

PENGUKURAN EVAPOTRANSPIRASI MENGGUNAKAN ETINDEX ESTIMATION ALGORITHM DI KOTA BOGOR

Asep Denih^{*1}, Gema Nur Sidik²

^{1,2}Universitas Pakuan, Bogor

Email: ¹asep.denih@unpak.ac.id, ²gemansidik@gmail.com

*Penulis Korespondensi

(Naskah masuk: 26 Oktober 2022, diterima untuk diterbitkan: 12 April 2023)

Abstrak

Evapotranspirasi adalah penguapan air yang terjadi di seluruh permukaan bumi, termasuk permukaan tanaman, air dan tanah. Salah satu penyebab pemanasan global adalah efek rumah kaca dari karbon dioksida, gas metana, dan uap air. Pada fenomena rumah kaca, radiasi yang dipancarkan matahari sebagian dipantulkan, sinar panas infra merah ini terperangkap di troposfer tidak dapat melewati atmosfer sehingga suhu bumi menjadi lebih panas. Pengukuran evapotranspirasi melalui pengamatan langsung yang dilakukan di Indonesia hanya mengukur evapotranspirasi di titik tertentu. Teknologi penginderaan jauh dapat dimanfaatkan untuk mengukur evapotranspirasi secara luasan karena data yang diolah berupa citra satelit. Penelitian ini berfokus pada penerapan *ETindex Estimation Algorithm* untuk menghitung nilai indeks evapotranspirasi dan metode Penman-Monteith guna menghasilkan nilai evapotranspirasi potensial, dimana dua parameter tersebut digunakan untuk memperoleh nilai evapotranspirasi aktual. Selain citra satelit, digunakan juga data iklim yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Bogor sebagai data penunjang dan pembandingan. Evapotranspirasi yang dibandingkan adalah berdasarkan luasan area (spasial) vegetasi secara keseluruhan, bukan evapotranspirasi per vegetasi. Rata-rata nilai evapotranspirasi aktual pada daerah dengan vegetasi tinggi diperoleh antara 2,5 mm/hari sampai dengan 5 mm/hari, pada daerah dengan vegetasi rendah antara 2,3 mm/hari sampai dengan 4,6 mm/hari, dan pada daerah tanpa vegetasi antara 2 mm/hari sampai dengan 4,4 mm/hari. Berdasarkan titik koordinat Stasiun Klimatologi Bogor diperoleh rata-rata nilai evapotranspirasi aktual 3,6 mm/hari, sedangkan rata-rata nilai pengamatan menggunakan panci evaporimeter 4,2 mm/hari. Hasil estimasi yang diperoleh tidak berbeda jauh dari nilai rata-rata evapotranspirasi di Stasiun Klimatologi Bogor rentang tahun 2019 sampai dengan 2020 adalah 3,9 mm/hari, dengan error rata-rata sebesar 1,9 mm/hari.

Kata kunci: *evapotranspirasi, penginderaan jauh, citra satelit, indeks evapotranspirasi, NDVI*

EVAPOTRANSPIRATION MEASUREMENT USING ETINDEX ESTIMATION ALGORITHM IN BOGOR CITY

Abstract

Evapotranspiration is the evaporation of water that occurs over the entire surface of the earth, including the surface of plants, water and soil. One of the causes of global warming is the greenhouse effect of carbon dioxide, methane gas, and water vapor. In the greenhouse phenomenon, the radiation emitted by the sun is partially reflected, these infrared heat rays trapped in the troposphere cannot pass through the atmosphere so that the earth's temperature becomes hotter. Measurement of evapotranspiration through direct observation carried out in Indonesia only measures evapotranspiration at a certain point. Remote sensing technology can be used to measure evapotranspiration widely because the data processed is in the form of satellite imagery. This study focuses on the application of the ETindex Estimation Algorithm to calculate the value of the evapotranspiration index and the Penman-Monteith method to generate potential evapotranspiration values, where the two parameters are used to obtain the actual evapotranspiration value. In addition to satellite images, climate data obtained from the Bogor Climatology Station is also used as supporting and comparative data. The evapotranspiration compared is based on the area (spatial) of the overall vegetasi, not evapotranspiration per vegetation. The average actual evapotranspiration value in areas with high vegetation was obtained between 2.5 mm/day to 5 mm/day, in areas with low vegetation between 2.3 mm/day to 4.6 mm/day, and in areas without vegetation between 2 mm/day to 4.4 mm/day. Based on the coordinate points of the Bogor Climatology Station, the average actual evapotranspiration value was obtained at 3.6 mm / day, while the average observation value using an evaporimeter pan was 4.2 mm / day. The estimated results obtained are not much different from the

average value of evapotranspiration at the Bogor Climatology Station from 2019 to 2020 is 3.9 mm / day, with an average error of 1.9 mm / day.

Keywords: *evapotranspiration, remote sensing, satellite imagery, evapotranspiration index, NDVI*

1. PENDAHULUAN

Peningkatan suhu rata-rata atmosfer menyebabkan pemanasan global dan perubahan ekosistem permukaan bumi. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)* mempublikasikan hasil penelitian para ilmuwan dari berbagai negara. Hasil penelitian itu mencatat, selama tahun 1990-2005 telah terjadi kenaikan suhu di segala bagian bumi sebesar 0,15°C sampai 0,3°C. IPCC memperkirakan suhu bumi akan meningkat 1,6°C-4,2°C hingga tahun 2050 atau 2070. Di Indonesia sendiri, gambaran perkiraan *Global Fluid Dynamic dan Goddard International Space Study* (dua lembaga dari Amerika Serikat) temperatur udara akan bertambah sebesar 2°C-4,2°C hingga tahun 2050-2070. Apabila suhu bumi selalu meningkat, lapisan es di kutub dan puncak gunung diperkirakan akan mencair pada tahun 2040, peredaran musim akan berganti drastis, dan dunia akan mengalami krisis air tawar (Sulkan, 2020).

Salah satu penyebab pemanasan global adalah pengaruh yang dihasilkan dari efek balik rumah kaca seperti karbon dioksida, gas metana, dan uap air. Fenomena efek rumah kaca ini pertama kali ditemukan oleh Joseph Fourier, seorang fisikawan Prancis pada tahun 1824. Dalam fenomena rumah kaca, radiasi yang dipancarkan matahari, sebagian diserap dan sebagian dipantulkan. Radiasi yang diserap dipancarkan kembali dalam bentuk sinar inframerah. Sinar inframerah yang dipantulkan bumi kemudian diserap oleh molekul gas yang antara lain uap air sebesar 36%-70%, karbon dioksida 9%-26%, metana 4%-9%, dan ozon 3%-7%. Sinar panas inframerah ini terperangkap dalam lapisan troposfer dan tidak bisa melalui atmosfer sehingga suhu bumi menjadi lebih panas (Saidal Siburian, dan Mar, 2020). Sebaran nilai evapotranspirasi pada suatu wilayah dapat membantu proses pengambilan keputusan dari pengaruh efek balik rumah kaca. Pengukuran evapotranspirasi yang dilakukan di Indonesia dilakukan secara langsung sehingga hanya mengukur evapotranspirasi di titik tertentu, oleh karena itu diperlukan pengukuran secara luasan bukan hanya titik.

Evapotranspirasi (evaporasi-transpirasi) merupakan peristiwa penguapan air dari daun atau tajuk tanaman baik dari hasil proses biologi (hasil metabolisme) maupun yang tidak berasal dari kegiatan tersebut, misalnya air dan hasil intersepsi. Jadi evapotranspirasi merupakan jumlah total air yang dikembalikan lagi ke atmosfer dari permukaan tanah, badan air, vegetasi oleh adanya pengaruh faktor iklim dan fisiologi vegetasi. (Fibriana *et al*, 2018). Ada dua jenis evaporasi, evaporasi potensial dan evaporasi

aktual. Evapotranspirasi potensial adalah evapotranspirasi maksimum yang bisa timbul beserta kelembaban yang cukup dan seluruh jenis organisme yang umum ditanam oleh orang dianggap sama, yaitu *green grass* hingga 5 cm. Potensi evapotranspirasi lebih dipengaruhi sebab variabel iklim seperti suhu, kelembaban dan radiasi matahari. Sedangkan evapotranspirasi sebenarnya sangat dipengaruhi oleh fisiologi tumbuhan dan elemen tanah. Nilai evapotranspirasi dinilai dari pengukuran atau perhitungan langsung (Asdak, 2018).

Metode Penman-Monteith merupakan metode terbaik untuk menghitung nilai evapotranspirasi potensial menurut FAO 56. *ETindex Estimation Algorithm* digunakan menghitung indikator yang berkaitan dengan evapotranspirasi yang disebut indeks evapotranspirasi yang setara dengan koefisien tanaman. Algoritma ini menghitung nilai indeks evapotranspirasi dengan menganalisis nilai relatif suhu udara di antara suhu udara kering dan suhu udara basah yang keduanya merupakan kunci utama dari algoritma ini. Penelitian sebelumnya yang menggunakan *ETindex Estimation Algorithm* dilakukan di Pietermaritzburg, Afrika Selatan, dan Idaho, Amerika Serikat. Penelitian tersebut menghitung nilai evapotranspirasi menggunakan pendekatan indeks evapotranspirasi dan neraca energi, serta citra satelit untuk menganalisis vegetasi dan suhu udara (Denih *et al*, 2018).

Dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh berupa citra Landsat 8 untuk menganalisis sebaran vegetasi dan suhu udara, citra SRTM untuk mendapatkan model elevasi digital, serta data iklim yang diperoleh dari pengamatan langsung pada wilayah terdekat, maka nilai evapotranspirasi aktual dapat dihitung dengan pendekatan indeks evapotranspirasi.

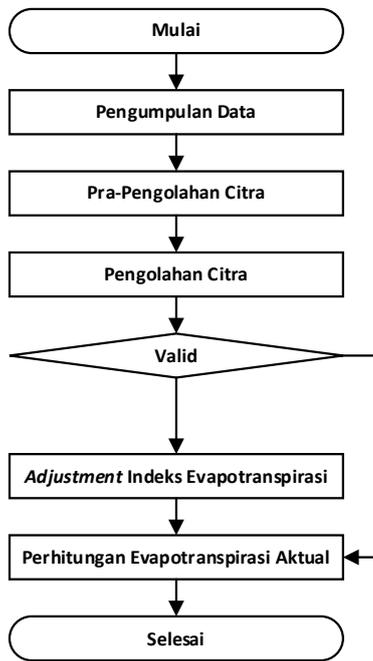
2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis spasial yang mengutip penelitian Denih *et al*, 2019, yang menerapkan langkah-langkah yang terlihat pada gambar 1.

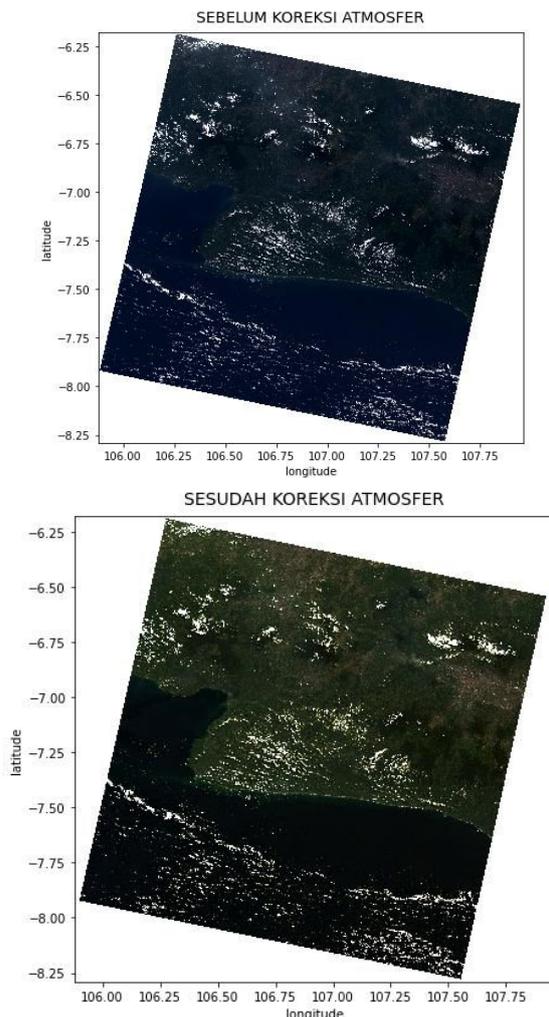
2.1. Pengumpulan Data

Melakukan pendataan untuk memperoleh informasi dan fakta pendukung di lapangan. Data spasial yang dikumpulkan diantaranya adalah citra Landsat 8 *Level 2 Path 122 Row 65* yang telah mengalami proses koreksi atmosfer, berbeda dengan citra Landsat 8 *Level 1* yang belum mengalami proses koreksi atmosfer. Perbedaan Citra Landsat 8 sebelum

dan setelah mengalami proses koreksi atmosfer dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

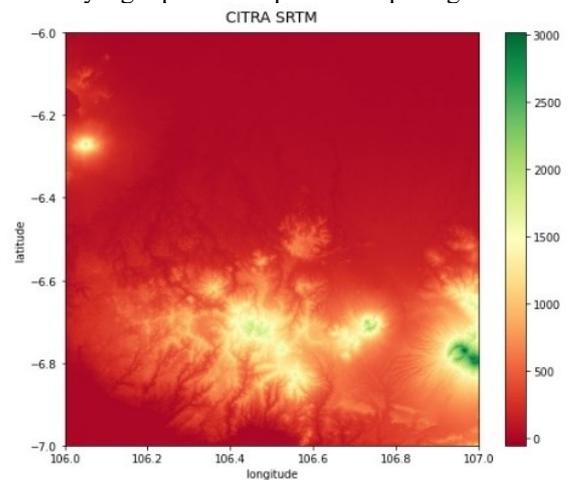


Gambar 2. Koreksi Atmosfer Citra Landsat

Pada citra Landsat 8 *Level 1 Path 122 Row 65* tampak bayangan putih menggambarkan noise yang diakibatkan oleh molekul (Rayleigh Scattering), sebab ini terjadi akibat atmosfer berupaya mempengaruhi rambatan gelombang elektromagnetik dari matahari ke objek dan dari objek ke sensor, sehingga mengakibatkan perbedaan nilai reflektifitas atau radiasi yang terekam oleh sensor.

Sensor dari satelit tidak dapat mengukur karakteristik vegetasi dan permukaan bumi secara langsung, dan beberapa langkah pra-pengolahan citra yang penting dilakukan untuk mengubah radiasi pantul pada sensor menjadi ukuran pemantulan permukaan yang dapat diinterpretasikan, yaitu koreksi atmosfer. Nilai karakteristik vegetasi pada permukaan bumi biasanya diperoleh setelah langkah koreksi atmosfer di mana radiasi *Top of Atmosphere* (ToA) dikalibrasi secara radiometrik dan spektral yang kemudian diubah menjadi *Bottom of Atmosphere* (BoA). Oleh karena itu, pra-pengolahan citra dari data ToA ke BoA adalah langkah penting, dan menentukan keberhasilan pengambilan berikutnya (Estevez *et al*, 2020).

Selain citra Landsat 8, digunakan juga citra *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) yang mengandung informasi elevasi atau posisi vertikal (ketinggian) suatu objek dari permukaan laut. Citra SRTM yang diperoleh dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Citra SRTM

Penelitian ini juga menggunakan data iklim Kota Bogor pada tahun 2019–2020 yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Bogor. Data iklim yang diperoleh meliputi kelembaban relatif, kecepatan angin, lama penyinaran matahari, dan evapotranspirasi.

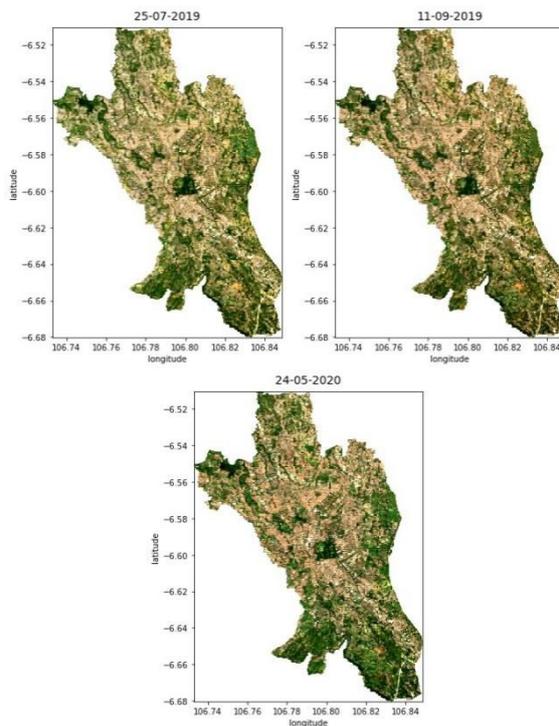
2.2. Pra-Pengolahan Citra

Langkah awal yang dilakukan pada bagian pra-pengolahan citra adalah koreksi radiometrik. Kalibrasi radiometrik dibagi menjadi dua langkah: kalibrasi radiometrik dan koreksi atmosfer. Kalibrasi radiometrik mengubah nilai data gambar mentah dari digital ke radiometrik atau nilai reflektansi dan suhu

pencahayaan (untuk saluran termal) (Sitorus *et al*, 2019). Citra yang telah dikoreksi radiometrik dilakukan overlay sesuai peta administrasi Kota Bogor, lalu citra dipotong dan hanya disisakan citra wilayah Kota Bogor.

Citra Landsat 8 yang diperoleh dari USGS masih mengandung noise seperti awan dan bayangan awan. Awan menghalangi perambatan gelombang elektromagnetik dari matahari ke objek dan dari objek ke sensor, sehingga mengakibatkan perbedaan nilai reflektifitas atau radiasi yang terekam oleh sensor bukan data permukaan bumi, sedangkan bayangan awan dapat mengurangi kecerahan piksel yang terbaca oleh sensor. Bayangan awan juga menyebabkan suhu udara terbaca lebih rendah oleh sensor. Untuk menganalisis noise pada citra dilakukan analisis piksel pada *Band Quality Assessment* (BQA).

Landsat 8 mempunyai resolusi temporal selama 16 hari, sehingga diperoleh 45 citra pada rentang tahun 2019–2020. Setelah dilakukan pra-pengolahan citra diperoleh tiga citra Kota Bogor tanpa awan yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Kota Bogor Tanpa Awan

2.3. Pengolahan Citra

Hanya citra tanpa awan dan bayangan awan yang telah melalui tahap pra-pengolahan citra yang dapat digunakan untuk tahap pengolahan citra.

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) adalah metode untuk menghitung kuantitas vegetasi dengan membandingkan perbedaan antara near infrared (refleksi dari vegetasi) dan red light (yang diserap oleh vegetasi). NDVI selalu berada

pada jarak antara -1 sampai 1 (Phanderson *et al*, 2018).

Pada persamaan (1), *NDVI* merupakan indeks vegetasi. *NIR* adalah *near infrared* (*Band 5* Landsat 8). *Red* adalah *red* (*Band 4* Landsat 8).

$$NDVI = \frac{(NIR-Red)}{(NIR+Red)} \quad (1)$$

Nilai NDVI kemudian diklasifikasikan menjadi 3 class dengan cara menentukan nilai ambang batas (*threshold*) NDVI antara *class* vegetasi (Hashim *et al*, 2016).

Pada persamaan (2), *threshold* adalah nilai ambang batas. \bar{X} adalah rata-rata dari sebaran nilai indeks kategori tutupan lahan X. \bar{Y} adalah nilai rerata dari sebaran nilai indeks kategori tutupan lahan Y. S_x adalah simpangan baku dari sebaran nilai kategori tutupan lahan X. S_y adalah simpangan baku dari sebaran nilai kategori tutupan lahan Y.

$$threshold = \frac{(\bar{X}+S_x)+(\bar{Y}+S_y)}{2} \quad (2)$$

Metode Penman-Monteith digunakan untuk menghitung nilai evapotranspirasi potensial sebagaimana yang dimuat dalam FAO 56 bahwa metode ini merupakan metode terbaik untuk menghitung nilai evapotranspirasi potensial.

Pada persamaan (3), *ET_o* merupakan evapotranspirasi potensial (mm/hari). Δ merupakan tendensi kurva represi uap air terhadap suhu (kPa/°C). R_n merupakan radiasi matahari *netto* di atas permukaan tanaman (MJ/m²/hari). γ merupakan konstanta psikrometrik (kPa/°C). T merupakan suhu udara (°C). U_2 merupakan kecepatan angin pada ketinggian 2meter dari atas bidang tanah (m/s). e_s merupakan represi uap air jenuh (kPa). e_a merupakan represi uap air yang sebenarnya (kPa).

$$ET_o = \frac{0,408\Delta R_n + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1+0,34U_2)} \quad (3)$$

Metode *ETindex Estimation Algorithm* mengestimasi evapotranspirasi dengan menganalisis ketersediaan air dan energi menggunakan data satelit dan iklim. Model ini mengkombinasikan pengukuran suhu citra satelit dan pengukuran suhu lokal di tempat pengamatan terdekat. nilai indeks evapotranspirasi yang diperoleh setara dengan koefisien tanaman yang telah diterapkan secara luas dalam metodologi pengelolaan air di bidang pertanian dan irigasi (Denih *et al*, 2019).

Pada persamaan (4), *ET_{index}* merupakan indeks evapotranspirasi. C_{adj} adalah konstanta faktor penyelesaian berupa 1,23. $T_s(dry)$ adalah suhu udara kering (°C). $T_s(act)$ adalah suhu udara (°C). $T_s(wet)$ adalah suhu udara basah (°C).

$$ET_{index} = C_{adj} \times \frac{T_s(dry)-T_s(act)}{T_s(dry)-T_s(wet)} \quad (4)$$

2.4. Adjustment Indeks Evapotranspirasi

Menurut penelitian Tasumi *et al*, (2016) nilai minimum dan maksimum indeks evapotranspirasi telah ditentukan pada rentang nilai 0-1,23. Tidak menutup kemungkinan diperoleh nilai indeks evapotranspirasi yang di luar jangkauan, yaitu kurang dari 0 atau melebihi 1,23. Sebaran indeks evapotranspirasi perlu divalidasi untuk memeriksa nilai indeks evapotranspirasi yang di luar jangkauan. Nilai indeks evapotranspirasi yang kurang dari 0 perlu dilakukan adjustment menjadi 0 dan nilai indeks evapotranspirasi yang melebihi 1,23 perlu dilakukan *adjustment* menjadi 1,23.

2.5. Perhitungan Evapotranspirasi Aktual

Indeks evapotranspirasi merupakan evapotranspirasi aktual yang dinormalisasi menggunakan evapotranspirasi potensial (Denih *et al*, 2019). Pada persamaan (5), *ETact* merupakan evapotranspirasi aktual (mm/hari). *ETindex* adalah indeks evapotranspirasi. *ETo* adalah evapotranspirasi potensial (mm/hari).

$$ET_{act} = ET_{index} \times ETo \tag{5}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Peta Sebaran Vegetasi

Untuk menghitung *threshold* nilai NDVI, ditentukan 5 *Point of Interest* (PoI) sebagai sample untuk tiap class vegetasi yang masing-masing titik koordinatnya diambil dari *google map*. Berdasarkan total 15 titik sample tersebut diperoleh rentang nilai NDVI pada tabel 1.

Waktu	Tanpa Vegetasi	Vegetasi Rendah	Vegetasi Tinggi
25-07-2019	-1-0,443	0,443-0,660	0,660-1
11-09-2019	-1-0,436	0,436-0,673	0,673-1
24-05-2020	-1-0,538	0,538-0,781	0,781-1

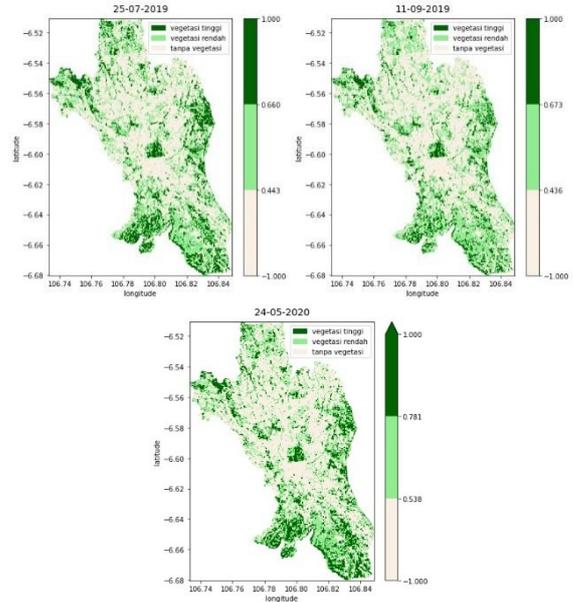
Penentuan nilai ambang batas kategori tanpa vegetasi, vegetasi rendah dan tinggi mengacu pada persamaan 2, seperti yang sudah dijelaskan di atas (persamaan 2).

Berdasarkan rentang nilai NDVI pada tabel 1, peta sebaran vegetasi dapat divisualisasikan seperti pada gambar 5.

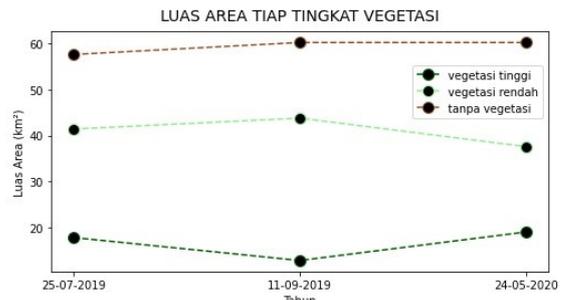
Berdasarkan peta sebaran vegetasi pada gambar 5, diperoleh luas wilayah sebaran vegetasi pada tabel 2.

Waktu	Tanpa Vegetasi	Vegetasi Rendah	Vegetasi Tinggi
25-07-2019	57,667	41,407	17,747
11-09-2019	60,278	43,790	12,747
24-05-2020	60,275	37,573	18,956

Berdasarkan tabel 2, diperoleh grafik perbandingan luas area vegetasi dari 3 citra pada gambar 6.



Gambar 5. Peta Sebaran Vegetasi



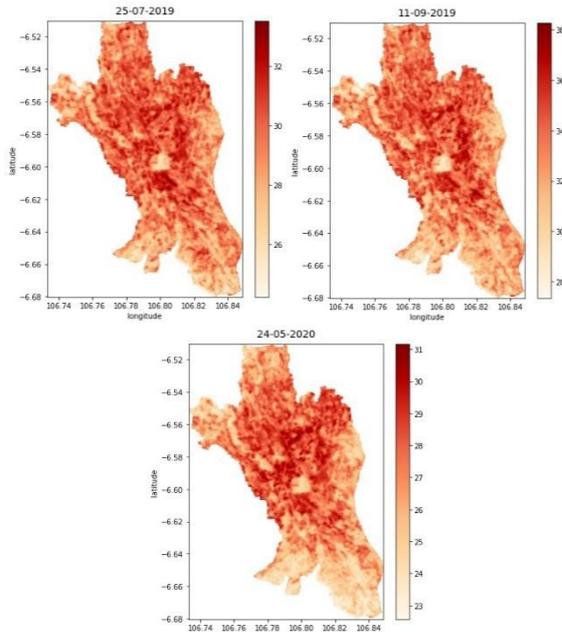
Gambar 6. Perbandingan Luas Area Vegetasi

Dari gambar 6 terlihat bahwa grafik wilayah tanpa vegetasi dari 3 citra cenderung naik secara perlahan, yang mengindikasikan maraknya pembangunan di Kota Bogor. Adapun grafik vegetasi tinggi dan rendah yang naik dan turun mengindikasikan masa tanam wilayah pertanian atau perkebunan. Grafik naik jika lahan pertanian atau perkebunan sedang dalam masa tanam dan grafik turun jika lahan pertanian atau perkebunan dalam masa pasca panen atau sedang tidak ditanami sesuatu.

Menurut Yudistira *et al*, (2019) fenomena pengisapan cahaya merah (*band 4*) oleh zat hijau dan refleksi inframerah dekat (*band 5*) oleh jaringan mesofil yang terkandung atas daun akan membuat perbedaan besar pada nilai kecerahan yang diperoleh oleh sensor satelit di saluran tersebut. Pada area tanpa vegetasi dan area dengan keadaan vegetasi yang rusak, tidak akan menyatakan nilai rasio yang tinggi (minimum). Sebaliknya pada area dengan vegetasi tinggi dengan keadaan yang sehat, perbedaan kedua kanal tersebut akan sangat tinggi (maksimum).

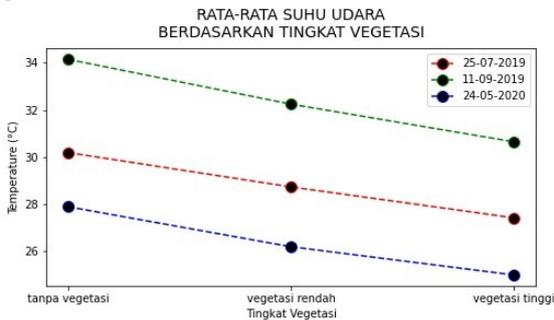
3.2. Peta Sebaran Evapotranspirasi Potensial

Parameter iklim yang digunakan untuk menghitung evapotranspirasi potensial menggunakan metode Penman-Monteith adalah suhu udara, kelembaban relatif, kecepatan angin pada ketinggian dua meter, dan lama penyinaran matahari. Data suhu udara yang digunakan adalah nilai *brightness temperature* pada band 10 yang diperoleh dari Landsat 8. Peta sebaran suhu udara dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Peta Sebaran Suhu Udara

Peta sebaran suhu udara pada gambar 7 jika dicocokkan berdasarkan peta sebaran vegetasi pada gambar 5 akan menghasilkan nilai rata-rata suhu pada gambar 8.



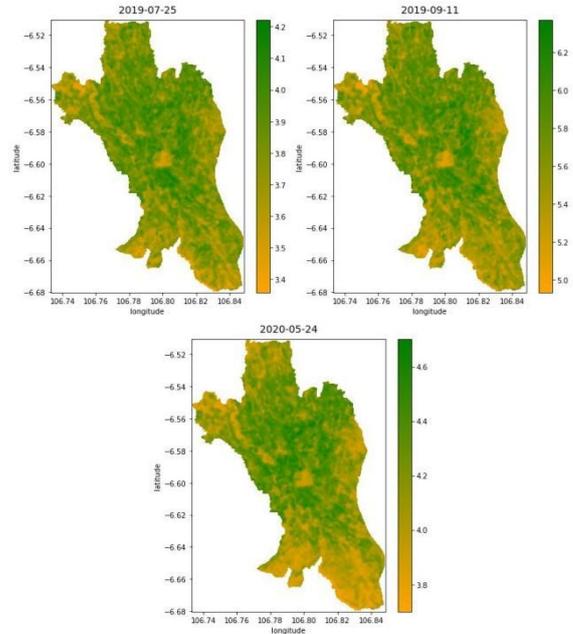
Gambar 8. Perbandingan Suhu Udara

Data iklim selain suhu udara diperoleh dari pengamatan langsung wilayah terdekat, yaitu Stasiun Klimatologi Bogor. Data iklim yang digunakan tabel 3.

Tabel 3. Data Iklim Kota Bogor

Waktu	Kelembaban	Durasi Sinar Matahari	Kecepatan Angin
25-07-2019	70.158	7.2996	0.565
11-09-2019	61.193	9.9996	0.806
24-05-2020	80.077	10.2	0.695

Selain data iklim, digunakan juga data elevasi tempat yang diperoleh dari citra SRTM dan data *latitude* yang diperoleh dari ekstraksi informasi koordinat citra Landsat 8 yang dikonversi ke radians. Setelah data diolah di Jupyter Lab menggunakan bahasa pemrograman Python, maka diperoleh Peta sebaran evapotranspirasi potensial yang dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Peta Sebaran Evapotranspirasi Potensial

Peta sebaran evapotranspirasi potensial pada gambar 9 jika dicocokkan berdasarkan peta sebaran vegetasi pada gambar 5 menghasilkan nilai rata-rata evapotranspirasi potensial pada tabel 4.

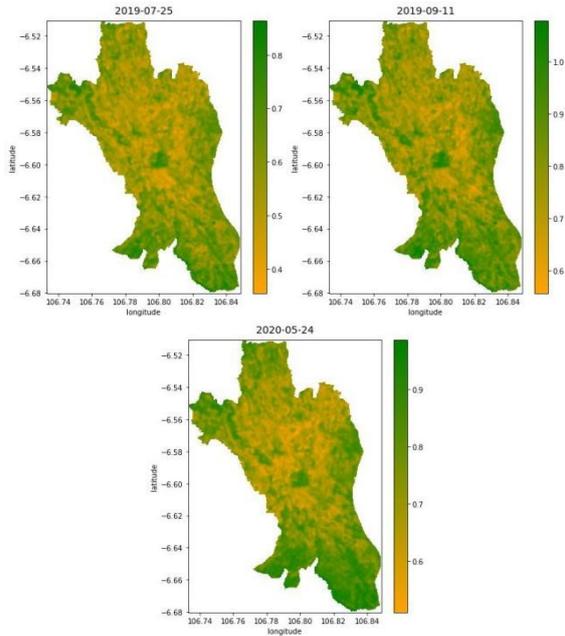
Tabel 4. Rata-Rata Nilai Evapotranspirasi Potensial

Waktu	Tanpa Vegetasi	Vegetasi Rendah	Vegetasi Tinggi
25-07-2019	3,8904	3,7539	3,6344
11-09-2019	5,7923	5,5435	5,3411
24-05-2020	4,2928	4,0948	3,9601
Rata-Rata	4,6585	4,4641	4,3119

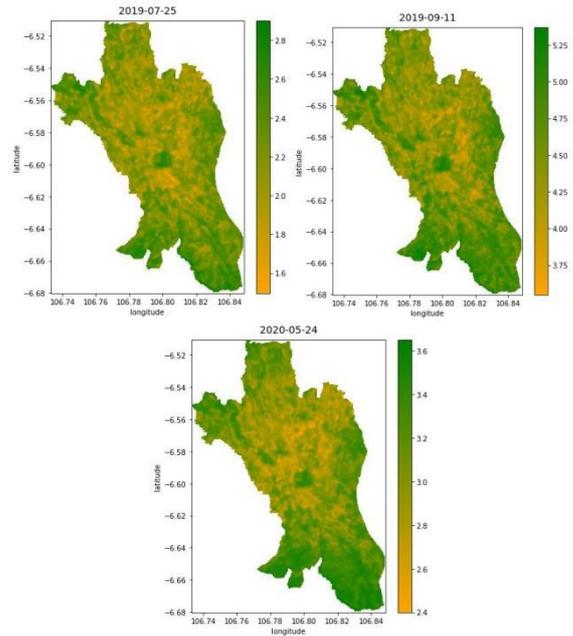
3.3. Peta Sebaran Indeks Evapotranspirasi

Perhitungan indeks evapotranspirasi membutuhkan parameter iklim seperti suhu udara, radiasi matahari, dan kecepatan angin pada ketinggian dua meter. Radiasi matahari merupakan sumber energi utama proses fisika atmosfer termasuk evapotranspirasi. Data radiasi matahari yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari perhitungan *latitude* dan durasi penyinaran matahari selama 12 jam pengamatan.

Setelah data diolah, maka diperoleh Peta sebaran evapotranspirasi potensial yang dapat dilihat pada gambar 10.



Gambar 10. Peta Sebaran Indeks Evapotranspirasi



Gambar 11. Peta Sebaran Evapotranspirasi Aktual

Pada gambar 10 terlihat dari *colorbar* pada sebelah kanan gambar, tidak ada nilai indeks evapotranspirasi yang lebih kecil dari nol maupun lebih besar dari 1,23, maka tidak perlu dilakukan *adjustment* indeks evapotranspirasi.

Peta sebaran indeks evapotranspirasi pada gambar 10 jika dicocokkan berdasarkan peta sebaran vegetasi pada gambar 5 menghasilkan nilai rata-rata indeks evapotranspirasi tabel 5.

Tabel 5. Rata-Rata Nilai Indeks Evapotranspirasi

Waktu	Tanpa Vegetasi	Vegetasi Rendah	Vegetasi Tinggi
25-07-2019	0,5304	0,6106	0,6821
11-09-2019	0,7552	0,8482	0,9257
24-05-2020	0,6872	0,7802	0,8465
Rata-Rata	0,6576	0,7463	0,8181

3.4. Peta Sebaran Evapotranspirasi Aktual

Dengan mengalikan evapotranspirasi potensial dengan indeks evapotranspirasi diperoleh nilai evapotranspirasi aktual yang divisualisasikan seperti gambar 11.

Peta sebaran evapotranspirasi aktual pada gambar 11 jika dicocokkan berdasarkan peta sebaran vegetasi pada gambar 5 menghasilkan nilai rata-rata evapotranspirasi potensial pada tabel 6.

Tabel 6. Rentang Nilai Evapotranspirasi Aktual

Waktu	Tanpa Vegetasi	Vegetasi Rendah	Vegetasi Tinggi
25-07-2019	2,0577	2,2864	2,4732
11-09-2019	4,3631	4,6911	4,9351
24-05-2020	2,9401	3,1846	3,3449
Rata-Rata	3,1203	3,3874	3,5844

Data evapotranspirasi yang diperoleh dari Stasiun Klimatologi Bogor adalah data penguapan air yang diukur menggunakan panci evaporimeter. Titik koordinat tempat pengamatan Stasiun Klimatologi Bogor berdasarkan *google map* adalah 6,5531° LS dan 106,7430° BT. Berdasarkan titik koordinat tersebut diperoleh perbandingan nilai pengamatan menggunakan panci evaporimeter dan nilai prediksi menggunakan teknologi penginderaan jauh pada tabel 7.

Tabel 7. Perbandingan Nilai Evapotranspirasi Pengamatan dan Prediksi

Waktu	Pengamatan	Prediksi	Δ
25-07-2019	3,2	2,5427	0,6573
11-09-2019	7,97	4,9809	2,9891
24-05-2020	1,34	3,3573	2,0173
Rata-Rata	4,17	3,6270	1,8879

Diperoleh juga perbandingan nilai suhu udara antara nilai pengamatan dan prediksi pada tabel 8.

Tabel 8. Perbandingan Nilai Suhu Udara Pengamatan dan Prediksi

Waktu	Pengamatan	Prediksi	Δ
25-07-2019	25,85	26,7083	0,8583
11-09-2019	26,325	30,0178	3,6928
24-05-2020	26,75	24,612	2,138
Rata-Rata	26,3083	27,1127	2,2297

Secara keseluruhan ada perbedaan nilai evapotranspirasi aktual antara pengamatan Stasiun Klimatologi dan nilai prediksi. Salah satu penyebab perbedaan nilai evapotranspirasi aktual yang diprediksi dengan data pengamatan adalah data iklim yang diperoleh merupakan data iklim harian, bukan data iklim pada jam 10.30 sebagaimana waktu diambilnya citra satelit.

Penelitian sebelumnya pernah dilakukan untuk mengevaluasi *ETindex Estimation Algorithm*

menggunakan data lapangan yang diperoleh dari sistem *eddy covariance*. Penelitian tersebut menghasilkan bahwa *ETindex Estimation Algorithm* menghasilkan nilai yang melebihi pengukuran langsung menggunakan metode neraca energi terutama pada musim panas, salah satu sebabnya adalah karena terlalu tingginya permukaan basah sepanjang tahun, kecuali di musim dingin (Denih *et al*, 2018). Setelahnya dilakukan lagi evaluasi menggunakan scintillometer dan diperoleh hasil bahwa *ETindex Estimation Algorithm* masih menghasilkan nilai yang melebihi pengukuran dengan alat scintillometer sebesar 43% per tahun. Salah satu penyelesaian untuk memecahkan hal ini adalah dengan metode *linear adjustment* (Denih *et al*, 2019).

Korelasi antara suhu udara, NDVI, evapotranspirasi potensial, indeks evapotranspirasi, dan evapotranspirasi aktual dapat dilihat pada gambar 12.

TEMPERATURE	1	-0.74	1	-1	-0.99
NDVI	-0.74	1	-0.74	0.73	0.72
ET POTENSIAL	1	-0.74	1	-1	-0.99
ET INDEX	-1	0.73	-1	1	1
ET AKTUAL	-0.99	0.72	-0.99	1	1
	TEMPERATURE	NDVI	ET POTENSIAL	ET INDEX	ET AKTUAL

Gambar 12. Peta Sebaran Evapotranspirasi Aktual

Korelasi antara suhu udara dan evapotranspirasi potensial bernilai 1 yang berarti hubungan antara dua parameter ini sangat erat. Menurut Karo (2020) ada hubungan terbalik antara suhu udara dan tekanan udara. Ketika suhu tinggi, kandungan uap air di atmosfer rendah, dan sebaliknya, ketika suhu rendah, kadar air di atmosfer tinggi. Ini menghasilkan perbedaan besar dalam tekanan udara, yang menciptakan udara atau angin yang bergerak. Ketika udara menjadi jenuh dengan uap air karena penguapan, udara jenuh bergerak dan digantikan oleh udara tak jenuh. Udara yang bergerak atau angin disebabkan oleh perbedaan tekanan udara.

Korelasi antara NDVI dan indeks evapotranspirasi bernilai 0,7 yang berarti nilai indeks evapotranspirasi yang diperoleh cukup sesuai dengan sebaran vegetasi yang ada di Kota Bogor, semakin padat vegetasi suatu wilayah, maka semakin tinggi indeks evapotranspirasi wilayah tersebut.

Berdasarkan hasil pembahasan pada penelitian ini dapat dievaluasi metode yang diusulkan cukup efektif jika dikomparasi dengan metode pengamatan langsung dengan menggunakan panci evaporasi dengan selisih yang tidak terlalu besar, yaitu sebesar 1,8879 mm/hari.

Penelitian yang dilakukan pada studi area dengan lokasi di Kota Bogor, Indonesia, hasil proses

perhitungan menunjukkan tingkat akurasi yang mendekati nilai akurasi pada penelitian yang dilakukan di USA, yaitu sebesar 2,2 mm/hari dan nilai akurasi pada penelitian yang dilakukan di Kota Bogor, Indonesia, yaitu sebesar 1,9 mm/hari. Artinya penelitian ini memberikan kontribusi untuk memperkuat penelitian Denih *et al* (2019) yang sudah dilakukan di USA.

4. KESIMPULAN

Diperoleh 3 citra dengan persentase luas Kota Bogor tanpa awan 100% dari 45 citra Landsat 8 dalam rentang tahun 2019-2020. Dengan acuan 3 citra tersebut diperoleh rata-rata nilai evapotranspirasi aktual pada daerah dengan vegetasi tinggi diperoleh antara 2,4732 mm/hari-4,9351 mm/hari, pada daerah dengan vegetasi rendah antara 2,2864 mm/hari-4,6911 mm/hari, dan pada daerah tanpa vegetasi antara 2,0577 mm/hari-4,3631 mm/hari.

Berdasarkan titik koordinat Stasiun Klimatologi Bogor diperoleh rata-rata nilai evapotranspirasi aktual 3,6270 mm/hari, sedangkan rata-rata nilai pengamatan menggunakan panci evaporimeter 4,17 mm/hari. Hasil yang diperoleh tidak berbeda jauh dari nilai rata-rata evapotranspirasi di Stasiun Klimatologi Bogor dalam rentang tahun 2019-2020 adalah 3,9144 mm/hari. Salah satu penyebab perbedaan nilai evapotranspirasi aktual yang diprediksi dengan data pengamatan adalah data iklim yang diperoleh merupakan data iklim harian, bukan data iklim pada jam 10.30 sebagaimana waktu diambilnya citra satelit.

DAFTAR PUSTAKA

- ASDAK, C. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press. 2018.
- DENIH, A., MAEDA, A., TASUMI, M., SHINOHARA, Y., & TAKESHITA, S. 2018. *Evaluation of GCOM-C ETindex Estimation Algorithm at a Lodgepole Pine Tree Open Forest in Idaho, USA*. Journal of Rainwater Catchment Systems, 24(1), 9-14.
- DENIH, A., TASUMI, M., SHINOHARA, Y., & TAKESHITA, S. 2019. *Application of Scintillometer for Evaluating the Performance of GCOM-C ETindex Estimation Algorithm at a Forest Site*. Journal of Rainwater Catchment Systems, 24(2), 27-32.
- ESTEVEZ, J., VICENT, J., RIVERA-CAICEDO, J. P., MORCILLO-PALLARÉS, P., VUOLO, F., SABATER, N., & VERRELST, J. 2020. *Gaussian processes retrieval of LAI from Sentinel-2 top-of-atmosphere radiance data*. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 167, 289-304.

- FIBRIANA, R., GINTING, Y. S., FERDIANSYAH, E., & MUBARAK, S. 2018. Analisis besar atau laju evapotranspirasi pada daerah terbuka. *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian*, 2(2), 130-137.
- HASHIM, H., ABD LATIF, Z., & ADNAN, N. A. 2019. *Urban vegetation classification with NDVI threshold value method with very high resolution (VHR) Pleiades imagery*. The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 42, 237-240.
- KARO, RISKI VANESSA. *Kajian Beberapa Metode Perhitungan Nilai Evapotranspirasi Potensial (Studi Kasus Desa Semangat Kecamatan Merdeka Kabupaten Karo)*. Medan: Universitas Sumatera Utara. 2020.
- NAHARUDDIN, H. H., WAHID, A. *Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Dan Aplikasinya Dalam Proses Belajar Mengajar*. Palu: Untad Press. 2018.
- PHANDERSON, A., HERWINDIATI, D. E., & MULYAWAN, B. 2018. Sistem Pendeteksi Perubahan Lahan Hijau di Jabodetabek. *Computatio: Journal of Computer Science and Information Systems*, 2(1), 91-100.
- SAIDAL SIBURIAN, M. M., & MAR, M. *Pencemaran Udara dan Emisi Gas Rumah Kaca*. Jakarta: Kreasi Cendekia Pustaka. 2020.
- SITORUS, W. M., SUKMONO, A., & BASHIT, N. 2019. Identifikasi Perubahan Kerapatan Hutan Dengan Metode *Forest Canopy Density* Menggunakan Citra Landsat 8 Tahun 2013, 2015 Dan 2018 (Studi Kasus: Taman Nasional Gunung Merbabu, Jawa Tengah). *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 338-347.
- SULKAN, M. *Pemanasan Global dan Masa Depan Bumi*. Semarang: Alprin. 2020.
- YUDISTIRA, R., MEHA, A. I., & PRASETYO, S. Y. J. 2019. Perubahan Konversi Lahan Menggunakan NDVI, EVI, SAVI dan PCA pada Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Kota Salatiga). *Indonesian Journal of Computing and Modeling*, 2(1), 25-30.

Halaman ini sengaja dikosongkan