

ESTIMASI KEBUTUHAN BAHAN BAKAR KAPAL PENUMPANG PELABUHAN TANJUNG EMAS SEMARANG SAMPAI TAHUN 2040 MENGGUNAKAN SOFTWARE LEAP

*Rifki Firdaus¹, M.S.K Tony Suryo Utomo²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: rifki.firdaus@student.undip.ac.id

Abstrak

Indonesia merupakan negara kepulauan yang bergantung pada transportasi laut. Kapal laut memegang peranan penting dalam berjalannya moda transportasi ini. Pelabuhan Tanjung Mas adalah salah satu pelabuhan yang berpengaruh di Indonesia. Pertumbuhan arus penumpang sebesar 18% tiap tahunnya menjadikan pelabuhan Tanjung Mas menjadi salah satu dari 24 pelabuhan pendukung berjalannya tol laut. Peningkatan jumlah penumpang ini mengharuskan penambahan armada dan trayek perjalanan yang tentunya berdampak pada peningkatan konsumsi bahan bakar, biaya maupun emisi yang dihasilkan. Perlu adanya manajemen dan estimasi yang baik untuk menghasilkan perencanaan pengelolaan energi yang tepat. Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi jumlah kebutuhan bahan bakar kapal penumpang di Pelabuhan Tanjung Emas sampai tahun 2040 menggunakan *software* LEAP, mengetahui emisi gas yang dihasilkan menurut *TED* LEAP dan merencanakan alternatif penghematan bahan bakar yang dapat dilaksanakan. Metode penelitian yang dilakukan berupa studi pustaka dan observasi. Perencanaan energi dilakukan dengan menggunakan beberapa skenario yaitu *Business as Usual* (BaU), *Additional Ships* (AS), *Advanced Technology* (AT) dan *Alternative Fuel Replacement* (AFR). Hasil simulasi didapat bahwa konsumsi bahan bakar pada tahun 2040 pada skenario BaU adalah 1.650,6 ribu SBM solar, AS adalah 1.033,1 ribu SBM solar, AT adalah 1.568,3 ribu SBM solar dan AFR adalah 1.647,6 ribu SBM solar dengan rincian 1.155,4 ribu SBM solar dan 492,2 ribu SBM biodiesel. Emisi yang dihasilkan secara keseluruhan pada skenario BaU sebesar 722.091,39 metrik ton. Skenario AS mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 32,1%, AT mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 4,1% dan AFR mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 0,1%. Dapat disimpulkan bahwa berdasarkan skenario yang paling banyak konsumsi bahan bakarnya adalah BaU, AFR, AT dan AS.

Kata kunci: Bahan Bakar, Emisi, Kapal Laut, LEAP, Skenario

Abstract

Indonesia is an archipelago country which relies on sea transportation. Ships are main factor in this transportation mode. Tanjung Emas port is one of the influencing ports in Indonesia. Passenger growth which increases 18% every year makes Tanjung Emas port as one of 24 supporting ports to sea highways realization. This increasing passengers obligate to increase more armadas and routes which influence to fuel consumption, cost and emission produced. Good planning and estimation are needed to produce precise energy management. This research purposes to estimate passenger ships fuel consumption in Tanjung Emas port until 2040 by using *software* LEAP, calculate gas emission produced based on *TED* LEAP and plan the possible alternative fuel economy. The method which is used in the research is study literature and observation. Energy planning is using some scenarios such as *Business as Usual* (BaU), *Additional Ships* (AS), *Advanced Technology* (AT) and *Alternative Fuel Replacement* (AFR). Simulation results show that fuel consumption in the year of 2040 on BaU scenario is 1.650,6 thousand BOE diesel oil, AS scenario is 1.033,1 thousand BOE diesel oil, AT scenario is 1.568,3 thousand BOE diesel oil and AFR scenario is 1.647,6 thousand BOE diesel oil with 1.155,4 BOE diesel oil and 492,2 BOE biodiesel. Total emission produced in BaU scenario is 722.091,39 metric tons. AS scenario can reduce 32,1% of total emission, AT scenario can reduce 4,1% of total emission and AFR scenario can reduce 0,1% of total emission. It can be concluded that base on fuel consumption level, the worst scenario is BaU, AFR, AT and AS respectively.

Keywords: Emission, Fuel, LEAP, Scenario, Ships

1. Pendahuluan

Transportasi laut merupakan salah satu sektor teknologi yang terus mengalami perkembangan. Hal ini dapat dilihat dari jumlah penumpang dan barang yang diangkut oleh kapal laut yang meningkat tiap tahunnya. Perkembangan akan permintaan tersebut harus diimbangi dengan pengembangan dan perbaikan sarana transportasi laut sehingga dapat memenuhi kebutuhan dan memberikan pelayanan yang terbaik. Sebagai benua maritim yang merupakan negara kepulauan dan memiliki pusat-pusat pertumbuhan ekonomi yang tersebar di seluruh pelosok tanah air, interaksi antar ruang dan keterkaitan ekonomi antar pulau sangat ditentukan oleh peran dan tatanan transportasi nasional. Sebagai negara kepulauan Indonesia tentunya mempunyai potensi wilayah yang tersebar dan dihubungkan oleh jaringan transportasi jalan ke pelabuhan maupun sistem transportasi laut (kepelabuhanan dan pelayaran/perkapalan).

Pentingnya peranan transportasi dinyatakan dalam RPJP Nasional 2005-2025, yakni sistem transportasi diarahkan untuk mendukung kegiatan ekonomi, sosial, dan budaya serta lingkungan dan dikembangkan melalui pendekatan pengembangan wilayah agar tercapai keseimbangan dan pemerataan pembangunan antar daerah, membentuk dan memperkuat kesatuan nasional untuk mempertahankan dan keamanan nasional serta membentuk struktur ruang dalam rangka mewujudkan sasaran pembangunan nasional [1]. Pemerintah menetapkan sasaran pembangunan untuk mewujudkan ketercapaian peran dari sarana transportasi laut. Sasaran pembangunan transportasi laut antara lain meliputi: meningkatnya pangsa pasar armada pelayaran nasional untuk angkutan laut dalam negeri dan ekspor-impor, meningkatnya kinerja dan efisiensi pelabuhan, meningkatnya kecukupan dan kehandalan sarana bantu navigasi pelayaran, meningkatnya peran swasta dalam berinvestasi di bidang prasarana pelabuhan [2].

Selain itu, pemerintah membuat kebijakan-kebijakan yang mendorong ketercapaian dari sasaran yang dibuat yaitu meningkatkan peran armada pelayaran nasional baik untuk angkutan dalam negeri maupun ekspor-impor dengan memberlakukan asas *cabotage*, menghapuskan pungutan-pungutan tidak resmi di pelabuhan melalui peningkatan koordinasi bagi semua instansi yang terkait dalam proses bongkar muat barang, memenuhi standar pelayaran internasional yang dikeluarkan oleh IMO (*International Maritime Organisation*) maupun IALA (*International Association of Lighthouse Authorities*), pelaksanaan ISPS (*International Ship and Port Security*) Code dan merestrukturisasi peraturan perundang-undangan (revisi UU No 21 Tahun 1992 tentang Pelayaran dan peraturan pelaksanaannya) serta kelembagaan di subsektor transportasi laut guna menciptakan kondisi yang mampu menarik minat swasta dalam pembangunan prasarana transportasi laut [2]. Sesuai dengan ketentuan Pasal 6 di dalam Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 20 Tahun 2010 tentang Angkutan di Perairan, kegiatan angkutan laut dalam negeri dilaksanakan dengan trayek tetap dan teratur serta dapat dilengkapi dengan trayek tidak tetap dan tidak teratur [3].

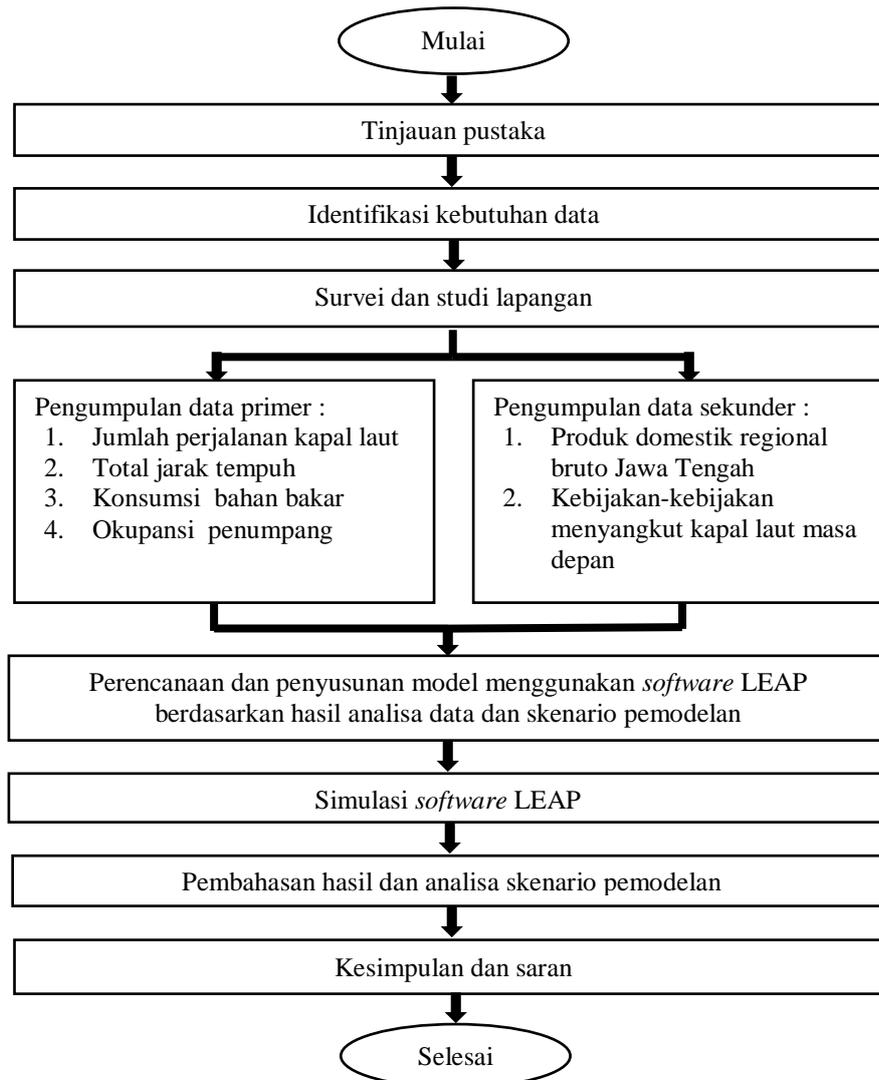
Kegiatan angkutan laut dalam negeri yang melayani trayek tetap dan teratur dilakukan dalam jaringan trayek. Kegiatan angkutan laut dalam negeri yang melayani trayek tetap dan teratur harus menyinggahi beberapa pelabuhan secara tetap dan teratur dengan berjadwal. Kapal yang dioperasikan merupakan kapal penumpang, kapal peti kemas, kapal barang umum, atau kapal Ro-Ro dengan pola trayek untuk masing-masing jenis kapal. Perkembangan tersebut memungkinkan adanya rencana penambahan kapal baru dan jalur perjalanan yang akan menambah biaya penggunaan bahan bakar untuk mengoperasikan kapal. Merujuk pada permasalahan tersebut, Pelabuhan Tanjung Emas Semarang khususnya perlu menghitung kebutuhan bahan bakar yang diperlukan untuk menunjang operasional kapal laut sampai tahun 2040. Mengingat program pemerintah yang segera membuat dan memfungsikan tol laut akan semakin meningkatkan lalu lintas kapal maupun arus penumpangnya.

Tujuan penelitian ini adalah mengestimasi jumlah kebutuhan bahan bakar dan biaya solar kapal penumpang di Pelabuhan Tanjung Emas sampai tahun 2040 menggunakan *software* LEAP, mengetahui emisi gas yang dihasilkan menurut *TED (Technology and Environmental Database)* LEAP dan merencanakan alternatif penghematan bahan bakar yang dapat dilaksanakan. Tentunya, berdasarkan pada kebijakan-kebijakan seperti yang tertuang pada buku biru dan buku putih energi nasional, rencana jangka panjang kapal laut Indonesia, peningkatan jumlah kapal penumpang dan penambahan jalur perjalanan.

2. Bahan dan Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian pada Gambar 1 menunjukkan mengenai estimasi kebutuhan bahan bakar. Alur penelitian dimulai dengan mempelajari tinjauan pustaka yang diperoleh melalui buku, jurnal, artikel maupun kebijakan pemerintah, pelabuhan dan pelayaran, mengidentifikasi kebutuhan data berupa jumlah kapal penumpang yang berlabuh, konsumsi bahan bakar kapal penumpang dan data embarkasi, survei lapangan ke pengelola Pelabuhan Tanjung Emas dan Pelayaran Indonesia, pengambalian data seperti jumlah perjalanan kapal penumpang, total jarak tempuh kapal penumpang dan okupansi penumpang, penyusunan model berdasarkan data, batasan masalah dan kebijakan yang hendak diterapkan, melakukan simulasi estimasi konsumsi bahan bakar dan emisi yang dihasilkan oleh keseluruhan kapal penumpang yang ada di Pelabuhan Tanjung Emas dari tahun 2015 hingga tahun 2040, melakukan analisa serta evaluasi hasil dari skenario pemodelan untuk mengetahui kebenaran dari simulasi yang dilakukan serta mengecek kesalahan yang terjadi dengan melakukan validasi dengan data actual sehingga model dan simulasi yang dibuat dapat mendekati kondisi sebenarnya dan diakhiri dengan penarikan kesimpulan berupa konsumsi bahan bakar kapal penumpang, emisi yang dihasilkan dan sistem kebijakan penghematan kebijakan yang dapat diterapkan dari awal

tahun 2015 hingga tahun 2040 serta diberikan pula saran dalam melakukan simulasi maupun penyusunan kebijakan sehingga hasil dari simulasi mendekati kondisi nyatanya.



Gambar 1. Bagan Alur Metode Penelitian

2.1. Pemodelan Energi Menggunakan Software LEAP

LEAP adalah alat pemodelan dengan skenario terpadu yang komprehensif berbasis pada lingkungan dan energi. LEAP mampu merangkai skenario untuk berapa konsumsi energi yang dipakai, dikonversi dan diproduksi dalam suatu sistem energi dengan berbagai alternatif asumsi kependudukan, pembangunan ekonomi, teknologi maupun harga. LEAP juga mendukung untuk proyeksi permintaan energi akhir maupun permintaan energi yang sedang digunakan secara detail termasuk cadangan energi, transportasi dan lain sebagainya. LEAP merupakan kerangka akuntansi, dimana pengguna dapat membuat model permintaan dan penawaran berdasarkan statistik permintaan energi[4]. Tahap pemodelan LEAP menggunakan formula perhitungan seperti interpolasi atau ekstrapolasi, *the growth rate*, *step fuction* dan kebutuhan energi yang akan datang serta emisi yang dihitung dari tahun-tahun yang berbeda[5].

Penelitian ini melakukan analisa penggunaan energi pada tahun akhir skenario, dimana kebutuhan energi dimodelkan pada level aktivitas dan intensitas energi. Tingkat aktivitas tergantung pada faktor transportasi, seperti jumlah kendaraan, persen *share* perjalanan per kendaran dan kilometer perjalanan kendaraan. Tingkat intensitas energi tergantung pada efisiensi energi kendaraan seperti bahan bakar dalam bentuk *fuel economy*, emisi kendaraan yang terdapat pada *default* yang tersedia pada program LEAP sesuai jenis kendaraan dan faktor emisi yang bergantung pada teknologi kendaraan dan jenis bahan bakar.

2.2. Jarak Tempuh Kapal Penumpang

Jarak tempuh kapal laut menggunakan data awal *base year* pada tahun 2014. Penambahan jarak tempuh kapal penumpang didasarkan pada penambahan armada penumpang laut serta jumlah perjalanannya sehingga peningkatan

jarak tempuh kapal laut per tahun dapat diperkirakan. Jarak tempuh kapal penumpang ini merupakan *activity level* pada simulasi LEAP yang dilakukan.

2.3. Perhitungan

Kerangka untuk perhitungan kebutuhan energi dan emisi disajikan sebagai berikut:

2.3.1. Permintaan Energi

Permintaan energi dalam transportasi dirumuskan sebagai fungsi dari jumlah kendaraan, jarak rata-rata, proporsi jenis kendaraan dan bahan bakar ekonomi atau efisiensi bahan bakar kendaraan. Perhitungan permintaan kebutuhan kapal penumpang membutuhkan data konsumsi bahan bakar per kilometer yang diperoleh melalui perhitungan berdasarkan data yang ada. Sehingga perhitungan konsumsi bahan bakar per kilometer tiap kapal laut didapatkan dengan menggunakan persamaan permintaan 1 yang diperkirakan sebagai berikut

$$FC = C \times GT \times V \dots \dots \dots (1)$$

dimana FC adalah konsumsi bahan bakar (*fuel consumption*), C adalah konsumsi bahan bakar terhadap berat dan kecepatan kapal, GT adalah berat kapal dan V adalah kecepatan kapal.

Analisis permintaan energi dalam penelitian ini menggunakan metode analisis berdasarkan aktivitas (*activity level analysis*). Metode ini menghitung jumlah permintaan energi sebagai hasil perkalian antara aktivitas energi dengan intensitas energi (jumlah energi yang digunakan per unit aktivitas). Metode ini terdiri atas dua model analisis yaitu analisis permintaan energi final (*final energy demand analysis*) dan analisis permintaan energi terpakai (*useful energy demand analysis*). Namun, penelitian ini hanya menggunakan analisis permintaan energi final.

Permintaan energi dihitung sebagai hasil perkalian antara aktivitas total pemakaian energi dengan intensitas energi pada setiap cabang teknologi (*technology branch*). Bentuk persamaan matematika perhitungan permintaan energi menggunakan *final energy demand analysis* seperti ditunjukkan pada persamaan 2 [6].

$$Db,s,t = Tab,s,t \times EIb,s,t \dots \dots \dots (2)$$

dimana D adalah permintaan (*demand*), TA adalah aktivitas total (*total activity*), EI adalah intensitas energi (*energy intensity*), b adalah cabang (*branch*), s adalah tipe skenario (*scenario*) dan t adalah tahun dilakukan perhitungan (mulai tahun dasar hingga tahun akhir perhitungan).

2.3.2. Emisi

Emisi kendaraan adalah hasil produk dari setiap jenis permintaan energi dari kendaraan dan faktor emisi. Perhitungan emisi pada LEAP dapat diperoleh dengan menggunakan *database* yang tergabung di dalam TED. *Database* tersebut disesuaikan dengan standar emisi yang berlaku di dunia. LEAP akan secara otomatis menghitung beban emisi lingkungan menurut bahan bakar dan standar yang dipilih seperti yang ditunjukkan pada persamaan 3 [6].

$$Emission_{t,y,p} = Stock_{t,y} \times Mileage_{t,y} \times EmissionFactor_{t,y,p} \times EmDegradation_{t,y,p} \dots \dots \dots (3)$$

dengan p adalah macam polusi udara, *EmissionFactor* adalah laju emisi terhadap polutan dan *EmDegradation* adalah faktor yang menunjukkan perubahan pada *EmissionFactor* untuk polutan p terhadap tahun kendaraan.

2.4. Skenario

Skenario merupakan rencana untuk masa yang akan datang sesuai dengan kondisi yang terjadi saat ini. Skenario menggambarkan kondisi masa depan yang dianggap akan berjalan seperti kecenderungan yang sudah dan sedang terjadi [6]. Skenario yang digunakan pada simulasi ini adalah *Business as Usual (BaU)*, *Additional Ships (AS)*, *Advanced Technology (AT)* dan *Alternative Fuel Replacement (AFR)*.

2.4.1. Business as Usual

Pada skenario *business as Usual*, semua akan berjalan sebagaimana keadaan sekarang tanpa ada perubahan peraturan atau upaya apapun. Namun, perubahan akan tetap terjadi seperti pada jumlah perjalanan kapal penumpang yang bertambah, armada bertambah dan konsumsi bahan bakar juga bertambah. Hanya saja, teknologi akan ditahan dari awal perhitungan.

Pada skenario *business as usual*, pemerintah memiliki rencana untuk meningkatkan armada kapal penumpang tipe 2000 GT sebanyak lima buah [7]. Kapal tipe 2000 GT dapat menampung penumpang sebanyak 300 orang. Pembangunan kapal dilakukan antara tahun 2010-2014. Penggunaan kapal dilakukan antara tahun 2015-2025 yang diterapkan satu kapal tiap dua tahun. Pertumbuhan PDB Jawa Tengah pada tahun ini adalah 1,05 % [8] dengan laju

pertumbuhan penduduk Jawa Tengah sebesar 0.37 % [9]. Selain itu, laju pertumbuhan penumpang yang harus diangkut sebesar 18 % atau 5.538 orang per tahun. Penumpang yang naik dari pelabuhan tiap tahunnya sebanyak 251.807 orang [10]. Kapasitas total kapal yang ada dapat mengangkut 287.736 penumpang tiap tahunnya. Pertumbuhan penumpang yang besar tiap tahunnya apalagi di hari atau bulan tertentu seperti hari libur mengharuskan perusahaan penyedia jasa transportasi laut menambah armada kapal.

2.4.2. Additional Ships

Pada skenario *additional ships*, pengelola memilih untuk membeli kapal baru dibanding menambah jumlah perjalanan dengan kapal yang ada untuk memenuhi transportasi penumpang yang terus meningkat. Skenario ini juga menggunakan kondisi yang sama dengan skenario *business as usual* yaitu terjadi penambahan jumlah perjalanan, panjang jalur dan jumlah sarana tetap bertambah sampai tahun 2040.

2.4.3. Advanced Technology

Pada skenario *advanced technology*, kapal mengalami perbaikan dan penurunan konsumsi bahan bakar sebesar 5% karena penggunaan teknologi baru yaitu *emulsifier*. Teknologi *emulsifier* ini dapat menghasilkan *droplet* bahan bakar yang lebih kecil untuk meningkatkan efisiensi pembakaran. *Droplet* bahan bakar yang lebih kecil akan menghasilkan campuran udara dan bahan bakar yang lebih baik sehingga pembakaran lebih sempurna. Teknologi *emulsifier* ini dipilih karena banyak keuntungan lain yang diperoleh seperti pengurangan jumlah pengotor yang tercampur di udara, kemudahan perawatan dan memperpanjang waktu perawatan besar (*overhaul*). Selain itu, *emulsifier* ini tidak memerlukan modifikasi terhadap mesin atau dapat langsung dipasang sehingga dapat menghemat biaya [11]. Penggunaan teknologi *emulsifier* ini dimulai pada tahun 2028.

2.4.4. Alternative Fuel Replacement

Skenario *alternative fuel replacement* adalah upaya pergantian penggunaan bahan bakar fosil menuju penggunaan bahan bakar alternatif lainnya untuk mengurangi ketergantungan konsumsi terhadap bahan bakar fosil yang akan habis dan juga mengurangi emisi. Pada skenario ini digunakan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif untuk menggantikan HSD atau solar. Dasar yang digunakan untuk membuat skenario ini adalah *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025 dan Buku Putih Energi Nasional Indonesia 2005-2025. Produksi biodiesel bertambah 3 juta kiloliter per tahun 2015 dan meningkat lagi 6,4 juta kiloliter pada tahun 2016 dan 2025 [12]. Penghitungan secara manual kebutuhan bahan bakar pada tahun dasar adalah 31.037.995 liter HSD.

Pemerintah mencanangkan program untuk menggunakan biodiesel pada sektor transportasi sebesar 15 % pada tahun 2011-2015 dan 20 % pada tahun 2016-2025 [12]. Pada skenario ini direncanakan untuk mengganti konsumsi bahan bakar kapal dengan biodiesel sebesar 5 % tiap tahun dimulai pada tahun 2015 sampai akhir perhitungan. Nilai tersebut diambil karena penggunaan biodiesel oleh kapal laut sebesar 5 % tidak akan melebihi kuota produksi biodiesel dalam negeri. Selain itu, produk biodiesel masih dapat digunakan oleh moda transportasi lainnya yang bermesin diesel.

2.5 Fuel Economy Kapal Penumpang

Kapal laut pada penelitian ini adalah kapal penumpang. Kapal laut penumpang dihitung kebutuhan bahan bakarnya berdasarkan jumlah kilometer tempuh. Jumlah kilometer tempuh ini nantinya digunakan bersama dengan data konsumsi bahan bakar atau disebut *fuel economy* dalam LEAP untuk masing-masing kapal. Pada Tabel 1 menunjukkan konsumsi bahan bakar untuk masing-masing kapal laut penumpang yang berlabuh di Pelabuhan Tanjung Emas Semarang.

Tabel 1. Fuel Economy Kapal Penumpang

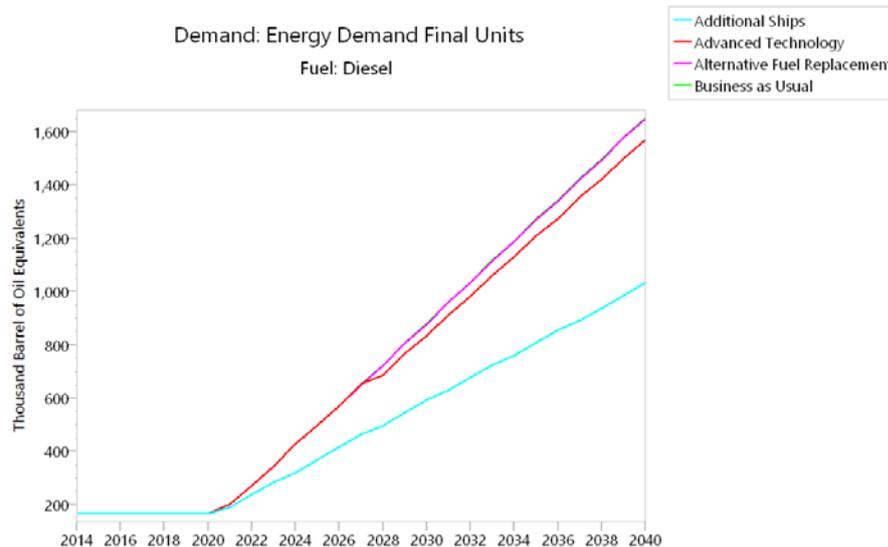
No	Nama Kapal	Rute	Konsumsi BBM (L/km)
1	Lawit	Semarang - Pontianak	29,5
2	Sirimau	Semarang - Batulicin	31,3
3	Leuser	Semarang - Pontianak	31,6
4	Binaiya	Semarang - Sampit	31,6
5	Egon	Semarang - Banjarmasin	24,1
6	Bukit Raya	Semarang - Pontianak	31,6
7	Kalibodri	Semarang - Kumai	8,9
8	Dharma Kencana II	Semarang - Pontianak	16,0
9	Kirana I	Semarang - Sampit	10,6
10	Dharma Ferry II	Semarang - Pontianak	8,3
11	Satya Kencana I	Semarang - Ketapang	2,3
12	Satya Kencana II	Semarang - Ketapang	7,5
13	Kirana III	Semarang - Sampit	12,0
14	Dharma Ferry VIII	Semarang - Pontianak	10,1
Konsumsi rata-rata			18,24

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Estimasi Konsumsi Bahan Bakar

Penggunaan empat skenario pada estimasi kebutuhan bahan bakar kapal penumpang di pelabuhan Tanjung Mas menghasilkan nilai yang berbeda-beda. Gambar 2 merupakan perbandingan hasil yang diperoleh antar skenario. Pada tahun awal 2014 hingga 2020, semua skenario berada dalam posisi yang sama karena tidak adanya perubahan atau penambahan armada maupun trayek perjalanan. Kondisi yang tetap menyebabkan konsumsi bahan bakar pun tetap. Mulai di tahun 2021 terjadi perbedaan antar skenario.

Garis *business as usual* cenderung naik secara linier karena terjadi penambahan jumlah armada dan perjalanan. Garis *alternative fuel replacement* berada di bawah garis *business as usual* namun berhimpit. Hal ini dikarenakan penambahan armada dan jumlah perjalanan pada skenario *alternative fuel replacement* mengikuti skenario *business as usual*. Hanya saja pada skenario *alternative fuel replacement* mulai digunakan bahan bakar biodiesel sebesar 5% dari konsumsi total.



Gambar 2. Grafik perbandingan konsumsi bahan bakar antara skenario *business as usual*, *additional ships*, *advanced technology* dan *alternative fuel replacement*.

Garis *advanced technology* berada di bawah garis *business as usual* dan *alternative fuel replacement*. Perbedaan mulai terlihat ketika dilakukan penerapan teknologi *emulsifier* di tahun 2028. Penggunaan teknologi *emulsifier* membuat selisih garis *advanced technology* dengan garis *business as usual* dan *alternative fuel replacement* semakin jauh yang juga menunjukkan konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit.

Garis *additional ships* berada paling bawah dibanding dengan garis lain yang menunjukkan konsumsi bahan bakarnya paling sedikit dibanding skenario lainnya. Hal ini dikarenakan pada skenario *additional ships* dilakukan pembelian kapal terus-menerus sehingga dapat mengangkut penumpang lebih banyak dengan jumlah perjalanan yang lebih sedikit.

Konsumsi bahan bakar tahun 2040 seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 2 pada skenario *business as usual* yang merupakan skenario dasar adalah sebesar 1.650,6 SBM, konsumsi bahan bakar tahun 2040 pada skenario *alternative fuel replacement* sebesar 1.647,6 SBM atau menghemat sebesar 2%, konsumsi bahan bakar tahun 2040 pada skenario *advanced technology* sebesar 1.568,3 SBM atau menghemat sebesar 5% dan konsumsi bahan bakar tahun 2040 pada skenario *additional ships* sebesar 1.033,1 SBM atau menghemat sebesar 37%.

Tabel 2. Konsumsi Bahan Bakar Kapal Penumpang dalam Empat Skenario Berbeda

Scenarios	2015	2020	2025	2030	2035	2040	Total
<i>Additional Ships</i>	166,25	166,25	368,12	593,74	807,49	1.033,11	3.134,97
<i>Advanced Technology</i>	166,25	166,25	498,75	834,90	1.202,22	1.568,26	4.441,63
<i>Alternative Fuel Replacement</i>	166,20	166,15	498,29	877,68	1.268,70	1.647,62	4.624,65
<i>Business as Usual</i>	166,25	166,25	498,75	878,74	1.270,61	1.650,61	4.631,21

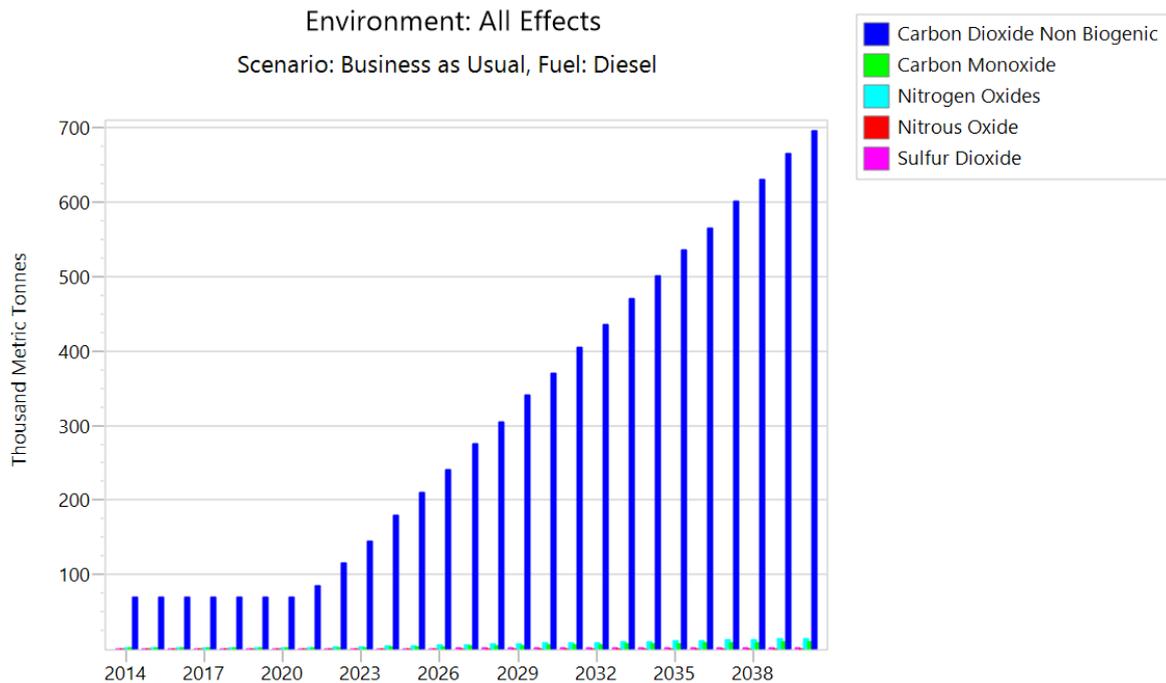
*)dalam satuan ribu SBM

3.2 Emisi Gas Buang

Penentuan emisi gas buang dalam penelitian ini berdasarkan pada standar IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) *Tier 1 Default Emission Factor* untuk kapal laut berbahan bakar minyak. *Database* tersebut

menghasilkan emisi gas yang muncul berupa *carbon dioxide non biogenic*, *carbon monoxide*, *nitrogen oxides*, *nitrous oxide*, dan *sulfur dioxide*. Diantara emisi yang dihasilkan dari kapal laut tersebut yang paling besar nilainya adalah *carbon dioxide non biogenic*.

Gambar 3 adalah grafik yang menunjukkan emisi yang dihasilkan kapal laut berupa secara keseluruhan dalam ribu metrik ton. Bar berwarna biru merupakan emisi *carbon dioxide non biogenic*, bar berwarna hijau merupakan emisi *carbon monoxide*, bar berwarna abu-abu merupakan emisi *nitrogen oxides*, bar berwarna merah merupakan emisi *nitrous oxides* dan bar berwarna merah muda merupakan emisi *sulfur dioxide*.



Gambar 3. Grafik emisi *carbon dioxide non biogenic*, *carbon monoxide*, *nitrogen oxides*, *nitrous oxide*, dan *sulfur dioxide* pada skenario *business as usual*.

Pada skenario *business as usual*, emisi-emisi yang dihasilkan secara berurutan pada tahun 2040 sebesar 696.320,9 metrik ton, 5,8 metrik ton, 9.597,8 metrik ton, 1.770,2 metrik ton dan 14.396,7 metrik ton dengan total keseluruhan 722.091,39 metrik ton. Skenario *additional ships* mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 37,4%, skenario *advanced technology* mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 4,9% dan skenario *alternative fuel replacement* mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 0,2%.

Emisi-emisi yang telah dijelaskan memberikan gambaran mengenai pengurangan emisi yang dihasilkan antar skenario. Secara keseluruhan, skenario *business as usual* menghasilkan emisi paling banyak diikuti skenario *alternative fuel replacement*, *advanced technology* dan *additional ships*. Apabila dilihat dari jenis emisinya, *carbon dioxide non biogenic* merupakan gas emisi yang paling banyak dihasilkan diikuti gas *nitrogen oxides*, *carbon monoxide*, *sulfur dioxide* dan *nitrous monoxide*.

4. Kesimpulan

1. Jumlah kebutuhan bahan bakar kapal laut sampai tahun 2040 mencapai 1.650,6 ribu SBM untuk skenario *business as usual*, 1.033,1 ribu SBM untuk skenario *additional ships*, 1.568,3 ribu SBM untuk skenario *advanced technology*, dan 1.647,6 ribu SBM untuk skenario *alternative fuel replacement* dengan rincian 1.155,4 ribu SBM solar dan 492,2 ribu SBM biodiesel.
2. Emisi gas buang yang dihasilkan dengan menggunakan standar emisi IPCC (*International Panel on Climate Change*) *Tier I Default Emission Factors* adalah *carbon dioxide non biogenic*, *nitrous oxide*, *carbon monoxide*, *sulfur dioxide* dan *nitrogen oxides*. Pada skenario *business as usual*, emisi-emisi yang dihasilkan secara berurutan pada tahun 2040 sebesar 696.320,9 metrik ton, 5,8 metrik ton, 9.597,8 metrik ton, 1.770,2 metrik ton dan 14.396,7 metrik ton dengan total keseluruhan 722.091,39 metrik ton. Skenario *additional ships* mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 37,4%, skenario *advanced technology* mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 4,9% dan skenario *alternative fuel replacement* mampu mereduksi emisi secara keseluruhan sebesar 0,2%.
3. Alternatif penghematan bahan bakar kapal penumpang Pelabuhan Tanjung Emas Semarang dapat dilakukan dengan menerapkan skenario *additional ships*, *advanced technology* atau *alternative fuel replacement*. Energi

alternatif atau bahan bakar yang dapat digunakan pada skenario *alternative fuel replacement* adalah biodiesel. Biodiesel dimasukkan dalam penelitian ini karena produksinya yang terus meningkat sesuai dengan buku biru energi nasional dan rencana jangka panjang pembangunan serta mampu digunakan untuk mengoperasikan mesin diesel.

5. Daftar Pustaka

- [1] Bappenas. 2005. Rencana Pembangunan Jangka Panjang Nasional 2005 – 2025. Badan Perencanaan Pembangunan Nasional Republik Indonesia.
- [2] Kemenristek. 2006. Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Bidang Teknologi dan Manajemen Transportasi. Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia.
- [3] Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Pasal 6 Nomor 20 Tahun 2010 Tentang Angkutan di Perairan.
- [4] LEAP User Guide. 2006. Dokumen Teknis, Stockholm Environment Institute, Stockholm.
- [5] Rabia, Shabbir, Sheikh, S.A. 2010. Monitoring urban transport air pollution and energy demand in Rawalpindi and Islamabad using leap model. *Energy policy* 35, 2323-2332.
- [6] Heaps, C.G., 2012. Long-range Energy Alternatives Planning (LEAP) system. [Software version 2014.0.1.29] Stockholm Environment Institute. Somerville, MA, USA.
- [7] Departemen Perhubungan. 2008. Rencana Pembangunan Jangka Panjang Departemen Perhubungan 2005 – 2025. Departemen Perhubungan Republik Indonesia.
- [8] Badan Pusat Statistik. 2014. Produk Domestik Regional Bruto Atas Dasar Harga Konstan 2000 Menurut Provinsi 2000-2013 (Milyar Rupiah).
- [9] Badan Pusat Statistik. 2014. Laju Pertumbuhan Penduduk Menurut Provinsi.
- [10] Divisi Operasi PT. Pelabuhan Indonesia III Tanjung Emas Semarang.
- [11] Loon, J.N.K. 2012. Emulsified Fuel System for Marine Diesel Engines KOMtech Technology Review. Blue Ocean Solutions Pte Ltd : Singapore.
- [12] Kemenristek. 2006. Buku Putih Penelitian, Pengembangan dan Penerapan Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Keamanan Ketersediaan Energi Tahun 2005 – 2025. Kementerian Negara Riset dan Teknologi Republik Indonesia.