

Estimasi Konsentrasi *Particulate Matter* 10 (PM₁₀) Menggunakan Citra Landsat 8 OLI di Kawasan Jabodetabek Tahun 2017-2019

Ratna Widya Lestari

lestari.ratnawidya@gmail.com

Retnadi Heru Jatmiko

retnadih@ugm.ac.id

Abstrak

Kegiatan monitoring kualitas udara perlu dilakukan dalam rangka pemenuhan kebutuhan monitoring lingkungan, dalam hal ini udara sebagai kebutuhan vital bagi keberlangsungan makhluk hidup terutama manusia. Pemanfaatan data penginderaan jauh dalam monitoring kualitas udara dibutuhkan untuk menunjang keterbatasan metode berbasis stasiun dalam melakukan pengukuran kualitas udara. Salah satu parameter indikator pengukuran kualitas udara adalah PM₁₀. Penelitian ini bertujuan untuk menilai akurasi data citra Landsat 8 OLI untuk memodelkan konsentrasi PM₁₀ di Kawasan Jabodetabek. Metode *Aerosol Retrieval Algorithm* digunakan dalam memodelkan konsentrasi PM₁₀ berdasarkan hubungan linier antara nilai pantulan atmosferik (ρ_{atm}) pada saluran tampak Landsat 8 OLI yang meliputi saluran biru, hijau, dan merah dengan data PM₁₀ lapangan. Uji akurasi model dilakukan dengan metode SEE. Hasil menunjukkan bahwa metode *Aerosol Retrieval Algorithm* dapat digunakan dalam memodelkan konsentrasi PM₁₀ yang ditunjukkan dengan nilai akurasi model yang tinggi. Perolehan nilai SEE yang rendah sebesar 4.94031, menyebabkan nilai akurasi tinggi sebesar 91.87% hingga 93.13%.

Kata kunci: konsentrasi PM₁₀, penginderaan jauh, Landsat 8 OLI, *Aerosol Retrieval Algorithm*

Abstract

Air quality monitoring needs to be carrying out for environmental monitoring. The utilization of remote sensing data is required to support the limitations of the station-based methods in air quality monitoring. One of the parameters for measuring air quality is PM₁₀. This research proposed to assess the accuracy of the Landsat 8 OLI for modeling PM₁₀ in the Jabodetabek area. The Aerosol Retrieval Algorithm had used for modeling PM₁₀ concentration based on the linear correlation between atmospheric reflectance (ρ_{atm}) with PM₁₀ ground data. The validation test had been carried out with PM₁₀ data using the SEE method. The accuracy of the model showed high accuracy with a low SEE value of 4.94031 and causes the result of accuracy is high, namely 91.87% to 93.13%.

Keywords: PM₁₀ concentration, remote sensing, Landsat 8 OLI, Aerosol Retrieval Algorithm

I. PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan salah satu isu serius, mengingat kebutuhan akan udara bersih menjadi kebutuhan vital bagi keberlangsungan makhluk hidup (Qu *et al.*, 2013). Kawasan Jabodetabek sebagai salah satu kawasan metropolitan mempunyai masalah terkait rendahnya kualitas udara. Laporan *airvisual.com* pada tahun 2019 menyorot 3

daerah di kawasan Jabodetabek yaitu Tangerang Selatan, Bekasi dan Jakarta sebagai kota paling berpolusi di kawasan regional Asia Tenggara, sedangkan dalam skala global, Jakarta mendapat perhatian karena menempati posisi 5 teratas menemani Delhi (India), Dhaka (Bangladesh), Ulaanbaatar (Mongolia), dan Kabul (Afganistan) sebagai wilayah dengan kualitas udara terburuk di dunia. Rentang bulan Agustus-Oktober 2019, kawasan Jabodetabek

memiliki AQI (*Air Quality Index*) rata-rata >150. Angka tersebut jauh berada diatas Nilai Ambang Batas (NAB) kualitas udara yang telah ditetapkan yaitu 100, berdasarkan Keputusan Menteri No.45 Tahun 1997. Besaran angka tersebut secara konsisten terjadi, mengingat kondisi ini dibarengi dengan puncak musim kemarau yang ada di Indonesia.

Polusi udara terjadi akibat adanya peningkatan jumlah partikulat atau zat-zat berbahaya di udara. Partikulat tersebut dapat ditimbulkan oleh adanya aktivitas antropogenik dan fenomena alami. Partikel di atmosfer sering disebut dengan aerosol. Kajian kualitas udara sering menyebut aerosol dengan istilah *particulate matter* (Othman *et al.*, 2010). *Particulate matter* (PM) memiliki efek yang signifikan dalam kualitas udara. Jumlah *particulate matter* yang semakin tinggi menggambarkan kualitas udara yang semakin rendah. Salah satu indikator yang digunakan dalam monitoring kualitas udara adalah konsentrasi *particulate matter* 10 (PM₁₀). *Particulate matter* 10 (selanjutnya disebut PM₁₀) merupakan partikel dengan ukuran diameter kurang dari 10 µm. Joshi *et al* (2019) menyebutkan bahwa PM₁₀ merupakan komponen terbesar pada polusi udara yang mengancam kesehatan dan lingkungan.

Saat ini, informasi PM₁₀ diperoleh melalui pengukuran stasiun pengukuran lapangan. Pengukuran secara langsung (*ground measure*) yang memiliki keterbatasan dari aspek cakupan area kajian yang diukur dan biaya pengadaan instrumen yang relatif mahal (Saleh *et al.*, 2014). Tersedianya berbagai instrumen dan data yang lebih bervariasi, dimulai dari lingkup kajian berbagai skala, resolusi temporal yang dapat merekam dinamika perubahan suatu fenomena hingga perbedaan kemampuan dalam menangkap panjang gelombang tertentu menjadi kelebihan data penginderaan jauh guna

melengkapi kedua keterbatasan tersebut (Cahyo, 2018).

Telah banyak dilakukan pengkajian terhadap masalah kualitas udara yang berfokus pada aerosol atau partikulat udara pada lingkup skala urban. Othman *et al* (2010) mengkaji penggunaan Landsat 7 ETM+ untuk melakukan pemodelan PM₁₀. Kajian dilakukan dengan menggunakan nilai pantulan atmosferik (ρ_{atm}) dalam melakukan ekstraksi konsentrasi PM₁₀. Hasil model mengindikasikan tingkat nilai akurasi yang tinggi dengan nilai R sebesar 0,89. Luo *et al* (2015) melakukan pemodelan konsentrasi PM₁₀ yang diturunkan dari nilai AOT pada panjang gelombang 550 nm. Tingkat akurasi model PM₁₀ yang dihasilkan Landsat lebih tinggi, yaitu dengan R² sebesar 0,32 dibandingkan dengan produk AOT MODIS MOD04 dengan R² sebesar 0,23. Santoso (2019) kemudian melakukan penelitian kembali dengan merujuk pada penelitian tersebut, dimana dalam penelitiannya dihasilkan akurasi model sebesar 82,9-84,48%. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai akurasi citra Landsat 8 OLI dalam melakukan estimasi konsentrasi PM₁₀.

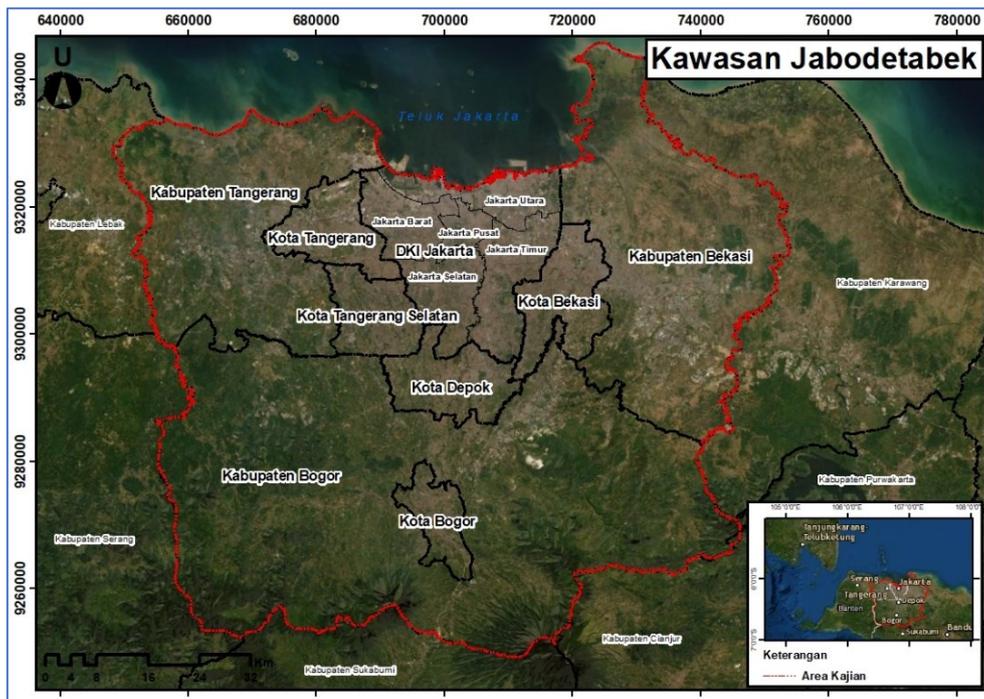
II. METODE PENELITIAN

Area Kajian

Kajian penelitian dilakukan di Kawasan Jabodetabek, yang secara administratif mencakup 3 provinsi yaitu Provinsi DKI Jakarta, Provinsi Jawa Barat (Kabupaten Bogor, Kabupaten Bekasi, Kota Bekasi, Kota Depok), dan Provinsi Banten (Kabupaten Tangerang, Kota Tangerang, dan Kota Tangerang Selatan). Sesuai dengan Instruksi Presiden No.13 Tahun 1976 tentang pengembangan kawasan Jabodetabek, menetapkan wilayah disekitar Jakarta yang meliputi Depok-Tangerang-Bekasi sebagai wilayah penyangga.

Kawasan Jabodetabek menurut PP RTRWN Tahun 2008 merupakan Kawasan Strategis Nasional yang merupakan pusat perekonomian wilayah nasional. Data Badan Perencanaan Pembangunan Nasional (BPPN) tahun 2013 menyebutkan bahwa penggunaan lahan di kawasan Jabodetabek didominasi oleh lahan

terbangun. Lahan terbangun didalamnya meliputi kawasan industri yang tersebar di seluruh kawasan Jabodetabek terutama yang terkonsentrasi di wilayah Tangerang, Bekasi, dan Bogor. Selain itu, kawasan Jabodetabek juga di kelilingi oleh sekitar 29 Jalan Tol.



Gambar 1. Kawasan Jabodetabek

Berdasarkan profil melintang yang diperoleh melalui *Google Earth* (Gambar 2) diketahui bahwa kawasan Jabodetabek memiliki topografi yang beragam dengan elevasi 0 – 2986 m dpl. Dimulai dari dataran rendah yang meliputi Jakarta, Bekasi, Tangerang, dan Depok bagian utara (15-100 mdpl),

bergelombang meliputi Depok bagian selatan hingga Kabupaten Bogor bagian Utara (100-500 mdpl), pegunungan meliputi Bogor bagian tengah (500-1000 mdpl), pegunungan tinggi (1000-2000 mdpl), dan puncak gunung tinggi meliputi Kabupaten Bogor bagian selatan (2000-2986 mdpl).



Gambar 2. Profil melintang kawasan Jabodetabek

Alat dan Bahan

Data citra yang digunakan adalah Landsat 8 OLI dengan *path* 122 dan *row* 64 yang meliputi area kajian. Pemilihan *scene* citra dilakukan dengan memperhatikan tutupan awan paling sedikit pada tahun pengamatan yang digunakan. Berdasarkan karakteristik tersebut, maka didapatkan 6 *scene* citra dengan tanggal perekaman berbeda. Citra Landsat yang diunduh memiliki level koreksi L1TP, level tersebut mengartikan bahwa citra telah terorthorektifikasi menggunakan *Ground Control Point* (GCP) dan *Digital Elevation Model* (DEM). Data lapangan yang digunakan adalah data PM₁₀ dan parameter meteorologi. Data PM₁₀ diperoleh dari pengukuran stasiun pengamatan kualitas udara oleh Dinas Lingkungan Hidup.

Metode

Koreksi *At-sensor Radiance*

Proses koreksi radiometrik diawali dengan proses perubahan nilai *Digital Number* (DN) menjadi nilai *radiance*. Metode perhitungan nilai radiance dilakukan dengan menggunakan metode *gain* dan *offset* yang dapat dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut:

$$L(\lambda) = \text{Gain}_\lambda * BV_\lambda + \text{Offset}_\lambda$$

Diketahui dengan $L(\lambda)$ adalah nilai radiance ($\text{Watt m}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$) dan BV_λ adalah nilai DN.

Koreksi TOA *Reflectance*

Tahap selanjutnya adalah koreksi TOA *Reflectance*. Perolehan nilai TOA *Reflectance* dapat diperoleh melalui persamaan sebagai berikut:

$$\rho_{\text{TOA}(\lambda)} = \frac{\pi L(\lambda) d^2}{ESUN_\lambda \mu_s}$$

Dimana, $\rho_{\text{TOA}(\lambda)}$ adalah TOA *Reflectance*, $L(\lambda)$ adalah nilai radiance pada sensor, d adalah jarak matahari dengan bumi, $ESUN_\lambda$ adalah radiasi matahari pada *top of atmosphere*, dan μ_s adalah sudut *cosinus* dari sudut zenith matahari.

Perolehan Pantulan Permukaan)

Pantulan permukaan (*surface reflectance*) diperoleh melalui produk pantulan permukaan (*surface reflectance product*) untuk citra Landsat 8 OLI yang tersedia di website pengunduhan data USGS. Informasi pantulan permukaan (ρ_s) dibutuhkan untuk menghitung nilai pantulan atmosfer (ρ_{atm}).

Perolehan Pantulan Atmosferik

Perolehan nilai pantulan atmosfer dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\rho_{\text{atm}} = \rho_{\text{TOA}} - \rho_s$$

Dengan, ρ_{atm} merupakan nilai pantulan atmosferik, ρ_{TOA} merupakan nilai pantulan TOA, dan ρ_s adalah nilai pantulan permukaan.

Ekstraksi Konsentrasi PM₁₀

Teori hamburan Mie diterapkan untuk menghitung fungsi fase aerosol dan kedalaman optik spektral berdasarkan distribusi ukuran, indeks nyata dan imajiner (King *et al.*, 1999; Fukushima *et al.*, 2000).

$$\rho_a(\theta_s, \theta_v, \phi) \approx \frac{\omega_o \tau_a P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)}{4\mu\mu_o}$$

Dimana, ρ_a adalah hamburan aerosol Mie, ω_o adalah *single scattering albedo*, τ_a adalah *Aerosol Optical Thickness* (AOT), $P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)$ adalah fungsi fase hamburan aerosol, μ adalah *cosines of the view direction*, dan μ_o adalah *cosines of the illumination direction*.

Pada pendekatan hamburan tunggal nilai pantulan atmosferik sebanding dengan ω_o (*single scattering albedo*), τ_a (*Aerosol Optical Thickness*) (AOT), dan $P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)$ (fungsi fase hamburan aerosol) (Popp *et al.*, 2004).

$$\rho_{atm}(\theta_s, \theta_v, \phi) = \rho_m(\theta_s, \theta_v, \phi) + \tau_a \left(\frac{\omega_o P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)}{4\mu\mu_o} \right)$$

ρ_m adalah hamburan Rayleigh, θ_s adalah sudut zenith matahari, θ_v adalah sudut *viewing zenith*, dan ϕ adalah sudut azimuth relatif. Persamaan tersebut kemudian dapat disusun kembali menjadi persamaan sebagai berikut:

$$\tau_a = \left(\frac{4\mu\mu_o}{\omega_o P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)} \right) \rho_{atm}(\theta_s, \theta_v, \phi) - \rho_m(\theta_s, \theta_v, \phi)$$

Dengan mengabaikan hamburan Rayleigh (Paronis & Hatzopoulos, 1997; Kaufman & Tanre, 1998). Hal tersebut dikarenakan, dengan menggunakan teori hamburan Mie sudah dapat menggambarkan partikel dalam hamburan tersebut, termasuk hamburan Rayleigh (Hahn, 2009).

$$\tau_a = \left(\frac{4\mu\mu_o}{\omega_o P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)} \right) \rho_{atm}(\theta_s, \theta_v, \phi)$$

Parameter *Single Scattering Albedo* (ω_o), fungsi fase hamburan aerosol ($P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)$), *cosines of the view direction* (μ), dan adalah *cosines of the illumination direction* (μ_o) dapat

diestimasi dengan mengganti sebagai nilai koefisien (a_j) (Shaheen *et al.*, 2017) seperti yang tertera pada persamaan sebagai berikut:

$$a_j = \left(\frac{4\mu\mu_o}{\omega_o P_a(\theta_s, \theta_v, \phi)} \right)$$

Dengan melakukan substitusi konstanta parameter tersebut, maka diperoleh persamaan untuk perolehan nilai AOT (τ_a) menjadi persamaan:

$$\tau_a = a_j \rho_{atm}(\theta_s, \theta_v, \phi)$$

Persamaan diatas menggambarkan hubungan linier antara τ_a (AOT) dengan nilai pantulan atmosferik (ρ_{atm}). Othman *et al* (2010) menggunakan hubungan tersebut sebagai dasar dalam menurunkan menjadi menjadi persamaan berikut:

$$\tau_{a(\lambda)} = a + a_j \rho_{atm(\lambda i)}$$

Persamaan diatas dapat dimodifikasi untuk *multi band* ditulis menjadi:

$$\tau_{a(\lambda)} = a + a_1 \rho_{atm(\lambda 1)} + a_2 \rho_{atm(\lambda 2)} + \dots + a_j \rho_{atm(\lambda i)}$$

Asumsi bahwa nilai AOT berbanding lurus dengan PM₁₀ tersebut yang digunakan sebagai dasar dalam melakukan substitusi nilai AOT dengan PM₁₀ menjadi persamaan sebagai berikut:

$$PM_{10} = a + a_1 \rho_{atm(\lambda 1)} + a_2 \rho_{atm(\lambda 2)} + \dots + a_j \rho_{atm(\lambda i)}$$

$\rho_{atm(\lambda i)}$ adalah nilai pantulan atmosferik ($i = 1, 2, \text{ dan } 3$, sesuai dengan panjang gelombang yang digunakan), dan a_j adalah koefisien determinan algoritma ($j = 0, 1, \text{ dan } 2$).

Uji Akurasi

Uji akurasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan dari model yang dibangun. Metode dalam uji akurasi dapat dilakukan dengan melihat nilai *Standard Error of Estimation* (SSE) dan juga dapat menggunakan grafik plot 1:1. Nilai SSE akan menggambarkan

tingkat kesalahan pada setiap sampel, semakin kecil nilai SSE, maka tingkat kesalahan semakin kecil. Perumusan untuk menentukan nilai SSE adalah sebagai berikut:

$$SEE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - y')^2}{n - 2}}$$

Dimana:

SEE = *Standard Error of Estimation*

y = Data hasil lapangan

y' = Data hasil model

n = Jumlah sampel

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Konsentrasi PM₁₀

Perolehan hasil statistik persamaan model yang tertera pada Tabel 2 menggambarkan parameter nilai koefisien korelasi (R), koefisien determinasi (R²), *adjusted R²*, dan *standard error*. Parameter nilai koefisien korelasi (R) menggambarkan hubungan relasi antara nilai pantulan atmosferik pada saluran tampak dengan data PM₁₀. Nilai R yang dihasilkan berkisar antara 0,307 hingga 0,981. Tanggal perekaman 6 Juli 2018 memiliki nilai R paling rendah dibandingkan dengan tanggal perekaman lain, menurut Sugiyono (2014) besaran nilai tersebut masuk dalam kategori lemah. Tanggal perekaman 19 Juli 2017 dan 11 September 2019 memiliki besaran nilai 0.778 dan 0.692 yang memasukkan keduanya dalam kategori kuat, sedangkan pada tanggal perekaman 17 Juni 2017, 24 September 2018, serta 25 Juli 2019 memiliki besaran nilai R lebih dari 0.9 (>0.9), dimana dengan besaran tersebut masuk dalam kategori sangat kuat.

Nilai koefisien determinasi (R²) menunjukkan nilai besaran persentasi variabel dependen yang dapat dijelaskan oleh variabel independen (Stein, 2002). Variabel indepen

merujuk pada nilai pantulan pada tiga saluran yang digunakan yaitu saluran biru, hijau, dan merah (saluran tampak), sedangkan variabel dependen merujuk pada data PM₁₀. Tabel 2 menunjukkan bahwa nilai koefisien determinasi berdasarkan hasil persamaan model berkisar pada 0,094 hingga 0,963. Nilai R² terendah terdapat pada tanggal perekaman 06 Juli 2018 dengan nilai sebesar 0,094. Besaran nilai tersebut mengartikan bahwa 0,94% nilai konsentrasi PM₁₀ yang ada dilapangan dapat dijelaskan oleh kombinasi nilai pantulan pada saluran tampak.

Penggunaan saluran tampak sebagai saluran kombinasi dalam penelitian ini didasari pada penelitian Lee dan Kim (2011) menyimpulkan bahwa sensitivitas aerosol meningkat atau lebih tinggi pada panjang gelombang 460-670 nm. Rentang panjang gelombang tersebut pada citra Landsat 8 OLI berada pada panjang gelombang saluran tampak. Torres *et al* (2002) menyatakan bahwa penggunaan saluran tampak dan inframerah dapat digunakan untuk ekstraksi AOT secara langsung. Namun, penggunaan saluran inframerah hanya dapat diterapkan pada saluran aerosol yang berukuran besar atau kasar. Menurut Tomasi *et al* (2016) aerosol yang berukuran besar atau kasar adalah aerosol dengan ukuran diameter >10 μm, sedangkan PM₁₀ adalah aerosol dengan ukuran diameter <10 μm.

Nilai *adjusted R²* menunjukkan nilai koefisien determinasi yang telah disesuaikan dengan jumlah variabel independen yang digunakan. Nilai *adjusted R²* pada tanggal perekaman 19 Juli 2017, 6 Juli 2018, dan 11 September 2019 bernilai negatif. Nilai *adjusted R²* bernilai negatif pada tanggal tersebut bisa diakibatkan oleh beberapa faktor. Santoso (2019) menyebutkan 3 faktor yang mempengaruhi kondisi tersebut yaitu kurangnya jumlah sampel yang digunakan, nilai koefisien determinasi yang rendah, dan

jumlah variabel independen yang terlalu banyak.

Jika ditilik dari faktor jumlah sampel, penelitian ini menggunakan jumlah sampel model yang sama pada tiap tanggal perekaman yaitu 8 sampel. Jumlah tersebut secara teori belum memenuhi syarat untuk dilakukan analisis statistik. Namun, jika dibandingkan dengan nilai hasil pada 5 tanggal perekaman yang lain, yang menghasilkan nilai hasil positif maka pada penelitian ini, faktor ini tidak terlalu berpengaruh. Hal tersebut juga berlaku pada faktor jumlah banyaknya variabel independen, mengingat keseluruhan tanggal perekaman dibangun dengan jumlah 3 variabel independen yang sama yaitu saluran tampak (saluran biru, hijau, dan merah). Faktor terakhir yaitu faktor

nilai koefisien determinasi (R^2) yang rendah. Nilai koefisien determinasi (R^2) pada ketiga tanggal perekaman tersebut lebih rendah dibandingkan dengan pada 3 tanggal perekaman yang lain sehingga pada penelitian ini faktor nilai R^2 adalah faktor yang paling berpengaruh dibandingkan dengan 2 faktor yang lain. Nilai *adjusted R²* akan berhubungan nilai *Standard Error* yang diperoleh. Semakin kecil nilai *adjusted R²* maka nilai *Standard Error* akan semakin besar. Hal itu dapat dilihat pada Tabel 2 yang menyajikan nilai kedua parameter tersebut. Tabel statistik perolehan persamaan model tersebut menunjukkan bahwa nilai *adjusted R²* pada tanggal perekaman dengan nilai *adjusted R²* negatif (-) atau nilai rendah memiliki kecenderungan nilai *Standard Error* yang tinggi.

Tabel 1. Persamaan ekstraksi model konsentrasi PM10

Tanggal	Persamaan Model	R ²
17-06-17	$(-427.728)+(B2*12854.483)+(B3*(-10368.476))+(B4*(-10886.663))$	0.963
19-07-17	$(75.182)+(B2*65.300)+(B3*1053.494)+(B4*(-1349.128))$	0.605
06-07-18	$(65.603)+(B2*(-29.678))+(B3*53.312)+(B4*(-196.642))$	0.094
24-09-18	$(54.625)+(B2*169.626)+(B3*(-103.557))+(B4*(-1185.081))$	0.879
25-07-19	$(227.120)+(B2*(-2624.720))+(B3*1658.460)+(B4*102.642)$	0.864
11-09-19	$(-137.082)+(B2*220.651)+(B3*5261.043)+(B4*(-3928.425))$	0.478

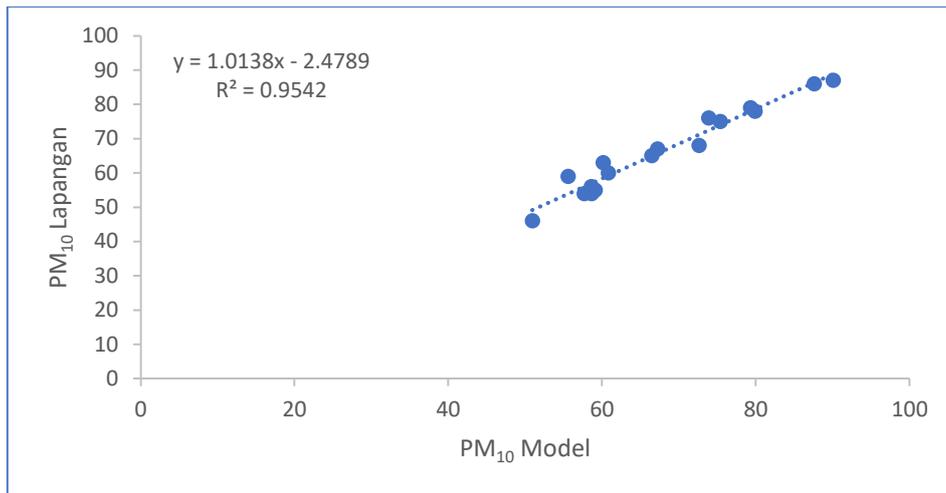
Tabel 2. Statistik hasil persamaan model

	17-06-17	19-07-17	06-07-18	24-09-18	25-07-19	11-09-19
R	0.981	0.778	0.307	0.937	0.929	0.692
R ²	0.963	0.605	0.094	0.879	0.864	0.478
Adjusted R ²	0.851	-0.579	-2.623	0.515	0.455	-1.086
Standard Error	0.025	10.414	17.394	12.200	3.942	11.509

Uji Akurasi Model

Analisis diagram plot 1:1 (regresi) dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui nilai koefisien determinasi (R^2) antara PM₁₀ model dengan PM₁₀ lapangan. Gambar 3 menunjukkan nilai R^2 sebesar 0,9542. Besaran nilai tersebut tergolong dalam kategori nilai yang tinggi,

yang berarti PM₁₀ model yang dihasilkan dapat merepresentasikan kondisi PM₁₀ yang ada dilapangan. Nilai 0,9542 pada R^2 mengartikan bahwa 95,42 % model dapat menggambarkan kondisi di lapangan.



Gambar 3. Grafik statistik antara model dengan data lapangan

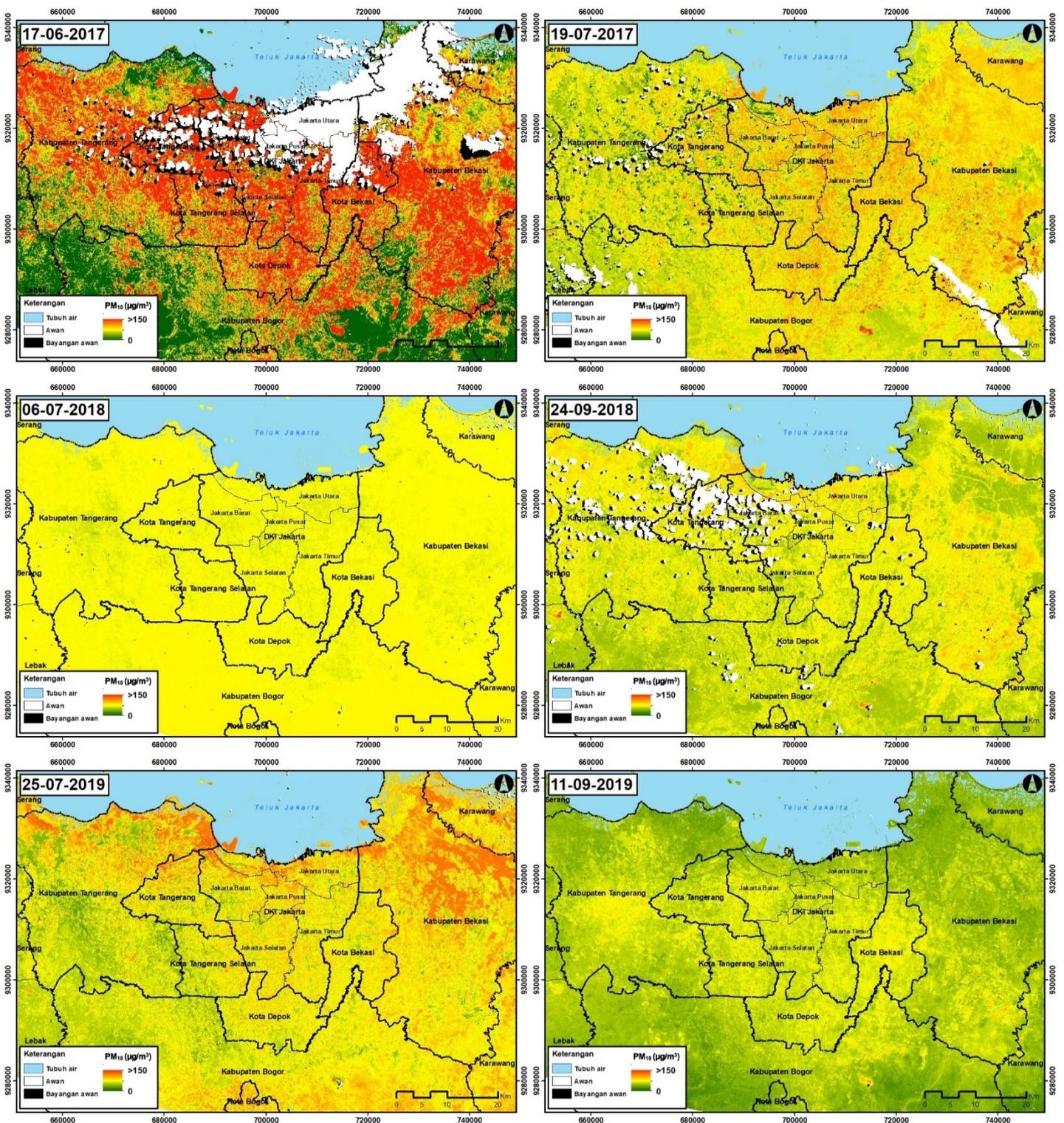
Uji validasi dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan model apabila dibandingkan dengan nilai sesungguhnya atau nilai yang didapat pada pengukuran lapangan. Uji validasi model dilakukan dengan menggunakan perhitungan *Standart Error Estimate* (SEE). Berdasarkan Tabel 3 diperoleh nilai SSE sebesar 4.94031, hal tersebut menyebabkan nilai akurasi model yang diperoleh tinggi yaitu sebesar 91.87% hingga 93.13%. Tabel uji tingkat kesalahan model pada tiap titik sampel validasi yang digunakan menunjukkan beberapa titik sampel validasi menghasilkan perhitungan kesalahan yang cukup besar.

Nilai *Square Error* (SE) yang cukup besar (>10) sebagian besar ditemukan pada tanggal tanggal 6 Juli 2018. Hal itu mengindikasikan bahwa nilai akurasi model pada tanggal perekaman tersebut juga lebih rendah. Nilai akurasi model yang lebih rendah dimungkinkan terjadi akibat model pada tanggal 6 Juli 2018 memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) lebih rendah dan *Standard error* yang lebih tinggi bila dibandingkan tanggal perekaman lain yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 3. Uji tingkat kesalahan model PM10

Tanggal	PM ₁₀ Lapangan	PM ₁₀ Model	Square Error (SE)
170617	59.00	55.59	11.59895
	67.00	67.24	0.05841
190717	86.00	87.62	2.63503
	87.00	90.08	9.48010
	78.00	79.91	3.63467
060718	55.00	59.12	17.00931
	56.00	58.63	6.89198
	54.00	58.67	21.81308
240918	65.00	66.46	2.12405
	46.00	50.94	24.43809
250719	60.00	60.82	0.67289
	79.00	79.34	0.11305
	76.00	73.90	4.40517
	75.00	75.39	0.15450

110919	54.00	57.70	13.66483
	63.00	60.17	8.00881
	68.00	72.64	21.50639
	SUM		148.20934
	SEE		4.94031
	Mean		66.3529
	STDEV		12.0982
	CL95%		5.5890
	Upper range		71.9419
	Lower range		60.7639
	Max error		8.1303
	Min error		6.8671
	Max accuracy		93.13
	Min accuracy		91.87



Gambar 4. Peta Konsentrasi PM₁₀ Kawasan Jabodetabek (2017-2019)

IV. KESIMPULAN

Hasil menunjukkan bahwa metode *Aerosol Retrieval Algorithm* dapat digunakan dalam memodelkan konsentrasi PM₁₀ yang ditunjukkan dengan nilai akurasi model yang tinggi. Hal tersebut ditunjukkan dengan nilai R² model yang tinggi yaitu sebesar 0,9542 dan nilai

SEE yang kecil yaitu 4.94031. Tingkat akurasi model yang diperoleh cukup tinggi yaitu sebesar 91,87% hingga 93,13%.

V. DAFTAR PUSTAKA

Air Visual. 2019. *Jakarta Air Quality Index (AQI)*. [Online]

- <https://www.airvisual.com/indonesia/jakarta> [Diakses 20 Agustus 2019].
- BPPN. 2013. *Perencanaan Tata Ruang Kawasan Strategis Nasional*. Jakarta: Badan Perencanaan Pembangunan Nasional. hal. 12
- Cahyo, Restu Dwi. 2018. *Distribusi Spasial Aerosol di Pulau Jawa dan Sekitarnya menggunakan Citra MODIS dengan Metode Simplified Aerosol Retrieval Algorithm*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, hal. 2.
- Fukushima, H., Toratani, M., Yamamiya, S. & Mitomi, Y. 2000. Atmospheric Correction Algorithm for ADEOS/OCTS Acean Color Data: Performance Comparison Based on Ship and Buoy Measurements. *Advances in Space Research*, 25(5), hal.1015-1024.
- Hahn, D. W. 2009. *Light scattering theory: Introduction*. Department of Mechanical and Aerospace Engineering, University of Florida. hal. 9-13.
- <https://earthexplorer.usgs.gov> [Diakses 28 November 2019].
- Instruksi Presiden No.13 Tahun 1876 tentang Pengembangan Kawasan Jabodetabek. hal. 5.
- Joshi, Jyotsana., Kandpal, Kishor Chandra., & Rawat, Neelam. 2019. Estimation of Air Pollution Using Multi-Temporal Remote Sensing Technique for Dehradun District, Uttarakhand. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, Vol.8, hal. 2919-2932.
- Kaufman, Y. J. & Tanre, D. 1998. Algorithm for Remote Sensing of Tropospheric Aerosol from MODIS, Product ID: MOD04. [Online]
ftp://daac.ornl.gov/data/safari2k/remote_sensing/modis_MOD04_aerosol/comp/ATBD-MOD-02.pdf
- Keputusan Menteri No.45 Tahun 1997 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara.
- King, M. D., Kaufman, Y. J., Tanre, D., & Nakajima, T. 1999. Remote Sensing of Tropospheric Aerosols from Space: Past, Present, And Future. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 80, hal.2229-2259.
- Lee, Hyun Jin., dan Kim, Jae Hwan. 2011. Sensitivity Analysis by Using Global Imager for Retrieval of Biomass Burning Aerosols. *Asian Journal of Atmospheric*, Vol 5 hal. 79-85.
- Luo, N., Wonga, M.S., Zhao, W., Yana, X., & Xiao, F. 2015. Improved Aerosol Retrieval Algorithm Using Landsat Image and Its Application for PM₁₀ Monitoring Over Urban Areas. *Atmospheric Research*, Vol. 153, hal 264-275.
- Othman, Nadzri., Jafri, Mohd Zubir Mat., & Lim, Hwee San. 2010. Estimating Particulate Matter Concentration Over Aried Region Using Satellite Remote Sensing: A Case Study in Makkah, Saudi Arabia. *Modern Applied Science*, Vol. 4, No. 11; hal. 134-135.
- Paronis, D. K., & Hatzopoulos, J. N. 1997. Aerosol Optical Thickness and Scattering Phase Function Retrieval from Solar Radiances Recorded Over Water: A Revised Approach, *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 4*, hal. 1920-1922.
- Popp, C., Schläpfer, D., Bojinski, S., Schaepman, M. & Itten, K. I. 2004. Evaluation of aerosol mapping methods using AVIRIS imagery. *R. Green, 13 Annual JPL Airborne Earth Science Workshop*. JPL Publications, March 2004, Pasadena, CA., 10.

- Qu, J. J., Alfred M. Powell, J., & Sivakumar, M. 2013. *Satellite-based Applications on Climate Change*. Dodrecht:Springer.
- Saleh, Salah Abdul Hammed., & Hasan, Ghada. 2014. Estimation of PM₁₀ Concentration using Ground Measurement and Landsat 8 OLI Satellite Image. *Journal of Remote Sensing*, Vol. 3.
- Santoso, Kurniawan Budi. 2019. *Analisis Konsentrasi Particulate Matter-10 (PM₁₀) Menggunakan Improved Aerosol Retrieval Algorithm Pada Citra Landsat-8 OLI (Imaero-Landsat): Studi Kasus Provinsi DKI Jakarta 2016-2017*. Skripsi. Yogyakarta: Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada.
- Shaheen, Abdallah., Kidwai, Aqeel Ahmed., Ul Ain, Noor., Aldabsh, Midyan, & Zeeshan, Aatif. (2017). Estimating Air Particulate matter 10 Using Landsat Multitemporal Data and Analyzing Its Annual Temporal Pattern Over Gaza Strip, Palestine. *Journal of Asian Scientific Research*, Vol.7, hal. 22-38.
- Stein, A. 2002. *Some Basic Elements of Statistic*. Dalam: Stein, F. D. v. d. Meer and B. Gorte. *Spasial Statistics for Remote Sensing*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, hal. 9-26.
- Sugiyono. 2014. *Statistika untuk Penelitian*. Bandung: Alfabeta.
- Tomasi, C., Fuzzi, S., dan Kokhanovsky, A. 2016. *Atmospheric Aerosols: Life Cycles and Effects on Air Quality and Climate*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH dan Co.
- Torres, O., Bhartia, P.K., Herman, J.R., Sinyuk, A., Ginoux, P., Holben, B. 2002 Along-term record of aerosol optical depth from TOMS observations and comparison to AERONET measurements. *Journal of Atmospheric Sciences*, 59, 398-413.