

Perhitungan Beban Emisi Gas Buang SO₂ dari Kendaraan Bermotor di Ruas Jalan Utama Kota Bandung menggunakan Pemodelan Terbalik

KIRANA OKTAVIAN¹, DIDIN AGUSTIAN PERMADI¹, MILA DIRGAWATI¹,

1. Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan
Institut Teknologi Nasional, Bandung
Email : kiranaow@gmail.com

ABSTRAK

Kota Bandung sebagai kota dengan aktivitas transportasi yang tinggi menghasilkan emisi pencemar di udara, salah satunya adalah Sulfur Dioksida (SO₂). Data pengukuran kualitas udara roadside rata-rata pertahun oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung (DLH Kota Bandung) bahwa trend peningkatan konsentrasi SO₂ dari tahun 2017-2018 sebesar 46%. Meninjau dari dampak yang disebabkan terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan, maka diperlukan suatu upaya pengendalian pencemaran udara, salah satunya adalah inventarisasi emisi (IE). Pelaksanaan IE di Indonesia masih terdapat kekurangan dalam segi teknis maupun non teknis. Data faktor emisi yang digunakan dalam perhitungan beban emisi belum spesifik terhadap kondisi lalu lintas di Kota Bandung. Selain itu, metode IE secara umum memerlukan banyak pengambilan data. Tujuan dari penelitian ini adalah perhitungan beban emisi dari sektor transportasi dengan menggunakan metode pemodelan terbalik. Metode ini memberikan informasi nilai estimasi faktor emisi melalui hasil pengukuran udara. CALINE4 merupakan salah satu model kualitas udara yang dapat diaplikasikan untuk konsep pemodelan terbalik.

Kata kunci: Sulfur Dioksida, Model Terbalik, CALINE4, Faktor Emisi, Beban Emisi

ABSTRACT

Bandung City is a growing cities with intensive transportation activities which are expected to emit air pollutants such as Sulfur Dioxide (SO₂). Based on data from the average annual roadside air quality measurement by DLH Kota Bandung that the trend of increasing SO₂ concentrations from 2017-2018 is 46%. The necessary for controlling air pollution in Bandung City is needed, one of which is inventory of emissions (IE). Implementation of IE in Indonesia is still lacking in various aspects. Emission factor data that were used in the calculation of emission loads is not specific to the traffic conditions in Bandung. In addition, the IE method generally requires a lot of data retrievall. The purpose of this study is to calculate the emission load of SO₂ from the transportation sector by using the inverse modeling method. This method provides information on the estimated value of emission factors through the results of air measurements. CALINE4 air quality models was used for the purpose.

Keywords: Sulfur Dioxide, Inverse Modelling, CALINE4, Emission Factor, Emission Load

1. PENDAHULUAN

Kota Bandung sebagai kota dengan aktivitas transportasi yang tinggi dapat menghasilkan emisi pencemar di udara, salah satunya adalah Sulfur Dioksida (SO_2). SO_2 merupakan salah satu gas buang kendaraan bermotor akibat pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur. Kandungan sulfur dalam bahan bakar solar sebesar 0,2156 % (kandungan maksimum sulfur yang ditetapkan dalam spesifikasi minyak solar Indonesia sebesar 3.500 ppm) dan bensin sebesar 0,015 % (Suhadi, 2008). Berdasarkan data pengukuran kualitas udara *roadside* rata-rata pertahun oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung (DLH Kota Bandung) bahwa trend peningkatan konsentrasi SO_2 dari tahun 2017-2018 sebesar 46%.

Pencemaran SO_2 di udara memiliki dampak terhadap lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung. Dampak langsung dari tingginya konsentrasi SO_2 di udara dapat menyebabkan iritasi terhadap saluran pernafasan pada manusia (Ningsih, 2017). Selain itu, dampak tidak langsung dari peningkatan konsentrasi SO_2 dapat menyebabkan rendahnya pH air hujan (<5,6) atau yang biasa disebut hujan asam. Penelitian mengenai pengaruh aktivitas transportasi dengan hujan asam telah dilakukan oleh Ameilia (2004). Berdasarkan hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa terdapat dua daerah padat transportasi di Kota Bandung yang telah terjadi hujan asam dengan frekuensi distribusinya masing-masing 63% dan 73% di tahun 2004. Penelitian tersebut juga menyebutkan bahwa terdapat potensi peningkatan intensitas hujan asam seiring dengan padatnya transportasi di Kota Bandung.

Meninjau dari dampak yang disebabkan terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan, maka diperlukan suatu upaya pengendalian pencemara udara. Peraturan Pemerintah No. 41 1999 pasal 6 ayat 4 memuat ketentuan mengenai pentingnya kegiatan inventarisasi sumber pencemar udara atau yang disebut dengan inventarisasi emisi (IE). Salah satu tujuan IE adalah untuk menghitung beban emisi yang dapat dijadikan sebagai dasar atau *baseline* bagi suatu kota untuk menentukan target penurunan beban pencemar dengan cara yang lebih efektif dan tepat sasaran.

Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan perhitungan beban emisi gas SO_2 dengan menggunakan metode model terbalik. Pada umumnya, model kualitas udara memberikan hasil (*output*) berupa estimasi konsentrasi melalui data faktor emisi, volume kendaraan, serta data meteorologi. Namun pada metode pemodelan terbalik informasi yang dihasilkan berupa nilai prediksi faktor emisi melalui hasil pengukuran udara di ruas jalan utama Kota Bandung. Konsep ini membuat teknik pemodelan terbalik dapat memberikan secara langsung estimasi emisi yang absolut berdasarkan sumber emisinya.

Beberapa penelitian menyatakan bahwa model CALINE4 dapat diaplikasikan untuk konsep pemodelan terbalik (Kawashima, 2005; Kim Oanh, 2014; Gramotnev., et. al, 2003). CALINE4 menggunakan konsep difusi gaussian untuk memperoleh prediksi sebaran gas buang kendaraan bermotor di titik reseptor yang berlokasi hingga 500 meter dari jalan raya. Keunggulan dari program ini, yaitu membutuhkan input data yang relatif lebih sedikit apabila dibandingkan dengan model dispersi sumber garis lainnya.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di tiga ruas jalan yang dipilih berdasarkan status jalan yang mencakup Jalan Provinsi, Jalan Nasional, serta Jalan Lingkungan di Kota Bandung. Pertimbangan penentuan lokasi ini berdasarkan perbedaan volume lalu lintas, jarak

pelayanan, serta kecepatan berkendara untuk masing-masing kategori jalan. Ketiga kategori jalan ini diharapkan dapat mempresentasikan volume, komposisi, serta konsentrasi gas buang kendaraan bermotor untuk satu Kota Bandung. Pengukuran data primer dilaksanakan selama 6 hari (mewakili hari kerja dan hari libur untuk satu jalan) dalam interval waktu pagi dan sore (jam puncak). **Tabel 1.** Merupakan rincian pemetaan lokasi serta waktu penelitian pada ruas jalan utama di Kota Bandung.

Tabel 1. Waktu Pengukuran SO₂ di Udara Ambien

Titik Sampling	Status Jalan	Tanggal	Interval Waktu	Waktu Pengukuran SO ₂
Jalan Soekarno Hatta	Nasional	Kamis, 11 Juli 2019	Pagi	07.00 - 08.00
			Sore	15.00 - 16.00
		Sabtu, 13 Juli 2019	Pagi	07.00 - 08.00
			Sore	15.00 - 16.00
Jalan BKR	Provinsi	Minggu, 14 Juli 2019	Pagi	07.00 - 08.00
			Sore	15.00 - 16.00
		Selasa, 16 Juli 2019	Pagi	07.00 - 08.00
			Sore	15.00 - 16.00
Jalan Arcamanik	Lingkungan	Kamis, 18 Juli 2019	Pagi	07.00 - 08.00
			Sore	15.00 - 16.00
		Sabtu, 20 Juli 2019	Pagi	07.00 - 08.00
			Sore	15.00 - 16.00

Sumber: Hasil Analisis, 2019

2.2 Pengumpulan Data Primer

Data primer yang dikumpulkan pada penelitian Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

2.2.1 Pengukuran Gas SO₂ di Ruas Jalan Utama Kota Bandung

Pengukuran SO₂ mengacu pada SNI 19-7119.7-2005 tentang Cara Uji Kadar Sulfur Dioksida (SO₂) dengan Metoda Pararosanilin menggunakan Spektrofotometer. Prinsip dasar dari pengukuran ini, yaitu udara diambil menggunakan pompa hisap dengan laju alir 0,5 L/menit dan gas SO₂ akan diserap oleh larutan penyerap tetrakloromerat di dalam tabung *impinger*. Pengukuran dilakukan selama 1 jam.

2.2.2 Pengukuran Data Meteorologi

Untuk mendukung pengukuran kualitas udara *roadside*, maka diperlukan pemantauan kondisi meteorologis yang meliputi temperature udara, arah dan kecepatan angin, kelembaban, serta tekanan. Pengambilan data meteorologi dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel SO₂ di udara menggunakan *Davis Vantage Pro Weather*.

2.2.3 Perhitungan Volume Kendaraan Bermotor

Metode yang digunakan dalam perhitungan volume kendaraan, yaitu *traffic counting*. Metode ini merupakan metode survei perhitungan lalu lintas yang dilakukan dengan cara menghitung jumlah kendaraan yang melintas pada suatu ruas jalan. Peralatan yang diperlukan untuk menghitung jumlah kendaraan bermotor, yaitu alat cacah genggam (*hand tally counter*). Dalam menghitung volume kendaraan bermotor diperlukan suatu pembagian kategori berdasarkan jenis kendaraan. Kategori ini mengacu pada PermenLH No. 12 Tahun 2010 meliputi sepeda motor (*motorcycles*), kendaraan ringan (*light vehicles*), dan kendaraan berat (*heavy vehicles*). Pengukuran ini dilakukan seiring dengan pengukuran gas SO₂ di udara ambien yang berlangsung selama 1 jam.

2.3 Analisis Laboratorium

Sampel pengukuran gas buang SO₂ di udara kemudian dianalisis di Laboratorium. Analisis ini mengacu pada yang SNI 19-7119.7-2005 dengan prinsip kerja gas SO₂ diserap dalam larutan penyerap tetrakloromerat membentuk senyawa diklorosulfonatomercurat. Dengan menambahkan larutan pararosanilin dan formaldehida ke dalam larutan, maka terbentuk senyawa pararosanilin metal sulfonat yang berwarna ungu. Berikut merupakan langkah perhitungan dalam mencari konsentrasi SO₂ di dalam sampel.

a. Perhitungan Volume Udara yang Diambil

Volume sampel SO₂ pada udara ambien kemudian dikonversikan kedalam kondisi normal (suhu 25°C dan tekanan 760 mmHg) dengan menggunakan **Persamaan 1**:

$$V = \frac{F1+F2}{2} \times t \times \frac{Pa}{Ta} \times \frac{298}{760} \quad \text{(Persamaan 1)}$$

Keterangan:

- V = Volume udara yang dihisap (L)
- F1 = Laju alir awal (L/menit)
- F2 = Laju alir akhir (L/menit)
- t = Durasi pengambilan contoh uji (menit)
- Pa = Tekanan barometer rata-rata selama pengambilan contoh uji (mmHg)
- Ta = Temperatur rata-rata selama pengambilan contoh uji (K)
- 298 = Temperatur pada kondisi normal (K)
- 760 = Tekanan pada kondisi normal (mmHg)

b. Perhitungan Konsentrasi Sampel

Konsentrasi SO₂ di sampel udara ambien dapat dihitung menggunakan **Persamaan 2**:

$$C = \frac{a}{V} \times 1000 \quad \text{(Persamaan 2)}$$

Keterangan:

- C = Konsentrasi SO₂ pada kondisi normal (µg/Nm³)
- A = Jumlah SO₂ dari contoh uji dengan melihat kurva kalibrasi (µg)
- V = Volume udara pada kondisi normal (L)
- 1000 = Konversi L ke m³

2.4 Pemodelan Terbalik menggunakan Model CALINE4

Pemodelan terbalik (*inverse modelling*) merupakan suatu konsep pemodelan kualitas udara yang bertujuan untuk menghitung prediksi faktor emisi (FE_{pred}) menggunakan data pengukuran *ambient*. Teknik ini mencakup berbagai metodologi yang menggabungkan informasi dari pengukuran langsung konsentrasi parameter untuk mengestimasi emisi dalam skala lokal hingga regional (Air Quality Expert Group, 2013). **Persamaan 3** merupakan persamaan matematis pemodelan terbalik berdasarkan konsep Difusi Gaussian.

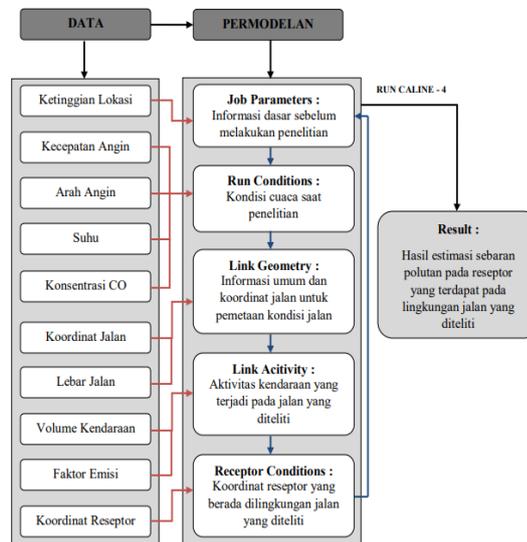
$$EF = \frac{[n] \times mwt_n}{TFR \times F} \quad \text{(Persamaan 3)}$$

Keterangan:

- EF_n : Prediksi faktor emisi parameter n (g/mil)
- [n] : Konsentrasi pengukuran parameter n (ppm)
- mwt_n : Berat molekul parameter n
- TFR : Volume kendaraan (unit/jam)
- F : Pengaruh meteorologi

Model yang digunakan untuk penelitian ini adalah model kualitas udara CALINE4. CALINE4 merupakan model yang dikembangkan oleh *California Department of Transportation* (Caltrans) yang dapat memprediksi dispersi gas pencemar di sumber garis. Model ini

diaplikasikan berdasarkan prinsip Difusi Gaussian dan konsep zona pencampuran gas pencemar dekat jalan raya. Beberapa variable *input* yang dibutuhkan dalam mengestimasi dispersi polutan menggunakan model CALINE4, yaitu data kekuatan sumber (volume lalu lintas, faktor emisi, koordinat jalan, dan reseptor) data meteorologi, serta geometri lokasi (Benson, 1992). Diagram alir model CALINE4 dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram Alir Model CALINE4

Sumber: Benson, 1992

Dalam melakukan perhitungan prediksi FE langkah awal yang dilakukan, yaitu memasukkan data hasil pengukuran meteorologi, volume kendaraan komposit, serta koordinat titik pengukuran ke dalam model CALINE4. Setelah itu, pada kolom *Link Activity* data FE yang dimasukkan merupakan FE secara acak (*arbitrary emission factor*). Kemudian model dijalankan (*running*) untuk mendapatkan nilai estimasi konsentrasi. Nilai estimasi konsentrasi digunakan untuk perhitungan prediksi FE melalui persamaan regresi linear (Nguyen, 2014). Persamaan ini menggambarkan hubungan antara estimasi konsentrasi dengan *arbitrary emission factor*. Nilai regresi yang didapatkan harus mendekati 1, sehingga korelasi antara kedua variable semakin baik. Prediksi FE dapat dihitung melalui data hasil pengukuran konsentrasi yang dimasukkan ke dalam persamaan regresi (**Persamaan 4**).

$$Y = ax+b \quad \text{(Persamaan 4.)}$$

Keterangan:

Y : Konsentrasi Hasil Pengukuran (ppm)

a : variabel a

b : variabel b

X : Prediksi Faktor Emisi (g/mil)

2.5 Perhitungan Nilai Faktor Emisi Komposit *Default* berdasarkan Peraturan

Perhitungan nilai FE Komposit bertujuan untuk memvalidasi faktor emisi hasil pemodelan terbalik (FE_{pred}). Nilai FE komposit didapatkan dengan merata-ratakan hasil pengukuran volume kendaraan dengan FE yang tercantum dalam PermenLH No. 12 Tahun 2010 (**Tabel 2.**). Rumus perhitungan yang digunakan untuk perhitungan FE komposit tertulis pada **Persamaan 5**.

Tabel 2. Nilai Faktor Emisi *Default* berdasarkan Peraturan

No	Jenis Kendaraan	Faktor Emisi SO ₂ (g/km)
1	Sepeda Motor	0,008
2	Mobil (Bensin)	0,026
3	Mobil (Solar)	0,44
4	Mobil (BBM Jenis Lain)	0,11
5	Bis	0,93
6	Truk	0,82

Sumber: Peraturan Menteri LH No. 12 Tahun 2010

$$\text{FE Komposit} = \frac{(V_1 \times FE_1) + (V_2 \times FE_2) + (V_n \times FE_n)}{V_1 + V_2 + V_3} \quad \text{(Persamaan 5)}$$

Keterangan

V₁ : Volume kendaraan jenis 1 (kendaraan/jam)

V₂ : Volume kendaraan jenis 2 (kendaraan/jam)

FE₁ : Faktor emisi kendaraan jenis 1 (g/km)

FE₂ : Faktor emisi kendaraan jenis 2 (g/km)

Nilai faktor emisi komposit *default* ini digunakan sebagai *input* awal dalam menggunakan model CALINE4 serta sebagai data validasi prediksi faktor emisi hasil pemodelan terbalik.

2.6 Perhitungan Beban Emisi

Perhitungan beban emisi dilakukan dengan cara mengalikan nilai VKT untuk sumber bergerak dengan prediksi faktor emisi hasil pemodelan terbalik. Nilai VKT yang digunakan merupakan hasil pengalihan antara jarak tempuh rerata per tahun dengan jumlah kendaraan yang teregistrasi di Kota Bandung. **Persamaan 6** merupakan rumus perhitungan beban emisi yang mengacu pada Pedoman Teknis Penyusunan Inventari Emisi Pencemar Udara di Perkotaan (2013).

$$E_{sb} \left(\frac{\text{ton}}{\text{tahun}} \right) = VKT_{SB} \left(\frac{\text{km}}{\text{tahun}} \right) \times FE \left(\frac{\text{gr}}{\text{km}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} \times \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} \right) \quad \text{(Persamaan 6)}$$

Keterangan:

E_{sb} : Beban Emisi (ton/tahun)

VKT_{sumber bergerak} : Nilai VKT (km/thn)

FE : Faktor Emisi Dari Setiap Parameter (gr/km)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengukuran Data Primer

3.1.1 Konsentrasi Gas Buang SO₂ di Udara Ambien

Pengukuran gas buang SO₂ dilakukan pada 3 ruas jalan utama meliputi dari Jl. Provinsi, Nasional, serta Lingkungan. Pengukuran gas buang SO₂ dilakukan selama 6 hari (mewakili hari kerja dan hari libur untuk satu jalan) dalam interval waktu pagi dan sore (jam puncak).

Tabel 3. merupakan hasil pengukuran gas buang SO₂ pada masing-masing titik pengukuran.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Gas Buang SO₂ di Titik Pengukuran

No	Nama Jalan	Tanggal	Waktu	Konsentrasi (ug/Nm ³)		Konsentrasi Rerata Harian (ug/Nm ³)	Standar Baku Mutu (ug/Nm ³)
				Pagi	Sore		
1	Jl. Soekarno	11/07/2019	Hari Kerja	10,66	8,72	9,69	900
2	Hatta	13/07/2019	Akhir Pekan	10,66	19,26	14,96	
3	Jl. BKR	16/07/2019	Hari Kerja	11,52	11,04	11,37	
4		14/07/2019	Akhir Pekan	11,70	10,03	10,78	
5	Jl. Arcamanik	18/07/2019	Hari Kerja	7,12	3,60	5,36	
6		20/07/2019	Akhir Pekan	3,36	2,76	3,06	

Sumber: Hasil Penelitian, 2019

Berdasarkan **Tabel 3**, konsentrasi tertinggi berada di Jl. Soekarno Hatta dan terendah di Jl. Arcamanik dengan masing-masing rerata konsentrasi sebesar 12,33 ug/Nm³ dan 4,21 ug/Nm³. Konsentrasi pada ketiga jalan masih dibawah ambang batas baku mutu PP. 41 Tahun 1999. Selain itu terjadi penurunan konsentrasi gas pencemar SO₂ sebesar 17% dari tahun 2018 hingga tahun 2019. Hal ini dibuktikan melalui data rata-rata hasil pengukuran yang dilakukan oleh DLH Kota Bandung, yaitu sebesar 22,2 ug/Nm³.

3.1.2 Data Meteorologi

Data meteorologi yang diperoleh dari hasil pengukuran secara langsung menggunakan alat *Davis Vintage Pro Weather Station* yang ditempatkan di titik pengukuran SO₂ pada waktu yang sama. Parameter yang diukur meliputi temperatur udara, tekanan, kelembaban, serta arah dan kecepatan angin. Data meteorologi digunakan untuk perhitungan konsentrasi SO₂ serta sebagai variable *input* ke dalam model CALINE4. **Tabel 4**, merupakan hasil pengukuran beberapa parameter meteorologi yang dilakukan.

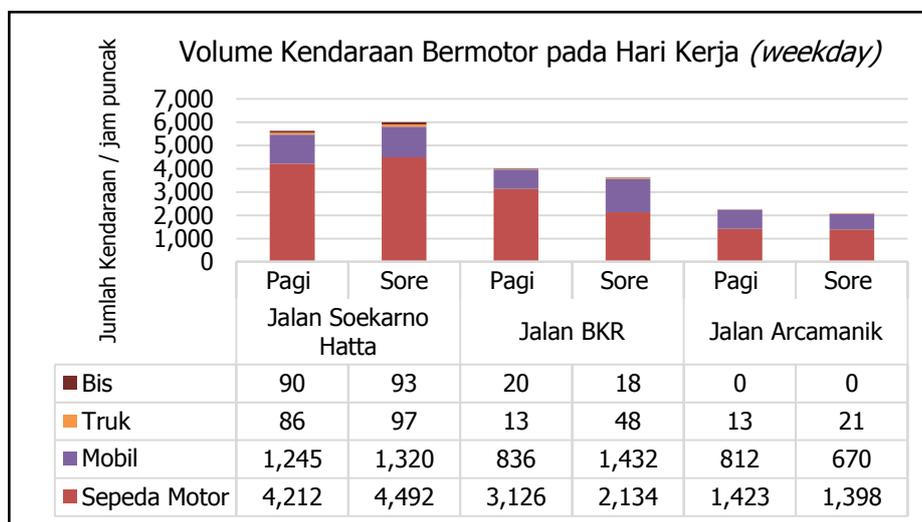
Tabel 4. Data Meteorologi Pengukuran

Hari/Tanggal	Nama Jalan	Pukul	Parameter Meteorologi				
			Suhu	Tekanan	Kelembaban (%)	Arah Angin	Kecepatan Angin (m/s)
			Celcius	mbar	mmHg		
11 Juli 2019	Jl. Soekarno Hatta	07.00 - 08.00	22,44	1017,47	69,83	NE	0,37
		15.00 - 16.00	29,29	1014,21	53,17	NE	0,50
13 Juli 2019	Jl. Soekarno Hatta	07.00 - 08.00	22,59	1018,06	69,17	NE	0,07
		15.00 - 16.00	31,79	933,83	43,67	S	0,40
14 Juli 2019	Jl. BKR	07.00 - 08.00	21,22	937,03	60,54	SW	0,81
		15.00 - 16.00	31,28	932,64	48,25	NE	1,47
16 Juli 2019	Jl. BKR	07.00 - 08.00	21,96	937,07	65,00	N	0,63
		15.00 - 16.00	30,78	932,08	37,00	E	0,83
18 Juli 2019	Jl. Arcamanik	07.00 - 08.00	20,26	935,11	68,67	SE	0,28
		15.00 - 16.00	28,81	930,69	47,79	SE	0,81
20 Juli 2019	Jl. Arcamanik	07.00 - 08.00	23,98	935,76	70,79	SE	0,77
		15.00 - 16.00	28,02	931,93	61,83	SE	1,63

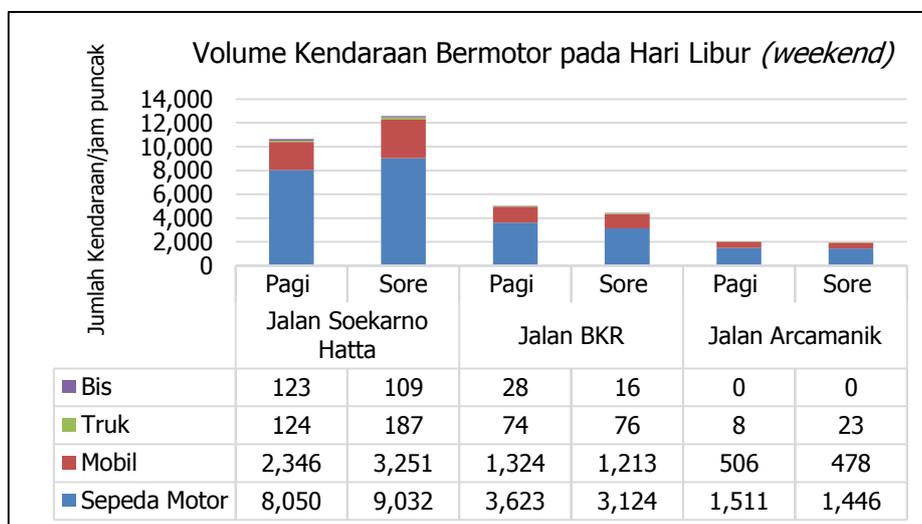
Sumber: Hasil Penelitian, 2019

3.1.3 Volume Kendaraan

Pengukuran volume kendaraan dilakukan pada 3 titik ruas jalan, meliputi Jl. Soekarno Hatta (Nasional), Jl. BKR (Provinsi), serta Jl. Arcamanik (Lingkungan). **Gambar 3.** dan **Gambar 4.** merupakan volume untuk setiap jenis kendaraan di masing-masing titik pengukuran pada hari kerja dan hari libur.



Gambar 3. Volume Kendaraan Bermotor pada Hari Kerja
Sumber: Hasil Pengukuran, 2019



Gambar 4. Volume Kendaraan Bermotor pada Hari Libur
Sumber: Hasil Pengukuran, 2019

Berdasarkan **Gambar 3.** volume kendaraan yang melintas di ketiga ruas jalan utama Kota Bandung pada hari kerja mencapai 11.876 unit untuk jam puncak di pagi hari (07.00-08.00) dan 11.723 unit untuk jam puncak di sore hari (15.00-16.00). Jl. Soekarno Hatta merupakan jalan dengan mobilitas tertinggi dengan total kendaraan yang melintas sebesar 11.635 kendaraan/jam puncak. Ruas jalan dengan mobilitas kendaraan tertinggi kedua, yaitu Jl. BKR dengan total kendaraan yang melintas sebesar 7.627 kendaraan/jam puncak. Volume kendaraan terendah berada di Jl. Arcamanik dengan total kendaraan sebesar 4.337 kendaraan/jam puncak.

Berdasarkan **Gambar 4** volume kendaraan yang melintas di ketiga ruas jalan utama Kota Bandung pada hari libur mencapai 17.717 unit untuk jam puncak di pagi hari (07.00-08.00) dan 18.955 unit untuk jam puncak di sore hari (15.00-16.00). Jl. Soekarno Hatta merupakan jalan dengan mobilitas tertinggi dengan total kendaraan yang melintas sebesar 23.222 kendaraan/jam puncak. Selanjutnya diikuti dengan Jl. BKR dengan total kendaraan yang melintas sebesar 9.478 kendaraan/jam puncak. Mobilitas terendah berada di Jl. Arcamanik dengan total kendaraan sebesar 3.972 kendaraan/jam puncak.

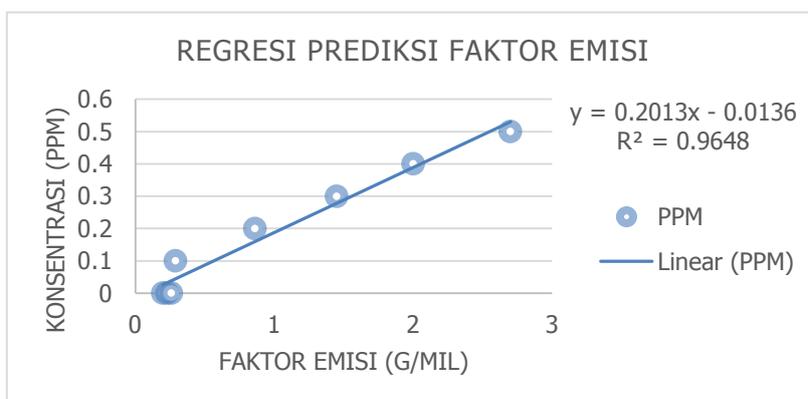
3.2 Hasil Perhitungan Prediksi Faktor Emisi (Model Terbalik)

Faktor emisi diestimasi melalui konsep pemodelan terbalik dengan menggunakan data hasil pengukuran. **Tabel 5.** merupakan contoh beberapa nilai *arbitrary emission factor* dengan masing-masing hasil estimasi konsentrasi gas pencemar di salah satu lokasi pengukuran menggunakan CALINE4.

Tabel 5. merupakan hasil perhitungan prediksi faktor emisi untuk masing-masing titik pengukuran menggunakan model CALINE4.

Tabel 5. Faktor Emisi Jl. Soekarno Hatta Hari Kerja Pagi hari

<i>Arbitrary Emission Factor (g/mil)</i>	Estimasi Konsentrasi (ppm)
0,2	0
0,23	0
0,26	0
0,29	0,1
0,86	0,2
1,45	0,3
2	0,4



Sumber: Hasil Penelitian, 2019

Tabel 6. Prediksi Faktor Emisi berdasarkan Titik Pengukuran

Hari / Tanggal	Jam Puncak	Jalan	Prediksi Faktor Emisi (g/mil)
11-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan Soekarno Hatta	0,23
	15.00 - 16.00		0,59
13-Jul-19	07.00 - 08.00		0,17
	15.00 - 16.00		0,14
14-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan BKR	0,24
	15.00 - 16.00		0,24
16-Jul-19	07.00 - 08.00		0,14
	15.00 - 16.00		0,22
18-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan Arcamanik	0,75
	15.00 - 16.00		0,67
20-Jul-19	07.00 - 08.00		0,66
	15.00 - 16.00		0,65

Sumber: Hasil Penelitian, 2019

Dalam menentukan prediksi faktor emisi untuk satu Kota Bandung melalui hasil data pengukuran, maka diperlukan perhitungan lanjutan. Perhitungan ini meliputi konversi melalui data volume kendaraan di Kota Bandung selama 24 jam, serta panjang jalan untuk masing-masing tipe jalan. Data faktor emisi ini selanjutnya akan digunakan untuk perhitungan beban

emisi gas pencemar SO₂ di Kota Bandung. **Tabel 6.** Merupakan rincian perhitungan prediksi faktor emisi untuk satu Kota Bandung.

Tabel 6. Prediksi Faktor Emisi menggunakan CALINE4

Nama Jalan	Waktu	FE Per hari (gr/mil)	FE untuk Setiap Jalan (gr/mil)	FE untuk Setiap Jalan (gr/km)	Tipe Jalan	Panjang Jalan (km)	Prediksi Faktor Emisi Kota Bandung (gr/km)
Jl Soetta	Hari Kerja	0,22	0,2	0,1	Nasional	43.625	0,17
	Hari Libur	0,16					
Jl. BKR	Hari Kerja	0,44	0,4	0,2	Provinsi	328.054	
	Hari Libur	0,21					
Jl. Arcamanik	Hari Kerja	0,23	0,2	0,1	Lingkungan	14.095	

Sumber: Hasil Penelitian, 2019

3.3 Perhitungan Faktor Emisi Komposit

Data perhitungan FE komposit digunakan untuk membandingkan faktor emisi yang telah ditetapkan oleh literatur dengan prediksi faktor emisi yang dihasilkan dari pemodelan terbalik. Perbandingan ini bertujuan sebagai validasi data. **Tabel 7.** merupakan hasil perbandingan faktor emisi untuk kedua metode.

Tabel 7. Perbandingan Faktor Emisi

Hari / Tanggal	Jam Puncak	Jalan	Faktor Emisi Pemodelan (g/mil)	Faktor Emisi Komposit berdasarkan PermenLH no 12 th 2010 (g/mil)
11-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan Soekarno Hatta	0,20	0,10
	15.00 - 16.00		0,23	0,10
13-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan BKR	0,21	0,09
	15.00 - 16.00		0,06	0,09
14-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan Arcamanik	0,66	0,10
	15.00 - 16.00		0,20	0,10
16-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan Arcamanik	0,21	0,10
	15.00 - 16.00		0,25	0,10
18-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan Arcamanik	0,27	0,10
	15.00 - 16.00		0,19	0,10
20-Jul-19	07.00 - 08.00	Jalan Arcamanik	0,25	0,10
	15.00 - 16.00		0,25	0,10

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

Berdasarkan **Tabel 4.5** perbedaan nilai prediksi FE hasil pemodelan terbalik dengan nilai FE komposit berdasarkan PermenLH sangat sedikit (200%). Prediksi FE hasil model lebih besar dibandingkan FE komposit *default* peraturan. Hal ini dikarenakan keterbatasan pengukuran

konsentrasi SO₂ yang memungkinkan adanya potensi pencemar lain (selain kendaraan bermotor) terdispersi melalui angin dan ikut terukur ke dalam pengukuran.

3.4 Perhitungan Beban Emisi

Pada perhitungan beban emisi diperlukan nilai VKT dan juga faktor emisi. Nilai faktor emisi yang digunakan merupakan prediksi faktor emisi komposit hasil pemodelan terbalik. Prediksi faktor emisi komposit diperoleh dari perhitungan regresi linear berupa uji sensitivitas yang menggambarkan hubungan antara FE dengan konsentrasi. Data hasil pengukuran konsentrasi di titik sampling kemudian dimasukkan ke dalam persamaan regresi linear untuk mendapatkan prediksi FE /jam/hari/jalan. Selanjutnya, untuk membuat prediksi FE komposit diperlukan perhitungan lanjutan dengan merata-ratakan data prediksi sebelumnya dengan volume kendaraan satu hari dan panjang jalan di Kota Bandung. **Tabel 8.** merupakan rincian perhitungan beban emisi dari sumber bergerak.

Tabel 8. Beban Emisi dari Sumber Bergerak

Jenis Kendaraan	VKT Avg/hari)	Jumlah Teregristrasi	Total VKT/tahun)	Prediksi Faktor Emisi Komposit	Beban Emisi (gr/tahun)	Beban Emisi (ton/tahun)
<i>Light Vehicles</i>	15	392.051	2.216.656.354			
<i>Heavy Vehicles</i>	62	10.327	234.505.516	0,18	2.205.640.910	2.206
<i>Motor Cycles</i>	22	1.244.433	9.802.398.741			
TOTAL			12.253.560.611			

Sumber: Hasil Perhitungan, 2019

4. KESIMPULAN

Hasil pengukuran konsentrasi SO₂ di ruas Jl. Soekarno Hatta sebesar 9,69 µg/Nm³ untuk hari kerja, 19,26 µg/Nm³ untuk hari libur; Jl. BKR sebesar 11,37 µg/Nm³ untuk hari kerja dan 10,78 µg/Nm³ untuk hari libur; Jl. Arcamanik sebesar 5,36 µg/Nm³ untuk hari kerja, serta 3,06 µg/Nm³ untuk hari libur. Hasil pengukuran konsentrasi digunakan untuk mencari prediksi faktor emisi melalui model kualitas udara CALINE4. Rata-rata prediksi faktor emisi yang telah dihitung sebesar 0,17 g/km. Beban emisi yang dihasilkan Gas SO₂ di Kota Bandung sebesar 2.206 ton/tahun

DAFTAR RUJUKAN

- Air Quality Expert Group. (2013). *Linking Emission Inventories and Ambient Measurements*.
 Ameilia, Farsah. (2004). Analisis Hujan Asam dan CO₂ Atmosfer. Jakarta: Universitas Trisakti
 Benson, Paul E. 1992. CALINE4 – A Dispersion Model For Predicting Air Pollutant Concentrations Near Roadways. Department of Transportation : California.
 Dinas Lingkungan Hidup Kota Bandung. (2018). Data Kualitas Udara *Roadside*: Bandung.
 Gramotnev, G., Ristovski, Z.D., Brown, R.J., Madl, P. (2004). *New Methods of Determination of Average Particle Emission Factors for Two Groups of Vehicles on a Busy Road*. Atmospheric Environment.
 Kawashima, H., Minami, S., Hanai, Y., Fushimi, A. (2006). *Volatile Organic Compound Emission Factors from Roadside Measurements*. Atmospheric Environment
 Kementerian Lingkungan Hidup. (2013). Pedoman Teknis Penyusunan Inventari Emisi Pencemar Udara di Perkotaan.

- Nguyen, T.H., Nguyen T.K. (2014). *Characterization of Levels and Emission Rates for Roadside PM_{2.5} and BTEX in Ho Chi Minh city, Vietnam*. Atmospheric Environment
- Ningsih, Setia. (2017). Studi Reduksi Sulfur Dioksida Udara Ambien oleh Ruang Terbuka Hijau untuk Wilayah Pusat Kota, Perkantoran, dan Permukiman di Kota Surabaya. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah
- SNI 19-7119.7-2005 tentang Cara Uji Kadar Sulfur Dioksida (SO₂) dengan Metoda Pararosanilin menggunakan Spektrofotometer