

ESTIMASI KEBUTUHAN BAHAN BAKAR KERETA API DAOP 4 SEMARANG SAMPAI TAHUN 2030 MENGGUNAKAN SOFTWARE LEAP

*Goris Panji Pradana¹, MSK Tony Suryo Utomo²

¹ Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

² Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: goris.panji@gmail.com

Abstrak

Bahan bakar fosil merupakan sumber daya tak terbarukan yang banyak digunakan di bidang transportasi. Kajian tentang penggunaan dan efek yang ditimbulkan serta estimasi kebutuhannya perlu ditangani secara bijak. Salah satu moda transportasi yang membutuhkan estimasi tersebut adalah kereta api. Kereta api pada penelitian ini dibagi menjadi tiga jenis yaitu kereta barang, kereta penumpang dan KRD yang didasarkan pada perbedaan konsumsi bahan bakarnya. Oleh karena itu, konsumsi bahan bakar dihitung berdasarkan jumlah kereta, jarak tempuh dan fuel economy. Jumlah kereta api akan disesuaikan dengan jumlah penumpang dan barang yang dipindahkan. Software The Long Range Energy Alternatives Planning (LEAP) digunakan pada penelitian ini untuk mengembangkan model yang memproyeksikan kebutuhan bahan bakar sampai 2030 dengan skenario yang berbeda-beda. Skenario tersebut adalah business as usual (BAU), advanced technology (AT) dan alternatives fuel replacement (AFR). Hasil yang didapat dari perencanaan energi adalah jumlah energi yang dibutuhkan sampai tahun 2030 oleh skenario BAU adalah 40.806,7 ribu SBM atau 6,5 miliar liter solar, berdasarkan skenario AT dibutuhkan 33.072,8 ribu SBM atau 5,3 miliar liter solar, berdasarkan skenario AFR 34.341,8 ribu SBM, terdiri dari 4,5 miliar liter solar, 0,85 miliar liter biodiesel dan 1.360,6 juta kWh. Emisi CO₂(Non-Biogenic) yang dihasilkan pada skenario BaU sebesar 17.214,6 ribu metrik ton, N₂O 142,4 metrik ton, CO 237,3 ribu metrik ton, SO₂ 43,589,2 metrik ton, NO_x 284,7 ribu metrik ton, VOCs 47.455,8 metrik ton. Skenario advanced technology mampu mereduksi keseluruhan jenis emisi sebesar 19% kecuali VOCs sebesar 23,4% sedangkan AFR mampu mereduksi keseluruhan jenis emisi sebesar 18%.

Kata kunci: *advanced technology, alternative fuel replacement, business as usual, energy planning, LEAP, train.*

Abstract

Fossil fuels are unrenewable resources which are mostly used in transportation today. The research about the use of fossil fuels and the effects of emissions management and estimation needs to be managed briefly. One of the transportation system that requires the management and estimation is train. The train divided to freight train, passanger train and KRD based on the different fuel economy. Hence, the fuel consumption are calculated based on the number of train, distance travelled and fuel economy. The amount of train will be adjusted with amount of passanger and good transported. The Long Range Energy Alternatives Planning (LEAP) system software is employed to develop a simple model to project fuel consumption of train until 2030 under some different scenarios. The scenario are business as usual (BAU), advanced technology (AT) and alternatives fuel replacement (AFR). The results obtained from energy planning the amount of fuel needed until 2030 by the BAU scenario is 40.806,7 thousand BOE or 6,5 billion liters of diesel equivalent, based on the scenario AT 33.072,8 thousand BOE or 5,3 billion liters of diesel equivalent, based on the scenario AFR 34.341,8 thousand BOE, consist of 4,5 billion liters of diesel, 0,85 billion liters of biodiesel and 1.360,6 million kWh. CO₂(Non-Biogenic) emission yielded on BAU is 17.214,6 thousand metric ton, N₂O 142,4 metric ton, CO 237,3 thousand metric ton, SO₂ 43,589,2 metrik ton, NO_x 284,7 thousand metric ton, VOCs 47.455,7 metric ton. AT scenario can reduce all of the emission component 19%, except VOCs which are 23,4%. AFR can reduce all of emission component 18%.

Keywords: *advanced technology, alternative fuel replacement, business as usual, energy planning, LEAP, train*

1. Pendahuluan

Transportasi darat merupakan salah satu sektor teknologi yang terus mengalami perkembangan. Hal ini dapat dilihat dari jumlah dan jenis kendaraan yang semakin banyak dan arus lalu lintas yang dari hari ke hari semakin padat. Inovasi dalam bidang ini berjalan terus-menerus seiring dengan kebutuhan manusia akan daya jangkau dan jelajah yang semakin besar. Akan tetapi di sisi lain, apabila tidak ditangani dengan baik teknologi ini dapat berubah menjadi mesin pembunuh yang sangat berbahaya.

Fenomena yang umum terjadi di kota-kota di Indonesia, kendaraan umum ukurannya kecil akan tetapi berjumlah sangat banyak, tidak seimbang dengan jumlah penggunaannya. Transportasi umum lebih dititikberatkan pada kepentingan bisnis, tanpa memperhatikan aspek-aspek lain, termasuk kepentingan dan keselamatan masyarakat selaku konsumen. Di satu sisi, pemberian izin trayek merupakan kesempatan bagi para pejabat untuk mendapatkan pemasukan. Namun, akibat dari kebijakan itu hampir tidak pernah diperhitungkan. Yakni, jumlah kendaraan kecil yang begitu banyak sehingga akhirnya menjadi biang kemacetan dan kepadatan arus lalu lintas. Konsekuensi dari permasalahan tersebut adalah perlu diadakannya intervensi terhadap sistem angkutan umum dan sistem transportasi kota.

Moda transportasi kereta api menjadi salah satu jenis transportasi darat yang cukup penting di Indonesia, sebab kereta api merupakan transportasi massal yang diminati oleh masyarakat. Namun hingga kini perkembangan industri ini belum maksimal seperti halnya industri jalan tol yang mengalami perkembangan sangat pesat. Sampai dengan 2008 panjang lintasan rel yang dilalui kereta api di Indonesia mencapai 4.813.000 km atau naik 0,2% dibandingkan 4.802.547 km pada tahun sebelumnya. Jumlah gerbong kereta api naik 5,8% yaitu dari 4.840 unit meningkat menjadi 5.120 unit. Sedangkan jumlah penumpang kereta api meningkat 10,9% dari 175 juta orang menjadi 194 juta orang pada 2008[1]. Penggunaan kereta api diprediksi akan terus meningkat pada tahun-tahun yang akan datang sebab semua masalah yang telah dijabarkan diatas dapat diatasi dengan pengoperasian kereta api yang lebih banyak lagi. Upaya-upaya perbaikan telah dilaksanakan untuk dapat menyediakan pelayanan kereta api yang lebih baik lagi.

Rencana penambahan sarana lokomotif baru dan penambahan panjang rel kereta api sudah pasti akan menambah biaya penggunaan bahan bakar untuk mengoperasikan lokomotif. Merujuk pada permasalahan tersebut, PT. KAI khususnya daerah operasi 4 Semarang perlu menghitung kebutuhan bahan bakar yang diperlukan untuk menunjang operasional sarana kereta api sampai tahun 2030. Tentunya berdasarkan pada kebijakan-kebijakan yang tertuang pada buku biru dan buku putih energi nasional, Rencana Jangka Panjang Kereta-api Indonesia, Rencana Induk Perkeretaapian Nasional, peningkatan jumlah lokomotif, pembuatan jalur ganda serta penambahan intensitas operasional kereta api dimasa yang akan datang. Untuk membantu perhitungan kebutuhan tersebut digunakan *software LEAP*. Tujuan penelitian ini untuk memproyeksikan kebutuhan bahan bakar kereta api, mencari alternative energi dan memperkirakan emisi yang dihasilkan oleh kegiatan perkeretaapian.

2. Metode Penelitian

Metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 1

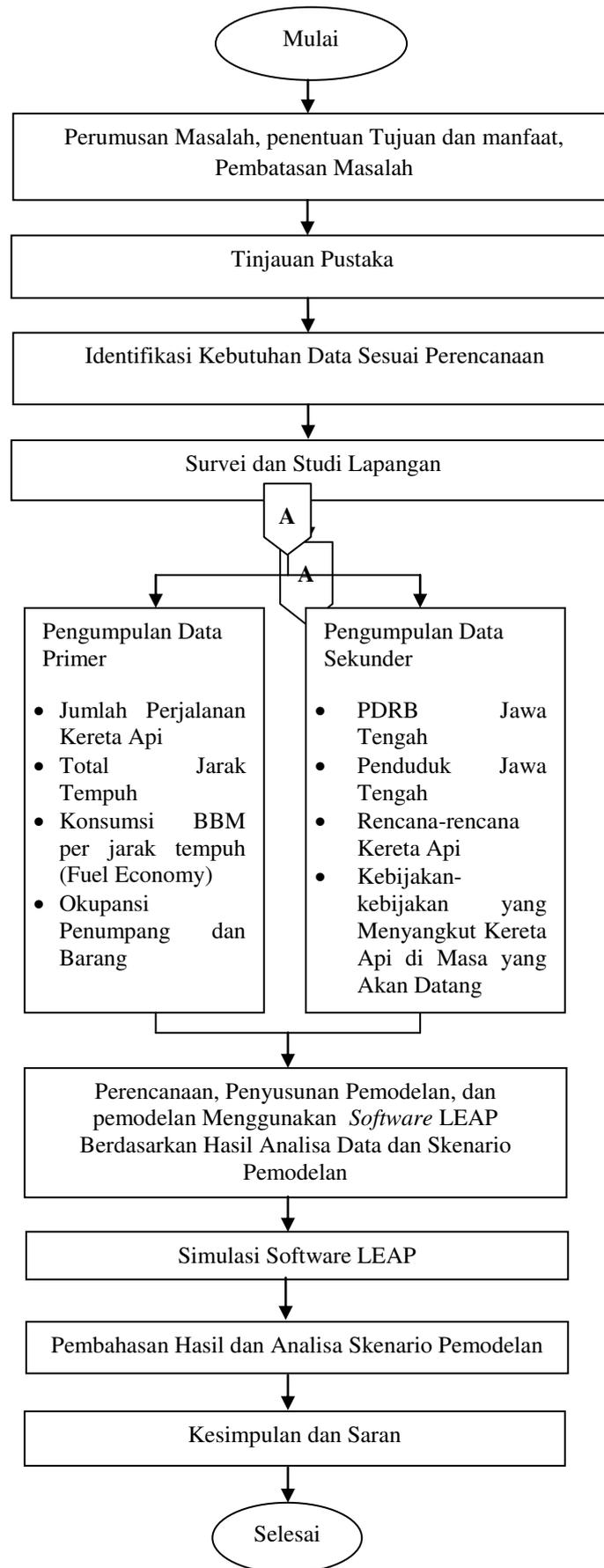
2.1 Pemodelan Energi Menggunakan *Software LEAP*

LEAP adalah software 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, harga dan sebagainya. LEAP juga dapat digunakan untuk proyeksi permintaan energi akhir maupun permintaan pada energi yang sedang digunakan secara detail termasuk cadangan energi, transportasi, dan lain sebagainya. LEAP merupakan kerangka akuntansi, di mana pengguna dapat membuat model permintaan dan penawaran berdasarkan statistik permintaan energi[2]. Tahap pemodelan LEAP menggunakan formula perhitungan seperti *interpolasi* atau *extrapolasi*, the *growth rate*, *step fuction*, dan kebutuhan energy yang akan datang dan emisi yang terhitung dari tahun-tahun yang berbeda[3].

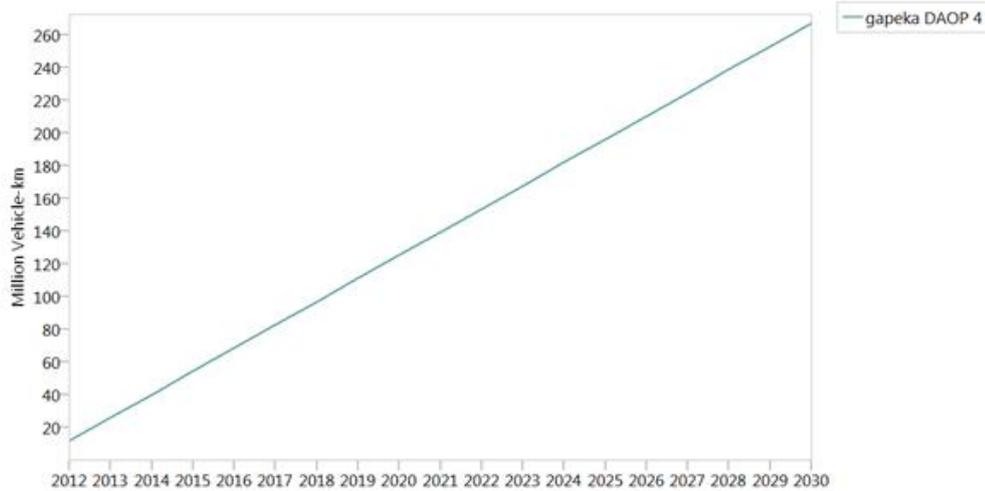
Penelitian ini adalah menganalisa penggunaan energi pada tahun akhir skenario, dimana kebutuhan energi dimodelkan pada level aktivitas dan intensitas energi. Tingkat aktivitas tergantung pada faktor transportasi, seperti jumlah kendaraan, persen share perjalanan per kendaraan dan kilometer perjalanan 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 tergantung pada teknologi kendaraan dan jenis bahan bakar.

2.2 Kilometer Tempuh Kereta Api

Kilometer tempuh kereta api menggunakan data awal gapeka pada tahun 2012[4]. Peningkatan jarak tempuh kereta api dipengaruhi oleh banyaknya intensitas perjalanan kereta api. Sedangkan intensitas perjalanan kereta api disesuaikan dengan banyaknya penumpang dan barang yang diangkut. Pada Gambar 2 ditunjukkan hasil prediksi jarak tempuh kereta apisampai tahun 2030.



Gambar 1. Bagan alur (*Flowchart*) metode penelitian.



Gambar 2. Prediksi penambahan jarak tempuh.

2.3 Perhitungan

Kerangka untuk perhitungan kebutuhan energi dan emisi disajikan sebagai berikut[5]:

2.3.1. Travel Demand

Permintaan energi dalam transportasi jalan dirumuskan sebagai fungsi dari jumlah kendaraan, jarak rata-rata, proporsi jenis kendaraan dan bahan bakar ekonomi atau efisiensi bahan bakar kendaraan. Jadi, permintaan perjalanan total tingkat sektor diperkirakan sebagai berikut

$$TravelDemand = \sum Vi(t) \times VKTi(t) \times VGTi(t) \dots \dots \dots (1)$$

Dimana, $Vi(t)$ adalah jumlah kereta api per tahun, $VkTi(t)$ adalah jarak tempuh rata-rata dan $VGTi(t)$ adalah penambahan jumlah kereta api.

2.3.2. Energy Demand

Permintaan energi kendaraan yang berkaitan dengan jenis bahan bakar dirumuskan sebagai fungsi dari jumlah mobil, rata-rata kilometer kendaraan melaju dan nilai ekonomi bahan bakar mobil.

$$Energy Demand = \sum Vi(t) \times VKTi(t) \times Fi(t) \dots \dots \dots (2)$$

Dimana, $Vi(t)$ adalah jumlah armada *shuttle bus* per tahun dan $VkTi(t)$ adalah jarak tempuh rata-rata, $Fi(t)$ adalah *fuel economy shuttle bus*.

2.3.3. Emmissions

Emisi kendaraan adalah hasil produk dari setiap jenis permintaan energi dari kendaraan dan faktor emisi.

$$\sum Emission_{t,y,v,p} = \sum Stock_{t,y,v} \cdot Mileage_{t,y,v} \cdot Emission Factor_{t,y,p} \cdot EmDegradation_{t,y,v,y} \dots \dots \dots (3)$$

2.4 Skenario

Skenario merupakan rencana-rencana yang akan diterapkan pada model yang akan mempengaruhi hasil akhir perhitungan[2]. Penyusunan skenario didasarkan pada rencana maupun kebijakan yang diterapkan terhadap penyediaan layanan kereta api.

2.4.1 Business as usual (BAU)

Pada skenario *business as usual* (BAU) teknologi yang digunakan tetap pada tahun dasar sampai 2030. Pada skenario pertama diasumsikan teknologi yang digunakan oleh kereta api selamanya berada pada level yang sekarang tanpa ada perubahan. Namun, jumlah perjalanan, panjang jalur serta jumlah sarana meningkat untuk memenuhi permintaan.

2.4.2 Advanced Technology (AT)

Pada skenario *Advanced Technology* (AT) terjadi peningkatan teknologi yang digunakan kereta api. Pada skenario ini *fuel economy* lokomotif yang digunakan mengalami penurunan, sehingga konsumsi bahan bakar akan semakin hemat. Selain itu, peningkatan tekanan gandar gerbong juga meningkatkan kemampuan gerbong untuk mengangkut barang lebih banyak sehingga kemampuan angkut kereta api dalam satu kali jalan meningkat.

2.4.3 Alternative Fuel Replacement (AFR)

Pada skenario *alternative fuel replacement* (AFR) terjadi pengalihan bahan bakar dari bahan bakar fosil ke biosolar dan listrik. Upaya pengalihan bahan bakar fosil ke bahan bakar biosolar ataupun listrik untuk menghemat konsumsi minyak bumi. Hal ini perlu diperhitungkan mengingat di dalam buku biru energi nasional pemerintah akan

meningkatkan produksi biosolar 3 juta kiloliter pertahun 2015 dan meningkat lagi 4 juta kiloliter pada tahun 2020 dan 2025[6].

2.5 Fuel Economy Kereta Api

Kereta api pada penelitian ini digolongkan menjadi tiga jenis yaitu kereta barang, kereta penumpang dan KRD. Jenis KRD merupakan kereta lokal yang melayani rute di dalam Daop 4 Semarang. Terdapat dua jenis KRD yaitu KRDI dan KRDE. Kereta barang dan penumpang menggunakan jenis lokomotif yang sama yaitu lokomotif CC.

Tabel 1. Fuel Economy Kereta Api[7]

No.	Jenis Mesin	Konsumsi BBM L/Km
1	Lokomotif CC	2,5
2	KRDI	1,502
3	KRDE	1,243

3. Hasil dan Pembahasan

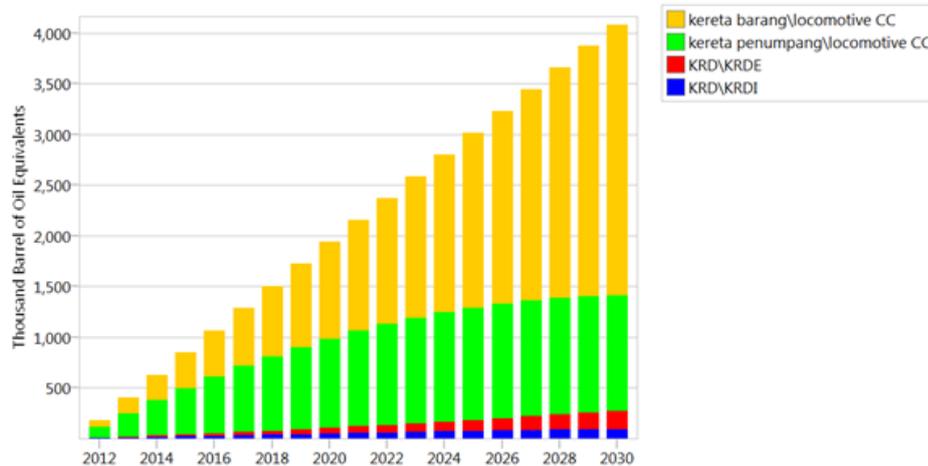
3.1 Prediksi Penggunaan Bahan Bakar

3.1.1 Estimasi Kebutuhan Bahan Bakar Menggunakan Skenario *Business as Usual*

Peningkatan penggunaan bahan bakar kereta api terus mengalami peningkatan sampai dapat memenuhi pelayanan kebutuhan transportasi kereta api pada tahun 2030. Penumpang dan barang yang melonjak pasti membutuhkan pengoperasian kereta api lebih banyak. Tabel 2 menunjukkan kebutuhan bahan bakar pada tahun tertentu yang terus mengalami peningkatan. Pada Gambar 3 ditunjukkan grafik kebutuhan bahan bakar hasil simulasi LEAP pada skenario BAU.

Tabel 2. Jumlah Kebutuhan Solar Pada Skenario *Business as Usual* (Dalam satuan ribu SBM)

JENIS LOKOMOTIF	TAHUN				Total
	2015	2020	2025	2030	
Kereta barang\locomotive CC	349,1	953,3	1.726	2.667,1	5.696
Kereta penumpang\locomotive CC	457,6	880,9	1.107,4	1.137,1	3.583
KRD\KRDE	18,5	55,3	108,8	181,9	364,6
KRD\KRDI	21,9	50,4	75,6	94,2	242,1
Total	847,2	1.940	3.017,8	4.080,3	9.885



Gambar 3. Grafik kebutuhan bahan bakar skenario *business as usual* hingga tahun 2030.

Berdasarkan pada Gambar 3 tren grafik yang didapat adalah terus mengalami kenaikan sampai tahun 2030. Konsumsi terbesar pada tahun akhir perhitungan adalah kereta barang dengan jumlah kebutuhan bahan bakar sebesar 2.667,1 ribu SBM, kereta penumpang 1.137,1 ribu SBM, KRDE sebesar 181,9 ribu SBM dan KRDI sebesar 94,2 ribu SBM. Total keseluruhan konsumsi minyak solar adalah 4.080,3 ribu SBM. Jika dikonversikan ke dalam liter didapatkan untuk kereta barang dibutuhkan solar pada tahun 2030 sebesar 424.068,9 ribu liter, kereta penumpang sebesar 180.798,9 ribu liter. Sedangkan KRDE dan KRDI masing-masing membutuhkan 28.922,1 dan 14.977,8 ribu liter solar.

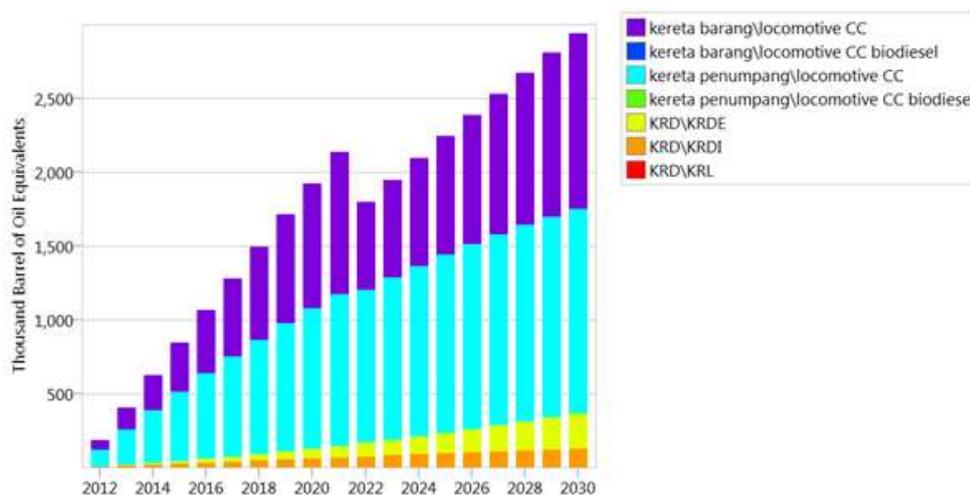
3.1.2 Estimasi Kebutuhan Bahan Bakar Menggunakan Skenario *Advanced Technology*

Estimasi kebutuhan bahan bakar menggunakan skenario *advanced technology* dapat dilihat pada Tabel 3 dan Gambar 4. Estimasi penggunaan bahan bakar menggunakan skenario *advanced technology* ini dilakukan dengan

meningkatkan jumlah perjalanan untuk memenuhi permintaan jumlah penumpang serta barang yang harus diangkut oleh kereta api

Tabel 3. Jumlah Kebutuhan Solar Pada Skenario *Advanced Technology* (dalam satuan ribu SBM)

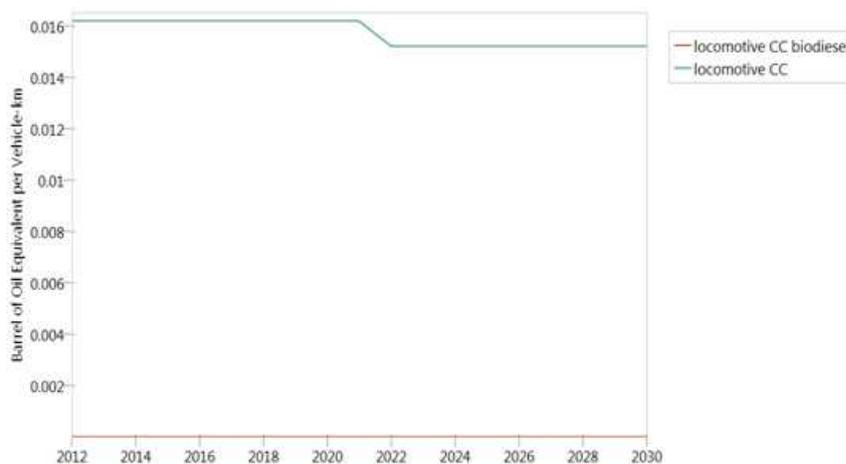
JENIS LOKOMOTIF	TAHUN				Total
	2015	2020	2025	2030	
Kereta barang\locomotive CC	263,8	646,6	1.032,9	1.523,2	3.466,4
Kereta penumpang\locomotive CC	372,4	723,7	907,9	1.032,7	3.036,7
KRD\KRDE	15,9	50	103,9	181,6	351,4
KRD\KRDI	18,8	45,5	72,2	94	230,6
Total	670,9	1.465,8	2.116,8	2.831,6	7.085,1



Gambar 4. Grafik kebutuhan bahan bakar menggunakan skenario *advanced technology* sampai tahun 2030.

Berdasarkan pada Tabel 3 menunjukkan kebutuhan energi untuk masing-masing cabang yang dihitung dalam ribu SBM. Jika dibandingkan dengan hasil pada skenario BAU konsumsi bahan bakar dengan menggunakan skenario *Advanced Technology* lebih menghemat biaya. Pada Gambar 4 menunjukkan konsumsi bahan bakar yang terus meningkat sampai tahun 2030. Hal tersebut menyebabkan *fuel economy* turun 6% menjadi 2,35 L/km untuk semua jenis lokomotif baik penumpang maupun barang[8]. Penurunan *fuel economy* hanya pada jenis kereta yang menggunakan lokomotif, sedangkan KRDE dan KRDI hanya mengalami perubahan perbandingan jumlah kereta.

Gambar 4 menunjukkan penurunan konsumsi bahan bakar lokomotif karena adanya peningkatan teknologi. Grafik yang terbentuk menggunakan *step function*, dimana proses dimulai pada tahun 2021 dan mulai sepenuhnya beroperasi dengan *fuel economy* 2,35 L/km pada tahun 2022 sampai tahun akhir penghitungan. Hal inilah yang menyebabkan perbedaan konsumsi bahan bakar antara skenario *BaU* dan *Advanced Technology*.

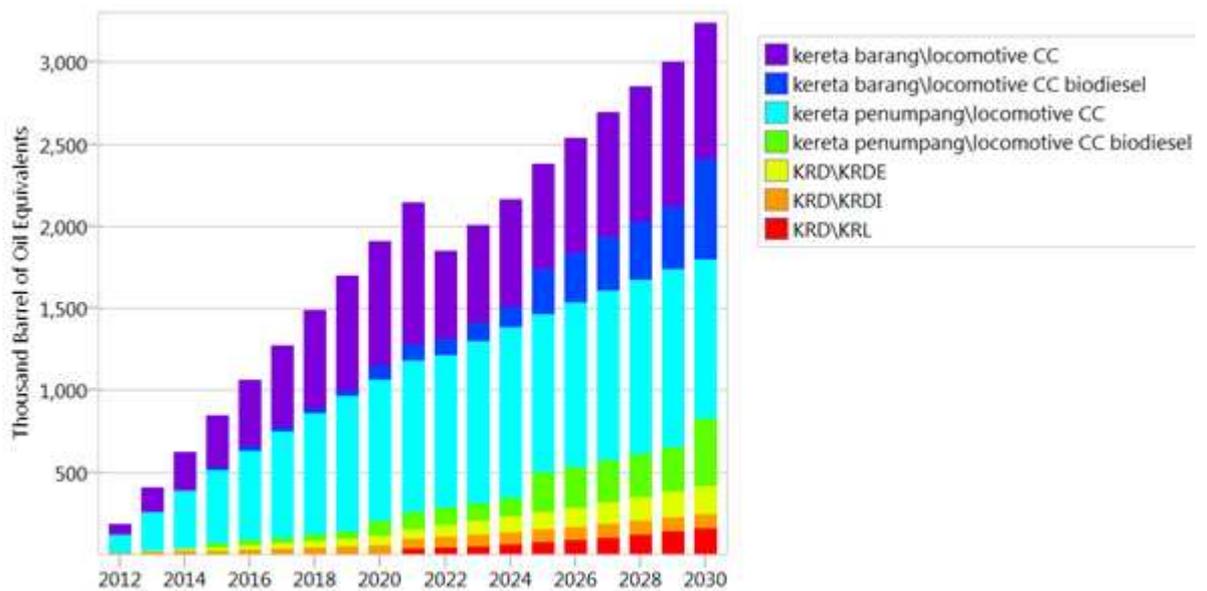


Gambar 5. Penurunan *fuel economy* karena penggantian lokomotif maupun retrofit.

3.1.3 Estimasi Kebutuhan Bahan Bakar Menggunakan Skenario *Alternative Fuel Replacement*

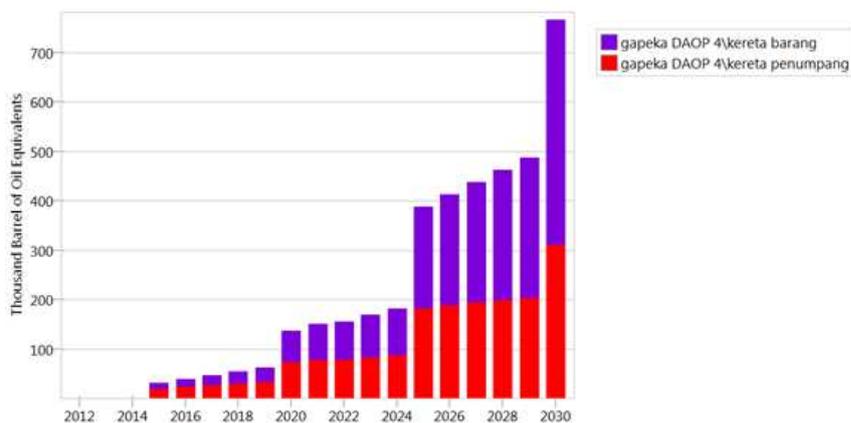
Tabel 4. Jumlah Kebutuhan Solar Pada Skenario *Alternative Fuel Replacement* (dalam satuan ribu SBM)

JENIS LOKOMOTIF	TAHUN				Total
	2015	2020	2025	2030	
Barang\locomotive CC	250,6	581,9	826,3	1.066,2	2.725
Barang\biodiesel	13,2	64,7	206,6	457	741,4
Penumpang\locomotive CC	353,8	651,4	726,3	722,9	2.454,3
Penumpang\biodiesel	18,6	72,4	181,6	309,8	582,4
KRD\KRDE	14,9	42,2	80,3	129,7	267
KRD\KRDI	18,2	40,8	57,9	62,7	179,6
KRD\KRL	0	0	53,9	118,2	172,1
Total	669,2	208,1	245,2	2.866,5	7.121,8



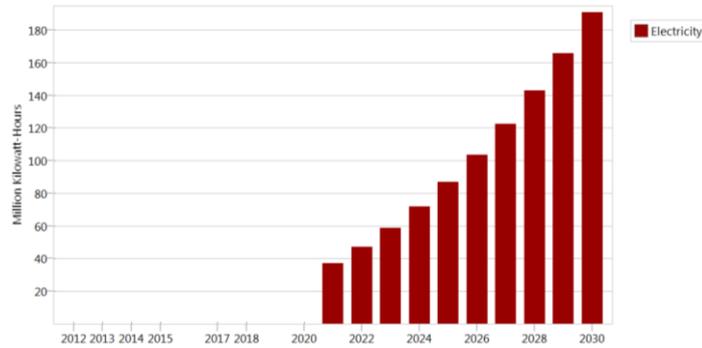
Gambar 6. Grafik kebutuhan bahan bakar pada skenario *alternative fuel replacement*.

Tabel 4 menunjukkan konsumsi bahan bakar pada tahun yang tertera pada tabel. Jika dijumlahkan antar cabang pengguna energi maka hasilnya akan sama dengan skenario *advance technology*. Hanya saja, jenis energi yang digunakan terbagi menjadi dua jenis untuk kereta penumpang dan barang yaitu menggunakan solar dan biodiesel. Sedangkan untuk golongan KRD yang digunakan untuk melayani rute lokal energi alternatif yang digunakan adalah listrik untuk KRL. Pada Gambar 6 terlihat jumlah energi yang dibutuhkan pada skenario *AFR* sama dengan skenario *advanced technology*.



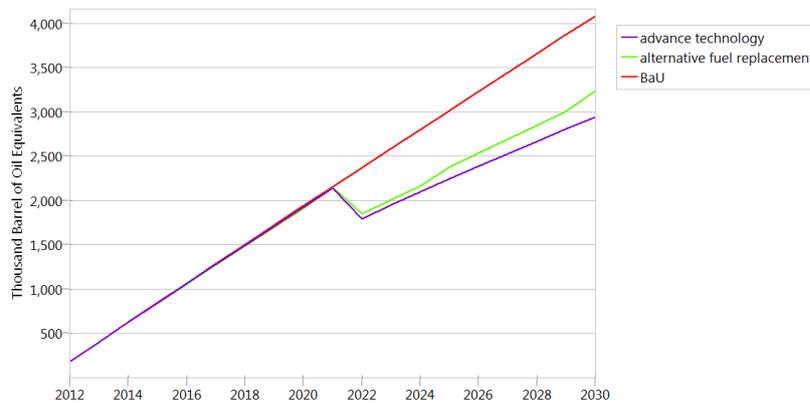
Gambar 7. Grafik kebutuhan biodiesel mulai tahun 2015 sampai 2030

Gambar 7 adalah grafik kebutuhan biodiesel untuk operasional kereta barang dan penumpang yang dimulai pada tahun 2015 dengan kebutuhan awal 31,8 ribu SBM dalam satu tahun. Biodiesel mulai digunakan untuk menggantikan solar sesuai dengan milestone produksi biodiesel dalam negeri.



Gambar 8. Grafik kebutuhan listrik mulai tahun 2021 sampai tahun 2030.

Gambar 8 adalah grafik kebutuhan listrik untuk operasional KRL yang dimulai pada tahun 2021 dengan kebutuhan awal 37,3 juta kWh dalam satu tahun. Listrik dalam penelitian ini diasumsikan hanya untuk melayani kereta lokal yang menggunakan KRL.

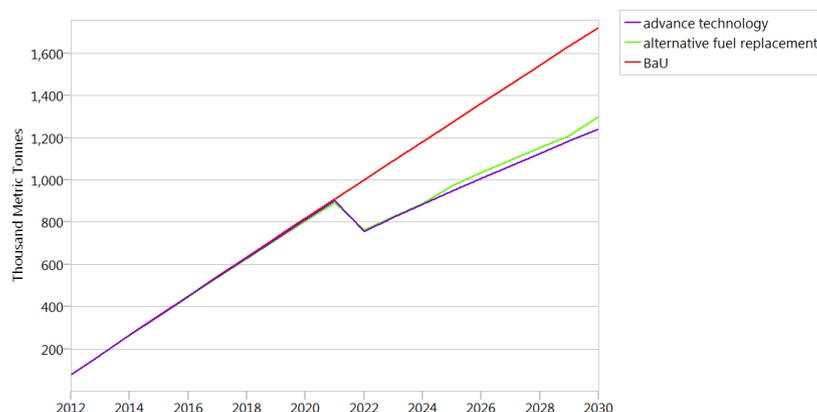


Gambar 9. Grafik perbandingan antara skenario *BaU*, *advanced technology* dan *AFR*.

Gambar 9 merupakan perbandingan hasil yang diperoleh antar skenario. Garis *BaU* cenderung naik terus secara linier karena tidak ada perubahan sampai tahun 2030. Sedangkan garis skenario *advanced technology* dan *AFR* berimpit dan berada dibawah *BaU*.

3.2 Prediksi Emisi Gas Buang

Dalam menentukan emisi gas buang dalam penelitian ini berdasarkan pada standar standar *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Tier 1 Default Emission Factors* untuk kereta api berbahan bakar minyak. Dari database tersebut emisi gas yang muncul adalah *Carbon Monoxide, Methane, Non Methane Volatile Organic Compounds, Nitrogen Oxides (NOx), Nitrous Oxide, Sulfur Dioxide, Carbon Dioxide Non Biogenic*.



Gambar 10. Emisi *Carbon Dioxide (Non-Biogenic)* berdasarkan skenario.

Tabel 5. Emisi Gas Buang *Carbon Dioxide (Non-Biogenic)* (dalam satuan ribu metrik ton)

SKENARIO	TAHUN				Total
	2015	2020	2025	2030	
AT	283,0	618,4	893,0	1.194,5	2.988,9
AFR	282,3	613,1	877,0	1.159,4	2.931,8
BAU	357,4	818,4	1.273,1	1.721,3	4.170,1
Total	922,7	2.049,8	3.043	4.075,2	10.090,8

4. Kesimpulan

Jumlah kebutuhan bahan bakar kereta api sampai tahun 2030 mencapai 40.806,7 ribu SBM untuk skenario *business as usual*, dengan rincian 22.713,6 ribu SBM untuk kereta barang, 15.653,2 ribu SBM untuk kereta penumpang. KRDE dan KRDI pada skenario *BaU* masing-masing 1.424,5 dan 1.015,4 ribu SBM. Untuk skenario *advance technology* kebutuhan bahan bakar kereta api hanya 33.072,8 ribu SBM. Rinciannya adalah 12.869,3 ribu SBM dibutuhkan untuk memenuhi permintaan kereta barang, 17.162,1 ribu SBM untuk kereta penumpang, KRDE dan KRDI masing-masing 1.785,8 dan 1.255,6 ribu SBM. Sedangkan untuk skenario *alternative fuel replacement* kebutuhan bahan bakar mencapai 34.341,8 ribu SBM. Rinciannya adalah untuk kereta barang 11.406,5 ribu SBM adalah bahan bakar solar dan 2.892,8 ribu SBM adalah biodiesel. Kereta penumpang membutuhkan 14.763,2 ribu SBM solar dan 2.398,9 ribu SBM biodiesel. Untuk jenis KRDE membutuhkan 1.384,7 ribu SBM solar, sedangkan KRDI membutuhkan 1.013,3 ribu SBM solar. Operasional KRL di skenario AFR membutuhkan 1.360,6 juta kWh dari 2021 sampai 2030.

Alternatif energi atau bahan bakar yang dapat digunakan adalah biodiesel dan listrik. Biodiesel dimasukkan dalam penelitian ini karena produksinya yang terus meningkat sesuai pada buku biru energi nasional dan mampu digunakan untuk mengoperasikan mesin diesel. Sedangkan listrik dimasukkan dalam penelitian ini karena arah pengembangan kereta api yang mengarah pada penggunaan energi listrik sampai saat ini serta mampu mengurangi pencemaran udara pada pengoperasian kereta api.

Emisi gas buang yang dihasilkan dengan menggunakan standar emisi *IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Tier 1 Default Emission Factors* adalah total *Carbon Dioxide (Non-Biogenic)*, *Nitrous Oxide*, *Carbon Monoxide*, *Sulfur Dioxide*, *NOx* dan *VOCs*. Skenario *BaU* menghasilkan masing-masing jenis emisi diatas sebesar 17.214,6 ribu metrik ton, 142,4 metrik ton, 237,3 ribu metrik ton, 43.589,2 metrik ton, 284,7 ribu metrik ton dan 47.455,8 metrik ton. Skenario *advanced technology* mampu mereduksi keseluruhan jenis emisi sebesar 19% kecuali *VOCs* sebesar 23,4% sedangkan AFR mampu mereduksi keseluruhan jenis emisi sebesar 18%.

5. Daftar Pustaka

- [1] Djuraid, H.M., 2013, *Jonan & Evolusi Kereta Api Indonesia*, Jakarta: PT. Mediasuara Shakti-BUMN Track
- [2] Zhang, Q., Tian, W., Zhang, L., 2010, Fuel consumption from vehicle of china until 2030 in energy scenario. *Energy Policy* 38, 6860-6867
- [3] 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
- [4] Grafik Perjalanan Kereta Api, 2010, Seksi Operasional Daop 4 Semarang, PT.Kereta Api Indonesia.
- [5] *LEAP User Guide 2006*, Dokumen Teknis, Stockholm Environment Institute, Stockholm
- [6] *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025*, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral.
- [7] *Data Konsumsi Bahan Bakar*, 2013, Seksi Sarana Daop 4 Semarang, PT.Kereta Api Indonesia.
- [8] *Evolution Series Locomotive Press Release*, 2009, GE Transportation.