

## **II. TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Transportasi dan Lingkungan**

Transportasi secara umum diartikan sebagai perpindahan barang atau orang dari satu tempat ke tempat yang lain. Sedangkan menurut Sukarto (2006), transportasi atau perangkutan adalah perpindahan dari suatu tempat ke tempat lain dengan menggunakan alat pengangkutan, baik yang digerakkan oleh tenaga manusia, hewan (kuda, sapi, kerbau), atau mesin.

Transportasi timbul karena adanya kebutuhan manusia. Transportasi sendiri telah menyatu dengan masyarakat yang tidak terlepas dari keharusan memperhatikan aspek lingkungan (Miro, 2005). Kendaraan bermotor yang menjadi alat transportasi, dalam konteks pencemaran udara dikelompokkan sebagai sumber yang bergerak.

Seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor, mengakibatkan pencemaran udara juga semakin meningkat. Hal ini menyebabkan kondisi udara tidak sepenuhnya bersih, karena gas buang hasil dari pembakaran kendaraan mengandung racun yang berbahaya bagi lingkungan. Lingkungan yang rusak berarti berkurangnya daya dukung alam yang selanjutnya akan mengurangi kualitas hidup manusia dan makhluk hidup lainnya (Darmono, 2001).

## 2.2 Emisi Gas Buang

### 1. Emisi

Emisi adalah zat, energi dan/atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan/atau dimasukkannya ke dalam udara ambien yang mempunyai dan/atau tidak mempunyai potensi sebagai unsur pencemar (PP No. 41 Tahun 1999). Berdasarkan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 13 Tahun 1995, emisi didefinisikan sebagai masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan atau komponen lain ke udara.

### 2. Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah zat atau unsur hasil dari pembakaran di dalam ruang bakar yang dilepaskan ke udara yang ditimbulkan oleh kendaraan bermotor yang berasal dari penguapan tangki bahan bakar minyak (Thandjung, 2002).

Emisi gas buang adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin pembakaran dalam dan mesin pembakaran luar yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Biasanya emisi gas buang terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dari sistem pembuangan dan pembakaran mesin serta lepasnya partikel-partikel karena kurang tercukupinya oksigen dalam proses pembakaran tersebut. Holmen dan Niemer (2003) menyatakan bahwa emisi pencemaran udara dihasilkan dari ketidaksempurnaan pembakaran energi dari mesin

kendaraan. Emisi Gas Buang merupakan salah satu penyebab terjadinya efek rumah kaca dan pemanasan global yang terjadi akhir-akhir ini.

Menurut Wardhana (2001), emisi gas buang kendaraan bermotor berdampak sangat luas bagi kehidupan makhluk hidup terutama manusia. Udara yang tercemar dapat meningkatkan berbagai jenis penyakit seperti ISPA (Infeksi Saluran Pernafasan Atas). Untuk jangka waktu yang panjang penurunan kualitas udara dapat menyebabkan kematian.

### **2.3 Komposisi Emisi Gas Buang**

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 berbagai faktor lainnya (Hickman, 1999). Emisi kendaraan bermotor mengandung berbagai senyawa kimia utama, Soedomo (2001) menyatakan bahwa sekitar 87% pencemaran udara disebabkan oleh sektor transportasi dimana kontribusi utamanya adalah emisi-emisi pencemar udara yaitu CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, Hidrokarbon, dan PM.

#### **a. Emisi Karbon Monoksida (CO)**

Pengaruh karbon monoksida terhadap kesehatan adalah racun kimia karena dapat menembus jaringan dan diserap ke dalam aliran darah, serta bergabung dengan hemoglobin sel darah 300 kali lebih cepat dari oksigen dan dengan demikian menghalangi otak dan oksigen jaringan jantung (Porteous, 1996). Berkurangnya penyediaan oksigen ke seluruh

tubuh ini akan membuat sesak napas dan dapat menyebabkan kematian apabila tidak segera mendapat udara segar kembali (Soedomo, 2001).

b. Emisi Oksida Nitrogen (NO<sub>x</sub>)

Oksida Nitrogen (NO<sub>2</sub>) dapat menimbulkan iritasi mata, batuk, meningkatkan kasus asma, menimbulkan infeksi saluran nafas, memicu kanker paru-paru, serta gangguan jantung dan paru - paru.

c. Oksida Belerang (SO<sub>2</sub>)

Oksida Belerang (SO<sub>2</sub>) dapat menimbulkan efek iritasi pada saluran nafas sehingga menimbulkan gejala batuk, sesak nafas dan meningkatkan asma.

d. Emisi Senyawa Hidrokarbon (HC)

Bensin adalah senyawa hidrokarbon, jadi setiap HC yang didapat di gas buang kendaraan menunjukkan adanya bensin yang tidak terbakar dengan sempurna dan terbang bersama sisa pembakaran. Hidrokarbon (HC) dapat menyebabkan iritasi mata, pusing, batuk, mengantuk, bercak kulit, perubahan kode genetik, memicu asma dan kanker paru-paru.

e. *Partikulate Matter* (PM)

Dapat menyebabkan penyakit gangguan pernapasan dan kerusakan paru-paru.

f. Pb (Timah Hitam)

Tidak berwarna dan tidak beraroma memiliki berat jenis lebih berat dari udara, partikel ini terjadi pada semua bahan bakar yang menggunakan premix.

## 2.4 Bahan Bakar Bensin dan Pembakaran

Pembakaran didefinisikan sebagai proses oksidasi senyawa baik organik maupun non organik dengan adanya oksigen membentuk CO<sub>2</sub> dan air (H<sub>2</sub>O). Tujuan dari pembakaran adalah :

1. Mengurangi emisi gas.
2. Pengendalian terhadap bau.
3. Mengurangi resiko kebakaran dari bahan mudah terbakar.

Bahan bakar diartikan sebagai bahan yang apabila dibakar dapat meneruskan proses pembakaran tersebut dengan sendirinya, disertai dengan pengeluaran energi. Bahan bakar yang biasa digunakan adalah bahan bakar fosil (batubara dan minyak bumi).

Bensin adalah bahan bakar minyak yang pada dasarnya merupakan bahan bakar cair, yang diperoleh dari sumber alam dengan cara penambangan dan melalui proses destilasi.

Karakteristik bensin antara lain :

- a. Mudah menguap pada temperatur normal.
- b. Tidak berwarna, tembus pandang dan berbau.
- c. Mempunyai titik nyala rendah (-10 sampai -15°C).
- d. Mempunyai berat jenis yang rendah (0,71 samapi 0,77 kg/l).
- e. Dapat melarutkan oli dan karet.

Bahan bakar solar adalah bahan bakar minyak sulingan dari minyak bumi, bahan bakar ini berwarna kuning coklat yang jernih. Penggunaan solar pada

umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran (1000 rpm). Minyak solar biasa juga disebut dengan pengertian lain, bahan bakar solar adalah suatu campuran dari hidrokarbon yang telah di distilasi dari minyak mentah pada temperatur 200°C sampai 340°C (Pertamina, 2005)

Karakteristik solar antara lain :

1. Berwarna kekuning - kuning dan berbau.
2. Encer dan tidak mudah menguap pada suhu normal.
3. Mempunyai titik nyala tinggi (40° C sampai 100° C).
4. Terbakar secara spontan pada suhu 350° C.
5. Mempunyai berat jenis sekitar 0,82 - 0,86.
6. Mampu menimbulkan panas yang besar (sekitar 10.500 kcal/kg).
7. Mempunyai kandungan sulfur lebih besar dari pada bensin.

Bahan bakar solar menghasilkan konsentrasi gas karbon monoksida yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar bensin. Jenis bahan pencemar yang dikeluarkan oleh mesin berbahan bakar bensin maupun berbahan bakar solar sebenarnya sama, perbedaan hanya terletak pada 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.

## 2.5 Sampel Minimum

Dalam melakukan survei maka diperlukan jumlah sampel yang bisa mewakili dari populasi yang ada sehingga hasilnya cukup representatif. Untuk itu perlu dicari jumlah sampel minimum dari suatu populasi. Besarnya jumlah sampel minimum dengan rumus Slovin :

$$n = N / ( 1 + N \cdot e^2 ) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana ;

- n = Jumlah sampel
- N = Jumlah kendaraan per jam
- e = Nilai kritis (batas ketelitian yang diinginkan)

## 2.6 Konsep Metode Analisis Regresi Linier Berganda

Metode analisis regresi linear berganda digunakan untuk menghasilkan hubungan dalam bentuk numerik dan untuk melihat bagaimana variabel saling berkait.

Ada beberapa asumsi statistik yang harus dipertimbangkan dalam menggunakan metode ini, yaitu :

1. Variabel terikat (Y) merupakan fungsi linear dari variabel bebas (X).
2. Variabel bebas.
3. Tidak ada korelasi antara variabel bebas.
4. Variansi dari variabel terikat terhadap garis regresi adalah sama untuk nilai semua variabel terikat.
5. Nilai variabel terikat harus tersebar normal atau minimal mendekati normal.

Ada beberapa tahapan dalam pemodelan dengan metode analisis regresi linier berganda (*Algifari, 2000*), adalah sebagai berikut :

- a. Tahap pertama adalah analisis bivariat, yaitu analisis uji korelasi untuk melihat hubungan antar variabel yaitu variabel terikat dengan variabel bebas. Variabel bebas harus mempunyai korelasi tinggi terhadap variabel terikat dan sesama variabel bebas tidak boleh saling berkorelasi. Apabila terdapat korelasi diantara variabel bebas, pilih salah satu yang mempunyai nilai korelasi yang terbesar untuk mewakili.
- b. Tahap kedua adalah analisis multivariat, yaitu analisis untuk mendapatkan model yang paling sesuai menggambarkan pengaruh satu atau beberapa variabel bebas terhadap variabel terikatnya. Secara khusus penelitian ini mengkaji faktor-faktor tersebut, termasuk faktor-faktor utama yang berpengaruh di obyek penelitian.

Analisis regresi linear berganda (*Multiple Linear Regression Analysis*) yaitu suatu cara yang dimungkinkan untuk melakukan beberapa proses regresi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Pada langkah awal adalah memilih variabel bebas yang mempunyai korelasi yang besar dengan variabel terikatnya.
2. Pada langkah berikutnya menyeleksi variabel bebas yang saling berkorelasi, jika ada antara variabel bebas memiliki korelasi besar maka untuk ini dipilih salah satu, dengan kata lain korelasi harus kecil antara sesama variabel bebas.
3. Pada tahap akhir memasukkan variabel bebas dan variabel terikat ke dalam persamaan model regresi linear berganda:



$$Y = a + b_1 X_1 + b_2 X_2 \dots + b_n X_n \dots \dots \dots (2)$$

Dimana:

Y	= variabel terikat (Emisi gas buang kendaraan)
a	= konstanta (angka yang akan dicari)
b <sub>1</sub> , b <sub>2</sub> ... b <sub>n</sub>	= koefisien regresi (angka yang akan dicari)
X <sub>1</sub> , X <sub>2</sub> ... X <sub>n</sub>	= variabel bebas (faktor-faktor emisi gas buang)

Variabel bebas dalam persamaan ini merupakan faktor – faktor yang berpengaruh terhadap banyaknya emisi gas buang kendaraan, antara lain :

#### 1. Jumlah Kendaraan

Pada umumnya bertambahnya jumlah kendaraan akan mengakibatkan bertambahnya jumlah emisi gas yang akan dikeluarkan sehingga berdampak negatif pada lingkungan. Pertambahan volume lalu lintas juga akan mengakibatkan bertambahnya emisi polusi udara sehingga dapat dianggap menurunkan kualitas udara (Morlok, Eka., 1995).

Meskipun perkembangan teknologi terbaru secara signifikan dapat mengurangi jumlah emisi, namun tingkat kenaikan dari jumlah kendaraan bermotor yang cukup tinggi dan jauhnya jarak perjalanan membuat hal tersebut tidak berguna lagi (Carbajo dan Faiz, 1994).

Peningkatan jumlah kendaraan sebanding dengan peningkatan jumlah emisi yang dihasilkan (Hickman, 1999). Sejumlah faktor dapat mempengaruhi tingkat emisi gas buang antara lain beban mesin (kecepatan, percepatan, perubahan gigi, kelas jalan, dan penggunaan AC, kondisi ambien (suhu dan kelembaban), dan komposisi bahan bakar. Peningkatan arus lalu lintas terutama akan mempengaruhi kecepatan dan percepatan sepanjang segmen jalan tertentu, tetapi dapat

juga mempengaruhi pilihan rute yaitu, volume lalu lintas pada segmen jalan tertentu (Dowling, R.G., 2005).

## 2. Umur Kendaraan

Tahun produksi mobil yang berbeda akan berpengaruh besar. Idealnya, semakin tua umur mobil maka kualitas mesinnya juga akan menurun. Begitu juga dengan gas buangan yang dihasilkannya, akan semakin besar. Kendaraan dengan tahun pembuatan yang lebih lama akan mengeluarkan emisi yang lebih banyak dibandingkan dengan kendaraan baru (Marlok, 1991).

## 3. Kecepatan Kendaraan

Kecepatan kendaraan didefinisikan sebagai tingkat pergerakan yaitu jarak yang ditempuh kendaraan dalam satu satuan waktu tertentu. Umumnya dinyatakan dengan satuan kilometer per jam (km/jam). Karena dalam arus lalu lintas akan terdapat berbagai jenis kendaraan dengan berbagai kecepatan juga, maka kecepatan yang dimaksud adalah kecepatan rata-rata. Peningkatan laju pertumbuhan kendaraan yang cepat akan menurunkan kecepatan rata-rata kendaraan di jalan raya. Penurunan kecepatan kendaraan akan menghasilkan emisi yang lebih tinggi. Kecepatan rata-rata kendaraan akan mempengaruhi jumlah emisi yang dikeluarkan oleh suatu kendaraan (Marlok, 1992).

Emisi gas buang kendaraan berkaitan erat dengan arus lalu - lintas dan kecepatan. Pada arus lalu - lintas yang konstan emisi akan berkurang dengan pengurangan kecepatan selama jalan tidak mengalami

kemacetan. Jika arus lalu-lintas memiliki derajat kejenuhan  $> 0,8$  yang disebabkan kemacetan maka akan terjadi kenaikan emisi gas buang dan kebisingan jika dibandingkan dengan kondisi lalu - lintas yang stabil (MKJI 1997).

Menurut Morlok (1991), keberadaan gas polutan di udara yang dihasilkan dari kegiatan transportasi sangat dipengaruhi oleh bentuk atau kebiasaan berkendara dari pengguna jasa lalu lintas, seperti volume dan kecepatan lalu lintas tersebut.

Variabilitas dalam emisi menunjukkan bahwa rata-rata tingkat emisi cenderung meningkat dengan kecepatan rata-rata dengan pengecualian tingkat emisi CO yang menurun (Zhai, H., et.al). Peningkatan arus lalu lintas terutama akan mempengaruhi kecepatan dan percepatan sepanjang segmen jalan tertentu, tetapi dapat juga mempengaruhi pilihan rute (yaitu, volume lalu lintas pada segmen jalan tertentu) (Dowling, R.G., 2005).

#### 4. Perawatan Kendaraan

Kendaraan tahun rendah (kendaraan tua) sebagian besar mencemari lingkungan artinya emisi gas buang yang dihasilkan sudah melebihi ambang batas yang ditetapkan, meskipun demikian ada juga kendaraan bertahun rendah yang ramah lingkungan. Tetapi, bukan berarti kendaraan yang bertahun tinggi (kendaraan baru) tidak mencemari lingkungan. Hal ini bisa terjadi karena pemakaian yang berlebihan sehingga perawatan terhadap kendaraan bermotorpun kurang

diperhatikan dan tidak dilakukan perawatan secara teratur. Dengan demikian perawatan kendaraan ikut menentukan besarnya emisi gas buang kendaraan (Kusumawati, 2013).

#### 5. Kapasitas Mesin

kapasitas mesin kendaraan mempengaruhi konsumsi bahan bakar, semakin besar kapasitas mesin, semakin besar pula bahan bakar yang dibutuhkan oleh kendaraan tersebut. Perbedaan kapasitas silinder mempengaruhi konsentrasi emisi gas buangnya. Mesin kendaraan dengan kapasitas silinder lebih besar akan mengeluarkan zat pencemar yang lebih besar. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat dan jenis emisi kendaraan (Malkamah, 2004) adalah jenis kendaraan, jenis bahan bakar, usia kendaraan, ukuran mesin, berat kendaraan, kecepatan kendaraan, jumlah berhenti dan berjalan, kecepatan mesin dan gradien jalan.

#### 6. Jumlah Bahan Bakar

Pemakaian bahan bakar secara langsung mempengaruhi tingkat emisi kendaraan. Semakin tinggi pemakaian bahan bakar maka emisi yang dihasilkan semakin besar. Salah satu cara pengendalian emisi gas buang adalah dengan mengendalikan konsumsi bahan bakar untuk transportasi jalan tersebut (Hasan, 2007).

## 2.7 Faktor Emisi

Faktor emisi merupakan nilai atau angka yang merepresentasikan besaran atau kuantitas pencemar yang diemisikan ke atmosfer oleh suatu aktivitas.

Angka pada faktor emisi berasal dari nilai rata - rata statistik dari jumlah massa pencemar yang diemisikan untuk setiap satuan aktivitas kegiatan.

Faktor emisi kendaraan bermotor dipengaruhi oleh faktor – faktor berikut :

- a. Karakteristik geografi
- b. Karakteristik bahan bakar
- c. Teknologi Kendaraan

Data faktor emisi Indonesia dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Data Faktor Emisi Indonesia Berdasarkan Jenis Kendaraan

Kategori Kendaraan	CO (g/km)	HC (g/km)	NO <sub>x</sub> (g/km)	PM <sub>10</sub> (g/km)	CO <sub>2</sub> (g/kg BBM)	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
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun

2010 perhitungan beban emisi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$E_a = \text{Volume Kendaraan} \times \text{VKT}_{b,c} \times \text{FE}_{a,b,c} \times 10^{-6} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

E = Beban pencemar untuk polutan (ton/tahun)

Volume Kendaraan = Jumlah kendaraan per satuan waktu (kend/tahun)

VKT = Total panjang perjalanan kendaraan bermotor dengan menggunakan bahan bakar (km)

$FE_{a,b,c}$  = Besarnya polutan a yang diemisikan untuk setiap km perjalanan yang dilakukan kendaraan bermotor kategori b yang menggunakan bahan bakar jenis c (g/km) atau disebut juga faktor emisi.

## 2.8 Studi atau Literatur Penunjang Penelitian Sebelumnya

### 1. Kajian Hubungan Antara Variasi Kecepatan Kendaraan Dengan Emisi Yang Dikeluarkan Pada Kendaraan Bermotor Roda Empat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui konsentrasi gas CO, NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> yang dilepaskan dari beberapa kendaraan roda empat saat kecepatan 0, 20, 40, 60, 80 km/jam. Melalui pengukuran menggunakan alat impinger yang menyerap gas CO, NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> dari knalpot kendaraan sampel selama lebih kurang 2 menit untuk kendaraan tahun 1991–1995, 1996–2000, dan 2001–2005. Dari penelitian terhadap gas CO, secara umum didapatkan bahwa kecenderungan yang muncul adalah semakin cepat laju kendaraan maka gas CO yang dilepaskan akan semakin besar. Dari penelitian terhadap NO<sub>2</sub> diketahui bahwa konsentrasi gas NO<sub>2</sub> yang dihasilkan akan meningkat seiring bertambahnya kecepatan kendaraan. Untuk kendaraan mesin bensin, konsentrasi SO<sub>2</sub> tidak terdeteksi, karena sangat kecil. Dan hubungan konsentrasi SO<sub>2</sub> dengan kecepatan kendaraan adalah hubungan linear. (Vera, 2008).

## **2. Kajian Emisi CO<sub>2</sub> Menggunakan Persamaan Mobile 6 dan Mobile Combustion dari Sektor Transportasi di Kota Surabaya.**

Penelitian dilakukan di Surabaya dengan tujuan menghitung prakiraan jumlah emisi CO<sub>2</sub> dari kegiatan transportasi menggunakan persamaan mobile 6 dan mobile combustion. Dari penelitian didapat bahwa emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2010 dengan persamaan mobile combustion adalah sebesar 1.261.587 ton CO<sub>2</sub> jika dihitung dengan persamaan mobile 6 adalah sebesar 1.052.260 ton CO<sub>2</sub>. Sedangkan emisi CO<sub>2</sub> pada tahun 2020 jika menggunakan persamaan mobile combustion sebesar 1.807.330 ton CO<sub>2</sub> jika dihitung dengan persamaan mobile 6 sebesar 1.507.451 ton CO<sub>2</sub> (Rania, 2010).

## **3. Studi Kontribusi Kegiatan Transportasi Terhadap Emisi Karbon di Surabaya Bagian Barat.**

Studi dilakukan di Surabaya Bagian Barat, jumlah CO<sub>2</sub> dihitung dengan metode traffic counting, jumlah emisi karbon yang dihasilkan dihitung menggunakan faktor emisi kemudian dipetakan menggunakan program Surfer 8. Pada wilayah studi didapat emisi CO<sub>2</sub> sebesar 2,2 juta ton/tahun untuk kendaraan yang dikonversi ke satuan mobil penumpang (smp) dan 2,18 juta ton/tahun untuk kendaraan yang tidak dikonversi ke smp (Wima, 2008).