

Inventarisasi Emisi dari Sektor Transportasi Darat di Kota Pontianak

Rizki Nur Rahmasari^{1*}, Dian Rahayu Jati¹, Jumiati¹

¹Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura, Jl. Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, 78124, Kalimantan Barat, Indonesia, e-mail rizkirahmasari@studentuntan.ac.id

ABSTRAK

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan polusi udara yaitu dengan melakukan pengendalian pencemaran udara, salah satunya dengan cara melakukan inventarisasi emisi. Tujuan penelitian ini adalah untuk menghitung beban emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ yang dihasilkan oleh sektor transportasi di Kota Pontianak, serta untuk menentukan jenis kendaraan bermotor yang paling berkontribusi dalam menghasilkan emisi tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan dua pendekatan perhitungan yaitu berbasis VKT dan berbasis konsumsi bahan bakar. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat dievaluasi besarnya beban emisi dari sektor transportasi dan diidentifikasi jenis kendaraan bermotor yang perlu mendapat perhatian dalam pengendalian emisi di Kota Pontianak. Penelitian dilakukan di enam kecamatan Kota Pontianak dengan jumlah sampel sebanyak 467 kendaraan bermotor untuk mendapatkan data VKT kendaraan dan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor, dengan jenis kendaraan bermotor yang diteliti yaitu sepeda motor, mobil penumpang, sedan, pikap, dan truk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perhitungan beban emisi di Kota Pontianak dengan pendekatan VKT pada tahun 2020 yaitu menghasilkan CO sebesar 5376.9 ton/tahun, NO_x sebesar 365.9 ton/tahun, SO₂ sebesar 16.5 ton/tahun, dan PM₁₀ sebesar 69.3 ton/tahun sementara perhitungan beban emisi dengan pendekatan konsumsi bahan bakar pada tahun 2020 yaitu menghasilkan CO sebesar 63059.1 ton/tahun, NO_x sebesar 2090.1 ton/tahun, SO₂ sebesar 11.3 ton/tahun, dan PM₁₀ sebesar 404.1 ton/tahun. Adapun jenis kendaraan bermotor yang paling berkontribusi dalam menghasilkan emisi CO, NO_x, SO₂ dan PM₁₀ di Kota Pontianak yaitu truk, sepeda motor, dan mobil penumpang.

Kata kunci: CO, NO_x, SO₂, PM₁₀, inventarisasi emisi

ABSTRACT

Efforts that can be made to overcome the problem of air pollution are by controlling air pollution, one of which is by conducting an emission inventory. The purpose of this study is to calculate the burden of CO, NO_x, SO₂, and PM₁₀ emissions generated by the transportation sector in Pontianak City, and to determine the types of motorized vehicles that contribute most to producing these emissions. This research was conducted using two calculation approaches, namely VKT-based and fuel consumption-based. Through this research, it is hoped that the magnitude of the emission burden from the transportation sector can be evaluated and the types of motorized vehicles that need attention in controlling emissions in Pontianak City can be identified. The research was conducted in six sub-districts of Pontianak City with a total sample of 467 motorized vehicles to obtain vehicle VKT data and motorized vehicle fuel consumption, with the types of motorized vehicles studied namely motorcycles, passenger cars, sedans, pickups, and trucks. The results of the study show that the calculation of emission loads in Pontianak City using the VKT approach in 2020 is to produce CO of 5376.9 tons/year, NO_x of 365.9 tons/year, SO₂ of 16.5 tons/year, and PM₁₀ of 69.3 tons/year while calculating emission loads using the fuel consumption approach in 2020, namely producing 63059.1 tons/year of CO, 2090.1 tons/year of NO_x, 11.3 tons/year of SO₂, and 404.1 tons/year of PM₁₀. The types of motorized vehicles that contribute the most to CO, NO_x, SO₂, and PM₁₀ emissions in Pontianak City are trucks, motorcycles, and passenger cars.

Keywords: CO, NO_x, SO₂, PM₁₀, emission inventory

Citation: Rahmasari, R. N., Jati, D. R., dan Jumiati. (2023). Inventarisasi Emisi dari Sektor Transportasi Darat di Kota Pontianak. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 21(3), 627-635, doi:10.14710/jil.21.3.627-635.

1. Pendahuluan

Kota Pontianak dalam 10 tahun terakhir memiliki pertumbuhan penduduk sebesar 18.7% berdasarkan data BPS Kota Pontianak, pertumbuhan yang signifikan ini dapat meningkatkan aktivitas

yang dapat menyebabkan penurunan kualitas udara. Salah satu aktivitas manusia yang berkontribusi dalam mencemari udara adalah transportasi darat. Transportasi darat merupakan jenis pencemar sumber bergerak *on-road*. Menurut AQLI (2019),

sektor transportasi memiliki pertumbuhan tercepat dibandingkan sektor lainnya dalam menghasilkan emisi dan merupakan salah satu penyumbang yang paling signifikan terhadap polusi udara di wilayah urban, seperti di Kota Pontianak. Berdasarkan Badan Pendapatan Daerah Provinsi Kalimantan Barat (2021 dalam BPS Kota Pontianak, 2021, jumlah kendaraan bermotor dengan jenis kendaraan sepeda motor, mobil penumpang, pikap, bus, truk dan sedan yang terdaftar di Kota Pontianak pada tahun 2020 mencapai 31.944 kendaraan, dengan rincian sepeda motor sebanyak 26.332 unit, mobil penumpang sebanyak 3.840 unit, sedan 79 unit, pikap 1.017 unit, dan truk 673 unit.

Penelitian yang dilakukan *European Environment Agency* (EAA) dalam Eymard dkk (2019) menyatakan bahwa total emisi yang dihasilkan dari sektor transportasi yaitu sebesar 40% untuk NO_x, 23% untuk CO, dan 9% untuk PM₁₀. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Setyowati dkk (2014), konsentrasi CO pada persimpangan Jalan Tanjungpura – Jalan Veteran di Kota Pontianak mencapai 150.000 µg/Nm³. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh Andriani dkk (2019), kadar gas CO di beberapa ruas jalan di Kota Pontianak masih berada di bawah baku mutu udara ambien yaitu Jalan Gajah Mada berkisar antara 2.746,69 – 11.215,66 µg/Nm³ dan Jalan Tanjungpura berkisar 2.060,02 – 15.564,58 µg/Nm³. Sementara penelitian mengenai kadar PM₁₀ yang dilakukan oleh Maulana (2014) kadar PM₁₀ di beberapa ruas jalan pontianak seperti Jalan Sutan Syahrir, Jalan Ahmad Yani dan Jalan Kom Yos Sudarso berada diatas baku mutu yaitu mencapai 901.425,466 µg/m³.

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan polusi udara yaitu dengan melakukan pengendalian pencemaran udara, salah satunya dengan cara melakukan inventarisasi emisi. Inventarisasi emisi adalah pencatatan jumlah pencemar udara dari sumber – sumber pencemar dalam suatu wilayah pada periode waktu tertentu. Kegunaan dari melakukan inventarisasi emisi yaitu menjadi alat evaluasi status kualitas udara dengan baku mutu yang telah ditetapkan, sehingga dapat disusun strategi pengurangan emisi pencemar yang akan dikurangi dan sumber pencemar yang memberikan kontribusi terhadap pencemar udara (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013). Metode inventarisasi emisi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pendekatan faktor emisi, faktor emisi merupakan nilai yang merepresentasikan rata – rata jumlah pencemar yang dihasilkan oleh suatu sumber, dengan menggunakan metode faktor emisi pengukuran beban pencemar dilakukan secara tak langsung sehingga nilai beban emisi pada suatu area yang luas dapat diketahui dengan kecepatan analisis yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan metode langsung atau mengukur emisi dengan alat. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menghitung beban emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ yang dihasilkan

oleh sektor transportasi di Kota Pontianak, serta untuk menentukan jenis kendaraan bermotor yang paling berkontribusi dalam menghasilkan emisi tersebut. Dengan mengetahui jenis parameter dan jenis kendaraan yang menghasilkan emisi terbesar, maka dapat ditentukan langkah-langkah pengurangan emisi kendaraan yang efektif dan efisien. Hal ini sangat penting dalam mengurangi polusi udara dan meningkatkan kualitas udara di Kota Pontianak.

2. Metodologi

Pelaksanaan penelitian dimulai pada bulan November hingga Desember 2021. Penelitian dilaksanakan di Kota Pontianak. Data – data yang diperlukan pada penelitian ini meliputi data primer dan data sekunder, data primer yang dibutuhkan yaitu data rata – rata jarak tempuh kendaraan bermotor dan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor sedangkan untuk data sekunder meliputi data jumlah kendaraan terdaftar di Kota Pontianak yang bersumber dari Badan Pendapatan Daerah (BAPENDA) Provinsi Kalimantan Barat. Adapun jenis parameter yang diinventarisasikan yaitu CO, NO_x, SO₂ dan PM₁₀ dengan jenis kendaraan yaitu sepeda motor, mobil penumpang, sedan, pikap, dan truk.

2.1. Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data primer berupa survei odometer dan konsumsi bahan bakar. Adapun teknik pengumpulan data pada survei odometer dan konsumsi bahan bakar yaitu melalui kuisisioner. Jumlah sampel yaitu sebanyak 467 unit kendaraan; sepeda motor sebanyak 326 unit, mobil penumpang 48 unit; sedan 30 unit; pikap 30 unit; dan truk 30 unit.

2.2. Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan melakukan perhitungan VKT Total, perhitungan total konsumsi bahan bakar, dan perhitungan beban emisi.

1. Perhitungan VKT Total

Data jarak tempuh kendaraan yang didapat melalui kuisisioner selanjutnya diolah untuk mendapatkan jarak tempuh per tahun dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel 2019* dengan memperhatikan usia kendaraan dan pemakaian kendaraan dalam kota. Berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (2013) perhitungan VKT Total dihitung dengan cara bacaan odometer kendaraan akan dibagi dengan usia kendaraan kemudian dikalikan dengan % pemakaian kendaraan di dalam kota seperti persamaan di bawah ini (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013):

$$M = \frac{O}{Va} \times \% Vu \quad (1)$$

Keterangan:

M : Jarak tempuh kendaraan (km/tahun)

O : Bacaan odometer (km)
 Va : Usia kendaraan (tahun)
 $\% Vu$: Persentase pemakaian kendaraan di dalam kota (100%, 90%, 70%, 50%, 25%)

Selanjutnya, nilai jarak tempuh kendaraan dirata-ratakan pada tiap jenis kendaraan sehingga didapatkan nilai VKT Kendaraan bermotor jenis b dan dapat digunakan untuk menghitung VKT Total tiap jenis kendaraan dengan persamaan berikut (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013):

$$VKT Tb = VKTb \times Nb \quad (2)$$

Keterangan:

$VKT Tb$: VKT Total jenis kendaraan bermotor jenis b (km/tahun)
 $VKTb$: VKT Kendaraan bermotor jenis b (km)
 Nb : Jumlah kendaraan bermotor jenis b

- Perhitungan Total Konsumsi Bahan Bakar
 Seluruh data pemakaian bahan bakar mingguan yang didapat melalui kuesioner selanjutnya ditotalkan dan diolah untuk mendapatkan konsumsi bahan bakar per tahun dengan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel 2019* dan dengan menggunakan persamaan berikut ini (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013):

$$Fc, b = \frac{Fc, b w}{1000} \times 52 \text{ minggu} \quad (3)$$

Keterangan:

Fc, b : Konsumsi bahan bakar jenis b (KL/Tahun)
 $Fc, b w$: Konsumsi bahan bakar jenis b per minggu (L/minggu)

Selanjutnya, dapat diakumulasikan total konsumsi bahan bakar dari seluruh kendaraan dengan persamaan berikut (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013) :

$$Fc, b Total = Fc, b \times Nb \quad (4)$$

Keterangan:

$Fc, b Total$: Total konsumsi bahan bakar jenis b per tahun (KL/Tahun)
 Fc, b : Konsumsi bahan bakar jenis b (KL/Tahun)
 Nb : Jumlah kendaraan bermotor jenis bahan bakar b

- Perhitungan Beban Emisi
 Setelah diperoleh nilai VKT Total dan Total Konsumsi Bahan Bakar dapat dihitung beban emisi berbasis VKT dan berbasis konsumsi bahan bakar. Untuk perhitungan beban emisi berbasis VKT menggunakan faktor emisi yang terdapat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1 Faktor emisi kendaraan bermotor di Indonesia

Kategori	CO (g/km)	NO _x (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	SO ₂ (g/km)
Sepeda Motor	14	0.29	0.24	0.008
Mobil penumpang	32.4	2.3	0.12	0.11
Bis	11	11.9	1.4	0.93
Truk	8.4	17.7	1.4	0.82
Pikap	31.8	2	0.026	0.13
Sedan	33.8	1.9	0.004	0.023

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12/2010
 Kemudian menggunakan persamaan di berikut ini (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013):

$$E a, b = VKT Tb \times \frac{FE}{10^6} \quad (5)$$

Keterangan:

$E a, b$: Beban emisi pencemar a dari jenis kendaraan b (ton/tahun)
 $VKT Tb$: VKT Total jenis kendaraan bermotor jenis b (km/tahun)
 FE : Faktor emisi dari setiap parameter (g/km)
 10^6 : Konversi gram ke ton

Selanjutnya nilai beban emisi berbasis konsumsi bahan bakar dihitung menggunakan faktor emisi yang terdapat pada Tabel 2 berikut ini

Tabel 2 Faktor emisi berbasis bahan bakar

Pencemar	Bensin	Solar
CO (g/kg)	497.7	7.4
NO _x (g/kg)	6.64	14.91
PM (g/kg)	2.20	1.52

Sumber: CORINAIR (2009)

Kemudian perhitungan dilakukan dengan persamaan berikut (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan):

$$E a, b = \frac{FE \times \rho b}{10^3} \times Fc, b Total \quad (6)$$

Keterangan:

$E a, b$: Beban emisi pencemar a dari jenis bahan bakar b (ton/tahun)
 FE : Faktor emisi pencemar tertentu menurut jenis bahan bakar (g/kg)
 10^3 : Konversi kg ke ton
 ρb : Densitas bahan bakar jenis b (kg/L)
 $Fc, b Total$: Total konsumsi bahan bakar jenis b per tahun (KL/Tahun)

Sedangkan untuk parameter SO₂ diestimasi dengan asumsi bahwa semua sulfur dalam bahan bakar berubah secara sempurna menjadi SO₂ dengan menggunakan rumus (CORINAIR, 2009):

$$E = \frac{2 \times k \times FC \times Nb}{10^6} \quad (7)$$

Keterangan:

- E : Beban emisi SO₂ dari jenis kendaraan b
- k : Berat kandungan sulfur terkait dalam bahan bakar jenis b (g/g bahan bakar)
- FC : Konsumsi bahan bakar jenis b (g)
- Nb : Jumlah kendaraan bahan bakar jenis b

10⁶ : Konversi gram ke ton

Adapun nilai dari kandungan sulfur tipikal dalam bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Kandungan Sulfur Tipikal dalam Bahan Bakar (1 ppm = 10⁻⁶ g/g bahan bakar)

Jenis Bahan Bakar	1996 Base	BBM 2000	BBM 2005	BBM 2009
	Fuel (Market Average)			
Bensin	165	130	40	40
Solar	400	300	40	8

Sumber: Sutrisno, Ana Megawati dkk (2016)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Beban Emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀

Perhitungan beban emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ dilakukan dengan dua pendekatan, yaitu berbasis VKT (*Vehicle Kilometers Travelled*) dan berbasis konsumsi bahan bakar. Pada perhitungan beban emisi berbasis VKT komponen yang diperhatikan diantaranya rerata panjang perjalanan kendaraan bermotor dan faktor emisi yang digunakan yaitu yang dikeluarkan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, sementara pada perhitungan berbasis konsumsi bahan bakar yang diperhatikan yaitu total konsumsi bahan bakar dari kendaraan bermotor dan faktor emisi yang digunakan yaitu yang dikeluarkan oleh CORINAIR. Penelitian dilakukan dalam kurun waktu 1 bulan 16 hari di enam kecamatan Kota Pontianak yaitu Pontianak Kota, Pontianak Barat, Pontianak Selatan, Pontianak Tenggara, Pontianak Timur, dan Pontianak Utara dengan tujuan untuk mengumpulkan data primer berupa data odometer kendaraan dan konsumsi bahan bakar kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor yang dijadikan sampel pada penelitian ini berupa 467 kendaraan; sepeda motor 326 unit kendaraan, mobil penumpang 48 unit kendaraan, sedan 30 unit kendaraan, pikap 30 unit kendaraan, dan truk 30 unit kendaraan. Data primer yang diambil pada penelitian yaitu data odometer kendaraan dan konsumsi bahan bakar dari tiap jenis kendaraan dengan cara survei berupa pengisian kuesioner yang disertai dengan wawancara.

3.2.1. Beban Emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ Berbasis VKT

Perhitungan beban emisi dengan pendekatan VKT (*Vehicle Kilometers Travelled*) dilakukan dengan mengalikan masing-masing nilai VKT kendaraan dengan faktor emisi, faktor emisi merupakan nilai yang merepresentasikan rata-rata jumlah pencemar yang dihasilkan oleh suatu sumber. Adapun faktor emisi yang digunakan pada perhitungan beban emisi

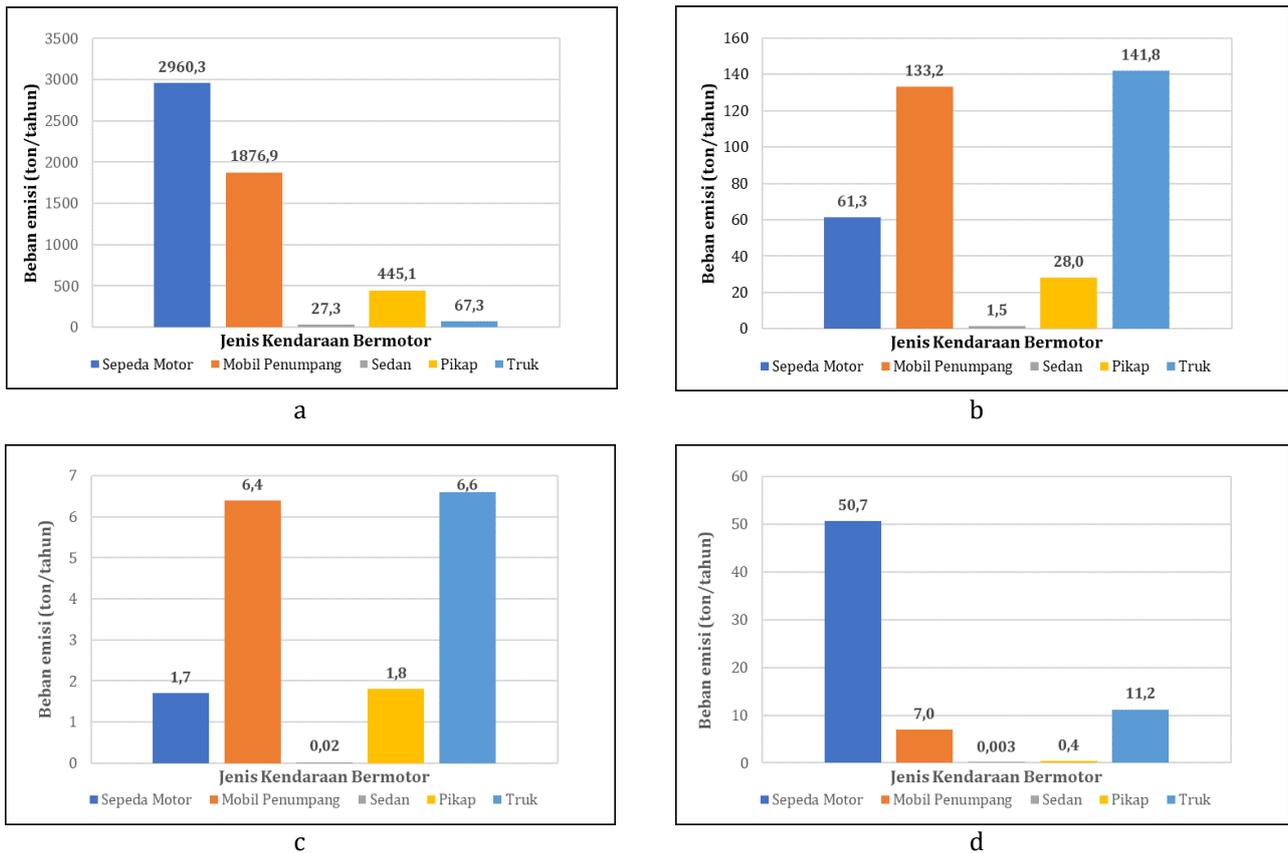
berbasis VKT yaitu faktor emisi yang bersumber dari ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2020 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah Perkotaan, hasil akhir dari perhitungan yaitu beban emisi dengan satuan ton/tahun.

Berdasarkan hasil perhitungan beban emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ berbasis VKT dapat disajikan grafik pada Gambar 1. Adapun yang menyebabkan sepeda motor sebagai penyumbang emisi CO terbesar yaitu sepeda motor diketahui sebagai jenis kendaraan terbanyak di Kota Pontianak. Kemudahan penggunaan dan harga sepeda motor yang murah menjadikan sepeda motor sebagai alat transportasi utama untuk bepergian, dengan jumlah sepeda motor yang terus bertambah setiap tahun yang berperan besar dalam kontribusinya terhadap emisi, salah satunya CO. Menurut Lupita (2013), konsentrasi emisi karbon monoksida (CO) akan meningkat seiring dengan bertambahnya panjang perjalanan kendaraan sepeda motor. Dalam penelitian ini, variasi usia sepeda motor yang digunakan sebagai sampel penelitian berkisar antara 1 hingga 13 tahun.

Hal ini menunjukkan bahwa tiap kendaraan memiliki kemampuan yang berbeda-beda dalam menghasilkan emisi CO. Tingginya nilai CO dapat disebabkan oleh pembakaran yang tidak sempurna karena kurangnya perbandingan antara udara dan bensin. Menurut Arafah (2013), karakteristik sepeda motor memiliki peran penting dalam mempengaruhi emisi yang dihasilkan. Usia sepeda motor yang semakin tua dapat meningkatkan konsentrasi emisi karena komponen mesin yang sudah banyak mengalami keausan dapat mengganggu proses pembakaran bahan bakar. Selain itu, kapasitas ukuran mesin dan jarak tempuh perjalanan juga memengaruhi emisi yang dihasilkan. Semakin besar kapasitas mesin dan semakin jauh jarak tempuh yang ditempuh, maka semakin tinggi konsentrasi emisi yang dihasilkan. Oleh karena itu, memilih sepeda motor yang tepat dengan memperhatikan karakteristiknya dapat membantu dalam mengurangi emisi yang dihasilkan.

Hal yang dapat menyebabkan tingginya emisi yang dihasilkan oleh NO_x adalah bahan bakar yang digunakan oleh truk yaitu solar, NO_x merupakan salah satu parameter utama yang dihasilkan oleh kendaraan diesel. Sehingga faktor emisi NO_x untuk truk lebih besar dari jenis kendaraan lainnya, yaitu sebesar 17.7 g/km, sementara untuk kendaraan bermotor dengan nilai NO_x paling kecil yaitu sedan hanya memiliki nilai faktor emisi sebesar 1.9 g/km. Faktor emisi ini menyebabkan beban emisi yang dihasilkan truk menjadi paling besar, sehingga walaupun jumlahnya kendaraannya kecil tetapi beban pencemar yang diemisikan menjadi besar.

Diketahui bahwa truk memiliki faktor emisi SO₂ yang paling tinggi dibandingkan kendaraan bermotor lainnya, penggunaan bahan bakar solar menjadi salah satu faktor yang menyebabkan nilai faktor emisi truk untuk SO₂ besar. Sumber utama pencemaran SO₂ di udara berasal dari pembakaran bahan bakar yang



Gambar 1 Grafik beban emisi (a) CO, (b) NO_x, (c) SO₂, dan(d) PM₁₀

mengandung sulfur di dalam mesin kendaraan. Kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin pada umumnya menghasilkan gas SO₂ dalam jumlah kecil. SO₂ juga berasal dari bahan bakar fosil yang berasal dari pembangkit listrik (73%) dan kegiatan industri lainnya berupa industri penyulingan minyak, industri gula dan lain sebagainya (20%) (U.S. Environmental Protection Agency, 2010 dalam Lingga, 2014; Winarno, 2014; Putri, 2017). Sedangkan menurut Suhadi (2008) kandungan sulfur dalam solar (0.2156 %) lebih besar dari bensin (0.015 %) dan berat jenis bahan bakar solar (838 g/l) lebih besar dari bensin (735 g/l), kondisi inilah yang memengaruhi nilai faktor emisi.

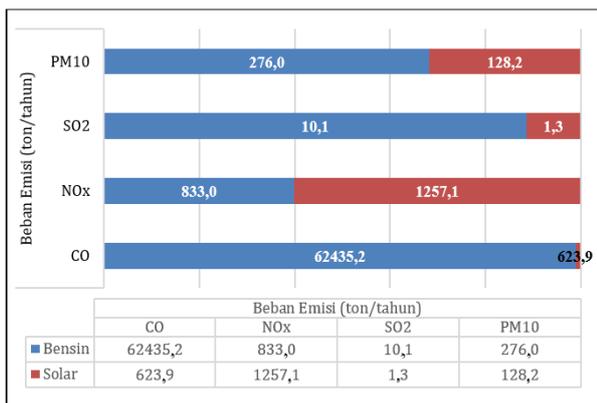
Truk memiliki faktor emisi PM₁₀ yang paling tinggi dibandingkan kendaraan bermotor lainnya, sementara sepeda motor merupakan kendaraan yang paling mendominasi dalam menghasilkan PM₁₀ karena selain volume kendaraannya yang tinggi, faktor emisi untuk sepeda motor adalah 0.24 gram/km sedangkan untuk truk walaupun volumenya sedikit namun faktor emisinya lebih tinggi yaitu 1.4 gram/km.

3.2.2. Beban Emisi Berbasis Konsumsi Bahan Bakar

Data konsumsi bahan bakar yang telah didapatkan dibagi menjadi dua, yaitu kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin dan kendaraan yang menggunakan bahan bakar solar. Menurut

Muziansyah dkk (2015), jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin. Secara visual selalu terlihat asap dari knalpot kendaraan bermotor dengan bahan bakar solar, yang umumnya tidak terlihat pada kendaraan bermotor dengan bahan bakar bensin. Beban emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ tiap jenis bahan bakar kemudian dapat dihitung, hasil perhitungan dapat divisualisasikan menjadi diagram pada Gambar 2.

Untuk parameter CO, SO₂ dan PM₁₀ jenis kendaraan bensin menghasilkan beban emisi yang lebih besar dibandingkan solar yaitu untuk CO jenis bahan bakar bensin menghasilkan sebesar 62435.2 ton/tahun sementara solar sebesar 623.9 ton/tahun, beban emisi SO₂ dari kendaraan berbahan bakar bensin yaitu sebesar 10.1 ton/tahun, sementara PM₁₀ yang dihasilkan oleh kendaraan dengan jenis bahan bakar bensin yaitu sebesar 276.0 ton/tahun dan kendaraan dengan jenis bahan bakar solar sebesar 128.2 ton/tahun. Berdasarkan perhitungan, diketahui untuk jenis kendaraan CO, NO_x, dan PM₁₀ jenis bahan bakar bensin memiliki nilai beban emisi yang lebih besar dibandingkan solar, hal ini dapat disebabkan oleh kendaraan yang dijadikan sampel sebagian besar merupakan kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin yaitu 421 kendaraan bermotor, sementara kendaraan yang menggunakan bahan bakar solar yaitu 43 kendaraan bermotor.



Gambar 2 Diagram beban emisi berbasis konsumsi bahan bakar

Selain itu, faktor emisi CO, NO_x, dan PM₁₀ untuk kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin lebih tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan solar. Sementara untuk parameter SO₂ beban emisi yang dihasilkan oleh kendaraan yang menggunakan bahan bakar solar lebih tinggi dibandingkan dengan kendaraan yang menggunakan bahan bakar bensin, hal ini dapat disebabkan oleh faktor emisi SO₂ untuk kendaraan yang berbahan bakar solar yang jauh lebih tinggi dibandingkan bensin. Maka dapat disimpulkan faktor jumlah kendaraan, konsumsi bahan bakar, dan besar faktor emisi memengaruhi hasil perhitungan beban emisi.

3.2. Beban Emisi Berbasis VKT dan Konsumsi Bahan Bakar

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan dua pendekatan yaitu VKT dan konsumsi bahan bakar untuk parameter CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ hasilnya adalah perhitungan dengan pendekatan konsumsi bahan bakar memiliki nilai beban emisi yang lebih tinggi (kecuali untuk parameter SO₂) dibandingkan dengan pendekatan VKT. Perbedaan hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Beban emisi pendekatan VKT dan Konsumsi Bahan Bakar

Parameter	Beban Emisi (ton/tahun)	
	VKT	Konsumsi Bahan Bakar
CO	5376.9	63059.1
NO _x	365.9	2090.1
SO ₂	16.5	11.3
PM ₁₀	69.3	404.2

Sumber: Analisis Data (2022)

Hal yang dapat menyebabkan perhitungan beban emisi dengan pendekatan konsumsi bahan bakar lebih tinggi dibandingkan dengan pendekatan VKT yaitu faktor emisi. Pada perhitungan dengan pendekatan VKT, faktor emisi yang digunakan menggunakan regulasi nasional yaitu berdasarkan Kementerian Lingkungan Hidup Tahun 2012,

sementara faktor emisi yang digunakan untuk perhitungan pendekatan konsumsi bahan bakar yaitu menggunakan regulasi internasional yaitu CORINAIR. Perhitungan dengan pendekatan VKT lebih sesuai dengan kondisi kendaraan dan kondisi perjalanan yang ada di Indonesia, sementara untuk pendekatan konsumsi bahan bakar kurang sesuai karena umumnya kondisi kendaraan dan jalan di daerah Eropa berbeda dibandingkan dengan di Indonesia (Sutrisno, 2016). Selain itu, perbedaan cara analisis data yang dilakukan pada kedua pendekatan juga menjadi faktor yang menyebabkan perbedaan hasil, untuk analisis data dengan pendekatan VKT nilai seluruh VKT hasil survei odometer dirata-ratakan kemudian dikalikan dengan faktor emisi dan seluruh jumlah kendaraan populasi. Sementara untuk pendekatan konsumsi bahan bakar jumlah kendaraan yang digunakan adalah jumlah kendaraan yang dijadikan sampel, bukan jumlah seluruh kendaraan populasi. Meskipun penelitian menggunakan sampel kendaraan yang terbatas, namun penelitian ini masih memiliki validitas karena menggunakan data primer yang diperoleh dari survei dan faktor emisi dari peraturan resmi Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan serta CORINAIR. Namun, keterbatasan dari penelitian ini adalah belum dilakukan analisis lebih lanjut terhadap faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi beban emisi, seperti usia kendaraan, kondisi jalan, dan perilaku pengemudi.

3.3. Prediksi Beban Emisi di Kota Pontianak

Inventarisasi emisi tidak hanya berguna untuk menentukan beban emisi suatu wilayah, tetapi juga dapat digunakan untuk memprediksi beban emisi total untuk beberapa tahun yang akan datang (Purwanto, 2015). Jumlah kendaraan bermotor yang sebagian besar meningkat mengakibatkan kebutuhan akan pemakaian bahan bakar juga semakin meningkat, khususnya solar dan bensin. Penggunaan bahan bakar yang meningkat tentunya akan menyebabkan emisi gas buang yang banyak pula. Pertambahan volume lalu lintas juga akan mengakibatkan bertambahnya emisi polusi udara sehingga dapat dianggap menurunkan kualitas udara. Meskipun perkembangan teknologi terbaru secara signifikan dapat mengurangi jumlah emisi, namun tingkat kenaikan dari jumlah kendaraan bermotor yang cukup tinggi dan jauhnya jarak perjalanan menyebabkan hal tersebut tidak berguna lagi. Peningkatan jumlah kendaraan sebanding dengan peningkatan jumlah emisi yang dihasilkan (Muziansyah dkk., 2015). Untuk memprediksi jumlah kendaraan pada tahun 2022 - 2025, dilakukan analisis trendline. Data yang digunakan dalam analisis ini adalah jumlah kendaraan dari tahun 2020 dan 2021. Dengan memanfaatkan trendline, dapat dilakukan prediksi jumlah kendaraan pada tahun-tahun berikutnya.

Proses analisis trendline ini dilakukan dengan memeriksa data historis jumlah kendaraan dari

tahun ke tahun untuk mengetahui pola perubahan jumlah kendaraan yang terjadi. Dengan begitu, diharapkan hasil prediksi jumlah kendaraan dapat membantu dalam perencanaan pengurangan emisi di masa depan. Setelah itu, prediksi beban emisi pada tahun 2021-2025 dapat dilakukan berdasarkan prediksi jumlah kendaraan di Kota Pontianak. Data beban emisi yang diprediksi menggunakan hasil perhitungan beban emisi berbasis VKT pada tahun 2020. Hal ini karena perhitungan beban emisi berbasis VKT lebih sesuai dengan kondisi kendaraan dan perjalanan di Indonesia, dengan mempertimbangkan faktor emisi yang dikeluarkan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12 Tahun 2010. Prediksi beban emisi tahun 2021 - 2025 dapat dilihat pada **Tabel 5**.

Tabel 5 Prediksi beban emisi tahun 2021 - 2025

Parameter	Beban Emisi (ton/tahun)					
	2020	2021	2022	2023	2024	2025
CO	5.376,9	5.877,7	5.938,0	5.998,4	6.058,8	6.119,2
NO _x	365,9	427,3	456,1	485,0	513,8	542,7
SO ₂	16,5	19,2	20,7	22,1	23,5	24,9
PM ₁₀	69,3	85,8	88,2	90,5	92,8	95,1

Sumber: Analisis Data (2022)

Prediksi yang dilakukan baik untuk kendaraan bermotor maupun beban emisi dilakukan dengan asumsi tahun 2021 - 2025 memiliki kondisi yang sama dengan data dasar pada saat penelitian dilakukan atau tidak memperhatikan perubahan atau perbaikan yang dapat disebabkan oleh faktor lain dimasa yang akan datang seperti perubahan kondisi perekonomian penduduk yang dapat menyebabkan perubahan kebutuhan kendaraan bermotor, perubahan kebijakan pengendalian pencemaran dan sebagainya. Menurut Herdianto (2013), prediksi tidak harus memberikan jawaban secara pasti mengenai kejadian yang akan terjadi, melainkan berusaha untuk mencari jawaban sedekat mungkin dengan apa yang akan terjadi. Menurut Sihombing (2008) perlu dilakukan pembatasan jumlah kendaraan khususnya kendaraan pribadi. Selain itu menurut Boediningsih (2011) sistem transportasi yang baik dapat meminimalkan polusi udara. Sistem transportasi yang baik mengurangi kepadatan lalu lintas, mengurangi polusi dari lalu lintas. Selain itu menurut Boediningsih (2011) tersedianya sistem transportasi yang baik dapat meminimalisir pencemaran udara. Sistem transportasi yang baik akan mengurangi kepadatan lalu lintas sehingga dapat mengurangi pencemaran akibat transportasi.

3.4. Penghasil Utama Emisi Dari Transportasi Darat

Kontributor utama emisi CO dan PM₁₀ di Kota Pontianak merupakan sepeda motor, sementara untuk emisi NO_x dan SO₂ yaitu truk. Berdasarkan

perhitungan juga dapat disimpulkan bahwa penghasil beban emisi CO, NO_x, SO₂, dan PM₁₀ terkecil yaitu jenis kendaraan sedan. Adapun faktor utama yang menjadi penyebab hal ini yaitu jumlah sedan terdaftar yang sangat sedikit di Kota Pontianak, yaitu sebanyak 79 kendaraan dari total 31944 kendaraan (hanya sebanyak 0.025%). Kurangnya minat masyarakat Kota Pontianak terhadap sedan dapat disebabkan oleh; pertimbangan harga, harga sedan dinilai kurang terjangkau selain pajak sedan juga tinggi, selain itu kebutuhan masyarakat yang umumnya lebih membutuhkan mobil keluarga, sedan memiliki keterbatasan utilitas karena hanya muat hingga empat orang tapi memiliki dimensi yang panjang namun bagasi yang kecil sehingga kurang sesuai digunakan untuk berpergian dengan membawa banyak orang dan barang, selain itu kondisi jalan yang tidak memungkinkan dan kurang ramah terhadap mobil sedan karena tidak sesuai dengan standar sedan, untuk jalan yang rusak dan tidak rata mobil sedan lebih cenderung mudah terbentur oleh lubang dan dihantam oleh batu-batu kecil. Banjir yang sering melanda di Kota Pontianak juga dapat menjadi salah satu faktor yang menyebabkan masyarakat lebih memilih mobil jenis lain dibandingkan sedan yang memiliki *ground clearance* yang cukup rendah. Sepeda motor paling banyak diminati dapat dikarenakan sepeda motor relatif lebih efisien dan fleksibel sehingga tidak mudah terjebak dalam kemacetan. Selain itu, harganya lebih murah dibandingkan kendaraan roda empat dan bahan bakar yang digunakan lebih murah sehingga lebih terjangkau secara ekonomi, selain itu kemudahan pembelian kendaraan bermotor dengan sistem kredit juga dapat menjadi salah satu faktor pemicu tingginya jumlah kendaraan bermotor. Menurut Herdiana (2016), salah satu alasan mengapa sepeda motor menjadi transportasi yang paling diminati adalah karena penggunaannya yang praktis dan efisien. Sepeda motor dapat digunakan sebagai alternatif untuk menghemat waktu di tengah kemacetan yang sering terjadi di kota-kota di Indonesia. Selain itu, sepeda motor juga lebih irit bahan bakar sehingga dapat menghemat biaya penggunaannya. Karena transportasi massal yang disediakan oleh pemerintah tidak dapat memenuhi permintaan masyarakat terhadap transportasi, maka masyarakat memilih sendiri transportasi yang mereka gunakan untuk keperluan sehari-hari.

Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia, komposisi dari kandungan senyawa kimianya tergantung dari kondisi mengemudi, jenis mesin, alat pengendali emisi bahan bakar, suhu operasi dan faktor lain yang semuanya ini membuat pola emisi menjadi rumit. Jenis bahan bakar pencemar yang dikeluarkan oleh mesin dengan bahan bakar bensin maupun bahan bakar solar sebenarnya sama saja, hanya berbeda proporsinya karena perbedaan cara operasi mesin. Menurut

Fardani (2014) tingginya emisi kendaraan bermotor disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya:

1. Sistem kontrol emisi kendaraan bermotor tidak diterapkan;
2. Pelaksanaan Pengujian Kendaraan Bermotor (PKB) berkala untuk kendaraan umum tidak berjalan efektif; Pemeriksaan emisi kendaraan di jalan sebagai bagian dari penegakan hukum (terkait dengan pemenuhan persyaratan kelaikan jalan) belum diterapkan;
3. Kendaraan bermotor tidak diperlengkapi dengan teknologi pereduksi emisi seperti katalis karena tidak tersedianya bahan bakar yang sesuai untuk penggunaan katalis tersebut;
4. Kualitas BBM yang rendah;
5. Penggunaan kendaraan berteknologi rendah emisi yang menggunakan bahan bakar alternatif masih belum memadai;
6. Pemahaman tentang manfaat perawatan kendaraan secara berkala yang dapat menurunkan emisi dan meningkatkan efisiensi penggunaan bahan bakar masih kurang.

Menurut Nurdjanah (2015), terdapat beberapa upaya yang dapat dilakukan untuk mengurangi emisi kendaraan, yaitu melibatkan produsen dan masyarakat. Beberapa upaya tersebut meliputi: meningkatkan penyediaan angkutan umum massal dengan bahan bakar yang ramah lingkungan untuk mengurangi penggunaan kendaraan pribadi, mendorong penggunaan kendaraan yang ramah lingkungan seperti sepeda atau sepeda digital terutama untuk mobilitas jarak dekat, menyediakan park and ride untuk kendaraan non sepeda motor dan mengurangi park and ride untuk kendaraan bermotor, melengkapi trotoar dan park and ride yang ada atau akan dibangun dengan taman hijau yang mampu menyerap CO₂, dan sosialisasi untuk melakukan perawatan dan uji emisi kendaraan secara berkala agar pembakaran mesin kendaraan tidak menimbulkan emisi yang tinggi. Upaya-upaya tersebut juga sejalan dengan Perpres 61 Tahun 2011 tentang RAN-GRK bidang transportasi darat yang menekankan pentingnya pelatihan smart driving, pembangunan intelligent transport system (ITS), pengendalian dampak lalu lintas, manajemen parkir, congestion charging, reformasi sistem transit melalui operasional bus rapid transit (BRT), peremajaan angkutan umum, pemasangan converter kit, pembangunan jalur sepeda motor, car free day, pembangunan kawasan non-motorized yang harus dilakukan secara berkelanjutan dan dipantau secara berkala. Menurut Gorahe (2015), emisi adalah faktor dominan yang berpengaruh pada konsentrasi pencemaran udara di suatu lokasi. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian emisi menjadi sangat penting dalam upaya menjaga kualitas udara yang baik di suatu wilayah. Untuk itu, perlu dilakukan tindakan preventif yang efektif dalam pengurangan emisi, seperti penggunaan bahan bakar yang lebih bersih dan teknologi yang lebih ramah

lingkungan pada kendaraan, serta pengaturan lalu lintas yang lebih baik.

Penelitian terdahulu mengenai beban emisi pencemar udara dan gas rumah kaca di sektor transportasi darat telah dilakukan. Kajian Beban Emisi Pencemar Udara (TSP, NO_x, SO₂, HC, CO) dan Gas Rumah Kaca (CO₂, CH₄, N₂O) Sektor Transportasi Darat Kota Yogyakarta Dengan Metode TIER 1 dan TIER 2 (Tiarani, Sutrisno, & Huboyo, 2016) menemukan bahwa beban emisi tertinggi untuk NO_x dihasilkan oleh kendaraan truk, SO₂ oleh kendaraan bus dan truk, HC oleh kendaraan sepeda motor, CO oleh kendaraan sepeda motor, TSP oleh kendaraan sepeda motor, dan CO₂e oleh kendaraan mobil penumpang dan sepeda motor. Kajian Prediksi Beban Emisi Pencemar Udara (TSP, NO_x, SO₂, HC dan CO) dan Gas Rumah Kaca (CO₂, CH₄ dan N₂O) Sektor Transportasi Darat di Kota Surakarta dengan Metode Top Down dan Bottom Up (Sutrisno, Huboyo, & Sutrisno, 2016) menunjukkan bahwa hasil perhitungan beban emisi dengan metode Bottom Up lebih besar dari metode Top Down untuk semua jenis parameter, karena metode Bottom Up tidak mempertimbangkan lokasi pengisian BBM yang kemungkinan besar dilakukan di luar wilayah kota. Inventarisasi Emisi Pencemar Kriteria dan Gas Rumah Kaca dari Sektor Transportasi On-Road di Kota Bandung menggunakan Model International Vehicle Emissions (IVE) (Dewanto, Dirgawati, & Permadi, 2021) menemukan bahwa emisi total kendaraan bermotor di Kota Bandung paling dominan berasal dari CO₂, diikuti oleh CO dan NO_x, sedangkan parameter emisi lainnya seperti PM, SO_x, CH₄, dan N₂O hanya berkontribusi <0,5% dari total emisi yang dihasilkan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian mengenai Inventarisasi Emisi dari Sektor Transportasi Darat di Kota Pontianak, dapat disimpulkan bahwa kendaraan bermotor berperan penting dalam menghasilkan emisi berbahaya, terutama sepeda motor dan truk. Penghitungan beban emisi berbasis VKT lebih sesuai dengan kondisi kendaraan dan kondisi perjalanan di Indonesia, dan menunjukkan bahwa sepeda motor menjadi penghasil emisi CO dan PM₁₀ terbesar, sementara truk menjadi penghasil emisi NO_x dan SO₂ terbesar di Kota Pontianak. Sedangkan penghitungan beban emisi berbasis konsumsi bahan bakar menggunakan faktor emisi dari regulasi internasional CORINAIR menunjukkan bahwa kendaraan bermotor berbahan bakar bensin menjadi penghasil emisi CO dan PM₁₀ terbesar, sedangkan kendaraan berbahan bakar solar menjadi penghasil emisi NO_x terbesar, dan kendaraan berbahan bakar bensin menjadi penghasil emisi SO₂ terbesar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sektor transportasi darat di kota Pontianak telah memberikan kontribusi yang signifikan terhadap beban emisi pencemar udara di wilayah Pontianak. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya

yang telah dilakukan di kota lain di Indonesia, di mana transportasi darat menjadi salah satu penyebab utama dari polusi udara di perkotaan. Karena itu, diperlukan upaya yang lebih serius untuk mengurangi emisi dari kendaraan bermotor, seperti mempromosikan transportasi berkelanjutan dan memperkenalkan teknologi yang lebih ramah lingkungan. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kualitas bahan bakar dan kepadatan lalu lintas untuk memperoleh gambaran yang lebih lengkap mengenai kontribusi sektor transportasi terhadap emisi di Kota Pontianak.

DAFTAR PUSTAKA

- Air Quality Life Index. 2019. *Kualitas Udara Indonesia yang Memburuk dan Dampaknya terhadap Harapan Hidup*. Chicago: The University of Chicago.
- Andriani, Riski., Nurhasanah., dan Riza, A. 2019. *Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) di Kota Pontianak*. Pontianak: Prisma Fisika.
- Arafah., Muhammad., Mary, S., Sumarni, H. A., dan Isran, R. 2013. *Faktor-Faktor Berpengaruh Terhadap Uji Kegagalan Emisi Kendaraan Sepeda Motor Di Kota Makassar*. Surakarta : Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- BPS Kota Pontianak. 2021. *Pontianak Dalam Angka 2021*. Pemerintah Kota Pontianak.
- Boediningsih dan Widyawati. 2011. *Dampak Kepadatan Lalulintas Terhadap Polusi Udara Kota Surabaya*. Surabaya: Universitas Naretama.
- Corinair. 2009. *Atmospheric Emission Inventory Guidebook 3th Edition*. European Environment Agency.
- Dewanto., Billy, Y., Mila, D., dan Didin, A. P. 2021. *Inventarisasi Emisi Pencemar Kriteria dan Gas Rumah Kaca dari Sektor Transportasi On-Road di Kota Bandung menggunakan Model International Vehicle Emissions (IVE)*. *Reka Lingkungan*. No.2 | Vol. 9. Bandung : ITENAS
- Eymard., Laurence., Deplhy, R., Myrto, V., & Sebastian, P. 2019. *On The Spatial Representativeness of NO_x and PM₁₀ Monitoring Sites in Paris, France*. Prancis: Sorbonne Université.
- Fardani. 2014. *Analisis Besaran Emisi Kendaraantruk Dengan Menggunakan Program Ivem Pada Ruas Jalan Arteri Di Kota Makassar*.
- Gorahe dan Irwinsyah, M. 2015. *Pemodelan Hubungan Antara Arus Lalu Lintas Dan Polusi Udara (CO) (Studi kasus : Ruas jalan Sam Ratulangi depan Indo Meubel, ruas jalan Ahmad Yani depan Koni dan ruas jalan Piere Tendean samping patung pahlawan*. *Jurnal Sipil Statik* Vo. 3 No. 7
- Herdiana, A. F. 2016. *Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Permintaan Sepeda Motor di Kota Malang*. Malang: Universitas Brawijaya.
- Herdianto. 2013. *Prediksi Kerusakan Motor Induksi Menggunakan Metode Jaringan Saraf Tiruan Backpropagation*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Kementerian Lingkungan Hidup. 2013. *Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Pencemar Udara di Perkotaan*.
- Lupita, P. C. 2013. *Analisis Pengaruh Jarak Tempuh, Periode Servis, dan Umur Mesin terhadap Konsentrasi CO, HC, NO_x, dan CO₂ pada Kendaraan Tipe Sport (Studi Kasus: Yamaha Vixion)*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Muziansyah, D. 2015. "Model Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Aktivitas Transportasi (Studi Kasus: Terminal Pasar Bawah Ramayana Kota Bandar Lampung)". *JRSDD*. Vol 3, No. 1.
- Nurdjanah, N. 2015. *Emisi Co2 Akibat Kendaraan Bermotor Di Kota Denpasar Co2 Emissions From Vehicle In Denpasar*. Puslitbang Perhubungan Darat dan Perkeretaapian
- Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010. 2010. *Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah*. Kementrian Lingkungan Hidup: Jakarta.
- Purwanto, C.P. 2015. *Inventarisasi Emisis Bergerak di Jalan (On Road) Kota Denpasar*. Bali: Universitas Udayana.
- Putri, G. K. 2017. *Analisis Konsentrasi Pencemar SO₂ Dan NO₂ Dari Kegiatan Transportasi Dengan Pendekatan Model Delhi Finite Line Source (DLFS) (Studi Kasus: Jalan Gatot Subroto Kota Medan)*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Setyowati, N., Fitriangga, A., dan Jati, D. R. 2014. *Potensi Gangguan Kesehatan Polisi Lalu Lintas Akibat Karbon Monoksida (CO)*. Pontianak: *Jurnal Teknologi Lingkungan Lahan Basah* Vol. 2 No.1
- Sihombing, A. L. S. M. 2008. *Inventori Emisi Gas Rumah Kaca (CO₂ dan CH₄) dari Sektor Transportasi dengan Pendekatan Jarak Tempuh Kendaraan dan Konsumsi Bahan Bakar dalam Upaya Pengelolaan Kualitas Udara di Wilayah Kota dan Kabupaten Bandung*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- Suhadi, D. R. 2008. *Laporan Akhir Penyusunan Petunjuk Teknis Perkiraan Beban Pencemar Udara dari Kendaraan Bermotor di Indonesia*. Jakarta: Swisscontact.
- Sutrisno, Megawati, A., Haryono, S., dan Sutrisno, H. E. 2016. *Kajian Prediksi Beban Emisi Pencemar Udara (TSP, NO_x, SO₂, HC dan CO) dan Gas Rumah Kaca (CO₂, CH₄ dan N₂O) Sektor Transportasi Darat di KotaSurakarta dengan Metode Top Down dan Bottom Up*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Tiarani, V. L., Sutrisno, E., dan Huboyo, H. E. 2016. *Kajian Beban Emisi Pencemara Udara (TSP, NO_x, SO₂, HC, CO) dan Gas Rumah Kaca (CO₂, CH₄, N₂O) Sektor Transportasi Darat Kota Yogyakarta Dengan Metode TIER 1 dan TIER 2*. *Jurnal Teknik Lingkungan*, vol. 5, no. 1, 2016,pp. 1-10. Semarang: Universitas Diponegoro.