

# Model Matematis Kualitas Udara Ambien di Pelabuhan (Studi Kasus Pelabuhan Bakauheni Provinsi Lampung)

Siti Anugrah M.P.O, S.T., M.T<sup>1</sup>, Dr. Ir. Chatarina Niken DWSBU, M.T<sup>1</sup>, Ir. Dwi Herianto, M.T<sup>1</sup>, Prima Sandy Yonanda<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung, Jl. Prof. Ir. Dr. Soemantri Brojonegoro No. 2, Bandar Lampung 35141

E-mail korespondensi: [siti.ofrial@eng.unila.ac.id](mailto:siti.ofrial@eng.unila.ac.id)

**Abstrak.** Tol Trans Sumatera Seksi 1 yaitu Ruas Bakauheni – Sidomulyo adalah gerbang tol terdekat dari Pelabuhan Bakauheni memiliki panjang jalan 38 km merupakan salah satu penyumbang emisi CO yang cukup besar diprovinsi Lampung. CO adalah salah satu parameter pencemar udara yang memiliki prosentase pencemaran tertinggi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi di Provinsi Lampung. Fokus dari penelitian ini adalah mengidentifikasi jarak aman pemukiman agar terhindar dari emisi CO dengan membandingkan antara model matematis kualitas udara ambien yang dikembangkan oleh Tuner dengan pengamatan langsung dilapangan. Kesimpulan dari penelitian ini adalah didapat hasil bahwa faktor emisi untuk kendaraan berbahan bakar bensin sebesar 25,2 g/kg dan solar sebesar 7,7 g/kg. Kemudian didapat jarak minimum aman pemukiman dari emisi CO yang didapat berdasarkan hasil perhitungan dari analisis lapangan kendaraan berbahan bakar bensin 92,76 meter dan kendaraan berbahan bakar solar sebesar 86,46 meter.

**Kata kunci:** CO, ambien, Bensin, Solar, Jarak minimum

**Abstract.** Trans Sumatera Highway Section 1 is the nearest highway gate from Bakauheni Harbour that has 38 km of length. It is one of the biggest CO emission supplier in Lampung Province. CO is one of pollutant that has the highest percentage of pollution from transportation activity in Lampung Province. The focus from this research is to identify the safe distance from CO emission by comparing the math model developed by Tuner and direct observation. The conclusion of this research is the emition factor from gasoline is 25,3 g/kg and the diesel fuel is 7,7 g/kg. Moreover, the minimum distance to be save from CO emition from gasoline by Tuner equation is 92,76 meter and 86,46 m by direct observation.

**Keywords:** CO, ambient, gasoline, diesel fuel, minimum distance

## 1. Pendahuluan

Sektor transportasi merupakan salah satu sektor yang memberikan dampak yang cukup besar terhadap lingkungan, terutama akibat penggunaan bahan bakar fosil yang menjadi penyebab utama terjadinya pencemaran udara terutama di daerah perkotaan. Pencemaran udara akibat gas buang lalu lintas dipengaruhi oleh volume lalu lintas, proporsi kendaraan berat, kecepatan, dan jarak antara sumbu jalan dengan titik yang di tinjau.

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). Menurut Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 1997 indeks standar pencemar udara yang baik adalah rentan 0-50 yang artinya tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan dan tidak berpengaruh pada tumbuhan, bangunan, ataupun estetika.

Fokus kepada salah satu emisi yang di hasilkan oleh kendaraan bermotor yaitu CO, CO adalah salah satu parameter pencemar udara yang memiliki prosentase pencemaran tertinggi yang dihasilkan dari kegiatan transportasi di Provinsi Lampung.

Provinsi Lampung sebagai gerbang utama penghubung pulau Sumatera dan Jawa memiliki peranan dalam mendukung lajunya perekonomian, sosial, budaya, kesatuan dan persatuan masyarakat dalam berinteraksi, sangat pasti tingkat mobilitas kegiatan transportasi akan bertambah, maka dipilih Pelabuhan Bakauheni untuk mengetahui dampak lingkungan yang ditimbulkan dari polutan Karbon Monoksida (CO) sektor transportasi.

Penelitian ini berdasarkan besarnya prosentase kontribusi CO pada ambien yang dihasilkan dari kegiatan transportasi pada Pelabuhan Bakauheni, mengidentifikasi perlunya memahami dampak polusi kendaraan terhadap lingkungan, dalam rangka mengurangi kebutuhan bahan bakar kendaraan, dan emisi yang dikeluarkan. (Mathew, 2012). Penelitian ini juga sangat penting dilakukan sebagai salah satu pertimbangan pengambil kebijakan dan pengguna jalan sehubungan dengan meningkatnya kepemilikan kendaraan dan dampak yang ditimbulkan terkait emisi gas buang kendaraan serta sebagai bentuk edukasi tentang jarak aman antara pemukiman dengan jalan tol agar terhindar dari emisi CO yang ada.

## 2. Eksperimental

### 2.1 Indeks Standar Pencemaran Udara

Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 45 tahun 1997 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara, Pemerintah menetapkan Indeks Standar Pencemaran 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.

**Tabel 1.** Indeks Standar Pencemaran 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.

Sumber : Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 1997

### 2.2 Baku Mutu Udara

Baku mutu udara ambien adalah ukuran batas atau kadar zat, energi, dan atau komponen yang ada/atau seharusnya ada dan/atau unsur pencemar yang ditenggang keberadaannya dalam udara ambien. Baku mutu emisi sumber tidak bergerak adalah batas kadar maksimum dan/atau beban emisi maksimum yang diperbolehkan masuk atau dimasukkan kedalam udara ambien.

**Tabel 3.** 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)	$P_1$ (g/km)	$C_z$ (g/km)	$S_z$ (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
Bus	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

Sumber : Kementerian Lingkungan Hidup, 2010

## 2.4 Metodologi Penelitian

### 2.4.1 Studi literatur

Studi literatur dilakukan untuk mencari referensi dari studi-studi terdahulu dan memberikan pengayaan wawasan dalam pelaksanaan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan melakukan pencarian terhadap berbagai sumber tertulis, baik berupa buku-buku, arsip, majalah, artikel, dan jurnal, atau dokumen-dokumen yang relevan dengan permasalahan yang dikaji.

### 2.4.2 Studi Penelitian

Penelitian mengenai pengaruh kegiatan transportasi dan beban emisi terhadap konsentrasi CO di udara ambien ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yakni untuk melihat hubungan antara beban emisi kendaraan bermotor terhadap konsentrasi CO, pengaruh jumlah kendaraan bermotor terhadap konsentrasi CO dan pengaruh antara Jenis bahan bakar kendaraan terhadap konsentrasi CO. Untuk pengambilan data primer menggunakan metode purposive sampling dengan mempertimbangkan kriteria kualitas udara, jumlah kendaraan tertinggi, dan arah angin. Data-data yang diperoleh dalam penelitian ini dianalisis dengan analisis deskriptif, statistik dan komparatif.

### 2.4.3 Lokasi dan Waktu

Lokasi penelitian ini berada pada Pelabuhan Bahauheni Provinsi Lampung. Pengambilan Lokasi adalah pada pintu masuk Tol Trans Sumatera Seksi 1, Pada Seksi 1 tersebut yaitu Ruas Bakauheni – Sidomulyo adalah gerbang tol terdekat dari Pelabuhan Bahauheni memiliki panjang jalan 38 Km kemudian diambil segmen terdekat yaitu 200 meter.



**Gambar 1.** Peta Lokasi Pengambilan Sampel

Penelitian dilakukan selama 1 hari, pada pagi hari, siang hari, sore hari. Dilakukan pengambilan sampel sebanyak 3 (tiga) data pengukuran setiap harinya, yaitu Posisi alat untuk pengambilan sampel karbon monoksida (CO).

**Tabel 4.** Jadwal Kegiatan Pengambilan Sampling

No.	Lokasi	Waktu	Variabel yang Diukur
1.	GT Bakauheni	07:00 – 08:00 WIB 12:00 – 13:00 WIB 15:30 – 16:30 WIB	-Konsentrasi CO -Jumlah Kendaraan Bermotor -Arah dan Kecepatan Angin, Suhu dan Kelembaban

#### 2.4.4 Alat dan Bahan Penelitian

##### 2.4.4.1 Alat

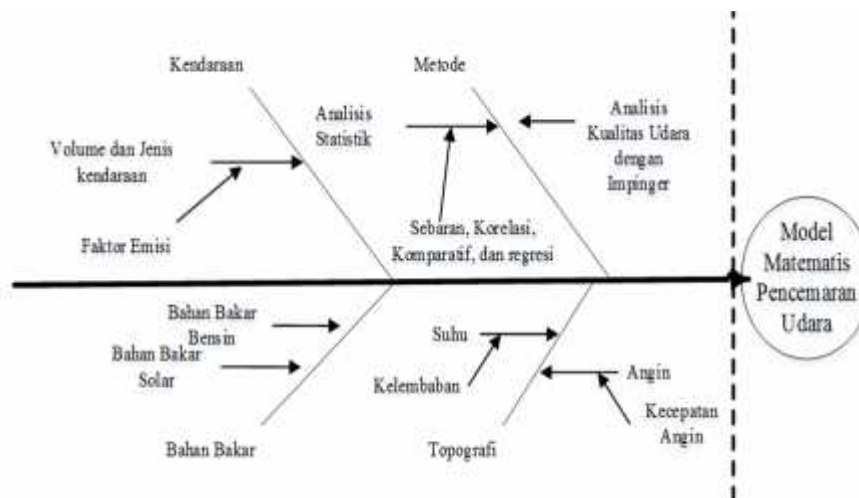
Adapun alat yang digunakan dalam penelitian kualitas udara yaitu :

1. CO Meter
2. Anemometer digital Lutron ABH-4224
3. Thermohyrometer
4. GPS map
7. Kompas
9. Air Flow meter

##### 2.4.5 Metode Pengukuran Data

1. Data Primer
  - a. Data hasil konsentrasi gas CO di titik pengukuran.
  - b. Data kecepatan angin di titik pengukuran.
  - c. Data kelembaban di titik pengukuran.
  - d. Data suhu di titik pengukuran.
  - e. Data jumlah kendaraan bermotor dan jenis bahan bakar pada saat melakukan sampling udara ambien.
2. Data Sekunder
  - a. Data faktor meteorologi (suhu, arah dan kecepatan angin, kelembaban)
  - b. Data kualitas udara
  - c. Data pertumbuhan kendaraan provinsi Lampung
3. Pengukuran Jumlah Kendaraan dan Jenis Bahan Bakar Kendaraan
4. Pengukuran Konsentrasi CO
5. Perhitungan Beban Emisi
6. Pengukuran Faktor Meteorologi

### 2.4.6 Prosedur Penelitian



Gambar 2. Prosedur Penelitian

## 3. Pembahasan

### 3.1 Beban Emisi

Dari faktor emisi tersebut maka dapat dihitung beban emisi dengan menggunakan rumus umum seperti berikut (Kementrian Lingkungan Hidup, 2010)

$$\text{Beban emisi} = \text{Jumlah kendaraan (Kend/jam)} \times \text{Faktor emisi} \times \text{panjang jalan} = (\text{g/jam})$$

Ditinjau dari hasil survey yang telah dilakukan maka perhitungan beban emisi memiliki beberapa hasil seperti pada table dibawah ini.

Tabel 6. Perhitungan beban emisi

Pintu masuk		Jumlah kendaraan (kend/jam)	Faktor emisi(FE) (g/km/kend)	Panjang jalan (Km)	Beban emisi (g/jam)
Bensin	Pagi	73	40	200	584000
	Siang	50	40	200	400000
	sore	88	40	200	704000
Solar	Pagi	27	11	200	59400
	Siang	33	11	200	72600
	sore	63	11	200	138600
<b>Pintu keluar</b>					
Bensin	Pagi	48	40	200	384000
	Siang	125	40	200	1000000
	sore	51	40	200	408000
Solar	Pagi	48	11	200	105600
	Siang	42	11	200	92400
	sore	46	11	200	101200

### 3.2 Kualifikasi Elemen Pemodelan

Kualifikasi elemen Pemodelan polutan CO dalam laporan penelitian ini menggunakan rumus Model Matematis yang dikembangkan Tuner (Wijaya, 2011). Berdasarkan dari data hasil survey yang telah dilakukan jumlah kendaraan yang menghasilkan CO, maka dihitung sebagai tingkat emisi CO untuk keseluruhan kendaraan. Tingkat emisi CO dihitung per satu kendaraan ditinjau dari volume lalu lintas. Konsentrasi total emisi CO dari kendaraan dinyatakan dalam persamaan (1) yang dikembangkan oleh Tuner (1995) sebagai berikut:

**Tabel 7.** Perhitungan besar kapasitas jalan

$$RC = \left( \frac{(WL_r) / V_r}{C_n} \right) \quad (3)$$

	KapasitasJalan (RC)	
	Kendaraan Berbahan Bakar Bensin	Kendaraan Berbahan Bakar Solar
Pintu Masuk Pelabuhan Bakauheni	0.7853	0.3293
Pintu Keluar Pelabuhan Bakauheni	0.7254	0.3034
Rata-Rata	0.7254	0.3163

**Tabel 8.** Perhitungan besar jumlah emisi CO dari laju kendaraan

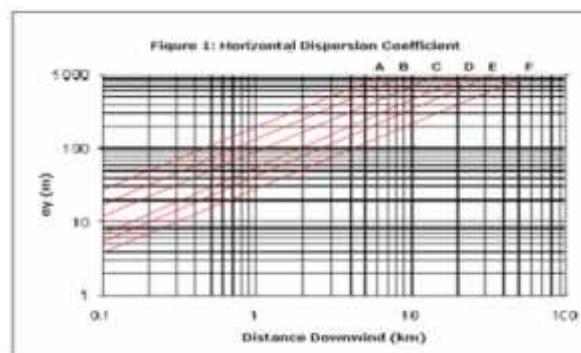
$$Q = (RC)q_c \quad (2)$$

	Jumlah Emisi CO dari Laju Kendaraan
Kendaraan Berbahan Bakar Bensin	74.5936 ppm
Kendaraan Berbahan Bakar Solar	56.3071ppm

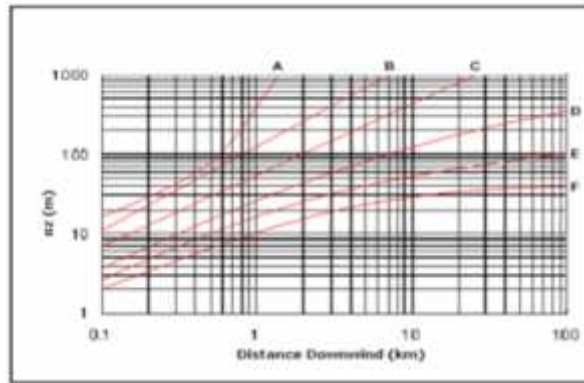
Dilihat dari hasil yang telah didapat melalui perhitungan persamaan (2) dan (3) dapat disimpulkan bahwa kendaraan berbahan bakar bensin memiliki jumlah emisi CO lebih besar yaitu 74,5936 ppm sedangkan jumlah emisi CO kendaraan berbahan bakar solar hanya memiliki nilai sebesar 56,3071 ppm.

### 3.2 DISPERSI HORIZONTAL DAN VERTIKAL ( y dan z)

Untuk mengetahui dispersi horisontal dan dispersi vertikal maka dapat ditentukan dengan melihat grafik *Horizontal Dispersion Coefficient* berikut



**Gambar 3.** Horizontal Dispersion



**Gambar 4.** Vertikal Dispersion Coefficient ( z )

Sehingga didapat persamaan (6), (7) dan (8) sebagai berikut :

$$y(z)^3 = \left[ \frac{1,3.Q.UH^2}{U} \right] \dots \dots (6)$$

$$F(D_{min}) = y(z)^3 \dots \dots (7)$$

$$F(D_{min}) = \left[ \frac{1,3.Q.UH^2}{U} \right] \dots \dots (8)$$

Contoh, misal terjadi sesuatu pada kondisi A, grafik (1) digunakan untuk mengembangkan  $F(D_{min})$ . pengembangan persamaan sebagai berikut untuk grafik 1. (Crowl dan Louvar, 2002)

$$y = 0,24 D (1+0,0001 D)^{-1/2} \dots \dots (9)$$

$$z = 0,32 D (1+0,0004 D)^{1/2} \dots \dots (10)$$

Nilai-nilai numerik dari 0,0004 Dmin dan 0,0001 Dmin yang diberikan pada persamaan (9) dan (10) sangat kecil, mereka dapat dihilangkan dan persamaan;

$$y = 0,24 (D_{min}) \dots \dots (11)$$

$$z = 0,32 (D_{min}) \dots \dots (12)$$

berdasarkan persamaan (7), maka didapat

$$F(D_{min}) = 0,32 (D_{min}) \cdot [0,24 (D_{min})]^3 \dots \dots (13)$$

$$F(D_{min}) = 4,42 \times 10^{-3} (D_{min})^4 \dots \dots (14)$$

$$\left[ \frac{1,3.Q.UH^2}{U} \right] = 4,42 \times 10^{-3} (D_{min})^4 \dots \dots (15)$$

$$D_{min} = 8,13 \cdot \Delta h^{1/2} \left( \frac{Q}{U} \right)^{1/4} \dots \dots (16)$$

Sehingga didapat model umum yang ditulis sebagai berikut :

$$D_{min} = k \frac{UH^{1/2} \cdot Q^{1/4}}{U^{1/4}} \dots \dots (17)$$

**Tabel 9.** Perhitungan Dmin

Klasifikasi	Dmin (meter)
Kendaraan Berbahan Bakar Bensin	92,76
Kendaraan Berbahan Bakar Solar	86,46

**Tabel 10.** Perhitungan Nilai Konstan

Klasifikasi	Nilai Konstan
Kendaraan Berbahan Bakar Bensin	8,13
Kendaraan Berbahan Bakar Solar	8,13

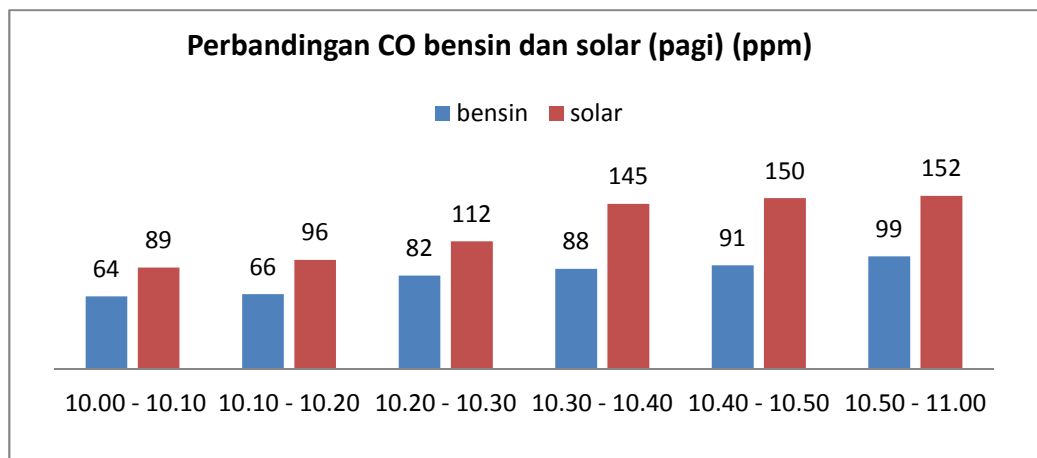
Berdasarkan dari hasil perhitungan yang telah didapat, bisa dilihat bahwa nilai Dmin untuk kendaraan berbahan bakar bensin memiliki nilai lebih besar yaitu 92,76 m, sedangkan untuk kendaraan berbahan

bakar solar hanya sebesar 86,46 m. untuk hasil dari perhitungan konstan kendaraan berbahan bakar bensin dan kendaraan berbahan bakar solar memiliki nilai yang sama yaitu sebesar 8,13.

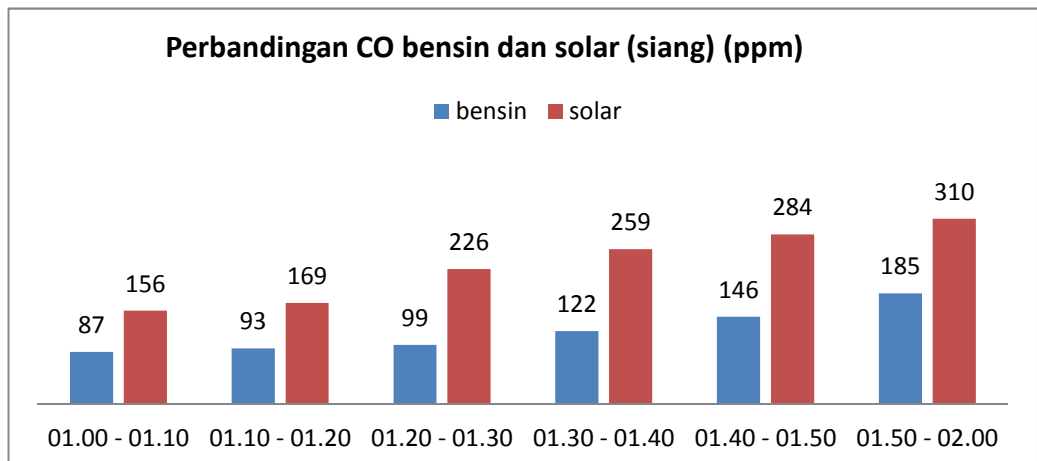
### 3.3 GRAFIK HASIL DATA KADAR CO

**Tabel 10.** Survei Kadar CO Kendaraan

Waktu	Bensin (ppm)	Solar (ppm)
10.00 - 10.10	88	89
10.10 - 10.20	64	96
10.20 - 10.30	82	145
10.30 - 10.40	66	152
10.40 - 10.50	91	150
10.50 - 11.00	99	112
01.00 - 01.10	99	156
01.10 - 01.20	87	226
01.20 - 01.30	122	169
01.30 - 01.40	185	284
01.40 - 01.50	146	259
01.50 - 02.00	93	310



**Gambar 5.** Perbandingan CO Bensin dan Solar Pagi



**Gambar 6.** Perbandingan CO Bensin dan Solar Siang

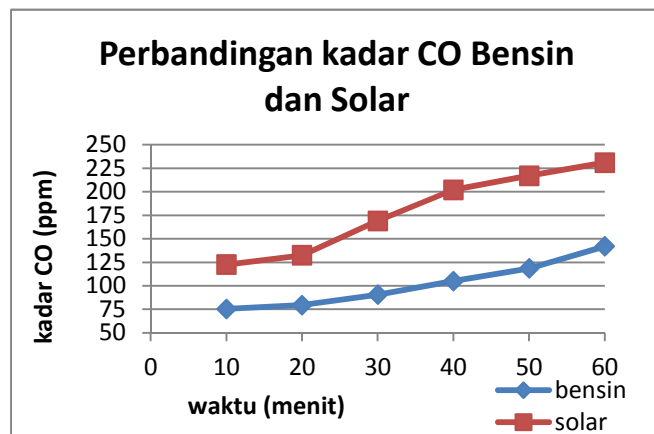


Untuk menghasilkan grafik perbandingan kadar karbon monoksida (CO) pada bensin dan solar dalam satu hari diambil nilai rata-rata kadar CO diwaktu pagi dan siang hari, maka didapat data dalam tabel berikut:

**Tabel 11.** Rata-rata kadar CO dalam satu hari

waktu (menit)	bensin (ppm)	solar (ppm)
10	75,5	123
20	79,5	133
30	90,5	169
40	105	202
50	118,5	217
60	142	231

Berdasarkan tabel diatas maka grafik yang didapat adalah sebagai berikut:



Grafik 4.1. Perbandingan kadar CO bensin dan solar

#### 4. Kesimpulan

Dari hasil analisis telah didapatkan nilai dari faktor emisi untuk kendaraan berbahan bakar bensin sebesar 25,2 g/kg dan untuk kendaraan berbahan bakar solar sebesar 7,7 g/kg. Kemudian didapat jarak minimum yang didapat berdasarkan hasil perhitungan dari analisis lapangan kendaraan berbahan bakar bensin 92,76 meter dan kendaraan berbahan bakar solar sebesar 86,46 meter, sehingga menjadi jarak aman pembangunan pemukiman agar kualitas hidup masyarakat dapat berlangsung dengan baik, yaitu kesehatan masyarakat dapat terjaga dan terhindar dari paparan pencemaran udara, khususnya CO dapat diambil dari jarak yang terbesar yaitu 92,76 meter dari letak sumber pencemar yaitu gerbang tol Bakauheni Lampung Selatan. Grafik perbandingan kadar CO antara bensin dan solar menunjukkan bahwa kadar karbon monoksida pada kendaraan berbahan bakar bensin lebih besar dari solar. Berdasarkan Standar Kesehatan Emisi Gas Buang karbon monoksida yang bersumber dari kendaraan bermotor dan proses industri bernilai 9 ppm, maka untuk rata-rata kadar CO yang hampir mencapai 120 ppm dinilai berbahaya dimana tingkat kualitas udara yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi.

#### 5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih yang dalam kepada Bapak Akmad Rizal selaku Kepala Bidang (Kabid) Pengendalian Pencemaran dan Kerusakan Lingkungan Dinas Lingkungan Hidup Provinsi Lampung.

**Daftar Pustaka**

- Direktorat Jenderal Bina Marga (1997), *Manual Kapasitas Jalan Indonesia (MKJI) 1997*, Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup (1997), *Indeks Standar Pencemar Udara*, No.45, Menteri Negara Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2006), *Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*, No 05, Menteri Negara Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2010), *Faktor Emisi Indonesia Berdasarkan Jenis Kendaraan*, No. 12, Menteri Negara Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup (2012), *Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Tipe Baru Kategori L3*, No.10, Menteri Negara Lingkungan Hidup, Jakarta.
- Kementerian Perhubungan (2006), *Kategori Indeks Tingkat Pelayanan Jalan*, No. 14, Dinas Perhubungan, Jakarta.
- Kementerian Perhubungan (2006), *Manajemen dan Rekayasa Lalu Lintas di Jalan*, No.14, Dinas Perhubungan, Jakarta
- Mathew, Dr. Tom V (2012), IIT Bombay, India
- Morlok, (1991), *Pengantar Teknik dan Perencanaan Transportasi*, Erlangga, Jakarta.
- Ofrial, (2016), *Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Pada Simpang Bersinyal Terhadap Emisi Polutan Karbon Monoksida (CO) Sektor Transportasi (Studi Kasus simpang JL. Dr. Ir. Soekarno – MERR dan Jl. Semolowaru, Surabaya)*, Surabaya
- Pemerintah Republik Indonesia (1999), *Pengendalian Pencemaran Udara*, No. 49, Pemerintah Republik Indonesia, Jakarta.
- Pradiphet, Padet (2009), *Air Pollution Prevention Applications for the Transport Sector by Integrating Urban Area Transport and Vehicle Emission Models with the Case Study of Bangkok, Thailand*, Chulalongkorn University, Thailand
- Soedomo, 2001, M. *Pencemaran Udara*. Institut Teknologi Bandung, Bandung
- Tarigan, Abner, 2009, *Estimasi Emisi Kendaraan Bermotor di Beberapa Ruas Jalan Kota Medan*. Universitas Sumatera Utara (Medan).
- Wardhana, Wisnu Arya, 2004, *Dampak Pencemaran Lingkungan*, Edisi Revisi Andi, Yogyakarta.