

PREDIKSI KONSUMSI BAHAN BAKAR MINYAK UNTUK KENDARAAN DARAT JALAN RAYA SAMPAI TAHUN 2040 MENGGUNAKAN *SOFTWARE* LEAP

Muhammad Fauzi Aditya Nasri¹, MSK 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: muhammadfauziaditya@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini dirancang untuk memprediksi konsumsi bahan bakar untuk kendaraan darat jalan raya yaitu mobil penumpang, sepeda motor, bis dan truk di Indonesia dari tahun 2010 hingga tahun 2040 menggunakan *software* LEAP. Dua skenario yang digunakan yaitu *business as usual* (BAU) mengasumsikan pertumbuhan konsumsi bahan bakar tanpa ada perubahan kebijakan dan teknologi dan *advanced fuel economy* (AFE) mengasumsikan peningkatan teknologi pada semua jenis kendaraan yang berpengaruh kepada konsumsi bahan bakar. Hasil pengujian menggunakan LEAP menunjukkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan kendaraan jenis mobil penumpang pada tahun 2040 berdasarkan skenario BAU adalah 2.579,6 juta *Gigajoule* dan 2.229,9 juta *Gigajoule* atau turun 13,56 % pada skenario AFE di tahun 2040. Pada Sepeda Motor, jumlah bahan bakar yang dibutuhkan pada tahun 2040 berdasarkan skenario BAU sebesar 1.792,8 juta *Gigajoule* dan sebesar 1.559,9 juta *Gigajoule* untuk skenario AFE di tahun 2040 atau turun sebanyak 13 %. Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan kendaraan jenis Bus pada tahun 2040 berdasarkan skenario BAU sebesar 689,6 juta *Gigajoule* dan 621,9 juta berdasarkan skenario AFE di tahun 2040 atau turun sebanyak 9,82 %. Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan kendaraan jenis truk pada tahun 2040 berdasarkan skenario BAU adalah 4.598,2 juta *Gigajoule* dan 3.983 juta *Gigajoule* berdasarkan skenario AFE di tahun 2040 atau turun sebanyak 13,39 %. Emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan jenis mobil penumpang, sepeda motor, bis dan truk pada tahun 2040 untuk skenario BAU adalah *Carbon Dioxide Non Biogenic* (CO₂) sebesar 266,4 miliar *Metric Tonnes*, *Carbon Monoxide* (CO) sebesar 56,7 miliar *Metric Tonnes* dan *Nitrogen Oxides* (NO_x) sebesar 31,1 miliar *Metric Tonnes*. Emisi pada skenario AFE di tahun 2040 untuk CO₂ sebesar 230,7 miliar *Metric Tonnes*, CO 56,7 miliar *Metric Tonnes*, NO_x 31,1 miliar *Metric Tonnes*. Untuk tahun 2040 emisi CO₂ pada skenario AFE turun sebesar 13,41 % dari skenario BAU, untuk nilai CO dan NO_x pada skenario AFE maupun skenario BAU tidak ada perbedaan.

Kata kunci: *advanced fuel economy, business as usual, perencanaan energi, LEAP*

Abstract

This study is designed to predict the fuel consumption for passenger cars, motorcycles, buses and trucks in Indonesia from 2010 to 2040 using LEAP software with two scenarios, as which is business as usual (BAU) by assuming growth of fuel consumption without changes from policies and technologies sector and advanced fuel economy (AFE) assuming an increase in vehicle technology which can affect fuel consumption. The simulation results shows fuel required for passenger car type vehicle in 2040 based on the BAU is 2,579.6 million gigajoules and 2,229.9 million gigajoules for AFE or savings up to 13.56%. Fuel required for motorcycles in 2040 based on the BAU is 1.792,8 million gigajoules and 1.559,9 million gigajoules based on AFE in 2040 or savings up to 13%. Fuel required bus type vehicle in 2040 based on the BAU is 689,6 million gigajoules and 621,9 million based on AFE or fuel savings up to 9,82% . Fuel required for truck type vehicle based on the BAU in 2040 is 4.598,2 million gigajoules and 3,983.0 million gigajoules based on AFE or savings up to 13.39 %. Exhaust emissions produced by vehicles are passenger cars, motorcycles, buses and trucks in 2040 for the BAU is Carbon Dioxide Non Biogenic (CO₂) 266,4 billion Metric Tonnes, Carbon Monoxide (CO) 56,7 billion Metric Tonnes and Nitrogen Oxides (NO_x) 31,1 billion Metric Tonnes. As for the AFE, in 2040 for CO₂ 230,7 billion Metric Tonnes, CO 56,7 billion Metric Tonnes and NO_x 31.1 billion Metric Tonnes. At year 2040 the value of CO₂ on AFE scenario decreased by 13,41% compare to BAU scenario, but the value of NO_x and CO in the AFE and the BAU scenario is same.

Keyword: *advance fuel economy, business as usual, energy planning, LEAP*

1. Pendahuluan

Energi adalah suatu kebutuhan yang dapat menunjang kehidupan pada pembangunan. Energi diperlukan untuk menggerakkan berbagai aktivitas, baik alami maupun buatan. Energi menjadi salah satu penentu keberlangsungan hidup suatu masyarakat dalam menjaga berbagai proses ekologis dan meningkatkan kualitas hidup. Keberlangsungan tingkat dan kualitas aktivitas sangat tergantung kepada ketersediaan dan konsumsi energi [1]. Ketersediaan energi merupakan salah satu kebutuhan dasar manusia. Ketersediaan energi tersebut mempengaruhi cara manusia mengolah bahan menjadi hasil produksi dan transportasi.

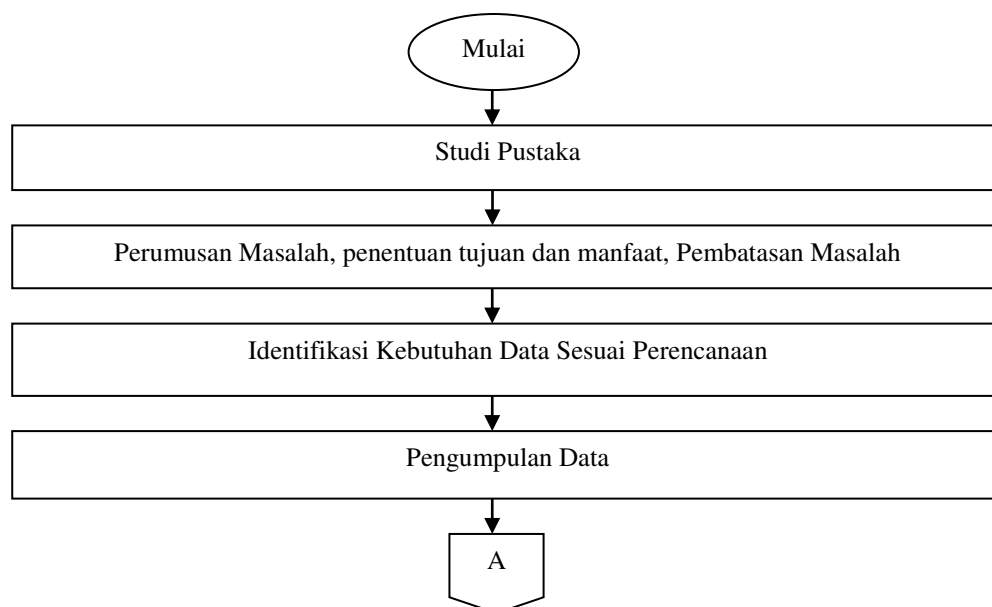
Dalam tahun (anggaran) 1979/1980 pemakaian komersial di Indonesia berjumlah 33,045 juta ton batu bara ekuivalen (TBE), terdiri atas minyak bumi sebanyak 82,2 juta TBE (atau 79,9%), gas bumi sebanyak 6,070 juta TBE (atau 18,2%), batu bara 0,206 juta TBE (atau 1,5%). Pada data tersebut menjelaskan bahwa minyak bumi sangat mendominasi pemakaian di tanah air [2]. Konsumsi untuk motor gasoline (mogas) sendiri mencapai 148.575 ribu barrel dan minyak solar 174.669 ribu barrel pada tahun 2010 [3]. Pada tahun 2010 menurut BPS jumlah kendaraan bermotor sebanyak 76.907.127 kendaraan dengan rincian sepeda motor sebanyak 61.078.188 unit, mobil penumpang 8.891.041 unit, Bus 2.250.109 unit, truk 4.687.789 unit [4].

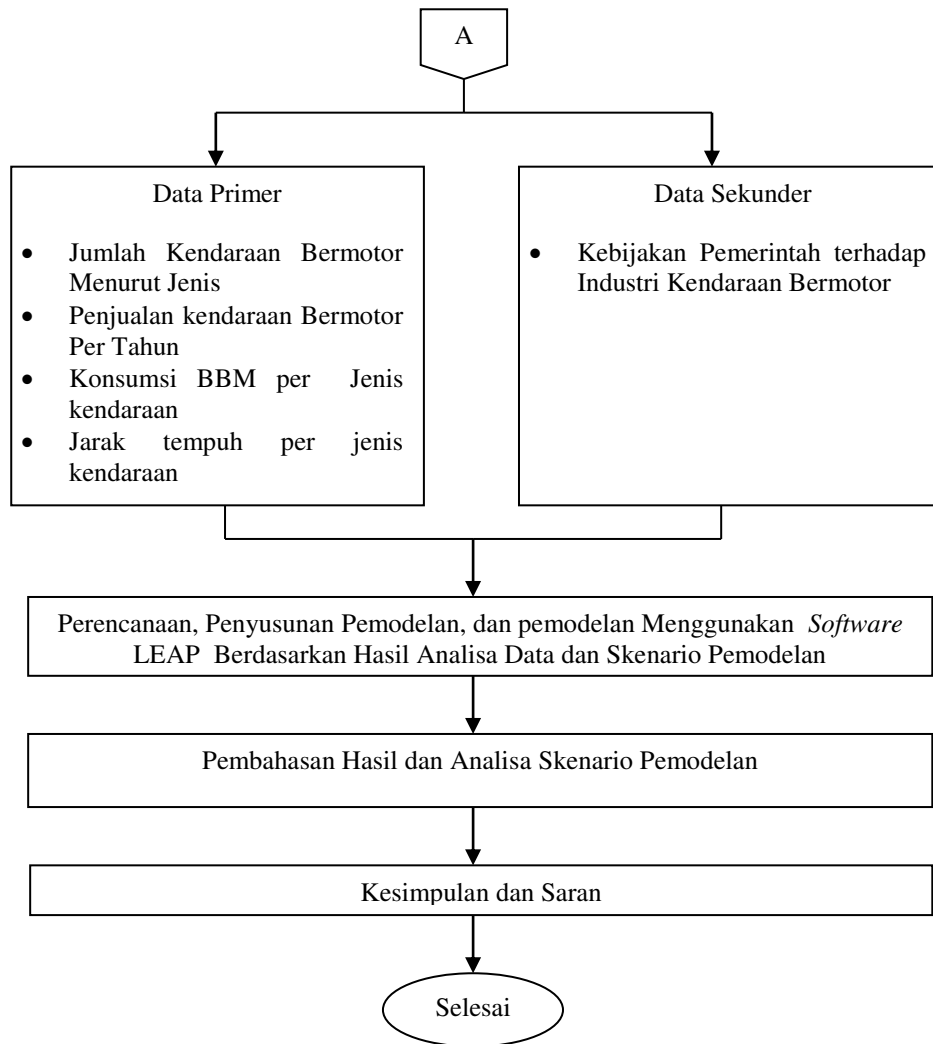
Dalam beberapa tahun terakhir, kendaraan bermotor semakin memberikan kontribusi terhadap emisi polusi udara. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor dengan konsumsi bahan bakar yang tinggi dan kebijakan kontrol emisi yang lemah akan berdampak pada lingkungan di masa yang akan datang. Untuk memperkirakan tingkat emisi pencemaran udara dari kendaraan bermotor dapat menggunakan faktor emisi berbasis bahan bakar, perlu ditetapkan metode kepemilikan kendaraan, proyeksi harga bahan bakar, dan perkiraan tingkat konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor [5].

Pada penelitian ini digunakan software atau perangkat lunak LEAP (*Long - range Energy Alternative Planning system*) untuk memprediksi konsumsi bahan bakar untuk kendaraan darat pribadi di Indonesia dari tahun 2010 hingga tahun 2040 dengan dua skenario penurunan konsumsi energi yang dirancang untuk memperkirakan pengurangan konsumsi bahan bakar: (i) business as usual (BAU), (ii) advanced fuel economy (AFE).

Berdasarkan penelitian ini maka akan didapat prediksi konsumsi bahan bakar kendaraan darat pribadi antara tahun 2010 sampai tahun 2040 dengan mempertimbangkan berdasarkan pertumbuhan jumlah kendaraan pribadi roda dua dan roda empat di Indonesia serta jumlahnya dari tahun 2010 serta konsumsi bahan bakar sampai dengan tahun 2040. Tujuan penelitian ini adalah menerapkan perangkat lunak LEAP untuk memprediksi jumlah konsumsi bahan bakar kendaraan pribadi darat yaitu Mobil Penumpang, Sepeda Motor, Bus dan Truk dari tahun 2010 sampai tahun 2040, mengetahui hasil prediksi konsumsi bahan bakar kendaraan Mobil Penumpang, dari tahun 2010 sampai tahun 2040, mengetahui hasil prediksi konsumsi bahan bakar kendaraan Sepeda Motor dari tahun 2010 sampai tahun 2040, mengetahui hasil prediksi konsumsi bahan bakar kendaraan Bus dari tahun 2010 sampai tahun 2040, mengetahui hasil prediksi konsumsi bahan bakar kendaraan Truk dari tahun 2010 sampai tahun 2040, mengetahui emisi gas buang *Carbon Monoxide*, *Nitrogen Oxides* dan *Carbon Dioxide Non Biogenic* yang dihasilkan oleh kendaraan di Indonesia dari prediksi konsumsi bahan bakar kendaraan pribadi darat yaitu Mobil Penumpang, Sepeda Motor, Bus dan Truk dari tahun 2010 sampai tahun 2040 berdasarkan (*Technology and Environmental Database*) LEAP.

2. Metodologi Penelitian





Gambar 1. Bagan Alur (*Flowchart*) Metode Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur penelitian mengenai estimasi kebutuhan bahan bakar. Alur penelitian dimulai dengan studi pustaka, perumusan masalah, penentuan judul kemudian pengambilan data, perhitungan dan simulasi dan kemudian dilanjutkan dengan pembuatan laporan.

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, harga dan sebagainya. Di dalam LEAP terdapat *database* Teknologi dan Lingkungan (TED) berisi data mengenai biaya, kinerja dan faktor emisi lebih dari 1000 teknologi energi. LEAP dapat digunakan untuk menghitung profil emisi dan juga dapat digunakan untuk membuat skenario emisi dari sektor non- energi (misalnya dari produksi semen, perubahan penggunaan lahan, limbah padat, dll) [6].

Permintaan energi yang akan disimulasikan adalah kebutuhan bahan bakar untuk kendaraan darat pribadi di Indonesia sesuai dengan jumlah kendaraan bermotor berdasarkan jenisnya, konsumsi bahan bakar per jenis kendaraan dan jarak tempuh per tahunnya.

2.2. Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis

Jumlah kendaraan bermotor menurut jenis pada tahun 2010 digunakan sebagai jumlah kendaraan pada *base year* dan penambahan kendaraan berdasarkan penjualan pertahun pada tahun yang sama dengan kenaikan penjualan sebesar 5 % setiap 5 tahun sekali seperti yang ditunjukkan dalam tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1. Jumlah kendaraan bermotor menurut jenis dari tahun 2008 – 2012

Tahun	Mobil Penumpang	Bus	Truk	Sepeda Motor	Jumlah
2008	7.489.852	2.059.187	4.452.343	47.683.681	61.685.063
2009	7.910.407	2.160.973	4.452.343	52.767.093	67.336.644
2010	8.891.041	2.250.109	4.687.789	61.078.188	76.907.127
2011	9.548.866	2.254.406	4.958.738	68.839.341	85.601.351
2012	10.432.259	2.273.821	5.286.061	76.381.183	94.373.324

2.3. Konsumsi Bahan Bakar Menurut Jenisnya

Tabel 2 dibawah ini adalah data konsumsi bahan bakar minyak sepeda motor, untuk mobil penumpang yang dibagi kategorinya berdasarkan kubikasi isi silinder mesin, untuk Bus dan truk konsumsi bahan bakar Bus berdasarkan *Gross Vehicle Weight (GVW)*.

Tabel 2. Data Konsumsi Bahan Bakar Kendaraan Menurut Jenisnya

Kategori Kendaraan		Konsumsi BBM km/l
Sepeda Motor	-	51
Mobil Penumpang	CC ≤ 1.500 (G)	8.9
	1.501 < CC ≤ 2.500 (G)	12.8
	CC ≤ 2.500 (D)	11
	2.501 < CC ≤ 3.000 (G)	7.2
	CC > 3.001 (G)	6
	CC > 2.501 (D)	10.2
Bus	GVW 5 – 10 TON	3.45
	GVW 10 – 24 TON	2.22
Truk	GVW < 5 TON	6.8
	GVW 5 – 10 TON	3.4
	GVW 10 – 24 TON	2.7
	GVW ≥ 24 TON	2.4

2.4. Jarak Tempuh Kendaraan Menurut Jenisnya

Tabel 3 dibawah ini adalah Jarak tempuh kendaraan pertahun yang berdasarkan periode servis kendaraan dari setiap pabrikan otomotif tersebut.

Tabel 3. Data Jarak Tempuh Kendaraan Per Tahun

Jenis Kendaraan	<i>Gross Vehicle Weight (GVW)</i>	Jarak Tempuh Per Tahun (Kilometer Per Tahun)
Sepeda Motor	-	12.000 Kilometer
Mobil Penumpang	-	24.000 Kilometer
Bus	GVW 5 – 10 TON	20.000 Kilometer
	GVW 10 – 24 TON	60.000 Kilometer
Truk	GVW < 5 TON	20.000 Kilometer
	GVW 5 – 10 TON	60.000 Kilometer
	GVW 10 – 24 TON	60.000 Kilometer
	GVW ≥ 24 TON	60.000 Kilometer

2.5. Perhitungan

Kerangka untuk perhitungan kebutuhan energi dan emisi disajikan sebagai berikut:

2.5.1. *Transport Analysis Calculations*

Dalam Analisa Transportasi konsumsi energi dihitung sebagai produk dari jumlah kendaraan, rata – rata jarak tempuh tahunan contohnya jarak yang ditempuh dan konsumsi bahan bakar contohnya liter per kilometer.

$$energy\ consumption = stock\ of\ vehicles \times annual\ vehicle\ mileage \times fuel\ economy \quad (1)$$

2.5.2. *Distance-Based Pollution Emissions (Criteria Air Pollutants)*

$$Emission_{t,y,v,p} = Stock_{t,y,v} \cdot Mileage_{t,y} \cdot EmissionFactor_{t,y,v,p} \cdot EmDegradation_{t,y-v,p} \quad (2)$$

Dimana P adalah kriteria polusi udara. *EmissionFactor* adalah besaran emisi untuk polusi udara (e.g. *grammes/veh-mile*) dari kendaraan baru dengan tahun keluaran v. *EmDegradation* adalah faktor yang mewakili perubahan emisi di faktor emisi untuk polutan p dengan umur kendaraan tertentu.

2.5.3. Energy-Based Emissions (e.g. CO₂ and other Greenhouse Gases)

$$Emission_{t,y,v,p} = EnergyConsumption_{t,y,v} \cdot EmissionFactor_{t,v,p} \cdot EmDegradation_{t,y-v,p} \quad (3)$$

2.6. Skenario

Skenario merupakan dasar perhitungan kebutuhan bakar dan emisi dengan melihat kebijakan maupun kemungkinan-kemungkinan yang terjadi pada rentang tahun dalam skenario.

2.6.1 Business As Usual (BAU)

Skenario ini menggunakan asumsi pertumbuhan konsumsi bahan bakar sesuai dengan teknologi yang ada tanpa ada perubahan maupun intervensi kebijakan pemerintah dan diproyeksikan sampai pada tahun 2040. Pada aspek selain penggunaan teknologi seperti jarak tempuh untuk kedua skenario adalah tetap atau tidak berubah sesuai referensi yang digunakan.

2.6.2 Advance Fuel Economy (AFE)

Skenario *Advanced Fuel Economy* (AFE) mengasumsikan hal yang sama dengan BAU namun ada penambahan teknologi penghematan bahan bakar diterapkan pada kendaraan bermotor yang beredar. Untuk Adopsi standar Euro 5/6 dari standar Euro 2 diasumsikan memberikan peningkatan 5% [7]. Peningkatan efisiensi dalam penelitian ini dibuat dalam rentang tahun berdasarkan skenario emisi gas buang yaitu tahun 2013 untuk euro 3, tahun 2020 untuk euro 4, tahun 2030 untuk euro 5 dan tahun 2040 untuk euro 6.

3. Hasil Dan Analisa

3.1. Proyeksi Hasil Konsumsi Bahan Bakar

3.1.1. Prediksi Penggunaan Bahan Bakar Menggunakan Skenario Business As Usual

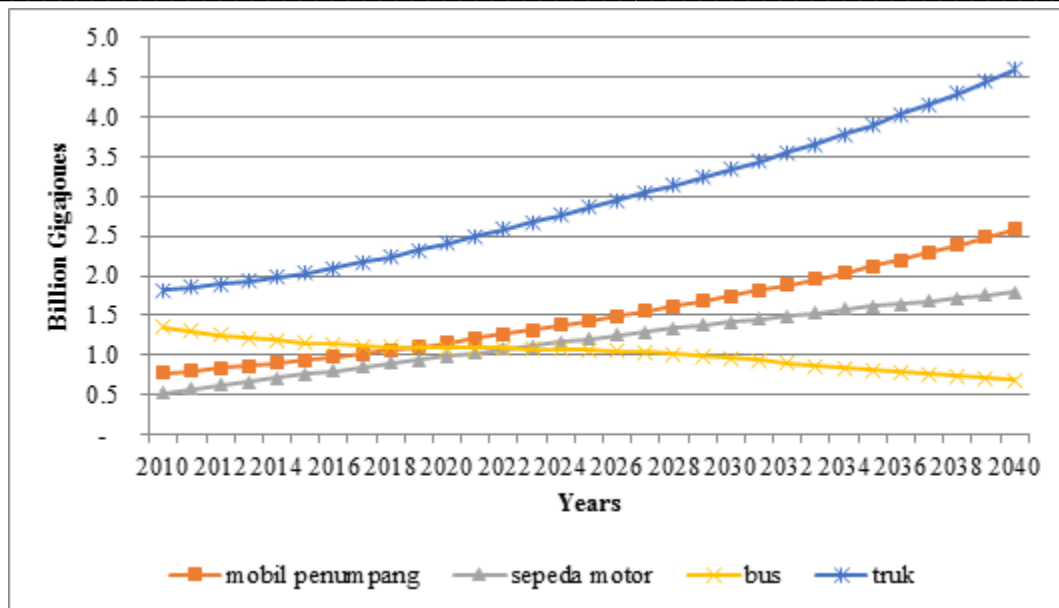
Tabel 4. Sampel Per Tahun Penggunaan Energi Berdasarkan skenario *business as usual*

Jenis Kendaraan	Tahun			
	2010	2020	2030	2040
mobil penumpang	779,0	1,159.0	1,746.5	2,579.6
sepeda motor	525,3	986.7	1,417.4	1,792.8
bus	1.349,0	1,095.4	965.1	689.6
truk	1.823,9	2,406.0	3,339.9	4,598.2

*)Dalam satuan juta Gigajoule

Tabel 4 dan Gambar 2 merupakan hasil prediksi penggunaan energi untuk jenis kendaraan Mobil penumpang, Sepeda Motor, Bus dan Truk dengan menggunakan skenario BAU, dimulai dari tahun 2010 hingga tahun 2040. Konsumsi energi mobil penumpang pada tahun 2010 adalah 779 juta *Gigajoule* atau 134 juta *Barrel of Oil Equivalents* (BOE) setara 23.938 juta liter bensin dan 1.277 juta liter solar. Sepeda motor sebesar 525,3 juta *Gigajoule* atau 90,3 juta *Barrel of Oil Equivalents* (BOE) setara 16.915 juta liter bensin. Bus sebesar 1,349 juta *Gigajoule* atau 232 juta *Barrel of Oil Equivalents* (BOE) setara 48.428 juta liter solar dan Truk sebesar 1.823,9 juta *Gigajoule* atau 313,7 juta *Barrel of Oil Equivalents* (BOE) setara 65.479 juta liter solar.

Jumlah konsumsi energi mobil penumpang pada tahun 2040 adalah 2.579,6 juta *Gigajoule* atau 443,6 juta *Barrel of Oil Equivalents* (BOE) setara 79.268 juta liter bensin dan 4.229,4 juta liter solar. Sepeda motor sebesar 1.792,8 juta *Gigajoule* atau 308,3 juta *Barrel of Oil Equivalents* (BOE) setara 57.727 juta liter bensin, bus sebesar 689,6 juta *Gigajoule* atau 118,6 juta *Barrel of Oil Equivalents* (BOE) setara 24.754 juta liter solar dan truk sebesar 4.598,2 juta *Gigajoule* atau 790,8 juta *Barrel of Oil Equivalents* (BOE) setara 165.076 juta liter solar.



Gambar 2. Grafik Kebutuhan energi dengan metode *business as usual* hingga tahun 2040

Mengacu pada Gambar 2, terjadi peningkatan penggunaan energi pada hasil prediksi dalam skenario BAU dari tiga jenis kendaraan yaitu Mobil penumpang, Sepeda motor dan Truk. Jenis kendaraan Bus penggunaan energinya mengalami penurunan karena penjualan Bus per tahun yang kurang dari 10% jumlah Bus yang ada, hal ini menyebabkan jumlah Bus terus menurun pada *end year* dengan jarak tempuh yang sama. Sedangkan, tiga jenis kendaraan lainnya yaitu Mobil penumpang, Sepeda motor dan Truk jumlahnya terus bertambah dengan jarak tempuh yang sama sehingga memacu penggunaan energi yang lebih banyak.

3.1.2. Prediksi Penggunaan Bahan Bakar Menggunakan Skenario *Advanced Fuel Economy*

Tabel 5. Sampel Per Tahun Penggunaan Energi Berdasarkan skenario *advanced fuel economy*

Jenis Kendaraan	Tahun			
	2010	2020	2030	2040
mobil penumpang	779,0	1,112.2	1,590.7	2,229.9
sepeda motor	525,3	941.8	1,293.0	1,559.9
bus	1.349,0	1,091.8	949.2	621.9
truk	1.823,9	2,319.4	3,056.3	3,983.0

*)Dalam satuan juta Gigajoule

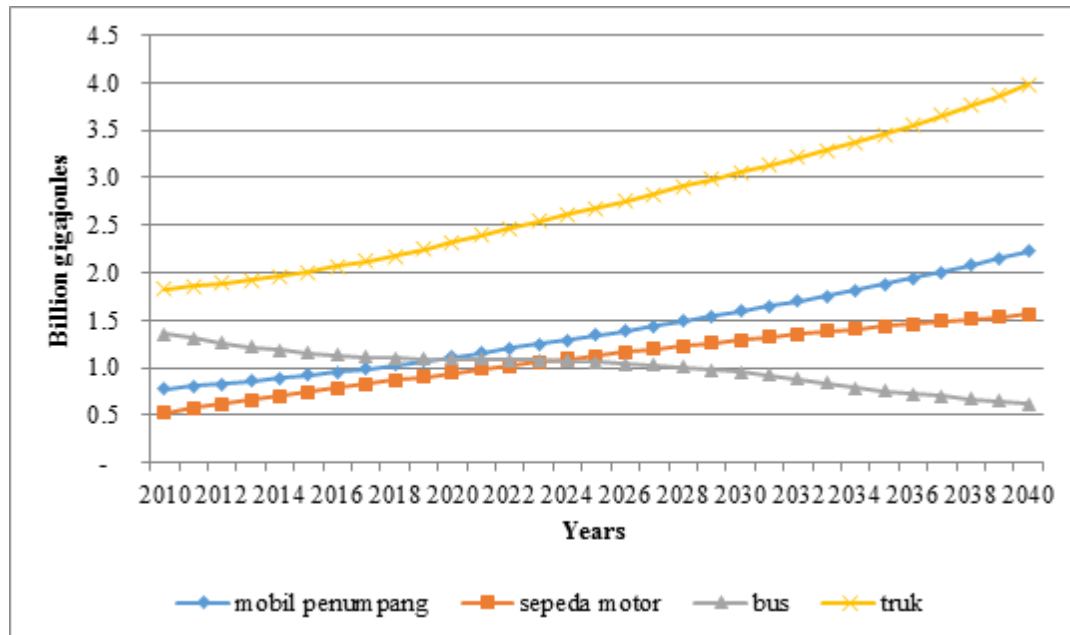
Hasil prediksi penggunaan energi untuk jenis kendaraan Mobil penumpang, Sepeda Motor, Bus dan Truk dengan skenario AFE dimulai dari tahun 2010 hingga tahun 2040 dapat dilihat pada Tabel 5 dan Gambar 3. Konsumsi energi mobil penumpang pada tahun 2010 adalah 779 juta *Gigajoule* atau 134 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 23.938 juta liter bensin dan 1.277 juta liter solar. Sepeda motor sebesar 525,3 juta *Gigajoule* atau 90,3 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 16.915 juta liter bensin. Bus sebesar 1,349 juta *Gigajoule* atau 232 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 48.428 juta liter solar dan Truk sebesar 1.823,9 juta *Gigajoule* atau 313,7 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 65.479 juta liter solar.

Jumlah konsumsi energi mobil penumpang pada tahun 2030 adalah 2.229,9 juta *Gigajoule* atau 383 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 68.523 juta liter bensin dan 3.656 juta liter solar, sepeda motor sebesar 1.559,9 juta *Gigajoule* atau 268,3 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 50.227 juta liter bensin. Bus sebesar 621,9 juta *Gigajoule* atau 106,9 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 22.324 juta liter solar dan Truk sebesar 3.983 juta *Gigajoule* atau 685 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 142.988,4 juta liter solar.

Penggunaan energi kendaraan jenis Bus mengalami penurunan karena penjualan Bus per tahun yang kurang dari 10% jumlah Bus yang berakibat jumlah Bus terus menurun pada *end year* dengan jarak tempuh yang sama. Tiga jenis kendaraan lainnya yaitu Mobil penumpang, Sepeda motor dan Truk jumlahnya terus bertambah dengan jarak tempuh yang tidak berubah sehingga berpengaruh terhadap penggunaan energi yang lebih banyak. Jika dilihat dari Tabel 4 dan Tabel 5, konsumsi bahan bakar mengalami peningkatan dari tahun 2010 sampai tahun 2040. Namun, jika pada Tabel 4

dibandingkan dengan Tabel 5, dapat dilihat bahwa dalam skenario AFE ini, konsumsi bahan bakar terus menurun untuk setiap tahunnya.

Penurunan penggunaan energi pada prediksi skenario AFE disebabkan oleh peningkatan teknologi pada setiap jenis kendaraan berdasarkan aturan emisi gas buang yang diterapkan di dalam skenario AFE pada tahun 2013, 2020, 2030 dan 2040. Kebijakan membuat kendaraan lebih efisien sehingga hemat bahan bakar dan rendah emisi.



Gambar 3. Hasil Konsumsi Energi dengan Skenario Advanced Fuel Economy

3.2. Prediksi Emisi Gas Buang

Tabel 6. Hasil Proyeksi Emisi Gas Buang dengan Skenario Bussiness as Usual

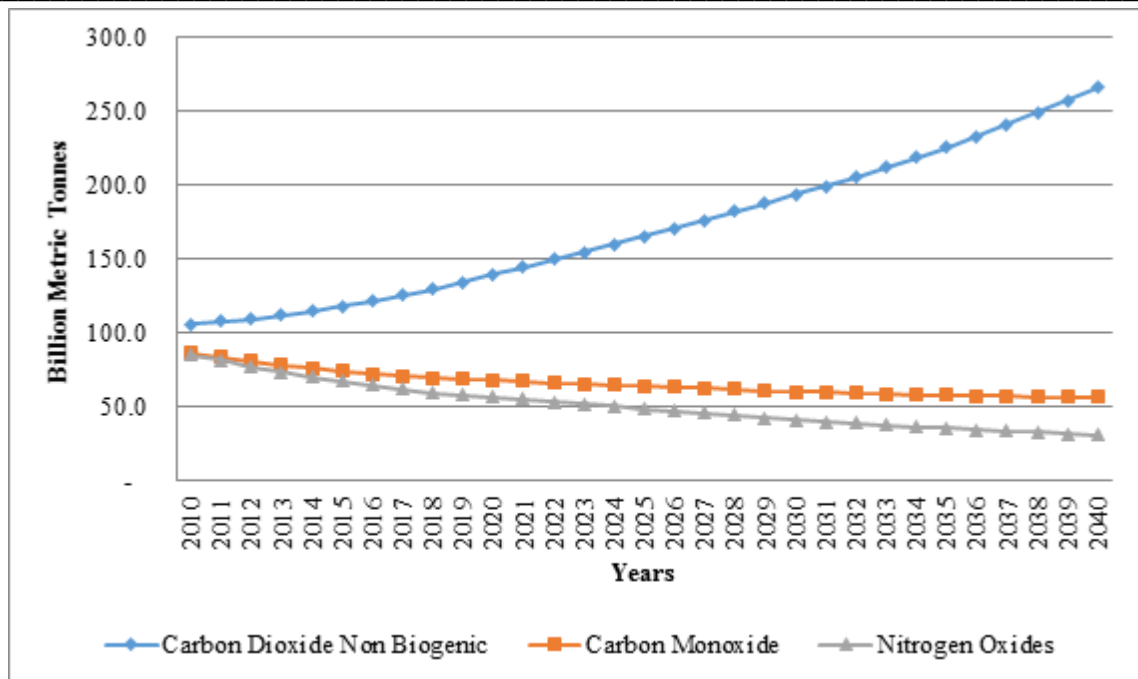
JENIS EMISI GAS BUANG	TAHUN			
	2010	2020	2030	2040
<i>Carbon Dioxide Non Biogenic</i>	105.7	139.4	193.5	266.4
<i>Carbon Monoxide</i>	86.2	67.9	60.3	56.7
<i>Nitrogen Oxides</i>	85.1	56.7	41.3	31.1
Total	277.1	264.0	295.2	354.1

*)Dalam satuan miliar metrik ton

Hasil proyeksi Emisi Gas Buang dengan Skenario BAU sejak tahun 2010 sampai tahun 2040 dengan jenis emisi *Carbon Dioxide Non Biogenic*, *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* dapat dilihat pada Tabel 6. Hasil proyeksi emisi gas buang dengan skenario ini, pada tahun 2010 untuk *Carbon Dioxide Non Biogenic* adalah 105.7 miliar *Metric Tonnes*, *Carbon Monoxide* 86.2 miliar *Metric Tonnes* dan *Nitrogen Oxides* 85.1 miliar *Metric Tonnes*. Di tahun 2040, emisi gas buang *Carbon Dioxide Non Biogenic* naik menjadi 266.4 miliar *Metric Tonnes*. Emisi gas buang yang lain seperti *Carbon Monoxide* adalah 56.7 miliar *Metric Tonnes* dan *Nitrogen Oxides* 31.1 miliar *Metric Tonnes*.

Jumlah *Carbon Dioxide Non Biogenic* pada Gambar 4 terus bertambah jumlahnya sampai akhir tahun prediksi yaitu tahun 2040. Hal ini disebabkan oleh metode yang digunakan dalam *environmental loading* untuk emisi gas buang *Carbon Dioxide Non Biogenic* adalah emisi per energi yang dikonsumsi, dimana konsumsi terus naik seiring jumlah kendaraan yang terus bertambah. Pada *environmental loading*, metode emisi per energi yang dikonsumsi dipilih hanya untuk emisi gas buang *Carbon Dioxide Non Biogenic* karena *Carbon Dioxide Non Biogenic* adalah emisi yang dihasilkan oleh setiap proses pembakaran.

Hasil proyeksi untuk emisi gas buang *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* terus menurun sampai tahun akhir prediksi yaitu tahun 2040. Hal ini disebabkan oleh Bus sebagai jenis kendaraan yang menghasilkan emisi *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* paling banyak, namun jumlah Bus terus menurun sampai tahun 2040, sehingga mempengaruhi jumlah hasil emisi *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* secara keseluruhan.



Gambar 4. Hasil Proyeksi Emisi Gas Buang dengan Skenario Business as Usual

Tabel 7. Hasil Proyeksi Emisi Gas Buang dengan Skenario Advanced Fuel Economy

JENIS EMISI GAS BUANG	TAHUN			
	2010	2020	2030	2040
Carbon Dioxide Non Biogenic	105.7	134.4	177.1	230.7
Carbon Monoxide	86.2	67.9	60.3	56.7
Nitrogen Oxides	85.1	56.7	41.3	31.1
Total	277.1	259.0	278.8	318.5

*)Dalam satuan milliar metrik ton

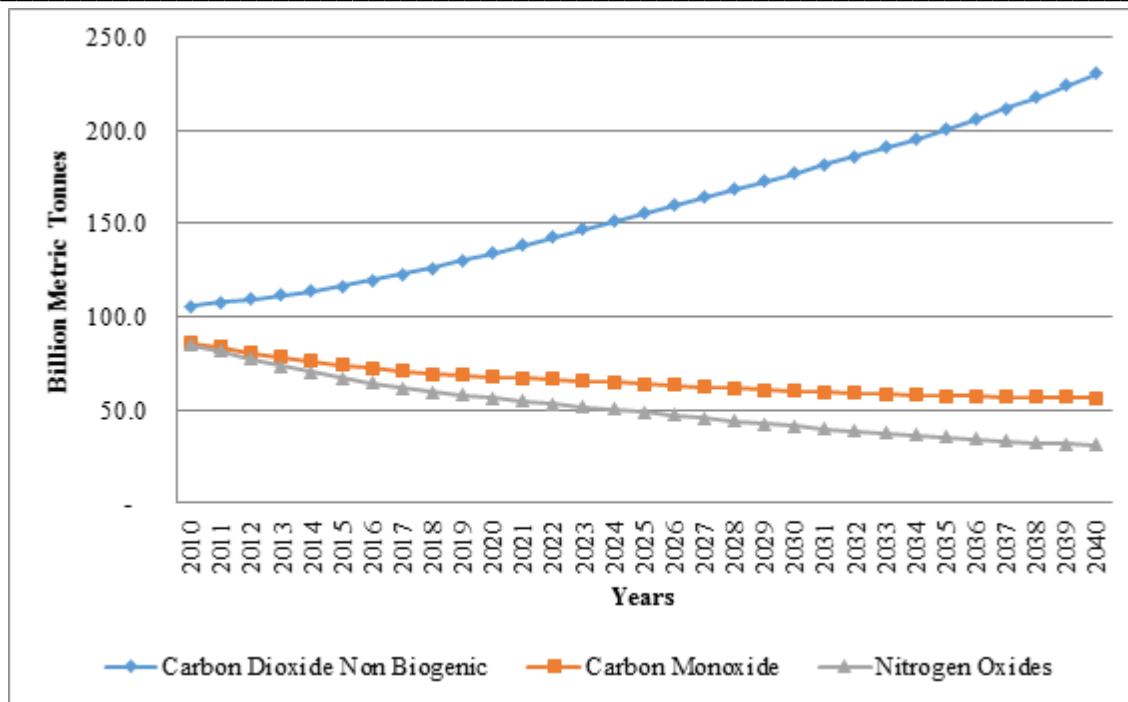
Hasil proyeksi Emisi Gas Buang dengan Skenario AFE dari tahun 2010 sampai tahun 2040 dengan jenis emisi *Carbon Dioxide Non Biogenic*, *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* dapat dilihat pada Tabel 7. Hasil proyeksi emisi gas buang dengan skenario AFE pada tahun 2010 untuk *Carbon Dioxide Non Biogenic* adalah 105.7 milliar Metric Tonnes, *Carbon Monoxide* 86.2 milliar Metric Tonnes dan *Nitrogen Oxides* 85.1 milliar Metric Tonnes.

Tepat pada tahun 2040, emisi gas buang *Carbon Dioxide Non Biogenic* naik menjadi 230,7 milliar Metric Tonnes. Emisi gas buang yang lain seperti *Carbon Monoxide* adalah 56.7 milliar Metric Tonnes dan *Nitrogen Oxides* 31.1 milliar Metric Tonnes.

Jumlah *Carbon Dioxide Non Biogenic* yang dapat dilihat pada Gambar 5 terus bertambah jumlahnya sampai akhir tahun prediksi yaitu tahun 2040. Hal ini disebabkan oleh metode yang digunakan dalam environmental loading untuk emisi gas buang *Carbon Dioxide Non Biogenic* adalah emisi yang dihasilkan per energi yang dikonsumsi, dimana konsumsi terus naik seiring jumlah kendaraan yang terus bertambah.

Hasil proyeksi untuk emisi gas buang *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* terus menurun sampai tahun akhir prediksi yaitu tahun 2040. Hal ini disebabkan oleh Bus sebagai jenis kendaraan yang menghasilkan emisi *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* paling banyak namun jumlah Bus terus menurun sampai tahun 2040, sehingga mempengaruhi jumlah hasil emisi *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* secara keseluruhan.

Jika dilihat dari Tabel 6 dan Tabel 7, jumlah emisi gas buang *Carbon Dioxide Non Biogenic* pada skenario BAU lebih banyak dihasilkan daripada emisi yang dihasilkan dengan skenario AFE. Hal ini disebabkan oleh konsumsi bahan bakar yang lebih hemat dari 5 % pada skenario AFE berpengaruh terhadap emisi gas buang *Carbon Dioxide Non Biogenic* yang dihasilkan.



Gambar 5. Hasil Proyeksi Emisi Gas Buang dengan Skenario Advanced Fuel Economy

Namun, jumlah emisi gas buang *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* yang dihasilkan adalah sama, baik dalam skenario BAU maupun skenario AFE. Hal ini disebabkan oleh emisi gas buang *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* menggunakan metode emisi yang dihasilkan per jarak yang ditempuh kendaraan, dimana untuk kedua skenario jarak tempuh semua kendaraan sama.

Metode ini dipilih karena gas buang *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* yang dihasilkan dipengaruhi oleh kondisi kerja mesin tersebut. Emisi gas buang *Carbon Monoxide* dihasilkan saat proses pembakaran yang tidak sempurna seperti pada saat kondisi operasi yang dingin, proses pemanasan mesin dan proses penambahan tenaga. Sedangkan, emisi gas buang *Nitrogen Oxides* dihasilkan pada saat temperatur dan tekanan yang tinggi di ruang bakar. Seperti pada umumnya, *Nitrogen Oxides* dihasilkan paling banyak saat beban kerja menengah sampai berat meskipun *Nitrogen Oxides* dalam jumlah kecil juga dapat dihasilkan karena temperature mesin yang terlalu panas dan suhu udara intake yang terlalu panas.

4. Kesimpulan

- 1) Perangkat lunak LEAP dapat digunakan sebagai alat bantu untuk memprediksi konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor dari rentang tahun 2010 sampai 2040.
- 2) Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan kendaraan jenis mobil penumpang pada tahun 2040 berdasarkan skenario *business as usual* adalah 2,579.6 juta *Gigajoule* atau 443,6 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 79.268 juta liter bensin dan 4.229,4 juta liter solar, dan 2,229.9 juta *Gigajoule* atau 383 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 68.523 juta liter bensin dan 3.656 juta liter solar pada mobil penumpang berdasarkan skenario *advanced fuel economy* di tahun 2040 atau penghematan bahan bakar sebanyak 13.56 %.
- 3) Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan kendaraan jenis sepeda motor pada tahun 2040 berdasarkan skenario *business as usual* adalah sepeda motor sebesar 1,792.8 juta *Gigajoule* atau 308,3 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 57.727 juta liter bensin dan sebesar 1,559.9 juta *Gigajoule* atau 268,3 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 50.227 juta liter bensin berdasarkan skenario *advanced fuel economy* di tahun 2040 atau penghematan bahan bakar sebanyak 13 %.
- 4) Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan kendaraan jenis Bus pada tahun 2040 berdasarkan skenario *business as usual* adalah sebesar 689,6 juta *Gigajoule* atau 118,6 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 24.754 juta liter solar dan 621.9 juta *Gigajoule* atau 106,9 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 22.324 juta liter solar berdasarkan skenario *advanced fuel economy* di tahun 2040 atau penghematan bahan bakar sebanyak 9.82 %.
- 5) Jumlah bahan bakar yang dibutuhkan kendaraan jenis truk pada tahun 2040 berdasarkan skenario *business as usual* sebesar 4.598,2 juta *Gigajoule* atau 790,8 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 165.076 juta liter solar dan 3,983.0 juta *Gigajoule* atau 685 juta *Barrel of Oil Equivalents (BOE)* setara 142.988,4 juta liter solar berdasarkan skenario *advanced fuel economy* di tahun 2040 atau penghematan bahan bakar sebanyak 13.39 %.
- 6) Emisi gas buang yang dihasilkan kendaraan jenis mobil penumpang, sepeda motor, Bus dan truk pada tahun 2040 untuk *Carbon Dioxide Non Biogenic* sebesar 266.4 miliar *Metric Tonnes*. Emisi gas buang yang lain seperti *Carbon Monoxide* sebesar 56.7 miliar *Metric Tonnes* dan *Nitrogen Oxides* sebesar 31.1 miliar *Metric Tonnes*.

Sedangkan untuk skenario *advanced fuel economy*, pada tahun 2040 untuk *Carbon Dioxide Non Biogenic* sebesar 230.7 miliar *Metric Tonnes*. Emisi gas buang yang lain seperti *Carbon Monoxide* 56.7 miliar *Metric Tonnes*, *Nitrogen Oxides* 31.1 miliar *Metric Tonnes*. Untuk tahun 2040 nilai *Carbon Dioxide Non Biogenic* pada skenario *AfE* turun sebesar 13,41 % dari nilai pada skenario BAU, untuk nilai *Carbon Monoxide* dan *Nitrogen Oxides* pada skenario *AfE* maupun skenario BAU tidak ada perbedaan.

5. Referensi

- [1]. Hughes, *Getting More From Less - A review of progress on energy efficiency and renewable energy initiatives in New Zealand*, 2000, Parliamentary Commissioner for the environment Wellington.
- [2]. Samaun, S., 1980, *Indonesia Energy Policy*, Jakarta.
- [3]. Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia, <http://prokum.esdm.go.id/Publikasi/Statistik>, diakses 06 Maret 2014
- [4]. Badan Pusat Statistik Indonesia, Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis, <http://www.bps.go.id>, diakses: 06 Maret 2014
- [5]. Rabia, S., Ahmad S.S. , 2010, *Monitoring Urban Transport Air Pollution and Energy Demand in Rawalpindi and Islamabad Using Leap Model*. Energy policy 35, 2323-2332
- [6]. Commend-energycommunity.org. *Modeling Software*. Diakses dari URL <http://energycommunity.org>, diakses: 06 Maret 2014
- [7]. Gadson, W. ,2009, *Draft regulation impact statement for review of euro light vehicle emission standart*. Departement of infrastucture, transport regional development and local government.