

Kajian Literatur : Kemampuan Aerosol Optical Depth (AOD) dalam Memprediksi Kualitas Udara Parameter PM_{2,5}

NIDA NUR ROFA ROSIDIN, MILA DIRGAWATI²

Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Bandung

Email: nidanurrofrosidin@gmail.com

ABSTRAK

Abstrak Aerosol Optical Depth (AOD) adalah pengukuran optik kepunahan cahaya atau radiasi matahari oleh aerosol secara kuantitatif, nilai AOD dapat digunakan untuk mewakili jumlah aerosol di seluruh kolom atmosfer. Aerosol Optical Depth (AOD) merupakan variabel yang secara komprehensif merepresentasikan nilai aerosol untuk jarak jauh di atmosfer dan dapat dijadikan variabel kunci dalam pemodelan iklim, pendekatan eksperimen aerosol dan verifikasi satelit. Kegiatan sehari-hari manusia melalui perubahan tutupan lahan, pembakaran bahan bakar fosil, dan penghasilan partikulat serta spesies gas ke atmosfer sangat berpengaruh dan berdampak pada lingkungan aerosol lokal, efek pada iklim global sulit di prediksi. Instrument pemantauan berbasis satelit dan darat akan digunakan untuk mengetahui beban aerosol, mengkarakterisasi aerosol, dan dapat digunakan sebagai ukuran pasti dari pemodelan kualitas udara dimasa yang akan datang. Hubungan antara nilai konsentrasi partikulat memperlihatkan korelasi yang positif dan signifikan, namun keakuratan, kelengkapan dan faktor koreksi pada pemantauan kedelamaan optik aerosol sangat diperlukan untuk menghasilkan nilai korelasi yang lebih kuat dan akurat

Kata kunci: *Aerosol Optical Depth (AOD), Particulate Matter.*

1. PENDAHULUAN

Aerosol adalah partikel cair atau padat tersuspensi di atmosfer yang dapat mempengaruhi nilai energi radiasi, siklus hidrologi, sirkulasi atmosfer, proses dipermukaan tanah, dan iklim. Aerosol dapat menghamburkan dan menyerap radiasi infra merah dari panas matahari yang menyebabkan pemanasan troposfer dan pendinginan permukaan, mengubah kelembaban relatif dan stabilitas atmosfer, dan mempengaruhi pembentukan awan dan presipitasi. Aerosol secara tidak langsung dapat berperan dalam kualitas udara regional yang berdampak pada kesehatan manusia. Studi epidemiologi telah mengaitkan paparan massa partikulat dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan efeknya terhadap kesehatan seperti stroke, penyakit jantung penyakit pernafasan, hingga kematian. Aerosol memiliki variabilitas spasial dan temporal yang tinggi karena distribusinya yang heterogen, seperti; sumber, paruh waktu dan fitur episodik emisinya. Aerosol dapat berperan dalam kualitas udara dan berdampak pada kesehatan manusia. Pemantauan dan karakterisasi aerosol yang berkelanjutan dalam skala besar bergantung pada satelit penginderaan jauh (NESDIS, 2012).

Aerosol Optical Depth (AOD) adalah pengukuran kedalaman optik atau nilai pelemahan radiasi matahari yang masuk ke permukaan bumi secara kuantitatif yang dapat mewakili jumlah partikel-partikel aerosol di kolom atmosfer. Nilai AOD merupakan variable komprehensif yang merepresentasikan nilai aerosol untuk jarak jauh di atmosfer yang dapat dijadikan variable kunci dalam pemodelan iklim, pendekatan eksperimen aerosol dan verifikasi satelit (Kazadzis, 2017). Kegiatan sehari-hari manusia seperti perubahan tutupan lahan, pembakaran bahan bakar fosil, dan penghasilan partikulat dan spesies gas ke atmosfer sangat berpengaruh dan berdampak pada aerosol lokal. Salah satu sumber utama peningkatan aerosol di permukaan bumi adanya pembakaran biomassa. Menurut (Liu dkk., 2020) aerosol yang berasal dari pembakaran biomassa merupakan sumber utama partikel halus yang dapat mempengaruhi cuaca dan iklim melalui interaksi awan dan presipitasi dengan radiasi pada skala regional dan global.

Pengangkutan polutan udara dengan jarak menengah hingga jauh yang mencakup luas area ratusan hingga ribuan kilometer akan sulit dilakukan pemantauan menggunakan jaringan monitor berbasis darat yang jumlahnya terbatas. Mengingat cakupan spasial yang konsisten, data sensor satelit dapat sangat relevan digunakan untuk mengetahui pemantauan kualitas udara regional secara *real time* dan studi historis terhadap distribusi dan intensitas transportasi polutan jarak jauh. Partikulat merupakan partikel dengan diameter aerodinamis masing-masing kurang dari 10 dan 2,5 μm telah menjadi polutan yang berhasil dipelajari dengan baik oleh sensor satelit, karena partikel-partikel tersebut di atmosfer relatif mudah dideteksi karena dapat menyebarkan dan menyerap cahaya tampak, menghasilkan perubahan pantulan permukaan radiasi matahari tampak. Dengan cara ini, pengukuran data satelit memungkinkan pemetaan polutan di seluruh wilayah dalam periode waktu tertentu serta memahami distribusi polutan dan intensitas relatifnya dan dapat menghasilkan gambaran kualitas udara di perkotaan (Oanh, 2013).

Satelit penginderaan jauh menawarkan cara yang dinamis dan kuat untuk memantau kualitas udara ambien. Dengan kompetensi spesifik resolusi spasial dan temporal, satelit penginderaan jauh dapat mengatasi keterbatasan pada sistem pemantauan kualitas udara berbasis darat. Namun, pemantauan kualitas udara dengan menggunakan penginderaan jauh masih dalam tahap penelitian untuk membuktikan presisi, konsistensi, dan keandalannya. Sehingga, efeknya terutama pada iklim global masih sulit diprediksi. Sehingga, keakuratan dan kelengkapan pada sistem pemantauan nilai AOD dan instrumen pemantauan kualitas udara di permukaan sangat diperlukan (Ranjan, 2020).

2. METODOLOGI

Tinjauan pada studi literatur ini bertujuan untuk menganalisis bagaimana *Aerosol Optical Depth* dapat digunakan untuk memprediksi nilai partikulat di permukaan dan menganalisis hal-hal yang dapat mempengaruhi hubungan antara nilai aerosol dan partikulat. Pencarian pada subjek dilakukan dengan menggunakan basis data 10 tahun terakhir hingga tahun 2013: *Atmospheric Chemistry and Physics, Atmosphere, Earth and Space Science, Elsevier Science Direct, Remotesensing* dan *Springer*. Kata kunci yang digunakan pada pencarian: *Aerosol Optical Depth (AOD)*, Hubungan atau korelasi nilai AOD dan Partikulat ($\text{PM}_{2,5}$), *Remote Sensing* dan Pengukuran nilai AOD menggunakan satelit.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pencemaran Udara

Udara merupakan faktor penting yang dibutuhkan dalam kehidupan dan dapat mempengaruhi kesehatan manusia, makhluk hidup dan unsur lingkungan hidup lainnya. Dengan meningkatnya pembangunan fisik kota dan industri kualitas udara telah mengalami perubahan (Soedomo, 2001). Perubahan lingkungan udara pada umumnya disebabkan oleh pencemaran udara, menurut (*Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*) pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen pencemar udara ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga melampaui baku mutu udara ambien yang telah ditetapkan. Berdasarkan PP 22 Tahun 2021 sumber pencemar udara adalah setiap kegiatan manusia yang mengeluarkan pencemar udara ke dalam udara ambien. Menurut (Soedomo, 2001) sumber pencemaran dapat berasal dari kegiatan yang bersifat alami (natural) dan kegiatan antropogenik. Melalui program peraturan yang berfokus secara eksklusif pada polusi udara antropogenik, penting untuk dipahami bahwa alam berkontribusi terhadap polusi atmosfer dan, dalam beberapa kasus, menyebabkan masalah kualitas udara yang signifikan (Godish, 2004)

3.2 Particulate Matter

Particulate Matter atau PM adalah polutan udara yang terdiri dari campuran partikel padat dan cair yang tersuspensi di udara. Partikel ini tersuspensi bervariasi dalam ukuran, komposisi dan sumbernya (WHO, 2006). Partikulat adalah kategori luas polutan udara yang mencakup berbagai padatan kecil atau cairan yang bervariasi dalam ukuran dan komposisi kimia. Materi partikulat dapat disebabkan oleh sumber alam, seperti garam laut, debu, asap, dan abu vulkanik. Antropogenik utama sumber meliputi kegiatan industri (seperti pertambangan dan penggalian), pembakaran, jalan, pertanian, konstruksi, dan berbagai kegiatan penggilingan dan penghancuran. Pembakaran bahan bakar pada kendaraan dan pembangkit listrik adalah sumber paling signifikan dari partikel yang lebih kecil yang dinilai berpotensi sebagai yang paling berbahaya (CEC, 1997). PM_{2,5} merupakan partikel halus dengan diameter <2,5 µm dan umumnya berasal dari emisi langsung dari proses pembakaran serta pembentukan sekunder dari proses kimiawi atmosfer, sehingga umumnya terdiri dari lebih banyak spesies organik dibandingkan PM₁₀ (WHO, 2006).

3.3 Aerosol

Aerosol atmosfer adalah suspensi partikel padat atau cair di udara. Aerosol berada udara dan sering terlihat sebagai debu, asap, dan kabut. Proses alami dan manusia berkontribusi pada konsentrasi aerosol. Secara global, massa aerosol sebagian besar berasal dari sumber alami, terutama garam laut dan debu. Namun, aerosol antropogenik (buatan manusia), yang timbul terutama dari berbagai sumber pembakaran, dapat mendominasi di dalam dan di bawah arah angin di daerah berpenduduk padat dan industri, dan di daerah dengan pembakaran pertanian yang intens. Istilah "aerosol atmosfer" mencakup berbagai jenis partikel yang memiliki komposisi, ukuran, bentuk, dan sifat optik yang berbeda. Pemuatan aerosol, atau jumlah di atmosfer, biasanya diukur dengan konsentrasi massa atau dengan ukuran optik, kedalaman optik aerosol (AOD). AOD adalah integral vertikal melalui seluruh ketinggian atmosfer dari fraksi cahaya datang baik yang dihamburkan atau diserap oleh partikel di udara. Biasanya model numerik dan pengamatan in situ menggunakan konsentrasi massa sebagai ukuran utama pembebanan aerosol, sedangkan sebagian besar metode penginderaan jauh dapat mengukur data AOD (Kahn, 2009).

3.4 Aerosol Optical Depth (AOD)

Aerosol Kedalaman Optik (AOD) atau Ketebalan Optik Aerosol (AOT) adalah pengukuran berbagai aerosol (misal seperti: kabut perkotaan, partikel asap, gurun debu, garam laut) yang didistribusikan dalam kolom udara, atau sejauh mana aerosol mencegah transmisi cahaya dari permukaan tanah ke atas atmosfer. Koefisien pelemahan cahaya pada aerosol atmosfer dalam kolom vertikal dari permukaan tanah hingga puncak atmosfer sering digunakan untuk penilaian yang berbeda. Jadi, AOD atau AOT, yang mana berkorelasi kuat dengan konsentrasi partikulat halus, telah menjadi indikator untuk mempelajari dampak aerosol (Wei dkk., 2019).

Aerosol Optical Depth (AOD) (juga disebut ketebalan optik aerosol, AOT, dalam literatur) adalah ukuran jumlah cahaya insiden baik yang tersebar atau diserap oleh partikel udara. Secara formal, kedalaman optik aerosol adalah kuantitas tanpa dimensi, integral dari produk konsentrasi jumlah partikel dan penampang kepunahan partikel (yang menjelaskan hamburan + penyerapan partikel individu), sepanjang jalur panjang melalui atmosfer, biasanya diukur secara vertikal (Kahn, 2009). *Aerosol Optical Depth* atau AOD adalah ukuran kuantitatif dari pelemahan radiasi matahari oleh muatan aerosol pada kolom udara atmosfer. AOD adalah satu-satunya variabel yang paling komprehensif untuk pengukuran jarak jauh menilai beban aerosol di atmosfer. AOD dapat dijadikan sebagai variabel kunci dalam pemodelan iklim, percobaan dalam pendekatan nilai aerosol dan verifikasi satelit. Pengukuran optik penghilangan atau penurunan cahaya ini digunakan untuk mewakili jumlah aerosol secara keseluruhan kolom atmosfer. AOD adalah nilai tanpa unit dan bergantung pada panjang gelombang (Kazadzis, 2017).

3.5 Hubungan AOD dan Pencemaran Udara

Studi korelasi dengan pengukuran berbasis darat telah menemukan AOD sebagai proksi yang baik untuk partikel halus. Penerapan data satelit untuk pemantauan PM menggunakan pengukuran AOD (Oanh, 2013). Munculnya satelit penginderaan jauh menawarkan sebuah dinamika dan cara yang kuat untuk memantau kualitas udara ambien. Karena kompetensi spesifik resolusi spasial dan temporal, itu memiliki potensi besar untuk mengatasi keterbatasan sistem pemantauan kualitas udara berbasis darat (terutama, PM dan AOD). Namun, pemantauan kualitas udara berbasis penginderaan jauh satelit masih dalam tahap penelitian untuk membuktikan ketepatannya, konsistensi, dan keandalan. Dengan demikian, banyak bagian lanjutan dari penelitian tergantung pada untuk mengembangkan yang lebih tepat, konsisten, dan cara yang andal untuk pemantauan kualitas udara, khususnya, estimasi konsentrasi AOD dan PM.

Studi-studi ini sebagian besar menemukan hubungan linier, meskipun dengan variasi koefisien korelasi (Oanh, 2013). Sejangkau ini, banyak pendekatan (misalnya empiris-statistik model, model semi-empiris, model transportasi kimia, model korelasi vertikal, antara lain) yang terkenal untuk estimasi PM dari kumpulan data AOD berbasis satelit dapat ditinjau menggunakan metode statistik berbasis regresi (misalnya regresi linier, regresi berganda, penggunaan lahan model regresi, regresi berbobot geografis, dll.) bersama dengan pendekatan pemodelan lain yang digunakan dalam prediksi konsentrasi PM dari level AOD berbasis satelit. Pendekatan berbasis regresi cukup sederhana dibandingkan dengan metode lain untuk memprediksi konsentrasi PM permukaan tanah dari satelit berdasarkan AOD (Ranjan, 2020).

Tabel 1. Hasil penelitian terdahulu mengenai hubungan antara AOD dan PM_{2,5}

Referensi	Tujuan Penelitian	Sumber Data AOD dan PM	Hasil Penelitian
(Tsai dkk., 2011)	Studi ini menggunakan sunphotometer, lidar, dan pengukuran partikulat permukaan untuk menilai produk MODIS AOD untuk pemantauan kualitas udara di Taiwan.	AERONET (MODIS AOD)	Pengambilan MODIS AOD mengungkapkan validasi yang memuaskan terhadap pengukuran AERONET dengan koefisien korelasi 0,91 selama Terra dan 0,83 selama overpass Aqua pada periode 2006-2008. Hubungan AOD dipengaruhi oleh musim.
(Chudnovsky dkk., 2013)	Dalam penelitian ini, penulis menerapkan pendekatan model efek campuran untuk pengambilan kedalaman optik aerosol (AOD). Satelit Lingkungan Operasional Geostasioner (GOES) untuk memprediksi konsentrasi PM _{2.5} di wilayah New England Amerika Serikat.	Satelit Lingkungan Operasional Geostasioner (GOES)	Konsentrasi massa PM _{2.5} yang diprediksi model sangat berkorelasi dengan yang sebenarnya pengamatan, $R^2 = 0,92$. Diperoleh variasi data distribusi spasial (harian).
(Lin dkk., 2014)	Penelitian ini melakukan pengukuran terhadap kedalaman optic aerosol (AOD) di daerah Cina Timur dengan menggunakan data set visibilitas per-3 jam, menggunakan model transportasi kimia GOES-Chem untuk menginterpretasikan hubungan aerosol yang bervariasi antara kolom dan dekat permukaan, pengukuran difokuskan pada tahun 2006 dalam kondisi bebas awan.	AERONET (MODIS AOD), CARSNET dan CSHNET	Data MODIS AOD terbukti konsisten dengan data AOD dari tiga jaringan darat (AERONET, CARSNET dan CSHNET) dengan bias negatif kecil 0,05-0,08 dan kemiringan regresi RMA mendekati angka 1 (satu).
(Han dkk., 2015)	Studi ini mengevaluasi dampak <i>aloft-aerosol-plume</i> dan <i>aerosol-type</i> pada korelasi AOD-PM selama bulan april-juli 2011 di Kota Nanjing. Selain itu juga dilakukan analisis untuk evaluasi produk MODIS-AOD Target gelap (DT) dan Biru tua (DB).	Raman-Mie Lidar, CIMEL sunphotometer, PM (TEOM), serta data satelit MODIS dan CALIPSO	Korelasinya dengan PM, MODIS-DT AODs menunjukan korelasi yang baik ($R = 0,89$) dan MODIS-DB AOD menunjukan korelasi moderat ($R = 0,66$) dengan intersep regresi yang lebih kecil. Korelasi yang cukup tinggi MODIS AOD dan PM ₁₀ PM _{2.5} menunjukan kelayakan estimasi PM menggunakan MODIS-AOD di Kota Nanjing.
(Guo dkk., 2016)	Pada penelitian ini, menyelidiki siklus diurnal PM _{2,5} di China, menggunakan pengukuran berbasis darat yang diperoleh di 226 lokasi di China.	CAWNET, MODIS AOD	Hasil menunjukan bahwa variasi PM _{2,5} dipengaruhi oleh waktu pengambilan sampel pagi dan sore hari. Peta lokasi grid mengungkapkan variasi korelasi di sekitar masing-masing lokasi pengambilan PM _{2.5} bergantung pada lokasi dan musim. Faktor meteorologi dapat menjelaskan berbagai nilai R.

Referensi	Tujuan Penelitian	Sumber Data AOD dan PM	Hasil Penelitian
(Kokkalis, 2018)	Pengukuran Aerosol Optical Depth (AOD) di atas Kuwait, di tepi timur gurun Arab. Penelitian ini menganalisis sepuluh tahun (2008–2017) dianalisis dengan dataset berbasis darat jangka panjang.	Fotometer matahari-langit CIMEL, pada berbagai panjang gelombang	AOD rata-rata harian pada 500 nm (AOD500) adalah 0,45 dan dari pasangan panjang gelombang 440 dan 870 nm, adalah 0,61. Nilai AOD500 tinggi yang diamati (0,75–2,91), disebabkan oleh pasir regional dan peristiwa badai debu.
(Yang dkk., 2019)	Dalam penelitian ini, hubungan antara PM _{2.5} dan AOD dianalisis di 368 kota di Daratan Cina dari Februari 2013 – Desember 2017, di berbagai skala temporal dan regional.	PM (TEOM) atau <i>beta attenuation monitor</i> , MODIS AOD	Secara spasial ditemukan korelasi lebih tinggi di Beijing-Tianjin-Hebei dan daerah Chengyu dan korelasi lebih lemah di daerah pesisir. Rasio PM _{2.5} /AOD menunjukkan perbedaan antara arah utara-selatan, rasio di Cina Utara lebih tinggi dari Cina Selatan. Secara temporal, koefisien korelasi cenderung lebih tinggi pada musim dingin dan lebih rendah pada musim panas dan penelitian mendeteksi adanya kecenderungan penurunan korelasi dan rasio PM _{2.5} AOD pada beberapa tahun terakhir.
(Kang dkk., 2020)	Penelitian ini bertujuan untuk melihat evolusi temporal konsentrasi PM dan hubungannya dengan faktor meteorologi pada kedalaman optik aerosol (AOD) selama musim gugur dan musim dingin 2014-2017 pada kota Nanjing di Delta Sungai Yangtze, Cina Timur.	PM (TEOM) atau <i>beta attenuation monitor</i> , MODIS AOD	Rasio rata-rata PM _{2.5} /PM ₁₀ adalah sekitar ~0,57 untuk seluruh masa studi. Dengan kontribusi lebih rendah (0,53) di musim gugur dan lebih tinggi (0,60) di musim dingin.
(Marcello dkk., 2021)	Penelitian ini diambil pada saat terjadinya pandemi Covid-19, sehingga dilakukan pemanfaatan pemantauan kualitas udara dengan metode pengindraan jarak jauh menggunakan satelit, yang dapat mengidentifikasi suatu objek atau fenomena tanpa adanya kontak langsung dengan objek tersebut.	Satelit MERRA-2, oleh satelit Giovanni	Hasil data satelit menunjukkan konsentrasi AOD cenderung lebih tinggi pada 2019 dibandingkan 2020. Pada 2020 konsentrasi AOD dari Maret masih meningkat, tertinggi Agustus (0,3052) dan menurun hingga Desember (0,1508). Citra satelit MERRA-2 menunjukkan nilai konsentrasi AOD tertinggi terjadi pada bulan Agustus, saat pandemi COVID-19 masih berlangsung.
(Shahid, 2022)	Emisi polutan atmosfer meningkat pesat di Asia Selatan, , pada studi ini menyelidiki pola dan tren aerosol di beberapa kota besar di Dataran Indo-Gangga Asia Selatan, yaitu Islamabad, Lahore, Delhi, dan Dhaka dari tahun 2000-2020	Satelit MERRA-2 & MODIS	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa MODIS-aerosol optical depth (AOD) musiman selama 2000–2020 di Lahore adalah 0,5, 0,52, 0,92, dan 0,71, sedangkan di Islamabad 0,25, 0,32, 0,45, dan 0,38, di Delhi 0,68, 0,6, 1,0, dan 0,77, dan di Dhaka nilai 0,79, 0,75, 0,78 dan 0,55 diamati selama musim yang berbeda, yaitu, musim dingin, musim semi, musim panas, dan musim gugur, masing-masing. Penelitian ini memberikan variasi spasial dan temporal aerosol di kawasan Asia Selatan.

3.5.1 Distribusi Spasial dan Temporal

Kumpulan data berbasis darat juga memiliki keterbatasan yang menghambat perbandingannya dengan data satelit. Dalam beberapa kasus, data jangka panjang yang konsisten diperlukan untuk mengembangkan hubungan statistik yang signifikan antara data satelit dan data pemantauan darat. Untuk beberapa lokasi global, rangkaian data lama ini tidak tersedia atau memiliki kesenjangan data yang signifikan. Kesenjangan data yang besar saat membandingkan data monitor dengan data satelit harian. Program pemantauan di beberapa negara menempatkan pemantau di lokasi polusi yang sangat terlokalisasi (misalnya, pinggir jalan), yang tidak secara akurat mewakili tingkat polusi regional sekitar yang diukur oleh satelit (Oanh, 2013).

Mengingat keterbatasan ini, nilai data satelit untuk pemantauan PM berasal dari integrasi data berbasis ruang angkasa dan berbasis darat. Setiap kumpulan data memiliki kekuatan dan kelemahannya masing-masing, dan keduanya saling melengkapi untuk membuat seperangkat alat yang efektif untuk pemantauan kualitas udara. Analisis hasil dapat dilakukan termasuk (a) distribusi spasial AOD dan PM selama episode polusi PM di seluruh negeri dan (b) regresi linier antara AOD dan PM per jam di stasiun terpilih dengan pertimbangan ukuran grid data AOD, penyaringan awan, dan kondisi meteorologi lokal lainnya (kelembaban relatif dan kecepatan angin). Secara umum, data AOD satelit secara kualitatif dapat memberikan gambaran kualitas udara PM. Efek rata-rata, yang berbeda untuk nilai MODIS AOD (secara spasial lebih dari 10 x 10 km² dan secara temporal dalam waktu singkat per hari) dan pengukuran tanah PM (secara spasial pada satu titik dan secara temporal selama 3 hari episode), dapat memberikan hasil berbeda (Oanh, 2013).

3.5.2 Pengaruh Faktor Meteorologis dan Musim

Keakuratan penggunaan data satelit untuk memperkirakan konsentrasi massa tanah bergantung pada kekuatan hubungan regresi antara massa AOD dan PM, yang bergantung pada keakuratan pengukuran AOD dan PM yang diambil serta faktor lainnya, seperti kondisi meteorologi lokal. Karena data AOD mengukur hamburan cahaya dari beban aerosol kolumnar terintegrasi dari tanah hingga bagian atas atmosfer dan konsentrasi massa PM mengukur konsentrasi massa partikulat di permukaan tanah, hubungan antara konsentrasi massa PM dan AOD mungkin sebagian bergantung pada meteorologi seperti, kelembaban relatif (RH), dan kecepatan angin (WS) (Oanh, 2013)

Pada prinsipnya, RH ambien dapat secara signifikan mempengaruhi hubungan AOD-PM dengan mengubah sifat hamburan cahaya aerosol karena sifat higroskopisnya. Semakin tinggi RH, semakin besar porsi cahaya yang dihamburkan dan semakin tinggi nilai AOD yang terukur. WS permukaan memiliki peran penting dalam pembentukan dan penyebaran aerosol, yang juga ditunjukkan konsentrasi partikulat dapat tereduksi ketika WS meningkat. Banyak variabel meteorologi yang dapat mempengaruhi hubungan AOD dan PM, sehingga pendekatan analisis multivariat dapat menjelaskan keterkaitan hubungan kompleks antara AOD, PM dan Faktor meteorologis (Oanh, 2013)

4. KESIMPULAN

Hubungan antara nilai konsentrasi PM_{2,5} menunjukan korelasi yang positif dan signifikan yang berarti konsentrasi parameter kualitas udara PM_{2,5} dengan nilai AOD memiliki tren yang sama. Koefisien regresi memberikan hasil kualitatif terhadap hubungan nilai AOD dan PM dan menjelaskan hubungan positif. Distribusi nilai pemantauan AOD dan PM akan berbeda berdasarkan variasi temporal. Namun, perlu dilakukan faktor koreksi untuk menghasilkan nilai korelasi yang lebih kuat dan akurat.

DAFTAR RUJUKAN

- CEC. (1997). *Continental Pollutant Pathways*. Qu bec, Canada COMMISSION FOR ENVIRONMENTAL COOPERATION.
- Chudnovsky, A. A., Kostinski, A., Lyapustin, A., dan Koutrakis, P. (2013). Spatial scales of pollution from variable resolution satellite imaging. *Environmental Pollution*, 172, 131-138.
- Godish, T. (2004). *Air Quality 4th Edition*. Boca Raton, Florida: CRC Press LLC.
- Guo, J., Xia, F., Zhang, Y., Liu, H., Li, J., Lou, M., He, J., Yan, Y., Wang, F., Min, M., dan Zhai, P. (2016). Impact of diurnal variability and meteorological factors on the PM_{2.5} - AOD relationship: Implications for PM_{2.5} remote sensing. *Environmental Pollution*, 1-11.
- Han, Y., Wu, Y., Wang, T., Zhuang, B., Li, S., dan Zhao, K. (2015). Impacts of elevated-aerosol-layer and aerosol type on the correlation of AOD and particulate matter with ground-based and satellite measurements in Nanjing, southeast China. *Science of the Total Environment*, 532, 195-207.
- Kahn, R. A. (2009). *Atmospheric Aerosol Properties and Climate Impacts*. Washington, D. C., USA: National Aeronautics and Space Administration.
- Kang, N., Deng, F., Khan, R., Kumar, K. R., Hu, K., Yu, X., Wang, X., dan Latha Devi, N. S. M. P. (2020). Temporal variations of PM concentrations, and its association with AOD and meteorology observed in Nanjing during the autumn and winter seasons of 2014–2017. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 203, 105273. doi:10.1016/j.jastp.2020.105273
- Kazadzis, S. (2017). Aerosol optical depth ground-based sensors, homogenization activities between different networks.
- Kokkalis, P. (2018). Long-Term Ground-Based Measurements of Aerosol Optical Depth over Kuwait City. *remote sensing*, 10(1807).
- Lin, J., Donkelaar, A. A. v., Xin, J., Che, H., dan Wang, Y. (2014). Clear-sky aerosol optical depth over East China estimated from visibility measurements and chemical transport modeling. *Atmospheric Environment*, 95, 258-267.
- Liu, L., Cheng, Y., Wang, S., Wei, C., Pöhlker, M. L., Pöhlker, C., Artaxo, P., Shrivastava, M., Andreae, M. O., Pöschl, U., dan Su, H. (2020). Impact of biomass burning aerosols on radiation, clouds, and precipitation over the Amazon: relative importance of aerosol–cloud and aerosol–radiation interactions. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(21), 13283-13301. doi:10.5194/acp-20-13283-2020
- Marcello, A., Yulinawati, H., dan Siami, L. (2021). PANTAUAN SATELIT PERSEBARAN AEROSOL OPTICAL DEPTH DI PULAU JAWA WILAYAH BARAT DI ERA PANDEMI COVID-19. *ESEC Teknik Lingkungan*, 2(1).
- NESDIS, N. (2012). GOES-R Advanced Baseline Imager (ABI) Algorithm Theoretical Basis Document For Suspended Matter/Aerosol Optical Depth and Aerosol Size Parameter.

- Oanh, N. T. K. (2013). *Integrated Air Quality Management Asian Case Studies* Boca Raton, London: CRC Press.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 22 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup.*
- Ranjan, A. K. (2020). A Review on Estimation of Particulate Matter from Satellite-Based Aerosol Optical Depth: Data, Methods, and Challenges. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 57, 679–699. doi:<https://doi.org/10.1007/s13143-020-00215-0>
- Shahid, I. (2022). Long-Term Variability of Aerosol Concentrations and Optical Properties over the Indo-Gangetic Plain in South Asia. *Atmosphere MDPI*, 13(1266).
- Soedomo, M. (2001). *Pencemaran Udara*. Bandung: ITB.
- Tsai, T.-C., Jeng, Y.-J., Chu, D. A., Chen, J.-P., dan Chang, S.-C. (2011). Analysis of the relationship between MODIS aerosol optical depth and particulate matter from 2006 to 2008. *Atmospheric Environment*, 45, 4777-4788.
- Wei, X., Chang, N.-B., Bai, K., dan Gao, W. (2019). Satellite remote sensing of aerosol optical depth: advances, challenges, and perspectives. *Taylor & Francis*. doi:10.1080/10643389.2019.1665944
- Health Risks of Particulate Matter from Long-range Transboundary Air Pollution, (2006).
- Yang, Q., Yuan, Q., Yue, L., Li, T., Shen, H., dan Zhang, L. (2019). The relationships between PM_{2.5} and aerosol optical depth (AOD) in mainland China: About and behind the spatio-temporal variations. *Environmental Pollution*(248), 526-535.