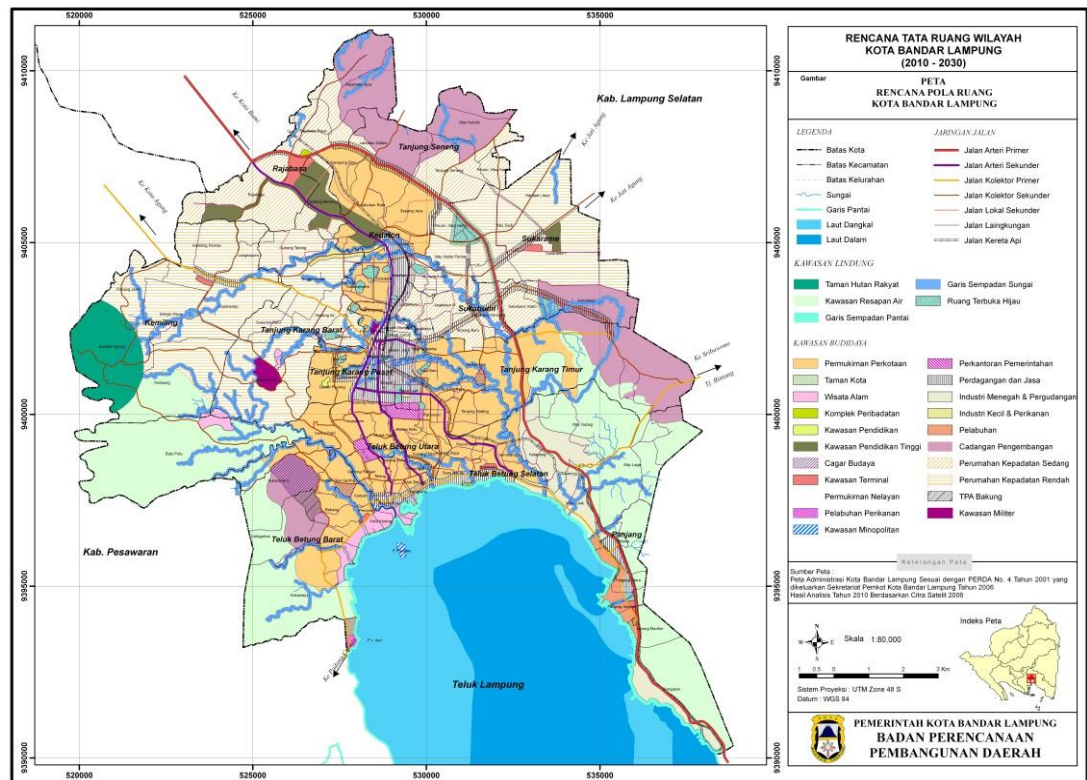


## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Kondisi Umum Wilayah Kajian

#### 1. Profil Tata Ruang Wilayah Kota Bandar Lampung



**Gambar 1. Peta Wilayah Kota Bandar Lampung**

Profil Tata Ruang Wilayah Kota Bandar Lampung merupakan gambaran umum wilayah Kota Bandar Lampung yang menghubungkan dengan Kabupaten Lain antara Kabupaten Lampung Selatan dan Pesawaran. Kota Bandar Lampung terdiri dari 13 Kecamatan (Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Pemkot Bandar Lampung, 2012).

## 2. Orientasi Wilayah

Secara geografis Kota Bandar Lampung terletak pada 5°2' sampai dengan 5°30' Lintang Selatan dan 105°28' sampai dengan 105°37' Bujur Timur, dengan luas daratan kurang lebih 197,22 kilometer persegi dan luas perairan kurang lebih 39,82 kilometer. Luas wilayah 19.722 km<sup>2</sup> secara administrasi terdiri dari 13 kecamatan dan 98 kelurahan.

Secara administratif Kota Bandar Lampung berbatasan langsung dengan beberapa wilayah Kabupaten di Provinsi Lampung yaitu sebagai berikut :

- a. Batas utara : Kecamatan Natar, Kabupaten Lampung Selatan;
- b. Batas selatan : Kecamatan Padang Cermin, Ketibung dan Teluk Lampung, Kabupaten Lampung Selatan;
- c. Batas timur : Kecamatan Tanjung Bintang, Kabupaten Lampung Selatan;
- d. Batas barat : Kecamatan Gedung Tataan dan Padang Cermin Kabupaten Lampung Selatan.

Kota Bandar Lampung berada di bagian selatan Provinsi Lampung (Teluk Lampung) dan ujung selatan Pulau Sumatera. Untuk Pembagian wilayah Kota Bandar Lampung dapat dilihat pada Tabel 1.

Data pertumbuhan penduduk Kota Bandar Lampung dari tahun 2010 sampai dengan 2020 hasil proyeksi Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Wilayah Administrasi Kota Bandar Lampung

No	Kecamatan	Luas Wilayah (km <sup>2</sup> )	Jumlah Penduduk (Jiwa)	Kepadatan Penduduk (jiwa/km <sup>2</sup> )
1	Teluk Betung Barat	2.099	59.396	28,30
2	Teluk Betung Selatan	1.007	92.156	91,52
3	Panjang	2.116	63.504	30,01
4	Tanjung Karang Timur	2.111	89.324	42,31
5	Teluk Betung Utara	1.038	62.663	60,37
6	Tanjung Karang Pusat	668	72.385	108,36
7	Tanjung Karang Barat	1.514	63.747	42,11
8	Kemiling	2.765	71.471	25,85
9	Kedaton	1.088	88.314	81,17
10	Rajabasa	1.302	43.257	33,22
11	Tanjung Senang	1.163	41.225	35,45
12	Sukarame	1.687	70.761	41,94
13	Sukabumi	1.164	63.598	54,64
<b>TOTAL</b>		<b>19.722</b>	<b>881.801</b>	<b>44,71</b>

(Hasil Sensus Kota Bandar Lampung 2010-BPS Kota Bandar Lampung 2010)

Tabel 2. Proyeksi Pertumbuhan Penduduk Kota Bandar Lampung dari Tahun 2010 – 2020

No	Tahun	Jumlah Penduduk
1	2010	881.801
2	2011	895.822
3	2012	910.065
4	2013	924.535
5	2014	939.235
6	2015	954.169
7	2016	969.340
8	2017	984.753
9	2018	1.000.411
10	2019	1.016.317
11	2020	1.032.477

(Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung tahun 2010)

## B. Transportasi

Berbagai aktivitas yang dilakukan oleh manusia memerlukan transportasi yang cukup memadai. Transportasi adalah pemindahan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lainnya dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia atau mesin. Transportasi digunakan untuk memudahkan

manusia dalam melakukan aktivitas seperti kekantor, sekolah maupun aktivitas lainnya sehari-hari.

Didalam transportasi, terdapat unsur-unsur yang terkait erat dalam berjalannya konsep transportasi itu sendiri. Unsur-unsur tersebut adalah sebagai berikut :

1. Manusia yang membutuhkan;
2. Barang yang dibutuhkan;
3. Kendaraan sebagai alat/sarana;
4. Jalan dan terminal sebagai prasarana transportasi;
5. Organisasi (pengelola transportasi).

Transportasi yang digunakan oleh manusia adalah kendaraan sebagai alat/sarana kebutuhan untuk mencapai adanya perjalanan (trip) antara asal (*origin*) dan tujuan (*destination*). Adapun jenis transportasi terdiri dari 3 yaitu sebagai berikut (Ofyar, 1997) :

- a. Transportasi darat meliputi : kendaraan bermotor, mobil, kereta api, gerobak dan lain sebagainya;
- b. Transportasi udara meliputi : pesawat terbang;
- c. Transportasi air meliputi : kapal, tongkang, perahu dan rakit.

### **C. Pengertian Kemacetan**

Menurut MKJI 1997 adanya kemacetan pada jalan perkotaan maupun jalan luar kota diakibatkan pertambahan kepemilikan kendaraan, terbatasnya sumber daya untuk pembangunan jalan raya, dan belum optimalnya pengoperasian fasilitas lalu lintas yang ada. Kemacetan adalah kondisi arus lalu lintas yang melintasi pada ruas jalan yang ditinjau melebihi kapasitas rencana jalan tersebut yang

mengakibatkan kecepatan bebas ruas jalan tersebut mendekati atau lebih besar dari 0 km/jam sehingga menyebabkan terjadinya antrian. Pada saat terjadinya kemacetan, nilai derajat kejenuhan pada ruas jalan akan ditinjau yaitu kemacetan akan terjadi bila nilai derajat kejenuhan mencapai lebih dari 0,5.

Kemacetan akan semakin meningkat apabila arus lalu lintas kendaraan meningkat sehingga kendaraan satu sama lainnya saling berdekatan. Kemacetan total apabila kendaraan harus berhenti atau bergerak lambat (Ofyar, 1997).

Kemacetan lalu lintas di jalan terjadi karena arus lalu lintas yang melewati suatu jalan melebihi kapasitas jalan sehingga ruas jalan tersebut mulai tidak mampu untuk menerima arus kendaraan yang melintasi jalan tersebut. Hal ini terjadi karena pengaruh hambatan samping pada jalan seperti parkir dibadan jalan, adanya kegiatan seperti berjalan dan kegiatan sosial di badan jalan, berjalan di badan jalan dan menyebrang, penghentian angkot dan kendaraan lainnya, kendaraan masuk dan keluar sisi jalan, kendaraan lambat, dan kendaraan yang memutar *U-turn* (Thias, 2013).

#### **D. Kendaraan**

Kendaraan atau angkutan digunakan sebagai alat transportasi, baik yang digerakkan oleh mesin maupun oleh makhluk hidup. Biasanya di daerah-daerah perkotaan kendaraan yang banyak kita gunakan adalah kendaraan bermotor seperti sepeda motor, mobil pribadi maupun angkutan umum. Kendaraan digunakan sesuai penunjang kebutuhan manusia untuk melakukan aktivitas sehari-hari.

## 1. Volume Kendaraan

Volume adalah total jumlah kendaraan yang melewati titik pengamatan atau segmen jalan selama interval waktu pengamatan. Volume dapat dinyatakan dalam tahunan, bulanan, jam atau bagian dari jam. Tingkat arus didefinisikan sebagai jumlah kendaraan yang melewati titik pengamatan atau segmen ruas jalan interval satu jam. Volume dan tingkat arus berbeda, dimana volume adalah jumlah kendaraan hasil pengamatan selama satu interval waktu, sedangkan tingkat arus menggambarkan jumlah kendaraan yang melewati titik pengamatan dalam interval waktu di bawah satu jam dan dinyatakan dalam satu jam. (MKJI, 1997).

Volume lalu lintas dapat diperoleh melalui data Lalu Lintas Harian Rata-rata (LHR). LHR adalah volume lalu lintas rata-rata dalam satu hari atau jumlah kendaraan yang diperoleh selama pengamatan dibagi lamanya pengamatan.

$$\text{LHR} = \frac{\text{Jumlah lalu lintas selama pengamatan}}{\text{Lamanya pengamatan}} \dots\dots\dots(2.1)$$

## 2. Jenis Kendaraan

Menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997, terdapat pengelompokkan kendaraan berdasarkan berat, dimensi, dan karakteristik operasionalnya adalah sebagai berikut :

- a. Kendaraan ringan (*Light Vehicle* / LV) yaitu kendaraan bermotor ber as dua dengan empat roda dan dengan jarak as 2,0 – 3,0 m seperti : penumpang oplet, microbus, pick up dan truk kecil sesuai dengan klasifikasi Bina Marga;

- b. Kendaraan berat (*Heavy Vehicle* / HV) yaitu kendaraan bermotor dengan jarak as lebih dari 3,5 m dan biasanya beroda lebih dari empat seperti : bus truk dua as, truk tiga as dan truk kombinasi sesuai system klasifikasi Bina Marga;
- c. Sepeda Motor (*Motorcyle* / MC) yaitu kendaraan bermotor beroda dua atau tiga sesuai dengan klasifikasi Bina Marga.

### 3. Kecepatan Perjalanan

Kecepatan perjalanan adalah kecepatan yang ditempuh oleh pengendara dan laju perjalanan yang biasanya dinyatakan dalam satuan kilometer per jam. Kecepatan dan waktu tempuh adalah pengukuran kinerja lalu lintas sari sistem eksisting dan kecepatan variabel kunci dalam perancangan ulang atau perancangan dari fasilitas baru.

$$\text{Kecepatan perjalanan} = \frac{\text{Jauh Perjalanan}}{\text{Waktu Tempuh}} \dots \dots \dots (\text{km/jam})(2.2)$$

Didalam MKJI 1997, kecepatan perjalanan dibagi menjadi 2 yaitu :

- a. Kecepatan rata-rata adalah kecepatan rata-rata kendaraan yang melintasi suatu segmen pengamatan pada suatu waktu rata-rata tertentu;
- b. Kecepatan Bebas adalah kecepatan kendaraan yang tidak dihalangi oleh kendaraan lain.

### E. Kinerja Ruas Jalan

Kinerja jalan merupakan suatu sistem pengukuran jalan yang menerangkan tentang kondisi-kondisi operasional dalam aliran lalu lintas. Adapun beberapa kinerja jalan yang dibutuhkan antara lain :

1. NVK yaitu menunjukkan kondisi ruas jalan dalam melayani volume lalu lintas yang ada. Nilai NVK didapatkan berdasarkan hasil survei volume lalu lintas diruas jalan.

Tabel 3. Nilai NVK Pada Berbagai Kondisi

NVK	Keterangan
< 0,8	Kondisi stabil
0,8 – 1,0	Kondisi tidak stabil
>1,0	Kondisi kritis

(Ofyar, edisi ke-II 2000)

2. Kecepatan rata-rata
3. Tingkat pelayanan (*level of service*) yaitu indikator yang mencakup gabungan beberapa parameter baik secara kuantitatif maupun kualitatif dari ruas jalan. Penentuan tingkat pelayanan ini disesuaikan dengan kondisi arus lalu lintas yang ada dijalan. Secara umum tingkat pelayanan dapat dibedakan sebagai berikut pada Tabel 4:

Tabel 4. Kategori Indeks Tingkat Pelayanan Jalan

Indeks Tingkat Pelayanan	Keterangan
Tingkat Pelayanan A	Kondisi arus lalulintasnya bebas antara satu kendaraan dengan kendaraan lainnya, besarnya kecepatan sepenuhnya ditentukan oleh keinginan pengemudi dan sesuai dengan batas kecepatan yang telah ditentukan.
Tingkat Pelayanan B	Kondisi arus lalulintas stabil, kecepatan operasi mulai dibatasi oleh kendaraan lainnya dan mulai dirasakan hambatan oleh kendaraan di sekitarnya.
Tingkat Pelayanan C	Kondisi arus lalulintas dalam batas stabil, kecepatan operasi mulai dibatasi dan hambatan dari kendaraan lain semakin besar.
Tingkat Pelayanan D	Kondisi arus lalulintas mendekati tidak stabil, kecepatan operasi menurun relatif cepat akibat hambatan yang timbul, dan kebebasan bergerak relatif kecil.
Tingkat Pelayanan E	Volume lalulintas sudah mendekati kapasitas ruas jalan, kecepatan kira-kira lebih rendah dari 40 km/jam. Pergerakan lalu lintas kadang terhambat.
Tingkat Pelayanan F	Pada tingkat pelayanan ini arus lalulintas berada dalam keadaan dipaksakan, kecepatan relatif rendah, arus lalu lintas sering terhenti sehingga menimbulkan antrian kendaraan yang panjang.

(Ofyar, edisi ke-II 2000 dan Permenhub No.14 2006)



Tabel 5. Indeks Tingkat Pelayanan (ITP) Berdasarkan Tingkat Kejenuhan Lalu Lintas

Tingkat Pelayanan	Tingkat Kejenuhan Lalu Lintas (DS)
A	$\leq 0,35$
B	$\leq 0,54$
C	$\leq 0,77$
D	$\leq 0,93$
E	$\leq 1,0$
F	$>1$

(Ofyar, edisi ke-II 2000)

### 1. Kapasitas (C)

Kapasitas (C) adalah arus lalu-lintas (stabil) maksimum yang dapat dipertahankan pada kondisi tertentu (geometri, distribusi arah dan komposisi lalu-lintas, faktor lingkungan). Kapasitas juga didefinisikan sebagai arus maksimum yang dapat dipertahankan persatuan jam yang melewati suatu titik di jalan dalam kondisi yang ada. Misalnya untuk jalan dua-lajur-dua-arah, kapasitas didefinisikan untuk arus dua-arah (kedua arah kombinasi), tetapi untuk jalan dengan banyak lajur (dua-lajur), arus dipisahkan per arah perjalanan dan kapasitas didefinisikan per lajur.

Kapasitas (C) dinyatakan dalam satuan mobil penumpang (smp). Persamaan dasar untuk kapasitas menurut Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997 adalah sebagai berikut :

$$C = C_0 \times FC_W \times FC_{SP} \times FC_{SF} \times FC_{CS} \dots\dots\dots (2.3)$$

dimana :

C = kapasitas (smp/jam)

$C_0$  = kapasitas dasar (smp/jam)

$FC_W$  = faktor penyesuaian lebar jalan

$FC_{SP}$  = faktor penyesuaian pemisahan arah (hanya untuk jalan tak terbagi)

$FC_{SF}$  = faktor penyesuaian hambatan samping dan bahu jalan

## 2. Derajat Kejenuhan (DS)

Derajat kejenuhan didefinisikan sebagai rasio arus terhadap kapasitas, digunakan sebagai faktor kunci dalam penentuan perilaku lalu-lintas pada suatu simpang dan juga segmen jalan (MKJI,1997).

Nilai dari derajat kejenuhan menunjukkan apakah segmen jalan tersebut mempunyai masalah kapasitas atau tidak.

$$DS = \frac{Q}{C} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana :

$Q$  = Arus total (smp/jam)

$C$  = Kapasitas (smp/jam)

## F. Faktor Pertumbuhan Arus Lalu Lintas

Penentuan faktor pertumbuhan arus lalu lintas yang diperoleh pada volume kendaraan dimaksudkan untuk memprediksi arus pergerakan lalu lintas kendaraan dengan menghitung faktor pertumbuhan lalu lintasnya dan selanjutnya jumlah arus lalu lintas yang akan datang dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$Q_n = Q_0 (1 + i)^n \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

$Q_n$  = Volume kendaraan n tahun yang akan datang (kendaraan/tahun)

$Q_0$  = Volume kendaraan saat ini (kendaraan/tahun)

$i$  = Faktor pertumbuhan lalu lintas saat (%/tahun)

$n$  = Jumlah tahun rencana (tahun)

Untuk menentukan faktor pertumbuhan lalu lintas saat (%/tahun) (i) dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan rumus metode *Regresi Linear* yaitu metode penyelidikan data dan statistik adalah sebagai berikut :

$$X_r = \frac{\sum X}{n} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$Y_r = \frac{\sum Y}{n} \dots\dots\dots(2.7)$$

$$\sum Y = n.a + b. \sum X \dots\dots\dots(2.8)$$

$$\sum X.Y = a. \sum X + b. \sum X^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

Angka Pertumbuhan Kendaraan (i)

$$i = \frac{b}{a} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

$\sum X$  = Jumlah total data n

$\sum Y$  = Jumlah total kendaraan

$n$  = Banyaknya data yang diketahui

### G. Efek Gas Rumah Kaca (GRK)

Gas rumah kaca adalah gas-gas di atmosfer yang memiliki kemampuan untuk dapat menyerap radiasi matahari yang dipantulkan oleh bumi, sehingga menyebabkan suhu di permukaan bumi menjadi hangat. Menurut konferensi PBB mengenai perubahan iklim (*United Nations Framework Convention on Climate Change-UNFCCC*), ada 6 jenis gas yang digolongkan menjadi GRK yaitu : *Karbondioksida (CO<sub>2</sub>)*, *Dinitro Oksida (N<sub>2</sub>O)*, *Metana (CH<sub>4</sub>)*, *Sulfurheksaflorida*

( $SF_6$ ), *Perflorokarbon* (PFCs), dan *Hidroflorocarbon* (HFCs). Gas rumah kaca yang terakumulasi di atmosfer menyebabkan terjadinya efek rumah kaca.

Gas rumah kaca (GRK) memiliki kemampuan untuk menangkap radiasi gelombang pendek dari matahari dan meneruskannya ke bumi. Namun gas rumah kaca juga dapat memantulkan radiasi gelombang panjang dari bumi, sehingga bumi seakan-akan mendapatkan pemanasan dua kali. Dengan demikian gas rumah kaca berdampak tidak langsung. Waktu tinggal atau *life time* GRK di atmosfer relatif lama sehingga dapat menjaga suhu dipermukaan bumi tetap hangat. Akan tetapi jika konsentrasi GRK mengalami peningkatan terus menerus dikhawatirkan iklim bumi dan keseimbangan ekosistem akan terganggu. Penambahan gas rumah kaca yang berasal dari *antropogenik* atau kegiatan yang dilakukan manusia berasal dari beberapa sektor yaitu: sektor energi, sektor pertanian, sektor transportasi, sektor industri dan lain-lain (Kartikaningsih, 2012).

Ada 5 elemen fisik dari sektor transportasi berpengaruh terhadap emisi gas rumah kaca yaitu (*Global Enviroment Facility, 2010*):

1. Efisiensi bahan bakar kendaraan;
2. Intensitas gas rumah kaca dari bahan bakar yang digunakan;
3. Jumlah aktivitas transportasi;
4. Moda transportasi yang dipilih;
5. Jumlah kapasitas kendaraan.

## **H. Polusi Udara**

Tingkat polutan utama di Indonesia masih tinggi jika dibandingkan dengan negara-negara Asia lainnya. Penggunaan bahan bakar minyak bumi secara

berlebihan telah diidentifikasi sebagai salah satu penyebab utamanya. Selama tahun 1990an, diperkirakan konsumsi bahan bakar kendaraan menghasilkan lebih dari tiga per empat *Sulfur Dioksida* dan *Nitrogen Oksida*, 90% *Karbon Monoksida* dan  $\frac{2}{3}$  emisi *Partikulat*. Sebagai langkah positif yang besar, Indonesia menghapuskan kandungan timah hitam dari bensin pada tahun 2006.

Timah hitam mempunyai dampak negatif khususnya terhadap perkembangan anak-anak. Di seluruh Indonesia, hasil sebuah kajian memperkirakan biaya kesehatan akibat polusi udara mencapai 1,2% dari PDB tahun 2006, atau sekitar \$3,4 milyar per tahun karena kerusakan lingkungan (metode didasarkan pada kontribusi tiga penyakit yang terkait dengan polusi, kematian yang diakibatkannya dan berkurangnya masa hidup dan koefisien risiko dari kajian kelompok masyarakat AS yang besar, serta konversi nilai dolar dari kerugian angka orang sakit dan kematian). Pada tahun 1998, biaya ekonomi dari polusi udara di luar ruangan diperkirakan sekitar \$ 181 juta untuk Jakarta saja (Laporan Teknis Dewan Nasional Perubahan Iklim, RAN-GRK, 2010).

Salah satu jenis pencemaran lingkungan adalah pencemaran udara. Secara umum penyebab pencemaran udara ada dua macam, yaitu secara alamiah seperti debu yang diterbangkan oleh angin, debu akibat letusan gunung berapi, pembusukan sampah dan lain-lain. Faktor akibat perbuatan manusia yang pada umumnya dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu yang berasal dari sumber bergerak (kendaraan bermotor, kapal terbang, dan lain-lain) dan sumber tidak bergerak yaitu kegiatan industri.

Akibat pencemaran udara dapat menimbulkan dampak bagi kesehatan, ekosistem maupun perubahan iklim. Gangguan kesehatan sebagai akibat pencemaran udara terjadi pada saluran pernafasan dan organ penglihatan. Secara visual pencemaran udara terlihat dari asap kendaraan bermotor (Abner, 2009).

Berdasarkan asalnya polusi udara dibedakan menjadi :

1. Primer, adalah suatu bahan kimia yang ditambahkan langsung ke udara yang menyebabkan konsentrasinya meningkat dan membahayakan. Contohnya :  $CO_2$ .
2. Sekunder, adalah senyawa kimia berbahaya yang timbul dari hasil reaksi antara zat polutan primer dengan komponen alamiah.

Tabel 6. Toksisitas Relatif Polutan Udara

POLUTAN	LEVEL TOLERANSI		TOKSISITAS RELATIF
	ppm	$\mu g/m^3$	
CO	32,0	40.000	1,00
HC	-	19.300	2,07
SOx	0,50	1.430	28,0
NOx	0,25	514	77,8
Partikel	-	375	106,7

Sumber: Manahan, 1994

Toksisitas kelima kelompok polutan tersebut berbeda-beda, Tabel 6 diatas menyajikan toksisitas relatif masing-masing kelompok polutan tersebut. Polutan yang paling berbahaya bagi kesehatan adalah partikel – partikel, diikuti berturut-turut dengan NOx, SOx, hidrokarbon dan karbon monoksida yang paling rendah toksisitasnya. Sejalan dengan pembangunan di sektor industri dan transportasi, pencemaran udara oleh gas-gas hasil pembakaran juga meningkat. Gas berbahaya bagi kesehatan tersebut adalah gas karbon monoksida (CO) yang merupakan sisa

pembakaran dari bahan bakar yang mengandung karbon. Salah satu penghasil gas CO di udara adalah kendaraan bermotor.

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 45 tahun 1997 tentang Indeks Standar Pencemar Udara, Pemerintah menetapkan Indeks Standar Pencemar Udara yang merupakan angka yang tidak mempunyai satuan untuk menggambarkan kondisi kualitas udara ambien di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya sebagaimana Tabel 7 dan 8.

Tabel 7. Indeks Standar Pencemar Udara

Kategori	Rentang	Penjelasan
Baik	0 – 50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan, ataupun estetika.
Sedang	51 – 100	Tingkat kualitas udara yang tidak berpengaruh pada kesehatan manusia atau hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif, dan nilai estetika.
Tidak Sehat	101 – 199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang sensitif atau bisa menimbulkan kerusakan pada tumbuhan ataupun nilai estetika.
Sangat Tidak Sehat	200 – 299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
Berbahaya	300 - lebih	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi.

(Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 1997)

Tabel 8. Sumber dan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang

Pencemar	Sumber	Keterangan
Karbon Monoksida (CO)	Buangan kendaraan bermotor, proses industri	Standar Kesehatan : 10 mg/m <sup>3</sup> (9 ppm)
Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> )	Panas dan fasilitas pembangkit listrik	Standar kesehatan : 80 ug/m <sup>3</sup> (0,03 ppm)
Partikulat Matter	Buangan kendaraan bermotor, beberapa proses industri	Standar kesehatan : 50 ug/m <sup>3</sup> selama 1 tahun : 150 ug/m <sup>3</sup>
Nitrogen Dioksida (NO <sub>2</sub> )	Buangan kendaraan bermotor, panas dan fasilitas	Standar kesehatan : 100 pg/m <sup>3</sup> (0,05 ppm) selama 1 jam
Ozon (O <sub>3</sub> )	Terbentuk di atmosfer	Standar kesehatan : 235 ug/m <sup>3</sup> (0,12 ppm) selama 1 jam

(Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 1997)

## I. Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

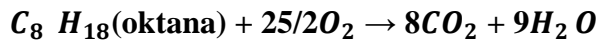
Asap hitam biasanya keluar dari knalpot kendaraan yang berbahan bakar solar yang secara nyata menimbulkan pencemaran dan mengganggu penglihatan bagi pengendara lain. Asap putih keluar dari knalpot kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar bensin. Ketika terjadi kemacetan lalu lintas kedua asap ini bercampur menjadi satu.

Unsur-unsur pncemaran udara dari pembakaran BBM adalah *Karbon Monoksida* (CO), ada juga *Nitrogen Oksida* (NO) dengan indeks kecil X, jadi NO<sub>x</sub>. Selain itu jumlah *Hydrocarbon* yang berasal dari bahan bakar tidak turut terbakar. Kemudian untuk kepentingan teknis permesinan maka di dalam bensin dicampurkan bahan timah hitam (*lead*). Akibat pembakaran tidak sempurna, racun mncul bersama asap yang keluar dari knalpot kendaraan. Biasanya kota yang kepadatan lalu lintasnya sudah melebihi ambang batas, otomatis pencemaran udaranya juga tinggi. Bila mesin kendaraan emisi gas buangnya tidak terkendali maka kondisi udara di tempat terjadinya kemacetan lalu lintas juga parah.

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin pembakaran dalam maupun mesin pembakaran luar yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Proses pembakaran merupakan proses oksidasi yang memerlukan oksigen. Untuk menghasilkan tenaga pada kendaraan bermotor berbahan bakar minyak bumi, maka terjadi reaksi kimia berupa pembakaran senyawa *Hidrokarbon*. *Hidrokarbon* yang biasa digunakan adalah *Oktana*. Proses pembakaran pada kendaraan bermotor, ikatan *Hidrokarbon* (HC) pada bahan bakar (BB) hanya akan bereaksi dengan *Oksigen* pada saat proses pembakaran



sempurna dan menghasilkan air ( $H_2O$ ) serta *Karbondioksida* ( $CO_2$ ) sedangkan *Nitrogen* akan keluar sebagai  $N_2$ . Pada dasarnya reaksi yang terjadi adalah sebagai berikut :



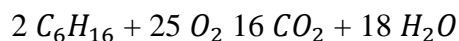
Reaksi tersebut adalah reaksi pembakaran yang terjadi secara sempurna walaupun masih terdapat polutan, yaitu *Karbon Diokasida* ( $CO_2$ ). Secara teoritis pembakaran sempurna didapat dengan perbandingan udara/BB (*air to fuel ratio*) adalah 14,7 dan disebut *Stoichiometry* atau perbandingan  $\lambda = 1$ .

#### **J. Reaksi Pembakaran dan Hasil pembakaran Emisi**

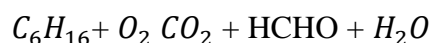
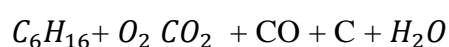
Pembakaran adalah reaksi kimia antara unsur bahan bakar dengan oksigen. Oksigen didapat dari udara luar yang merupakan campuran dari beberapa senyawa kimia antara lain *oksigen* (O), *Nitrogen* (N), *Argon* (Ar), *Karbondioksida* ( $CO_2$ ) serta gas lainnya. Dalam proses pembakaran selalu membutuhkan sejumlah udara tertentu agar bahan bakar dapat dibakar secara sempurna. Kendaraan berbahan bakar bensin, untuk dapat terbakar sempurna membutuhkan udara kurang lebih 15 kali berat bahan bakarnya. Dalam proses pembakaran dibutuhkan perbandingan udara bahan bakar dimana besarnya udara yang dibutuhkan dalam silinder untuk membakar bahan bakar.

Pembakaran kendaraan bermotor yang menggunakan bahan bakar minyak (BBM) dari premium terjadi pada ruang bakar mesin. Lewat percikan buangan api dari busi, premium terbakar dan mendesak piston ketepatan saat penyalaan dengan

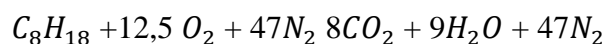
saat membuka klep bahan bakar. Persamaan reaksi pembakaran sempurna *petroleum* sebagai berikut :



Jika pembakaran tidak sempurna, menghasilkan gas CO dan senyawa organik lainnya. Reaksinya sebagai berikut :



Pada pembakaran premium reaksi yang terjadi di dalam mesin yaitu :



Reaksi yang terjadi adalah reaksi *Stoikiometri* di mana semua atom oksigen bereaksi sempurna dengan bahan bakar namun pada kenyataannya sangat sulit terjadi, karena adanya suhu tinggi reaksi pembakaran yang terjadi selalu disertai pembentukan gas-gas lain. Dari reaksi tersebut terlihat emisi gas buang dengan konsentrasi CO dan HC tinggi, tetapi konsentrasi NOx rendah karena temperatur masih dingin dan campuran udara-udara bakar tidak memenuhi syarat pembakaran secara *Stoikiometris* (Yusriani, 2006).

Adapun senyawa utama yang terkandung pada emisi kendaraan bermotor antara lain :

**a. Karbon Monoksida (CO)**

Karbon dan Oksigen bergabung membentuk senyawa Karbon Monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)

sebagai hasil pembakaran sempurna. *Karbon Monoksida* merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berasa dan pada suhu udara normal berbentuk gas yang tidak berwarna. Gas ini akan dihasilkan bila karbon yang terdapat dalam bahan bakar (kira-kira 85% dari berat dan sisanya *hidrogen*) terbakar tidak sempurna karena kekurangan oksigen. *Karbon Monoksida* yang meningkat dapat mengakibatkan efek keracunan berupa pusing, sakit kepala dan mual. Keadaan yang lebih berat berupa menurunnya kemampuan gerak tubuh serta serangan jantung hingga kematian.

Tabel 9. Hubungan Antara Kosentrasi CO, Lama Terpapar dan Efek yang Timbul

No	Kosentrasi CO (ppm)	Lama Terpapar	Efek
1	100	Sebentar	Tidak ada
2	30	8 jam	Pusing dan mual
3	1000	1 jam	Pusing, kulit berubah kemerah-merahan

(Wardhana, 2004)

Menurut Sumber: Crosby, 1988 karena sumber gas *Karbon Monoksida* (CO) adalah berasal dari hasil buangan pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor, maka untuk mengurangi bahan pencemaran itu, pengendara kendaraan bermotor perlu memperhatikan beberapa aspek sebagai berikut :

1. Pada pemanasan kendaraan (mobil)

Periode pemanasan adalah sejak dari mesin dihidupkan dalam keadaan dingin sampai air pendingin mencapai temperatur kerjanya yang normal yaitu 70°C - 80°C. Dalam keadaan dingin, bensin tidak dapat menyerap dengan sempurna sehingga campuran menjadi gemuk dan pembakaran menghasilkan CO dan HC yang banyak.

## 2. *Idling*

Selama *idling*, temperatur di ruang bakar rendah dengan demikian bensin belum sempurna menjadi uap. Jika tidak dilakukan suplai bensin tambahan agar menjadi gemuk akan menyebabkan pembakaran tidak stabil. Umumnya, dalam hal ini ekstra tambahan bensin menyebabkan perbandingan bahan bakar-udara akan menjadi kaya. Konsentrasi CO dan HC kemudian akan meningkat disebabkan pembakaran yang tidak selesai, sedang konsentrasi NOx berkurang sampai nol disebabkan menurunnya suhu pembakaran.

## 3. Saat kendaraan berjalan (beban kecil)

Pada putaran rendah, perbandingan udara-bahan bakar akan berupa perbandingan teoritis untuk bensin atau sedikit lebih kurus daripada perbandingan tersebut. Akibatnya gas CO dan *Hidrokrbon* yang dihasilkan rendah.

## 4. Kecepatan tinggi atau beban besar

Pada saat pedal akselerator ditekan, mesin menerima beban berat. Campuran udara-bahan bakar intake naik sehingga perbandingan campuran udara-bahan bakar menjadi gemuk. Akibatnya CO dan *Hidrokarbon* menjadi tinggi.

## 5. Perlambatan

Pada saat kendaraan (mobil) berjalan lambat, mengakibatkan kecepatan mesin tinggi dan vakum di dalam ruang bakar serta *intake manifold* menjadi kuat. Kevakuman ini menurunkan kecepatan rambatan api dan menyebabkan api padam sebelum merambat ke seluruh ruang bakar. Disamping itu, kevakuman yang kuat menyebabkan bahan bakar yang menempel pada dinding *manifold* menyerap dengan cepat dan membuat campuran menjadi terlalu gemuk. Ini

akan mengakibatkan meningkatnya konsentrasi CO dan *Hidrokarbon* tapi juga memperendah suhu pembakaran.

**b. Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ )**

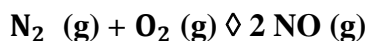
*Karbon Dioksida* ( $\text{CO}_2$ ) merupakan sejenis senyawa kimia yang terdiri dari dua atom oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah atom karbon.  $\text{CO}_2$  ini berbentuk gas pada keadaan temperatur dan tekanan standar dan berada di atmosfer bumi. *Karbon dioksida* adalah hasil dari pembakaran senyawa organik jika cukup jumlah oksigen yang ada. *Karbon dioksida* juga dihasilkan oleh berbagai mikroorganisme dalam fermentasi dan dihembuskan oleh hewan. Tumbuhan menyerap *Karbon dioksida* selama fotosintesis. Oleh karena itu sebagai gas rumah kaca dan dalam konsentrasi yang rendah,  $\text{CO}_2$  merupakan komponen penting dalam siklus karbon. Selain dihasilkan dari hewan dan tumbuhan,  $\text{CO}_2$  juga merupakan hasil samping pembakaran bahan bakar fosil.

*Karbon Dioksida* sebagian besar gas yang bertanggung jawab atas efek rumah kaca di atmosfer dengan perkiraan 50% merupakan  $\text{CO}_2$ . Rata-rata konsentrasi  $\text{CO}_2$  di atmosfer bumi  $\pm 387$  ppm, jumlah ini bisa bervariasi tergantung pada lokasi dan waktu (Rania, 2011).

**c. Nitrogen Oksida ( $\text{NO}_x$ )**

Senyawa *Nitrogen Oksida* yang sering menjadi masalah pada polusi udara adalah NO dan  $\text{NO}_2$ . Kedua senyawa tersebut terbuang langsung ke udara bebas dari hasil pembakaran bahan bakar. *Nitrogen monoksida* (NO) merupakan gas berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam. Gas NO merupakan gas yang

berbahaya karena mengganggu syaraf pusat. Gas NO terjadi karena adanya reaksi antara  $N_2$  dan  $O_2$ . Persamaan reaksi  $N_2$  dan  $O_2$  sebagai berikut :



Secara teoritis ada 3 (tiga) teori yang mengemukakan terbentuknya Nox, yaitu :

1. Thermal Nox (*Extended Zeldovich Mechanism*). Proses ini disebabkan gas nitrogen yang beroksida suhu tinggi pada ruang bakar ( $>1800$  K).

Thermal Nox ini didominasi oleh emisi NO ( $NO_x = NO + NO_2$ )

2. Prompt NOx

Formasi Nox ini akan terbentuk cepat pada zona pembakaran.

3. Fuel NOx

NOx formasi ini terbentuk karena kandungan N dalam bahan bakar.

*Nitrogen Oksida* yang ada di udara yang dihirup oleh manusia dapat menyebabkan kerusakan paru-paru. Setelah bereaksi dengan atmosfer zat ini membentuk partikel-partikel nitrat yang amat halus yang dapat menembus bagian terdalam paru-paru. 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 berawan coklat kemerahan yang menyelimuti beberapa kota besar dunia (Abner, 2009).

#### **d. *Hidrokarbon* (HC)**

*Hidrokarbon* merupakan gas buang yang diakibatkan karena bahan bakar yang tidak terbakar. HC ini adalah bagian dari bensin yang dilepaskan baik dalam bentuk tidak terbakar atau terpecah dengan sempurna. Ada beberapa faktor yang

menyebabkan adanya HC, sebagai contoh : pembakaran yang tidak sempurna oleh oksigen yang tidak mencukupi, nyala yang tertekan di dekat dinding mesin interior, turunnya suhu yang disebabkan oleh rendahnya kandungan bensin dan lain-lain. *Hidrokarbon* (HC) merupakan gas yang berbahaya dikarenakan dapat mengikat hemoglobin darah didalam tubuh manusia.

Adapun pengaruh *Hidrokarbon* terhadap kesehatan manusia dapat dilihat pada Tabel 10 (Ebenezer, 2006).

Tabel 10. Pengaruh *Hidrokarbon* Terhadap Kesehatan Manusia

Jenis Hidrokarbon	Kosentrasi (ppm)	Dampak Kesehatan
Benzene ( $C_6H_6$ )	100	Iritasi Membran Mukosa
	3.000	Lemas setelah ½ - 1 jam
	7.500	Pengaruh sangat berbahaya setelah pemaparan 1 jam
	20.000	Kematian setelah pemaparan 5 – 10 menit
Toluena ( $C_7H_8$ )	200	Pusing, lemah, dan berkunang-kunang setelah pemaparan 8 jam
	600	Kehilangan koordinasi, bola mata terbalik setelah pemaparan 8 jam

#### e. *Sulfur Dioksida* ( $SO_2$ )

*Sulfur Dioksida* didapat baik dari sumber alamiah maupun sumber artificial. Sumber-sumber alamiah  $SO_2$  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.  $SO_2$  dikenal sebagai gas yang tidak berwarna bersifat iritan kuat bagi kulit dan selaput lendir, pada kosentrasi 6 – 12 ppm.  $SO_2$  mudah diserap oleh selaput lendir saluran pernafasan bagian atas. Dalam kadar rendah dapat menimbulkan spasme temporer otot-otot polos pada *bronchioli*. *Spasme* ini

dapat menjadi lebih hebat pada selaput lendir disaluran pernafasan pada bagian atas, dan apabila kadar  $\text{SO}_2$  dapat bertambah tinggi lagi maka akan terjadi peradangan yang hebat pada selaput lendir, bila kadar ini rendah (6 – 12 ppm) tetapi bila pernafasan terjadi berulang kali, maka akan menyebabkan kanker disamping itu juga *Sulfur Dioksida* juga merupakan salah satu komponen penyebab terjadinya hujan asam. Hujan asam ini akan mempercepat berkaratnya alat/bahan yang terbuat dari logam sehingga menyebabkan kerusakan yang lebih cepat (I Made, 2006).

#### **f. Partikulat ( $\text{PM}_{10}$ )**

Partikel asap atau jelaga *Hidrokarbon (Polycyclic Aromatic Hydrokarbon)* selalu mengganggu pandangan karena kehitaman dan kepekatan, asapnya juga bersifat *Karsinogenis* (penyebab kanker). Debu *Partikulat* ini juga terutama dihasilkan dari emisi gas buangan kendaraan. Sekitar 50% - 60% dari partikel melayang merupakan debu berdiameter 10  $\mu\text{m}$  atau dikenal dengan  $\text{PM}_{10}$ . Debu  $\text{PM}_{10}$  ini bersifat sangat mudah terhirup dan masuk ke dalam paru-paru, sehingga  $\text{PM}_{10}$  dikategorikan sebagai *Respirable Particulate Matter* (RPM). Akibatnya akan mengganggu sistem pernafasan bagian atas maupun bagian bawah (*alveoli*). Pada *alveoli* terjadi penumpukan partikel kecil sehingga dapat merusak jaringan atau sistem jaringan paru-paru, sedangkan debu yang lebih kecil dari 10  $\mu\text{m}$ , akan menyebabkan iritasi mata, mengganggu serta menghalangi pandangan mata (Indra, 2003).



## **K. Analisis Beban Emisi**

Emisi merupakan suatu zat, energy atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk atau dimasukkannya kedalam udara ambient yang mempunyai atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar (Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran Udara).

### **1. Faktor Emisi**

Faktor emisi adalah nilai representatif yang menghubungkan kuantitas suatu polutan yang dilepaskan ke atmosfer dari suatu kegiatan yang terkait dengan sumber polutan. Faktor-faktor ini biasanya dinyatakan sebagai berat polutan dibagi dengan satuan berat, volume, jarak, atau lamanya aktivitas yang mengemisikan polutan (misalnya, partikel yang diemisikan gram per liter bahan bakar yang dibakar). Faktor emisi juga didefinisikan sebagai sejumlah berat tertentu polutan yang dihasilkan oleh terbakarnya sejumlah bahan bakar selama kurun waktu tertentu. Hal tersebut dapat diketahui bahwa jika faktor emisi suatu polutan diketahui, maka banyaknya polutan yang lolos dari proses pembakarannya dapat diketahui jumlahnya per satuan waktu (Rania, 2011).

Berdasarkan Peraturan Presiden RI No. 71 tahun 2011 tentang penyelenggaraan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Nasional bahwa penentuan faktor emisi Indonesia ditentukan dari per satuan aktivitas dari sektor transportasi dan bahan bakar yang digunakan. Dari sektor transportasi Indonesia hampir seluruhnya berupa bahan bakar minyak/BBM (premium, pertamax, solar dan avtur untuk pesawat). Kandungan komposisi kimia yang terdapat di bahanbakar BBM salah satunya unsur *Karbon* (C) yang terbuang kendaraan pada waktu pembakaran mesin. Setiap

satuan karbon yang terkandung dalam setiap jenis bahan bakar (petrol, diesel, kerosene) pada proses pembakaran akan mengemisikan jumlah  $CO_2$  yang sama yaitu setiap 1 kg = 3,63 kg  $CO_2$  dan persatuan energi (gram  $CO_2$ /MJ). Besarnya kandungan energi dalam setiap jenis bahan bakar disebut Energi Content dalam satuan 1 liter, 1 gallon atau 1 kg.

Energi Content (kandungan energi) adalah jumlah energi yang tersimpan dalam sistem tertentu atau ruang wilayah per satuan volume.

Tabel 11. Kandungan  $CO_2$  per-satuan Energi

Jenis Bahan Bakar	Kandungan $CO_2$ (Gram/MJ)
Petrol	68
Minyak Tanah	68
Natural Gas	50
LPG	60
Avtur	66
Minyak Bakar	69
Kayu Bakar	84
Batu Bara	88(bitumen),95(antrasit)

(Wendy, 2011)

Tabel 12. Energi Panas yang Dihasilkan per satuan Berat Bahan Bakar

Jenis Bahan Bakar	Energi Panas (MJ/Kg)
Petrol/Petramax	46
Minyak Tanah	47
Natural Gas / LNG	55
LPG	51
Avtur	47
Diesel	48
Ethanol	31
Methanol	20
Gasohol (10% ethanol)	45
Bio-diesel	40
Vegetable Oil	38

(Wendy, 2011)

Setiap 1 kg = 3,63 kg  $CO_2$

Untuk petrol kandungan  $CO_2$  = 68 gram per MJ kandungan energi.

Jumlah kandungan energi per satuan kg Petrol = 46 MJ

Maka, proses pembakaran 1 kg Petrol menghasilkan emisi  $CO_2$  yaitu :

$$CO_2 = 46 \text{ gr } CO_2/MJ \times 68 MJ/gr = 3128 \text{ gr}$$

Indonesia melalui *Organisasi Meteorologi Dunia* (WMO) dan *United Nations Environment Programme* (UNEP) bekerjasama mendirikan Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim (*Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) dari tahun 1988 melakukan mitigasi dan metode untuk Gas Rumah Kaca Nasional dimana salah satunya penentuan *Emission Factor* untuk standar penetapan perhitungan emisi Gas Rumah Kaca di berbagai sektor. Salah satunya sektor transportasi. Dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 12 tahun 2010 tentang pelaksanaan pengendalian pencemaran udara di daerah, maka telah ditentukan standar Faktor Emisi (FE) yang didasarkan pada acuan FE default IPCC 2006.

Faktor emisi (FE) merupakan rerata statistik dari jumlah massa pencemar yang diemisikan untuk setiap satuan aktivitas kegiatan. Faktor emisi kendaraan bermotor dipengaruhi oleh faktor-faktor berikut ini :

- a. Karakteristik geografi (meteorologi dan variasi kontur);
- b. Karakteristik bahan bakar;
- c. Teknologi kendaraan;
- d. Pola kecepatan kendaraan bermotor (*driving cycle*).

Dengan asumsi :

1. Karakteristik geografi kota di seluruh Indonesia diasumsikan seragam;
2. Karakteristik bahan bakar di seluruh Indonesia diasumsikan seragam;

3. Teknologi kendaraan sebanding dengan umur kendaraan bermotor dan dapat diasumsikan seragam distribusinya di seluruh Indonesia apabila belum tersedia data populasi kendaraan bermotor berdasarkan umurnya.

Berikut daftar standar Faktor Emisi (FE) Indonesia berdasarkan PERMENLH No. 12 tahun 2010.

Tabel 13. Faktor Emisi (FE) Gas Buang Kendaraan untuk Kota Metropolitan dan Kota Besar di Indonesia yang Ditetapkan Berdasarkan Kategori Kendaraan

Kategori Kendaraan	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	PM <sub>10</sub> (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/km)	SO <sub>2</sub> (g/km)
Sepeda Motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil Pribadi (Bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil Pribadi (Solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Bis	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Angkot	43,1	5,08	2,1	0,006	3180	0,029
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

(Kementerian Lingkungan Hidup, 2010)

Jika faktor emisi sesuatu polutan diketahui, maka banyaknya polutan yang lolos dari proses pembakarannya dapat diketahui jumlahnya persatuan waktu.

## 2. Perhitungan Beban Emisi

Pada perhitungan beban emisi untuk suatu polutan (j) dari kendaraan pada suatu segmen jalan dapat digunakan rumus sebagai berikut :

$$E_j = \sum_{i=1}^n E_{ij} = \sum_{i=1}^n l_i \cdot P_i \cdot V_i \cdot C_{ij} = lV \sum_{i=1}^n P_i \cdot C_{ij} \dots \dots \dots (2.6)$$

Dimana :

j : jumlah polutan yang diemisikan dari kendaraan

i : jenis kendaraan per unit jarak (g/km)

l : panjang dari segmen jalan (data jalan/jarak tempuh yang dilintasi diukur menggunakan speedometer kendaraan)

V : volume total kendaraan yang melewati suatu segmen jalan

Pi : fraksi probabilitas distribusi dari kendaraan tipe i

Secara sederhana penentuan beban emisi yang dihasilkan dengan menentukan jumlah volume kendaraan, panjang jalan dan faktor emisi dengan menggunakan rumus yaitu sebagai berikut :

Beban Emisi (ton/tahun) = Jumlah kendaraan (kendaraan/hari/tahun) x Panjang jalan yang dilewati / ditempuh perjalanan (km) x faktor emisi Indonesia (g/km/kendaraan) x  $10^{-6}$  (ton/g) x 365 (hari/tahun)

Dimana :

Sumber faktor emisi bergerak (kendaraan bermotor) dapat dinyatakan dalam unit :

- a. Gram/Kilometer (g/km), gram menyatakan banyaknya pencemar yang akan diemisikan serta km menyatakan jarak tempuh kendaraan dalam waktu tertentu.
- b. Gram/Kilogram (g/kg), gram menyatakan banyaknya pencemar yang akan diemisikan dan kg menyatakan kuantitas bahan bakar yang digunakan.

## **L. Pengertian Kerugian**

Kerugian adalah sesuatu hal yang dapat menanggung rugi dari apa yang telah dilakukan. Kerugian didefinisikan juga sebagai perbedaan antara pendapatan dan beban yang terjadi, dimana beban yang terjadi melebihi pendapatan yang diterima sehingga beban sangat terkait dengan pendapatan. Dalam bidang transportasi adanya kemacetan yang ditimbulkan oleh volume kendaraan bermotor mengakibatkan beberapa kerugian dalam hal ini kerugian secara kualitatif maupun kuantitatif. Salah satunya kerugian tersebut dari segi biaya sosial yang

ditimbulkan dari kendaraan bermotor yaitu biaya kerugian akibat emisi kendaraan yang berdampak pada biaya kesehatan maupun biaya lingkungan dalam pengurangan emisi kendaraan.

### **1. Biaya Kerugian Kemacetan Akibat Emisi Kendaraan**

Biaya emisi dapat melayani dua tujuan yaitu menciptakan insentif keuangan untuk mengurangi polusi dan menghasilkan pendapatan. Efek insentif terjadi karena biaya membuat emisi mahal untuk perusahaan. Efek insentif maksimum dicapai ketika biaya dikenakan pada emisi tambahan kepada masyarakat. Biaya dapat baik diukur dari segi peningkatan kerusakan kesehatan penduduk, atau dihargai oleh biaya terhadap perekonomian dari lebih lanjut mengurangi emisi setelah mencapai level target, tergantung pada tujuan kebijakan, dimana biaya dari emisi dapat menjadi faktor dimasa depan dalam mengambil keputusan untuk memperluas atau memodifikasi fasilitas transportasi.

Pilihan untuk mengurangi emisi melibatkan baik mengubah bahan bakar atau menambahkan kontrol teknologi ditingkat stack. Misalnya, pergeseran untuk membersihkan batubara dapat mengurangi emisi PM oleh 30-60% dan  $SO_2$  emisi sebesar 10-40% pada biaya rata-rata \$ 122 per ton PM. Perkiraan biaya pengurangan menggunakan data dari Biro Sensus Amerika Serikat dalam upaya untuk menerapkan berbasis negara-negara berkembang.

Perkiraan biaya rata-rata per ton untuk emisi PM kontrol untuk Sumber utama emisi dalam aliran udara Metro Manila adalah sebagai berikut :

- a. Semen manufaktur \$ 20 ;
- b. Batubara \$ 30,82 ;

c. kilang Minyak \$ 347.

Menurut URBAIR, biaya per ton  $PM_{10}$  dihapus (tidak termasuk efek sekunder dari SOx lebih rendah) adalah US \$ 2,000-20,000 (Krupnick, 2003).

Sedangkan penelitian di California menyatakan bahwa perkiraan biaya polusi udara mengakibatkan 0,61 sen/mil untuk mobil yang dioperasikan di daerah metropolitan California dan per ton emisi \$ 1,000. Alasan utama penetapan biaya tersebut adalah bahwa nilai dasar hidup 29 kali lebih tinggi dari pendapatan kehilangan diskon yang digunakan. Kedua bahan kesehatan dan biaya dengan 3,466 rasio GDP per kapita pada tahun 1992. Maka biaya disesuaikan per emisi unit \$ 1,000 per ton adalah 0,88 untuk CO, 9.16 untuk VOC, 22,85 untuk NOx, 21,25 untuk Sox dan 26,45 untuk PM (Kenneth, 1995).

Menurut *Victoria Transport Policy Institute, 2013* biaya polusi udara mengacu pada kendaraan bermotor, termasuk kesehatan manusia, ekologi dan estetika *degradasi*. Emisi knalpot adalah polutan yang dilepaskan langsung dari pipa knalpot kendaraan. Emisi siklus hidup mencakup baik emisi knalpot dan tidak langsung emisi dari ekstraksi bahan bakar dan penyulingan, manufaktur kendaraan, dan konstruksi fasilitas transportasi.

#### **a. Nilai Satuan Biaya**

Satuan biaya polusi udara mengacu pada estimasi biaya per kilogram , ton atau ton tertentu polutan di lokasi tertentu (seperti kota atau negara tertentu) . Ada dua dasar cara untuk mengukur dampak tersebut : biaya kerusakan yang mencerminkan kerusakan dan risiko, dan kontrol (juga disebut penghindaran atau

mitigasi) biaya yang mencerminkan biaya pengurangan emisi. Ada kemungkinan bahwa unit biaya kerusakan kesehatan memiliki penurunan dari waktu ke waktu sebagai peningkatan perawatan medis mengurangi kematian dan penyakit disebabkan oleh paparan polusi, tapi ini mungkin diimbangi oleh peningkatan penduduk perkotaan (yang meningkatkan jumlah orang yang terkena) dan peningkatan nilai ditempatkan pada manusia kehidupan dan kesehatan yang umumnya terjadi ketika orang-orang menjadi kaya.

#### **b. Biaya Polusi Udara Menurut Negara Luar**

*Victoria Transport Policy Institute* (VTPI) adalah organisasi riset independen yang didedikasikan untuk mengembangkan solusi inovatif dan praktis untuk masalah transportasi. Dalam risetnya bahwa biaya polusi udara yang disebabkan oleh emisi berbagai kendaraan dihitung berdasarkan kategori ekonomi dilihat dari berbagai jenis kendaraan, kategori ekonomi berdasarkan tingkat kesehatan manusia dan jarak pengelihan (untuk transportasi), serta biaya polusi udara per ton emisi setiap negara lain berbeda, dapat dilihat pada Tabel 14, Tabel 15 dan Tabel 16.

Tabel 14. Biaya Polusi Udara Berdasarkan VTPI

<b>Vehicle Class</b>	<b>Total (\$1990 Million)</b>	<b>Cents per Mile</b>
Automobiles	20,343	1.1¢
Pickups/Vans	11,324	2.6¢
Gasoline Vehicles >8,500 pounds	1,699	3.0¢
Diesel Vehicles >8,500 pounds	6,743	3.9¢

(Victoria Transport Policy Institute, 2013)

Biaya kerugian akibat emisi yang dihasilkan dipertimbangkan dari segi tingkat kesehatan yang dialami di negara Amerika yaitu pertimbangan penggunaan biaya emisi \$ 1,000 per ton berdasarkan orang-orang menempatkan nilai yang lebih



rendah pada resiko kematian akibat polusi udara dari emisi kendaraan bermotor, serta kematian akibat polusi terjadi rata-rata untuk orang tua yang memiliki harapan hidup lebih pendek.

Berikut Tabel 17 biaya emisi di Amerika Los Angeles berdasarkan tingkat kematian yang disebabkan oleh emisi kendaraan bermotor (Kenneth, 1995).

Tabel 15. Biaya Polusi Udara Berdasarkan Kategori Ekonomi (2005 \$ Kanada/ ton) oleh VTPI

Kategori Ekonomi	Polutan	Biaya Kerusakan Marjinal (\$)
Kesehatan Manusia	CO	205
	$PM_{2.5}$	317,000
	$O_3$	1,086
	$PM_{10}$	3,175
Jarak Penglihatan	NOx	934
	VOC	44
Tanaman Pertanian	$O_3$	280
Bahan Exterior	$O_3$	373
Total	$O_3$	1,739

(Victoria Transport Policy Institute, 2013)

Tabel 16. Biaya Emisi Eropa (Euro tahun 2002 per Ton) Berdasarkan VTPI

	$SO_2$	NOx	$PM_{2.5}$	VOCs
<b>Perdesaan</b>				
Austria	7,200	6,800	14,000	1,400
Belgium	7,900	4,700	22,000	3,000
Denmark	3,300	3,300	5,400	7,200
Finland	970	1,500	1,400	490
France	7,400	8,200	15,000	2,000
Germany	6,100	4,100	16,000	2,800
Greece	4,100	6,000	7,800	930
Ireland	2,600	2,800	4,100	1,300
Italy	5,000	7,100	12,000	2,800
Netherlands	7,000	4,000	18,000	2,400
Portugal	3,000	4,100	5,800	1,500
Spain	3,700	4,700	7,900	880
Sweden	1,700	2,600	1,700	680
UK	4,500	2,600	9,700	1,900
EU-15 average	5,200	4,200	14,000	2,100
<b>Perkotaan</b>				
100,000 Populasi	6,000		33,000	
500,000 Populasi	30,000		165,000	
1,000,000 Populasi	45,000		247,500	
Beberapa Juta Populasi	90,000		495,000	

(Victoria Transport Policy Institute, 2013)

Tabel 17. Biaya Emisi Berdasarkan Amerika Serikat dengan Tingkat Koefisien Kematian Manusia

Biaya untuk Daerah Los Angeles (Amerika Serikat) Tahun 1992 \$1,000 per ton emisi				
	VOC	NO <sub>x</sub>	SO <sub>x</sub>	PM <sub>10</sub>
Kematian dari Partikulat				
\$ 2.1m nilai kehidupan				
• Koefisien kematian rendah	0.37	1.86	23.1	21.4
• Koefisien kematian rata-rata geometrik	0.73	3.64	45.2	41.9
\$ 4.87M nilai kehidupan				
• Koefisien kematian rendah	0.86	4.31	53.5	49.6
• Koefisien kematian yang tinggi	3.31	16.55	205.4	190.5
• Koefisien Kematian Geometris rata – rata <sup>a</sup>	1.69	8.45	104.8	97.2
• Koefisien kematian rata-rata geometrik menggunakan San Bernardino PM <sub>10</sub> <sup>b</sup>	2.27	11.36	141.0	130.7
\$ 11.3M nilai kehidupan				
• Koefisien kematian yang tinggi	7.67	38.41	476.5	442.0
• Koefisien kematian rata-rata geometrik	3.92	19.60	243.2	225.5
Semua kerusakan dari SO <sub>x</sub> , \$ 4.87M nilai kehidupan	0	0	788.4	0.0
• Koefisien kematian rata-rata geometrik				
(a) Asumsi dasar menggunakan nilai 4.87M \$ hidup, rata-rata geometris dari partikulat tinggi dan rendah koefisien mortalitas, rata-rata geometrik dari dua angka morbiditas ozon dengan biaya yang sama dikaitkan untuk NO <sub>x</sub> dan VOC, dan satu-satunya partikulat angka morbiditas.				
Semua perhitungan lainnya menggunakan pembacaan PM <sub>10</sub> dari pusat kota Los Angeles Monitor				

(Kenneth, 1995)

Perhitungan biaya pada Tabel 17 bahwa biaya emisi yang dikeluarkan per ton dari berbagai polutan menunjukkan bahwa kematian akibat partikulat adalah dominan komponen biaya VOC, NO<sub>x</sub>, Sox dan emisi PM<sub>10</sub>.

## M. Ketentuan Hukum

1. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup (PMNLH) Nomor : 05 Tahun 2006, tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama Tanggal 01 Agustus 2006 yaitu sebagai berikut :

**a. Kendaraan Bermotor Kategori L**

Tabel 18. Kendaraan Bermotor Kategori L

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter		Metode Uji
		CO (%)	HC (ppm)	
Sepeda motor 2 langkah	< 2010	4,5	12.000	Idle
Sepeda motor 4 langkah	<2010	5,5	2.400	Idle
Sepeda motor (2 langkah dan 4 langkah)	≥ 2010	4,5	2.000	Idle

(PMNLH No. 05 Tahun 2006, Tanggal 01 Agustus 2006)

**b. Kendaraan Bermotor Kategori M, N dan O**

Tabel 19. Kendaraan Bermotor Kategori M, N dan O

Kategori	Tahun Pembuatan	Parameter			Metode Uji
		CO (%)	HC (ppm)	Opasitas (% HSU)*	
Berpenggerak motor bakar	< 2007	4,5	1.200		Idle
Cetus api (bensin)	≥ 2007	1,5	200		
Berpenggerak motor bakar penyalaan kompresi (diesel)					
- GVW ≤ 3,5 ton		< 2010 ≥ 2010		70 40	
- GVW > 3,5 ton		< 2010 ≥ 2010		70 50	

(PMNLH No. 05 Tahun 2006, Tanggal 01 Agustus 2006)

Catatan :

- Untuk kendaran bermotor berpenggerak motor bakar cetus api kategori M, N dan O
  - < 2007 : berlaku sampai dengan 31 Desember 2006
  - >2007 : berlaku mulai tanggal 1 Januari 2007
- Untuk kendaraan bermotor kategori L dan kendaraan bermotor berpenggerak motor bakar penyalaan kompresi
  - <2010 : berlaku sampai dengan 31 Desember 2009

b. >2010 : berlaku mulai tanggal 1 Januari 2010

\*atau ekivalen % *bosch*

Keterangan :

1. Kategori M : Kendaraan bermotor beroda empat atau lebih dan digunakan untuk angkutan orang.
  2. Kategori N: Kendaraan bermotor empat atau lebih dan digunakan untuk angkutan barang
  3. Kategori O : Kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel
  4. Idle : kondisi dimana mesin kendaraan pada putaran dengan :
    - a. Sistem kontrol bahan bakar (misal : choke, akselerator) tidak bekerja
    - b. Posisi transmisi netral untuk kendaraan manual atau semi otomatis
    - c. Posisi transmisi netral atau parkir untuk kendaraan otomatis
    - d. Perlengkapan atau asesoris kendaraan yang dapat mempengaruhi putaran tidak dioperasikan atau dapat dijalankan atas rekomendasi manufaktur.
2. Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup (PMNLH) Republik Indonesia Nomor 10 Tahun 2012 tentang Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori L3.

Kendaraan bermotor tipe baru kategori L3 adalah kendaraan bermotor tipe baru beroda 2 (dua) dengan kapasitas silinder lebih dari 50 (lima puluh) cm<sup>3</sup>

atau dengan desain kecepatan maksimum lebih dari 50 (lima puluh) km/jam apapun jenis tenaga penggerakannya.

Baku mutu emisi gas buang kendaraan bermotor dengan metode uji NEDC  
Kendaraan bermotor tipe baru kategori L dengan pengujian tipe I (mode test).

Tabel 20. Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori L (Mode test)

Kategori	Parameter	Nilai Ambang Batas Gram/km	Metoda Uji
L3 < 150 cm <sup>3</sup>	CO	2,0	ECE R 40 UDC mode (Cold start)
	HC	0,8	
	NO <sub>x</sub>	0,15	
L3 ≥ 150 cm <sup>3</sup>	CO	2,0	ECE R 40 UDC+EUDC Mode (Cold start)
	HC	0,3	
	NO <sub>x</sub>	0,15	

(PMNLH No. 10 Tahun 2012)

UDC : *Urban Driving Cycle*

EUDC : *Extra Urban Driving Cycle*

Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dengan Metoda Uji WMTC dapat dilihat pada Tabel 21.

Tabel 21. Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Metoda Uji WMTC

Kategori	Parameter	Nilai Ambang Batas Gram/km	Metoda Uji
≥ 130 km/jam	CO	2,62	WMTC
	HC	0,33	
	NO <sub>x</sub>	0,22	
< 130 km/jam	CO	2,62	WMTC
	HC	0,75	
	NO <sub>x</sub>	0,17	

(PMNLH No. 10 Tahun 2012)

Tabel 22. Kelas dan Sub kelas Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Metoda Uji WMTC

Kelas	Sub Kelas	Definisi
Kelas 1	-	50 cc < kapasitas silinder mesin < 150 cc dan $V_{max} > 50$ km/jam atau kapasitas silinder mesin < 150 cc, $50 \text{ km/jam} \leq V_{max} < 100$ km/jam
Kelas 2	2-1	Kapasitas silinder mesin < 150 cc dan $10 \text{ km/jam} \leq V_{max} < 115$ km/jam, atau kapasitas silinder mesin $\geq 150$ cc dan $V_{max} < 115$ km/jam
	2-2	$115 \text{ km/jam} \leq V_{max} < 130$ km/jam
Kelas 3	3-1	$130 \text{ km/jam} \leq V_{max} < 140$ km/jam
	3-2	$V_{max} \geq 140$ km/jam

(PMNLH No. 10 Tahun 2012)

Catatan :

- a. WMTC : (*Worldwide Harmonized Motorcycle Emissions Certification Procedure*)
- b.  $V_{max}$  adalah kecepatan maksimum kendaraan sebagaimana dinyatakan oleh produsen, diukur sesuai dengan Directive Uni Eropa (UE) No. 95/1/EC.

## N. REFERENSI DAN PENELITIAN TERDAHULU

Adapun beberapa referensi dan penelitian terdahulu yang menunjang acuan bagi penelitian penulis adalah sebagai berikut dapat dilihat pada Tabel 23.

Tabel 23. Beberapa Referensi dan Penelitian Terdahulu sebagai Literatur Penelitian

No	Nama	Topik	Rekomendasi
1	Abner Tarigan, 2009 Universitas Sumatera Utara (Medan)	Estimasi Emisi Kendaraan Bermotor di Beberapa Ruas Jalan Kota Medan	Mengestimasi konsentrasi dan prosentase emisi dari berbagai jenis kendaraan bermotor di beberapa ruas jalan Kota Medan. Estimasi emisi ini dilaksanakan di tiga ruas jalan Kota Medan yaitu Medan - Binjai Km 7, Medan – Tg Morawa Km 10 dan Medan – Tembung di jalan Letda Sudjono sekitar 150 meter akses masuk jalan Toll Bandar Selamat dengan parameter penelitian adalah <i>Karbon Monoksida</i> , <i>Nitrogen Oksida</i> dan <i>Sulfur Dioksida</i> dengan memakai faktor emisi yang didapatkan dari literatur.
2	Thias Maro Hidayat, 2013 Skripsi Universitas Lampung	Analisis Biaya Kerugian Akibat Kemacetan Ditinjau dari Nilai Waktu Perjalanan di Kota Bandar Lampung	Penelitian ini menganalisis besarnya biaya kerugian akibat kemacetan di kota Bandar Lampung, dimana kemacetan menyebabkan berkurangnya penghematan dalam waktu perjalanan. Sehingga mengakibatkan peningkatan biaya perjalanan dan kerugian akibat kemacetan yang ditimbulkan. Biaya kerugian akibat kemacetan dengan Metode <i>Income Approach</i> untuk arah Rajabasa – Tanjung Karang selama 1 tahun pada jam sibuk adalah sebesar Rp. 1.879.876.153,- untuk mobil pribadi, Rp. 231.909.565,6,- untuk angkutan kota, dan Rp. 22.010.625,52,- untuk BRT. Sedangkan untuk arah Tanjung Karang – Rajabasa adalah sebesar Rp. 1.285.653.758,- untuk mobil pribadi, Rp. 176.017.605,9,- untuk angkutan kota dan Rp. 11.608.735,84,- untuk BRT.
3	Iin Irawati dan Mudjiastuti Handajani, 2012 Jurnal Skripsi Semarang	Pengaruh populasi dan jenis kendaraan terhadap faktor kekuatan emisi gas buang (CO), Kajian Wilayah Studi Jalan Gajah dan Jalan Sukun, Semarang	Menganalisis jumlah kekuatan emisi gas buang (CO) yang dihasilkan oleh kendaraan akibat tingginya populasi kendaraan terutama sepeda motor pada ruas jalan Gajah dan Sukun, Semarang dan mendapatkan alternatif solusi penanganan pencemaran dikarenakan kendaraan bermotor. Dari hasil data yang diperoleh bahwa volume lalu lintas tertinggi terjadi adalah sebesar 302 kendaraan per jam - 814,4 smp/jam untuk ruas jalan Gajah

			dan 1.489 kendaraan / jam = 863 amp/jam untuk ruas jalan Sukun.
4	Srikandi Novianti dan Driejana, Institut Teknologi Bandung (ITB)	Pengaruh Karakteristik Faktor Emisi Terhadap Estimasi Beban Emisi <i>Oksida Nitrogen</i> (NOx) dari Sektor Transportasi (Studi Kasus : Wilayah Karees Bandung)	Dalam penelitian ini membandingkan estimasi beban emisi menggunakan berbagai database faktor emisi dengan karakteristik berbeda, yaitu menggunakan faktor beban emisi dari Negara Indonesia, India, dan Inggris. Berdasarkan penelitian yang dilakukannya bahwa ruas jalan dengan lalu lintas terpadat adalah jalan jakarta dengan dihasilkan beban emisi tertinggi, serta faktor emisi sangat berpengaruh pada nilai beban emisi. Dari hasil database faktor emisi inggris dianggap sebagai faktor emisi yang kemungkinan lebih baik untuk diaplikasikan karena faktor emisi yang lebih detail sesuai dengan kebutuhan lapangan.
5	Rania Indah Ismayanti, Rahmat Boedisantoso dan Abdu Fadli Assomadi, 2011 Teknik Lingkungan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya	Kajian Emisi $CO_2$ Menggunakan Persamaan Mobile 6 dan Mobile <i>Combustion</i> dari Sektor Transportasi di Kota Surabaya	Penelitian ini menghitung emisi $CO_2$ menggunakan persamaan mobile 6 dan mobile <i>combustion</i> berdasarkan jenis kendaraan yang dikelompokkan menurut jenis bahan bakarnya masing-masing.
6	Kenneth A. Small dan Camilla Kazimi, 1995 <i>Departement of Economics University of California at Irvine</i>	Tentang Biaya Pencemaran Udara dari Kendaraan Bermotor ( <i>On The Costs of Air Pollution From Motor Vehicles</i> )	Penelitian ini menyajikan perkiraan biaya polusi udara dari berbagai jenis kendaraan bermotor di daerah Los Angeles. Biaya didominasi oleh kematian dari partikel, termasuk yang terbentuk dari gas emisi melalui reaksi sekunder. Biaya polusi udara dari rata-rata mobil di jalan California pada tahun 1992 adalah \$ 0,03 per mil, sehingga pada tahun 2000 kendaraan diesel jauh lebih mahal. Perkiraan biaya diasumsikan pada efek kesehatan yang diukur dari <i>partikulat</i> (PM) dan asumsi tentang debu jalan.