

Analisis Beban Emisi Pencemaran Udara Akibat Aktivitas Transportasi Kendaraan Bermotor di Jalan Keude Cunda, Kota Lhokseumawe

Nanda Savira Ersa¹⁾, Said Jalalul Akbar²⁾, Fadhliani³⁾, M Faisi Ikhwal⁴⁾,
Teuku Ilhami Surya Akbar⁵⁾

^{1,2,3)} Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe

⁴⁾ Program Studi Teknik Lingkungan, Universitas Islam Negeri Ar-Raniry, Banda Aceh

⁵⁾ Bagian Biomedik, Fakultas Kedokteran, Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe

Email: nanda.savira@unimal.ac.id¹⁾, saidjalalul.akbar@unimal.ac.id²⁾,
fadhliani@unimal.ac.id³⁾, faisi.ikhwal@ar-raniry.ac.id⁴⁾, teukuilhami@unimal.ac.id⁵⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v13i2.898>

(Received: 01 February 2023 / Revised: 17 July 2023 / Accepted: 21 August 2023)

Abstrak

Sektor transportasi salah satu penyumbang emisi udara terbesar di Indonesia. Selain berkontribusi terhadap pemanasan global, pencemaran udara juga dapat menurunkan kualitas kesehatan masyarakat. Penelitian ini bertujuan untuk mengestimasi beban pencemaran udara dari aktivitas transportasi di ruas Jalan Keude Cunda, Kota Lhokseumawe. Penelitian diawali dengan survey lapangan untuk menentukan jumlah kendaraan yang melintas pada jam puncak selama 7 hari sepanjang 400 meter. Kendaraan diklasifikasikan menjadi sepeda motor, mobil pertalite dan mobil solar. Selanjutnya, dilakukan estimasi beban emisi pencemaran dengan metode *Tier-1* dan *Tier-2*. Melalui metode *Tier-1*, untuk jenis BBM pertalite dan solar diestimasi menghasilkan beban emisi CO₂ sebesar 99.178 ton/tahun, CH₄ 28,8 ton/tahun dan N₂O 9,2 ton/tahun. Sedangkan dengan metode *Tier-2*, beban emisi CO sebesar 13,8 ton/tahun, HC 4 ton/tahun, NO_x 0,7 ton/tahun, PM₁₀ 0,2 ton/tahun dan SO₂ 0,04 ton/tahun. Aksi mitigasi dengan program *Car Free Day* diestimasi dapat menurunkan beban emisi sebesar 6% setiap tahunnya.

Kata kunci: *Bahan bakar, beban emisi, jumlah kendaraan, pencemaran udara*

Abstract

The transportation sector is one of the largest contributors to air emissions in Indonesia. Besides contributing to global warming, air pollution can also reduce the public health quality. This study aims to estimate the air pollution load from transportation activities on Jalan Keude Cunda, Lhokseumawe City. First, a field survey was conducted to determine the number of vehicles passing during peak hours for 7 days with mileage 400 meters. Vehicles are classified into motorcycles, gasoline cars and diesel cars. Secondly, estimation of pollution emission loads is carried out using the *Tier-1* and *Tier-2* methods. Lastly, emission load reduction is predicted through a program mitigation, namely the *Car Free Day*. Through the *Tier-1* method, gasoline and diesel fuel are estimated to produce a CO₂ emission load of 99,178 tons/year, CH₄ 28.8 tons/year and N₂O 9.2 tons/year. Whereas with the *Tier-2* method, the CO emission load is 13.8 tons/year, HC 4 tons/year, NO_x 0.7 tons/year, PM₁₀ 0.2 tons/year and SO₂ 0.04 tons/year. The *Car Free Day* mitigation actions will contribute to reducing the emission load by 6% annually.

Keywords: *fuel, emission load, vehicle number, air pollution*

1. Latar Belakang

Bisnis transportasi semakin berkembang di Indonesia, tak terkecuali di Provinsi Aceh. Kota Lhokseumawe memiliki jumlah penduduk sebesar 191.369 jiwa dengan kepadatan 1.057 jiwa per km² merupakan salah satu kota terpadat di Provinsi Aceh (Badan Pusat Statistik, 2023). Jumlah kendaraan bermotor di Indonesia pada tahun 2021 sebesar 141.992.573 unit atau terjadi pertumbuhan sebesar 4,3% dibandingkan tahun 2020, di mana pertumbuhan paling tinggi pada jenis kendaraan sepeda motor sebesar 4,4% (Badan Pusat Statistik, 2023). Kota Lhokseumawe sendiri merupakan pusat KEK yang merupakan salah satu pusat industri di Aceh, di mana hal ini akan berpengaruh pula pada pola transportasi dan pergerakan penduduk. Pertumbuhan kendaraan yang tidak terkendali dikhawatirkan akan memicu dampak terhadap lingkungan. Beberapa dampak lingkungan yang timbul akibat teknologi transportasi, antara lain kemacetan, kebisingan hingga pencemaran atau polusi udara efek dari emisi gas buang kendaraan bermotor. Hal ini diperparah dengan kurangnya informasi terkait pencemaran udara yang disediakan oleh pemerintah setempat (Siregar et al., 2021).

Kegiatan transportasi di Indonesia masih mengandalkan bahan bakar fosil, meski sudah terdapat kendaraan yang menggunakan tenaga gas alam dan listrik. Sektor transportasi sendiri tercatat memanfaatkan energi yang paling besar dari bahan bakar minyak (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023). Meskipun saat ini, peneliti sedang mengembangkan berbagai *biofuel* yang potensial untuk dikembangkan (Chang, Hwang & Wu, 2017). Sektor energi merupakan kontributor pencemaran udara terbesar saat ini, diikuti dengan sektor industri, transportasi, AFOLU (*agriculture, forestry and other land use*) dan bangunan (Lamb et al., 2021).

Pencemaran udara yang ditimbulkan oleh emisi gas buang kendaraan ini terbukti menurunkan kualitas kesehatan masyarakat (Sheng and Ling-Yun, 2016), serta meningkatkan efek gas rumah kaca (Kazancoglu et al., 2021). Gas CO₂, CH₄, dan N₂O adalah gas rumah kaca utama yang dihasilkan dari gas buangan kendaraan bermotor. Selain itu, terdapat gas CO, HC, NO_x, PM₁₀ dan SO₂. NO_x terutama dihasilkan dari hasil pembakaran kendaraan bermotor pada transportasi darat (Vestreng et al., 2009), sementara PM₁₀ terutama dihasilkan dari gesekan fisik antara kendaraan dengan jalan (Matthias et al., 2020). Senyawa tersebut juga yang paling berbahaya dari gas buang pembakaran mesin diesel (Lijiang and Peng, 2016). Selain itu, WHO menyatakan bahwa emisi gas buang kendaraan bermotor diduga bersifat karsinogen (Peng et al., 2014).

Selain dari segi kesehatan, polusi udara ini juga berdampak sangat besar terhadap terbentuknya gas rumah kaca. Keberadaan gas-gas ini mengakibatkan terjadinya perubahan iklim di dunia. Perubahan iklim telah terbukti berdampak pada kehidupan manusia, seperti meningkatnya penyakit, berkurangnya biota laut, meningkatnya muka air laut, hingga siklus hidrologi yang tidak stabil.

Oleh karena itu, berdasarkan permasalahan yang muncul, maka tujuan khusus yang akan dianalisis dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui beban emisi dari aktivitas transportasi kendaraan bermotor pada ruas Jalan Keude Cunda, Kota Lhokseumawe serta memprediksi penurunan beban emisi dari aksi mitigasi. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran bagi berbagai pihak

pengambil keputusan untuk melakukan pemantauan dan mitigasi pencemaran udara yang lebih baik lagi.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi di jalan Lintas Medan-Banda Aceh ruas Jalan Keude Cunda, Kecamatan Muara Dua, Kota Lhokseumawe, Aceh dengan panjang jalan yang diamati sepanjang 400 meter. Pengamatan dilakukan di depan simpang Selat Melaka dengan memperhitungkan kendaraan dari kedua arah. Gambar 1 menunjukkan lokasi survey pada penelitian ini.



Gambar 1 Peta Lokasi Survey

2.2 Survey Jumlah Kendaraan

Perhitungan emisi kendaraan dilakukan berdasarkan survei lapangan untuk menghitung volume kendaraan. Survei volume kendaraan dilakukan pada jam puncak pagi (07.00-10.00 WIB), siang (11.00-14.00 WIB) dan sore (16.00-19.00 WIB) selama tujuh hari berturut-turut. Perhitungan jumlah kendaraan dilakukan di titik utama kepadatan, yaitu simpang Selat Malaka seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Survey dilakukan dengan mengategorikan kendaraan yang lewat menjadi sepeda motor, mobil pertalite dan mobil solar.

2.3 Beban Emisi Kendaraan

Sumber emisi transportasi dari jalan raya dapat dihitung menggunakan metode *Tier-1* dan *Tier-2*. Metode *Tier-2* dianggap lebih teliti daripada *Tier-1* karena mempertimbangkan kategori kendaraan, jenis bahan bakar serta jarak tempuh.

a. Metode *Tier-1*

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) menyebutkan bahwa perhitungan *Tier-1* melakukan estimasi berdasarkan data aktivitas dan faktor emisi default IPCC. Data aktivitas bahan bakar BBM diestimasi berdasarkan data konsumsi bahan bakar dengan persamaan 1 (Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan Kementerian ESDM, 2018) :

$$DA_{BBM} = F_{BBM} \times \rho \times NCV \times 10^{-6} \quad (1)$$

di mana, DA_{BBM} adalah data aktivitas BBM (TJ), F_{BBM} adalah konsumsi BBM dalam setahun (Kilo Liter), ρ adalah berat jenis BBM (kg/m^3) (Tabel 2), dan NCV adalah nilai kalor bersih BBM (TJ/Gg) untuk solar 42,66 TJ/Gg dan pertalite 42,10 TJ/Gg.

Selanjutnya total beban emisi dihitung dengan persamaan 2:

$$E = DA_{BBM} \times FE \quad (2)$$

di mana, E adalah total emisi (ton), dan FE adalah faktor emisi menurut bahan bakar yang digunakan (ton/TJ) default IPCC (Tabel 1).

Tabel 1 Faktor emisi bahan bakar (Kementerian Lingkungan Hidup, 2012)

Jenis BBM	Faktor Emisi (kg/TJ)		
	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Premium/Pertalite	69300	25	8,0
Solar	74100	3,9	3,9

Tabel 2 Berat Jenis Bahan Bakar Motor (ρ) (Kalghatgi, 2014)

Jenis BBM	Berat Jenis (kg/liter)
Pertalite	0,76
Solar	0,82

b. Metode Tier-2

Metode ini menggunakan faktor emisi nasional yang diatur dalam PermenLH No 12 Tahun 2010. Pada metode ini digunakan data konsumsi bahan bakar berdasarkan sub kategori kendaraan. Metode ini memiliki ketelitian yang lebih tinggi daripada Tier-1. Perhitungan beban emisi untuk parameter CO, NO, HC, CO₂, SO₂, dan PM₁₀ menggunakan persamaan 3,

$$E = \text{Jumlah Kendaraan} \times L \times FE \times 10^{-6} \quad (3)$$

di mana, E adalah Beban Emisi (ton), L adalah total panjang perjalanan yang diamati (km), FE adalah Faktor Emisi Nasional (g/km/kendaraan) (Tabel 3). Untuk perhitungan emisi CO₂, diperhitungkan pula berat jenis BBM yang digunakan, ρ (Tabel 2), α adalah konsumsi bahan bakar (km/liter) (Tabel 4). Untuk estimasi faktor emisi CO₂ dengan Metode Tier-2 digunakan persamaan 4 seperti berikut,

$$FE_{CO_2 \text{ corr}} = \frac{L}{\alpha} \times \rho_{BBM} \times FE_{CO_2} \quad (4)$$

Tabel 3 Faktor Emisi Nasional (Indonesia, 2010)

Kategori kendaraan	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	CO ₂ (g/km)	SO ₂ (g/km)
Sepeda Motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil Pertalite	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil Solar	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44

Tabel 4 Konsumsi Bahan Bakar (α) (Indonesia, 2010).

Kategori kendaraan	Konsumsi Bahan Bakar	
	km/liter	liter/km
Sepeda Motor	28	0,036
Mobil Pertalite	9,8	0,105
Mobil Solar	8,5	0,118

2.4 Aksi Mitigasi Melalui Program *Car Free Day* (CFD)

Program CFD merupakan salah satu program yang dapat dipertimbangkan untuk memitigasi bahaya emisi dari aktivitas kendaraan bermotor. Dalam penelitian ini, akan dilihat seberapa efektif penurunan beban emisi tanpa dan dengan program CFD. Program CFD diasumsikan dilakukan setiap hari Minggu pukul 06.00-12.00 WIB sepanjang tahun.

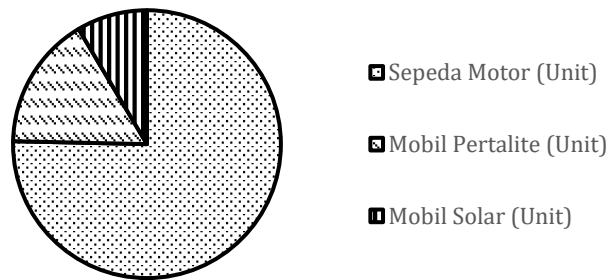
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Aktivitas Transportasi

Untuk mengetahui emisi kendaraan bermotor, pengamatan dilakukan pada ruas Jalan Keude Cunda di titik Simpang Selat Malaka Kota Lhokseumawe. Jumlah kendaraan bermotor yang melintas selama satu minggu pada jam-jam puncak kepadatan lalu lintas dapat dilihat pada Tabel 5. Diketahui bahwa jumlah kendaraan yang paling banyak melintas adalah sepeda motor (29.068 unit/minggu), lalu mobil dengan BBM pertalite (6.220 unit/minggu), dan mobil dengan BBM solar (470 unit/hari). Secara proporsi, persentase jumlah kendaraan berdasarkan kategori dapat dilihat pada Gambar 2 yang menunjukkan bahwa sepeda motor yang melintas sebanyak 75% dari total kendaraan yang diobservasi, mobil pertalite 16%, dan mobil solar 8%. Hasil ini sesuai dengan karakter jalan lintas provinsi yang menghubungkan kota-kota utama di Kabupaten sekitar, seperti Kota Lhoksukon dan Kota Bireuen serta karakteristik masyarakat kota yang mengutamakan waktu dan pertimbangan ekonomis dengan lebih memilih menggunakan sepeda motor. Pada ruas jalan ini pula, terdapat beberapa fasilitas umum seperti rumah sakit, sekolah, mesjid, tempat penginapan serta pusat perdagangan.

Tabel 5 Jumlah Kendaraan Pada Waktu Pengamatan

Hari	Jumlah Kendaraan (unit)		
	Sepeda Motor	Mobil Pertalite	Mobil Solar
Senin	3.997	921	472
Selasa	4.255	889	524
Rabu	3.923	872	511
Kamis	4.221	926	507
Jumat	4.627	726	362
Sabtu	3.991	877	414
Minggu	4.054	1.009	499
Total	29.068	6.220	3.289
Rata-Rata per Hari	4.153	889	470



Gambar 2 Proporsi Kendaraan Bermotor yang Diamati

Tabel 6 menunjukkan perhitungan konsumsi energi kendaraan yang melewati ruas Jalan Keude Cunda sepanjang 400 meter untuk tiap kategori kendaraan. Berdasarkan rata-rata jumlah kendaraan dalam satu hari, maka dapat diketahui total perjalanan yang terjadi dalam satu hari pada ruas Jalan Keude Cunda. Sepeda motor yang melewati ruas Jalan Keude Cunda menempuh jarak total 1.661 km/hari, mobil pertalite 355 km/hari dan mobil solar 188 km/hari. Selanjutnya diperoleh hasil total konsumsi energi untuk aktivitas kendaraan yang melewati ruas Jalan Keude Cunda kategori sepeda motor sebanyak 59 liter, mobil pertalite 37 liter dan mobil solar 22 liter per hari. Konsumsi energi salah satu faktor yang mempengaruhi variasi emisi tahunan (Fameli and Assimakopoulos, 2015).

Tabel 6 Total Konsumsi Energi Tiap Kategori Kendaraan per Hari

Jenis Kendaraan	Rata-Rata Jumlah Kendaraan per Hari	Total Perjalanan (km/hari)	Konsumsi BBM (liter/km)	Total Konsumsi BBM (liter/hari)
Sepeda Motor	4.153	1.661	0,036	59
Mobil Peralite	889	355	0,105	37
Mobil Solar	470	188	0,118	22

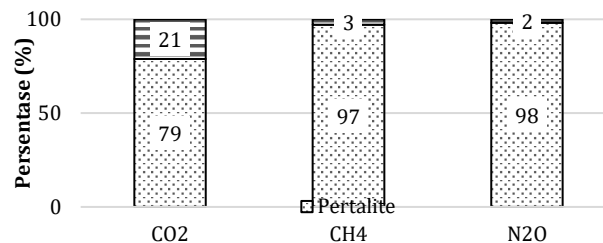
3.2 Metode Tier-1

Metode *Tier-1* digunakan untuk menghitung emisi gas rumah kaca dari sektor transportasi dengan hanya mempertimbangkan jenis dan konsumsi BBM. Total konsumsi BBM seluruh kategori kendaraan yang menggunakan BBM pertalite (liter/hari) dijumlahkan lalu dikonversi ke satuan kilo liter/tahun. Tabel 7 memperlihatkan total konsumsi BBM untuk kendaraan yang melewati ruas Jalan Keude Cunda jenis Peralite sebanyak 35 Kilo Liter/Tahun, sementara Solar 8 Kilo Liter/Tahun. Selanjutnya, dengan memperhitungkan parameter berat jenis masing-masing BBM, nilai kalor bersih, serta faktor emisi default IPCC diperoleh beban emisi untuk gas rumah kaca CO₂, CH₄ dan N₂O. Gas CO₂ merupakan gas rumah kaca dari sumber antropogenik yang paling penting, sementara CH₄ memiliki nilai RF (*radiative forcing*) yang paling besar dan nilai RF N₂O sepertiga dari CH₄ (Kort et al., 2008).

Tabel 7 Beban Emisi Metode *Tier-1* untuk Tiap Jenis BBM

Jenis BBM	Total Konsumsi BBM		Beban Emisi (ton/tahun)		
	Liter/ Hari	Kilo Liter/ Tahun	CO ₂	CH ₄	N ₂ O
Pertalite	97	35	78.253	28	9
Solar	22	8	20.925	0,8	0,2
	Total		99.178	28,8	9,2

Gambar 3 menunjukkan persentase beban emisi yang dihasilkan dari konsumsi BBM jenis pertalite dan solar di lokasi studi. Beban emisi CO₂, CH₄ dan N₂O untuk BBM pertalite menempati proporsi tertinggi. Hal ini sesuai dengan jumlah kendaraan yang menggunakan pertalite juga jauh lebih besar daripada kendaraan dengan BBM solar. Faktor konsumsi BBM mempengaruhi emisi CO₂ pada sektor transportasi (Sari and Sofwan, 2021).



Gambar 3 Proporsi Beban Emisi dari BBM Pertalite dan Solar

3.3 Metode *Tier-2*

Berdasarkan jumlah kendaraan yang telah di survey, maka dilakukan perhitungan pendugaan beban emisi kendaraan bermotor pada waktu pengambilan data (Tabel 8). Dapat dilihat bahwa beban emisi CO₂ dan CO adalah yang tertinggi dibandingkan parameter lainnya dengan nilai 810 kg/minggu untuk CO₂ dan 266 kg/minggu untuk CO, diikuti dengan HC, NO_x, PM₁₀ dan SO₂. Dalam satu minggu, beban emisi kendaraan di hari kerja, lebih besar daripada hari libur (Kaleka et al., 2023). Hal ini berbanding lurus dengan jumlah kendaraan yang juga lebih besar pada hari kerja.

Tabel 8 Beban Emisi Kendaraan Bermotor Per Hari

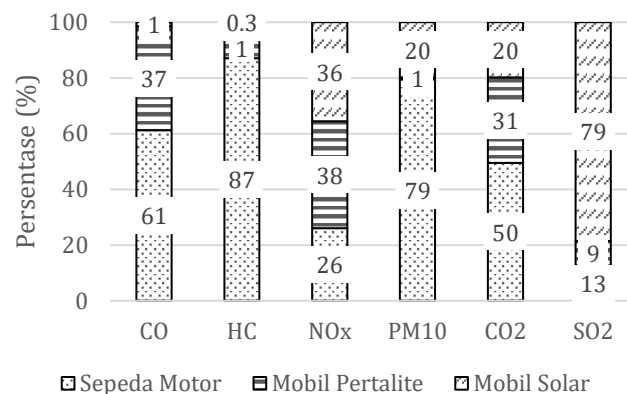
Hari	Beban Emisi (ton)					
	CO	HC	NO _x	PM ₁₀	CO ₂	SO ₂
Senin	0,038	0,011	0,002	4,87E-04	0,115	1,05E-04
Selasa	0,039	0,012	0,002	5,23E-04	0,119	1,15E-04
Rabu	0,036	0,011	0,002	4,88E-04	0,114	1,12E-04
Kamis	0,039	0,011	0,002	5,16E-04	0,121	1,12E-04
Jumat	0,038	0,012	0,002	5,24E-04	0,110	8,61E-05
Sabtu	0,037	0,011	0,002	4,74E-04	0,110	9,48E-05
Minggu	0,039	0,011	0,002	4,99E-04	0,121	1,11E-04
Total	0,266	0,079	0,013	0,004	0,810	0,001

Dari perhitungan akumulasi per-hari, maka diketahui beban emisi kendaraan bermotor per tahun seperti yang diperlihatkan pada Tabel 9. Beban emisi dari tertinggi ke terendah berurutan, yaitu parameter CO₂, CO, HC, NO_x, PM₁₀ dan SO₂.

Tabel 9 Beban Emisi Kendaraan Bermotor Per Tahun

Jenis Kendaraan	Beban Emisi (ton/tahun)					
	CO	HC	NO _x	PM ₁₀	CO ₂	SO ₂
Sepeda Motor	8,465	3,567	0,175	0,145	20,875	0,005
Mobil Peralite	5,175	0,518	0,259	0,001	13,165	0,003
Mobil Solar	0,192	0,014	0,239	0,036	8,374	0,030
Total	13,831	4,098	0,674	0,183	42,414	0,038

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, parameter CO₂ yang dihitung dengan menggunakan Metode *Tier-1* lebih besar dari pada Metode *Tier-2*, hal ini dapat terjadi karena pada Metode *Tier-1* perhitungan hanya mempertimbangkan faktor konsumsi dan jenis BBM. Sementara pada *Tier-2*, perhitungan lebih teliti dengan memperhitungkan semua variabel jarak, jenis kendaraan, konsumsi dan jenis BBM yang digunakan. Faktor emisi *Tier 2* juga telah memperhitungkan kondisi bahan bakar di Indonesia, maka tingkat ketidakpastian (*uncertainty*) pada Metode *Tier 2* lebih baik dibanding dengan tingkat ketidakpastian pada Metode *Tier 1* (Indonesia, 2012). CO₂ merupakan gas rumah kaca yang paling penting. Kenaikan temperatur dunia hanya dapat ditoleransi sebesar 2°C untuk menghindari bencana yang massif (Pachauri et al., 2014). Transportasi merupakan salah satu sektor penghasil gas CO₂ paling besar di dunia (Linton, Grant-Muller, & Gale, 2015), terutama transportasi darat (Marrero et al., 2021).

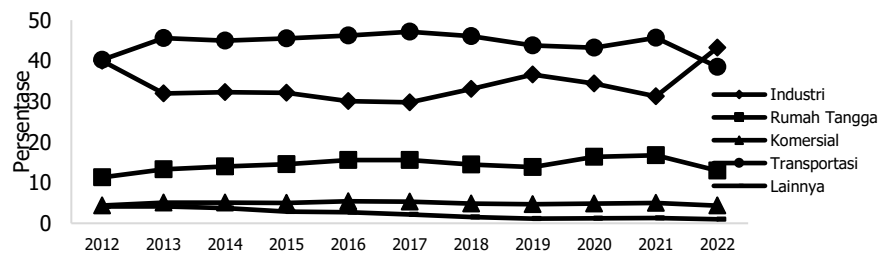


Gambar 4 Proporsi Beban Emisi Berdasarkan Jenis Kendaraan

Gambar 4 menunjukkan persentase beban emisi yang dihasilkan tiap jenis kendaraan dari konsumsi BBM jenis pertalite dan solar di lokasi studi. Sepeda motor memberikan kontribusi paling besar terhadap beban emisi HC, PM₁₀, CO, dan CO₂, diikuti dengan mobil pertalite dan mobil solar. Hal ini sesuai dengan proporsi jumlah kendaraan, di mana urutan terbanyak adalah sepeda motor, mobil pertalite, lalu mobil solar. Namun, pada parameter SO₂ mobil solar menempati proporsi beban emisi terbesar. Sementara parameter NO_x pada mobil solar cenderung relatif lebih besar dibandingkan kendaraan bahan bakar pertalite, sesuai

dengan penelitian yang dilakukan oleh Fredrik et al., (2013). Hal ini menunjukkan hubungan berbanding terbalik dengan jumlah kendaraan, yang artinya jenis BBM juga mempengaruhi jenis gas emisi yang dihasilkan.

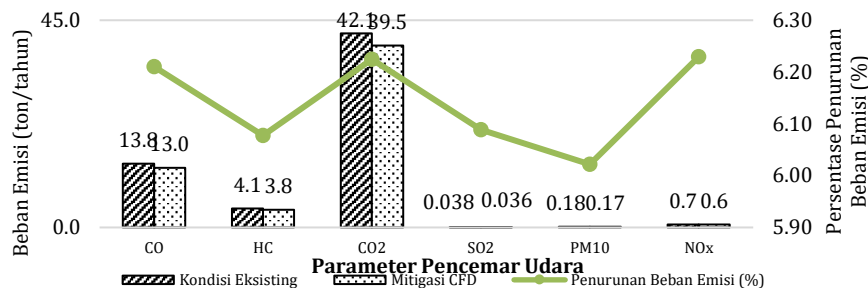
Gambar 5 menunjukkan data konsumsi energi di Indonesia dalam waktu sepuluh tahun terakhir. Sektor transportasi menunjukkan yang paling banyak mengkonsumsi energi, diikuti dengan sektor industri, rumah tangga, sektor komersial dan lainnya. Sektor transportasi sendiri tercatat memanfaatkan energi gas, bahan bakar minyak dan listrik, dengan persentase konsumsi masing-masing pada tahun 2022 adalah 0,02%, 99,94%, dan 0,05%. Bensin RON 90 (nama komersil Pertalite) saat ini paling banyak dikonsumsi dengan persentase 40,36%. Solar CN 51 (nama komersil Dexlite) saat ini paling banyak digunakan dengan persentase 1,54% (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023). Dibandingkan 10 tahun yang lalu, konsumsi BBM RON 90 dan solar 51 bahkan tidak diproduksi. Hal ini tidak lepas dari kebijakan yang diatur oleh pemerintah untuk mengurangi beban emisi dari kendaraan bermotor. Namun, Indonesia belum dapat lepas dari energi berbahan dasar karbon sebagai penggerak utama dalam transportasi, padahal untuk menekan laju pemanasan global, sektor transportasi harus didekarbonisasi (*decarbonized*) seluruhnya (Marrero et al., 2021). Salah satu cara untuk mencapai dekarbonisasi transportasi adalah dengan cara subsidi program penelitian dan pengembangan, serta investasi pada infrastruktur ramah lingkungan (*clean infrastructure*) (Santos, 2017).



Gambar 5 Persentase Total Konsumsi Energi Menurut Sektor di Indonesia
Sumber: (Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023)

3.4 Aksi Mitigasi Program *Car Free Day* (CFD)

Program CFD sering menjadi solusi di daerah perkotaan untuk mengatasi masalah polusi udara. Pada penelitian ini akan melihat dampak jika program CFD dilakukan di ruas Jalan Keude Cunda dengan asumsi diadakan setiap hari minggu pada jam 06.00-12.00 WIB selama sepanjang tahun. Dari hasil survey, diketahui total jumlah kendaraan tanpa program CFD sejumlah 5.562 unit pada hari Minggu. Maka, dengan asumsi tidak ada kendaraan yang lewat pada pkl 06.00-12.00 WIB karena adanya program CFD, maka jumlah kendaraan berkurang menjadi 3.209 unit pada hari Minggu atau berkurang 42%. Selanjutnya, dilakukan perhitungan beban emisi dengan metode Tier-2. Metode ini digunakan karena variabel jarak tempuh akan mempengaruhi beban emisi di program CFD. Setelah dilakukan kalkulasi, maka rata-rata penurunan beban emisi untuk tiap parameter sebesar 6% selama setahun (Gambar 6). Parameter pencemar udara dengan persentase penurunan berurutan dari yang paling besar, yaitu NO_x, CO₂, CO, SO₂, HC dan PM10.



Gambar 6 Penurunan Beban Emisi dengan Upaya Mitigasi CFD

Beberapa solusi yang dapat dilakukan untuk memitigasi pencemaran udara akibat transportasi, antara lain pengecekan kualitas emisi gas buang kendaraan, pembatasan usia kendaraan bermotor serta pemberian insentif bagi pemilik kendaraan yang lebih ramah lingkungan (Dzikuć et al., 2017). Meningkatkan fasilitas kendaraan umum juga diprediksi dapat mengurangi efek pencemaran udara. Modifikasi mesin untuk meningkatkan efisiensi energi serta peningkatan laju bahan bakar berperan dominan dalam menurunkan beban emisi (Talbi, 2017) (Hasan et al., 2019). Terdapat bukti bahwa ketika harga minyak dunia naik, beban emisi berkurang sekaligus juga berefek pada menurunnya kematian premature (Sheng and Ling-Yun, 2016). Strategi lainnya yaitu dengan penambahan ruang terbuka hijau publik, menyusun program berdasarkan skenario penurunan emisi (Sebastiania Ganhya Agape Jahja and Haryo Sulistyarso, 2019). Selain itu, pemerintah memainkan peranan yang penting dalam pengembangan transportasi dengan emisi renda karbon (Wang et al., 2017)

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Beban emisi akibat kendaraan bermotor telah menjadi perhatian utama dengan meningkatnya aktivitas transportasi dan mobilitas masyarakat. Jumlah kendaraan yang paling banyak melintas adalah sepeda motor, lalu mobil dengan BBM pertalite, dan mobil solar. Hasil estimasi beban emisi Metode *Tier-1* lebih tinggi dari beban emisi Metode *Tier-2*. Hal ini terjadi karena pada metode *Tier-2* perkiraan beban emisi mempertimbangkan variabel yang lebih detail, seperti jarak tempuh, jenis kendaraan dan BBM, serta nilai faktor emisi yang lebih rendah. Aksi mitigasi direncanakan melalui program CFD pada hari Minggu. Diprediksi program ini dapat mengurangi beban emisi pencemaran udara hingga 6% setiap tahunnya. Selain itu, kontrol terhadap kondisi kendaraan serta modifikasi mesin untuk menekan konsumsi bahan bakar dapat menjadi alternatif teknis untuk menurunkan beban emisi kendaraan bermotor.

4.2 Saran

Diperlukan adanya perencanaan mitigasi emisi transportasi di Kota Lhokseumawe, terutama area ruas Jalan Keude Cunda, seperti pengadaan jalur hijau, pengoperasian angkutan umum serta, perbaikan fasilitas bagi sepeda dan pejalan kaki untuk menekan pencemaran udara dan beban emisi. Penelitian beban pencemaran kendaraan ini dapat dilanjutkan dengan lebih spesifik dalam pengklasifikasian kendaraan bermotor dan jenis BBM.

Daftar Kepustakaan

- Badan Pusat Statistik, 2023a. Kota Lhokseumawe Dalam Angka 2023. . Lhokseumawe: Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik, 2023b. Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2019-2021.
- Chang, Hwang & Wu, W.-R., 2017. Emissions From The Road Transport Sector Of New Zealand: Key Drivers And Challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 67, 277–288.
- Dzikuć, M., Adamczyk, J., Piwowar, A., 2017. Problems Associated With The Emissions Limitations From Road Transport In The Lubuskie Province (Poland). *Atmospheric Environment* 160, 1–8.
- Fameli, K.M., Assimakopoulos, V.D., 2015. Development of a road transport emission inventory for Greece and the Greater Athens Area: Effects of important parameters. *Science of the Total Environment* 505, 770–786.
- Fredrik, R.W., Anders, I., Jesper, S., 2013. Experimental Investigation Of Nitrogen Based Emissions From An Ammonia Fueled SI-Engine 111, 239–247.
- Hasan, M.A., Frame, D.J., Chapman, R., Archie, K.M., 2019. Emissions From The Road Transport Sector Of New Zealand: Key Drivers And Challenges. *Environmental Science and Pollution Research* 26, 23937–23957.
- Indonesia, 2012. Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 23 Tahun 2012 Tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 10 Tahun 2012 Tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori L3.
- Indonesia, 2010. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara Di Daerah Menteri Negara Lingkungan Hidup.
- Kaleka, Y.U., Anggraeni, D.M., Garung, E.R., Deke, O., 2023. Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) on Road dengan Tier-2 Di Sumba Barat Daya. *Borneo Journal of Science and Mathematics Education* 3, 16–25.
- Kalghatgi, G.T., 2014. The Outlook For Fuels For Internal Combustion Engines. *International Journal of Engine Research* 15, 383–398.
- Kazancoglu, Y., Ozbiltekin-Pala, M., Ozkan-Ozen, Y.D., 2021. Prediction And Evaluation Of Greenhouse Gas Emissions For Sustainable Road Transport Within Europe. *Sustainable Cities and Society* 70, 102924.
- Kementerian Lingkungan Hidup, 2012. Pedoman Penyelenggaraan Inventarisasi GRK Nasional Kegiatan Pengadaan dan Penggunaan Energi.
- Kort, E.A., Eluszkiewicz, J., Stephens, B.B., Miller, J.B., Gerbig, C., Nehrkorn, T., Daube, B.C., Kaplan, J.O., Houweling, S., Wofsy, S.C., 2008. Emissions of CH₄ and N₂O over the United States and Canada based on a receptor-oriented modeling framework and COBRA-NA atmospheric observations. *Geophys. Res. Lett.* 35, L18808. <https://doi.org/10.1029/2008GL034031>
- Lamb, W.F., Wiedmann, T., Pongratz, J., Andrew, R., Crippa, M., Olivier, J.G., Wiedenhofer, D., Mattioli, G., Al Khourdajie, A., House, J., 2021. A Review Of Trends And Drivers Of Greenhouse Gas Emissions By Sector From 1990 To 2018. *Environmental research letters* 16, 073005.

- Lijiang, wei, Peng, G., 2016. A Review On Natural Gas/Diesel Dual Fuel Combustion, Emissions And Performance 142, 264–278.
- Linton, Grant-Muller, & Gale, C., 2015. Approaches and techniques for modelling CO2 emissions from road transport. *Transport Reviews* 35, 533–553.
- Marrero, Á.S., Marrero, G.A., González, R.M., Rodríguez-López, J., 2021. Convergence In Road Transport CO2 Emissions In Europe. *Energy Economics* 99, 105322.
- Matthias, V., Bieser, J., Mocanu, T., Pregger, T., Quante, M., Ramacher, M.O., Seum, S., Winkler, C., 2020. Modelling Road Transport Emissions In Germany—Current Day Situation And Scenarios For 2040. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 87, 102536.
- Ministry of Energy and Mineral Resources, 2023. Handbook Of Energy And Economic Statistic Of Indonesia.
- Pachauri, R.K., Allen, M.R., Barros, V.R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., Church, J.A., Clarke, L., Dahe, Q., Dasgupta, P., 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution Of Working Groups I, II And III To The Fifth Assessment Report Of The Intergovernmental Panel On Climate Change. *Ippc*.
- Peng, G., Chunde, Y., Lijiang, wei, Junheng, L., Quanggang, W., Wang, P., Jianyun, W., 2014. Reduction Of PM Emissions From A Heavy-Duty Diesel Engine With Diesel/Methanol Dual Fuel 123, 1–11.
- Santos, G., 2017. Road Transport And CO2 Emissions: What Are The Challenges? *Transport Policy* 59, 71–74.
- Sari, E.G., Sofwan, M., 2021. Carbon Dioxide (CO2) Emissions Due to Motor Vehicle Movements in Pekanbaru City, Indonesia. *Journal Of Geoscience, Engineering, Environment, And Technology* 6, 234–242.
- Sebastiana Ganthya Agape Jahja, Haryo Sulistyarso, 2019. Strategi Pengembangan Kebijakan Penurunan Emisi Kendaraan di Kawasan Senayan, Jakarta 8.
- Sheng, Y., Ling-Yun, H.E., 2016. Fuel Demand, Road Transport Pollution Emissions And Residents' Health Losses In The Transitional China. *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 42, 45–59.
- Siregar, W.V., Hasibuan, A., Setiawan, D., Widarjo, W., 2021. Households Carbon Emissions in Aceh, Indonesia: Regulator Perspective. *Calitatea* 22, 111–114.
- Talbi, B., 2017. CO2 Emissions Reduction In Road Transport Sector In Tunisia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 69, 232–238.
- Vestreng, V., Ntziachristos, L., Semb, A., Reis, S., Isaksen, I.S.A., Tarrason, L., 2009. Evolution Of Nox Emissions In Europe With Focus On Road Transport Control Measures. *Atmos. Chem. Phys.*
- Wang, Y., Xie, T., Yang, S., 2017. Carbon emission and its decoupling research of transportation in Jiangsu Province. *Journal of Cleaner Production* 142, 907–914. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.052>