



PEMODELAN DISPERSI EMISI SO₂, NO₂, DAN CO INSINERATOR RUMAH SAKIT PUPUK KALTIM MENGGUNAKAN *SOFTWARE* AERMOD DI KOTA BONTANG KALIMANTAN TIMUR INDONESIA

Edhi Sarwono*, Iqbal Fathur Zain, Budi Nining Widarti, Dyah Wahyu Wijayanti

Program Studi Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Mulawarman Samarinda.
Jalan Sambaliung No. 9 Kampus Gunung Kelua Samarinda 75119

* Korespondensi penulis: e.sarwono@ft.unmul.ac.id

ABSTRAK

Rumah Sakit Pupuk Kaltim di Kota Bontang Provinsi Kalimantan Timur menggunakan alat insinerator untuk membakar limbah medis yang dihasilkan dengan bahan bakar dextrite dan terhubung pada cerobong untuk mengeluarkan emisi polutan ke atmosfer. Tujuan penelitian ini adalah pemodelan parameter SO₂, NO₂, dan CO dengan radius 10 kilometer dari lokasi sumber emisi. Konsentrasi emisi SO₂ pada cerobong sebesar 14,15 µg/Nm³, NO₂ sebesar 95,79 µg/Nm³ dan CO sebesar 67,08 µg/Nm³, dengan tinggi cerobong 14 meter dan kecepatan gas buang 22,95 m/s. Pemodelan menggunakan *software* AERMOD dan *software* AERMET. *Windrose* pada area penelitian dominan dari arah timur laut dan barat daya. Hasil pemodelan menunjukkan konsentrasi penyebaran SO₂, NO₂, dan CO cenderung menurun sesuai jarak. Kenaikan konsentrasi terjadi pada wilayah yang mengalami kenaikan elevasi dari lokasi sumber emisi. Hasil maksimum dispersi polutan dengan radius 10 kilometer untuk konsentrasi SO₂ sebesar 1,33 µg/Nm³, konsentrasi NO₂ sebesar 8,83 µg/Nm³, dan konsentrasi CO sebesar 21,5 µg/Nm³. Penilaian akurasi hasil pemodelan dilakukan dengan menghitung persentase *margin error* antara hasil pemodelan dengan nilai konsentrasi polutan yang diperoleh dari hasil pemantauan aktual pada tahun 2022 yang telah dilakukan Rumah Sakit Pupuk Kaltim. Pada 2 titik reseptor di tahun 2022, hasil penilaian *margin error* menunjukkan bahwa hanya pemodelan parameter NO₂ pada reseptor 1 yang menunjukkan pemodelan dengan hasil tingkat pemodelan terkategori baik.

Kata Kunci: AERMOD, Dispersi Udara, Emisi, Insinerator, Pemodelan

1. Pendahuluan

Salah satu permasalahan terbesar di zaman sekarang adalah polusi udara, karena dampaknya tidak hanya berpengaruh terhadap perubahan iklim, tetapi juga berpengaruh terhadap kesehatan masyarakat dan individu, hal ini dapat dilihat dengan meningkatnya angka individu penderita penyakit dan angka kematian yang disebabkan polusi udara [1]. WHO mendefinisikan polusi udara sebagai suatu substansi pencemar yang terdapat di lingkungan, baik di dalam maupun luar ruangan, disebabkan oleh zat kimia, fisik, atau biologis dan dapat mengubah sifat-sifat alami atmosfer [2]. Polusi udara menjadi akar penyebab dari jutaan kasus kematian dini setiap tahunnya [3]. Hampir seluruh populasi global (99%) menghirup udara yang melampaui batas pedoman WHO dan mengandung tingkat polutan yang tinggi, dengan paparan tertinggi dialami oleh negara-negara yang berpendapatan rendah dan menengah [2].

Berdasarkan peringkat IQ Air, negara Indonesia menduduki peringkat 26 sebagai negara paling berpolusi di dunia [4]. Industri rumah sakit sekalipun ikut termasuk menjadi penyumbang polusi udara melalui kegiatan pembakaran limbah medis, hal tersebut terjadi jika pembakaran yang dihasilkan tidak sempurna. Proses pembakaran limbah medis dikenal dengan istilah insinerasi. Insinerasi limbah medis memuat limbah medis yang dihasilkan dari kegiatan sehari-hari di rumah sakit. Kegiatan insinerasi limbah medis mengeluarkan sejumlah polutan ke atmosfer, polutan tersebut meliputi *particulate matter* (PM), logam, sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), karbon monoksida (CO), bahan organik, dan berbagai bahan lainnya [5].



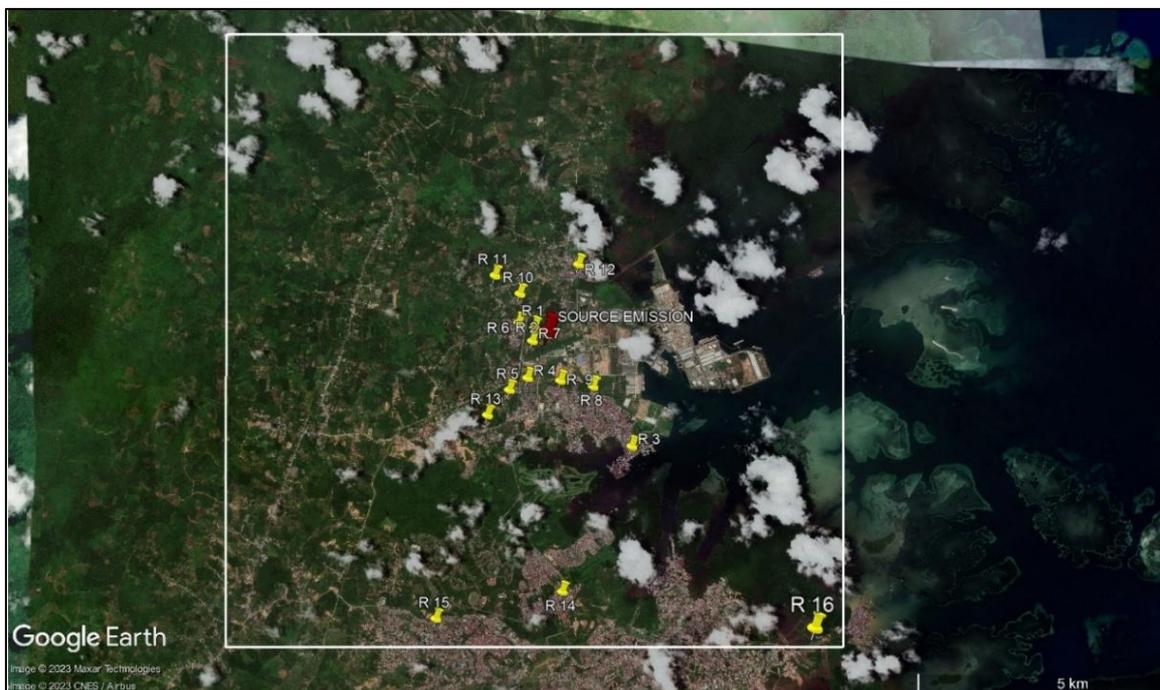
Pemodelan dispersi udara dapat memberikan gambaran jumlah polutan yang tersebar di lingkungan. Data meteorologi disiapkan untuk input ke dalam *software* AERMET, yang memiliki kemampuan untuk meneruskan semua pengamatan meteorologi ke model utama (AERMOD) [6]. Model dispersi diimplementasikan melalui persamaan untuk menggambarkan proses yang terjadi di atmosfer [7]. Model dispersi polusi udara yang umum digunakan adalah model American Meteorology Society dan model U.S Environmental Protection Agency Regulatory Model (AERMOD) [8]. *Software* AERMOD telah digunakan pada sejumlah penelitian. Seperti halnya digunakan untuk mempelajari penyebaran PM10 di Kota Pune, India [9].

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dispersi udara SO_2 , NO_2 , dan CO dengan menggunakan *software* AERMOD yang bersumber dari cerobong insinerator dan mengevaluasi nilai konsentrasi polutan SO_2 , NO_2 , dan CO berdasarkan hasil pemodelan dengan menghitung persentase *margin eror* menggunakan metode *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

2. Metode Penelitian

Lokasi Wilayah Studi

Penelitian ini dilakukan di Rumah Sakit Pupuk Kaltim Kota Bontang, Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Cerobong insinerator Rumah Sakit berada pada koordinat $117^{\circ}28'17,5''\text{E}$ (bujur timur) dan $0^{\circ}10'49,1''\text{N}$ (lintang utara) dengan ketinggian 32 m di atas permukaan laut (mdpl). Keberadaan lokasi Rumah Sakit Pupuk Kaltim cukup dekat dengan wilayah Kawasan Industrial Estate Kota Bontang. Wilayah reseptor pada radius jarak 10 km dari titik sumber emisi diplotkan sebanyak 16 reseptor yang terdiri dari fasilitas umum berupa sarana pendidikan, lokasi pemukiman penduduk, tempat ibadah, beserta 2 titik lokasi pemantauan udara ambien aktual Rumah Sakit Pupuk Kaltim. Wilayah studi dalam radius 10 km tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Area Penelitian



Data Sumber Emisi dan Konsentrasi

Sumber emisi berasal dari cerobong insinerator Rumah Sakit Pupuk Kaltim Kota Bontang yang akan dilakukan pemodelan persebaran parameter SO₂, NO₂, dan CO yang dihasilkan. Basis data yang digunakan adalah data hasil pengukuran emisi cerobong parameter SO₂, NO₂, dan CO rata-rata tahun 2022, laju emisi, kecepatan gas buang, suhu gas buang, tinggi cerobong, diameter cerobong, titik koordinat cerobong, dan luas penampang cerobong.

Tabel 1. Data Cerobong Insinerator Rumah Sakit Pupuk Kaltim Tahun 2022

Keterangan	Konsentrasi rata-rata SO ₂ (mg/Nm ³)	Konsentrasi rata-rata NO ₂ (mg/Nm ³)	Konsentrasi rata-rata CO (mg/Nm ³)
Konsentrasi Polutan (mg/Nm ³)	14,15	95,79	67,085
Laju Emisi (µg/s)	33067,135	223851,651	156770,936
Kecepatan gas buang (m/s)	22,95		
Suhu Gas Buang (°C)	391,4		
Tinggi Cerobong (m)	14		
Diameter Cerobong(m)	0,36		
Luas Penampang (m ²)	0,101		

Data Meteorologi

Data meteorologi yang digunakan sebagai inputan *software* AERMET berupa data perjam tutupan awan, suhu, kelembaban udara, tekanan udara, arah angin, kecepatan angin, tinggi awan terendah (*ceiling height*), curah hujan dan radiasi matahari. Data tersebut diperoleh dari *The Prediction Of Worldwide Energy Resources (POWER)* yang dikeluarkan oleh *The National Aeronautics and Space Administration (NASA)* dan *The European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) datasets ERA5 hourly data* yang berasal dari data satelit dan *ground sensor* mulai tanggal 1 Januari – 31 Desember 2022 di lokasi penelitian.

Data Reseptor

Pada penelitian ini ditetapkan reseptor sebanyak 16 plot. Keseluruhan reseptor berada di dalam radius jarak 10 km dari sumber titik emisi cerobong insinerator rumah sakit. Reseptor yang ditetapkan terdiri atas fasilitas umum yang meliputi sarana pendidikan, lokasi pemukiman penduduk, tempat ibadah, beserta 2 titik lokasi pemantauan udara ambien aktual Rumah Sakit Pupuk Kaltim. Informasi mengenai titik koordinat beserta keterangan nama pada masing-masing reseptor dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Reseptor dalam Area 10 km dari Titik Sumber Emisi

Koordinat Geografis		Nama Reseptor
Bujur Timur (E)	Lintang Utara (N)	
117° 28' 10,91"	0° 10' 53,37"	Area Parkir Rumah Sakit Pupuk Kaltim*
117° 28' 17,58"	0° 10' 49,23"	Area Insinerator *
117° 29' 01,90"	0° 09' 50,45"	Kampung Selambai
117° 28' 07,26"	0° 10' 26,50"	Komplek Greendland
117° 27' 57,68"	0° 10' 20,15"	SMPN 5 Bontang
117° 28' 02,66"	0° 10' 55,59"	Kampung Sidrap
117° 28' 09,78"	0° 10' 46,01"	Masjid Asy – Syifa
117° 28' 41,61"	0° 10' 21,97"	SDN 005 Bontang Utara



Koordinat Geografis		Nama Reseptor
Bujur Timur (E)	Lintang Utara (N)	
117° 28' 24,50"	0° 10' 25,07"	Kampung Loktuan
117° 28' 03,18"	0° 11' 10,89"	Masjid Al – Muhajirin
117° 27' 50,15"	0° 11' 20,53"	Gereja Toraja
117° 28' 33,95"	0° 11' 26,40"	Kampung Guntung
117° 27' 46,26"	0° 10' 06,90"	SMAN 3 Bontang
117° 28' 25,47"	0° 08' 33,91"	Komplek BTN PKT
117° 27' 19,28"	0° 08' 19,68"	Terminal Bis Gunung Telihan
117° 30' 37,13"	0° 08' 12,89"	Kampung Bontang Kuala

* = Lokasi titik pengukuran udara ambien Rumah Sakit Pupuk Kaltim Tahun 2022

Model Dispersi

Pemodelan AERMOD mengintegrasikan persamaan dasar dispersi Gaussian. Persamaan ini mengasumsikan pelepasan polutan dari sumber titik yang terletak pada sistem koordinat dengan titik asalnya di dasar sumber titik tersebut. Persamaan berikut menguraikan model difusi Gaussian yang digunakan untuk mengestimasi sebaran konsentrasi polutan di permukaan tanah [10].

$$C = \frac{Q}{2\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left(-\frac{(z+H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left[-\frac{(z-H_e)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

di mana C merupakan konsentrasi ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) pada titik koordinat (x,y,z) , dan Q adalah laju emisi (g/s). Parameter dispersi σ_z dan σ_y menyatakan penyebaran vertikal dan horizontal, bergantung pada jarak (x) dari sumber emisi, kelas stabilitas atmosfer, dan u adalah kecepatan angin rata-rata (m/s). Variabel z adalah jarak vertikal di atas permukaan tanah (m), y adalah jarak horizontal dari garis Tengah (m), dan H adalah tinggi cerobong (m).

Metode Analisis Margin Error

Hasil pemodelan yang diperoleh melalui AERMOD selanjutnya dianalisis tingkat akurasinya. Untuk mengetahui tingkat akurasi hasil pemodelan polutan udara, diperlukan nilai konsentrasi dari pemantauan aktual mengenai kualitas udara ambien pada suatu lokasi tertentu. Persamaan di bawah ini menguraikan metode analisis *margin error* dengan menggunakan persamaan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE).

$$\text{MAPE} = \frac{\sum \left| \frac{Y_t - Ft}{Y_t} \right|}{n} \quad (2)$$

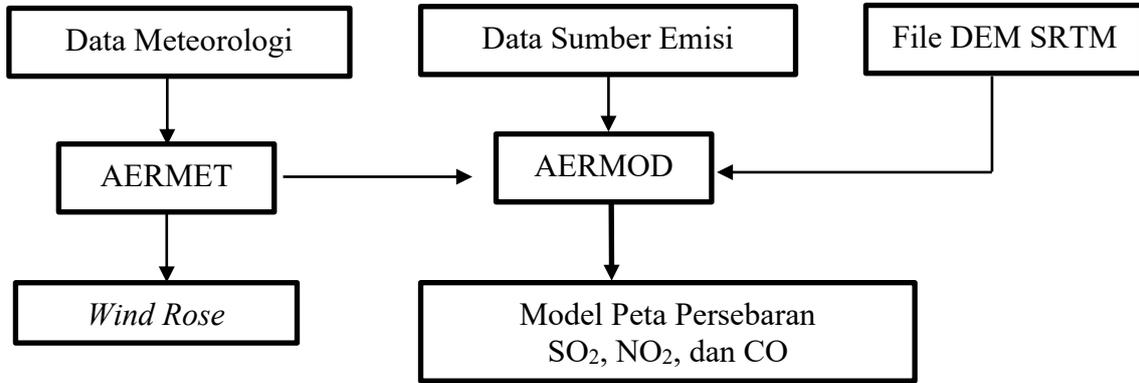
di mana, t mengacu pada periode waktu, n adalah jumlah periode yang diprediksi, Y_t adalah konsentrasi aktual atau yang diamati pada periode waktu t , dan Ft adalah konsentrasi yang diprediksi pada periode waktu t . *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE). Semakin rendah nilai MAPE, semakin akurat prediksi model. Skala untuk menilai akurasi suatu model berdasarkan pengukuran MAPE diterapkan kriteria sebagai berikut: kurang dari 10% dianggap sangat akurat, rentang 11% - 30% menunjukkan prediksi yang baik, 21% - 50% menunjukkan prediksi yang masih dapat diterima, dan 51% atau lebih dianggap sebagai prediksi yang tidak akurat (buruk) [11].

Diagram Alir Penelitian

Penelitian ini menggunakan *software* AERMOD versi 8.9.0 untuk pemodelan sebaran konsentrasi parameter SO_2 , NO_2 , dan CO. Data meteorologi diolah menggunakan *Software* AERMET versi 8.9.0 untuk menghasilkan gambar *wind rose* dan file ekstensi*.SFC (*surface file*/Kondisi meteorologi di permukaan bumi)



dan ekstensi *.PFL (*profile file/kondisi meteorologi pada planetary boundary layer*). Untuk menghasilkan konsentrasi beserta peta persebaran terhadap parameter SO₂, NO₂, dan CO ke wilayah sekitar, dilakukan input data dari output software AERMET, data *emission rate* dan *Digital Elevation Model SRTM* ke software AERMOD.

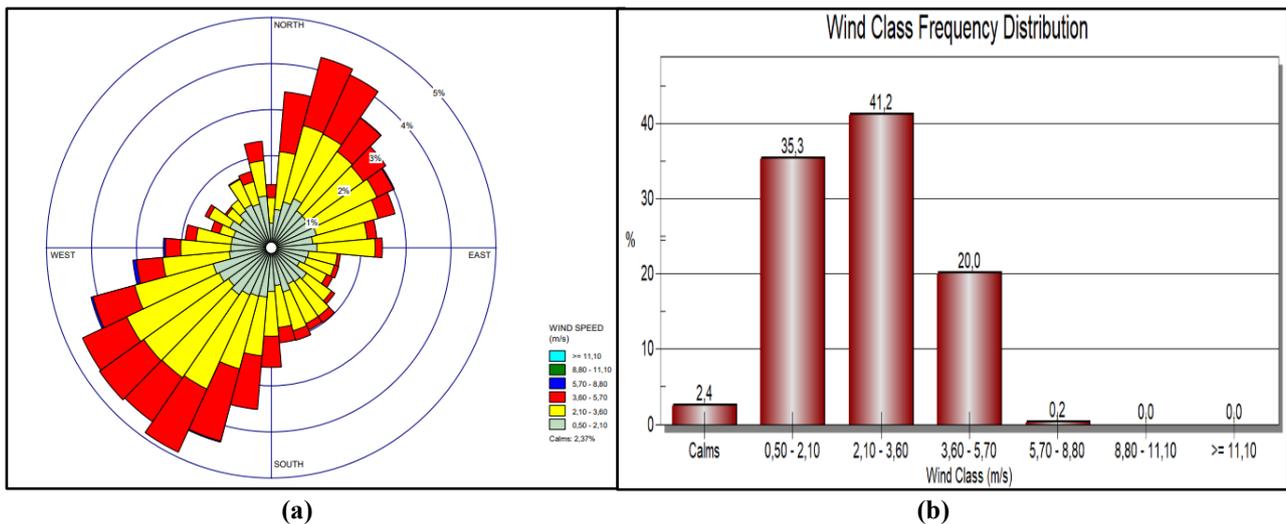


Gambar 2. Diagram Alir Pemodelan

3. Hasil dan Pembahasan

Validasi Arah Angin dan Kecepatan Angin

Arah angin dominan di lokasi studi berhembus dari arah timur laut dan dan barat daya. Arah timur laut dari lokasi studi adalah perairan laut Selat Makassar, sedangkan arah barat daya adalah daratan berupa pemukiman penduduk beserta fasilitas umum yang ada seperti tempat ibadah dan sarana pendidikan. Kecepatan angin dominan pada rentang 2,1 – 3,6 m/s dengan persentase 41,2%, kecepatan angin tertinggi sebesar 3,6 – 5,7 m/s dengan frekuensi distribusi 20% dan *calm wind* sebesar 2,4%.

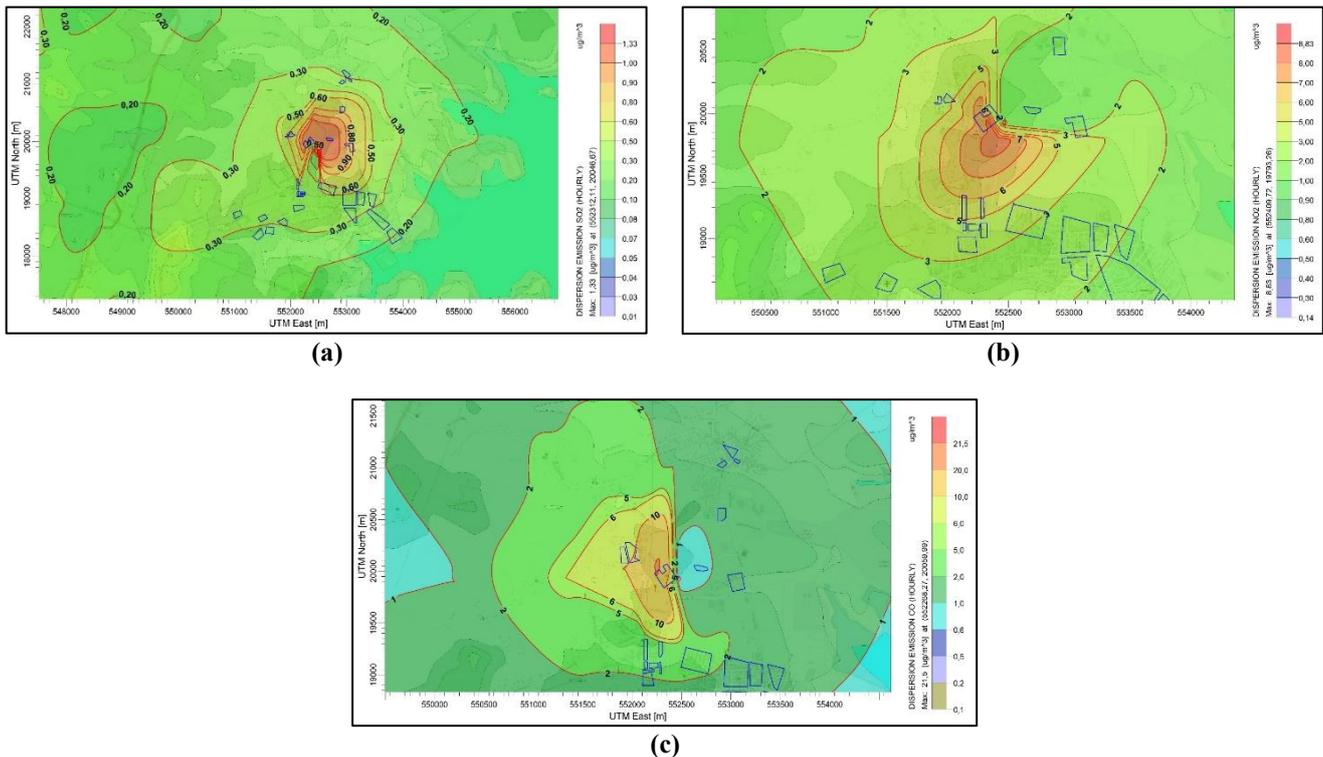


Gambar 3. (a) Windrose 1 tahun (b) Distribusi frekuensi kelas angin



Hasil Pemodelan Menggunakan Software AERMOD

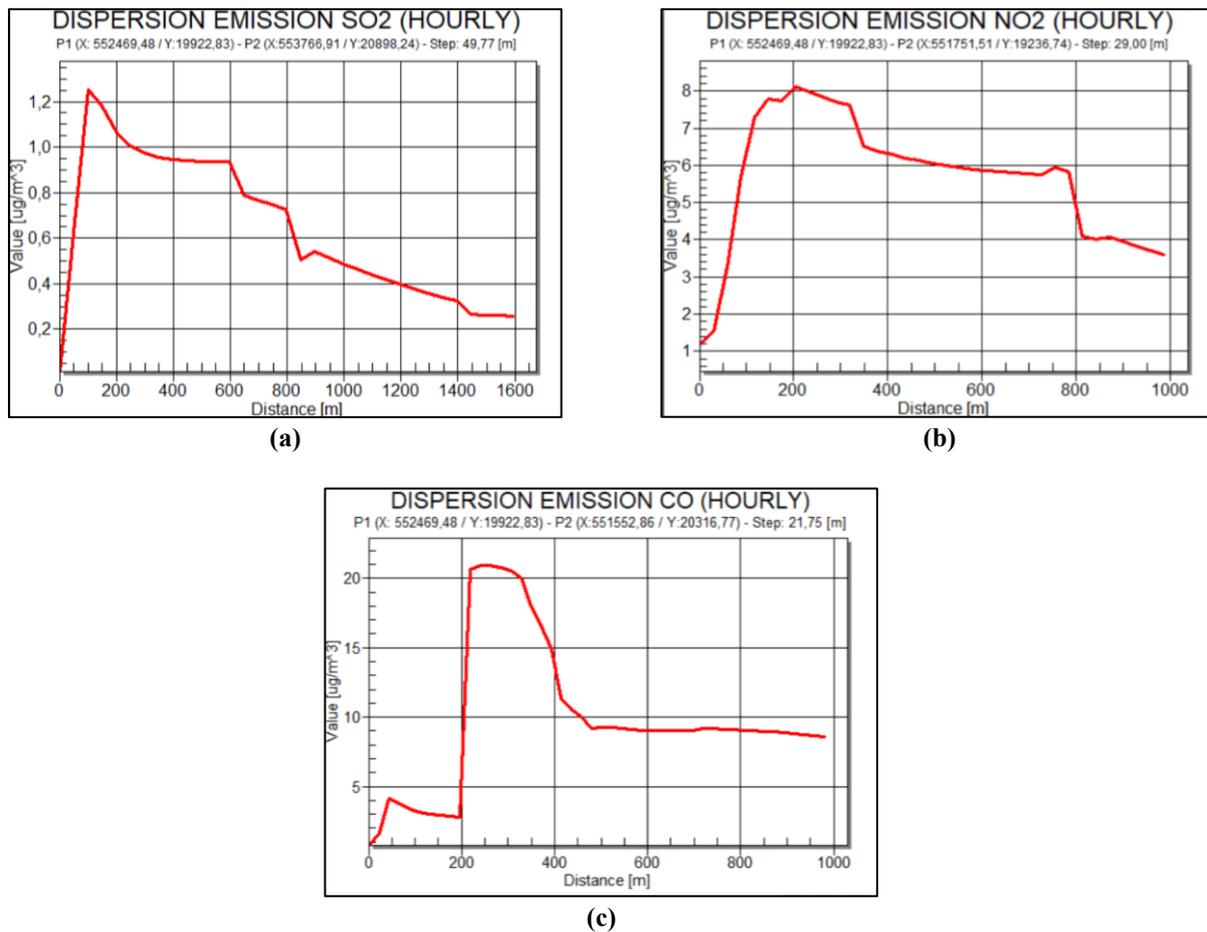
Dispersi parameter SO_2 , NO_2 , dan CO dimodelkan dalam bentuk dispersi per jam. Berdasarkan hasil pemodelan, nilai dispersi konsentrasi maksimum untuk parameter SO_2 sebesar $1,33 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan konsentrasi minimum sebesar $0,01 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pada parameter NO_2 , konsentrasi maksimum sebesar $8,83 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan konsentrasi minimum sebesar $0,14 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Pada parameter CO, hasil pemodelan menunjukkan nilai konsentrasi maksimum sebesar $21,5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dan konsentrasi minimum sebesar $0,1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Peta hasil pemodelan ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. (a) Dispersi Konsentrasi SO_2 selama 1 jam, (b) Dispersi Konsentrasi NO_2 selama 1 jam, (c) Dispersi Konsentrasi CO selama 1 jam

Elevasi di lokasi cerobong insinerator sebesar 32 mdpl. Tingkat konsentrasi ada yang mengalami kenaikan dan penurunan berdasarkan jarak. Hal ini dikarenakan dispersi polutan udara mendapat pengaruh dari kondisi topografi sekitar area penelitian. Fenomena peningkatan dan penurunan konsentrasi parameter SO_2 , NO_2 , dan CO dari titik sumber emisi masing-masing (secara berurutan) terjadi pada arah timur laut barat daya, dan barat laut. Grafik fluktuasi dapat dilihat pada Gambar 5.

Pada parameter SO_2 terjadi kenaikan konsentrasi sebesar $1,22 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada jarak 150 m ke arah timur laut dari sumber emisi. Berdasarkan tingkat elevasinya, kenaikan konsentrasi tersebut terjadi pada ketinggian 34,2 mdpl. Pada parameter NO_2 , terjadi kenaikan konsentrasi sebesar $6,92 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada jarak 196 m ke arah barat daya dari titik sumber emisi, kenaikan konsentrasi tersebut terjadi pada wilayah dengan ketinggian elevasi sebesar 41,2 mdpl. Fenomena kenaikan konsentrasi juga terjadi pada parameter CO, terjadi kenaikan konsentrasi sebesar $20,09 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ pada jarak 220 m ke arah barat laut dari sumber emisi. Kenaikan konsentrasi ini terjadi pada wilayah dengan ketinggian elevasi sebesar 34,5 mdpl.



Gambar 5. (a) Fluktuasi Konsentrasi SO₂ (b) Fluktuasi Konsentrasi NO₂ (c) Fluktuasi Konsentrasi CO

Nilai konsentrasi polutan SO₂, NO₂, dan CO dari hasil pemodelan AERMOD pada 16 reseptor dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Konsentrasi Hasil Pemodelan SO₂, NO₂, dan CO pada Titik Reseptor

Kode Reseptor	Nama Reseptor	Konsentrasi Hasil Pemodelan (µg/Nm ³)		
		SO ₂	NO ₂	CO
R1	Area Parkir Rumah Sakit Pupuk Kaltim	1,33	8	21,5
R2	Area Insinerator	0,03	2	1
R3	Kampung Selambai	0,2	2	1
R4	Komplek Greendland	0,5	6	5
R5	SMPN 5 Bontang	0,5	5	5
R6	Kampung Sidrap	0,8	5	20
R7	Masjid Asy – Syifa	1	8	20
R8	SDN 005 Bontang Utara	0,5	3	2
R9	Kampung Loktuan	0,6	5	5
R10	Masjid Al – Muhajirin	0,5	3	6



Kode Reseptor	Nama Reseptor	Konsentrasi Hasil Pemodelan ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)		
		SO ₂	NO ₂	CO
R11	Gereja Toraja	0,5	3	5
R12	Kampung Guntung	0,5	2	2
R13	SMAN 3 Bontang	0,5	3	2
R14	Komplek BTN PKT	0,2	2	1
R15	Terminal Bis Gunung Telihan	0,2	2	1
R16	Kampung Bontang Kuala	0,2	0,9	1

Berdasarkan Tabel 3, R1 (reseptor area parkir Rumah Sakit Pupuk Kaltim) menjadi satu – satunya reseptor yang menerima konsentrasi tertinggi dari masing-masing parameter polutan yang bersumber dari cerobong insinerator Rumah Sakit Pupuk Kaltim. Reseptor 1 dengan tingkat konsentrasi sebaran polutan tertinggi ini dipengaruhi oleh faktor topografi. Elevasi pada reseptor 1 lebih tinggi dari elevasi di titik sumber emisi. Peningkatan elevasi ini mengakibatkan terjadinya turbulensi udara secara mekanik, sehingga menyebabkan terjadinya akumulasi polutan yang pada akhirnya mengakibatkan peningkatan konsentrasi.

Hasil Perbandingan Pemantauan Ambien Aktual dengan Hasil Pemodelan

Hasil pemodelan pada reseptor 1 dan reseptor 2 dibandingkan dengan hasil pemantauan aktual udara ambien (*hourly* / per jam) yang telah dilakukan di reseptor 1 dan reseptor 2. Reseptor 1 merupakan area kawasan parkir Rumah Sakit Pupuk Kaltim yang berlokasi pada titik koordinat 117° 28' 10,91" E; 0° 10' 53,37" N dan reseptor 2 merupakan area insinerator yang berlokasi pada titik koordinat 117° 28' 17,58"E; 0° 10' 49,23" N. Pada tahun 2022, tingkat kualitas udara ambien pada kedua reseptor ini telah dilakukan pengukuran. Nilai persentase *margin error* pada kedua lokasi tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pemantauan Aktual, Hasil Pemodelan, dan Nilai Margin Error Polutan SO₂, NO₂, dan CO

Keterangan	Nilai Konsentrasi Polutan		
	SO ₂	NO ₂	CO
Hasil Pemantauan Aktual pada Reseptor 1 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	28,3	6,89	1016
Hasil Pemantauan Aktual pada Reseptor 2 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	36,99	8,82	1018
Hasil Pemodelan pada Reseptor 1 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	1,33	8	21,5
Hasil Pemodelan pada Reseptor 2 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	0,03	2	1
Persentase Margin Error pada Reseptor 1 (%)	95,3	16,1	97,9
Persentase Margin Error pada Reseptor 2 (%)	99,9	77,3	99,9

Persentase *margin error* untuk parameter SO₂ pada reseptor 1 sebesar 95,3% dan pada reseptor 2 sebesar 99,9%. Berdasarkan kriteria indikator yang digunakan, hasil pemodelan untuk kedua reseptor tersebut dikategorikan buruk karena nilai *margin error* berada di atas 50%. Selanjutnya, parameter NO₂ menunjukkan *margin error* sebesar 16,1% pada reseptor 1 dan 77,3% pada reseptor 2. Dengan mengacu pada kriteria yang sama, hasil pemodelan pada reseptor 1 tergolong baik karena *margin error* berada dalam rentang 10–20%, sedangkan pada reseptor 2 dikategorikan buruk karena melebihi 50%. Untuk parameter CO, *margin error* tercatat sebesar 97,9% pada reseptor 1 dan 99,9% pada reseptor 2, sehingga hasil pemodelan pada kedua reseptor ini juga diklasifikasikan sebagai buruk sesuai dengan kriteria yang berlaku.

Terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan ketidaksesuaian hasil pemodelan dengan hasil pemantauan aktual di lapangan. Faktor pertama, disebabkan oleh profil emisi yang meliputi suhu gas buang, kecepatan gas buang serta beban emisi sebagai inputan pada *software* AERMOD yang diasumsikan konstan terhadap waktu, tetapi pada kenyataannya nilai pada setiap parameter dapat mengalami fluktuasi. Faktor kedua, nilai pada hasil pemantauan aktual tidak hanya dipengaruhi oleh emisi yang bersumber dari cerobong



insinerator Rumah Sakit Pupuk Kaltim, tetapi juga mendapat pengaruh dari sumber lainnya, seperti halnya aktivitas dari industri-industri yang keberadaannya tidak jauh dari Rumah Sakit Pupuk Kaltim. Selain itu, udara ambien di sekitar reseptor 1 dan 2 juga mendapat pengaruh dari emisi gas buang kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor merupakan salah satu sumber pencemar yang mengandung emisi SO_2 dan CO .

Beberapa faktor tersebut diduga menjadi penyebab ketidakakuratan hasil pemodelan yang diperoleh. Pemodelan dengan persentase margin error sebesar 16,1%, yang tergolong baik, terjadi pada parameter NO_2 di reseptor 1. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh dominannya sumber pencemar NO_2 yang berasal dari cerobong insinerator saja. Sementara itu, ketidakakuratan hasil pemodelan NO_2 pada reseptor 2 diduga dipengaruhi oleh kondisi meteorologi. Dalam pengukuran dan pemantauan aktual, kondisi meteorologi yang memengaruhi hanya berlaku pada jam-jam tertentu saat pemantauan dilakukan. Sebaliknya, dalam pemodelan menggunakan perangkat lunak AERMOD, data meteorologi yang digunakan merupakan akumulasi data perjam selama kurun waktu satu tahun. Perbedaan ini berpotensi menyebabkan perbedaan hasil antara pengukuran aktual dan hasil pemodelan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pemodelan menggunakan perangkat lunak AERMET dan AERMOD pada insinerator Rumah Sakit Pupuk Kaltim, wind rose di area penelitian menunjukkan dominasi arah angin ke barat daya dan timur laut. Konsentrasi maksimum SO_2 per jam tercatat sebesar $1,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, sedangkan konsentrasi maksimum NO_2 mencapai $8,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Untuk parameter CO , konsentrasi maksimum per jam sebesar $21,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Penyebaran konsentrasi SO_2 , NO_2 , dan CO cenderung menurun seiring dengan bertambahnya jarak dari sumber emisi, meskipun peningkatan konsentrasi teramati pada area reseptor yang memiliki elevasi lebih tinggi.

Analisis *margin error* menunjukkan bahwa parameter SO_2 memiliki persentase *margin error* sebesar 95,3% pada reseptor 1 dan 99,9% pada reseptor 2, sehingga hasil pemodelan untuk parameter ini dikategorikan kurang memadai. Parameter NO_2 menunjukkan *margin error* sebesar 16,1% pada reseptor 1, yang termasuk dalam kategori baik, sedangkan pada reseptor 2 *margin error* mencapai 77,3%, yang tergolong buruk. Untuk parameter CO , *margin error* tercatat sebesar 97,9% pada reseptor 1 dan 99,9% pada reseptor 2, sehingga hasil pemodelan untuk parameter ini juga diklasifikasikan sebagai kurang memadai.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Rumah Sakit Pupuk Kaltim Kota Bontang karena telah bersedia untuk menjadi tempat penelitian penulis pada tema penelitian dispersi pencemaran kualitas udara dengan menggunakan *software* AERMOD.

Referensi

- [1] I. Manisalidis, E. Stavropoulou, A. Stavropoulos, dan E. Bezirtzoglou, "Environmental and health impacts of air pollution: a review," *Frontiers in Public Health*, vol. 8, pp. 1–13, Feb. 2020, doi: 10.3389/fpubh.2020.00014.
- [2] WHO, "Air pollution - world health organization." <https://www.who.int/health-topics/air-pollution> (diakses 02 Nov. 2024).
- [3] A. Cardito, M. Carotenuto, A. Amoruso, G. Libralato, dan G. Lofrano, "Air quality trends and implications pre and post Covid-19 restrictions," *Science of the Total Environment*, vol. 879, Jun. 2023, doi: 10.1016/j.scitotenv.2023.162833.
- [4] IQ Air, "World's most polluted countries & regions." <https://www.iqair.com/id/world-most-polluted-countries> (diakses 28 Jan. 2024).



- [5] US EPA, “Compilation of air pollutant emission factors from stationary sources (AP-42), fifth edition, volume I chapter 2: solid waste disposal.” <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-fifth-edition-volume-i-chapter-2-solid-waste-0> (diakses 28 Jan. 2024).
- [6] N. Ridzuan, U. Ujang, S. Azri, dan T. L. Choon, “Visualising urban air quality using AERMOD, CALPUFF and CFD models: A critical review,” in *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Nov. 2020, pp. 355–363. doi: 10.5194/isprs-archives-XLIV-4-W3-2020-355-2020.
- [7] M. Invernizzi, M. Brancher, S. Sironi, L. Capelli, M. Piringer, dan G. Schaubberger, “Odour impact assessment by considering short-term ambient concentrations: a multi-model and two-site comparison,” *Environment International*, vol. 144, pp. 1–17, Nov. 2020, doi: 10.1016/j.envint.2020.105990.
- [8] S. G. Perry *et al.*, “AERMOD: a dispersion model for industrial source applications. Part II: model performance against 17 field study databases,” *Journal of Applied Meteorology*, vol. 44, pp. 694–708, May 2005, doi: 10.1175/JAM2228.1.
- [9] A. P. Kesarkar, M. Dalvi, A. Kaginalkar, dan A. Ojha, “Coupling of the weather research and forecasting model with AERMOD for pollutant dispersion modeling. A case study for PM10 dispersion over pune, india,” *Atmospheric Environment*, vol. 41, pp. 1976–1988, Mar. 2007, doi: 10.1016/j.atmosenv.2006.10.042.
- [10] S. P. Arya, *Air pollution meteorology and dispersion*. New York: Oxford Univ. Press, 1999.
- [11] K. Lawrence, R. Klimberg, dan S. Lawrence, *Fundamentals of forecasting using excel*, 1 st Editi. Connecticut, US: Industrial Press, 2009.