

Prediksi Gas Karbon Monoksida (CO) dari Sumber Kendaraan Bermotor dengan Metode *Gaussian Line Source* Berbasis Sistem Informasi Geografis

Hierarchical prediction carbon monoxide (CO) gases from vehicles sources with Gaussian Line Source Method based on Geographic Information System

Taufik¹, Moch. Assidieq¹, Rosdiana¹, Sumarlin¹, Aryani Adami¹,

Tia Dwi Irawandani², Ilham³, Dwipayogo Wibowo^{1*}

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kendari, Jl. KH. Ahmad Dahlan No. 10, Kendari, Sulawesi Tenggara 93137, Indonesia

²Departemen Teknik Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya, Jl. Veteran, Ketawanggede, Kec. Lowokwaru, Malang, Jawa Timur 65145, Indonesia

³Fakultas Teknik, Universitas Halu Oleo, Jl. HEA Mokodompit Kampus Baru UHO, Kendari, Sulawesi Tenggara 93132, Indonesia

*Email korespondensi : dwipayogo@umkendari.ac.id

ABSTRAK

Prediksi persebaran gas CO dari sumber transportasi di salah satu jalan arteri primer Kota Kendari menjadi fokus uji coba dalam penelitian ini untuk menentukan konsentrasi polusi udara menggunakan metode *gaussian model line source* (GMLS). Metode ini merupakan cara unik untuk menganalisis persebaran gas CO yang dikombinasikan dengan metode *geographic information system* (GIS) kemudian dibandingkan terhadap hasil konsentrasi yang diperoleh dengan baku mutu Peraturan Pemerintah Indonesia No. 22 Tahun 2021 dan visualisasi menggunakan aplikasi GIS. Fokus kajian penelitian dilakukan di Jalan M.T. Hariyono Kota Kendari-Sulawesi Tenggara dengan menghitung volume kendaraan, analisis konsentrasi gas CO, dan pemodelan menggunakan GIS. Berdasarkan hasil pengamatan volume lalu lintas di Jalan arteri primer M.T. Hariyono Kota Kendari menunjukkan bahwa jumlah kendaraan bermotor yang melintas di pagi hari sebanyak 3103 unit/jam (07.00-08.00 WITA), siang hari sebanyak 2,227 (12.00-13.00 WITA), dan sore hari sebanyak 2996 (16.00-17.00 WITA). Jumlah kendaraan tersebut menyumbangkan laju emisi gas CO pada pagi hari sebesar 18,157.06 $\mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$, siang hari sebesar 13,982.83 $\mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$, dan sore hari sebesar 18,493.33 $\mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$. Berdasarkan perhitungan dengan *finite length line source* (FLLS) turunan dari metode GMLS, persebaran konsentrasi gas CO paling tinggi terletak pada tepi jalan (*roadside*) sebesar 5,838.84 $\mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ kondisi pagi hari, 4,496.5 $\mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ pada siang hari, dan 5,946.96 $\mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ pada sore hari dengan kondisi kecepatan angin rata-rata 2.1 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ dan arah angin dari barat laut (315°) ke tenggara (135°). Analisis spasial dengan pemodelan SIG menunjukkan wilayah sebaran dampak dari pencemaran gas CO menuju daerah sekitar ruas jalan raya.

Kata kunci: kendari, pencemaran, transportasi, udara

ABSTRACT

The uniqueness of CO gas analysis from transportation sources on the primary arterial road in Kendari City has become the focus in this study to calculate pollutant concentration using the Gaussian model line source (GMLS) method. This method has combined with the geographic information system (GIS) method then compared the concentration results with the quality standard of Indonesian Government Regulation No. 22 of 2021 and visualization using GIS application. The subject in this study was examined on M.T. Hariyono Street, Kendari City-Southeast Sulawesi Province, Indonesia by calculating vehicle volume, CO gas concentration analysis, and modelling using GIS application. Based on these results, we obtain the traffic of vehicles volume on M.T. Hariyono Street showed that in the morning was 3103 units/hour (07.00-08.00 AM), in the afternoon as many as 2227 units/hour (12.00-13.00 PM), and in the afternoon of 2996 units/hour (16.00-17.00 PM). The number of these vehicles have contributed to the emission rate in the morning of 18,157.06 $\mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$, in the noon of 13,982.83 $\mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$, and in the afternoon of 18,493.33

$\mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$. Based on calculations using the finite length line source (FLLS) derived from the GMLS method, the highest concentration of CO gas is located on the roadside of $5,838.84 \mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ in the morning, $4,496.5 \mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ in the midday, and $5,946.96 \mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ in the afternoon; with an average wind velocity of $2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ and a wind direction from the northwest (315°) to the southeast (135°). Spatial analysis with GIS produces a distribution area of the impact of CO gas pollution towards the area around the highway.

Keywords: kendari, pollution, transportation, air

PENDAHULUAN

Alam memberikan layanan kepada umat manusia berupa sekumpulan bahan material yang sangat bermanfaat dan diperlukan untuk mendukung kehidupannya di muka bumi ini (Mindiharto *et al.*, 2020; Najib, 2018). Bahan material ini dikategorikan dalam bentuk “langsung” seperti produk untuk bangunan (kayu), makanan, obat – obatan, bahan pakaian, dan sebagainya (Fauzi, 2021; Purba *et al.*, 2020). Secara harfiah, komponen utama lingkungan dibagi atas dua yang dikenal sebagai komponen abiotik terdiri atas benda mati meliputi lapisan hidrosfer (lautan, danau, sungai – sungai, dan saluran – saluran air bawah tanah), litosfer (tanah, fosil) dan atmosfer (udara) dan komponen biotik dikenal dengan komponen makhluk hidup meliputi organisme-organisme hidup (virus, bakteri, jamur, tumbuhan, hewan dan manusia) (Anam *et al.*, 2021; Rema & Rai Putra, 2018).

Kedua komponen ini saling ketergantungan sehingga manusia dapat memanfaatkan dan memanipulasi sumber fisik alam menjadi energi dan mengurangi dampak kebencanaan. Tentu kehidupan umat manusia terus melakukan aktivitas untuk melangsungkan hidup dan saling berinteraksi terhadap lingkungannya (Hasanah, 2021). Namun sampai saat ini banyak kasus bahwa tingginya aktivitas manusia memberikan dampak negatif terhadap penurunan kualitas lingkungan seperti menimbulkan pencemaran udara, air, dan tanah (Hema *et al.*, 2021; Neshart *et al.*, 2021; Wibowo *et al.*, 2020).

Pencemaran udara merupakan kondisi masuk atau dimasukkannya suatu bahan berbahaya atau beracun di udara yang dapat mempengaruhi kelangsungan hidup manusia (Putri, 2018). Udara yang kita jumpai terdiri atas gas-gas yang saling berinteraksi seperti NO_x , CO_x , O_2 , SO_x , dsb (Wirosoedarmo *et al.*, 2020). yang

partikelnya bergerak secara acak berada dilapisan atmosfer bumi dan membentuk zona kehidupan pada permukaan bumi (Dariantio, 2019). Ketika komposisi kandungan gas di udara berubah akibat aktivitas manusia maka dapat berdampak buruk bagi makhluk hidup lainnya terutama bagi manusia akan mengalami gangguan kesehatan dan dapat mengalami kematian akibat gas pencemar (Rosyidah, 2018).

Penyebab utama dalam perubahan komponen udara seperti peningkatan penduduk dari luar kota/desa ke kota (urbanisasi). Berkaitan dengan hal tersebut, kualitas udara menjadi parameter suatu kesehatan lingkungan baik di desa maupun diperkotaan, tingginya aktivitas transportasi juga memperlihatkan penurunan kualitas udara (Fatoni, 2021; Subagiyo *et al.*, 2021). Meningkatnya kendaraan bermotor di jalan raya dapat mengakibatkan tingginya zat pencemar udara akibat gas buang (Nurmaningsih, 2018).

Terkhusus di Kota Kendari – Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia pada tahun 2020 jumlah penduduk sebesar 345107 jiwa Pertambahan penduduk tersebut diikuti pertambahan jumlah kendaraan bermotor. Perhitungan kategori kendaraan bermotor di tahun 2020 tercatat bahwa wilayah Kota Kendari terdata sepeda motor mendominasi sebesar 462,809 unit, diikuti dengan mobil penumpang sebesar 87,979 unit, truk 2101 unit, dan bus 47 unit (BPS Kota Kendari, 2020). Jumlah ini terus mengalami kenaikan setiap tahunnya, dimana pertumbuhan kendaraan bermotor di Indonesia dari tahun 2017 sampai 2019 tercatat 2.7-3.5% peningkatan kendaraan bermotor tiap tahunnya (BPS Indonesia, 2019). Pertumbuhan penduduk di kota secara jelas mengalami peningkatan mobilitas manusia di jalan raya. Saat ini penggunaan kendaraan bermotor di Indonesia semakin meningkat karena meningkatnya taraf

hidup masyarakat yang bergantung terhadap kendaraan bermotor karena dinilai cepat, mudah, dan nyaman (Hamsona & Susilowati, 2019; Nirmala & Surveyandini, 2019).

Oleh karena itu, penelitian ini kami mencoba mengamati dan menduga persebaran terpusat dalam suatu jalan arteri primer Kota Kendari yaitu di Jalan M.T. Haryono yang diketahui merupakan daerah pusat perkotaan, pertokoan, dan perkantoran yang mengindikasikan kebolehjadian tingginya tingkat pencemar udara terutama gas CO yang berasal dari gas buang kendaraan bermotor. Tahapan awal untuk menduga dan memperkirakan pencemaran udara perlu menginisiasi pola sebaran pergerakan udara polutan. Disisi lain juga penting melihat sumber polutan yang jelas sehingga menjadi bahan acuan data agar pengendalian pencemaran udara dapat dikendalikan dan dikurangi.

Berbagai metode pemodelan untuk mengetahui penyebaran polutan udara dapat menggunakan *eulerian model*, *lagrangian model*, dan *gaussian model*. Namun, metode yang mudah dan banyak diaplikasikan menggunakan FLLS yang merupakan jenis dari *gaussian model (GM)* karena dianggap paling mudah dan memiliki akurasi analisis yang baik (Aslim, 2019). Berdasarkan latar belakang, penelitian ini menguraikan terkait peningkatan mobilitas kendaraan terhadap kualitas udara di Kota Kendari menggunakan metode GMLS yang diilustrasikan dalam bentuk garis dan memperoleh pola konsentrasi gas CO yang dipetakan menggunakan aplikasi GIS.

METODE PENELITIAN

Lokasi Pengamatan Jumlah dan Jenis Kendaraan

Lokasi pengamatan dalam penelitian ini di Jalan M.T. Haryono Kecamatan Kadia, Kota Kendari - Sulawesi Tenggara dengan panjang jalan yang dianalisis sejauh 200 meter (Gambar 1). Jalan ini dipilih sebagai wilayah pengamatan karena merupakan jalan arteri primer yang menjadikan titik pusat daerah perkotaan, pertokoan, dan perkantoran (padat aktivitas kendaraan bermotor) sehingga kebolehjadian tingginya

tingkat pencemar udara terutama gas CO yang berasal dari gas buang kendaraan bermotor.

Lokasi Perhitungan Konsentrasi Gas CO di Lapangan

Dasar pentingnya pertimbangan lokasi perhitungan gas CO yaitu mendeteksi arah angin suatu titik lokasi. Penentuan arah angin di titik lokasi penelitian berbasis data sekunder yang dirujuk dari data Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) merujuk dari arah utara ke arah selatan. Data sekunder BMKG melaporkan bahwa pergerakan angin merujuk dari utara ke selatan, maka perhitungan konsentrasi gas CO dilakukan di tepi jalan (*roadside*) bagian selatan.

Penentuan Volume Lalu Lintas

Pengamatan lalu lintas dilakukan pada hari senin dalam kondisi jam sibuk (*peak hour*), Pukul 07.00-08.00 WITA untuk mewakili waktu pagi, dan pukul 12.00-13.00 WITA untuk siang hari, dan pukul 15.00-16.00 WITA untuk waktu sore. Teknik pengamatan dilakukan dengan cara menghitung jumlah kendaraan (*traffic counting*) yang melintas pada suatu ruas jalan secara manual menggunakan *manual counter* yang dilakukan oleh 5 orang *surveyor*. Masing-masing *surveyor* ditugaskan untuk menghitung masing-masing jenis kendaraan.

Menghitung Konsentrasi Gas CO

Berbasis pemodelan GMLS, perhitungan ini terdiri dari beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Perhitungan laju emisi

Laju emisi dihitung menggunakan Persamaan 1 dan faktor emisi kendaraan mengacu pada faktor emisi nasional pada Tabel 1.

$$Q = \left(\frac{\sum_{i=1}^n EF_i \times V}{t} \right) \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :

Q = Laju emisi sumber polutan (gram.m/detik)
 EF_i = Faktor emisi setiap kendaraan (gram/km)
 V = Volume kendaraan (Kendaraan/jam)
 t = lama waktu pengamatan (detik)
 i = jenis kendaraan



Gambar 1. Lokasi jalan M.T. Haryono Kota Kendari, Sulawesi Tenggara

Tabel 1. Nilai konstanta a, b, c, d dan f

Stabilitas	A	b*	x < 1 km			x > 1 km		
			c	D	f	c	d	f
A	213		440.8	1.941	9.27	459.7	2.094	-9.6
B	156		106.6	1.149	3.3	108.2	1.098	2.0
C	104		61.0	0.911	0	61	0.911	0
D	58		33.2	0.725	-1.7	44.5	0.516	-13.0
E	50,5		22.8	0.678	-1.3	55.4	0.305	-34.0
F	34		14.35	0.740	-0.35	62.5	0.180	-48.6

b* = 0.894 untuk semua kelas stabilitas dan nilai x
(Sumber: Cooper & Alley, 2010)

2. Arah angin dominan

Penentuan data arah dan kecepatan angin dilakukan dengan menggunakan aplikasi WRPLOT View untuk mensimulasikan arah dan kecepatan angin dalam bentuk diagram mawar angin (*windrose*) sehingga dapat dimodelkan fluktuasi arah dan kecepatan angin di lokasi penelitian. Perbedaan cabang dan warna pada diagram mensimulasikan arah datangnya angin.

3. Kecepatan angin efektif

Analisis arah dan kecepatan angin efektif (\bar{u}) dapat dilakukan dengan menggunakan

aplikasi WRPLOT View. Arah angin dihitung tegak lurus terhadap masing-masing ruas jalan. Kecepatan angin efektif dihitung menggunakan Persamaan 2. Kecepatan angin yang diperoleh merupakan kecepatan angin yang telah tegak lurus terhadap ruas jalan.

$$\bar{u} = v \text{ angin. } \sin|\theta - \alpha| \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

- \bar{u} = Kecepatan angin pada posisi x (m/detik)
- v angin = kecepatan angin di lokasi sampling
- $\theta - \alpha$ = sudut angin relatif terhadap jalan

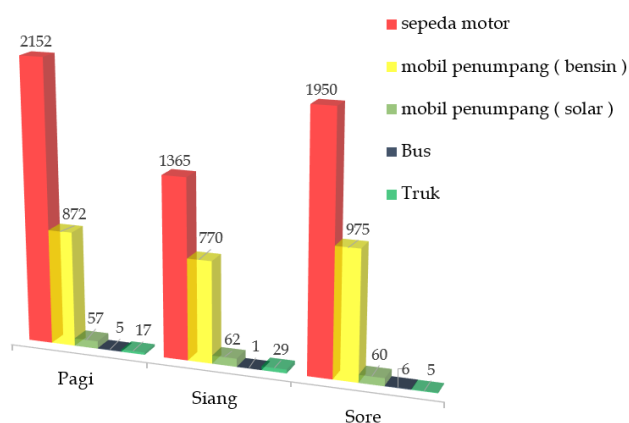
4. Analisis Spasial Berbasis Sistem Informasi Geografis

Koordinat titik sampling dan hasil konsentrasi dipetakan kedalam aplikasi SIG dan ditumpang-tindihkan (*overlay*) dengan peta lokasi pengamatan untuk melihat pola persebaran gas CO dari kendaraan bermotor yang melintas di Jalan M.T. Haryono. Analisis ini dapat memprediksikan daerah yang terkena dampak pencemaran gas CO dari kendaraan yang melintas. Analisis spasial dalam penelitian ini menggunakan software Quantum GIS Versi-3.4.8-1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Volume Lalu Lintas

Keperolehan data volume lalu lintas pada hari senin yang merupakan hari awal aktivitas manusia di jam sibuk sepanjang jalan arteri primer Kota Kendari sepanjang ± 200 meter. Dianalisis dengan waktu analisis yaitu pagi hari (07.00-08.00 WITA) memperoleh total kendaraan bermotor yang melintas sebanyak 3,103 unit/jam, di siang hari (12.00-13.00 WITA) sebanyak 2,227 unit/jam, dan sore hari (16.00-17.00) sebanyak 2,996 unit/jam. Volume lalu lintas Jalan M.T Haryono saat pengamatan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Volume lalu lintas jalan M.T Haryono

Berdasarkan Gambar 1 menunjukkan bahwa sepeda motor yang mendominasi melintas di area Jalan M.T. Haryono diikuti dengan mobil berbahan bakar bensin. Hal ini mengindikasikan bahwa di Kota Kendari cenderung masyarakat memiliki alat

transportasi sepeda motor setengahnya memiliki kendaraan mobil berbahan bakar bensin. Tingkat kepadatan mobilitas masyarakat melalui Jalan M.T. Haryono di waktu pagi dan sore hari disebabkan adanya aktivitas warga pergi dan pulang kerja. Sedangkan di siang hari aktivitas transportasi menjadi setengahnya dimungkinkan warga yang bekerja sebagian ada yang keluar untuk istirahat jam kerja atau adanya aktivitas warga di sekitar untuk menuju dan kembali dari pusat kota (Subekti et al., 2021).

Penentuan Laju Emisi Gas CO

Laju emisi gas buang kendaraan bermotor berupa gas CO dapat ditentukan dengan mengalikan jumlah dan jenis kendaraan yang melintas dengan faktor emisi nasional didalam Pedoman Teknis Penyusunan Inventarisasi Emisi Penemar Udara Perkotaan (Kementerian Lingkungan Hidup, 2013). Selanjutnya dikalikan dengan 1 jam waktu pengamatan. Dimana ambang batas CO di Indonesia ditetapkan dalam durasi 1 jam dengan nilai $30 \text{ mg} \cdot (\text{m}^3)^{-1}$. Perhitungan laju emisi CO dari sumber transportasi di Jalan M.T Haryono dapat dilihat berdasarkan Tabel 2 yang diplot dalam Persamaan 1. Perhitungan laju emisi untuk waktu pengukuran siang dan sore dilakukan dengan cara yang sama sehingga diperoleh data penentuan laju emisi gas buang CO kendaraan sesuai dengan Tabel 2.

$$Q = \left(\frac{\sum_{i=1}^n EF_i \times V}{t} \right)$$

$$Q = \frac{\{(2152 \times 14) + (872 \times 40) + (57 \times 2.8) + (5 \times 11) + (17 \times 8.4)\}}{3600 \text{ detik}}$$

$$Q = \frac{65,365.4}{3600} = 18.15706 \text{ g/km. detik}$$

$$Q = 18.15706 \text{ g/Km. detik} \times 1000$$

$$Q = 18157.06 \mu\text{g/Km. detik}$$

Tabel 2 memperlihatkan emisi gas CO di pagi hari sebesar $18,157.06 \mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$, siang hari adalah $13,982.8 \mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$, dan sore hari adalah $18,493.3 \mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$. Jumlah tersebut merupakan total seluruh emisi yang disumbangkan dari kendaraan yang melintas di Jalan M.T. Haryono.

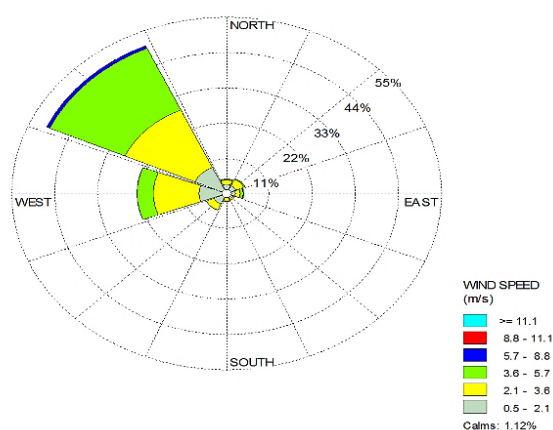
Tabel 2. Data volume lalu lintas dan faktor emisi

Jenis Kendaraan	Jumlah Kendaraan (Unit/Jam)			Faktor Emisi CO (g/Km) (KLH, 2013)
	Pagi	Siang	Sore	
Sepeda motor	2,152	1,365	1,950	14
Mobil penumpang (bensin)	872	770	975	40
Mobil penumpang (Solar)	57	62	60	2.8
Bus	5	1	6	11
Truk	17	29	5	8.4
Total	3,103	2,227	2,996	-
Q ($\mu\text{g} \cdot (\text{m} \cdot \text{s})^{-1}$)	18,157.06	13,982.83	18,493.33	-

Kondisi Atmosfer

Faktor atmosfer juga mempengaruhi distribusi polusi udara. Studi ini memperhitungkan pergerakan angin dan stabilitas atmosfer (Sutanahaji et al., 2018). Pergerakan angin ditentukan dari arah dan kecepatan angin, sedangkan stabilitas atmosfer ditentukan oleh kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari (Marhaeni, 2018). Beberapa data referensi digunakan seperti arah angin, intensitas radiasi matahari, dan kecepatan angin kami peroleh dari BMKG Kota Kendari.

Pergerakan angin seperti arah dan kecepatan angin yang melalui Jalan M.T. Haryono digambarkan dalam diagram *windrose*. Berdasarkan data tersebut merujuk tahun 2020 dan kecepatan angin rata-rata harian dari stasiun BMKG wilayah Kendari. Diagram *windrose* ditunjukkan pada Gambar 2 yang menunjukkan bahwa arah angin yang berlaku adalah dari barat laut (315°) hingga tenggara (135°) dengan kecepatan angin rata-rata $2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

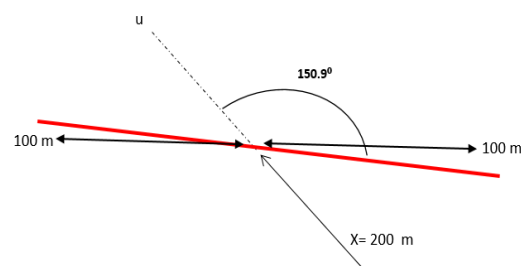


Gambar 2. Arah dan kecepatan angin dominan yang diolah menggunakan software WRPLOT View

Tidak semua arah angin tegak lurus di Jalan M.T. Haryono, hanya dari barat laut yang vertikal, dan dari barat membentuk sudut (360°) terhadap jalan. Kecepatan angin rata-rata adalah $2.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ dan tergolong kecepatan sedang (Gambar 2). Kecepatan angin mempengaruhi pergerakan gas CO di atmosfer (Bachtiar et al., 2018). Ketika angin bertiup kencang, jarak penyebaran polusi akan semakin jauh. Kecepatan angin yang digunakan dalam perhitungan adalah 1 m/detik pada saat pengambilan sampel.

Analisa Pemodelan Finite Length Line Source (FLLS)

Data beban emisi dan kondisi atmosfer selanjutnya digunakan sebagai input untuk pemodelan FLLS yang merupakan jenis dari GMLS dan diolah dengan menggunakan software Ms. Excel. Berdasarkan pengamatan di lapangan, ruas jalan yang diamati berbentuk seperti pada Gambar 3, dengan data sebagai berikut:



Gambar 3. Geometri jalan M.T. Haryono - Kota Kendari

Merujuk pada perhitungan sebelumnya, laju emisi dari sumber $Q = 18,157.1 \mu\text{g}/\text{m} \cdot \text{detik}$, kecepatan angin $u = 1 \text{ m/detik}$, jarak dari sumber emisi $x = 200 \text{ m} = 0.2 \text{ km}$, dan ketinggian pengukuran $H = 2 \text{ meter}$.

Nilai H adalah nilai ketinggian yang diukur sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor no. 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah dimana ketinggian sampling dari permukaan tanah untuk partikel dan gas minimal 2 meter (Kementerian Lingkungan Hidup, 2010).

Kestabilan atmosfer berada pada kelas B, maka berdasarkan Tabel 1 dapat ditentukan nilai konstanta a, b, c, d, dan f sebagai berikut: a = 156 ; b = 0.894 ; c = 106.6 ; d = 1.149 ; dan f = 2.3. Perhitungan kecepatan angin efektif menggunakan Persamaan 2, dengan demikian, \bar{u} efektif = 1 m/detik $\times \sin 150.9^\circ = 0.10$ m/detik. Sementara itu, untuk menghitung parameter dispersi konstanta penyebaran pada posisi horizontal (σ_y) dan parameter dispersi konstanta penyebaran pada posisi penyebaran vertikal (σ_z), diperoleh:

$$\sigma_y = a \times x^b = 156 \times (0.2)^{0.894} = 37 \text{ Km}$$

$$\sigma_z = c \times x^d + f = 106.6 \times (0.2)^{1.149} + 2.3 = 20.1 \text{ Km}$$

Rasio panjang ruas jalan terhadap parameter dispersi σ_y dan σ_z disimbolkan dengan B1 dan B2 dihitung dengan cara berikut:

$$B_1 = \frac{y_1}{\sigma_y} = \frac{-100}{37 \text{ Km}} = -2.70$$

$$B_2 = \frac{y_2}{\sigma_y} = \frac{100}{37 \text{ Km}} = 2.70$$

Nilai -100 dan +100 merupakan jarak dari titik pengambilan sampel terhadap ruas ke kiri berjarak 100 meter dan ke kanan 100 meter. Bila dicocokkan dalam tabel distribusi Gaussian nilai G1 adalah 0.00 dan nilai G2 adalah 0.99. Selanjutnya, perhitungan nilai K dengan melihat nilai z = 0 dan H = 2 meter, diperoleh:

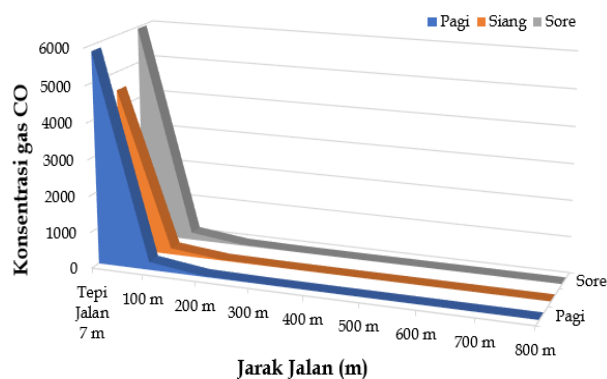
$$K = \frac{18,157.1}{0.10 \times 20.1} \left\{ \exp \left[-\frac{(0-2)^2}{2 \times 20.1^2} \right] + \exp \left[-\frac{(0-2)^2}{2 \times 20.1^2} \right] \right\}$$

$$K = 9,033.38 (0.004 + 0.004) = 72.267$$

Selanjutnya konsentrasi gas CO pada jarak 200 meter dihitung dengan cara:

$$C = \frac{72.267}{\sqrt{2\mu}} (0.99 - 0.00) = 28.5 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$$

Konsentrasi yang dihitung adalah konsentrasi pada *roadside* (± 7 meter dari pertengahan badan jalan) sampai jarak 800 meter. Hasil konsentrasi untuk jarak 7 meter sampai 800 meter dari sumber emisi dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Distribusi konsentrasi gas CO dalam jarak jalan

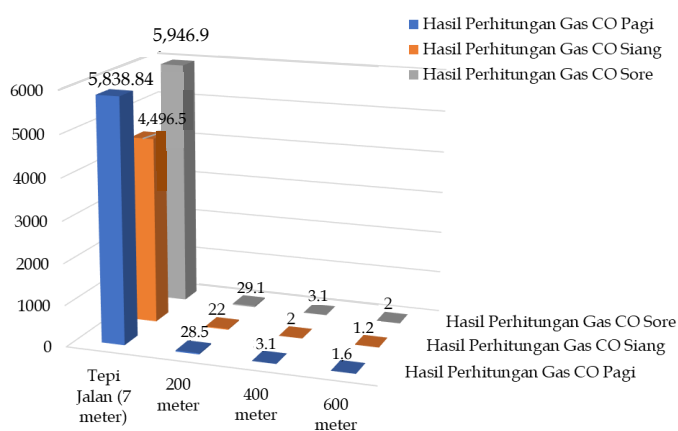
Berdasarkan Gambar 4, semakin jauh dari sumber pencemar, semakin rendah konsentrasi pencemar yang ditimbulkan sebab terjadi pergerakan udara dan hempanan angin kendaraan ke area tepi jalan (trotoar) dari tengah jalan menuju ke tepi jalan (Istirokhatun *et al.*, 2016). Sehingga dapat diasumsikan bahwa jarak lebar dan panjang jalan mempengaruhi persebaran polusi udara (Istirokhatun *et al.*, 2016). Gambar 4 memperlihatkan konsentrasi tertinggi pada pagi hari adalah pada jarak 7 meter dari sumber emisi yaitu sebanyak $5,839.84 \mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$. Sedangkan di waktu siang dengan jarak yang sama konsentrasi CO adalah sebanyak $4,496.5 \mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ dan di waktu sore konsentrasi CO adalah sebanyak $5,947 \mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$. Pada pengukuran pagi, siang dan sore kondisi cuaca cerah dan kecepatan angin adalah $1.0 \text{ m} \cdot \text{detik}^{-1}$. Perbedaan konsentrasi setiap pengukuran dipengaruhi oleh jumlah kendaraan unit/jam yang melintas diruas Jalan M.T. Haryono terutama pada jam sibuk waktu sore hari aktivitas kendaraan mobil penumpang berbahan bakar solar meningkat dengan menyumbang faktor emisi yang paling besar diantara jenis kendaraan lainnya mengakibatkan laju

emisi pada waktu sore hari lebih besar dibandingkan dengan waktu pagi hari.

Konsentrasi gas CO hasil pemodelan

Perbandingan model konsentrasi gas CO dan standar kualitas udara nasional dibandingkan dengan Peraturan Pemerintah Indonesia No. 22 Tahun 2021 tentang Pengendalian Pencemaran Udara (Peraturan Pemerintah RI, 2021) dengan batasan $10,000 \mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ menunjukkan data tersebut udara ambien di sekitar Jalan M.T. Haryono Kota Kendari masih berada dibawah baku mutu udara ambien nasional.

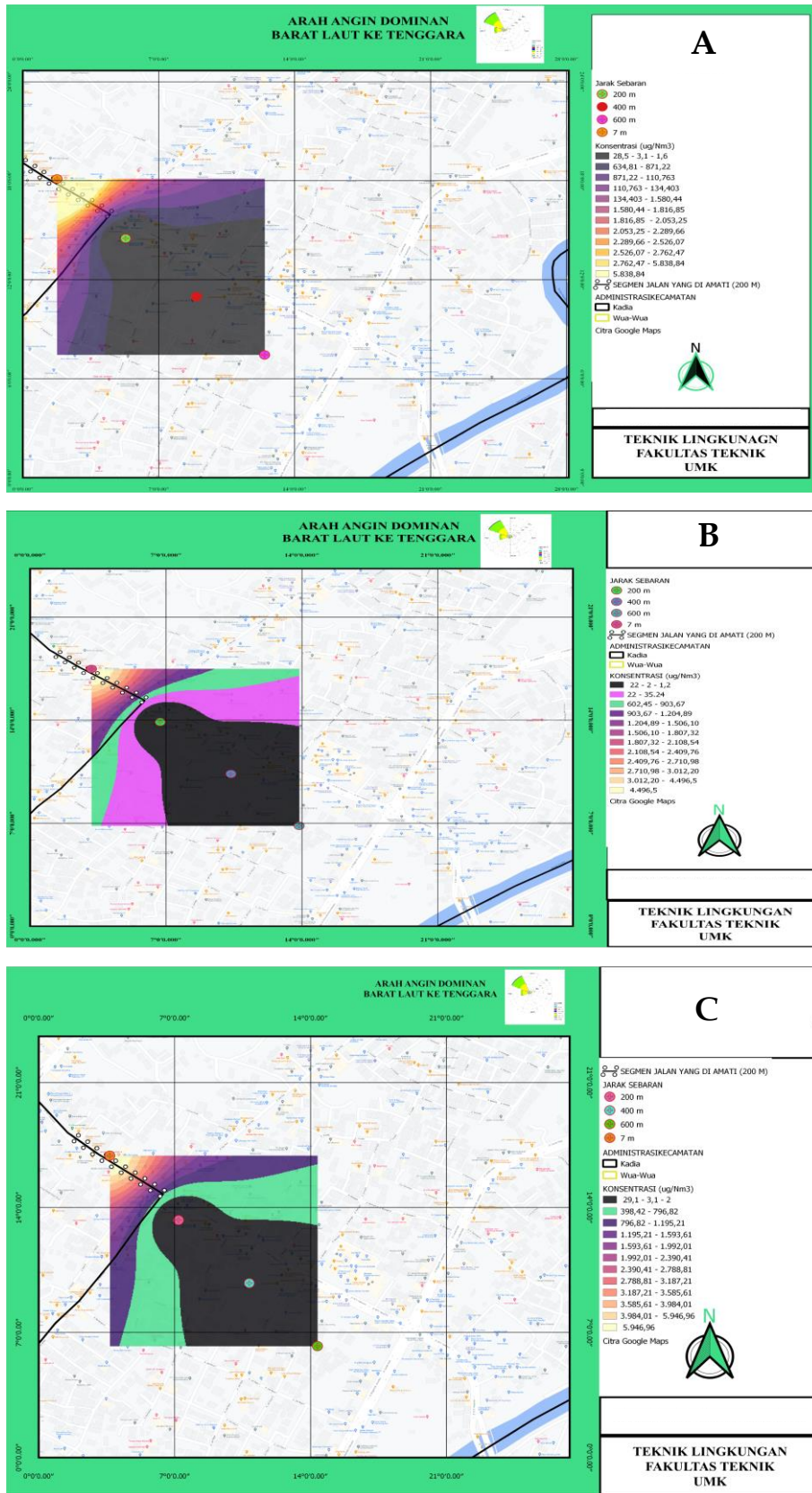
pencemaran udara gas CO yang selalu berubah tergantung pada waktu, tingkat mobilitas kendaraan bermotor, dan arah angin (Aminah, 2018; Manik, 2018).



Gambar 5. Hasil perhitungan gas CO hasil pemodelan SIG

Analisis Spasial menggunakan Aplikasi SIG

Analisis spasial menggunakan aplikasi GIS dilakukan dengan memasukkan koordinat sampling dan hasil analisis dalam *software* komputasi. Konsentrasi maksimum berada di daerah dekat jalan, dan semakin jauh sumber konsentrasinya, semakin rendah. Berdasarkan Gambar 6 memperlihatkan bahwa kondisi warna hitam memperlihatkan konsentrasi gas CO kisaran antara $3.1-28.5 \mu\text{g} \cdot (\text{Nm}^3)^{-1}$ yang mengindikasikan bahwa daerah berwarna hitam merupakan daerah yang memiliki konsentrasi rendah terhadap pencemaran udara. Sedangkan warna kuning-keputihan mencirikan bahwa polusi udara mengalami peningkatan dimana lokasi tersebut secara nyata memiliki tingkat mobilitas kegiatan kendaraan bermotor sangat tinggi. Ini juga terjadi ketika kondisi pagi, siang, dan sore. Data ini memperlihatkan perubahan



Gambar 6. Hasil analisis spasial menggunakan aplikasi SIG ; (A) Pagi, (B) Siang, dan (C) Sore

- Keterangan:
- : Konsentrasi rendah (3.1-29.1 µg.Nm³)
 - : Konsentrasi sedang (398.42-796.82 µg/Nm³)
 - : Konsentrasi menengah (1,195.21-1,591.61 µg/Nm³)
 - : Konsentrasi tinggi (>5,946.96 µg/Nm³)

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih para penulis sampaikan kepada Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Kendari dalam mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminah, S. (2018). Transportasi Publik dan Aksesibilitas Masyarakat Perkotaan. *Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 1142-1155.
- Anam, M. S., Yulianti, W., Safitri, S. N., Qolifah, S. N., & Rosia, R. (2021). Konservasi Sumber Daya Alam dalam Perspektif Islam. *Al-Madaris Jurnal Pendidikan Dan Studi Keislaman*, 2(1), 26-37.
- Aslim, M. A. F. I. (2019). Pemodelan Sebaran Polutan Udara Akibat Aktivitas Pltd Tello Kota Makassar Menggunakan Model Dispersi Gauss. *Jurnal Sains Dan Pendidikan Fisika*, 15(1), 36-44.
- Bachtiar, V. S., Afrianita, R., & Rahma, D. (2018). Pengaruh Arah Angin pada Kepadatan Lalu Lintas terhadap Beban Emisi Kendaraan Bermotor dan Konsentrasi Gas SO₂ di Kawasan Roadside Kota Padang. *Prosiding Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi*, 259-268.
- BPS Indonesia. (2019). *Jumlah Kendaraan Bermotor 2019*. <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html>
- BPS Kota Kendari. (2020). *Kota Kendari dalam Angka 2021*. 74710.2102, 1-388.
- Cooper, C. D., & Alley, F. C. (2010). *Air pollution control: A design approach*. Waveland press.
- Dariantio, D. (2019). Analisa Pengaruh Waktu Dan Turbulensi Asap Pada Mesin Pengering Ikan Lele. *Journal of Mechanical Engineering Manufactures Materials and Energy*, 3(2), 130-142.
- Fatoni, A. (2021). Pengaruh Perkembangan Keuangan Syariah, Investasi Langsung dan Perdagangan Internasional Terhadap Kualitas Udara Di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Islam*, 7(3), 1486-1493.
- Fauzi, A. (2021). *Valuasi ekonomi dan penilaian kerusakan sumber daya alam dan lingkungan*. PT Penerbit IPB Press.
- Hamsona, D. A., & Susilowati, I. F. (2019). Perlindungan Hukum Terhadap Keselamatan Penumpang Kendaraan Sepeda Motor Yang Digunakan Untuk Kepentingan Masyarakat. *NOVUM: JURNAL HUKUM*, 6(2), 1-8.
- Hasanah, A. (2021). Implementasi Model Pembelajaran Interaksi Sosial Untuk Meningkatkan Karakter Peserta Didik. *Jurnal Pendidikan*, 9(1), 22-32.
- Hema, H., Assiddieq, M., Ndidibale, W., Ilham, I., & Wibowo, D. (2021). Analisis Kualitas Air dengan Parameter TSS, BOD, Deterjen dan Fosfat (PO₄) pada Sungai Wanggu Kota Kendari. *ENVIROTEK: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, 13(2), 34-40.
- Istirokhatun, T., Agustini, I. T., & Sudarno, S. (2016). Investigasi Pengaruh Kondisi Lalu Lintas dan Aspek Meteorologi Terhadap Konsentrasi Pencemar SO₂ di Kota Semarang. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi Dan Pengembangan Teknik Lingkungan*, 13(1), 21-27.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2010). *Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 Tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara*.
- Kementerian Lingkungan Hidup. (2013). *Pedoman teknis penyusunan inventarisasi emisi pencemar udara di perkotaan*.
- Manik, K. E. S. (2018). *Pengelolaan lingkungan hidup*. Kencana.
- Marhaeni, A. D. R. (2018). *Pengaruh Faktor Meteorologi Terhadap Fluktuasi Konsentrasi PM₁₀ dan O₃ di DKI Jakarta*.
- Mindiharto, S., Asturik, F. E. F., & Inayah, Z. (2020). Penyuluhan kepada Pengurus dan Anggota Karang Taruna RW. XIV Desa Ngringo, Jaten, Karanganyar tentang Manfaat Tumbuhan Obat untuk Menjaga Kesehatan. *DedikasiMU (Journal of Community Service)*, 2(3), 517-525.
- Najib, A. (2018). *Ekstraksi senyawa bahan alam*. Deepublish.
- Neshart, N., Rosdiana, R., Wibowo, D., & Sukri, A. S. (2021). Perencanaan Desain Instalasi Pengolahan Air Limbah dengan Metode Biofilter Anaerob-Aerob. *Jurnal TELUK: Teknik*

- Lingkungan UM Kendari*, 1(1), 14–19.
- Nirmala, N., & Surveyandini, M. (2019). Faktor Penentu Pemilihan Jasa Transportasi Online pada Masyarakat Banyumas. *Sustainable Competitive Advantage (SCA)*, 9(1), 339–347.
- Nurmaningsih, D. R. (2018). Analisis kualitas udara ambien akibat lalu lintas kendaraan bermotor Di Kawasan Coyudan, Surakarta. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 3(2), 46–53.
- Peraturan Pemerintah RI. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. 1–483.
- Purba, B., Nainggolan, L. E., Siregar, R. T., Chaerul, M., Simarmata, M. M. T., Bachtiar, E., Rahmadana, M. F., Marzuki, I., & Meganingratna, A. (2020). *Ekonomi Sumber Daya Alam: Sebuah Konsep, Fakta dan Gagasan*. Yayasan Kita Menulis.
- Putri, E. R. (2018). Model Matematika Penanggulangan Pencemaran Udara. *UNP Journal of Mathematics*, 3(2), 40–45.
- Rema, I. N., & Rai Putra, I. B. (2018). Sumber Daya Alam sebagai Media Literasi Di Bali. *Forum Arkeologi*, 31(1), 1–14.
- Rosyidah, M. (2018). Polusi Udara dan Kesehatan Pernafasan. *Integrasi: Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 1(2), 1–5.
- Subagiyo, H., Randa, W., Wahyuni, R. T., & Akbar, M. (2021). Peningkatan Akurasi Pengukuran Kadar Gas CO pada Node Sensor Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Kompensasi Kesalahan. *Jurnal Elektro Dan Mesin Terapan*, 7(2), 81–88.
- Subekti, Z. M., Mukiman, K., Fadhil, A. F. A., & Asyrofi, M. (2021). Penerapan Limit Akses Browsing Internet pada saat Jam Kerja di PT XYZ. *Jurnal Teknologi Terpadu*, 7(1), 31–38.
- Sutanhaji, A. T., Anugroho, F., & Ramadhina, P. G. (2018). Pemetaan Distribusi Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) pada Kota Blitar. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 5(1), 34–42.
- Wibowo, D., Basri, B., Adami, A., Sumarlin, S., Rosdiana, R., Wa, N., Ilham, I., Ndibale, W., & Ilham, I. (2020). Analisis Logam Nikel (Ni) dalam Air Laut dan Persebarannya di Perairan Teluk Kendari, Sulawesi Tenggara. *Indonesian Journal of Chemical Research*, 8(2), 144–150. <https://doi.org/10.30598/ijcr.2020.8-dwi>
- Wirosoedarmo, R., Suharto, B., & Proborini, D. E. (2020). Analisis Pengaruh Jumlah Kendaraan Bermotor dan Kecepatan Angin Terhadap Karbon Monoksida di Terminal Arjosari. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, 7(2), 57–64.