

Analisis Sebaran Polutan SO₂, NO_x dan PM₁₀ dari Sumber Bergerak pada Jalan Arteri Kota Malang

Pollutant Distribution Analysis Of SO₂, NO_x And PM₁₀ From Non Point Source On Arterial Roads In Malang City

Bambang Rahadi^{1*}, Evi Kurniati¹, Annaz Tasya Imaya²

¹Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

²Program Studi Teknik Lingkungan, Jurusan Keteknikan Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya Jl. Veteran, Malang 65145

*Email Korespondensi : b.rahadi@gmail.com

ABSTRAK

Saat ini banyak sekali kegiatan manusia yang dapat mengakibatkan penurunan kualitas udara. Hal ini terjadi di kota terbesar kedua di Jawa Timur yaitu Kota Malang yang memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Peningkatan jumlah penduduk menyebabkan peningkatan penggunaan kendaraan bermotor, sehingga gas buang kendaraan menjadi pencemar udara yang dominan. Gas buang kendaraan bermotor mengandung senyawa berbahaya yang berasal dari hasil pembakaran tidak sempurna seperti timbal (Pb), PM₁₀, oksida nitrogen (NO_x), oksida sulfur (SO₂), hidrokarbon (HC), karbon monoksida (CO), dan oksida fotokimia (O_x). Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui besarnya laju emisi dan sebaran polutan SO₂, NO_x, dan PM₁₀ pada jalan arteri Kota Malang. Penelitian dilakukan pada 6 titik pengamatan yang terdiri dari 2 titik *sampling-counting* dan 4 titik *counting*. Hasil sebaran polutan dianalisis secara spasial dengan menggunakan aplikasi *Surfer 11*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju emisi SO₂ tertinggi sebesar 256.432 µg.m⁻¹.s⁻¹; NO_x 5,378.769 µg.m⁻¹.s⁻¹ dan PM₁₀ 685.278 µg.m⁻¹.s⁻¹ yang terjadi di Jalan Raya Malang - Gempol. Pola sebaran polutan menunjukkan bahwa polutan menyebar ke sepanjang jalan dan pemukiman. Semakin jauh jarak titik pengamatan dari pemukiman, semakin kecil konsentrasi polutan.

Kata kunci : *counting*, kendaraan bermotor, laju emisi

ABSTRACT

Nowadays, there is a lot of human activity that can result in decreasing air quality. This is happening in the second largest city in East Java, Malang City that has a high population density. Increasing population increases the use of motorised vehicles, making the vehicle exhaust gas be the dominant air pollutant. The exhaust Gas of the motor vehicle contains harmful compounds derived from imperfect combustion results such as lead (Pb), PM₁₀, nitrogen oxide (NO_x), sulfur oxide (SO₂), hydrocarbons (HC), carbon monoxide (CO), and photochemical oxide (O_x). The purpose of the research is to know the magnitude of the emission and the distribution of SO₂, NO_x, and PM₁₀ on the road arteries of Malang. The research was conducted on a 6 point observation consisting of 2 point *sampling-counting* and 4 point *counting*. The distribution of pollutants is analyzed spatially by using *Surfer 11* application. The results showed that the highest SO₂ emission rate was 256,432 µg.m⁻¹.s⁻¹; NO_x 5,378.769 µg.m⁻¹.s⁻¹ and PM₁₀ 685,278 µg.m⁻¹.s⁻¹ are occurring on the Malang-Gempol highway. The pattern of pollutant distribution shows that pollutants spread along roads and settlements. The farther the distance of the observation point from the settlement, the smaller the pollutant concentration.

Keywords : *counting*, motor vehicle, emission rate

PENDAHULUAN

Udara merupakan campuran beberapa macam gas yang memiliki perbandingan tidak tetap, tergantung pada suhu udara atau tekanan udara dan lingkungan sekitarnya. Komposisi dari masing-masing unsur yang terdapat dalam udara baik bersih maupun kering, tersusun oleh Nitrogen (N_2) 78.09%, Oksigen (O_2) 21.94%, Argone (Ar) 0.93%, Karbondioksida (CO_2) 0.032% dan gas-gas lainnya seperti gas-gas mulia, Nitrogen oksida, Hydrogen, Methane, Belerang dioksida, Ammonia, dan lain-lain (Kamal, 2015). Udara menjadi salah satu komponen penting dalam kelangsungan kehidupan. Namun, dewasa ini banyak sekali kegiatan yang mengakibatkan perubahan terhadap penurunan kualitas udara. Kegiatan yang dimaksud seperti meningkatnya pembangunan fisik kota dan pusat-pusat industri. Kegiatan ini disertai dengan meningkatnya produksi kendaraan bermotor yang mengakibatkan peningkatan kepadatan lalu lintas dan hasil produksi sampingan. Hal ini merupakan beberapa sebab terjadinya pencemaran udara.

Kota Malang merupakan kota terbesar kedua di Jawa Timur setelah Surabaya. Kota ini juga merupakan kota dengan kepadatan penduduk yang merupakan mahasiswa dikarenakan banyaknya Universitas ternama yang terdapat di kota ini. Adanya kepadatan penduduk yang semakin meningkat tiap tahunnya menyebabkan kebutuhan kendaraan bermotor meningkat pula. Menurut Badan Pusat Statistik, pada tahun 2015 jumlah kendaraan bermotor di Kota Malang sebesar 1,024,226 unit, sedangkan pada tahun 2016 sebesar 1,135,438 unit. Hal ini menandakan terjadi peningkatan sebesar 5.15%, belum termasuk kendaraan yang berasal dari luar Malang.

BAHAN DAN METODE

Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif dengan analisis spasial. Metode deskriptif kuantitatif guna untuk menggambarkan konsentrasi SO_2 , NO_x dan PM_{10} pada jalan arteri. Analisis spasial guna

untuk mengetahui sebaran konsentrasi polutan pada area studi.

Counting dan Pengambilan Sampel

Data primer didapatkan dengan melakukan counting dan pengambilan sampel. *Counting* dilaksanakan di 6 jalan arteri Kota Malang yaitu Jalan Raya Tlogomas, Jalan Raya Malang-Gempol, Jalan Sunandar Priyo Sudarmo, Jalan Trunojoyo, Jalan Laksamana Martadinata dan Jalan Kolonel Sugiono. *Counting* kendaraan bermotor dilakukan selama 1 jam. Kendaraan bermotor dibagi menjadi motor, mobil, truk dan bus. Perhitungan jumlah kendaraan dilakukan di saat jam puncak (07.00-14.00) diantara hari kerja (Senin-Jum'at).

Pengambilan sampel pada penelitian ini dilakukan di 2 titik yaitu Jalan Raya Malang - Gempol dan Jalan Raya Tlogomas. *Sampling* udara ambien dilakukan oleh Perum Jasa Tirta (PJT) di saat jam puncak dan hari kerja. Selanjutnya pengujian sampel udara dilakukan di Laboratorium PJT. Titik ini akan menjadi titik validasi. Pemilihan titik pengambilan sampel ini berdasarkan pada kepadatan lalu lintas yang terjadi pada jalan arteri yang ada di Kota Malang. Parameter yang akan diamati yaitu SO_2 , NO_2 dan PM_{10} . Alat yang digunakan dalam sampling udara ini adalah *impinger*. *Impinger* ini memiliki botol yang berisi larutan penangkap. Larutan penangkap ini yang akan bereaksi dengan gas-gas kontaminan untuk selanjutnya dilakukan analisa di laboratorium. Sedangkan untuk parameter PM_{10} menggunakan alat *Dust Sampler*. Data hasil pengujian nantinya akan dibandingkan dengan hasil perhitungan yang menggunakan data *traffic counting*.

Data sekunder merupakan data yang digunakan sebagai pendukung dalam melakukan analisis penelitian. Data sekundet dalam penelitian ini yaitu Peta Kota Malang yang terdapat nama jalan dan hasil pengujian kualitas udara ambien kendaraan bermotor dari BLH Kota Malang dan penelitian terlebih dahulu.

Pengolahan Data

Pada tahap ini terdiri dari perhitungan dan pembuatan peta dengan data-data yang ada.

a) Perhitungan laju emisi (Q)

$$Q = \frac{FE \times V}{t} \dots\dots\dots(1)$$

dimana :

Q = laju emisi ($\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$)
 FE = factor emisi kendaraan ($\text{g}\cdot\text{km}^{-1}$)
 V = volume kendaraan ($\text{unit}\cdot\text{jam}^{-1}$)
 t = lama waktu pengamatan (jam^{-1})

b) Perhitungan konsentrasi polutan (C)

$$C = \frac{K}{\sqrt{2\pi}} [G_2 - G_1] \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

C = konsentrasi polutan ($\mu\text{g}\cdot\text{N}^{-1}\cdot\text{m}^{-3}$)
 K = konstanta
 G₁ dan G₂ = fungsi distribusi *Gaussian*

c) Uji Validasi

Uji validasi yang digunakan adalah RMSPE (*Root Mean Square Percent Error*).

$$RMSPE = \sqrt{\frac{1}{n} [\sum_{n=1}^n (\frac{St-At}{At})^2]} \dots\dots(3)$$

dimana:

RMSPE = *Root Mean Square Percent Error*
 St = Nilai simulasi/model pada waktu t
 At = Nilai actual pada waktu t
 n = Jumlah Pengamatan (t=1,2,...n)

d) Analisis Spasial Menggunakan SIG

Hasil konsentrasi yang didapatkan dari perhitungan dan koordinat dari setiap titik pengamatan dipetakan ke dalam aplikasi *Surfer*. Dengan meng-*overlay* dengan peta jalan Kota Malang dan peta kontur akan didapatkan peta persebaran polutan dari sumber transportasi pada Kota Malang. Analisis ini dapat mengetahui jalan mana yang terkena dampak pencemaran dari sumber transportasi. Aplikasi *Surfer* yang digunakan adalah tipe *Surfer 11* yang didapat dari *Environmental System Research Institute* (ESRI).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kepadatan Lalu Lintas Lokasi Penelitian

Pengamatan pada Jalan Raya Tlogomas dilakukan pada tanggal 18 September 2017 pukul 13.29 - 14.29 WIB. Kendaraan bermotor dengan kepadatan yang tertinggi yaitu motor sejumlah 4,129 unit. Padatnya lalu lintas pada jalan ini disebabkan karena adanya terminal angkutan umum, rumah sakit dan juga dekat dengan Universitas

Muhammadiyah Malang (UMM). Secara lengkap hasil pengamatan dapat dilihat pada Gambar 1.

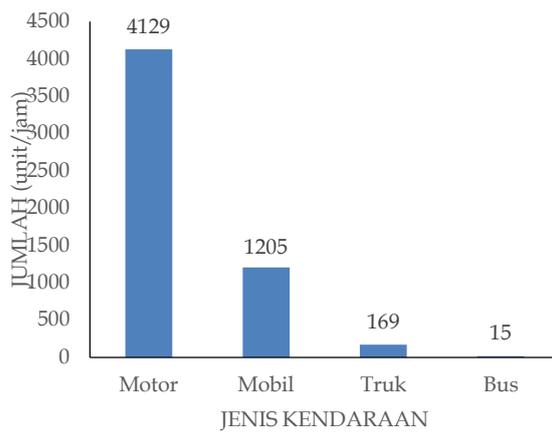
Pengamatan pada Jalan Raya Malang-Gempol dilakukan pada tanggal 19 September 2017 pukul 08.40 - 09.40 WIB dapat dilihat pada Gambar 2. Kendaraan bermotor dengan kepadatan yang tertinggi yaitu motor sejumlah 4,703 unit. Padatnya lalu lintas pada area ini disebabkan karena jalan ini merupakan jalan penghubung Kota Malang dengan kota lainnya di Provinsi Jawa Timur.

Pada Gambar 3, menunjukkan hasil pengamatan pada Jalan Sunandar Priyo Sudarmo dilakukan pada tanggal 20 September 2017 pukul 07.25 - 08.25 WIB. Kendaraan bermotor dengan kepadatan yang tertinggi yaitu motor sejumlah 5,268 unit. Padatnya lalu lintas di area ini disebabkan karena jalan ini menghubungkan ke terminal bus Arjosari dan juga disekitar area terdapat banyak kantor.

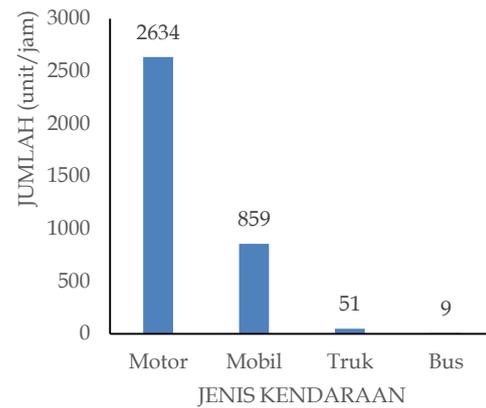
Pada Gambar 4, digambarkan hasil pengamatan pada Jalan Trunojoyo dilakukan pada tanggal 20 September 2017 pukul 07.25 - 08.25 WIB. Kendaraan bermotor dengan kepadatan yang tertinggi yaitu motor sejumlah 2,634 unit. Padatnya lalu lintas pada area ini disebabkan karena banyaknya pengendara menuju stasiun kereta, dan area ini pula dekat dengan area pendidikan dan ruko (rumah dan toko).

Pengamatan pada Jalan Laksamana Martadinata dilakukan pada tanggal 21 September 2017 pukul 08.30-09.30 WIB dapat dilihat pada Gambar 5. Kendaraan bermotor dengan kepadatan yang tertinggi yaitu mobil sejumlah 774 unit. Padatnya lalu lintas pada area ini disebabkan karena banyaknya pengendara menuju stasiun kereta, dan area ini pula dekat dengan area pendidikan dan ruko (rumah dan toko).

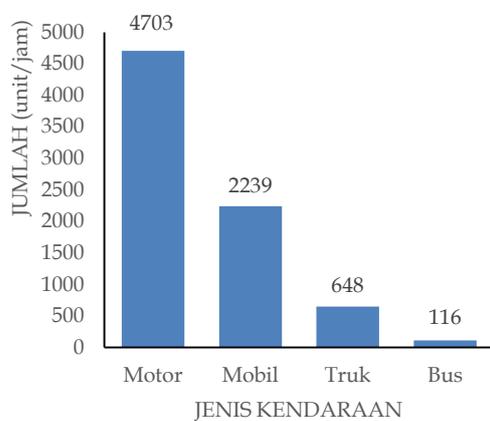
Pengamatan pada Jalan Kolonel Sugiono dilakukan pada tanggal 21 September 2017 pukul 08.30 - 09.30 WIB dapat dilihat pada Gambar 6. Kendaraan bermotor dengan kepadatan yang tertinggi yaitu motor sejumlah 4,791 unit. Padatnya lalu lintas pada area ini disebabkan karena adanya terminal angkutan umum, pasar, dan jalan ini merupakan jalan penghubung menuju Kabupaten Malang.



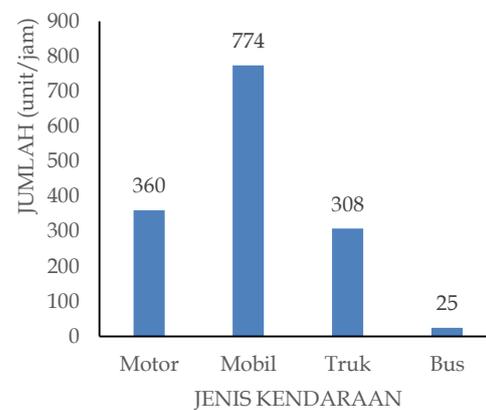
Gambar 1. Kepadatan lalu lintas Jalan Raya Tlogomas



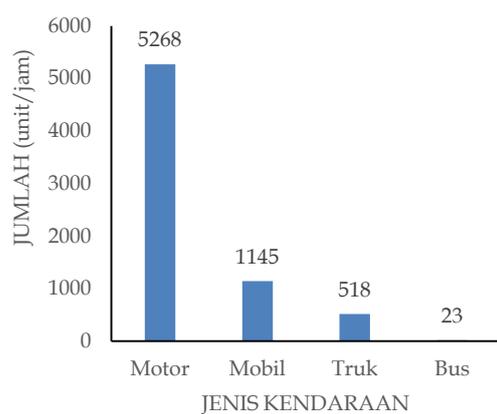
Gambar 4. Kepadatan lalu lintas Jalan Trunojoyo



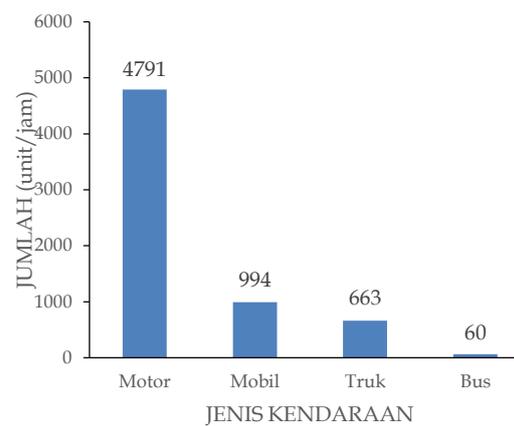
Gambar 2. Kepadatan lalu lintas Jalan Raya Malang-Gempol



Gambar 5. Kepadatan lalu lintas Jalan Laksamana Martadinata



Gambar 3. Kepadatan lalu lintas Jalan Sunandar Priyo Sudarmo



Gambar 6. Kepadatan lalu lintas Jalan Kolonel Sugiono

Tabel 1. Laju emisi SO₂, NO_x, dan PM₁₀ (µg.m⁻¹.s⁻¹)

Lokasi Pengamatan	Laju Emisi SO ₂	Laju Emisi NO _x	Laju Emisi PM ₁₀
Jalan Raya Tlogomas	88,364	1.982,975	1.982,975
Jalan Raya Malang – Gempol	256,432	5.378,769	5.378,769
Jalan Sunandar Priyo Sudarmo	170,623	3.778,756	3.778,756
Jalan Trunojoyo	46,042	1.041,489	1.041,489
Jalan Laksamana Martadinata	101,064	2.120,472	2.120,472
Jalan Kolonel Sugiono	207,536	4.489,081	4.489,081

Laju Emisi SO₂, NO_x dan PM₁₀

Hasil analisis laju emisi SO₂, NO_x, dan PM₁₀ dapat dilihat pada Tabel 1. Laju emisi SO₂ terbesar terjadi pada Jalan Raya Malang-Gempol. Emisi SO₂ terbesar pada area ini disumbangkan oleh truk hingga mencapai 57.6%. Tingginya laju emisi SO₂ di area ini disebabkan karena area ini merupakan jalan yang menghubungkan kota Malang dengan kota lainnya, sehingga banyak truk dengan beban berat yang melewati jalan ini. Menurut Romon *et.al* (2015), hasil perhitungan debit emisi sangat dipengaruhi oleh kepadatan kendaraan dan kecepatan kendaraan. Semakin besar volume kendaraan, semakin tinggi nilai debit emisi yang dihasilkan. Sedangkan, emisi SO₂ terkecil terjadi pada Jalan Trunojoyo dengan sumbangan emisi SO₂ terbesar oleh kendaraan mobil sebesar 57%.

Laju emisi NO_x terbesar terjadi pada Jalan Raya Malang-Gempol. Emisi NO_x terbesar disumbangkan oleh transportasi jenis truk sebesar 59.24%. Sedangkan laju emisi NO_x terendah terjadi pada Jalan Trunojoyo dengan emisi terbesar disumbangkan oleh mobil dengan nilai mencapai 52,7%. Menurut Maulana (2012), pemakaian bahan bakar serta jarak tempuh dari setiap jenis kendaraan akan mempengaruhi beban emisi. Massa jenis solar lebih berat dibandingkan dengan bensin yang akan mempengaruhi hasil perhitungan beban emisi.

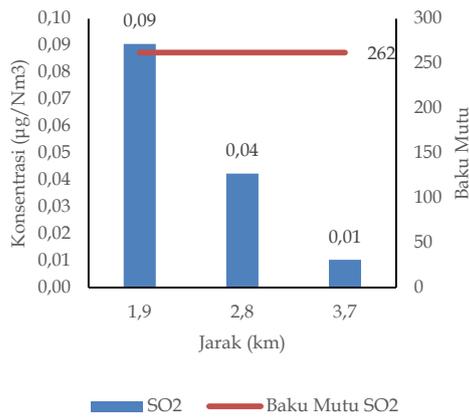
Laju emisi PM₁₀ terbesar terjadi pada Jalan Raya Malang-Gempol. Emisi partikulat terbesar dihasilkan oleh transportasi jenis mobil dengan presentase sebesar 45.75%. Sedangkan laju emisi PM₁₀ terkecil pada Jalan Laksamana Martadinata dimana truk merupakan transportasi penyumbang polutan terbesar dengan presentase mencapai 66.8%. Perbedaan laju emisi untuk setiap jalan disebabkan karena perbedaan

jumlah kendaraan dan faktor emisi dari masing-masing kendaraan. Walaupun jumlah motor di setiap jalan lebih banyak dibandingkan jumlah truk, tetapi truk menyumbangkan emisi terbanyak pada udara ambien. Hal ini disebabkan karena faktor emisi truk lebih besar dibandingkan dengan faktor emisi dari motor. Hal ini sejalan dengan penelitian Maulana *et.al* (2013), konsentrasi PM₁₀ dikatakan rendah walaupun jumlah kendaraan di suatu titik berjumlah lebih besar dibandingkan di titik lainnya dikarenakan faktor emisi dari kendaraan tersebut kecil.

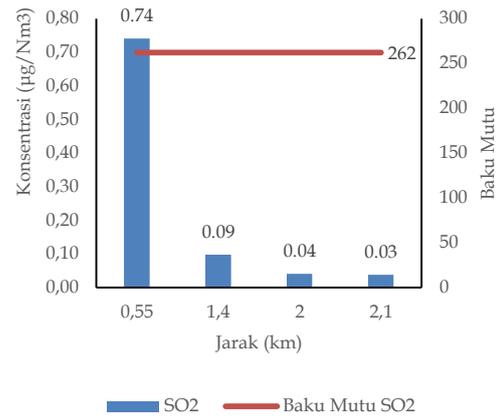
Pemodelan FLLS (*Finite Length Line Source*) Pada Titik Validasi

Finite length line source (FLLS) atau sumber garis jalan yang terbatas dinilai jauh lebih baik daripada sumber garis pada jalan yang tak terbatas. Dengan beranggapan adanya angin/badai yang bertiup tegak lurus terhadap jalan, maka dipergunakan koefisien disperse sebagai titik ukur pengambilan sampel. Koefisien disperse merupakan garis lengkung Gauss yang dinyatakan berdasarkan faktor kestabilan cuaca dan panjang jarak pemaparan (Maulana, 2012). Hasil pengukuran konsentrasi SO₂, NO_x, PM₁₀ pada segmen Jalan Raya Tlogomas dan Jalan Raya Malang – Gempol dapat dilihat pada Gambar 7 sampai dengan Gambar 12.

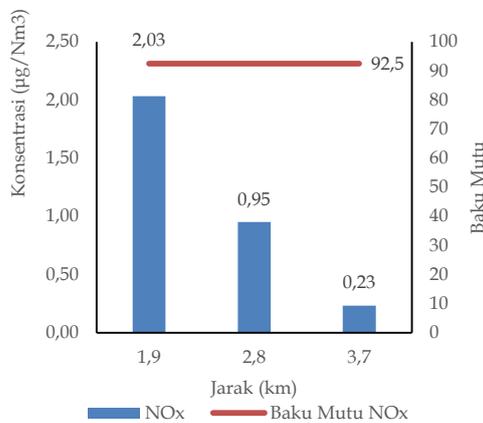
Konsentrasi SO₂ tertinggi di Jalan Tlogomas pada jarak dispersi 1.9 km dan konsentrasi terendah pada jarak dispersi 3.7 km. Konsentrasi SO₂ tertinggi pada jarak dispersi 0.55 km dan konsentrasi terendah pada jarak dispersi 2.1 km. Nilai konsentrasi hasil pemodelan di kedua jalan tersebut berada dibawah baku mutu SO₂ yang telah ditetapkan dalam Pergub Jatim No. 10/2009 (262 µg.N⁻¹.m⁻³).



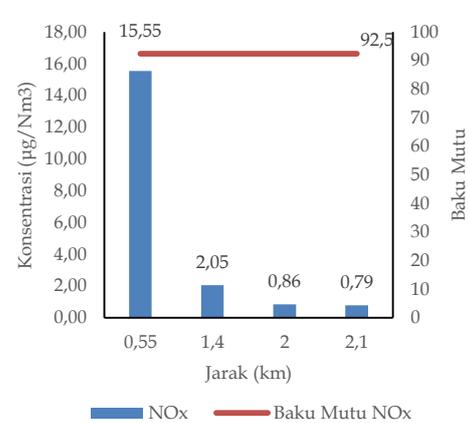
Gambar 7. Kosentrasi SO₂ hasil pemodelan FLLS pada Jalan Raya Tlogomas



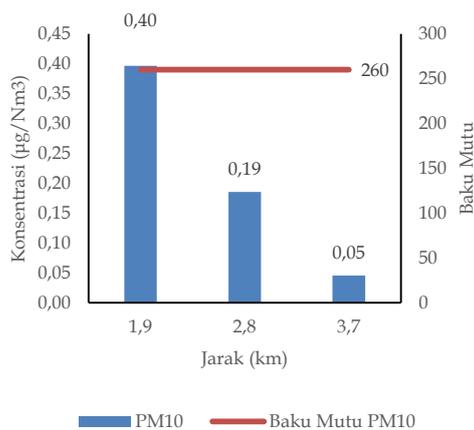
Gambar 10. Konsentrasi SO₂ hasil pemodelan FLLS pada Jalan Raya Malang - Gempol



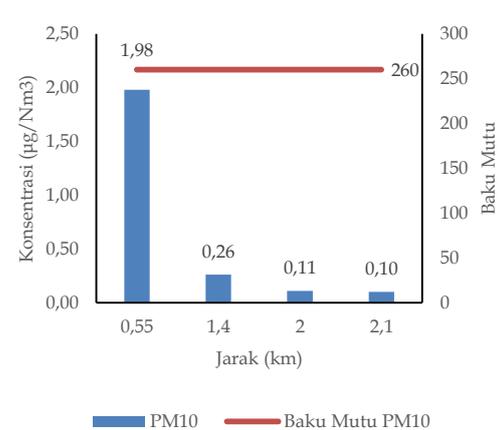
Gambar 8. Konsentrasi NO_x hasil pemodelan FLLS pada Jalan Raya Tlogomas



Gambar 11. Konsentrasi NO_x hasil pemodelan FLLS pada Jalan Raya Malang - Gempol



Gambar 9. Konsentrasi PM₁₀ hasil pemodelan FLLS pada Jalan Raya Tlogomas



Gambar 12. Konsentrasi PM₁₀ hasil pemodelan FLLS pada Jalan Raya Malang - Gempol

Konsentrasi tertinggi NO_x di Jalan Raya Tlogomas pada jarak dispersi 1.9 km dan konsentrasi terendah pada jarak dispersi 3.7 km. Konsentrasi tertinggi NO_x di Jalan Raya Malang – Gempol pada jarak dispersi 0.55 km dan konsentrasi terendah pada jarak dispersi 2.1 km. Nilai konsentrasi NO_x hasil pemodelan di kedua jalan tersebut masih berada dibawah baku mutu yang telah ditetapkan dalam Pergub Jatim No. 10/2009 (92.5 µg.N⁻¹m⁻³).

Konsentrasi tertinggi PM₁₀ di Jalan Raya Tlogomas pada jarak dispersi 1.9 km dan konsentrasi terendah pada jarak dispersi 3.7 km. Konsentrasi tertinggi PM₁₀ di Jalan Raya Malang – Gempol pada jarak dispersi 0.55 km dan konsentrasi terendah pada jarak dispersi 2.1 km. Nilai konsentrasi PM₁₀ hasil pemodelan di kedua jalan tersebut masih berada dibawah baku mutu yang telah ditetapkan dalam Pergub Jatim No. 10/2009 (260 µg.N⁻¹m⁻³).

Semakin jauh jarak dari sumber polutan, semakin kecil nilai konsentrasi dari setiap titik. Hal ini menandakan bahwa jarak mempengaruhi persebaran polutan. Menurut Romon *et.al* (2015) menyatakan bahwa semakin panjang jarak dari titik sumber ke arah angin maka semakin besar pula nilai oz, dimana nilai oz berbanding terbalik dengan nilai konsentrasi polutan (C).

Validasi Data

Menurut Arisnawati *et.al* (2016), validasi perlu dilakukan untuk mendapatkan kepercayaan pada hasil model. Suatu model dikatakan valid apabila dapat menjalankan suatu keputusan tertentu atau dapat memberikan hasil ukur sesuai dengan

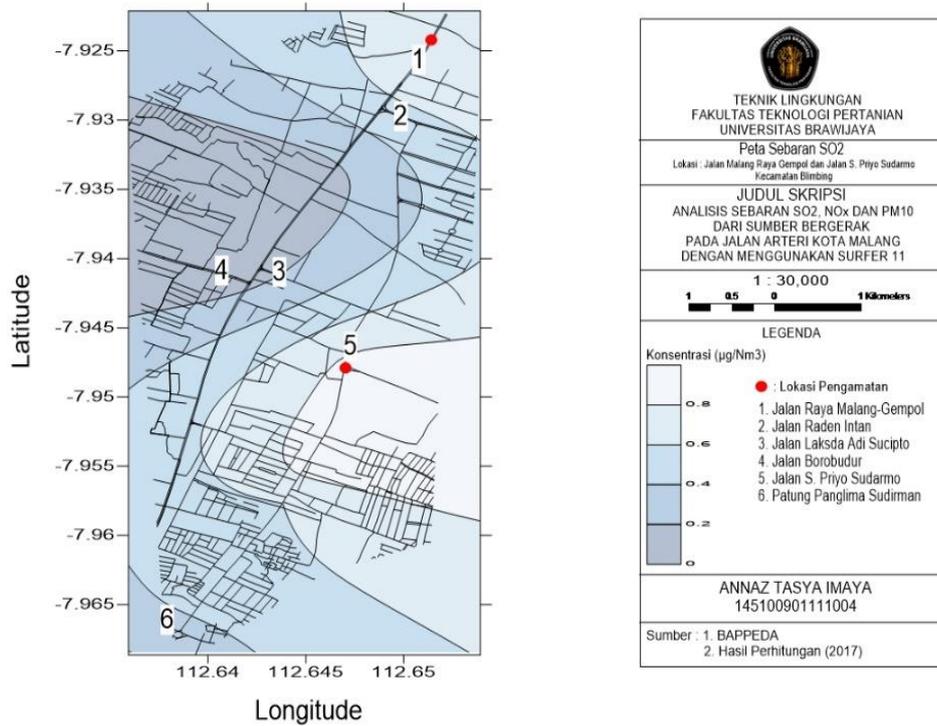
maksud dilakukannya suatu pemodelan tersebut. Suatu model dikatakan valid menurut metode RMSPE apabila nilainya <10%. Semua nilai RMSPE pada semua parameter dalam penelitian ini melebihi 10%, sehingga dapat dikatakan bahwa hasilnya tidak valid. Rekapitulasi hasil validasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil nilai perhitungan/pemodelan lebih besar dibandingkan dengan nilai hasil pengukuran di lapangan/aktual. Banyak faktor yang mempengaruhi ketidak validan dari kedua hasil pengukuran tersebut, diantaranya kondisi lapangan, kondisi meteorologi yang tidak dapat dipastikan. Pada perhitungan memperhatikan segmen jalan pada dispersinya, dan untuk wilayah Jalan Raya Malang - Gempol memiliki 1 segmen jalan saja begitu panjang. Tetapi pada saat pengukuran polutan tersebut hanya pada titik itu saja, tidak memperhatikan segmen jalan.

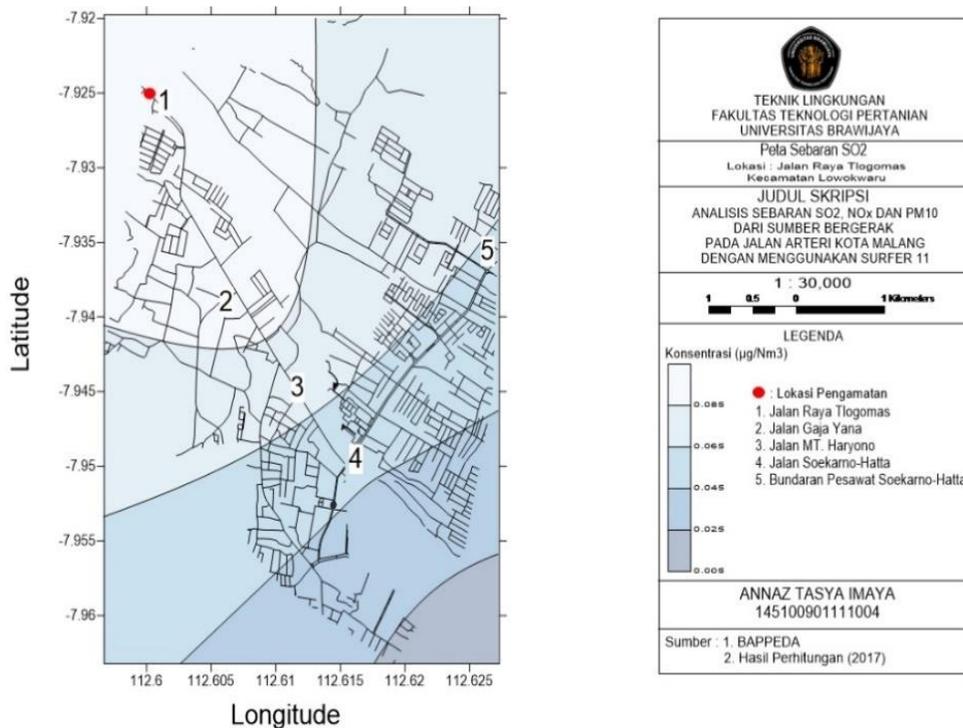
Menurut Rangga *et.al* (2014) yang menyatakan bahwa salah satu penyebab hasil perhitungan lebih besar dibandingkan hasil pengukuran di lapangan yaitu suhu udara. Suhu udara yang tinggi menyebabkan terjadinya aliran konveksi keatas yang membawa semua jenis polutan, sehingga menyebabkan konsentrasi polutan pada saat di lapangan rendah. Dalam perhitungan tidak memperhitungkan suhu udara, hanya intensitas penyinaran matahari saja. Selain itu, kecepatan angin juga berpengaruh. Semakin besar kecepatan angin yang berhembus maka konsentrasi pencemar akan semakin kecil karena polutan akan terdispersi ke segala arah.

Tabel 2. Validasi hasil pemodelan

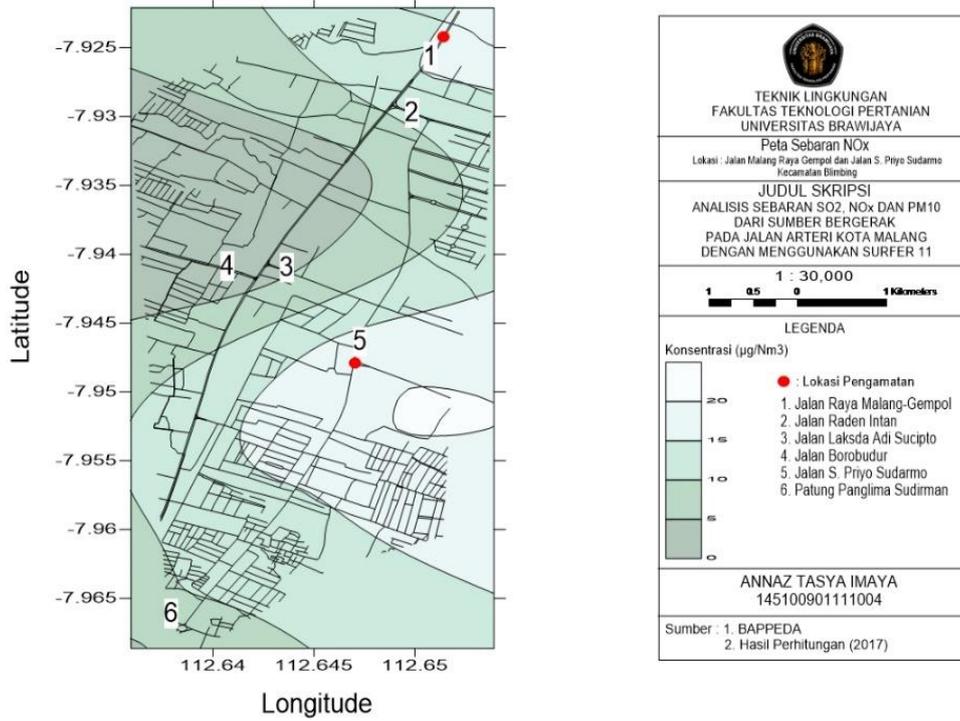
Lokasi Pengamatan	Hasil Observasi (At)			Hasil Simulasi (St)			RMSPE (%)		
	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM ₁₀	SO ₂	NO _x	PM ₁₀
Jalan Raya Malang – Gempol	0,165	0,301	0,238	11,842	248,388	31,646	69,925	70,663	70,411
Jalan Raya Tlogomas	0,171	0,141	0,238	18,414	413,251	80,648			
Rata-rata	0,168	0,221	0,238	15,128	330,820	56,147			



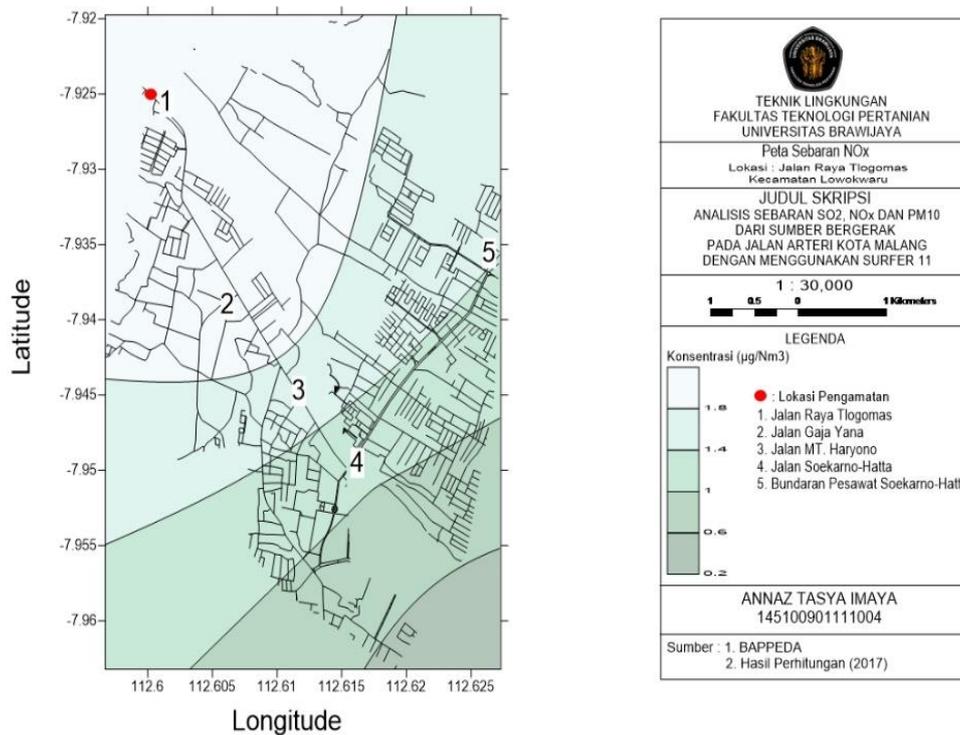
Gambar 13. Peta sebaran SO₂ pada Kecamatan Blimbing



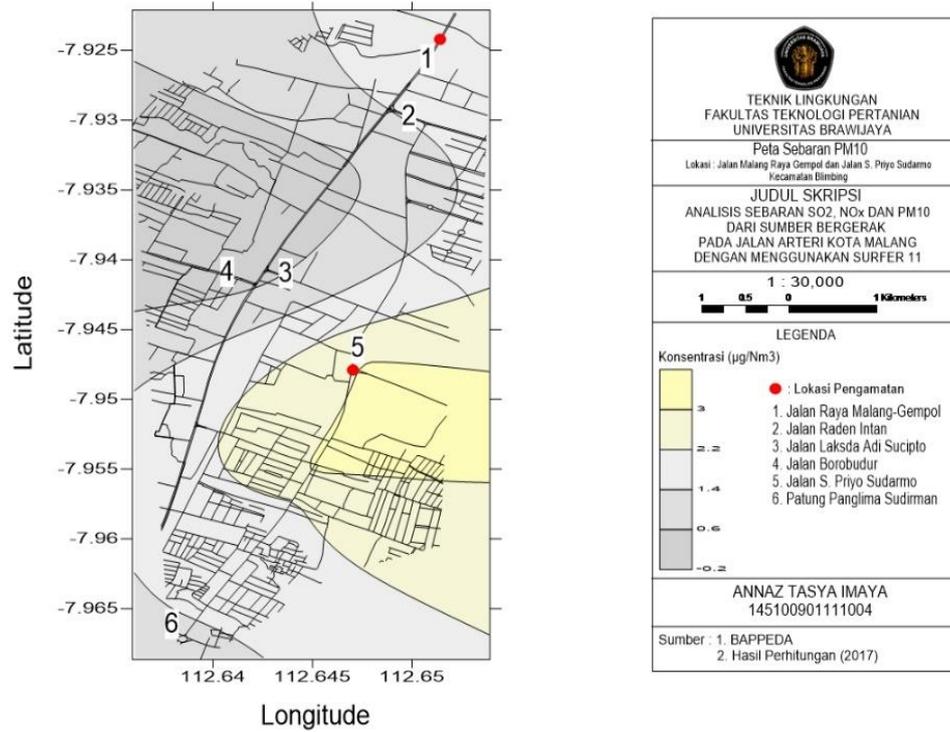
Gambar 14. Peta sebaran SO₂ pada Kecamatan Lowokwaru



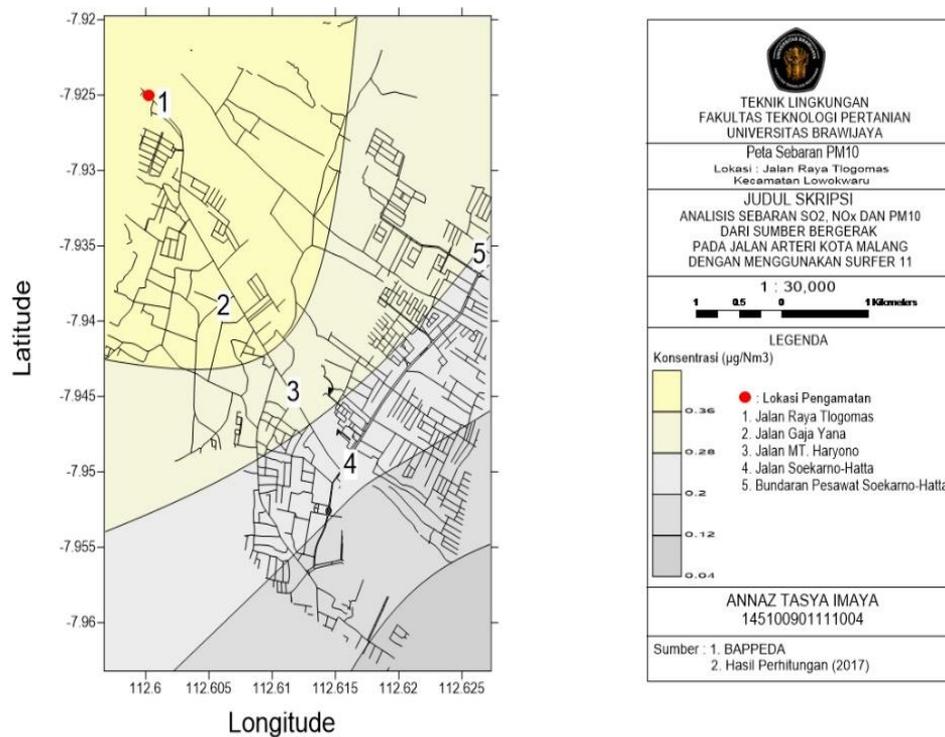
Gambar 15. Peta sebaran NO_x pada Kecamatan Blimbing



Gambar 16. Peta sebaran NO_x pada Kecamatan Lowokwaru



Gambar 17. Peta sebaran PM₁₀ pada Kecamatan Blimbing



Gambar 18. Peta sebaran PM₁₀ pada Kecamatan Lowokwaru

Analisis Spasial Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)

Pada Gambar 13 bagian yang berwarna biru muda keputihan memiliki konsentrasi SO_2 tertinggi karena pada jalan ini terdapat kendaraan berukuran besar, seperti truk. Pada wilayah Jalan Borobudur merupakan wilayah terkena dampak dengan konsentrasi SO_2 yang rendah. Pada Gambar 14 bagian yang berwarna biru keputihan memiliki konsentrasi SO_2 tertinggi karena pada jalan ini terdapat kendaraan berukuran besar, seperti truk. Pada wilayah Jalan Soekarno Hatta merupakan wilayah terkena dampak dengan konsentrasi SO_2 yang rendah. Semakin jauh suatu jalan dari titik pengamatan, semakin kecil nilai konsentrasi SO_2 . Hal ini ditunjukkan dengan wilayah yang berwarna biru gelap. Gas SO_2 dapat menyebabkan gangguan saluran pernafasan. Gas ini juga dapat bereaksi dengan senyawa lain dan membentuk polutan sekunder berupa partikel halus yang dapat menembus bagian sensitive dari paru-paru sehingga memperburuk penyakit pernafasan bahkan akan memperparah penyakit jantung eksisting (Istirokhatun *et.al*, 2016).

Pada Gambar 15 konsentrasi terbesar NO_x berada pada wilayah yang berwarna hijau keputihan, sedangkan titik pengamatan berada di wilayah yang berwarna hijau muda. Konsentrasi terendah pada peta (Gambar 15) terletak pada Jalan Borobudur. Pada Gambar 16 konsentrasi terbesar terdapat pada wilayah yang berwarna hijau keputihan yaitu pada titik pengamatan, sedangkan konsentrasi terendah terletak pada Jalan Soekarno Hatta. Semakin jauh suatu jalan dari titik pengamatan, semakin rendah konsentrasi dari wilayah tersebut. Pada siang hari konsentrasi gas NO_x dalam bentuk NO_2 merupakan gas dengan konsentrasi tertinggi. Hal ini dikarenakan pada pagi hingga siang hari konsentrasi NO_2 akan lebih tinggi dibandingkan dengan gas NO . Hal tersebut disebabkan karena adanya reaksi antara polutan dengan HO_2 radikal yang terbentuk akan mengoksidasi NO menjadi NO_2 . Tetapi pada dasarnya polutan utama yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor adalah nitrogen monoksida (NO) (Wiyandari, 2010).

Pada Gambar 17 konsentrasi terbesar PM_{10} terdapat pada wilayah yang berwarna kuning yaitu pada titik pengamatan pada Jalan Sunandar Priyo Sudarmo, sedangkan konsentrasi terendah) terletak pada Jalan Borobudur. Pada Gambar 18 konsentrasi terbesar terdapat pada wilayah yang berwarna kuning yaitu pada titik pengamatan, sedangkan konsentrasi terendah terletak pada Jalan Soekarno Hatta. Semakin jauh suatu jalan dari titik pengamatan, semakin rendah konsentrasi dari wilayah tersebut. PM_{10} merupakan jenis partikulat yang berhubungan langsung dengan kesehatan manusia yang memiliki ukuran aerodinamik $< 10 \mu\text{m}$. PM_{10} berasal dari debu jalan, asap industri maupun kendaraan bermotor, dan lain-lain. Penelitian yang dilakukan oleh Ruslinda dan Didi (2014) menyatakan bahwa rata-rata konsentrasi tertinggi PM_{10} terjadi pada kawasan industri dibandingkan dengan kawasan domestik. Selain itu, aktivitas kendaraan yang cukup tinggi, menyebabkan daerah ini memiliki konsentrasi PM_{10} yang tinggi.

Dalam penelitian ini diperoleh kesimpulan antara lain :

1. Laju emisi pada Jalan Arteri Kota Malang adalah sebagai berikut :
 - a. Laju emisi pada Jalan Raya Tlogomas untuk parameter SO_2 sebesar $88.364 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$; NO_x sebesar $1,982.975 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ dan PM_{10} sebesar $386.989 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$.
 - b. Laju emisi pada Jalan Raya Malang-Gempol untuk parameter SO_2 sebesar $256.432 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$; NO_x sebesar $5,378.769 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ dan PM_{10} sebesar $685.278 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$.
 - c. Laju emisi pada Jalan Sunandar Priyo Sudarmo untuk parameter SO_2 sebesar $170.623 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$; NO_x sebesar $3,778.756 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ dan PM_{10} sebesar $599.756 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$.
 - d. Laju emisi pada Jalan Trunojoyo untuk parameter SO_2 sebesar $46.042 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$; NO_x sebesar $1,041.489 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ dan PM_{10} sebesar $227.567 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$.
 - e. Laju emisi pada Jalan Laksamana Martadinata untuk parameter SO_2 sebesar $101.064 \mu\text{g.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$; NO_x sebesar

- 2,120.472 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ dan PM_{10} sebesar 179.3 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$.
- f. Laju emisi pada Jalan Kolonel Sugiono untuk parameter SO_2 sebesar 207.536 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$; NO_x sebesar 4,489.081 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ dan PM_{10} sebesar 633.7 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$.
2. Pola persebaran yang terbentuk adalah menyebar pada jalan raya dengan laju emisi tertinggi terdapat pada Jalan Raya Malang-Gempol.

Dispersi Gauss. Universitas Hasanuddin. Makassar

- Ruslinda Y., Wiranata D. 2014. Analisis kualitas udara ambien Kota Padang akibat pencemar *particulate matter* 10 μm (PM_{10}). *Teknika* 21(2), 19-28
- Wiyandari M. 2010. Hubungan Volume Kendaraan Terhadap Konsentrasi Polutan NO_x di Udara (Studi Kasus: Jalan Margonda Raya Depok). Skripsi. Universitas Indonesia. Depok

DAFTAR PUSTAKA

- Arisnawati R. S., Rony R., Nova A. 2016. Pemetaan Distribusi Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Dihubungkan Dengan Aktivitas Kendaraan Bermotor di Kampus Universitas Lambung Mangkurat Banjarbaru. Universitas Lambung Mangkurat. Banjarbaru
- Badan Pusat Statistik. 2016. *Kota Malang Dalam Angka Tahun 2016*. Badan Pusat Statistik. Malang
- Istirokhatun T., Ita T.A., Sudarno. 2016. Investigasi pengaruh kondisi lalu lintas dan aspek meteorologi terhadap konsentrasi pencemar SO_2 di Kota Semarang. *Jurnal Presipitasi* 13(1), 21-27
- Kamal N.M. 2015. Studi Tingkat Kualitas Udara pada Kawasan Mall Pankukang di Makassar. Skripsi. Universitas Hasanuddin. Makassar
- Maulana A.Z. 2012. Analisis beban pencemar udara SO_2 , NO_2 dan HC dengan pendekatan *line source modeling* (Studi kasus di Jalan Magelang Yogyakarta). *Widyariset* 15 (3), 499-508
- Maulana R., Yulisa F., Eti S. 2013. Analisis Pengaruh Tingkat Volume dan Jenis Kendaraan Terhadap Konsentrasi *Particulate Matter* (PM_{10}) (Studi Kasus: Jl. Sutan Syahrir, Jl. Ahmad Yani dan Jl. Kom. Yos. Sudarso Kota Pontianak). Universitas Tanjungpura. Pontianak
- Rangga B., Yulisah F., Dedi W. 2014. Analisis Dispersi Gas Karbon Monoksida (CO) Dari Sumber Transportasi Menggunakan Model Meti-Lis. Universitas Tanjungpura. Pontianak
- Romon O., Sumarni H. A., Dantje R. 2015. Analisis Penyebaran Polutan (CO_2) Kendaraan Bermotor Berbasis Model