



Keterkaitan Curah Hujan Terhadap $PM_{2.5}$ dan PM_{10} di Pos Pengamatan Kualitas Udara Cibereum, Kabupaten Bogor, Jawa Barat

Rendy Irawadi*, Mohammad Razif

Program Studi Teknik Lingkungan, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

Email Korespondensi: rendy.irawadi@gmail.com

Diterima: 15 Februari 2023

Disetujui: 06 April 2023

Diterbitkan: 28 April 2023

Kata Kunci:

Pencemaran Udara, PM_{10} , $PM_{2.5}$, Curah Hujan

ABSTRAK

Perubahan karakteristik atmosfer disebabkan oleh banyaknya pencemaran udara dari dalam maupun di luar ruangan. Asap dari rumah tangga, knalpot kendaraan, kebakaran dan industri merupakan penyebab utama pencemaran udara. Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor merupakan kawasan yang memiliki peluang potensi pariwisata secara domestik, provinsi, nasional maupun internasional sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui tingkat kualitas udara $PM_{2.5}$ dan PM_{10} di wilayah tersebut secara diurnal, musiman, serta persentase penurunan pencemaran udara saat terjadi hujan. Secara diurnal, $PM_{2.5}$ dan PM_{10} memiliki pola yang cenderung sama. Pada pagi hingga sore kecenderungan akan meningkat dan mencapai puncaknya pada pukul 12 UTC. Jika ditinjau berdasarkan musim, $PM_{2.5}$ dan PM_{10} akan meningkat dari rata-ratanya pada musim kemarau, dan mengalami penurunan pada musim hujan dan masa pancaroba. $PM_{2.5}$ memiliki korelasi yang lebih baik dengan curah hujan dibandingkan dengan PM_{10} . Nilai $PM_{2.5}$ selama waktu penelitian dominan berada pada kategori baik hingga sedang dan sebagian kecil tidak baik, sedangkan nilai PM_{10} sebagian besar berada pada kategori baik dan tidak ada yang masuk kategori tidak baik.

Received: 15 February 2023

Accepted: 06 April 2023

Published: 28 April 2023

Keywords:

Air Pollution, PM_{10} , $PM_{2.5}$, Rainfall

ABSTRACT

Changes in atmospheric characteristics are caused by a lot of indoor and outdoor air pollution. Smoke from households, vehicle exhaust, fires and industry are the main causes of air pollution. Cisarua District, Bogor Regency is an area that has potential opportunities for tourism domestically, provincially, nationally and internationally. It is necessary to conduct research to determine the air quality of $PM_{2.5}$ and PM_{10} in the region and the decrease in air pollution when it rains. Diurnals, $PM_{2.5}$ and PM_{10} have patterns that tend to be the same. From morning to evening, the trend increases and reaches its peak at 12 UTC. When viewed by season, $PM_{2.5}$ and PM_{10} will increase from the average in the dry season, and decrease in the rainy season and transition period. $PM_{2.5}$ has a better correlation with rainfall than PM_{10} . $PM_{2.5}$ values during the study time were predominantly in the good to moderate category and a small proportion were unfavorable, while PM_{10} values were mostly in the good category and none were in the unfavorable category.

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara dianggap sebagai masalah lingkungan penting yang hampir terjadi di semua negara dan perlu mendapat perhatian serius. Perubahan karakteristik atmosfer disebabkan oleh banyaknya pencemaran udara (Asap rumah tangga, knalpot kendaraan, kebakaran dan industri) yang terbentuk dari dalam maupun di luar ruangan (Jensen dkk., 2017; Walter J, 2018) Munculnya penyakit kritis dan kronis bagi manusia disebabkan oleh udara yang buruk (Ning dkk., 2019). Menurut data terakhir dari WHO (2019), setiap tahun 4.200.000 orang meninggal akibat polusi udara dan 9 dari 10 orang penduduk dunia masih tinggal di daerah yang kualitas

udaranya di bawah standar WHO (*World Health Organization*).

Indeks Standar Pencemar Udara adalah besaran ambang batas nilai yang menunjukkan keadaan kualitas udara ambien pada suatu lokasi serta waktu tertentu yang berdampak pada kondisi kesehatan manusia, nilai estetika, dan organisme hidup yang berada disekitarnya. Berdasarkan Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan Indeks Standar Pencemar Udara meliputi Partikulat yang terpantau di stasiun pemantauan kualitas udara meliputi $PM_{2.5}$ dan PM_{10} , Karbondioksida (CO), Ozon (O_3), Sulfur dioksida (SO_2), dan Nitrogen dioksida (NO_2).

G S Immanuel dkk. (2019) menyebutkan ada 5 kriteria tingkatan dalam mengklasifikasi indeks kualitas udara yang tercantum pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi Indeks Kualitas Udara (G S Immanuel dkk., 2019)

Klasifikasi	Warna	PM _{2.5} (ug/m ³)	PM ₁₀ (ug/m ³)	Masalah Kesehatan
Baik	Hijau	0-12	0-0.54	Tidak ada
Sedang	Kuning	12.1-35.4	55-154	Orang yang sangat sensitif harus mengurangi aktivitas luar ruangan yang lama atau berat.
Tidak sehat untuk orang sensitif	oranye	35.5-55.4	155-254	Orang yang memiliki penyakit jantung/paru-paru, orang tua, dan anak-anak harus mengurangi aktivitas luar ruangan yang terlalu lama atau berat.
Tidak sehat untuk orang sensitif	merah	55.5-150.4	255-354	Semua orang harus mengurangi aktivitas yang lama atau berat di luar ruangan.
Sangat Tidak Sehat	ungu	>= 150.5	>= 355	Semua orang harus menghindari aktivitas fisik di luar ruangan yang lama atau berat.

Indonesia terdiri dari dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau. Sepanjang tahun di Indonesia bisa terjadi hujan mulai dari pagi hingga malam hari. Dengan curah hujan yang begitu sering, perlu diketahui bagaimana perubahan polutan saat perbedaan kondisi atmosfer baik secara cuaca harian ataupun musiman.

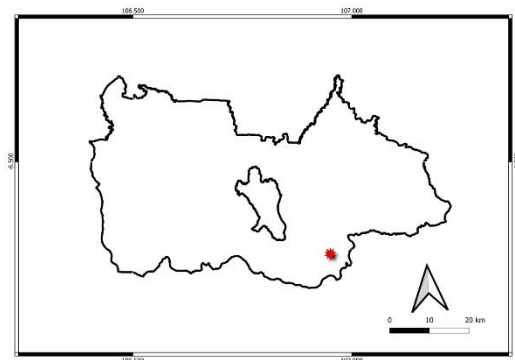
Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor merupakan salah satu destinasi pariwisata secara domestik, provinsi, nasional maupun internasional. Peluang wisata tersebut antara lain; tempat wisata yang terletak di kota bogor, tempat wisata penunjang seperti bangunan kuno atau tua, sarana wisata serta jasa transportasi. Para wisatawan internasional antara lain dari

Eropa, Amerika Serikat, Inggris, Australia, dan kawasan Asia (Mulyana, 2010). Oleh sebab itu maka wilayah Bogor khususnya Puncak selalu menjadi tujuan wisata yang ramai dan menimbulkan kepadatan di setiap musim liburan.

2. METODE

2.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian mengambil periode waktu selama tahun 2018 - 2021 dengan lokasi penelitian di Pos Polusi Udara Cibereum Kampung Darussalam, Desa Cibereum, Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor dengan elevasi 1140 Mdpl (-6.7068712, 106.9221326,13.25z)



Gambar 1. lokasi penelitian

2.2 Alat dan Bahan

Tabel 2. Data dan alat pengamatan yang digunakan untuk penelitian

No	Data	Panjang Data	Alat
1.	PM ₁₀	2018- 2021	Beta Attenuation Monitor (BAM)
2.	PM _{2.5}	2018- 2021	Beta Attenuation Monitor (BAM)
3.	Curah Hujan	2018- 2021	Penangkar Hujan Hellman

2.3 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif data series berupa angka yang disusun secara sistematis sehingga didapatkan hubungan keterkaitan antar variabel penelitian. Selain itu juga digunakan metode deskriptif untuk menggambarkan variabel penelitian dan disajikan dalam bentuk grafik dan tabel. Data yang tersedia di olah menggunakan aplikasi SPSS.

2.4 Metode pengumpulan, pengolahan, dan Analisis Data

Data yang digunakan yaitu data sekunder berupa data PM_{2.5} dan PM₁₀, dan Curah Hujan harian diperoleh dari hasil

pengamatan pada pos pengamatan kualitas udara di Desa Cibereum Stasiun Meteorologi Kelas III Citeko, Kabupaten Bogor rentang waktu 2018 - 2021, yang diolah menggunakan metode statistik guna diketahui korelasi antar data.

Stasiun Meteorologi Kelas III Citeko, Bogor menggunakan alat BAM (*Beta Attenuation Monitor*) Seri 1020 bekerja berdasarkan prinsip pelemahan diferensial dari sinar beta yang melalui filter tengah sebelum filter terpapar udara ambien dengan setelah filter terpapar udara ambien.

$$I = I_0 e^{-\mu x} \quad (1)$$

Dimana :

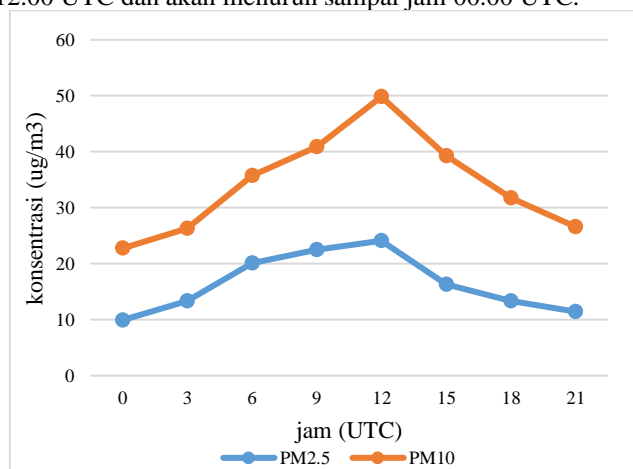
- I = Nilai Intensitas sinar beta setelah filter terpapar udara ambien
- I₀ = Nilai Intensitas sinar beta yang terukur sebelum filter terpapar udara ambien
- μ = koefisien penyerapan sinar beta
- x = rapat massa deposisi yang ada pada filter

Perangkat BAM 1020 terdiri dari 3 bagian, yaitu: Saluran masuk udara, pemanas, dan monitor. Inlet saluran udara masuk ke BAM 1020 berbentuk siklon, sehingga sering disebut inlet siklon. Inlet siklon berfungsi untuk menyaring aerosol yang melalui monitor. Dari inlet siklon, hanya partikel aerosol berukuran kurang dari 10 μm yang dapat melewati aliran udara, dan kemudian dikumpulkan di sabuk filter serat. Untuk daerah tropis dengan kelembapan udara yang tinggi, diperlukan *heater* untuk mengontrol kelembapan yang masuk ke udara. Jika kondisi kelembapan filter melebihi 55%, aerosol yang menumpuk di filter akan menyerap kelembapan, sehingga mengakibatkan kesalahan dalam penilaian konsentrasi aerosol yang terkandung.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pola diurnal PM_{2.5} dan PM₁₀

Hasil perhitungan selama tahun 2018 - 2021 menunjukkan bahwa Konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ memiliki pola diurnal yang sama (Gambar 2). Nilai akan cenderung meningkat mulai jam 00.00 UTC kemudian mencapai puncaknya pada jam 12.00 UTC dan akan menurun sampai jam 00.00 UTC.



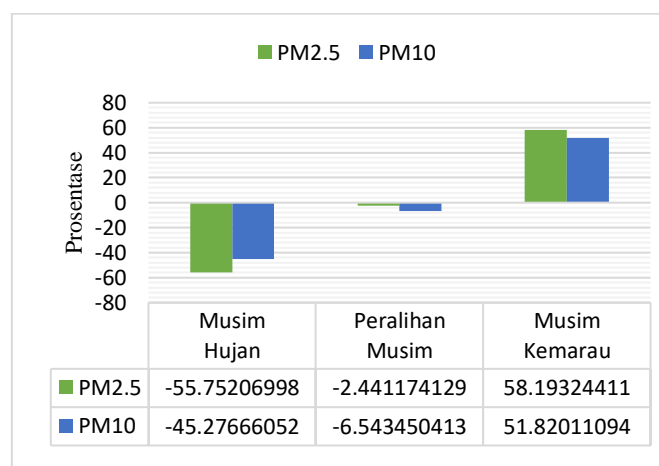
Gambar 2. Pola Diurnal rata-rata harian PM_{2.5} dan PM₁₀

Terlihat dari pola diurnalnya nilai PM_{2.5} dan PM₁₀ di Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor akan meningkat di pagi - sore hari dan menurun di malam hari. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Jing Duang dkk. (2015) di kota-kota China bagian utara selama rentang waktu Januari - Maret dan Juni 2007 menunjukkan PM_{2.5} dan PM₁₀ memiliki pola diurnal yang sama bahkan memiliki 2 puncak yaitu pukul 07.00-09.00 dan 24.00-02.00. P. Kassomenos dkk. (2012) juga melakukan penelitian di 3 kota kapital di Eropa yaitu Madrid, Athena, dan London dihasilkan kesimpulan pola diurnal PM_{2.5} dan PM₁₀ bernilai tinggi di antara pukul 00.00 - 12.00 UTC disebabkan oleh tingginya kepadatan lalu lintas.

Y. Cheng dkk. (2006) menyimpulkan variasi diurnal konsentrasi PM_{2.5} di kawasan sisi jalan kota Hong Kong dengan konsentrasi tinggi di siang hari (8:00-18:00 LT) dan konsentrasi rendah pada malam hari (22:00-6:00 LT), Hal ini sejalan dengan perubahan arus lalu lintas. Dua puncak besar umumnya terjadi pada pagi dan sore hari tergantung pada jumlah lalu lintas di sekitar jam sibuk untuk masing-masing hari. Kendaraan berbahan bakar diesel adalah sumber dominan untuk PM_{2.5} di lokasi pinggir jalan ini.

3.2 Pola Musim PM_{2.5} dan PM₁₀

Indonesia terdiri dari dua musim yaitu musim kemarau (Jun-Agus) dan musim hujan (Des-Feb) serta dua kali masa peralihan (Maret-Mei dan Sep-Nov). Dari Gambar 3. terlihat nilai PM₁₀ dan PM_{2.5} pada musim Hujan mengalami penurunan dari kondisi rata-ratanya. Penurunan PM_{2.5} sebesar 55,7% dan PM₁₀ 45,2%. Sedangkan pada musim kemarau nilai PM₁₀ dan PM_{2.5} mengalami peningkatan dari kondisi rata-ratanya. Peningkatan PM_{2.5} sebesar 58,2% dan PM₁₀ sebesar 51,8% Untuk masa peralihan musim cenderung menurun namun dengan perbedaan yang sangat rendah dengan 2,4% untuk PM_{2.5} dan 6,5% untuk PM₁₀.

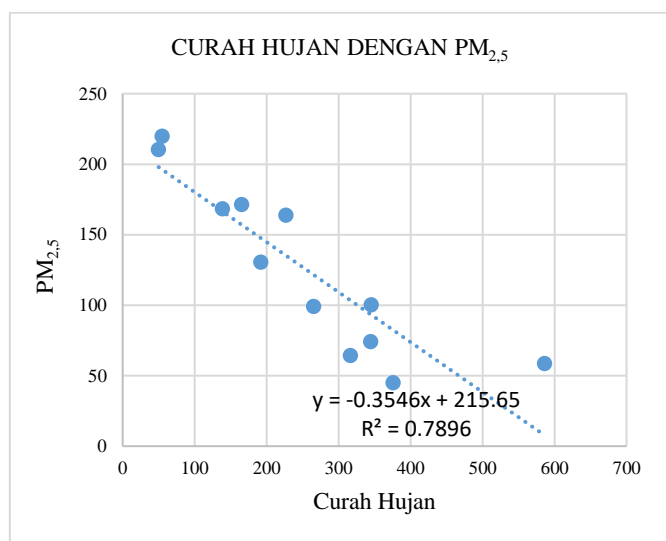


Gambar 3. Pola konsentrasi PM_{2.5} dan PM₁₀ berdasarkan Musim

Gopinath dkk. (2018) melakukan penelitian di perkotaan Mangalore, India sekitar 70% dari total konsentrasi massa partikel PM₁₀ dan PM_{2.5} telah dihasilkan selama musim pasca monsun terjadi karena suhu dan kecepatan angin yang ditemukan rendah menciptakan konveksi atmosfer yang rendah. Fenomena ini mengakibatkan polutan bertahan pada

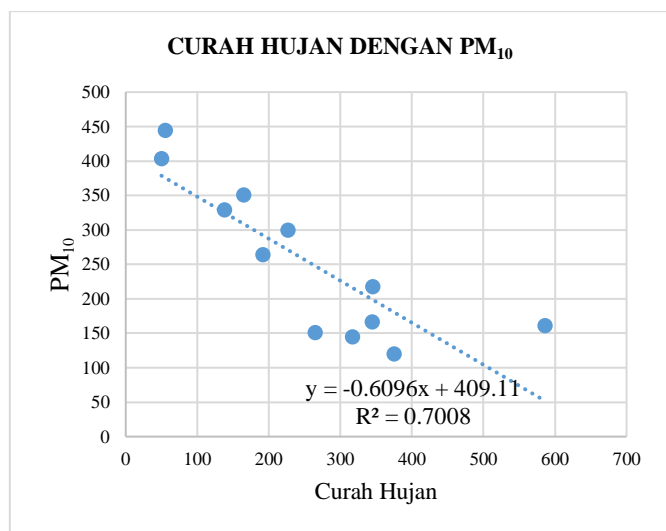
ketinggian 3-4 m dari tanah dan hanya 15-20% konsentrasi partikel (PM₁₀ dan PM_{2.5}) ditemukan selama musim hujan.

3.3 Korelasi PM_{2.5} dan PM₁₀ Terhadap Curah Hujan



Gambar 4. Scatter Plot PM_{2.5} dengan Curah hujan

Gambar 4. merupakan Scatter Plot dari nilai PM dan curah hujan bulanan serta korelasi antara nilai PM_{2.5}/PM₁₀ dengan curah hujan bulanan. Terlihat PM_{2.5} memiliki korelasi yang cukup baik yaitu -0.88861 dan PM₁₀ memiliki korelasi -0.83711. Nilai menunjukkan jika nilai CH meningkat maka nilai PM akan menurun.



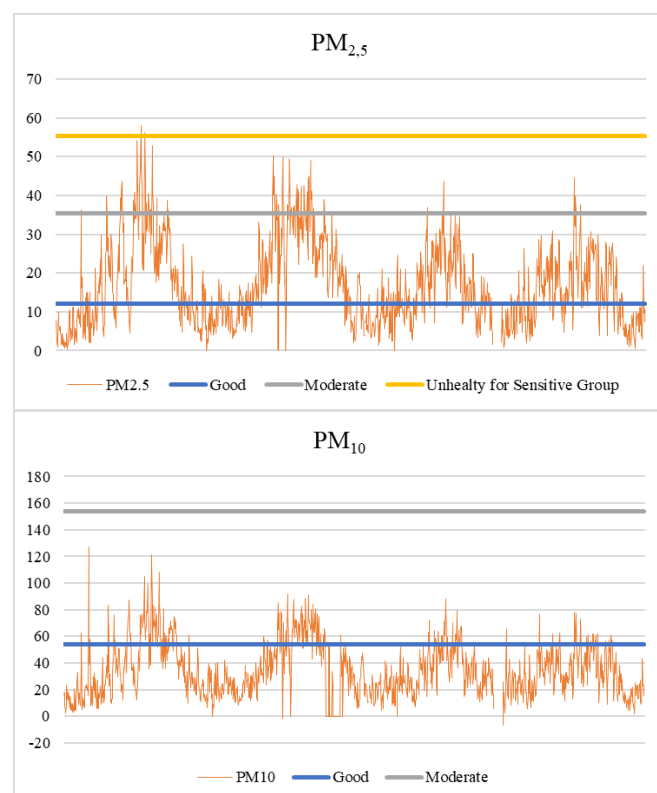
Gambar 5. Scatter Plot PM₁₀ dengan Curah hujan

Jika dibandingkan korelasi PM_{2.5} dengan curah hujan lebih kecil dari pada PM₁₀, hal ini menunjukkan bahwa curah hujan lebih berpengaruh terhadap penurunan PM_{2.5} dibandingkan PM₁₀.

3.4 Analisis Ambang Batas sehat dengan Nilai Harian PM_{2.5} dan PM₁₀

Nilai PM_{2.5} dan PM₁₀ memiliki nilai ambang batas sehat yang ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai tersebut dikaitkan dengan kesehatan udara berdasarkan kandungan PM_{2.5} dan PM₁₀.

Gambar 6 merupakan nilai PM_{2.5} dan PM₁₀ harian jika dibandingkan dengan batas kesehatannya. Nilai PM_{2.5} menunjukkan 39,82% berada pada ambang batas baik (*good*), 53,76% pada ambang batas sedang (*moderate*) dan 6,27% berada pada ambang batas tidak sehat bagi beberapa orang (*Unhealthy for Sensitive Group*). Sedangkan nilai PM₁₀ menunjukkan hasil yang lebih baik yaitu 81,58% berada pada ambang batas baik (*good*) dan 18,42% pada ambang batas sedang (*moderate*).



Gambar 6. Perbandingan Nilai PM_{2.5} dan PM₁₀ harian dengan ambang batas sehat

4. SIMPULAN

Secara diurnal, PM_{2.5} dan PM₁₀ memiliki pola yang cenderung sama. Pada pagi hingga sore kecenderungan akan meningkat dan mencapai puncaknya pada pukul 12 UTC. Jika ditinjau berdasarkan musim, PM_{2.5} dan PM₁₀ akan meningkat dari rata-ratanya pada musim kemarau, dan mengalami penurunan pada musim hujan dan masa pancaroba. PM_{2.5} memiliki korelasi yang lebih baik dengan curah hujan dibandingkan dengan PM₁₀. Nilai PM_{2.5} selama waktu penelitian dominan berada pada kategori baik hingga sedang dan sebagian kecil tidak baik, sedangkan nilai PM₁₀ sebagian besar berada pada kategori baik dan tidak ada yang masuk kategori tidak baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Chate, D. M., et al(2003). Scavenging of aerosols and their chemical species by rain. *Atmospheric Environment*, 37(18), 2477–2484. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(03\)00162-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(03)00162-6)
- Cheng, Y., et al(2006). Seasonal And Diurnal Variations of PM 1.0 , PM 2.5 And PM 10 In The Roadside Environment Of Hong Kong. In *CHINA PARTICUOLOGY* (Vol. 4, Issue 6).
- Duan, J., Chen, Y., Fang, W., & Su, Z. (2015). Characteristics and relationship of PM, PM₁₀, PM_{2.5} concentration in a polluted city in northern China. *Procedia Engineering*, 102, 1150–1155. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.01.239>
- Darimi, B., Ikhwan Siregar, & Y., Anita, S.(2018). Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Berdasarkan Jarak Tempuh Dan Jumlah Kendaraan Pada Persimpangan Pasar Pagi Arengka Pekanbaru. *Seminar Nasional Pelestarian Lingkungan (SENPLING) 2018 | ISBN*.
- Gao, Y., & Ji, H. (2018). Microscopic morphology and seasonal variation of health effect arising from heavy metals in PM_{2.5} and PM₁₀: One-year measurement in a densely populated area of urban Beijing. *Atmospheric Research*, 212, 213–226. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.04.027>
- Ghozali, I., (2016). Aplikasi Analisis Multivariate Dengan Program IBM SPSS 23. Edisi 8. *Badan Penerbit Universitas Diponegoro*.
- Gusnita, D. (2010). Green Transport: Transportasi Ramah Lingkungan Dan Kontribusinya Dalam Mengurangi Polusi Udara. *Berita Dirgantara In Juni* (Vol. 11, Issue 2).
- Hair, Jr., et al (2011). *Multivariate Data Analysis. Fifth Edition. New Jersey: PrenticeHall, Inc.*
- Herizal, & Andri, Y. (2009). Menilai Kualitas Udara Bukit Kototabang Berdasarkan Data Aerosol PM₁₀. *Megasain Buletin MKKuG GAW Bukit Kototabang Volume I/Maret 2009*.
- Ismiyati, I., Marlita, D., & Saidah, D. (2014). Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik, Vol.1 , pp. 241-248*.
- Immanuel, G. S., et al (2019). Real Time Air Quality Monitoring System in Three Sites (Bogor, Cibereum and Serpong). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 303(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/303/1/012055>
- Jensen, S. S., et al (2017). High resolution multi-scale air quality modelling for all streets in Denmark. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 52, 322–339. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2017.02.019>
- Kalaiarasan, G., Balakrishnan, R. M., Sethunath, N. A., & Manoharan, S. (2018). Source apportionment studies on particulate matter (PM₁₀ and PM_{2.5}) in ambient air of urban Mangalore, India. *Journal of Environmental Management*, 217, 815–824. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.040>
- Kassomenos, P., et al (2012). Levels, sources and seasonality of coarse particles (PM 10-PM 2.5) in three European capitals - Implications for particulate pollution control. *Atmospheric Environment*, 54, 337–347. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2012.02.051>
- Lim, D.-Y., Lee, T.-J., & Kim, D.-S. (2012). Quantitative Estimation of Precipitation Scavenging and Wind Dispersion Contributions for PM 10 and NO 2 Using Long-term Air and Weather Monitoring Database during 2000~2009 in Korea . *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, 28(3), 325–347. <https://doi.org/10.5572/kosae.2012.28.3.325>
- Mulyana, B. (2012). Pengembangan Kota Bogor Sebagai Destinasi Pariwisata Internasional. *Jurnal Ilmiah Pariwisata*.
- Ning, X., Ji, X., Li, G., & Sang, N. (2019). Ambient PM_{2.5} causes lung injuries and coupled energy metabolic disorder. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 170, 620–626. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.028>
- Novitriana, L., Handayani, D., & Hasbi, M. (2017). Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Volume Lalu Lintas Di Ruas Jalan (Studi Kasus Jalan Slamet Riyadi Surakarta).*e-Jurnal MATRIX TEKNIK SIPIL*, 753.
- Simanjuntak, G. H. (2007). PENCEMARAN UDARA. In *ARTIKEL 34 Buletin LIMBAH* (Vol. 11, Issue 1).
- Triatmodjo, B. (2010). Hidrologi Terapan. *Beta Offset, Yogyakarta*
- Walter, J.(2018). Air pollution and health: Summary. *WHO*
- Wirjohamidjojo, S., & Swarinoto, Y., S.(2013). Meteorologi Sinoptik. *Puslitbang BMKG, Jakarta*.
- Wilks, D., S.(2006). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction. *San Diego, CA: Elsevier*.
- Yoo, J. M., et al (2014). New indices for wet scavenging of air pollutants (O₃, CO, NO₂, SO₂, and PM₁₀) by summertime rain. *Atmospheric Environment*, 82, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.10.022>
- Zhang, Y. (2019). Dynamic effect analysis of meteorological conditions on air pollution: A case study from Beijing. *Science of the Total Environment*, 684, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.360>.
- Zein, S., dkk. (2019). Pengolahan Dan Analisis Data Kuantitatif Menggunakan Aplikasi SPSS. *JTEP-Jurnal Teknologi Pendidikan dan Pembelajaran, Volume 4, Nomor 1, Februari 2019*