

KALIBRASI MODEL *BREEZE WAY CAL3QHC* UNTUK MEMPREDIKSI DISPERSI POLUTAN CO DI PERSIMPANGAN STUDI KASUS PERSIMPANGAN Jl. JUANDA, Jl. DIPONEGORO Jl. SULANJANA-BANDUNG

CALIBRATION OF *BREEZE WAY CAL3QHC* MODEL FOR PREDICTING DISPERSION OF CARBON MONOXIDE AT ROADWAY INTERSECTION CASE STUDY Jl. JUANDA, Jl. DIPONEGORO, Jl. SULANJANA INTERSECTION-BANDUNG

Puji Lestari¹⁾ dan A. Lenggana Widiarsa¹⁾
¹⁾Jurusan Teknik Lingkungan FTSP – ITB

Abstrak

Model CAL3QHC (Caline 3 With Queueing Hot Spot Calculations) merupakan model mikrokomputer untuk memprediksi dispersi polutan CO dan partikulat tersuspensi (*polutan inert*) dari kendaraan bermotor. Studi dilakukan pada persimpangan Jl. Juanda-Jl. Diponegoro-Jl. Sulanjana yang memiliki kepadatan lalu-lintas tinggi. Total sampling sebanyak 6 kali dengan lama sampling antara 12 jam hingga 24 jam. Jumlah jam yang dikalibrasi sebanyak 36 jam dan dipilih secara acak (random sample). Dari hasil penelitian diperoleh kurva kalibrasi $y = 1,2018x - 0,3477$ dimana x merupakan angka hasil perhitungan model CAL3QHC. Sedangkan keterkaitan kedua jenis data yang dinyatakan dalam koefisien korelasi memberikan angka r sebesar 0,74. Nilai r tersebut memenuhi derajat 1 % *level of significance* (r) sebesar 0,424.

Kata kunci : dispersi, model CAL3QHC, *polutan inert*, persimpangan

Abstract

CAL3QHC (Caline 3 with Queueing Hot Spot Calculations) is a microcomputer-based model to predict carbon monoxide (CO) or other inert pollutant concentrations from motor vehicles at roadway intersections. The calibration had been conducted at Jl. Juanda-Diponegoro-Sulanjana intersection, which has high traffic volumes. The sampling was done for 6 times, each between 12-24 hours. The total number of sample used for calibration computations are 36 and randomly selected from each series of sampling. According to the research result shows a calibration curve of $y = 1,2018x - 0,3477$ where x is representing the result of model computation. Meanwhile the statistical analysis gives a correlation coefficient (r) of 0,74, which deals with the 1% level of significance degree (r) in 0,424.

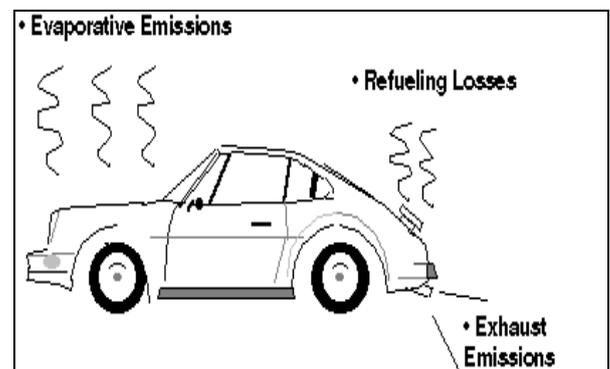
Keywords : dispersion, CAL3QHC model, *polutan inert*, intersection

1. PENDAHULUAN

Sumber utama CO di alam berasal dari sektor transportasi yang memberikan kontribusi lebih dari 95% (Cohn dan McVoy, 1982). Besarnya emisi CO dari sektor transportasi ini disebabkan oleh emisi gas buang (*exhaust emission*) akibat rendahnya rasio campuran udara dan bahan bakar dalam mesin sehingga pembakaran bahan bakar karbon yang digunakan menjadi tidak sempurna.

Dari penelitian tentang inventarisasi emisi yang pernah dilakukan di kota Bandung diketahui bahwa dari total emisi CO sebesar 96.300,00 ton/tahun

ternyata sektor transportasi memberi kontribusi hingga sebesar 97,4% (Soedomo, 1999)



Gambar 1. Sumber Emisi Kendaraan Bermotor

Pola jalan raya di kodya Bandung dengan ruas jalan yang pendek dan memiliki banyak persimpangan serta volume kendaraan yang besar mengakibatkan sering terjadinya kemacetan di banyak ruas jalan yang pada akhirnya berpotensi menimbulkan polusi yang besar terhadap lingkungan sekitarnya, karena pada kondisi macet ini perhitungan dispersi polutan tidak lagi menggunakan faktor emisi kendaraan pada saat bergerak (*cruise*) melainkan memakai faktor emisi *idle* yang konsentrasinya lebih besar.

Untuk mendapatkan gambaran yang lebih jelas mengenai polusi udara pada kondisi di atas diperlukan suatu studi tentang dispersi polutan di sekitar perempatan (*intersection*) yang selama ini belum pernah dilakukan di Indonesia. Jenis polutan yang diteliti dalam kasus ini adalah CO mengingat efek yang dapat ditimbulkannya terhadap kesehatan.

Model dispersi adalah kumpulan persamaan matematis yang dapat menggambarkan hubungan antara konsentrasi polutan di atmosfer pada suatu lokasi dengan sumber emisi pada tingkat tertentu dan juga faktor-faktor yang mempengaruhi dispersi dan dilusi di atmosfer. Dengan menggunakan model, dapat diprediksi skenario pencemaran udara yang akan terjadi baik dalam rentang waktu singkat (*episode*) maupun dalam kurun waktu yang panjang (*trend*) (Soedomo, 1999).

Model dispersi CAL3QHC yang mengambil dasar model dispersi CALINE 3 menggunakan persamaan dispersi Gauss sebagai dasar pemodelan dengan fakta distribusi fungsi Gauss dapat dipakai untuk menyelesaikan persamaan difusi Fick (Cooper dan Alley, 1994). Asumsi yang dipakai dalam model ini adalah sumber berupa *Finite Length Line Sources*. Untuk *Finite Length Line Sources*, Sutton memodifikasi persamaan Gauss yang terdapat pada Persamaan 1 berikut ini (Cohn dan McVoy, 1982) :

$$C(x, y, 0) = \frac{2QL}{2\pi^{1/2}\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z}{\sigma_z}\right)^2\right] \int_{p_1}^{p_2} \frac{1}{(2\pi)^{1/2}} \exp\left[-\frac{p^2}{2}\right] dp \quad (1)$$

dimana $p_1 = y_1/\sigma_y$ dan $p_2 = y_2/\sigma_y$

Pada persamaan 1 di atas, emisi dari sepanjang segmen yang ditinjau diasumsikan memberikan kontribusi yang sama terhadap perhitungan total konsentrasi pada titik reseptor.

CAL3QHC memperhitungkan konsentrasi pada reseptor sebagai hasil kontribusi dari setiap elemen FLLS. Daya emisi masing-masing segmen dihitung dengan mengalikan *source strength* (QE) dengan suatu *weighting factor* (WT). Faktor inilah yang akan menghitung penurunan emisi pada *peripheral sub element*. Untuk memperhitungkan dispersi horisontal akibat pergerakan kendaraan bermotor, model CAL3QHC mengasumsikan bahwa pada seluruh daerah di atas jalan yang diamati terjadi emisi dengan turbulensi yang seragam. Daerah ini disebut sebagai daerah *mixing zone* yang penjabarannya adalah penambahan 3 meter di sisi kiri dan kanan link yang diamati untuk kondisi lalu lintas lancar (*free*), sedangkan pada kondisi macet (*queue*) asumsi *mixing zone* ini tidak dipakai.

Dalam memperkirakan panjang antrian yang terjadi pada suatu segmen jalan, CAL3QHC menggunakan algoritma model kemacetan (*Queueing Model*) G/C1 – Poisson (Markovian) *input* dimana kendaraan datang sesuai dengan proses Poisson dengan *rate* λ (Ross, 1996) sehingga model akan meminta input berupa siklus lampu pengatur lalu-lintas (*traffic light cycle time*), panjang durasi lampu merah (*red light duration phase*), *yellow time not used* (1-3 detik), jenis sinyal pengatur lampu lalu-lintas (*signal type*), tingkat kedatangan (*arrival rate*), dan volume jenuh kendaraan (*saturation flow volume*) sebagai parameter perhitungan estimasi kemacetan dari total kendaraan yang melewati suatu segmen.

2. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan untuk mengkalibrasi model Breeze Way CAL3QHC dalam pemodelan dispersi CO pada perempatan jalan ini meliputi pengumpulan data sekunder dan pengumpulan data lapangan. Data sekunder ini diperlukan dalam input model. Data yang dikumpulkan adalah peta digital persimpangan jalan studi kasus (data geometri jalan), data *mixing height* kota Bandung. Data ini tidak dapat diukur pada saat sampling karena keterbatasan peralatan, data faktor emisi kendaraan bermotor serta data *background* konsentrasi CO di daerah studi kasus.

Pengumpulan data lapangan (*sampling*). Sampling dilaksanakan sebanyak 6 kali pada dua titik di persimpangan. Titik diletakkan searah dengan arah angin dominan (barat dan timur) dengan tujuan agar konsentrasi maksimum polutan diperoleh. Da-

ta yang dikumpulkan selama sampling adalah volume dan jenis kendaraan yang melalui persimpangan, konsentrasi CO ambien yang diukur dengan menggunakan metoda *non dispersive infra red* (NDIR), data meteorologi selama sampling, meliputi kecepatan angin, arah angin, temperatur, tekanan udara, dan kelembaban udara, data *traffic light cycle time*, pola perilaku pengendara kendaraan (untuk memperoleh input *yellow time not used*) serta perhitungan geometri jalan aktual (Gomez dkk, 1984).

Untuk perhitungan input faktor emisi kendaraan bermotor dalam kondisi bebas (*cruise*) digunakan data seperti yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Emisi CO untuk Berbagai Jenis Kendaraan

Jenis Kendaraan	Emisi Faktor (gr/km)	Emisi Faktor (gr/mil)
Mobil Penumpang :		
Bensin	24	38.4
Diesel	5.2	8.32
Truk/Bus Diesel	2.5	4
Truk/Bus Kecil :		
Bensin	41	65.6
Diesel	5.3	8.48
Motor :		
4 tak	20	32
2 tak	17	27.2

Sumber : Shah dan Nagpal (1997)

Untuk kondisi *idle*, diasumsikan emisinya sebesar 824 gr/veh/hr yang merupakan nilai rata-rata emisi *idle* dari kombinasi 8 tipe kendaraan termasuk motor 2 tak dan 4 tak dengan rata-rata umur kendaraan 7-10 tahun. Asumsi ini diambil karena belum adanya faktor emisi kendaraan bermotor Indonesia yang bisa dipakai sebagai acuan dan angka 7-10 tahun diasumsikan valid untuk kondisi rata-rata kendaraan di Indonesia.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari 6 kali sampling yang dilakukan, jumlah sampel yang diambil untuk validasi model sebanyak 36 titik sampel dimana 29 sampel memiliki data kecepatan angin (u_{10}) di atas 1 m/s, sedangkan 7 sampel lainnya memiliki data kecepatan angin (u_{10}) di bawah 1 m/s. Ketujuh sampel yang memiliki kecepatan angin (u_{10}) dibawah 1 m/s dieksekusi dengan *input* kecepatan angin 1 m/s (batas bawah kepepa-

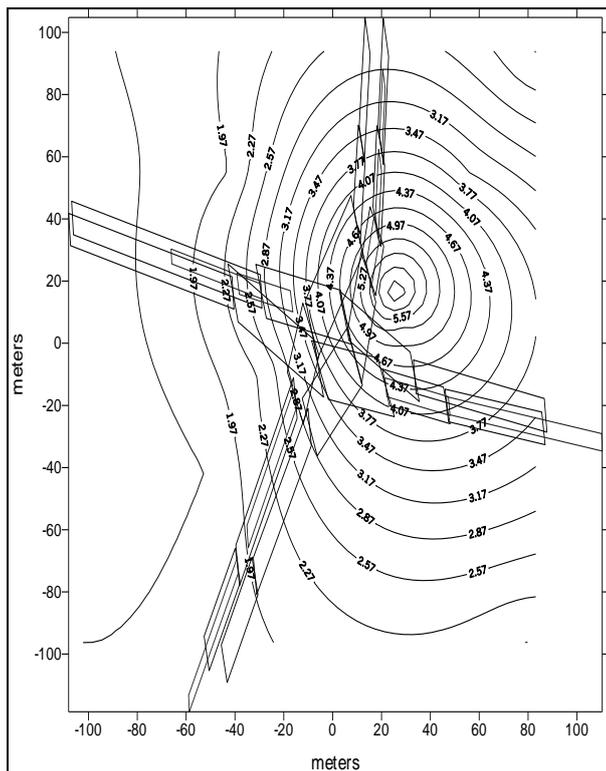
tan angin yang dapat di eksekusi) pada arah sesuai dengan data hasil sampling.

Hasil perhitungan model dan hasil sampling ditampilkan pada Tabel 2. Pada Tabel 2 tersebut juga disajikan perbandingan persentase selisih konsentrasi absolut dan persentase selisihnya. Sedangkan perbandingan konsentrasi secara grafis dapat dilihat pada Gambar 3.

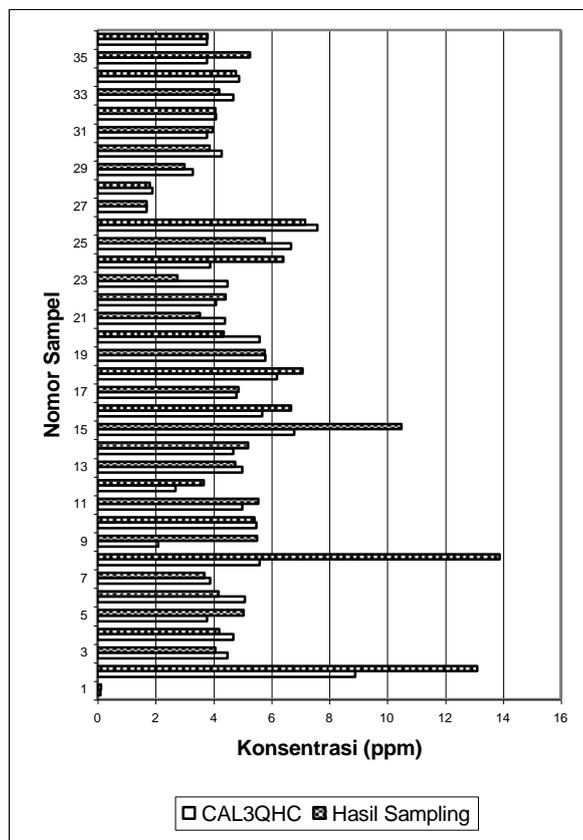
Tabel 2. Perbandingan Konsentrasi Model CAL3QHC dan Hasil Sampling

Titik	Tanggal	Jam	CAL3QHC (ppm)	Sampling (ppm)	Selisih C %	Ket		
A	24-25 Januari 2001	02-03	0.1	0.14	28.571	Calm		
		7-8	8.9	13.125	32.190			
		9-10	4.5	4.08	10.294			
		10-11	4.7	4.205	11.772			
		11-12	3.8	5.055	24.827			
		12-13	5.1	4.18	22.010			
		13-14	3.9	3.69	5.691			
A	26-27 Januari 2001	20-21	5.6	13.905	59.727	Calm		
		6-7	2.1	5.515	61.922	Calm		
		8-9	5.5	5.42	1.476			
		9-10	5	5.565	10.153			
		10-11	2.7	3.675	26.531			
		11-12	5	4.76	5.042			
		12-13	4.7	5.215	9.875			
A	29-30 Januari 2001	9-10	6.8	10.51	35.300			
		10-11	5.7	6.69	14.798			
		11-12	4.8	4.88	1.639			
		8-9	6.2	7.09	12.553			
		9-10	5.8	5.785	0.259			
		10-11	5.6	4.37	28.146			
		11-12	4.4	3.545	24.118			
B	3 Maret 2001	8-9	4.1	4.44	7.658	Calm		
		9-10	4.5	2.76	63.043			
		12-13	3.9	6.42	39.252			
		16-17	6.7	5.79	15.717			
		17-18	7.6	7.19	5.702			
		B	4 Maret 2001	9-10	1.7	1.71	0.585	
				10-11	1.9	1.82	4.396	
B	8 Maret 2001	11-12	3.3	3.02	9.272	Calm		
		7-8	4.3	3.88	10.825			
		8-9	3.8	3.98	4.523			
		9-10	4.1	4.08	0.490			
		10-11	4.7	4.21	11.639			
		16-17	4.9	4.79	2.296			
		17-18	3.8	5.27	27.894	Calm		
18-19	3.8	3.81	0.262	Calm				

Gambar 2 di bawah ini merupakan isopleth konsentrasi CO yang didapatkan dari hasil eksekusi model, sedangkan Gambar 3 menunjukkan perbandingan konsentrasi CO perhitungan CAL3QHC dan hasil sampling



Gambar 2. Isopleth Sampling 3 Jam 9-10 A



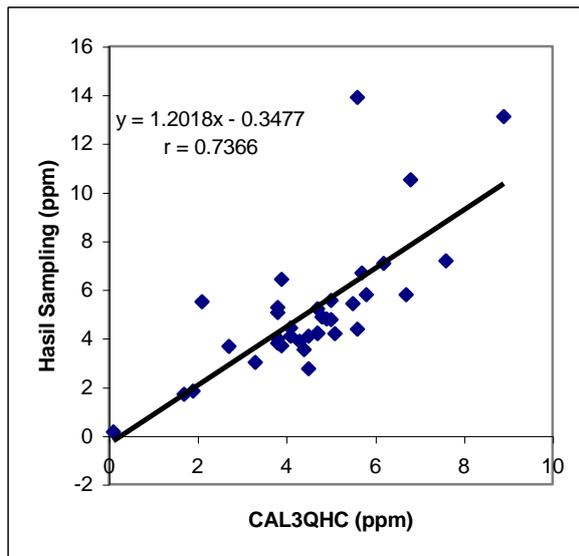
Gambar 3. Perbandingan Konsentrasi CO Perhitungan CAL3QHC dan Hasil Sampling

Untuk mengetahui hubungan (korelasi) antara data hasil perhitungan model dan hasil sampling maka kedua jenis data tersebut diolah secara statistik dengan menggunakan metode statistik *simple linear regression* seperti pada Tabel 3 berikut ini.

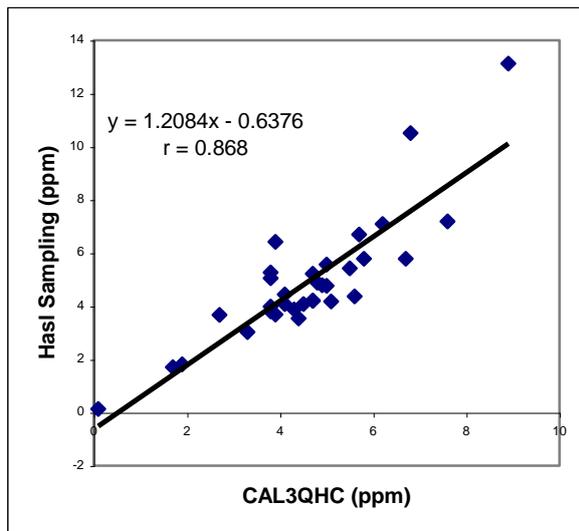
Tabel 3. Perhitungan Koefisien Korelasi (r)

CAL3QHC (ppm) X1	Sampling Result (ppm) X2	Deviate		Square of Deviate		(x1)(x2)
		x1	x2	x1 ²	x2 ²	
0.1	0.14	-4.453	-4.987	19.829	24.870	22.207
8.9	13.125	4.347	7.998	18.896	63.968	34.767
4.5	4.08	-0.053	-1.047	0.003	1.096	0.055
4.7	4.205	0.147	-0.922	0.022	0.850	-0.136
3.8	5.055	-0.753	-0.072	0.567	0.005	0.054
5.1	4.18	0.547	-0.947	0.299	0.897	-0.518
3.9	3.69	-0.653	-1.437	0.426	2.065	0.938
5.6	13.905	1.047	8.778	1.096	77.053	9.191
2.1	5.515	-2.453	0.388	6.017	0.151	-0.952
5.5	5.42	0.947	0.293	0.897	0.086	0.277
5	5.565	0.447	0.438	0.200	0.192	0.196
2.7	3.675	-1.853	-1.452	3.434	2.108	2.691
5	4.76	0.447	-0.367	0.200	0.135	-0.164
4.7	5.215	0.147	0.088	0.022	0.008	0.013
6.8	10.51	2.247	5.383	5.049	28.977	12.096
5.7	6.69	1.147	1.563	1.316	2.443	1.793
4.8	4.88	0.247	-0.247	0.061	0.061	-0.061
6.2	7.09	1.647	1.963	2.713	3.853	3.233
5.8	5.785	1.247	0.658	1.555	0.433	0.821
5.6	4.37	1.047	-0.757	1.096	0.573	-0.793
4.4	3.545	-0.153	-1.582	0.023	2.503	0.242
4.1	4.44	-0.453	-0.687	0.205	0.472	0.311
4.5	2.76	-0.053	-2.367	0.003	5.603	0.125
3.9	6.42	-0.653	1.293	0.426	1.672	-0.844
6.7	5.79	2.147	0.663	4.610	0.440	1.423
7.6	7.19	3.047	2.063	9.284	4.256	6.286
1.7	1.71	-2.853	-3.417	8.140	11.676	9.749
1.9	1.82	-2.653	-3.307	7.038	10.936	8.773
3.3	3.02	-1.253	-2.107	1.570	4.439	2.640
4.3	3.88	-0.253	-1.247	0.064	1.555	0.315
3.8	3.98	-0.753	-1.147	0.567	1.316	0.864
4.1	4.08	-0.453	-1.047	0.205	1.096	0.474
4.7	4.21	0.147	-0.917	0.022	0.841	-0.135
4.9	4.79	0.347	-0.337	0.120	0.114	-0.117
3.8	5.27	-0.753	0.143	0.567	0.020	-0.108
3.8	3.81	-0.753	-1.317	0.567	1.734	0.992
Total	164	184.57		97.109	258.496	116.701
Mean	4.556	5.127				
r						0.7366

Pada Gambar 4 dan 5 ditunjukkan hubungan perhitungan model CAL3QHC dan hasil sampling dalam bentuk persamaan garis regresi linear. Persamaan garis pada Gambar 4 merupakan kurva kalibrasi dari model CAL3QHC, dengan x adalah hasil perhitungan model dan y merupakan hasil samplingnya. Pada Gambar 5 plotting dilakukan dengan tanpa menyertakan *outlier*, yaitu sampel dengan selisih persentase konsentrasi besar hingga di atas 60 %.



Gambar 4. Hubungan Perhitungan Model CAL3-QHC Dan Hasil Sampling Dengan Metode Statistik Regresi Linear Sederhana



Gambar 5. Hubungan Perhitungan Model CAL3-QHC Dan Hasil Sampling Dengan Metode Statistik Regresi Linear Sederhana (Tanpa *Outlier*)

Dari Gambar 4 dan Gambar 5 di atas tampak adanya rentang yang cukup besar pada persentase selisih konsentrasi perhitungan CAL3QHC dan hasil sampling. Nilai rata-rata persentase selisih konsentrasi adalah 17,5125% untuk 36 titik sampel. Apabila perhitungan rata-rata persentase selisih konsentrasi tidak menyertakan hasil perhitungan sampel *calm wind* maka persentasenya akan menjadi 14,88 %. Sedangkan persentase selisih konsentrasi

untuk perhitungan pada kondisi *calm wind* adalah 28,4178 % dengan *under prediction* hampir selalu terjadi pada perhitungannya. *Under prediction* ini terjadi karena pada kondisi *calm wind* akan terjadi akumulasi polutan pada area sekitar titik sampling.

Hasil pengolahan data CAL3QHC dan hasil sampling dengan metoda *simple linear regression* menghasilkan persamaan regresi $y = 1,2018x - 0,3477$ (Gambar 4) dimana x adalah data CO hasil perhitungan model CAL3QHC. Dari persamaan ini berarti telah diperoleh koefisien regresi $a = 1,2018$ dan $b = -0,3477$ untuk mengkonversikan hasil perhitungan model dispersi polutan CO pada persimpangan dengan model *Breeze Way CAL3QHC* terhadap hasil sampling. Persamaan ini juga kelak berguna untuk perhitungan model prediksi dispersi polutan.

Koefisien korelasi (r) yang diperoleh dari perhitungan statistik adalah 0,7366 yang dapat dilihat di Tabel 3. Koefisien korelasi merupakan akar dari koefisien determinasi (r^2) yang menyatakan hubungan antara dua jenis data. Menurut ilmu statistika, untuk ukuran sampel sebanyak 36, koefisien korelasi dengan metode regresi linear sederhana memiliki *level of significance* sebesar 5% bila memiliki r yang $>0,329$ dan sebesar 1% bila memiliki $r >0,424$ (Gomez dkk, 1984). Dengan kata lain terdapat hubungan yang dekat (kuat) antara perhitungan model CAL3QHC dan hasil sampling CO.

Perhitungan koefisien korelasi (r) akan semakin baik hasilnya apabila *outlier* tidak dimasukkan dalam perhitungan. Hasil perhitungan koefisien korelasi (r) dengan cara ini adalah 0,868 dengan persamaan garis regresinya $y = 1,2084x - 0,6376$ seperti terlihat pada Gambar 5.

4. KESIMPULAN

Persamaan regresi yang diperoleh antara hasil perhitungan model CAL3QHC dengan hasil sampling adalah $y = 1,2018x - 0,3477$ dengan x adalah data perhitungan model. Koefisien korelasi (r) yang diperoleh dari perhitungan statistik regresi linear sederhana adalah 0,7366, angka ini telah memenuhi limit r untuk 1% *level of significance* sebesar 0,424 sehingga dapat disimpulkan terdapat hubungan yang cukup dekat (kuat) antara kedua jenis data. Nilai rata-rata persentase selisih konsentrasi adalah 17,5125 % untuk 36 titik sampel. Apabila perhitungan rata-rata persentase selisih konsentrasi

tidak menyertakan hasil perhitungan sampel *calm wind* maka persentasenya selisihnya akan menjadi 14,88 %. Sedangkan persentase selisih konsentrasi untuk perhitungan pada kondisi *calm wind* adalah 28,4178 %. Dari sini dapat ditarik kesimpulan model akan memberikan bias yang besar apabila kondisi *calm wind* dihitung walaupun dengan batas terkecil *input* kecepatan angin ($u_{10} = 1\text{m/s}$). Dari hasil penelitian kalibrasi ini dapat diambil kesimpulan bahwa hasil perhitungan model *Breeze Way CAL3QHC* memiliki keterkaitan yang kuat dengan hasil sampling lapangan, sehingga model ini akurat dan baik untuk dipakai di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Cohn, L.F dan McVoy, G.R. (1982). **Environmental Analysis of Transportation Systems**. John Wiley & Sons. Singapore.
- Cooper, D. dan Alley, F.C. (1994). **Air Pollution Control, A Design Approach**. Wavelan Press, Inc. Illinois, USA.
- Gomez, Kwanchai, A. dan Arturo A. (1984). **Statistical Procedures for Agricultural Research**. John Wiley & Sons. New York.
- Ross, S. (1996). **Stochastic Processes**. John Wiley & Sons. New York.
- Shah, J.J. dan Nagpal, T. (1997). **Urban Air Quality Management in Asia : Jakarta Report**. The World Bank, Washington D.C.,
- Soedomo, M. (1999). **Kumpulan Karya Ilmiah Pencemaran Udara**. Penerbit ITB. Bandung, Indonesia.