

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Monoksida (CO)

Gas buang kendaraan bermotor merupakan sumber utama bagi karbon monoksida di berbagai perkotaan. Data mengungkapkan bahwa 60% - 70% pencemaran udara di Indonesia disebabkan karena benda bergerak atau transportasi umum yang berbahan bakar solar terutama berasal dari Metromini. Formasi CO merupakan fungsi dari rasio kebutuhan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran di dalam ruang bakar mesin diesel. Percampuran yang baik antara udara dan bahan bakar terutama yang terjadi pada mesin-mesin yang menggunakan *Turbocharge* merupakan salah satu strategi untuk meminimalkan emisi CO. Karbon monoksida yang meningkat di berbagai perkotaan dapat mengakibatkan turunnya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi serta kerusakan otak. Karena itu strategi penurunan kadar karbon monoksida akan tergantung pada pengendalian emisi seperti penggunaan bahan katalis yang mengubah bahan karbon monoksida menjadi karbon dioksida dan penggunaan bahan bakar terbarukan yang rendah polusi bagi kendaraan bermotor (Simanjuntak, 2007).

a. Karakteristik Karbon Monoksida (CO)

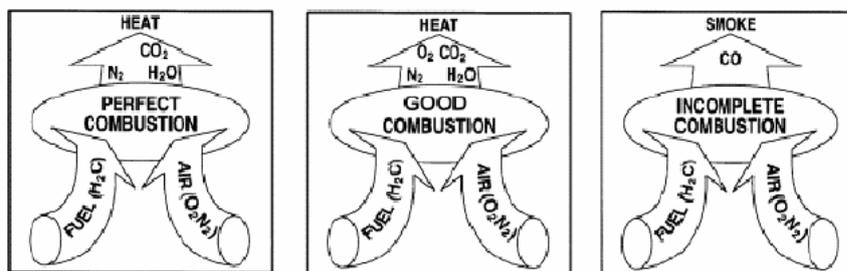
Salah satu bahan pencemar yang diemisikan oleh kendaraan bermotor dalam kegiatan transportasi adalah karbon monoksida (CO). CO adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, maupun berasa yang timbul akibat pembakaran tidak sempurna bahan bakar yang mengandung karbon atau oleh pembakaran dibawah tekanan dan temperatur tinggi seperti yang terjadi didalam mesin (*internal combustion engine*). Gas ini tergolong kategori mudah terbakar dan beracun (Putra, 2013). Menurut Inayah (2015), karbon monoksida yang terdapat di alam terbentuk dari salah satu proses sebagai berikut:

- a. Pembakaran tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon.
- b. Reaksi antara karbon dioksida dengan komponen yang mengandung karbon pada suhu tinggi.

- c. Pada suhu tinggi, karbon dioksida terurai kembali menjadi karbon monoksida dan oksigen.

b. Sumber Karbon Monoksida (CO)

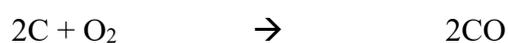
Secara umum sumber karbon monoksida terbagi dua, yaitu sumber alami dan sumber antropogenik. Secara alami CO dihasilkan dari aktivitas gunung berapi dan juga kebakaran hutan. Selain itu CO juga dihasilkan sebagai produk sampingan aktivitas manusia, diantaranya kendaraan bermotor. Konsentrasi CO di udara ambien merupakan konsentrasi tertinggi di kota-kota besar, dimana hampir semua polutan CO berasal dari kendaraan bermotor. Emisi CO umumnya meningkat saat terjadi kemacetan di jalan. Selain itu CO juga dihasilkan proses pembakaran bahan bakar, pembakaran kayu, pembakaran sampah serta aktivitas industri (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013). Menurut Rahmawati (2009), jumlah CO yang dihasilkan tergantung dari perbandingan bahan bakar dan udara serta tingkat pencampuran. Pada campuran yang ideal, emisi CO yang terbentuk akan sedikit. Berikut ini digambarkan proses pembakaran dalam mesin kendaraan pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Proses Pembakaran Mesin Kendaraan

Sumber: Rahmawati (2009)

Gambar 2.1 menunjukkan bahwa apabila terjadi pembakaran sempurna dalam mesin kendaraan, yang dihasilkan yaitu CO₂, H₂O, dan N₂ sebagai sisa pembakaran. Namun apabila pembakaran yang terjadi dalam mesin kendaraan tidak sempurna maka akan menghasilkan polutan CO dan juga asap sebagai sisa pembakaran. Menurut Wardhana (2004) pada pembakaran dengan nilai ER (*Equivalent Ratio*) > 1, bahan bakar yang digunakan lebih banyak dari udara. Hal ini memungkinkan terbentuknya gas CO seperti pada reaksi berikut.



Apabila jumlah udara (oksigen) cukup atau stoikiometris maka akan terjadi reaksi lanjutan, yaitu:



Reaksi pembentukan CO lebih cepat dari pada reaksi pembentukan CO₂, sehingga pada hasil akhir pembakaran masih mungkin terdapat gas CO. Apabila pencampuran bahan bakar dan udara tidak rata, maka masih ada bahan bakar (karbon) yang tidak bereaksi dengan oksigen dan keadaan ini menambah kemungkinan terbentuknya gas CO yang terjadi pada suhu tinggi dengan reaksi sebagai berikut (Wardhana, 2004).



Selain itu, pada reaksi pembakaran yang menghasilkan panas dengan suhu tinggi akan membantu terjadinya penguraian (disosiasi) gas CO₂ menjadi gas CO, seperti reaksi berikut.



Semakin tinggi suhu hasil pembakaran maka jumlah gas CO₂ yang terdisosiasi menjadi CO dan O akan semakin banyak.

c. Dampak Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida berbeda dari kebanyakan polutan lainnya dalam mempengaruhi efek kesehatan. Rata-rata kematian setiap tahun di Amerika Serikat diakibatkan oleh paparan tinggi dari konsentrasi CO. Sumber emisi CO sebagian besar berasal dari gedung dengan sistem pemanas yang tidak benar, sistem pembuangan kendaraan yang rusak, dan peralatan industri. Keracunan CO merupakan kasus kematian terbanyak akibat kebakaran perumahan (sekitar 4000 kematian per tahun), dan kebakaran tambang batu bara (sekitar 10 kematian per tahun). Jika seseorang tidak mati dari paparan tersebut, maka kemungkinan akan ada kerusakan kesehatan permanen. CO dapat menyebabkan korban jiwa akibat paparan jangka pendek (Nevers, 2000).

Karbon monoksida tergolong gas yang beracun dan mematikan. Gas yang tidak menyebabkan iritasi ini memasuki tubuh melalui pernafasan dan kemudian diserap ke dalam peredaran darah. Gas ini mampu mengikat hemoglobin yang berfungsi untuk mengangkut oksigen dalam darah kemudian membentuk *carboxyhemoglobin* (COHb). CO mampu mengikat hemoglobin

220 kali lebih kuat dibandingkan dengan daya ikat antara hemoglobin dan oksigen, sehingga menyebabkan berkurangnya kapasitas darah dalam mengangkut oksigen. Secara langsung hal ini akan menyebabkan pasokan oksigen ke seluruh tubuh menurun, sehingga melemahkan kontraksi jantung dan menurunkan volume darah yang didistribusikan. Hal ini kemudian akan mempengaruhi fungsi organ-organ tubuh seperti otak, hati, dan pusat saraf. 70% atau lebih COHb dalam darah akan menyebabkan kematian (Nevers, 2000).

2.2 Nitrogen Oksida (NO_x)

NO_x terdiri atas nitrogen oksida (*nitrogen oxide* – NO) dan nitrogen dioksida (*nitrogen dioxide* – NO₂). Mekanisme utama di dalam pembentukan NO₂ di atmosfer adalah oksidasi NO. NO_x merupakan pemicu (prekursor) terbentuknya ozon (O₃) dan hujan asam. NO_x juga dapat bereaksi dengan komponen lain di udara membentuk partikulat (*particulate matter* – PM). NO_x terbentuk ketika bahan bakar terbakar pada suhu tinggi. NO₂ adalah salah satu pencemar yang timbul akibat proses pembakaran. Umumnya spesies dari NO_x merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Tetapi, NO₂ menjadi pengecualian dimana keberadaannya di daerah perkotaan dapat dilihat sebagai lapisan kabut kecoklatan di langit (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013).

a. Karakteristik Nitrogen Oksida (NO_x)

Nitrogen monoksida merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau, sebaliknya nitrogen dioksida berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam dimana keberadaannya di daerah perkotaan dapat dilihat sebagai lapisan kabut kecoklatan di langit. Senyawa kimia nitrogen oksida dan nitrogen anorganik reaktif lainnya memiliki peranan penting dalam pembentukan berbagai pencemaran di udara seperti *photochemical smog*, hujan asam, dan penipisan lapisan ozon (Manahan, 2005).

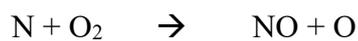
b. Sumber Nitrogen Oksida (NO_x)

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, (2013) sumber NO_x dapat dikategorikan ke dalam dua kelompok, yaitu:

a) NO Termal

NO termal adalah NO yang terbentuk melalui reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara pada proses dengan suhu yang tinggi. Proses pembakaran

selalu memproduksi NO dan NO₂, dengan komposisi NO umumnya lebih dari 90% total oksida nitrogen yang dihasilkan. Reaksi pembentukan NO pada suhu tinggi dijelaskan melalui mekanisme Zeldovich dimana molekul nitrogen (N₂) dan oksigen (O₂) terpisah menjadi atom tunggal dan kemudian terlibat dalam beberapa reaksi yang menghasilkan molekul NO sebagaimana reaksi di bawah ini:



Produksi NO ini akan maksimum pada kondisi temperatur tertinggi di dalam ruang pembakaran.

b) NO bahan bakar

NO bahan bakar adalah NO yang berasal dari kandungan nitrogen di dalam bahan bakar. Umumnya minyak bumi dan batu bara mengandung 0,5 – 1,5% nitrogen. Selama proses pembakaran, ikatan nitrogen yang terdapat dalam bahan bakar terlepas sebagai radikal bebas dan kemudian membentuk NO.

c. **Reaksi NO_x di Atmosfer**

Manahan (2005) menyebutkan bahwa reaksi yang terjadi secara kimiawi di udara dapat mengubah NO_x menjadi asam nitrat, garam nitrat anorganik, nitrat organik, dan *peroxyacetyl nitrate* (PAN). Sekalipun NO merupakan bentuk terutama yang dilepaskan oleh sumber NO_x ke atmosfer, konversi NO menjadi NO₂ terjadi relatif cepat pada atmosfer. Wardhana (2004) juga menyebutkan keberadaan NO_x di udara dapat dipengaruhi oleh sinar matahari yang mengikuti daur reaksi fotolitik NO₂ sebagai berikut.



Daur reaksi fotolitik nitrogen oksida diatas dapat terganggu apabila dalam udara terdapat HC (hidrokarbon), karena hidrokarbon akan bereaksi dengan O maupun O₂. Reaksi HC dengan O akan menghasilkan radikal bebas HC yang sangat reaktif. Radikal bebas HC akan menyerang NO menjadi NO₂ sehingga jumlah NO akan berkurang. Radikal bebas HC dapat juga bereaksi dengan HC lainnya dan menghasilkan senyawa-senyawa organik. Disamping itu radikal

bebas HC yang bereaksi dengan O₂ dan NO₂ akan menghasilkan PAN. Campuran O₃, CO, PAN dan senyawa-senyawa organik di udara disebut sebagai *photochemistry Smog* atau kabut foto kimia (Wardhana, 2004). Menurut Radytia (2011), nitrogen dioksida hilang dari atmosfer dalam bentuk asam nitrit, nitrat, atau nitrogen organik. Salah satu produknya yaitu asam nitrat yang merupakan penggabungan dinitrogen pentaoksida (N₂O₅) dengan air di udara. Reaksinya adalah sebagai berikut



d. Dampak Nitrogen Oksida (NO_x)

Manahan (2005) menyebutkan bahwa NO tidak lebih berbahaya bila dibandingkan dengan NO₂. Kehadiran NO dalam darah dapat meningkatkan hemoglobin dan mengurangi efisiensi transportasi oksigen. Sedangkan pemaparan akut NO₂ dapat menyebabkan bahaya serius pada kesehatan manusia. Pada pemaparan dengan konsentrasi 50 – 100 ppm selama 1 jam, NO₂ dapat menyebabkan peradangan pada jaringan paru-paru untuk periode 6 - 8 minggu. Pemaparan NO₂ pada level konsentrasi yang lebih tinggi mencapai 150 - 200 ppm dapat menyebabkan timbulnya penyakit *bronchitis fibrosa obliterans*, sebuah kondisi yang fatal dalam 3 - 5 minggu pemaparan. Pada konsentrasi mencapai 500 ppm dalam 2 - 10 hari pemaparan dapat menyebabkan kematian (Radytia, 2011). Udara yang telah tercemar oleh gas nitrogen dioksida tidak hanya berbahaya bagi manusia dan hewan tetapi juga bagi tanaman antara lain timbulnya bintik-bintik pada permukaan daun, dan bila konsentrasi tinggi menyebabkan nekrosis atau kerusakan jaringan daun sehingga tidak dapat berfungsi sebagai tempat terbentuknya karbohidrat melalui fotosintesis (Wardhana, 2004). Selain itu zat oksida ini jika bereaksi dengan asap bensin yang tidak terbakar dengan sempurna dan zat hidrokarbon lain akan membentuk ozon rendah atau smog kabut berwarna coklat kemerahan yang menyelimuti beberapa kota besar dunia.

2.3 Sulfur Dioksida (SO₂)

SO₂ adalah salah satu spesies dari gas-gas oksida sulfur (SO_x). Gas ini sangat mudah terlarut dalam air, memiliki bau namun tidak berwarna. Sebagaimana O₃, pencemar sekunder yang terbentuk dari SO₂, seperti partikel sulfat, dapat berpindah

dan terdeposisi jauh dari sumbernya. SO_2 merupakan salah satu unsur pembentuk hujan asam. SO_2 juga dapat bereaksi dengan komponen lainnya di udara dan membentuk PM. SO_2 dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung unsur sulfur. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan bijih-bijih yang mengandung metal seperti aluminium, tembaga, seng, timbel dan besi. Di daerah perkotaan, yang menjadi sumber utama sulfur adalah kegiatan pembangkit tenaga listrik, terutama yang menggunakan batu bara ataupun minyak sebagai bahan bakarnya. Selain itu gas buang dari kendaraan yang menggunakan minyak solar, industri-industri yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak bakar, juga merupakan sumber sulfur (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013).

a. Karakteristik Sulfur Dioksida (SO_2)

Berdasarkan sifat kimia, sulfur dioksida adalah gas yang tidak dapat terbakar, berbau tajam, dan tidak berwarna. Konsentrasi untuk deteksi indera perasa adalah 0.3-1 ppm di udara dan ambang bau adalah 0.5 ppm. Gas ini merangsang pedas (*pudgent*) dan bersifat iritan (Sarudji, 2010).

b. Sumber Sulfur Dioksida (SO_2)

Sulfur dioksida berasal dari dua sumber yakni sumber alamiah dan buatan. Sumber-sumber SO_2 alamiah adalah gunung-gunung berapi, pembusukan bahan organik oleh mikroba dan reduksi sulfat secara biologis. Sumber-sumber SO_2 buatan adalah pembakaran bahan bakar minyak, gas dan batubara yang mengandung sulfur tinggi (Slamet, 2009).

c. Dampak Sulfur Dioksida (SO_2)

Sulfur dioksida (SO_2) di udara mempunyai pengaruh langsung terhadap manusia terutama karena sifat iritasi dari gas itu sendiri. Lebih dari 95 % dari SO_2 dengan kadar tinggi yang dihirup melalui pernapasan akan diserap oleh bagian atas saluran pernafasan. Karena sifatnya yang dapat mengganggu pernafasan, SO_2 ini dapat membuat penderita *bronchitis*, emphysemia dan penderita penyakit saluran pernafasan lain – lain menjadi lebih parah keadaannya. Hal ini karena SO_x yang mudah menjadi asam tersebut menyerang selaput lendir pada hidung, tenggorokan, dan saluran nafas yang lain sampai ke

paru-paru. Iritasi pada saluran pernafasan dapat menyebabkan pergerakan silia menjadi lambat, bahkan dapat terhenti, sehingga tidak dapat membersihkan saluran pernafasan, hal ini dapat meningkatkan produksi lendir dan penyempitan saluran pernafasan. Akibatnya terjadi kesulitan bernafas, sehingga benda asing termasuk bakteri/ mikroorganisme lain tidak dapat dikeluarkan dari saluran pernafasan dan hal ini memudahkan terjadinya infeksi saluran pernafasan (Mukono, 2002).

2.4 Particulate Matter (PM₁₀)

PM₁₀ merupakan salah satu bahan pencemar udara yang digolongkan ke dalam kelompok pencemar primer (*primary pollutant*), yaitu bahan pencemar yang diemisikan langsung ke udara dari sumber cemaran, seperti kendaraan bermotor (Wijayanti, 2010).

a. Karakteristik *Particulate Matter* (PM₁₀)

Particulate Matter 10 Mikron (PM₁₀) merupakan partikulat yang berukuran lebih kecil daripada 10 µm. PM₁₀ terdiri dari partikel halus berukuran kecil dari 2,5 µm dan sebagian partikel kasar yang berukuran 2,5 µm sampai 10 µm. Partikel-partikel ini terdiri dari berbagai ukuran, bentuk, dan ratusan bahan kimia yang berbeda (Gunawan dkk, 2018). PM₁₀ sulit untuk dilihat dengan mata secara normal, tidak diketahui dimana dan bagaimana partikulat itu tersebar. PM₁₀ merupakan salah satu faktor yang menyebabkan lingkungan khususnya udara semakin memburuk. Konsentrasi yang semakin hari semakin bertambah membuat penyebarannya penting untuk diketahui (Saputra dkk, 2019).

b. Sumber *Particulate Matter* (PM₁₀)

PM₁₀ berasal dari debu jalanan, debu konstruksi, pengangkutan material, buangan kendaraan, dan cerobong asap industri, serta aktivitas *crushing* dan *grinding* (Wijayanti, 2010).

c. Dampak *Particulate Matter* (PM₁₀)

PM₁₀ diketahui dapat meningkatkan angka kematian yang disebabkan oleh penyakit jantung dan pernafasan (Zeng, et al. 2017). Pada konsentrasi 140 µg/m³ dapat menurunkan fungsi paru-paru pada anak-anak, sementara pada konsentrasi 350 µg/m³ dapat memperparah kondisi penderita *bronchitis* (Huboyo dan Sutrisno, 2009). Kerusakan kesehatan akibat PM₁₀ tergantung pada lamanya kontak, konsentrasi partikulat dalam udara, jenis partikulat itu sendiri dan lain-lain (Agusnar, 2008).

2.5 Inventarisasi Emisi

Inventarisasi emisi (*emission inventory*) adalah pencatatan secara komprehensif tentang jumlah pencemar udara dari sumber-sumber pencemar udara dalam suatu wilayah dan periode waktu tertentu. Dalam bahasa yang sederhana, inventarisasi emisi adalah menentukan sumber-sumber pencemar udara, apa yang keluar dari sumber pencemar udara tersebut dan berapa banyak (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2013).

a. Metode Faktor Emisi

Faktor emisi merupakan suatu unit atau nilai rata-rata suatu parameter pencemar udara yang dikeluarkan oleh suatu sumber spesifik (Yanto, 2011). Faktor emisi juga memiliki pengertian sebagai koefisien yang menghubungkan antara aktivitas dengan sumber emisi (Kusuma dkk, 2010). Metode faktor emisi yang digunakan untuk menghitung beban emisi berbasis VKT merupakan ketentuan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12/2020 tentang Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah Perkotaan. Berikut ini adalah faktor emisi kendaraan bermotor di Indonesia:

Tabel 2.1 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

Sedangkan untuk menghitung beban emisi berbasis konsumsi bahan bakar, faktor emisi yang digunakan yaitu:

Tabel 2.2 Faktor emisi berbasis bahan bakar

Pencemar	Bensin	Solar
CO (g/kg)	497,7	7,4
NOx (g/kg)	6,64	14,91
PM (g/kg)	2,20	1,52

Sumber: CORINAIR (2009)

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

$$E = \frac{2 \times k \times FC \times Nb}{10^6} \quad (2.1)$$

Dimana:

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

10^6 : Konversi gram ke ton

Adapun nilai dari kandungan sulfur tipikal dalam bahan bakar dapat dilihat pada

Tabel 2.3 berikut ini:

Tabel 2.3 Kandungan Sulfur Tipikal dalam Bahan Bakar

(1 ppm = 10⁻⁶ g/g bahan bakar)

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

Sumber: Sutrisno, Ana Megawati dkk (2016)

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu penulis angkat sebagai referensi dalam melakukan penelitian sehingga dalam mengkaji penelitian yang dilakukan, penulis dapat memperkaya teori yang digunakan. Penelitian terdahulu yang dijadikan referensi memiliki kesamaan yaitu mengkaji beban emisi yang dihasilkan oleh transportasi darat, namun pada penelitian ini meneliti parameter pencemar CO, SO₂, NO_x dan PM₁₀ dan transportasi darat yang diteliti merupakan sepeda motor, mobil penumpang, sedan, pikap, bus dan truk di Kota Pontianak yang terdaftar di BAPENDA Provinsi Kalimantan Barat tahun 2020. Hasil penelitian kemudian akan menunjukkan beban emisi total CO, NO_x, SO₂ dan PM₁₀ yang dihasilkan oleh sumber pencemar bergerak *on-road* di Kota Pontianak berdasarkan faktor emisi berbasis panjang perjalanan rerata kendaraan per tahun (*Vehicle Kilometer Travelled* – VKT) dan berbasis konsumsi bahan bakar. Berikut merupakan penelitian terdahulu berupa jurnal terkait dengan penelitian yang dilakukan penulis.

Tabel 2.4 Hasil Penelitian Terdahulu

Tahun	Penulis	Judul Penelitian	Kesimpulan
2016	Velida Lustria Tiarani, Endro Sutrisno, Haryono Setyo Huboyo	Kajian Beban Emisi Pencemar Udara (TSP, NO _x , SO ₂ , HC, CO) dan Gas Rumah Kaca (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O) Sektor Transportasi Darat Kota Yogyakarta Dengan Metode <i>TIER 1</i> dan <i>TIER 2</i>	Beban emisi pencemar NO _x oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan truk pada semua sumber, emisi pencemar SO ₂ oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan bus dan truk, emisi pencemar HC oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor, emisi pencemar CO oleh sektor kendaraan sepeda motor, emisi pencemar TSP oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan sepeda motor, emisi pencemar CO _{2e} oleh sektor transportasi darat paling tinggi dihasilkan oleh kendaraan mobil penumpang (bensin) dan sepeda motor, beban emisi yang dihasilkan dari konsumsi BBM (Tier 1) didapatkan CO _{2e} sebagai polutan tertinggi.

2016	Ana Mega Sutrisno, Haryono S. Huboyo, Endro Sutrisno	Kajian Prediksi Beban Emisi Pencemar Udara (TSP, NO _x , SO ₂ , HC dan CO) dan Gas Rumah Kaca (CO ₂ , CH ₄ dan N ₂ O) Sektor Transportasi Darat di Kota Surakarta dengan Metode <i>Top Down</i> dan <i>Bottom Up</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hasil perhitungan beban emisi berdasarkan metode <i>Top Down</i> dan <i>Bottom Up</i>, yaitu: <ul style="list-style-type: none"> • Beban emisi TSP dengan metode <i>Top Down</i> pada tahun 2014 sebesar 196,50 ton/tahun, sedangkan dengan metode <i>Bottom Up</i> sebesar 496,16 toh/tahun • Beban emisi NO_x rata-rata pada tahun 2013 dan tahun 2014 dengan metode <i>Top Down</i> sebesar 860,75 ton/tahun, sedangkan dengan metode <i>Bottom Up</i> sebesar 6.147 ton/tahun • Beban emisi SO₂ pada tahun 2014 dengan metode <i>Top Down</i> sebesar 6,14 ton/tahun, sedangkan dengan metode <i>Bottom Up</i> sebesar 290,33 ton/tahun • Beban emisi HC rata-rata pada tahun 2013 dan tahun 2014 dengan metode <i>Top Down</i> sebesar 489,95 ton/tahun, sedangkan dengan metode <i>Bottom Up</i> sebesar 17.233 ton/tahun • Beban emisi CO dengan metode <i>Top Down</i> pada tahun 2013 dan tahun 2014 rata-rata sebesar 35.772 ton/tahun, sedangkan dengan metode <i>Bottom Up</i> rata-rata sebesar 58.282 ton/tahun • Beban emisi CO₂ Ekuivalen rata-rata pada tahun 2013 dan tahun 2014 dengan metode <i>Top Down</i> sebear 327.358 ton/tahun, sedangkan dengan metode <i>Bottom Up</i> sebesar 495.677 ton/tahun 2. Hasil perhitungan beban emisi dengan metode <i>Bottom Up</i> lebih besar dari metode <i>Top Down</i> dari semua jenis parameternya. Hal ini disebabkan karena perhitungan dengan metode <i>Bottom Up</i> didasari oleh jarak tempuh kendaraan tanpa mempertimbangkan lokasi pengisian BBM yang kemungkinan besar dilakukan di luar wilayah Kota Surakarta 3. Distribusi spasial untuk emisi TSP, NO_x, SO₂, HC, CO dan CO₂ ekuivalen hampir sama di setiap wilayah grid. Nilai emisi untuk masing-masing
------	--	--	---

			parameter dibagi dalam lima kelompok nilai emisi yang dilambangkan dengan warna yang berbeda-beda per kelompok emisinya
2021	Billy Yoga Dewanto, Mila Dirgawati, Didin Agustian Permadi	Inventarisasi Emisi Pencemar Kriteria dan Gas Rumah Kaca dari Sektor Transportasi <i>On- Road</i> di Kota Bandung menggunakan Model <i>International Vehicle Emissions</i> (IVE)	Emisi total kendaraan bermotor di Kota Bandung paling dominan berasal dari 94,48% setara 5.286.612,81 ton/tahun CO ₂ , 4,55% setara 25434.378,9 ton/tahun CO, dan 0,63% setara 35.501,65 ton/tahun NO _x . Sedangkan, parameter emisi lainnya (PM, SO _x , CH ₄ , dan N ₂ O) hanya berkontribusi rerata < 0,5% dari total emisi yang dihasilkan. Emisi total tersebut hampir 98,9% setara 5.533.454,28 ton/tahun berasal dari kondisi running dan hanya 1,07% setara 61.931,47 ton/tahun berasal dari kondisi start-up. Jika ditinjau dari kontribusi setiap jenis kendaraan bermotor terhadap emisi total setiap polutan di Kota Bandung, maka yang paling mendominasi adalah 43,4% mobil pribadi, diikuti 27,8% truk, 17,1% sepeda motor, dan 10,1% berasal dari bus. Sementara itu, angkot dan taksi berkontribusi sangat minim < 2% terhadap total emisi yang dihasilkan.