lingkungan yang berbeda.

Berdasarkan Gambar 4. 13 dapat dilihat bahwa koreksi tahanan tambahan KM. Doro Londa yang beroperasi dengan rute pelayaran Jakarta-Surabaya berbeda antara satu titik lokasi dengan titik lokasi lainnya meskipun terdapat kecepatan yang sama seperti pada kecepatan 17,3 knots; 18 knots; 18,2 knots dan 18,3 knots. Pada dua titik lokasi terdapat nilai tahanan tambahan angin yang negatif yaitu pada kecepatan 17,9 knots; 18 knots; dan 18,2 knots, hal ini dikarenakan arah angin sejajar dengan arah laju kapal sehingga faktor arah dan kecepatan angin mendorong kapal searah dengan gerakan kapal tersebut.

4.4.5 Hasil Perhitungan Tahanan Tambahan Rute Jakarta- Surabaya

Hasil perhitungan rumus empiris tahanan gelombang tambahan, tahanan air tambahan, tahanan tambahan akibat perubahan draft serta tahanan tambahan karena sifat air dapat dilihat padaTabel 4. 12 Hasil Perhitungan Empiris Tahanan Tambahan berdasarkan Metode STWAVE Rute Surabaya-Jakarta Tabel 4. 13. Perhitungan ini

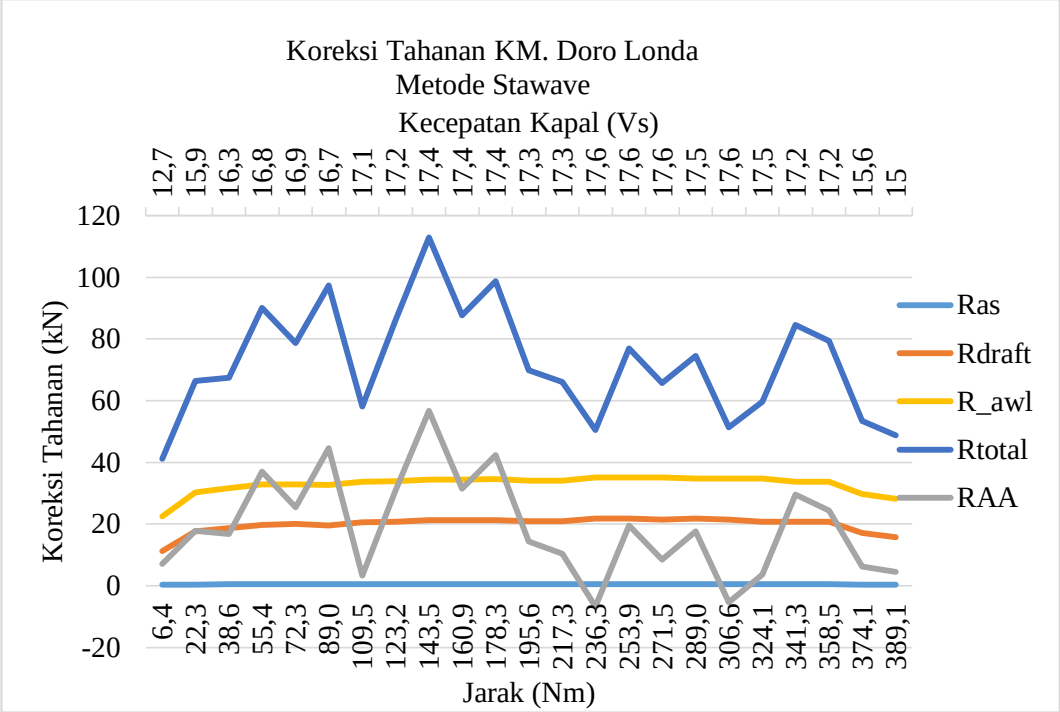
menggunakan metode STWAVE dan memiliki 25 variasi kondisi dengan beberapa variasi kecepatan. Terdapat beberapa variasi kondisi dengan kecepatan yang sama, hal ini dikarenakan kapal beroperasi dengan kecepatan yang sama dengan kondisi lingkungan yang berbeda sehingga perlu dianalisa untuk mengetahui adanya perubahan tambahan.

Tabel 4. 13 Hasil Perhitungan Empiris Tahanan Tambahan berdasarkan Metode STWAVE Rute Jakarta- Surabaya.

No.	Vs	R_{AWL}	R_{AA}	R_{DRAFT}	R_{AS}	R_{TOTAL}
1	0,0	0,00	1,43	0,00	0,00	1,43
2	14,9	22,47	7,15	11,31	0,29	41,22
3	15,1	30,34	17,88	17,72	0,42	66,35
4	17,0	31,56	16,77	18,63	0,44	67,40
5	17,3	32,90	36,98	19,79	0,47	90,13
6	17,3	32,78	25,37	20,02	0,47	78,64
7	17,3	32,74	44,64	19,55	0,49	97,42
8	17,1	33,71	3,35	20,50	0,48	58,04
9	17,3	33,94	30,76	20,74	0,49	85,93
10	17,5	34,39	56,71	21,22	0,50	112,82
11	17,8	34,44	31,43	21,22	0,50	87,60
12	17,9	34,51	42,41	21,22	0,54	98,68
13	18,0	34,03	14,39	20,98	0,49	69,90
14	18,2	34,13	10,39	20,98	0,49	65,99
15	18,0	35,04	-6,82	21,72	0,51	50,44
16	18,0	35,04	19,62	21,72	0,51	76,88
17	18,0	35,14	8,50	21,47	0,55	65,65
18	18,0	34,81	17,58	21,72	0,51	74,61
19	18,2	34,76	-5,33	21,47	0,51	51,42
20	18,5	34,74	3,60	20,74	0,51	59,59
21	18,3	33,74	29,59	20,74	0,49	84,56
22	18,3	33,71	24,44	20,74	0,52	79,41
23	18,6	29,77	6,17	17,06	0,40	53,41
24	17,3	28,11	4,53	15,77	0,37	48,79
25	0,0	0,37	0,18	0,00	0,00	0,56

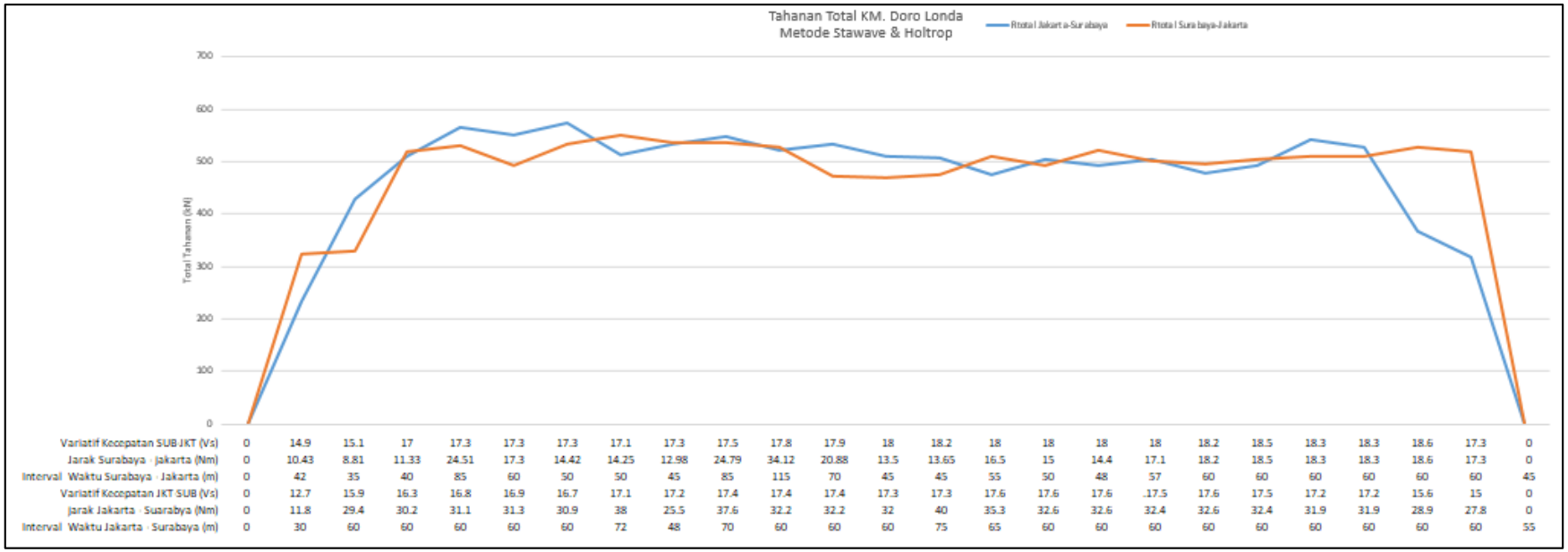
Berdasarkan Gambar 4. 14 dapat dilihat bahwa koreksi tahanan tambahan KM. Doro Londa yang beroperasi dengan rute pelayaran Jakarta-Surabaya berbeda antara satu titik lokasi dengan titik lokasi lainnya meskipun terdapat kecepatan yang

sama seperti pada kecepatan 17,3 knots; 18 knots; 18,2 knots dan 18,3 knots. Pada dua titik lokasi terdapat nilai tahanan tambahan angin yang negatif yaitu pada kecepatan 17,9 knots; 18 knots; dan 18,2 knots, hal ini dikarenakan arah angin sejajar dengan arah laju kapal sehingga faktor arah dan kecepatan angin mendorong kapal searah dengan gerakan kapal tersebut.



Gambar 4. 14 Grafik koreksi tahanan KM. Doro Londa Rute Jakarta- Surabaya berdasarkan Metode STAWAVE dengan 25 variasi lokasi dan kondisi lingkungan yang berbeda.

Hasil perhitungan tahanan total dengan menggunakan metode Holtrop kemudian ditambahkan dengan perhitungan tahanan tambahan dengan metode STAVAWE sehingga tahanan total yang didapatkan adalah tahanan dengan akurasi kondisi lingkungan dengan 25 titik lokasi yang berbeda seperti pada Gambar 4. 15. Perbedaan tahanan total ketika rute Surabaya-Jakarta dan Jakarta-Surabaya terjadi karena adanya kondisi lingkungan yang berbeda sehingga tahanan total yang harus dilawan oleh kapal juga mengalami perbedaan.



Variatif Kecepatan SUB JKT (Vs)	0	14.9	15.1	17	17.3	17.3	17.3	17.1	17.3	17.5	17.8	17.9	18	18.2	18	18	18	18	18.2	18.5	18.3	18.3	18.6	17.3	0
Jarak Surabaya - jakarta (Nm)	0	10.43	8.81	11.33	24.51	17.3	14.42	14.25	12.98	24.79	34.12	20.88	13.5	13.65	16.5	15	14.4	17.1	18.2	18.5	18.3	18.3	18.6	17.3	0
Interval Waktu Surabaya - Jakarta (m)	0	42	35	40	85	60	50	50	45	85	115	70	45	45	55	50	48	57	60	60	60	60	60	60	45
Variatif Kecepatan JKT SUB (Vs)	0	12.7	15.9	16.3	16.8	16.9	16.7	17.1	17.2	17.4	17.4	17.4	17.3	17.3	17.6	17.6	17.6	.17.5	17.6	17.5	17.2	17.2	15.6	15	0
jarak Jakarta - Suarabya (Nm)	0	11.8	29.4	30.2	31.1	31.3	30.9	38	25.5	37.6	32.2	32.2	32	40	35.3	32.6	32.6	32.4	32.6	32.4	31.9	31.9	28.9	27.8	0
Interval Waktu Jakarta - Surabaya (m)	0	30	60	60	60	60	60	72	48	70	60	60	60	75	65	60	60	60	60	60	60	60	60	60	55

Gambar 4. 15 Grafik tahanan total KM. Doro Londa berdasarkan Metode STAWAVE dan Metode Holtrop dengan 25 variasi lokasi serta kondisi lingkungan yang berbeda

4.5. Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

Pada tahap ini merupakan tahap perhitungan konsumsi bahan bakar, dimana data-data yang dibutuhkan adalah data operasional dan data teknik kapal meliputi spesifikasi mesin utama dan mesin bantu, konsumsi bahan bakar, dan data utama kapal. Data yang akan digunakan untuk proses penyelesaian penelitian antara lain data kapal yang beroperasi yakni KM. Doro Londa dengan spesifikasi mesin sebagai berikut:

Spesifikasi teknis *main machinery* :

- 2 KRUPP MAK 8 M 601 C
- Output, 8520 kW, 428 RPM

Spesifikasi teknis *aux. machinery* :

- 4 Daihatsu Engine Type 6 DL – 24
- Output, 882 kW, 750 RPM

Pada proses ini juga diperhitungkan daya (Horse Power) yang diperlukan kapal saat manuver dalam hal mempertahankan kecepatan (Vs) untuk melawan hambatan (resistance) yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan saat kapal berlayar. ngineperhitungan kebutuhan bakar sesuai dengan variasi kecepatan. Terdapat bebrapa variasi kecepatan yang sama namun memerlukan daya yang berbeda hal ini disebabkan oleh tahanan akibat lingkungan yang berbeda.

Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Empiris Daya (BHP) yang di butuhkan saat beroperasi untuk Rute Surabaya - Jakarta.

No.	Vs (knot)	Vs (km/h)	Waktu (m)	Waktu (h)	jarak (km)	Jarak (Nm)	BHP
1	0,0	0	0	0,00	0,00	0,00	0
2	14,9	27,5948	42	0,70	19,32	10,43	6.896,6
3	15,1	27,9652	35	0,58	16,31	8,81	7.100,7
4	17,0	31,484	40	0,67	20,99	11,33	12.640,6
5	17,3	32,0396	85	1,42	45,39	24,51	13.108,7
6	17,3	32,0396	60	1,00	32,04	17,30	12.181,4
7	17,3	32,0396	50	0,83	26,70	14,42	13.220,9
8	17,1	31,6692	50	0,83	26,39	14,25	13.632,6
9	17,3	32,0396	45	0,75	24,03	12,98	13.277,2
10	17,5	32,41	85	1,42	45,91	24,79	13.423,7
11	17,8	32,9656	115	1,92	63,18	34,12	13.433,2
12	17,9	33,1508	70	1,17	38,68	20,88	12.099,9
13	18,0	33,336	45	0,75	25,00	13,50	12.068,8
14	18,2	33,7064	45	0,75	25,28	13,65	12.391,9
15	18,0	33,336	55	0,92	30,56	16,50	13.133,4
16	18,0	33,336	50	0,83	27,78	15,00	12.704,2
17	18,0	33,336	48	0,80	26,67	14,40	13.469,6
18	18,0	33,336	57	0,95	31,67	17,10	12.909,3
19	18,2	33,7064	60	1,00	33,71	18,20	12.919,3
20	18,5	34,262	60	1,00	34,26	18,50	13.366,9
21	18,3	33,8916	60	1,00	33,89	18,30	13.352,4

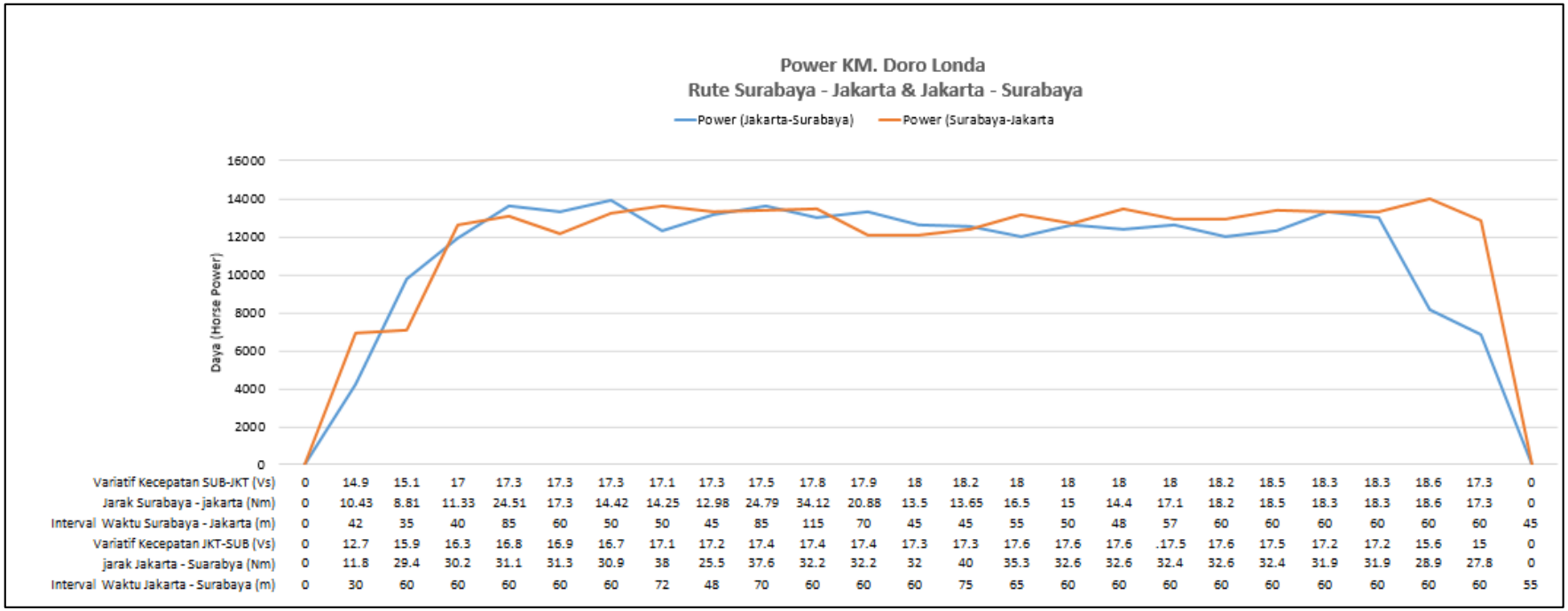
Tabel 4. 14 Hasil Perhitungan Empiris Daya (BHP) yang di butuhkan saat beroperasi untuk Rute Surabaya – Jakarta (Lanjutan).

No.	Vs (knot)	Vs (km/h)	Waktu (m)	Waktu (h)	jarak (km)	Jarak (Nm)	BHP
22	18,3	33,8916	60	1,00	33,89	18,30	13.352,5
23	18,6	34,4472	60	1,00	34,45	18,60	14.032,3
24	17,3	32,0396	60	1,00	32,04	17,30	12.858,6
25	0,0	0	45	0,75	0,00	0,00	0

Tabel 4. 15 Hasil Perhitungan Empiris Daya (BHP) yang di butuhkan saat beroperasi untuk Rute Jakarta - Surabaya.

No.	Vs (knot)	Vs (km/h)	Waktu (m)	Waktu (h)	jarak (km)	Jarak (Nm)	BHP
1	0	0	0	0	0,0	0	0
2	12,7	23,5204	30	0,5	11,8	6,4	4.225,5
3	15,9	29,4468	60	1	29,4	15,9	9.749,2
4	16,3	30,1876	60	1	30,2	16,3	11.898,7
5	16,8	31,1136	60	1	31,1	16,8	13.597,5
6	16,9	31,2988	60	1	31,3	16,9	13.281,1
7	16,7	30,9284	60	1	30,9	16,7	13.903,2
8	17,1	31,6692	72	1,2	38,0	20,5	12.282,9
9	17,2	31,8544	48	0,8	25,5	13,8	13.144,2
10	17,4	32,2248	70	1,17	37,6	20,3	13.629,7
11	17,4	32,2248	60	1	32,2	17,4	13.002,3
12	17,4	32,2248	60	1	32,2	17,4	13.277,9
13	17,3	32,0396	60	1	32,0	17,3	12.644,8
14	17,3	32,0396	75	1,25	40,0	21,6	12.548,2
15	17,6	32,5952	65	1,08	35,3	19,1	11.995,5
16	17,6	32,5952	60	1	32,6	17,6	12.660,7
17	17,6	32,5952	60	1	32,6	17,6	12.378,3
18	17,5	32,41	60	1	32,4	17,5	12.625,5
19	17,6	32,5952	60	1	32,6	17,6	12.019,9
20	17,5	32,41	60	1	32,4	17,5	12.322,4
21	17,2	31,8544	60	1	31,9	17,2	13.322,6
22	17,2	31,8544	60	1	31,9	17,2	12.983,9
23	15,6	28,8912	60	1	28,9	15,6	8.187,3
24	15	27,78	60	1	27,8	15,0	6.813,2
25	0	0	55	0,92	0,0	0	0

Pola hasil perhitungan daya (BHP) yang berkorelasi dengan variasi 25 kecepatan kapal dan hambatan kapal pada 25 titik lokasi yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 4. 15 dan Gambar 4. 16. Perbedaan tahanan total ketika rute Surabaya-Jakarta dan Jakarta-Surabaya terjadi karena adanya kondisi lingkungan yang berbeda sehingga daya (BHP) yang dibutuhkan oleh kapal juga mengalami perbedaan. Pola grafik pada perhitungan daya (BHP) sebanding dengan pola grafik tahanan karena nilai tahanan merupakan faktor pengali dalam menetukan daya yang dibutuhkan kapal untuk beroperasi.



Variatif Kecepatan SUB-JKT (Vs)	0	14.9	15.1	17	17.3	17.3	17.3	17.1	17.3	17.5	17.8	17.9	18	18.2	18	18	18	18	18.2	18.5	18.3	18.3	18.6	17.3	0
Jarak Surabaya - jakarta (Nm)	0	10.43	8.81	11.33	24.51	17.3	14.42	14.25	12.98	24.79	34.12	20.88	13.5	13.65	16.5	15	14.4	17.1	18.2	18.5	18.3	18.3	18.6	17.3	0
Interval Waktu Surabaya - Jakarta (m)	0	42	35	40	85	60	50	50	45	85	115	70	45	45	55	50	48	57	60	60	60	60	60	60	45
Variatif Kecepatan JKT-SUB (Vs)	0	12.7	15.9	16.3	16.8	16.9	16.7	17.1	17.2	17.4	17.4	17.4	17.3	17.3	17.6	17.6	17.6	.17.5	17.6	17.5	17.2	17.2	15.6	15	0
jarak Jakarta - Suarabya (Nm)	0	11.8	29.4	30.2	31.1	31.3	30.9	38	25.5	37.6	32.2	32.2	32	40	35.3	32.6	32.6	32.4	32.6	32.4	31.9	31.9	28.9	27.8	0
Interval Waktu Jakarta - Surabaya (m)	0	30	60	60	60	60	60	72	48	70	60	60	60	75	65	60	60	60	60	60	60	60	60	60	55

Gambar 4. 16 Grafik Daya (*Horse Power*) KM. Doro Londa dengan 25 variasi kecepatan & 25 variasi lokasi pada kondisi lingkungan yang berbeda

Proses perhitungan kebutuhan bakar sesuai dengan variasi kecepatan. Hal yang perlu dipertimbangkan dalam melakukan kalkulasi ini antara lain adalah rute pelayaran yang ditempuh, kondisi gelombang saat pelayaran, dan lama waktu sandar pada masing-masing pelabuhan. Berikut merupakan rumusan empiris perhitungan bahan bakar:

$$\text{FC} = BHP\ x\ SFOC\ x\ t$$

Dimana :

FC = *Fuel Consumption* (gr)

BHP = *Power Engine* (kW)

SFOC = *Specific Fuel Oil Consumption* (g/kWh)

t = *Total time* (waktu pelayaran) (*hours*)

4.5.1 Kebutuhan BB M/E KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta

Kebutuhan bahan bakar M/E pada pelayaran ini untuk perjalanan dari Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya menuju Tanjung Priok, Jakarta dengan menggunakan rumus perhitungan empiris didapatkan nilai konsumsi bahan bakar M/E pada kecepatan yang berbeda dengan 25 variasi kondisi dan lokasi yang berbeda seperti pada Tabel 4. 16:

Tabel 4. 16. Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Rute Surabaya-Jakarta

No.	Vs	Flow Rate	Konsumsi Bahan Bakar M/E	Komulatif Konsumsi Bahan Bakar M/E
1	0,0	0,00	0,00	0,00
2	14,9	14,97	628,75	628,75
3	15,1	12,11	423,86	1.052,61
4	17,0	24,64	985,54	2.038,15
5	17,3	54,30	4.615,15	6.653,30
6	17,3	35,62	2.136,91	8.790,21
7	17,3	32,21	1.610,60	10.400,81
8	17,1	33,22	1.660,76	12.061,57
9	17,3	29,11	1.310,14	13.371,71
10	17,5	45,23	3.844,55	15.501,31

Tabel 4. 16. Hasil Perhitungan Konsumsi BB M/E Rute Surabaya-Jakarta (Lanjutan)

No.	Vs	Flow Rate	Konsumsi Bahan Bakar M/E	Komulatif Konsumsi Bahan Bakar M/E
11	17,8	43,98	5.057,70	20.559,01
12	17,9	41,27	2.889,12	23.448,14
13	18,0	26,46	1.190,90	24.639,04
14	18,2	27,17	1.222,79	25.861,83
15	18,0	35,20	1.935,94	27.797,76
16	18,0	30,95	1.547,66	29.345,42
17	18,0	31,51	1.512,25	30.857,68
18	18,0	35,86	2.043,81	32.901,48
19	18,2	37,77	2.266,35	35.167,83
20	18,5	39,08	2.344,89	37.512,73
21	18,3	38,95	2.337,22	39.849,95
22	18,3	39,04	2.342,34	42.192,29
23	18,6	41,03	2.461,61	44.653,90
24	17,3	37,60	2.255,72	46.909,61
25	0,0	0,00	0,00	46.909,61

Aliran konsumsi bahan bakar M/E pada setiap menit terlihat fluktuatif itu disebabkan karena adanya perubahan kecepatan dan perubahan kondisi lingkungan sehingga mempengaruhi besarnya nilai tahanan seperti tahanan air, tahanan gelombang, tahanan tambahan dll ketika kapal tersebut berlayar melalui rute operasi yang telah ditentukan, Besarnya nilai *flow rate* penting untuk dilakukan monitoring secara berkala karena dapat dijadikan sebagai acuan bagi user atau operator kapal untuk memantau banyaknya operasional konsumsi bahan bakar M/E total yang diperlukan dalam menempuh suatu rute operasi tertentu.

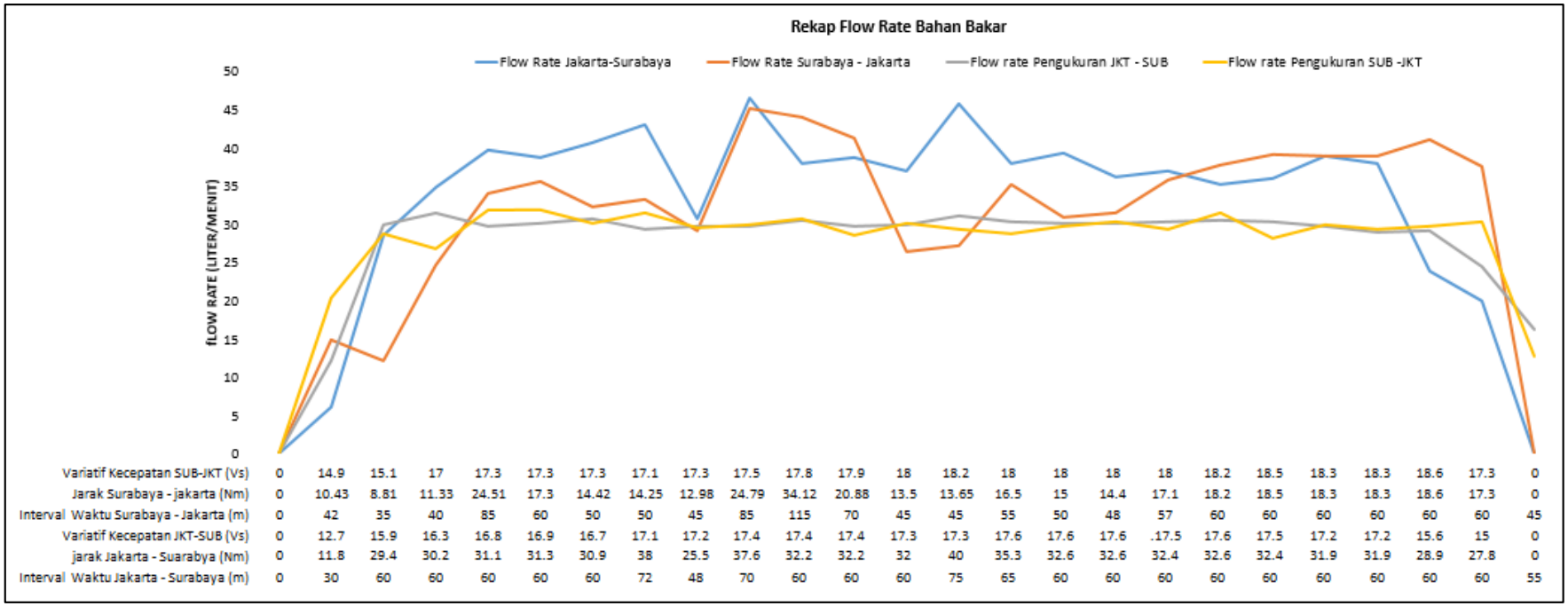
4.5.2 Kebutuhan BB M/E KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya

Kebutuhan bahan bakar M/E pada pelayaran ini untuk perjalanan dari Tanjung Priok, Jakarta menuju Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya dengan menggunakan rumus perhitungan empiris didapatkan nilai konsumsi bahan bakar M/E pada kecepatan yang berbeda dengan 25 variasi kondisi dan lokasi yang berbeda seperti pada Tabel 4. 17:

Tabel 4. 17. Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar M/E Rute Jakarta-Surabaya

No.	Vs	Flow Rate	Konsumsi Bahan Bakar M/E	Komulatif Konsumsi Bahan Bakar M/E
1	0,0	0	0	0
2	12,7	6,18	185,31	185,31
3	15,9	28,50	1.710,24	1.895,55
4	16,3	34,79	2.087,32	3.982,87
5	16,8	39,76	2.385,34	6.368,20
6	16,9	38,83	2.329,81	8.698,02
7	16,7	40,65	2.438,96	11.136,97
8	17,1	43,09	3.102,80	14.239,77
9	17,2	30,74	1.475,72	15.715,49
10	17,4	46,49	3.254,40	18.969,89
11	17,4	38,02	2.280,92	21.250,80
12	17,4	38,82	2.329,26	23.580,07
13	17,3	36,97	2.218,21	25.798,28
14	17,3	45,86	3.439,45	29.237,73
15	17,6	37,99	2.469,63	31.707,36
16	17,6	39,26	2.355,61	34.062,97
17	17,6	36,19	2.171,45	36.234,41
18	17,5	36,91	2.214,81	38.449,23
19	17,6	35,14	2.108,60	40.557,82
20	17,5	36,03	2.161,65	42.719,47
21	17,2	38,95	2.337,10	45.056,57
22	17,2	37,96	2.277,69	47.334,26
23	15,6	23,94	1.436,25	48.770,51
24	15,0	19,92	1.195,20	49.965,71
25	0,0	1,28	83,15	50.048,86

Aliran konsumsi BB M/E pada setiap menit terlihat fluktuatif itu disebabkan karena adanya perubahan kecepatan dan perubahan kondisi lingkungan serta dipengaruhi oleh waktu sehingga menyebabkan flow rate atau aliran BB M/E menjadi fluktuatif. Tahanan tambahan kondisi sangat dipengaruhi oleh besarnya nilai tahanan seperti aliran dan arah dari angin serta gelombang. Besarnya nilai *flow rate* penting untuk dilakukan monitoring secara berkala karena dapat dijadikan sebagai acuan bagi user atau operator kapal untuk memantau banyaknya operasional konsumsi BB M/E total yang diperlukan dalam menempuh suatu rute operasi tertentu. Data flow rate konsumsi BB M/E KM. Doro Londa dengan rute Jakarta-Surabaya dan Surabaya – Jakarta dapat dilihat pada Gambar 4. 17.



Variatif Kecepatan SUB-JKT (Vs)	0	14.9	15.1	17	17.3	17.3	17.3	17.1	17.3	17.5	17.8	17.9	18	18.2	18	18	18	18	18.2	18.5	18.3	18.3	18.6	17.3	0
Jarak Surabaya - jakarta (Nm)	0	10.43	8.81	11.33	24.51	17.3	14.42	14.25	12.98	24.79	34.12	20.88	13.5	13.65	16.5	15	14.4	17.1	18.2	18.5	18.3	18.3	18.6	17.3	0
Interval Waktu Surabaya - Jakarta (m)	0	42	35	40	85	60	50	50	45	85	115	70	45	45	55	50	48	57	60	60	60	60	60	60	45
Variatif Kecepatan JKT-SUB (Vs)	0	12.7	15.9	16.3	16.8	16.9	16.7	17.1	17.2	17.4	17.4	17.4	17.3	17.3	17.6	17.6	17.6	.17.5	17.6	17.5	17.2	17.2	15.6	15	0
jarak Jakarta - Suarabya (Nm)	0	11.8	29.4	30.2	31.1	31.3	30.9	38	25.5	37.6	32.2	32.2	32	40	35.3	32.6	32.6	32.4	32.6	32.4	31.9	31.9	28.9	27.8	0
Interval Waktu Jakarta - Surabaya (m)	0	30	60	60	60	60	60	72	48	70	60	60	60	75	65	60	60	60	60	60	60	60	60	60	55

Gambar 4. 17 Grafik *flow rate* bahan bakar M/E KM. Doro Londa Surabaya-Jakarta & Jakarta-Surabaya

4.5.3 Kebutuhan BB A/E KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta

Kebutuhan bahan bakar A/E pada pelayaran ini untuk perjalanan dari Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya menuju Tanjung Priok, Jakarta dengan menggunakan rumus perhitungan empiris didapatkan nilai konsumsi bahan bakar A/E pada kecepatan yang berbeda dengan 25 variasi kondisi dan lokasi yang berbeda seperti pada Tabel 4. 16:

Tabel 4. 18. Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar A/E Rute Surabaya-Jakarta

No.	Vs	Flow Rate A/E (Liter/Menit)	Konsumsi Bahan Bakar A/E (Liter)	Komulatif Konsumsi Bahan Bakar A/E
1	0,0	0,0	0,00	0,00
2	14,9	1,4	173,68	173,68
3	15,1	1,1	120,61	294,28
4	17,0	1,3	157,53	451,81
5	17,3	2,8	711,34	1163,16
6	17,3	2,0	354,44	1517,60
7	17,3	1,6	246,14	1763,74
8	17,1	1,6	246,14	2009,88
9	17,3	1,5	199,37	2209,25
10	17,5	2,8	711,34	2920,59
11	17,8	3,8	1302,08	4222,67
12	17,9	2,3	482,43	4705,10
13	18,0	1,5	199,37	4904,48
14	18,2	1,5	199,37	5103,85
15	18,0	1,8	297,83	5401,68
16	18,0	1,6	246,14	5647,82
17	18,0	1,6	226,84	5874,66
18	18,0	1,9	319,88	6194,54
19	18,2	2,0	354,44	6548,99
20	18,5	2,0	354,44	6903,43
21	18,3	2,0	354,44	7257,87
22	18,3	2,0	354,44	7612,31
23	18,6	2,0	354,44	7966,75
24	17,3	2,0	354,44	8321,19
25	0,0	1,5	199,37	8520,56

Aliran konsumsi bahan bakar A/E pada setiap menit terlihat fluktuatif itu disebabkan karena adanya perubahan kecepatan dan perubahan kondisi lingkungan sehingga mempengaruhi besarnya nilai tahanan seperti tahanan air, tahanan gelombang, tahanan tambahan dll ketika kapal tersebut berlayar melalui rute operasi yang telah ditentukan, Besarnya nilai *flow rate* penting untuk dilakukan monitoring secara berkala karena dapat dijadikan sebagai acuan bagi user atau operator kapal untuk memantau banyaknya operasional konsumsi bahan bakar A/E total yang diperlukan dalam menempuh suatu rute operasi tertentu.

4.5.4 Kebutuhan BB A/E KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya

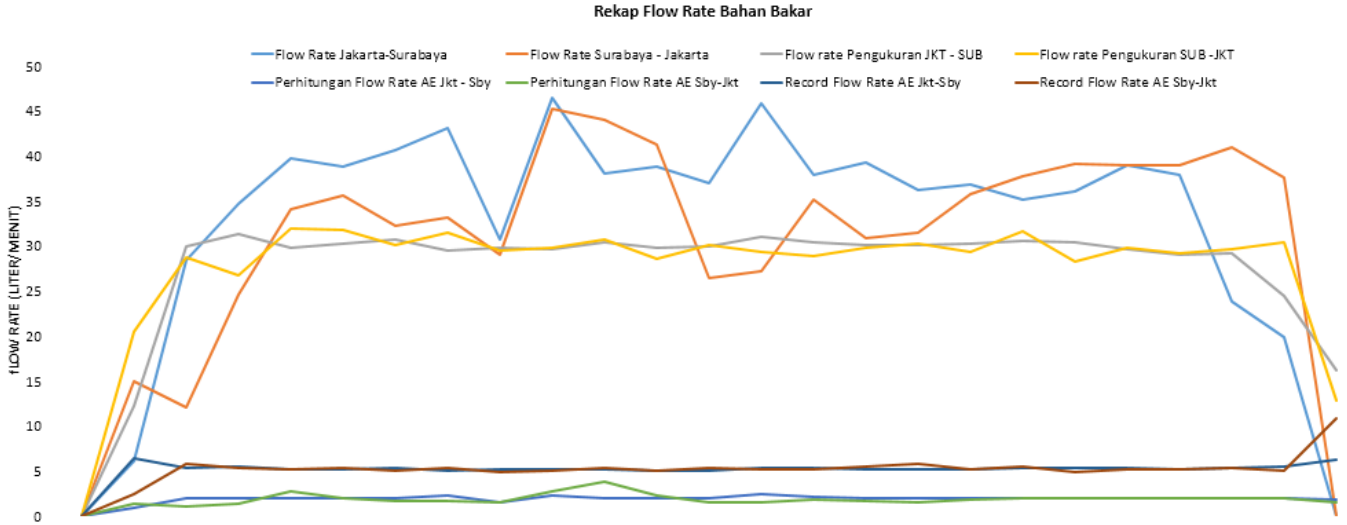
Kebutuhan bahan bakar A/E pada pelayaran ini untuk perjalanan dari Tanjung Priok, Jakarta menuju Pelabuhan Tanjung Perak, Surabaya dengan menggunakan rumus perhitungan empiris didapatkan nilai konsumsi bahan bakar A/E pada kecepatan yang berbeda dengan 25 variasi kondisi dan lokasi yang berbeda seperti pada Tabel 4. 17:

Tabel 4. 19. Hasil Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar A/E Rute Jakarta-Surabaya

No.	Vs	Flow Rate A/E (Liter/Menit)	Konsumsi Bahan Bakar A/E (Liter)	Komulatif Konsumsi Bahan Bakar A/E
1	0,0	0,0	0,00	0,00
2	12,7	1,0	88,61	88,61
3	15,9	2,0	354,44	443,05
4	16,3	2,0	354,44	797,49
5	16,8	2,0	354,44	1151,93
6	16,9	2,0	354,44	1506,37
7	16,7	2,0	354,44	1860,81
8	17,1	2,4	510,39	2371,21
9	17,2	1,6	226,84	2598,05
10	17,4	2,3	482,43	3080,49
11	17,4	2,0	354,44	3434,93
12	17,4	2,0	354,44	3789,37
13	17,3	2,0	354,44	4143,81
14	17,3	2,5	553,81	4697,62
15	17,6	2,1	415,98	5113,60
16	17,6	2,0	354,44	5468,04
17	17,6	2,0	354,44	5822,48
18	17,5	2,0	354,44	6176,92
19	17,6	2,0	354,44	6531,36
20	17,5	2,0	354,44	6885,80
21	17,2	2,0	354,44	7240,24
22	17,2	2,0	354,44	7594,68
23	15,6	2,0	354,44	7949,13
24	15,0	2,0	354,44	8303,57
25	0,0	1,8	297,83	8601,40

Aliran konsumsi BB A/E pada setiap menit terlihat fluktuatif itu disebabkan karena adanya perubahan kecepatan dan perubahan kondisi lingkungan serta dipengaruhi oleh waktu sehingga menyebabkan flow rate atau aliran BB A/E menjadi fluktuatif. Tahanan tambahan kondisi sangat dipengaruhi oleh besarnya

nilai tahanan seperti aliran dan arah dari angin serta gelombang. Besarnya nilai *flow rate* penting untuk dilakukan monitoring secara berkala karena dapat dijadikan sebagai acuan bagi user atau operator kapal untuk memantau banyaknya operasional konsumsi BB A/E total yang diperlukan dalam menempuh suatu rute operasi tertentu. Data flow rate konsumsi BB A/E KM. Doro Londa dengan rute Jakarta-Surabaya dan Surabaya – Jakarta dapat dilihat pada Gambar 4. 17.



Variatif Kecepatan SUB-JKT (Vs)	0	14,9	15,1	17	17,3	17,3	17,3	17,1	17,3	17,5	17,8	17,9	18	18,2	18	18	18	18	18,2	18,5	18,3	18,3	18,6	17,3	0
Jarak Surabaya - jakarta (Nm)	0	10,43	8,81	11,33	24,51	17,3	14,42	14,25	12,98	24,79	34,12	20,88	13,5	13,65	16,5	15	14,4	17,1	18,2	18,5	18,3	18,3	18,6	17,3	0
Interval Waktu Surabaya - Jakarta (m)	0	42	35	40	85	60	50	50	45	85	115	70	45	45	55	50	48	57	60	60	60	60	60	60	45
Variatif Kecepatan JKT-SUB (Vs)	0	12,7	15,9	16,3	16,8	16,9	16,7	17,1	17,2	17,4	17,4	17,4	17,3	17,3	17,6	17,6	17,6	.17.5	17,6	17,5	17,2	17,2	15,6	15	0
jarak Jakarta - Suarabya (Nm)	0	11,8	29,4	30,2	31,1	31,3	30,9	38	25,5	37,6	32,2	32,2	32	40	35,3	32,6	32,6	32,4	32,6	32,4	31,9	31,9	28,9	27,8	0
Interval Waktu Jakarta - Surabaya (m)	0	30	60	60	60	60	60	72	48	70	60	60	60	75	65	60	60	60	60	60	60	60	60	60	55

Gambar 4. 18 Grafik *flow rate* bahan bakar A/E KM. Doro Londa Surabaya-Jakarta & Jakarta-Surabaya

4.6. Perhitungan Emisi

Rumusan algoritma perhitungan emisi menggunakan data AIS dengan mempertimbangkan kondisi pelayaran secara aktual berdasarkan pendekatan rumusan empiris, Tahapan untuk melakukan rumusan algoritma diantaranya adalah mentransformasi rumusan ke dalam bahasa MatLab, setelah itu diubah ke dalam bahasa pemrograman PHP script, Hasil transformasi rumusan MatLab secara utuh dapat dilihat dalam lampiran. Dasar rumusan yang digunakan berdasarkan pada pengembangan perhitungan estimasi emisi pada kapal yang dipengaruhi oleh konsumsi bahan bakar, faktor pengali emisi di setiap jenis polutan (Utami & Puriningsih, 2014). Metode yang digunakan diaplikasikan berdasarkan rumusan empiris seperti dibawah ini:

$$E = Vol_i \; x \; FE_i \; x \; 10^{-3}$$

Dimana :

E = Beban pencemar untuk polutan i (ton/menit)

Vol_i = Konsumsi bahan bakar (liter/menit)

Fe_i = Besarnya polutan i yang diemisikan dari setiap (liter) penggunaan bahan bakar (gram/liter bahan bakar)

Berdasarkan rumusan empiris dan faktor-faktor perhitungan terkait maka didapatkan nilai emisi KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta seperti pada Tabel 4. 20.

Tabel 4. 20. Hasil Perhitungan Emisi KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta

No,	Vs	CO	NO_x	HC	SO_2	CO_2
1	0,0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	14,9	0.057	0.014	0.034	0.025	4.115
3	15,1	0.038	0.010	0.023	0.017	2.781
4	17,0	0.086	0.022	0.051	0.038	6.221
5	17,3	0.260	0.066	0.155	0.113	18.802
6	17,3	0.187	0.047	0.112	0.082	13.515
7	17,3	0.140	0.035	0.084	0.061	10.144
8	17,1	0.144	0.036	0.086	0.063	10.445
9	17,3	0.114	0.029	0.068	0.050	8.250
10	17,5	0.338	0.085	0.202	0.148	24.462
11	17,8	0.455	0.115	0.272	0.199	32.913
12	17,9	0.252	0.064	0.151	0.110	18.279

Tabel 4.20. Hasil Perhitungan Emisi KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta (Lanjutan)

No,	Vs	CO	NO_x	HC	SO_2	CO_2
13	18,0	0.104	0.026	0.062	0.045	7.536
14	18,2	0.107	0.027	0.064	0.047	7.727
15	18,0	0.168	0.043	0.101	0.074	12.197
16	18,0	0.135	0.034	0.081	0.059	9.767
17	18,0	0.131	0.033	0.079	0.057	9.516
18	18,0	0.178	0.045	0.106	0.078	12.888
19	18,2	0.197	0.050	0.118	0.086	14.291
20	18,5	0.204	0.052	0.122	0.089	14.761
21	18,3	0.203	0.051	0.121	0.089	14.715
22	18,3	0.204	0.051	0.122	0.089	14.746
23	18,6	0.214	0.054	0.128	0.093	15.461
24	17,3	0.196	0.050	0.117	0.086	14.227
25	0,0	0.006	0.001	0.003	0.002	0.398
	Total	**4.117**	**1.041**	**2.461**	**1.798**	**298.158**

Terdapat dua puluh lima mode operasi yang digunakan terkait dengan waktu pelayaran dalam mode tertentu. Selain itu faktor emisi merupakan pengaruh dari jumlah total konsumsi energi yang dihasilkan oleh mesin berkaitan dengan gas buang (CO, NO_x, HC, SO_2 dan CO_2). Faktor emisi merujuk pada (Starcrest Consulting Group, 2015). Faktor emisi juga didasarkan pada jenis kapal (*ocean going vessel, coastal vessel, river vessel),* jenis mesin (*medium and slow speed diesel engine),* serta tipe bahan bakar yang digunakan (*residual fuel, marine diesel oil, general diesel oil)*. Berdasarkan rumusan empiris dan faktor-faktor perhitungan terkait maka didapatkan nilai emisi KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya seperti pada Tabel 4. 21.

Tabel 4. 21. Hasil Perhitungan Emisi KM. Doro Londa Rute Jakarta – Surabaya

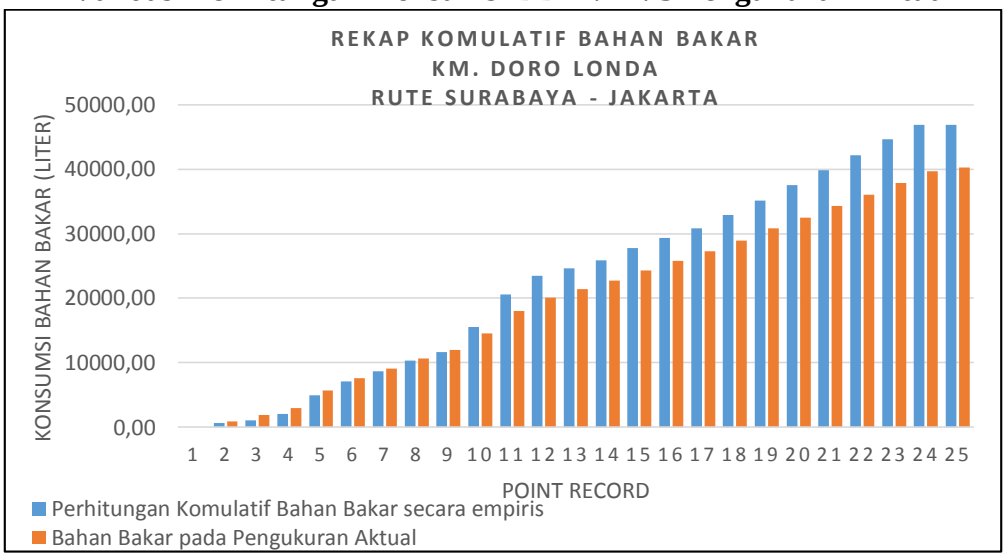
No,	Vs	CO	NO_x	HC	SO_2	CO_2
1	0,0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	12,7	0.018	0.004	0.011	0.008	1.288
3	15,9	0.151	0.038	0.090	0.066	10.958
4	16,3	0.183	0.046	0.109	0.080	13.218
5	16,8	0.207	0.052	0.124	0.090	15.004
6	16,9	0.203	0.051	0.121	0.088	14.671
7	16,7	0.212	0.054	0.126	0.092	15.325
8	17,1	0.271	0.068	0.162	0.118	19.615
9	17,2	0.128	0.032	0.077	0.056	9.297

Tabel 4.21. Hasil Perhitungan Emisi KM. Doro Londa Rute Jakarta–Surabaya (Lanjutan)

No.	Vs	CO	NO_x	HC	SO_2	CO_2
10	17,4	0.283	0.071	0.169	0.123	20.468
11	17,4	0.199	0.050	0.119	0.087	14.378
12	17,4	0.203	0.051	0.121	0.088	14.668
13	17,3	0.193	0.049	0.116	0.084	14.002
14	17,3	0.300	0.076	0.179	0.131	21.720
15	17,6	0.216	0.055	0.129	0.094	15.632
16	17,6	0.205	0.052	0.122	0.089	14.826
17	17,6	0.189	0.048	0.113	0.083	13.722
18	17,5	0.193	0.049	0.115	0.084	13.982
19	17,6	0.184	0.047	0.110	0.080	13.345
20	17,5	0.189	0.048	0.113	0.082	13.663
21	17,2	0.203	0.051	0.121	0.089	14.715
22	17,2	0.198	0.050	0.119	0.087	14.359
23	15,6	0.129	0.033	0.077	0.056	9.316
24	15,0	0.109	0.027	0.065	0.047	7.871
25	0,0	0.008	0.002	0.005	0.004	0.595
	Total	**4.373**	**1.106**	**2.613**	**1.910**	**316.635**

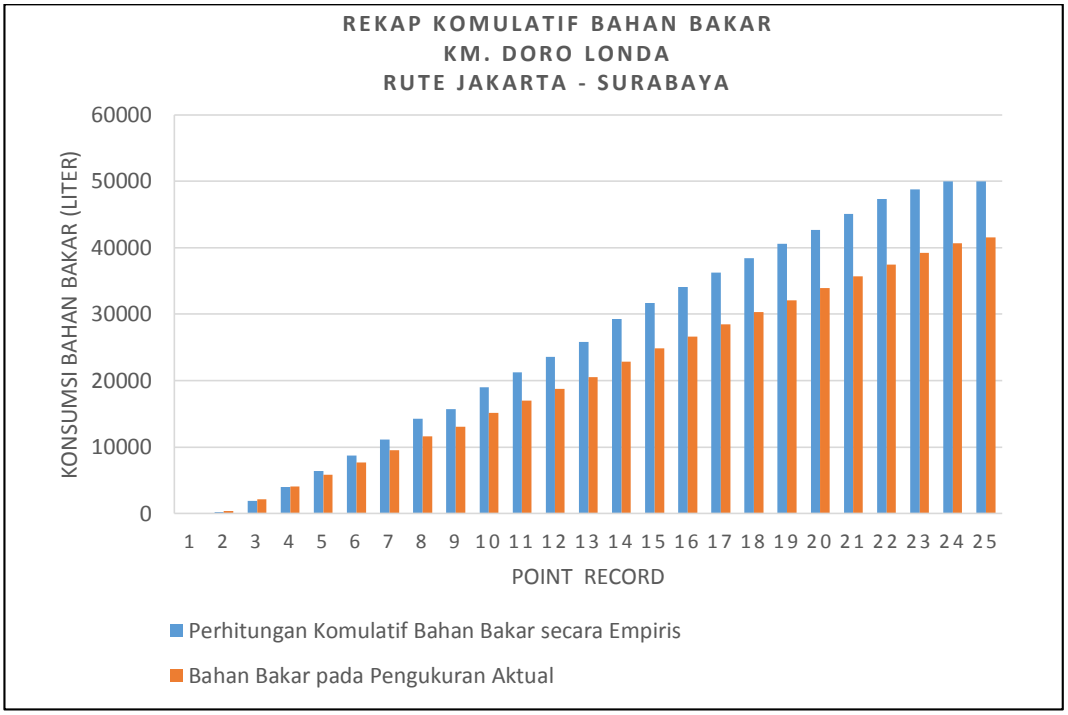
Hasil perhitungan emisi ketika keberangkatan dan perjalanan kembali terdapat perbedaan, hal ini diakibatkan adanya selisih bahan bakar yang dikonsumsi oleh M/E dan A/E, faktor yang mempengaruhi utamanya adalah kondisi lingkungan yang berbeda. Seluruh hasil perhitungan emisi dalam (ton/menit).

4.7 Validasi Perhitungan Konsumsi BB M/E VS Pengukuran Aktual



Gambar 4. 19 Grafik Komulatif Bahan Bakar M/E secara Empiris Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta

Memverifikasi hasil perhitungan rumusan empiris konsumsi bahan bakar M/E yang berdasarkan kondisi pelayaran secara aktual dengan laporan penggunaan bahan bakar M/E (*Engine Log Book*) seperti pada Gambar 4. 19 untuk rute pelayaran Surabaya-Jakarta dan Gambar 4. 20 untuk rute pelayaran Jakarta-Surabaya.



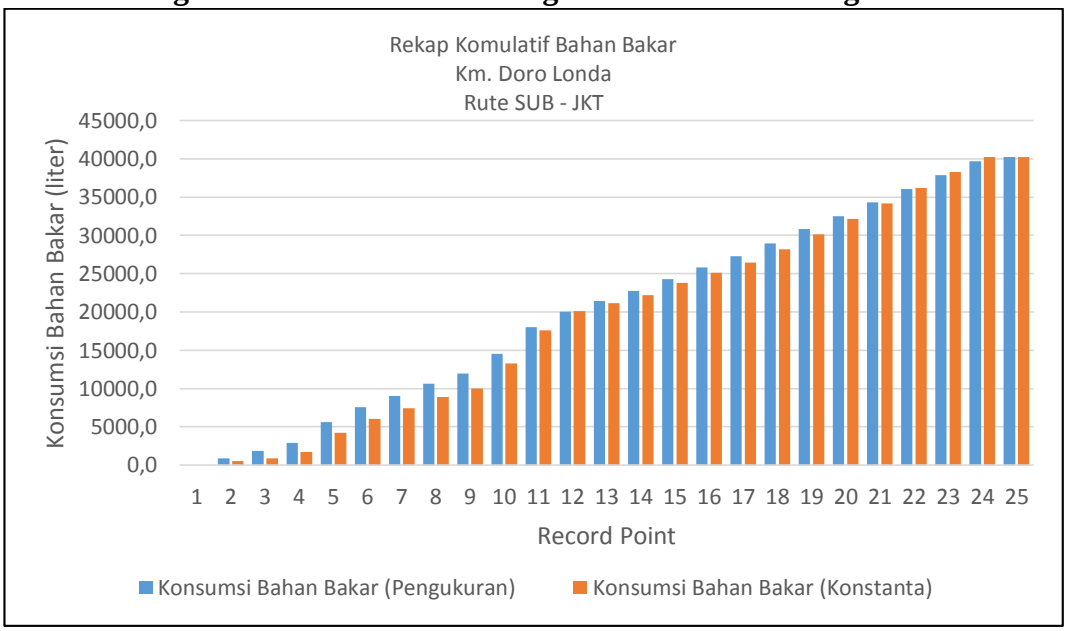
Gambar 4. 20 Grafik Perhitungan Komulatif Bahan Bakar M/E secara Empiris Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya

Terdapat selisih rekapitulasi perhitungan konsumsi bahan bakar M/Edengan pengukuran konsumsi bahan bakar secara aktual seperti Tabel 4. 22, pada rute Surabaya-Jakarta memiliki selisih sejumlah 14,2%, sedangkan pada rute Jakarta-Surabaya memiliki selisih sejumlah 16,9%, hal ini disebabkan karena ada faktor perbedaan kondisi lingkungan. Perbedaan nilai ini diakibatkan oleh adanya faktor kondisi lingkungan, dimana pada rute Surabaya-Jakarta KM. Doro Londa melawan pergerakan arus dan arah angin sehingga prosentase perbedaan konsumsi bahan bakar M/E secara empiris dan aktual lebih besar dibandingkan rute Jakarta-Surabaya.

Tabel 4. 22. Rekapitulasi Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar M/E secara Empiris VS Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar M/E secara Aktual (Rute Jakarta – Surabaya)

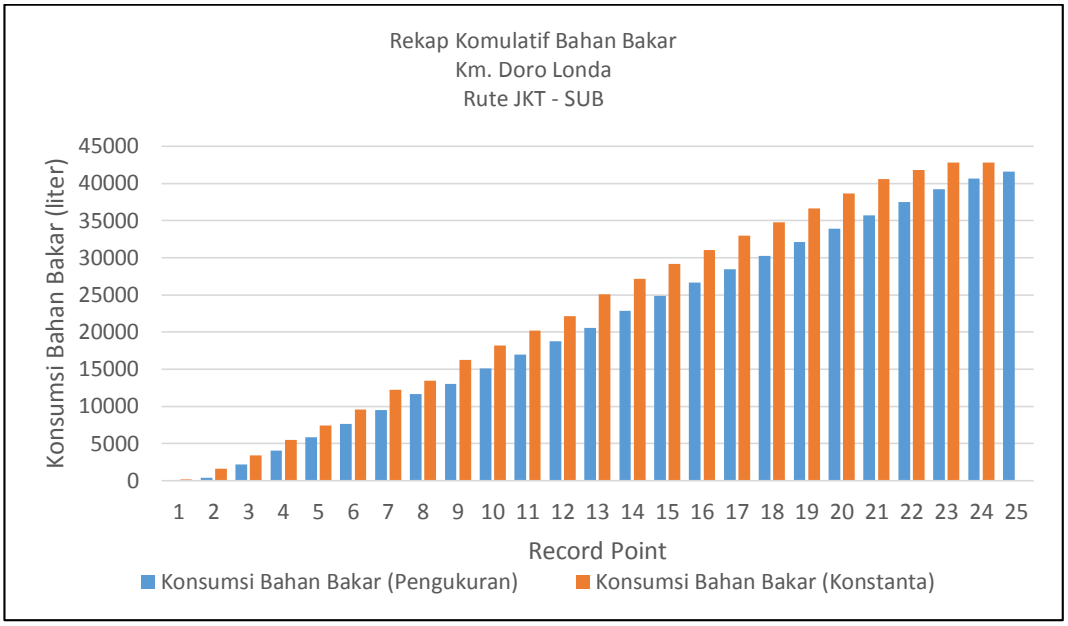
Rute	Konsumsi BB M/E Perhitungan Empiris (Liter)	Pengukuran Konsumsi BB M/E Aktual (Liter)	Selisih (%)
Surabaya - Jakarta	46.910	40.245	14,2
Jakarta - Surabaya	50.049	41.578	16,9

4.8 Perhitungan Konsumsi BB M/E dengan Konstanta Vs Pengukuran Aktual



Gambar 4. 21 Grafik Komulatif Bahan Bakar M/E secara Empiris + Konstanta Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta

Memverifikasi hasil perhitungan rumusan empiris konsumsi bahan bakar M/E dengan menambahkan nilai konstanta untuk mencari pendekatan nilai konsumsi bahan bakar M/E pengukuran aktual. Tujuan diberinya nilai konstanta untuk memberikan nilai pendekatan yang di akibatkan oleh beberapa faktor yang tidak tercover dalam perhitungan. Nilai tidak tercover meliputi seperti kondisi actual mesin, kondisi fluktuatif persentase dari beban kinerja engine serta kondsi penggunaan SFOC yang berbeda beda sesuai dengan beban kinerja engine seperti pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22.



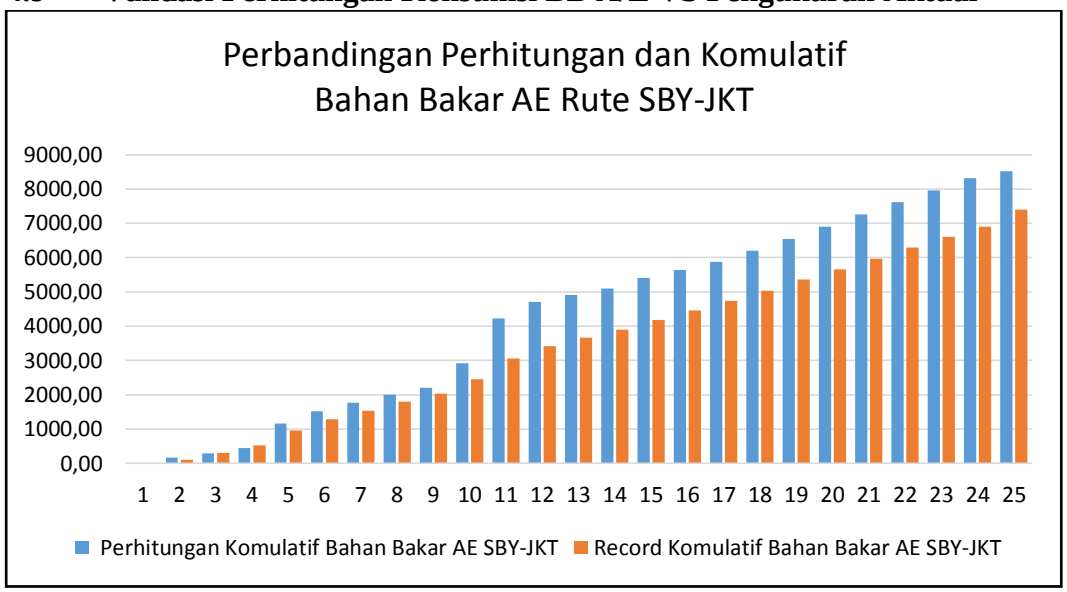
Gambar 4. 22 Grafik Perhitungan Komulatif Bahan Bakar secara Empiris + Konstanta Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya

Penambahan nilai konstanta pada rumusan empiris konsumsi bahan bakar M/E sebesar 0.857 berpengaruh terhadap perhitungan konsumsi bahan bakar M/E dengan penambahan nilai konstanta dengan pengukuran konsumsi bahan bakar M/E secara aktual, penambahan nilai kontanta diperlukan untuk pendekatan nilai konsumsi bahan bakar. Pendekatan hasil rumusan empiris dengan nilai konstanta dapat dilihat pada Tabel 4. 22 pada rute Surabaya-Jakarta memiliki selisih sejumlah 0.11%, sedangkan pada Tabel 4. 22 rute Jakarta-Surabaya memiliki selisih sejumlah 2.9%, penambahan nilai konstanta memeiliki margin error sebesar 2.8 % hal ini disebabkan karena adanya perbedaan kondisi lingkungan saat berlayar dari Surabaya – Jakarta dengan Jakarta – Surabaya.

Tabel 4. 23. Rekapitulasi Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar secara Empiris + Konstanta VS Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar M/E secara Aktual

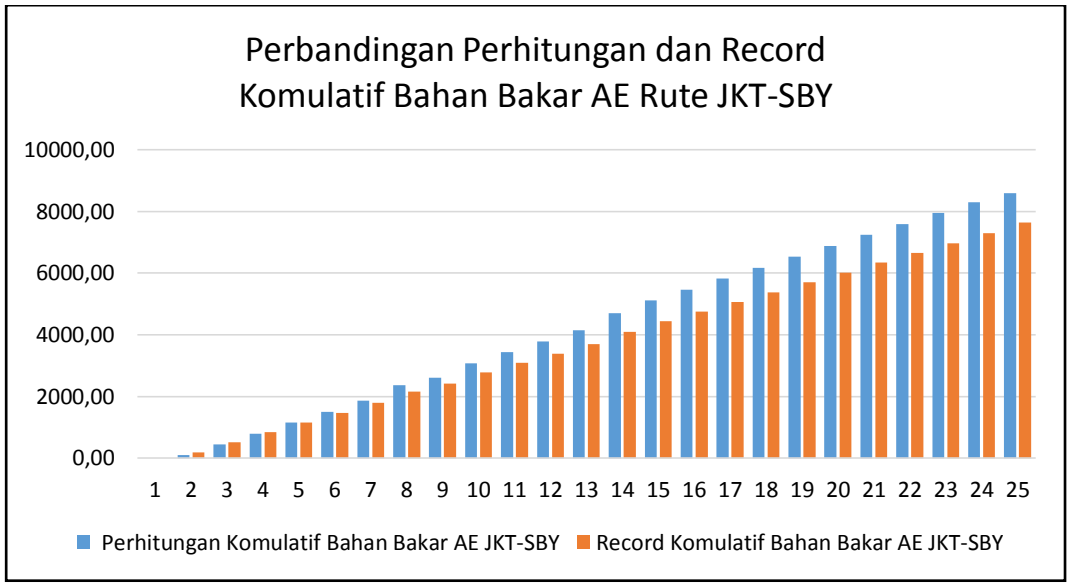
Rute	**Konsumsi BB M/E Perhitungan Empiris dengan Konstanta (Liter)**	**Pengukuran Konsumsi BB M/E Aktual (Liter)**	**Selisih (%)**
Surabaya - Jakarta	40.201	40.245	0.11
Jakarta - Surabaya	42.820	41.578	2.9

4.9 Validasi Perhitungan Konsumsi BB A/E VS Pengukuran Aktual



Gambar 4. 23 Grafik Komulatif Bahan Bakar A/E secara Empiris Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta

Memverifikasi hasil perhitungan rumusan empiris konsumsi bahan bakar A/E yang berdasarkan kondisi pelayaran secara aktual dengan laporan penggunaan bahan bakar A/E (*Engine Log Book*) seperti pada Gambar 4. 19 untuk rute pelayaran Surabaya-Jakarta dan Gambar 4. 20 untuk rute pelayaran Jakarta-Surabaya.



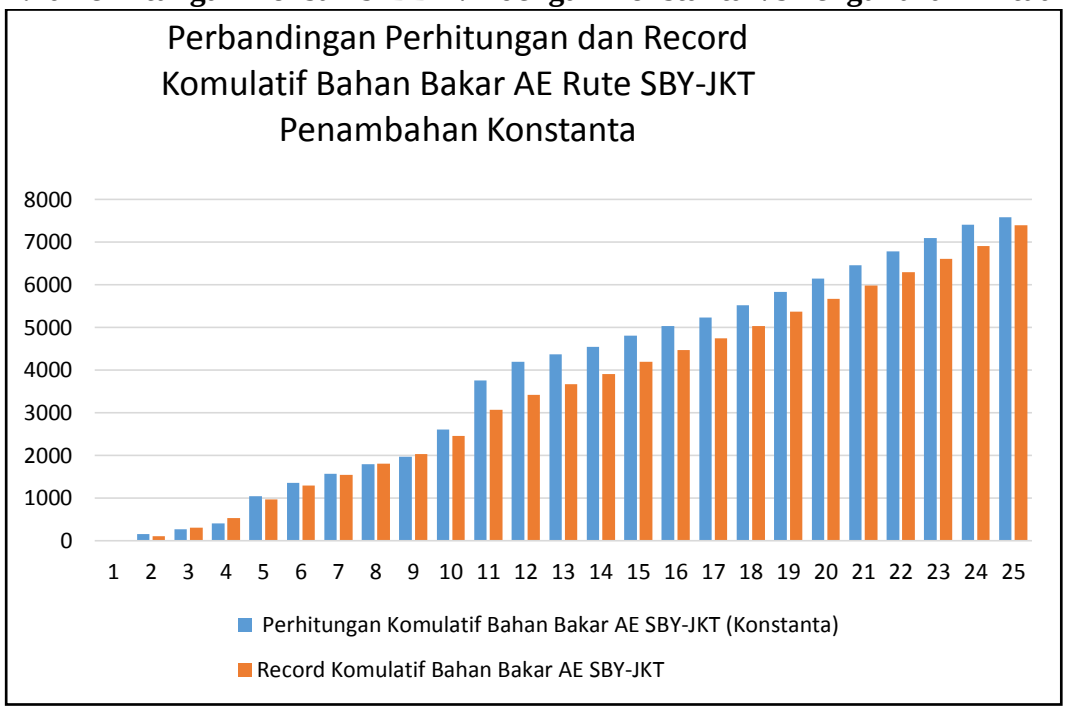
Gambar 4. 24 Grafik Perhitungan Komulatif Bahan Bakar A/E secara Empiris Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya

Terdapat selisih rekapitulasi perhitungan konsumsi bahan bakar A/Edengan pengukuran konsumsi bahan bakar secara aktual seperti Tabel 4. 22, pada rute Surabaya-Jakarta memiliki selisih sejumlah 14,2%, sedangkan pada rute Jakarta-Surabaya memiliki selisih sejumlah 16,9%, hal ini disebabkan karena ada faktor perbedaan kondisi lingkungan. Perbedaan nilai ini diakibatkan oleh adanya faktor kondisi lingkungan, dimana pada rute Surabaya-Jakarta KM. Doro Londa melawan pergerakan arus dan arah angin sehingga prosentase perbedaan konsumsi bahan bakar A/E secara empiris dan aktual lebih besar dibandingkan rute Jakarta-Surabaya.

Tabel 4. 24. Rekapitulasi Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar A/E secara Empiris VS Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar A/E secara Aktual (Rute Jakarta – Surabaya)

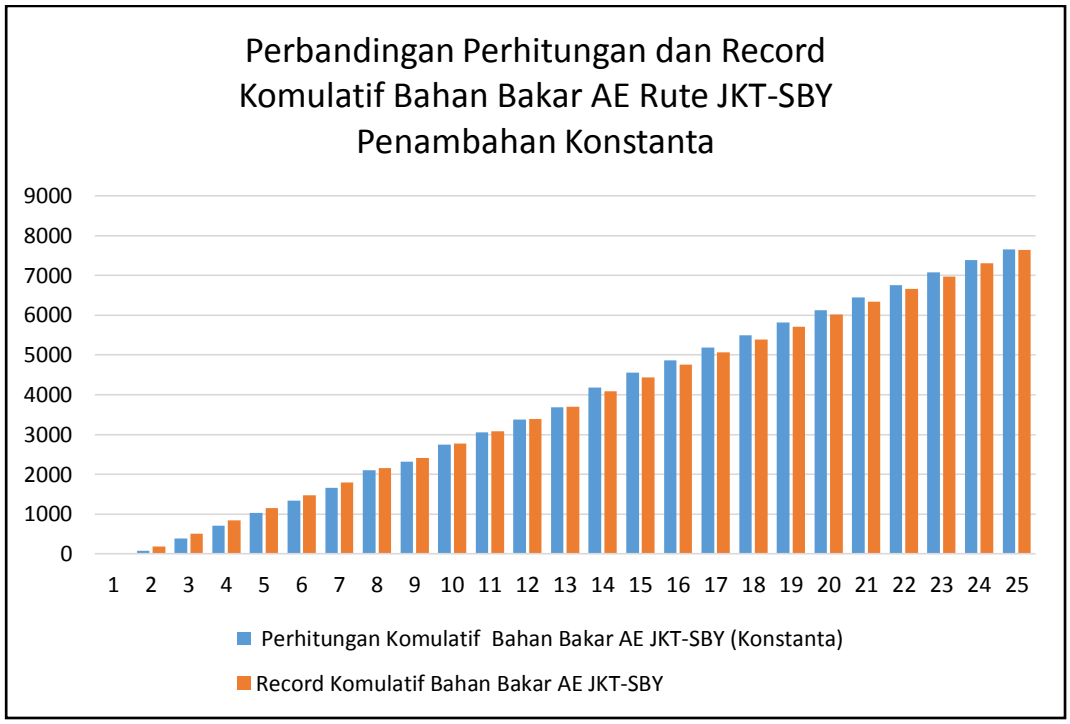
Rute	Konsumsi BB A/E Perhitungan Empiris (Liter)	Pengukuran Konsumsi BB A/E Aktual (Liter)	Selisih (%)
Surabaya - Jakarta	8.521	7.398	15,2
Jakarta - Surabaya	8.601	7.645	12,5

4.10 Perhitungan Konsumsi BB A/E dengan Konstanta Vs Pengukuran Aktual



Gambar 4. 25 Grafik Komulatif Bahan Bakar A/E secara Empiris + Konstanta Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Surabaya-Jakarta

Memverifikasi hasil perhitungan rumusan empiris konsumsi bahan bakar A/E dengan menambahkan nilai konstanta untuk mencari pendekatan nilai konsumsi bahan bakar A/E pengukuran aktual. Tujuan diberinya nilai konstanta untuk memberikan nilai pendekatan yang di akibatkan oleh beberapa faktor yang tidak tercover dalam perhitungan. Nilai tidak tercover meliputi seperti kondisi actual mesin, kondisi fluktuatif persentase dari beban kinerja engine serta kondsi penggunaan SFOC yang berbeda beda sesuai dengan beban kinerja engine seperti pada Gambar 4.25 dan Gambar 4.26.



Gambar 4. 26 Grafik Perhitungan Komulatif Bahan Bakar A/E secara Empiris + Konstanta Vs Pengukuran Aktual KM. Doro Londa Rute Jakarta-Surabaya

Penambahan nilai konstanta pada rumusan empiris konsumsi bahan bakar A/E sebesar 0.89 berpengaruh terhadap perhitungan konsumsi bahan bakar A/E dengan penambahan nilai konstanta dengan pengukuran konsumsi bahan bakar M/E secara aktual, penambahan nilai kontanta diperlukan untuk pendekatan nilai konsumsi bahan bakar. Pendekatan hasil rumusan empiris dengan nilai konstanta dapat dilihat pada Tabel 4. 22 pada rute Surabaya-Jakarta memiliki selisih sejumlah 1%, sedangkan pada Tabel 4. 22 rute Jakarta-Surabaya memiliki selisih sejumlah 0.99%.

Tabel 4. 25. Rekapitulasi Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar secara Empiris + Konstanta VS Pengukuran Konsumsi Bahan Bakar A/E secara Aktual

Rute	Konsumsi BB A/E Perhitungan Empiris dengan Konstanta (Liter)	Pengukuran Konsumsi BB A/E Aktual (Liter)	Selisih (%)
Surabaya - Jakarta	7655	7.398	0,99
Jakarta - Surabaya	7583	7645	1,00

4.11 Index Effisiensi (EEOI)

Analisis EEOI akan mempresentasikan efisiensi energi dari operasioanl kapal selama periode pelayaran. Menurut Marpol Lampiran VI Peraturan 22 tujuan EEOI adalah persyaratan untuk kapal dengan ukuran lebih dari 400 GT yang beroperasi secara Internasioanl untuk memiliki SEEMP *(Ship Energy Efficiency Management Plan)* dikapal sejak 1 Januari 2013 (Perdana, et al., 2017). Untuk menentukan nilai EEOI ada beberapa langkah yang perlu dilakukan yakni sebagai berikut ini :

1. Mendefinisikan Periode yang akan dilakukan kalkulasi

   Yang dimaksud dengan periode ini adalah hari atau periode pelayaran selama kapal beroperasional pada jangkauan waktu tertentu dan dengan rute tertentu.
2. Menetapkan sumber data

   Data yang digunakan untuk proses kalkulasi EEOI berupa informasi yang dikumpulkan langsung selama proses operasional kapal seperti jenis bahan bakah, jarak pelayaran, jam pelayaran dan jenis muatan.
3. Mengumpulkan data

   Langkah berikutnya adalah menetapkan data-data yang dapat digunakan selama proses kalkulasi, Yakni data yang berasal dari hasil laporan operasional, bisa juga dilakukan estimasi terhadap jumlah muatan yang dibawa sesuai dengan kapasitas kapal, Pada kapal ini kapal yang diteliti adalah kapal penumpang sehingga muatan terdiri dari logistik dan penumpang (orang).

Menghitung Index Effisiensi (EEOI) berdasarkan data AISITS secara rumusan empiris untuk diterapkan pada aplikasi AISITS sehingga hasil penelitian ini dapat ditampilkan dan memudahkan pengguna dalam pengambilan keputusan.

$$EEOI = \frac{(Faktor\ konversi\ massa\ bahan\ bakar\ menjadi\ CO_2)x(Konsumsi\ bahan\ bakar)}{(Massa\ muatan\ aktual\ yang\ diangkut)x(Jarak\ berlayar\ aktual)}$$

$$EEOI = \frac{\sum j\ xFC_j xC_{Fj}}{m_{cargo} xD}$$

Dimana :

j = jenis bahan bakar

i = jumlah pelayaran

FCj = massa bahan bakar yang dikonsumsi j pada suatu pelayaran

CFj = massa bahan bakar untuk faktor konversi massa CO_2 (lihat Tabel 4. 26) untuk bahan bakar j

M_{cargo} = muatan yang diangkut (ton) atau kerja yang dilakukan (jumlah TEU atau penumpang) atau gross tonnes untuk kapal penumpang (lihat Tabel 4. 27)

D = jarak dalam mil laut sesuai dengan muatan yang diangkut atau kerja yang Dilakukan

Tabel 4. 26. Faktor konversi massa bahan bakar menjadi CO_2

Jenis Bahan Bakar	Referensi	C_F(t-CO_2/t-Fuel)
Diesel/Gas Oi	ISO8217 DMX-DMC	3,206000
Light Fuel Oil (LFO)	ISO8217 RMA-RMD	3,151040
Heavy Fuel Oil (HFO)	ISO8217 RME-RMK	3,114400
Liquefied Petroleum Gas (LPG)	Propane	3,000000
	Butane	3,030000
Liquefied Natural Gas (LNG)	-	2,750000

Tabel 4. 27. Massa muatan yang diangkut

Jenis Kapal	Massa muatan yang diangkut	Satuan
Dry cargo carriers	Massa muatan	Tons
Liquid Tankers	Massa muatan	Tons
Ro-Ro cargo ships	Massa muatan	Tons

Kapal barang umum	Massa muatan	Tons
Kapal kontainer (hanya mengangkut kontainer)	Massa muatan	Tons
	Jumlah kontainer	TEU
Kapal kontainer (mengangkut kontainer dan muatan yang lain)	Masssa muatan yang dihitung dari TEUSs (Loaded container: 10t / kontainer kosong: 2t)	Tons
Kapal penumpang, Kapal penumpang ro-ro	Jumlah penumpang	Orang
	Gross tonnes	Tonnes
Car ferries, Car carriers	Jumlah mobil	Mobil
	Lane meters	Meters
Railway and Ro-Ro vessels	Number of railway cars and freight vehicles	Mobil/kendaraan
	Lane meters	Meters

Berdasarkan rumusan empiris dan faktor-faktor perhitungan terkait maka didapatkan nilai EEOI KM, Doro Londa rute Surabaya-Jakarta senilai 0,001210827 (t-(CO_2/t)-NM) sedangkan rute Jakarta-Surabaya memiliki nilai indeks EEOI senilai 0,000609429 (t-(CO_2/t)-NM), Perbedaan nilai EEOI dikarenakan muatan ketika berangkat berbeda dengan muatan kapal ketika kembali ke pelabuhan Tanjung Perak, Berikut rincian muatan yang dibawa oleh KM, Doro Londa pada tanggal 9-10 Oktober 2019 dan 11-12 Oktober 2019:

Muatan kapal rute Surabaya-Jakarta:

- 5 kontainer bermuatan penuh
- 18 kontainer tanpa muatan
- 1031 penumpang
- Total muatan 268,94 ton
- Konsumsi bahan bakar 55.431 liter = 47,67 Ton
- Jarak Surabaya – Jakarta 469.328 Nm

Muatan kapal rute Jakarta-Surabaya:

- 17 kontainer bermuatan penuh
- 4 kontainer tanpa muatan
- 1316 penumpang
- Total muatan 565,04 ton
- Konsumsi Bahan Bakar 58.650 liter = 50.43 Ton.
- Jarak Jakarta – Surabaya 469.599 Nm

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

a. Dalam kajian ini digunakan dua metode, yaitu Metode Holtrop untuk menghitung dasar perhitungan tahanan dan Metode Stawave untuk melakukan perhitungan tahanan tambahan (tahanan angin, gelombang, perubahan draft serta sifat air). *Sea Margin* merupakan besarnya daya tambahan yang dibutuhkan dalam kondisi operasional dibandingkan dengan kondisi air yang tenang untuk mempertahankan kecepatan karena efek lingkungan, sehingga *sea margin* yang diperoleh dalam rumusan ini adalah kondisi aktual sesuai dengan perubahan kondisi lingkungan yang dinamis.

b. Hasil perhitungan empiris dibandingkan dengan pengukuran konsumsi bahan bakar ME secara aktual memiliki perbedaan senilai 14,2% untuk rute Surabaya-Jakarta dan 16,9% untuk rute Jakarta-Surabaya. Dengan nilai konstanta 0,857 hasil perhitungan bahan bakar secara empiris memiliki pendekatan sebesar 0.11% untuk rute Surabaya – Jakarta, sedangkan 2,9% untuk rute Jakarta – Surabaya. Sedangkan perbandingan untuk perhitungan empiris dan pengukuran aktual konsumsi bahan bakar AE untuk rute Surabaya – Jakarta memiliki perbedaan senilai 15,2% dan untuk rute Jakarta – Surabaya memiliki perbedaan senilai 12,5%. Dengan penambahan nilai konstanta 0.89 hasil perhitungan bahan bakar AE secara empiris memiliki nilai pendekatan sebesar 0.99% untuk rute Surabaya –Jakarta sedangakn untuk rute Jakarta – Surabaya nilai pendekatan 1,00%. Perbedaan nilai ini diakibatkan oleh adanya faktor kondisi lifetime engine, kondisi fluktuatif load (beban) serta kondisi penggunaan SFOC yang menyesuaikan dengan kinerja engine.

c. Berdasarkan hasil perhitungan empiris didapatkan nilai EEOI KM. Doro Londa rute Surabaya-Jakarta senilai 0,001210827 (t-(CO_2/t)-NM) sedangkan rute Jakarta-Surabaya memiliki nilai indeks EEOI senilai 0,000609429 (t-(CO_2/t)-NM). Nilai emisi pada rute Surabaya- Jakarta

memiliki nilai (CO 4.117; NOx 1.041; HC 2.461; SO_2 1.798; CO_2 298.158) sedangkan nilai emisi (kg/trip) rute Jakarta-Surabaya (CO 4.373; NOx 1.106; HC 2.613; SO_2 1.910; CO_2 316.635).

5.2. Saran

a. Mengaplikasikan kinerja propeller terhadap pengaruh konsumsi bahan bakar yang dipengaruhi oleh kondisi lingkungan secara aktual.

b. Mempertimbangkan kondisi lambung kapal (seperti *fouling*) terhadap besarnya nilai tahanan tambahan yang berpengaruh terhadap kinerja kapal.

DAFTAR PUSTAKA

A,J,Hedley, C, T, S, T, L, H, A,, 2002, Cardiorespiratory & all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hongkong an interv,stdy, *Lancet*, Volume 360, pp, 1646 - 1652,

Amanisa, Y, K, &, R, D,, 2010, Pemrograman Basis Data Berbasis Web Menggunakan PHP & MySQL,,

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, 2019, *Pusat Meteorologi Maritim*, [Online] Available at: http://maritim,bmkg,go,id/[Accessed 5 September 2019],

Budi Sitorus, Tulus Irpan H Sitorus, Prasadja Ricardianto, 2016, EVALUASI MANAJEMEN SISTEM INFORMASI DAN TEKNOLOGI INFORMASI PELABUHAN, *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTransLog)*,

Chen, Y,, 2014, Satellite-based AIS and its Comparison with LRIT, *the International Journal*, Volume 8, p, 183,

Coen van Dijk, 2015, *Indonesia Maritime*, s,l,: s,n,

Hadi, L,, 2018, *Peraturan Terbaru IMO 2020 Tentang Bahan Bakar Kapal*, [Online] Available at: https://maritimindonesia,com/2018/09/28/peraturan-imo-sulphur-cap-2020/[Accessed 02 05 2019],

Handani, D, W,, Ariana, I, M,, Nugroho, T, F, & Indrayuni, F,, 2018, AIS Based Spatial Distribution of Ship Emission in Madura Strait Indonesia, *Journal of JIME*, Volume 53, pp, 113-118,

Handani, D, W,, Nugroho, T, F,, Ariana, I, M, & Indrayuni, F,, 2018, AIS Based Spatial Distribution of Ship Emission in Madura Strait Indonesia, *Journal of the JIME*, 53(Ship Emmision), pp, 113-118,

Henk van den Boom, H, H, a, F, M,, 2013, *New Guidelines for Speed/Power Trials*, s,l,:SWZ Maritime 134,

IMO International Maritime Organization, 2015, *Third IMO Green House Gas Study 2014*, London: International Maritime Organization,

K,W, Ng, Simon, C, L, C, L, V, B, J, C, A, Y, Y, L, a, A, L,, 2013, Policy change driven by an AIS-assisted marine emission inventory in Hong Kong and the Pearl River Delta, *Atmospheric Environment*, Volume 76, pp, 102-112,

Kementerian Perhubungan, 2018, *Statistik Perhubungan Buku I*, Jakarta: Sekertaris Jendral PUSTIKOMHUB ,

Larsson, L,, Raven, H, C, & Paulling, J, R,, 2010, *Ship Resistance and Flow,* 1st ed, Jersey City, N,J: Society of Naval Architects and Marine Engineers,

LAUT, D, J, P,, 2012, *PORT OPERATIONAL SERVICE PERFORMANCE, THE BENCHMARK OF OF SEA TRANSPORTATION IMPLEMENTATION*, [Online] Available at: http://dephub,go,id/post/read/kinerja-pelayanan-operasional-pelabuhan-tolak-ukur-keberhasilan-penyelenggaraan transportasi-laut-11100/ [Accessed 2019],

Oceanweather, Inc, 2001-2019, *Oceanweather Forecasting,* [Online] Available at: https://www,oceanweather,com/forecast/About/index,html [Accessed 22 05 2019],

Olmer, N, et al,, 2017, *Greenhouse Gas Emissions From Global Shipping, 2013 - 2015,* Beijing: ICCT,

Pantria, N,, 2012, Studi Karakteristik Fungsi AIS (Automatic Identification System) pada Transportasi Laut,

Rizkie Garnawan, T, P, A, D, D,, 2012, STUDI INTEGRASI AUTOMATIC IDENTIFICATION SYSTEM (AIS) DATA DAN GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM (GIS) UNTUK PENGEMBANGAN STRATEGI INSPEKSI KAPAL,

S&P Global Platts, 2016, *THE IMO'S 2020 GLOBAL SULFUR CAP,* s,l,: s,n,

Saputra, A,, 2011, Trik dan Solusi Jitu Pemrograman PHP,

Smith, T, W, P, J, J, P, A, B, A, C, J, J, F, J, H,, 2015, *Third IMO Greenhouse Gas Study 2014,* s,l,:s,n,

Starcrest Consulting Group, 2015, *Port of Los Angeles, Inventory of Air Emissions for Calendar Year 2015,* [Online] Available at: https://www, portoflosangeles,org/environment/studies_ reports,asp [Accessed Januari 2020],

UNCTADSTAT, 2015, *Mechant Fleet by Flag of Registration and by Type of Ship, annual, 2007 - 2015,* Switzerland: United Nations Conference on Trade and Development,,

Wagijono, 2011, SISTEM TRANSPORTASI NASIONAL (SISTRANAS) URAT NADI TRANSPORTASI PENDORONG DAN PENDUKUNG PEMBANGUNAN SELURUH SEKTOR, *Jurnal Aplikasi Pelayaran dan Kepelabuhanan,*

WG/Efek, A,, 2012, *ACS PETUNJUK INDIKATOR OPERASIONAL,* s,l,: Asian Classification Societies (ACS),

Wildenboer, E,, 2015, The relation between port performance and economic development, *Literature review and case study of the Hamburg-Le Havre Range*,

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Al Taqna Adam Wijaya, lahir di Semarang, 12 Januari 1994 dan bertempat tinggal di Jl, Kamiluto Raya No, 3, tepatnya di Desa Muktiharjo Kidul, Kecamatan Pedurungan, Penulis merupakan lulusan D3 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro pada tahun 2015 kemudian melanjutkan jenjang Lintas Jalur S1 Teknik Sistem Perkapalan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2017, Penulis aktif sebagai anggota Laboratorium *Relability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS),* Penulis telah menempuh karir sebagai *Hull Supervisor* di Galangan Janata Marina Indah (JMI) Semarang sebelum melanjutkan pendidikan ke jenjang Magister di DTSP ITS tahun 2018, Penulis juga aktif dalam beberapa project bersama tim dosen di Departemen Teknik Sistem Perkapalan, Project tersebut diantaranya adalah sebagai Verifikator KM, Sabuk Nusantara untuk Kantor Pelni di wilayah Bengkulu, Padang dan Ambon; Asisten Pimpro untuk pekerjaan inspeksi dan bangunan baru kapal, Dalam bidang akademik, penulis mengambil bidang Monitoring Bahan Bakar dengan pengembangan berdasarkan AISITS sebagai bidang khusus penelitian selama kuliah Magister, Ketertarikan penulis pada bidang monitoring telah lama diminati, sehingga pada penelitian yang tertuang dalam tesis kali ini, penulis mengambil tema tentang monitoring bahan bakar bekerjasama dengan Pelni (dengan objek penelitian KM, Doro Londa rute pelayaran Surabaya-Jakarta) guna mengetahui monitoring bahan bakar secara real time dalam setiap kapal yang dimiliki sebagai aset perusahaan,Penulis menyadari dalam penelitian ini masih banyak kekurangan serta masih banyak hal yang perlu untuk dikembangkan, oleh karena itu penulis berharap adanya kritik, saran serta sharing knowledge dari pihak-pihak terkait guna mengembangkan penelitian sejenis,

Al Taqna Adam Wijaya
wijaya,adam12@gmail,com

Halaman ini sengaja dikosongkan