

Estimasi Evapotranspirasi Aktual Menggunakan Algoritma Surface Energi Balance System Pada Citra Landsat 9 Di Kabupaten Lumajang – Indonesia

Rufiani Nadzirah ¹, Indarto Indarto ², Agung Dini Fayusman ³, Farid Lukman Hakim ⁴,

^{1,2,3} Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember, Jl. Kalimantan No. 37, Jember Jawa Timur, 68121

⁴ Yayasan Multidimensi Indonesia Cerdas, Jl. Tawangmangu No. 51, Jember, Jawa Timur, 68124
Corresponding Author: Indarto Indarto, indarto.ftp@unej.ac.id

ABSTRAK

Evapotranspirasi adalah kombinasi dua istilah yang menggambarkan proses penguapan air ke atmosfer, yaitu penguapan air dari permukaan tanah dan transpirasi melalui tumbuhan. Laju evapotranspirasi dapat dihitung dan diperkirakan dengan berbagai metode baik diukur secara langsung maupun dengan penginderaan jauh. Penggunaan teknologi penginderaan jauh dapat sangat membantu memperkirakan evapotranspirasi menggunakan model kesetimbangan energi Permukaan Algoritma Sistem Keseimbangan Energi (SEBS). Salah satu satelit dari mana Parameter untuk perhitungan evapotranspirasi yang dapat diekstraksi adalah Landsat 9. Dengan karakteristik yang diambil dari citra Landsat 9, penelitian ini mencoba melakukan estimasi evapotranspirasi menggunakan model SEBS. Proyeksi evapotranspirasi pada tanggal 20 Desember 2022 di wilayah penelitian Kabupaten Lumajang dengan menggunakan parameter masukan model SEBS meliputi NDVI, LAI, LST, Albedo Permukaan, dan Emisivitas. Menurut hasil estimasi evapotranspirasi daerah studi berdasarkan data tutupan lahan, laju evapotranspirasi di badan air rata-rata 5,08 mm per hari, sedangkan lajunya di permukiman merupakan yang terendah yaitu 3,67 mm per hari. Saat diperiksa dari distribusi perkiraan nilai evapotranspirasi berdasarkan data tutupan lahan, Citra Landsat 9 dapat mengekstraksi parameter SEBS dengan kesetimbangan energi pendekatan dengan cukup efektif.

Kata kunci: estimate; evapotranpirasi; parameter SEBS; Landsat 9

ABSTRACT

Evapotranspiration is a combination of two terms that describe the process of evaporation of water into the atmosphere, namely evaporation of water from the soil surface and transpiration through plants. Evapotranspiration rates can be calculated and estimated by various methods either measured directly or by remote sensing. The use of remote sensing technology can greatly assist in estimating evapotranspiration using the energy equilibrium model of the Surface Energy Balance System (SEBS) algorithm. One of the satellites from which the parameters for evapotranspiration calculation can be extracted is Landsat 9. With characteristics taken from Landsat 9 images, this study tries to estimate evapotranspiration using the SEBS model. Evapotranspiration projection on 20 December 2022 in the research area of Lumajang District using SEBS model input parameters include NDVI, LAI, LST, Surface Albedo, and Emissivity. According to the results of the study area's evapotranspiration estimation based on data on land cover, the rate of evapotranspiration in water bodies averaged 5.08 mm per day, while the rate in settlements was the lowest at 3.67 mm per day. When examined from the distribution of estimated evapotranspiration value based on land cover data, Landsat 9 images can extract SEBS parameters with the energy balance approach quite effectively.

Keywords: estimate; evapotranpiration; SEBS parameters; Landsat 9

1. PENDAHULUAN

Air merupakan komponen penting dalam kehidupan di bumi. Keberadaan air tidak lepas dari siklus hidrologi di permukaan bumi. Salah satu bagian dari siklus hidrologi yaitu evapotranspirasi. Evapotranspirasi merupakan proses penguapan air yang terjadi pada makhluk hidup, terutama tumbuhan serta permukaan tanah akibat adanya aktivitas matahari (Idfi 2021). Evapotranspirasi penting untuk dipahami agar dapat memperkirakan suatu bentuk kehilangan air sehingga dapat digunakan dalam pengelolaan sumber daya air dengan memasukkan data informasi masukan air. Evapotranspirasi merupakan proses yang menghubungkan imbalan air dan imbalan energi (Su 2002). Proses evapotranspirasi adalah kehilangan air dalam imbalan air, tetapi dalam imbalan energi adalah bagian dari energi laten yang digunakan untuk penguapan.

Di Indonesia, kebanyakan pengukuran evapotranspirasi masih dilakukan secara manual atau secara langsung di lapangan. Sehingga pengukuran evapotranspirasi ini membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang besar. Selain itu, karena hasilnya masih berupa data titik, interpolasi diperlukan untuk mendapatkan data luas. Untuk menghitung evapotranspirasi, teknik penginderaan jauh menggunakan imbalan energi karena bentuk yang direkam sensor dari permukaan bumi dipengaruhi oleh energi pantulan atau pancaran objek. Menurut Huang et al., (2015) pengukuran evapotranspirasi dengan menggunakan data penginderaan jauh dapat diambil dari informasi spasial dan temporal untuk memperoleh informasi yang berkaitan dengan imbalan air dan imbalan energi seperti (NDVI) *Normalized Difference Vegetation Index*, (LAI) *Leaf Area Index*, *albedo permukaan*, *emisivitas permukaan* dan (LST) *Land Surface Temperature*.

Penggunaan teknologi penginderaan jauh sangat membantu dalam estimasi evapotranspirasi dengan menggunakan model kesetimbangan energi. Dalam penelitian ini, parameter untuk estimasi evapotranspirasi tersebut diekstrak dari data Landsat 9. Landsat 9 merupakan satelit keluaran terbaru *United States Geological Survey* (USGS) yang diluncurkan pada bulan September 2021. Penelitian ini bertujuan untuk dalam menurunkan parameter-parameter estimasi ETa dan bagaimana distribusi spasial nilai evapotranspirasi yang diperoleh berdasarkan profil data tutupan lahan yang ada.

2. METODE PENELITIAN

Prosedur pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yaitu pengambilan data dan analisis data. Pengambilan data yang digunakan pada penelitian ini yaitu data citra Landsat 9 Kabupaten Lumajang perolehan waktu 20 Desember 2022 (USGS, 2022), data tutupan lahan tahun 2019, data batas administrasi (Tanahair.indonesia, 2023), data suhu Kabupaten Lumajang tahun 2022 (AccuWeather, 2022). Analisis data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu *surface energi balance system* (SEBS), estimasi evapotranspirasi referensi metode *Thornthwaite*, dan distribusi spasial evapotranspirasi berdasarkan penutup lahan.

Estimasi ETa menggunakan algoritma *Surface Energi Balance System* (SEBS) merupakan pengembangan dari sistem imbalan energi di permukaan bumi (Su 2002). Berikut persamaan neraca energi permukaan.

$$R_n = G + H + \lambda E \quad (1)$$

$$R_n = (1 - a) \times R_{swd} + \varepsilon \times R_{lwd} - \varepsilon \times \sigma \times T_s^4 \quad (2)$$

Dimana a adalah albedo, R_{swd} adalah radiasi gelombang pendek menurun di ukur dari stasiun cuaca, ε adalah emisivitas permukaan penutup lahan, R_{lwd} adalah gelombang panjang menurun, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$ konstanta Stefan-Boltzman. ε_a adalah emisivitas udara dan $T_a = T_s$ adalah suhu permukaan (K).

$$G = R_n [T_c + (1 - fc)(T_s - T_c)] \quad (3)$$

Dimana fc merupakan fraksi vegetasi $T_c = 0,05$ untuk vegetasi penuh dan $T_s = 0,315$ untuk lahan terbuka.

Untuk menentukan aliran panas teras (H). Teori kesamaan digunakan, karena pengukuran dilakukan di lapisan permukaan atmosfer (ASL) fungsi Monin-Obukhov similariti (MOS).

$$u = \frac{u_*}{k} \cdot \left[\ln \ln \left(\frac{z-d_0}{z_{om}} \right) - \psi_m \left(\frac{z-d_0}{L} \right) + \psi_m \left(\frac{z_{om}}{L} \right) \right] \quad (4)$$

$$\theta_0 - \theta_a = \frac{H}{k u_* p C_p} \cdot \left[\ln \ln \left(\frac{z-d_0}{z_{oh}} \right) - \psi_h \left(\frac{z-d_0}{L} \right) + \psi_m \left(\frac{z_{oh}}{L} \right) \right] \quad (5)$$

$$L = - \frac{\rho \cdot C_p \cdot u_*^3 \cdot \theta_v}{k \cdot g \cdot H} \quad (6)$$

Dimana u adalah kecepatan angin, u_* merupakan kecepatan gesekan, z adalah tinggi referensi Dimana $\theta_0 - \theta_a$ adalah suhu potensial pada permukaan dan udara, z adalah tinggi referensi, u_* adalah kecepatan fraksi, p adalah massa jenis udara, $k = 0,4$ yaitu konstanta Von Karman, d_0 adalah nol perbedaan ketinggian, z_{om} adalah tebal kekasaran permukaan untuk transfer momentum, θ_0 adalah suhu potensial pada ketinggian, θ_a adalah suhu potensial, L adalah panjang Obukhov, z_{oh} adalah tebal kekasaran permukaan untuk transfer panas, ψ_h dan ψ_m adalah fungsi koreksi stabilitas untuk momentum dan transfer energi panas teras, dan θ_v suhu virtual dekat permukaan dan g adalah percepatan gravitasi.

Nilai H di tentukan dengan memepertimbangkan nilai batas di bawah batas kering dan basah. Pada batas kelembaban kering panas laten λE_{dry} menjadi nol dan panas sensible H_{dry} akan maksimal dari persamaan berikut:

$$H_{dry} = R_n - G_0 - \lambda E_{dry} \quad (7)$$

Pada batas basah, aliran panas teras H_{wet} mengambil nilai minimumnya, dan evapotranspirasi terjadi pada laju potensial, λE_{wet} hanya dibatasi oleh energi yang tersedia dari persamaan berikut:

$$H_{wet} = R_n - G_0 - \lambda E_{wet} \quad (8)$$

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{R_n - G} \quad (9)$$

Dimana Λ merupakan fraksi penguapan. Pada praktiknya, data pengindraan jauh yang menggunakan model SEBS mempresentasikan informasi untuk permukaan tanah. Koefisien

evaporasi diasumsikan konstan setiap hari, dan selanjutnya evapotranspirasi harian dinyatakan sebagai berikut:

$$E_{daily} = 8,67 \times 10^7 \times A_0^{24} \times \frac{R_n - G_o}{\lambda \rho_w} \quad (10)$$

Dimana E_{daily} adalah ET harian dan R_n adalah rata-rata radiasi bersih harian dan G_o adalah rata-rata fluks panas tanah harian. ETa merupakan bagian dari λE didapatkan berdasarkan algoritma SEBS, pada perhitungan menggunakan algoritma SEBS dibutuhkan parameter antara lain: albedo, emisivitas, suhu permukaan tanah (LST), kerapatan vegetasi (NDVI), fraksi vegetasi, *Leaf Area Index* (LAI), panjang kekasaran permukaan untuk perpindahan momentum (Zom), dan tinggi kanopi.

- 1) Citra NDVI didapatkan dari persamaan sebagai berikut (Malik et al., 2019).

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (11)$$

- 2) Citra emisivitas didapatkan dari persamaan citra penutup lahan berdasarkan persamaan berikut Valor dan Caselles, (1996) dalam Hailegiorgis, (2006).

$$\varepsilon_o = 0.985 f_c + 0.96(1 - f_c) + 0.06 f_c(1 - f_c) \quad (12)$$

- 3) Citra Albedo permukaan didapatkan dari persamaan sebagai berikut (Huang et al., 2015).

$$a = \frac{(0,356\rho_2 + 0,130\rho_4 + 0,373\rho_5 + 0,085\rho_6 + 0,072\rho_7) - 0,0018}{1,016} \quad (13)$$

- 4) Citra LST atau suhu permukaan di ekstraksi dari *band* 10 dan 11 citra Landsat 9. Digunakan persamaan sebagai berikut (Malik et al., 2019).

$$LST = (BT \left(1 + \left(0.00115 \times \frac{BT}{1.4388} \right) \times \ln \ln (\varepsilon_o) \right)) \quad (14)$$

- 5) Citra fraksi vegetasi didapatkan dari persamaan sebagai berikut Choudhury et al., (1994) dalam Hailegiorgis., (2006).

$$f_c = 1 - \left(\frac{NDVI_{max} - NDVI}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^{0.625} \quad (15)$$

- 6) Citra LAI diturunkan dari indeks vegetasi Area Daun Spesifik (SLAVI) berdasarkan persamaan sebagai berikut (Henrich et al., 2011).

$$SLAVI = \frac{NIR}{RED + SWIR_2} \quad (16)$$

- 7) Citra kekasaran transfer panas (Zom) dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut Su dan Jacobs., (2001) dalam Hailegiorgis, (2006)

$$Z_{om} = EXP (-7,13 + 9,33 \times NDVI) \quad (17)$$

Estimasi nilai evapotranspirasi Referensi digunakan sebagai acuan nilai akurasi berdasarkan estimasi evapotranspirasi menggunakan citra Landsat 9 menggunakan persamaan *Surface Energi Balance System* (SEBS). Data suhu rata yang digunakan pada persamaan Thornthwaite., (1948) menggunakan data suhu dengan waktu pengambilan Tahun 2022. Persamaan yang digunakan sebagai berikut (Aschonitis et al., 2022).

$$ET_0 = \left(16 \left(10 \cdot \frac{T}{I} \right)^a \right) \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30} \quad (18)$$

Dimana ET_0 merupakan refrensi evapotranspirasi (mm/hari), T merupakan suhu rata – rata, I merupakan indeks panas, dan a merupakan nilai tetapan berdasarkan I, N merupakan jam sinar matahari teoritis untuk setiap bulan dan d merupakan jumlah hari untuk perbulan.

Kemudian pada distribusi spasial evapotranspirasi berdasarkan penutup lahan, nilai evapotranspirasi di tumpang susunkan (*overlay*) dengan data tutupan lahan Kabupaten Lumajang untuk melihat pola sebaran pada tiap jenis lahan yang ada berdasarkan data penutup lahan Kabupaten Lumajang, data tutupan lahan yang digunakan merupakan data tahun 2019 dari KLHK yang terbagi menjadi 13 kelas antara lain: badan air, belukar, hutan lahan kering primer, hutan lahan kering sekunder, hutan tanaman, pemukiman, perkebunan, pertanian lahan kering, pertanian lahan kering campur, savana / padang rumput, sawah, tambak, dan tanah terbuka

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam estimasi evapotranspirasi menggunakan metode SEBS pada tanggal 20 desember 2020 pada Kabupaten Lumajang – Indonesia dibutuhkan Parameter-parameter permukaan tanah dari citra landsat 9 yang mencakup wilayah penelitian antara lain NDVI, Albedo, Emisivitas, Suhu Permukaan, Fraksi Vegetasi, LAI, Kekasaran Transfer Panas. Kemudian di-*overlay* dengan data Tutupan Lahan.

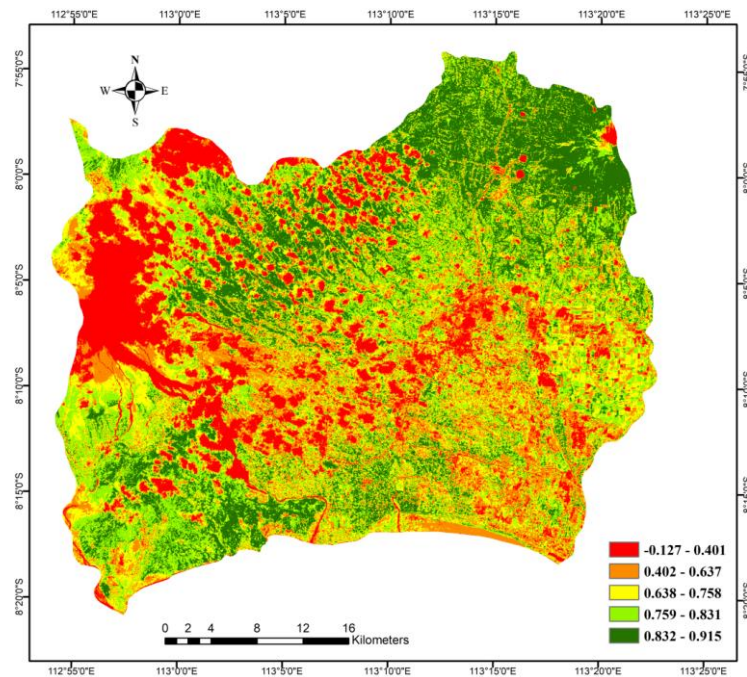
Parameter-Parameter SEBS

Indeks vegetasi merupakan salah satu jenis transformasi spektral menggunakan NDVI untuk menunjukan karakteristik kerapatan vegetasi. Indeks ini adalah kombinasi matematis dari radiasi inframerah dekat (NIR) dan band merah (red). Nilai NDVI diestimasi berdasarkan nilai *Spectral red* dan NIR yang di dapatkan dari *band 4* dan *5* citra Landsat 9 Nilai NDVI Pada berdasarkan data tutupan lahan tersaji pada Tabel 4.1. nilai NDVI berkisar antara -0.127 sampai dengan 0.915, nilai terendah terletak pada Badan Air dan tertinggi terletak pada tutupan lahan dengan vegetasi tinggi. Mengacu pada Kurniadin et al., (2022) menyatakan bahwa NDVI mempunyai rentang nilai antara -1 hingga 1.

Tabel 1 Nilai NDVI Berdasarkan Tutupan Lahan

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata -Rata	Standart Devasi
Badan Air	0.247	- 0.127	0.189	0.158
Belukar	0.873	0.419	0.731	0.143
Hutan Lahan Kering Primer	0.718	0.067	0.393	0.460
Hutan Lahan Kering Sekunder	0.876	0.068	0.736	0.254
Hutan Tanaman	0.915	0.124	0.769	0.169
Pemukiman	0.900	0.107	0.571	0.183
Perkebunan	0.889	0.222	0.772	0.105
Pertanian Lahan Kering	0.903	0.158	0.733	0.139
Pertanian Lahan Kering Campur	0.880	0.092	0.750	0.157
Savana / Padang rumput	0.783	0.349	0.566	0.307
Sawah	0.882	0.162	0.651	0.199
Tambak	0.189	0.189	0.189	0.000
Tanah Terbuka	0.904	0.054	0.724	0.161

Sumber: hasil analisis peta (2023)



Gambar 1. NDVI

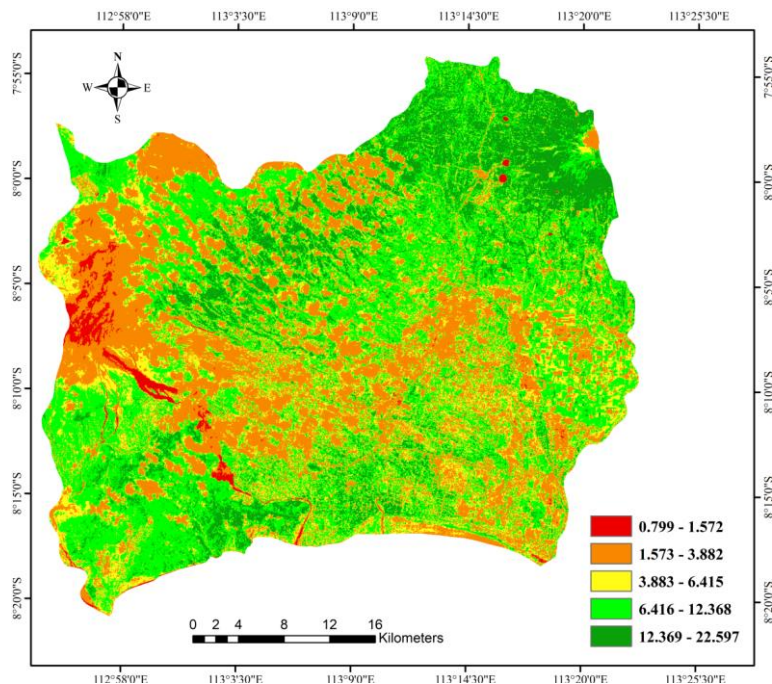
Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

Luasan satu sisi daun per satuan luas permukaan area tanah dikenal sebagai *Leaf Area Index*. Estimasi LAI sangat penting untuk pemodelan ekologi seperti proses fotosintesis tumbuhan, transpirasi, dan evapotranspirasi. Ini karena LAI berinteraksi secara langsung dengan elemen atmosfer seperti radiasi cahaya, energi, dan pertukaran gas (Kang et al., 2016). Nilai LAI berkisar antara 0.799 sampai dengan 22.597, nilai terendah terletak pada Badan Air dan tertinggi terletak pada Hutan Tanaman.

Tabel 2 Nilai LAI Berdasarkan Tutupan Lahan

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata - Rata	Standart Deviasi
Badan Air	1.898	0.799	0.973	0.576
Belukar	14.936	2.599	8.394	3.917
Hutan Lahan Kering Primer	6.219	1.623	3.921	3.250
Hutan Lahan Kering Sekunder	15.281	1.607	10.295	4.435
Hutan Tanaman	22.597	1.761	10.458	4.191
Pemukiman	19.097	1.493	5.006	3.060
Perkebunan	17.240	2.135	9.270	3.321
Pertanian Lahan Kering	19.825	1.841	8.120	3.161
Pertanian Lahan Kering Campur	15.826	1.893	8.977	3.480
Savana / Padang rumput	8.424	2.282	5.353	4.343
Sawah	16.137	1.610	6.778	3.688
Tambak	1.520	1.520	1.520	0.000
Tanah Terbuka	20.033	1.395	8.334	3.793

Sumber: hasil analisis peta (2023)



Gambar 2. LAI

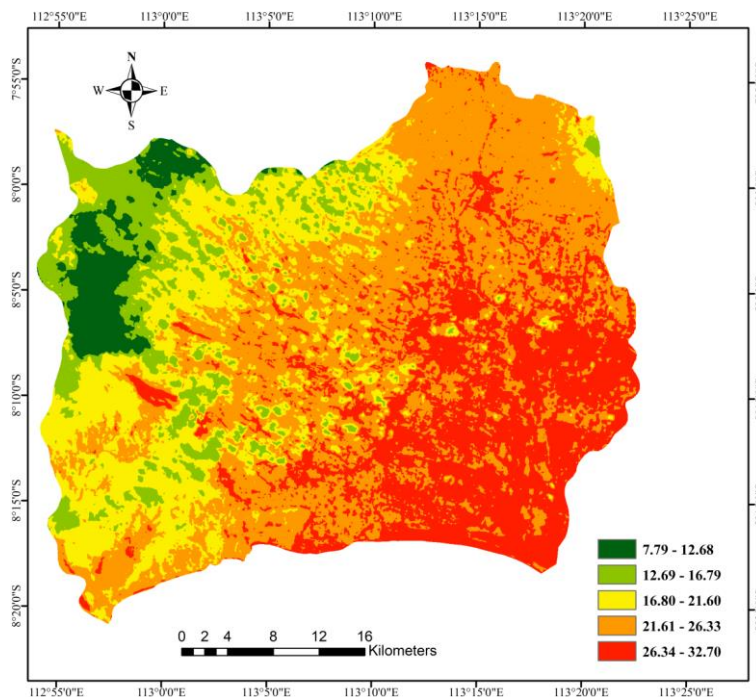
Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

Land Surface Temperature (LST) merupakan suhu permukaan tanah. Estimasi suhu permukaan dilakukan menggunakan *band* sensor TIRS (*Band* 10 dan 11). Berdasarkan estimasi nilai LST berkisar antara 7.79 °C sampai dengan 32.7°C. Berdasarkan Tabel 4.3 hasil overlay peta tutupan lahan dan peta sebaran suhu permukaan menunjukkan tutupan lahan mempengaruhi tinggi rendahnya suhu permukaan. Dapat dilihat perbedaan suhu permukaan rata rata tertinggi 25.41°C pada tutupan lahan pemukiman yang merupakan lahan terbangun sedangkan suhu permukaan rata rata terendah dengan suhu 13.49°C dengan wilayah hutan lahan kering.

Tabel 2 Nilai LST Berdasarkan Tutupan Lahan

Kelas Tututan Lahan	Maks	Min	Rata - Rata	Standar Deviasi
Badan Air	31.32	15.49	24.50	3.81
Belukar	23.90	12.56	20.97	2.94
Hutan Lahan Kering Primer	19.18	7.79	13.49	8.05
Hutan Lahan Kering Sekunder	23.22	11.95	21.00	3.23
Hutan Tanaman	25.60	10.59	22.34	2.30
Pemukiman	29.92	15.64	25.41	2.34
Perkebunan	27.25	17.92	24.24	1.24
Pertanian Lahan Kering	30.26	19.04	24.37	1.35
Pertanian Lahan Kering Campur	25.54	15.89	22.78	2.12
Savana / Padang rumput	19.27	17.18	18.22	1.48
Sawah	27.10	15.05	23.91	1.88
Tambak	24.64	24.64	24.64	0.00
Tanah Terbuka	32.70	8.22	24.22	1.85

Sumber: Hasil Analisis Peta (2023)



Gambar 2. LST

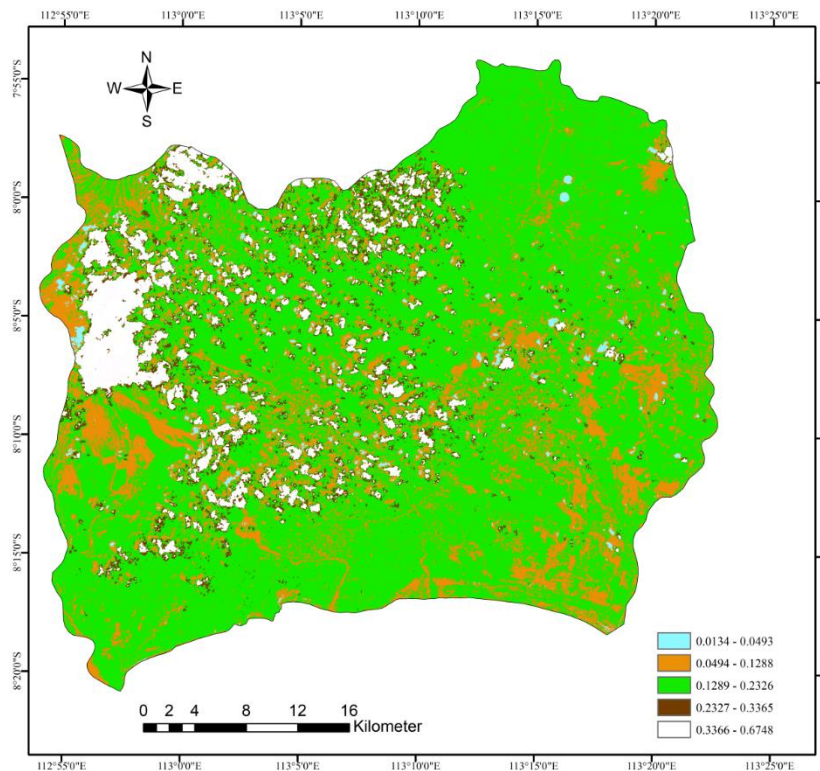
Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

Albedo permukaan adalah nilai perbandingan antara energi radiasi gelombang pendek yang diterima oleh suatu permukaan dan jumlah radiasi gelombang pendek yang dipantulkannya. Berdasarkan Gambar 4.4 albedo permukaan wilayah kajian berkisar antara 0.0134 sampai 0.6748. Nilai albedo terendah pada tutupan lahan Badan air serta tertinggi terletak pada Pertanian lahan kering campur. Nilai Albedo suatu permukaan lebih besar jika permukaannya lebih terang (putih), lebih kering (kurang air), dan lebih halus (tidak bergelombang atau kasar). Sebaliknya, jika permukaannya berwarna gelap dan banyak mengandung uap air, nilai Albedonya lebih rendah.

Tabel 3 Nilai Albedo Permukaan

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata - Rata	Standar Deviasi
Badan Air	0.1056	0.0134	0.0586	0.0304
Belukar	0.2032	0.0856	0.1532	0.0391
Hutan Lahan Kering Primer	0.5468	0.1077	0.1825	0.3105
Hutan Lahan Kering Sekunder	0.5327	0.0575	0.2042	0.1229
Hutan Tanaman	0.5139	0.0857	0.3272	0.0669
Pemukiman	0.4571	0.0335	0.1604	0.0623
Perkebunan	0.5010	0.1165	0.1711	0.0384
Pertanian Lahan Kering	0.5395	0.0403	0.1681	0.0516
Pertanian Lahan Kering Campur	0.6748	0.0682	0.1780	0.0970
Savana / Padang rumput	0.1932	0.1466	0.1699	0.0329
Sawah	0.5064	0.0378	0.1720	0.0824
Tambak	0.0428	0.0428	0.0428	0.0000
Tanah Terbuka	0.5272	0.0412	0.1700	0.0568

Sumber: Hasil Analisis Peta (2023)



Gambar 3. Albedo

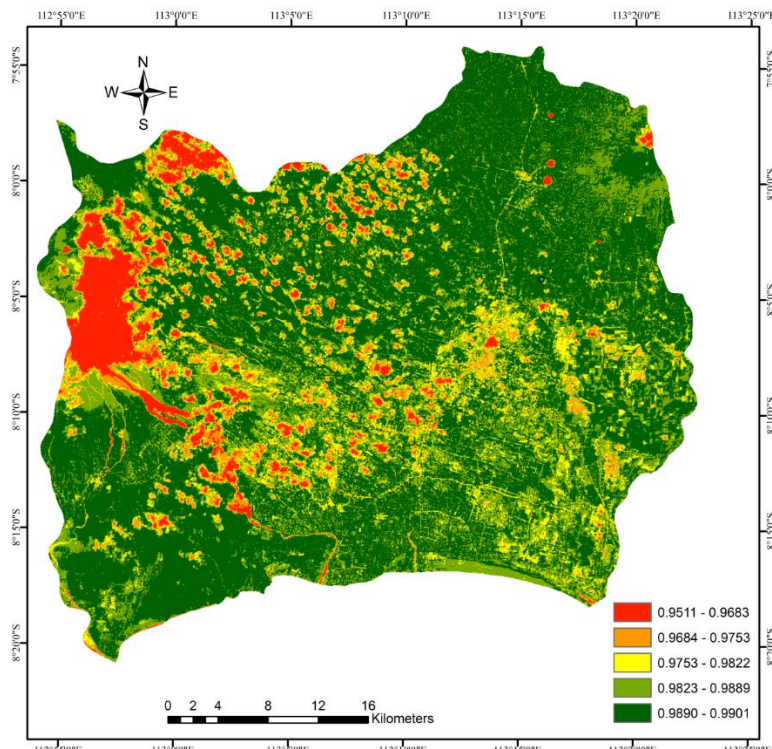
Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

Emisivitas permukaan dapat didefinisikan sebagai kemampuan objek untuk memancarkan energi yang dimilikinya. Emisivitas dinotasikan dengan epsilon (ϵ) dengan nilai antara 0 dan 1 (Fawzi 2014). nilai Emisivitas permukaan diperoleh berkisar antara 0.9511 sampai dengan 0.9901. Berdasarkan Gambar 4.5 Nilai terendah terletak pada Badan air dan tertinggi terletak pada Pertanian lahan kering campur. Emisivitas permukaan diperoleh berdasarkan klasifikasi NDVI. Mengacu pada dan hasil estimasi yang telah diperoleh, perolehan nilai emisivitas menggunakan NDVI memberikan hasil yang baik dari citra penginderaan jauh.

Tabel 4 Emisivitas Permukaan

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata - Rata	Standart Deviasi
Badan Air	0.9826	0.9511	0.9671	0.0083
Belukar	0.9901	0.9808	0.9883	0.0029
Hutan Lahan Kering Primer	0.9895	0.9638	0.9766	0.0182
Hutan Lahan Kering Sekunder	0.9901	0.9638	0.9867	0.0082
Hutan Tanaman	0.9901	0.9669	0.9882	0.0045
Pemukiman	0.9901	0.9659	0.9847	0.0055
Perkebunan	0.9901	0.9719	0.9892	0.0022
Pertanian Lahan Kering	0.9901	0.9687	0.9885	0.0035
Pertanian Lahan Kering Campur	0.9901	0.9651	0.9884	0.0046
Savana / Padang rumput	0.9901	0.9778	0.9839	0.0087
Sawah	0.9901	0.9689	0.9863	0.0057
Tambak	0.9723	0.9723	0.9723	0.0000
Tanah Terbuka	0.9901	0.9631	0.9880	0.0043

Sumber: Hasil Analisis Peta (2023)



Gambar 4. Emsivitas

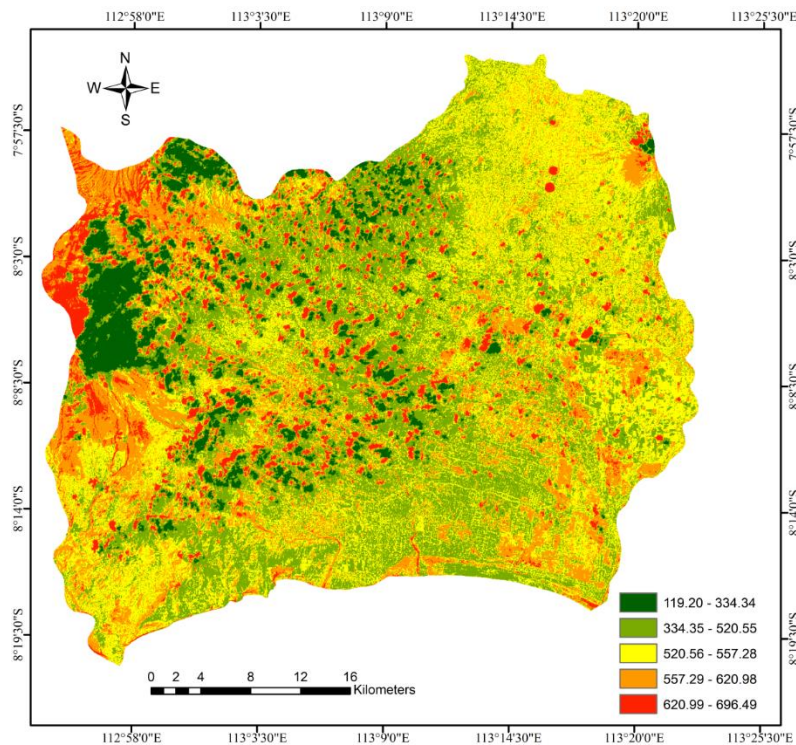
Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

Radiasi bersih merupakan jumlah energi radiasi gelombang panjang yang diterima bumi dan dikurangi dari energi gelombang panjang yang keluar. Energi radiasi gelombang pendek ditentukan oleh nilai albedo, energi radiasi gelombang panjang yang diterima bumi ditentukan oleh suhu udara, dan energi radiasi gelombang panjang yang dikeluarkan ditentukan oleh persamaan radiasi netto. Berdasarkan Gambar 4.6, nilai radiasi bersih yang diperoleh berkisar antara 119.20 Watt/m² sampai dengan 696.49 Watt/m². Nilai radiasi bersih dengan rata-rata terendah terletak pada hutan tanaman sedangkan yang tertinggi terletak pada badan air dan tambak. Badan air dan Tambak memiliki nilai radiasi bersih tinggi karena lebih banyak menyerap radiasi dibanding memantulkannya.

Tabel 5 Radiasi Bersih

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata - Rata	Standart Deviasi
Badan Air	696.49	549.78	651.74	57.2
Belukar	674.17	493.12	554.24	56.4
Hutan Lahan Kering Primer	616.42	480.78	548.60	95.9
Hutan Lahan Kering Sekunder	652.86	376.37	515.89	68.3
Hutan Tanaman	626.84	173.48	513.86	66.5
Pemukiman	674.80	224.34	521.80	62.5
Perkebunan	579.34	178.29	514.50	39.7
Pertanian Lahan Kering	672.11	119.20	517.45	55.2
Pertanian Lahan Kering Campur	635.06	437.98	529.75	41.2
Savana / Padang rumput	587.54	517.37	552.46	49.6
Sawah	670.84	164.24	516.61	86.4
Tambak	668.12	668.12	668.12	0.0
Tanah Terbuka	672.87	140.27	516.81	58.7

Sumber: Hasil Analisis Peta (2023)



Gambar 5. Radiasi Bersih

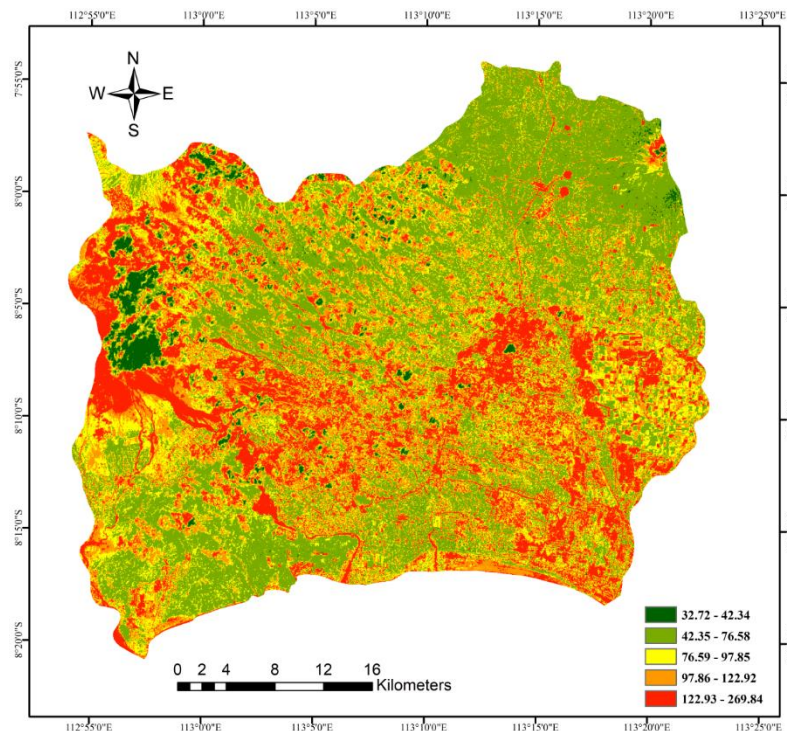
Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

Nilai panas yang disimpan dari proses konduksi di tanah disebut aliran panas tanah. Nilai aliran panas tanah dihitung dengan mengekstraksi nilai radiasi bersih dan nilai NDVI menjadi fraksi vegetasi. Persamaan ini sebenarnya merupakan persamaan empiris yang menggunakan nilai yang dihubungkan pada tutupan vegetasi. Estimasi aliran panas terasa menggunakan Persamaan 3.5. Nilai aliran panas tanah berkisar antara 32.72 Watt/m^2 sampai dengan 269.84 Watt/m^2 sebaran dapat dilihat pada Gambar 6 berikut. Berdasarkan gambar 6 nilai aliran panas tanah tertinggi pada penutup lahan badan air dan sawah sedangkan nilai aliran panas tanah terendah pada penutup lahan yang bervegetasi rapat seperti hutan tanaman.

Tabel 6 Aliran Panas Tanah

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata - Rata	Standart Deviasi
Badan Air	269.84	137.45	215.86	38.87
Belukar	174.37	50.34	91.46	38.09
Hutan Lahan Kering Primer	106.04	62.51	84.27	30.78
Hutan Lahan Kering Sekunder	149.49	49.66	69.73	28.82
Hutan Tanaman	121.22	33.50	71.11	19.69
Pemukiman	173.75	41.54	110.85	28.71
Perkebunan	143.23	44.10	75.50	19.98
Pertanian Lahan Kering	184.32	38.54	82.44	21.76
Pertanian Lahan Kering Campur	127.02	32.72	76.37	26.99
Savana / Padang rumput	164.97	75.91	120.44	62.98
Sawah	196.83	48.74	95.22	34.17
Tambak	206.52	206.52	206.52	0.00
Tanah Terbuka	213.46	40.91	83.32	27.92

Sumber: Hasil Analisis Peta (2023)



Gambar 6. Aliran Panas Tanah

Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

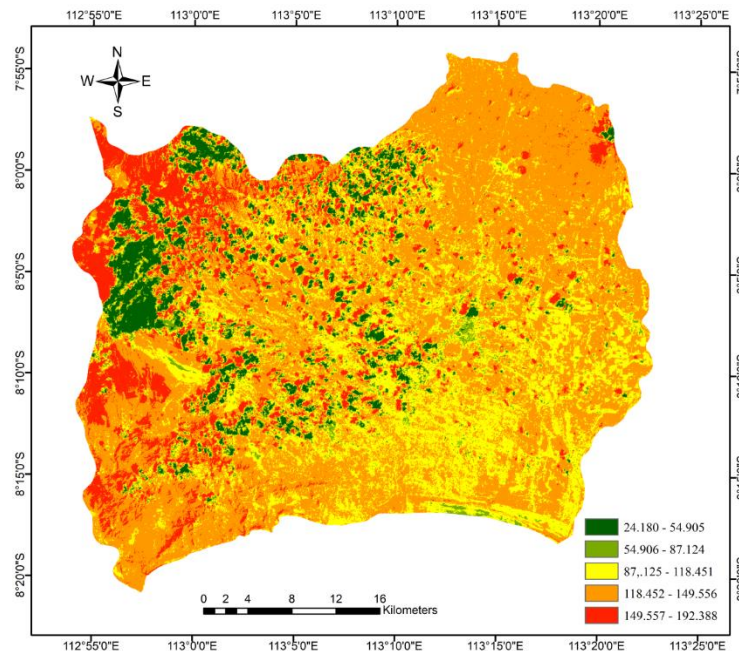
Untuk menghitung aliran panas terasa, digunakan persamaan nilai dari aliran radiasi permukaan dan aliran panas tanah. Daerah yang tidak tertutup oleh vegetasi memiliki nilai aliran panas terasa yang cukup tinggi, sedangkan daerah yang tertutup oleh tanah kosong dan terbangun memiliki nilai aliran panas terasa yang rendah (Rwasoka *et al.*, 2011). Nilai Aliran panas terasa kemudian di-overlay dengan data tutupan lahan wilayah kajian. Nilai aliran panas terasa berkisar 24.180 Watt/m² sampai 192.388 Watt/m². Berdasarkan gambar 4.8, nilai aliran panas terasa rata-rata tertinggi terletak pada tambak dan lahan bervegetasi. Sedangkan rata rata terendah ada pada pemukiman. Hal ini disebabkan oleh kapasitas panas air yang tinggi, yang membuatnya dapat menahan panas untuk waktu yang lama. Akibatnya, aliran panas terasa seperti energi yang ditransfer dari permukaan air ke udara melalui konveksi, proses di mana panas dipindahkan bersama dengan fluida yang bergerak.

Tabel 7 Aliran Panas Terasa

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata - Rata	Standart Deviasi
Badan Air	178.73	100.61	132.49	21.841
Belukar	190.81	116.06	137.68	19.982
Hutan Lahan Kering Primer	166.82	41.38	124.10	88.701
Hutan Lahan Kering Sekunder	151.59	36.75	122.29	31.90
Hutan Tanaman	192.38	43.15	125.26	27.16
Pemukiman	164.98	24.18	108.69	19.45
Perkebunan	164.25	28.95	120.19	14.32
Pertanian Lahan Kering	184.01	31.63	120.35	10.01
Pertanian Lahan Kering Campur	164.98	127.97	123.14	8.04
Savana / Padang rumput	132.44	118.58	125.51	9.80
Sawah	176.09	28.25	119.43	16.71
Tambak	145.33	145.33	145.33	0.000

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata - Rata	Standart Deviasi
Tanah Terbuka	182.08	33.37	119.94	16.28

Sumber: Hasil Analisis Peta (2023)



Gambar 6. Aliran Panas Terasa

Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

Menurut Saidah *et al.*, (2020), Perhitungan ETo dengan metode Thornthwaite membutuhkan input data suhu udara rata-rata bulanan di wilayah penelitian. Nilai evapotranspirasi ini digunakan sebagai referensi atau pembanding terhadap estimasi evapotranspirasi berdasarkan citra Landsat 9. Berdasarkan persamaan yang diterapkan, diperoleh hasil yang disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai Evapotranspirasi Referensi

T (°C)	I	a	N (Jam)	d (Hari)	Eto (mm/bulan)	Eto (mm/ hari)
28.71	19.76	3.27	12.5	31	96.29	3.1

Berdasarkan hasil analisa nilai evapotranspirasi metode Thornthwaite didapatkan hasil evapotranspirasi koreksi sebesar 3.1 mm/day. Nilai data suhu rata-rata 28.71°C. Berdasarkan dari persamaan tersebut perhitungan evapotranspirasi referensi mempertimbangkan suhu udara sebagai indeks panas. Faktor koreksi hasil evapotranspirasi menggunakan panjang hari dan jumlah hari perbulan sehingga menghasilkan nilai evapotranspirasi terkoreksi. Berdasarkan hasil penelitian Saidah *et al.*, (2020) menyatakan metode Thornthwaite lebih dianjurkan pemakaiannya dibandingkan metode Evaporasi panci untuk perhitungan nilai Eto pada daerah dengan data cuaca terbatas. Nilai evapotranspirasi tersebut dijadikan sebagai referensi atau pembanding dalam estimasi evapotranspirasi berdasarkan dataset Citra Landsat 9.

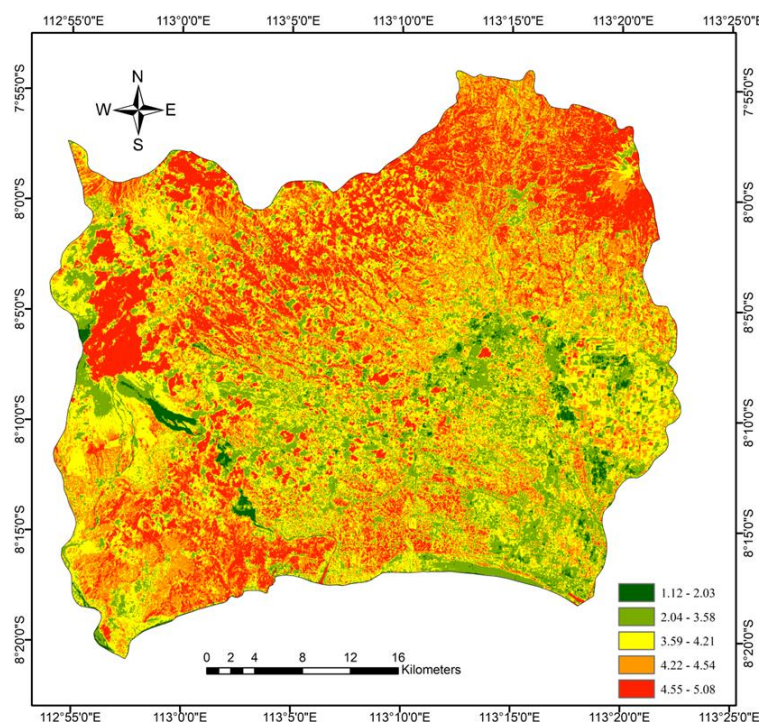
Nilai Evapotranspirasi Metode SEB

Citra hasil estimasi evapotranspirasi kemudian di-overlay dengan tutupan lahan wilayah kajian. Berdasarkan gambar 1, Nilai evapotranspirasi rata-rata tertinggi pada wilayah tambak dengan nilai evapotranspirasi 5.08 mm/hari dan rata rata terendah pada penutup lahan pemukiman dengan nilai evapotranspirasi 3.67 mm/hari. Jika penutup lahan memiliki kandungan air yang tinggi, nilai evapotranspirasinya akan tinggi. Sebaliknya, jika penutup lahan memiliki kemampuan menyimpan air yang rendah, nilai evapotranspirasinya akan rendah. Hal ini disebabkan oleh proses penguapan yang dikenal sebagai evaporasi dan transpirasi, yang mengubah air di permukaan bumi menjadi uap air. Daerah yang ditutupi oleh vegetasi dan badan air memiliki tingkat evapotranspirasi yang tinggi.

Tabel 9 Nilai Evapotranspirasi Berdasarkan Tutupan Lahan

Kelas Tutupan Lahan	Maks	Min	Rata Rata	Standar Deviasi
Badan Air	5.01	4.23	4.83	0.23
Belukar	4.72	2.93	4.15	0.57
Hutan Lahan Kering Primer	4.92	3.89	4.41	0.73
Hutan Lahan Kering Sekunder	4.84	2.77	4.44	0.60
Hutan Tanaman	4.90	3.45	4.43	0.27
Pemukiman	4.81	1.79	3.67	0.58
Perkebunan	4.91	3.15	4.28	0.34
Pertanian Lahan Kering	4.87	1.97	4.18	0.40
Pertanian Lahan Kering Campur	4.93	3.40	4.31	0.36
Savana / Padang rumput	4.58	3.31	3.94	0.90
Sawah	4.88	1.35	3.91	0.75
Tambak	5.08	5.08	5.08	0.00
Tanah Terbuka	4.91	1.12	4.16	0.53

Sumber: Hasil Analisis Peta (2023)



Gambar 8. Peta Nilai Evapotranspirasi Metode SEBS
Sumber: Hasil Analisis Peta, (2023)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, citra Landsat 9 dapat menurunkan parameter-parameter SEBS dengan metode kesetimbangan energi dengan cukup baik. Hal ini dilihat dari sebaran estimasi nilai tiap parameternya berdasarkan data penutup lahan. berdasarkan data tutupan lahan laju evapotranspirasi tertinggi yaitu pada badan air rata rata 5.08 mm/hari dan terendah pada pemukiman rata-rata 3.67 mm/hari. serta tidak berbeda jauh dengan nilai evapotranspirasi refrensi sebesar 3.1 mm/hari perbedaan nilai estimasi evapotranspirasi rata-rata 0.57 mm/hari – 1.98 mm/hari. perbedaan nilai evapotranspirasi pada penutup lahan dipengaruhi oleh karakteristik permukaan seperti emisivitas, albedo, serta kemampuan penutup lahan menyimpan air.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Aschonitis V, Touloumidis D, Ten Veldhuis MC, Coenders-Gerrits M. 2022. Correcting Thornthwaite potential evapotranspiration using a global grid of local coefficients to support temperature-based estimations of reference evapotranspiration and aridity indices. *Earth Syst Sci Data*. 14(1):163–177. <https://doi.org/10.5194/essd-14-163-2022>
- Fawzi NI. 2014. Pemetaan Emisivitas Menggunakan Indeks Vegetasi (Surface Emissivity Mapping Using Vegetation Indices). *Maj Ilm Globë*. 16(2):133–140.
- Hailegiorgis. 2006. Remote Sensing analysis of summer time Evapotranspiration using SEBS algorithm Remote Sensing analysis of summer time Evapotranspiration using SEBS algorithm. Thesis.
- Henrich V, Krauss G, Götze C, Sandow C. 2011. The IndexDatabase.
- Huang C, Li Y, Gu J, Lu L, Li X. 2015. Improving estimation of evapotranspiration under water-limited conditions based on SEBS and MODIS data in arid regions. *Remote Sens*. 7(12):16795–16814. <https://doi.org/10.3390/rs71215854>
- Idfi G. 2021. Pengembangan Peta Evapotranspirasi Wilayah Malang Raya Dengan Sistem Informasi Geografis. *J Tek Sipil*. 10(1):1–8.
- Kurniadin N, Yani M, Astrolabe Sian Prasetya F V, Khairil Insanu R, Wumu R, Indra Suryalfihra S. 2022. Deteksi Perubahan Suhu Permukaan Tanah dan Hubungannya dengan Pengaruh Albedo dan NDVI Menggunakan Data Satelit Landsat-8 Multitemporal di Kota Palu Tahun 2013-2020 Detection of Changes in Land Surface Temperature and Its Relationship with Albedo and NDVI. 18(1):82–98.
- Malik MS, Shukla JP, Mishra S. 2019. Relationship of LST, NDBI and NDVI using landsat-8 data in Kandaihimmat watershed, Hoshangabad, India. *Indian J Geo-Marine Sci*. 48(1):25–31.

- Rwasoka DT, Gumindoga W, Gwenzi J. 2011. Estimation of actual evapotranspiration using the Surface Energy Balance System (SEBS) algorithm in the Upper Manyame catchment in Zimbabwe. *Phys Chem Earth*. 36(14-15):736-746. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2011.07.035>
- Saidah H, Sulistyono H, Budianto MB. 2020. Kalibrasi Persamaan Thornthwaite Dan Evaporasi Panci Untuk Memprediksi Evapotranspirasi Potensial Pada Daerah Dengan Data Cuaca Terbatas. *J Sains Teknol Lingkung*. 6(1):72-84. <https://doi.org/10.29303/jstl.v6i1.155>
- Su Z. 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for estimation of turbulent heat fluxes. *Hydrol Earth Syst Sci*. 6(1):85-99. <https://doi.org/10.5194/hess-6-85-2002>