

PEMANFAATAN CITRA PENGINDERAAN JAUH UNTUK PERHITUNGAN NILAI EVAPOTRANSPIRASI BERBASIS METODE KESETIMBANGAN ENERGI DI DAS TANGGUL KABUPATEN JEMBER

Ach. Firyal Wijdani
ach.firyal.w@mail.ugm.ac.id

Sigit Heru Murti B.S.
sigit@geo.ugm.ac.id

Abstract

Water is the most important things in human life. One of the step that water passes in the hydrological cycle is the evapotranspiration process. There has not been much remote sensing research on evapotranspiration especially in the Tanggul Watershed area. The purpose of this research were (1) to make a map of evapotranspiration zonation in the area of Tanggul watershed of Kabupaten Jember (2) to know the accuracy level of energy balance method method in Tanggul watershed for each land cover. This research uses two methods for estimating evapotranspiration. There were surface energy balance method (SEBAL) and Penman-Monteith method. The Penman-Monteith method was used as a comparable reference data to calculate the accuracy value of the SEBAL method. The results showed that the evapotranspiration value in the Tanggul Watershed area using surface energy balance method was 0.88 mm / day -1.57 mm / day, while the Penman-Monteith method was 0.531 mm / day - 0.696 mm / day. . The lowest RMSE value is the high density vegetation cover. So that the best surface energy balance method is the best for applied in the high density vegetation at Tanggul Watershed.

Keyword: *Evapotranspiration, Surface Energy Balance Method., Penman-Monteith Method, RMSE Value.*

Intisari

Air merupakan hal yang paling penting didalam kehidupan manusia. Salah satu tahapan yang dilalui air dalam siklus hidrologi adalah proses evapotranspirasi. Belum banyak penelitian penginderaan jauh tentang evapotranspirasi khususnya di wilayah DAS Tanggul. Penelitian ini bertujuan untuk (1) membuat Peta Zonasi evapotranspirasi di wilayah DAS Tanggul Kabupaten Jember (2) mengetahui tingkat akurasi metode kesetimbangan energi di DAS Tanggul Kabupaten Jember pada setiap penutup lahan. Penelitian ini menggunakan dua metode dalam estimasi nilai evapotranspirasi yaitu metode kesetimbangan energi dan metode *Penman-Monteith*. Metode *Penman Monteith* digunakan sebagai pembanding acuan data pembanding yang dianggap benar untuk menghitung nilai akurasi metode kesetimbangan Energi. Hasil penelitian menunjukkan nilai evapotranspirasi di wilayah DAS Tanggul dengan menggunakan metode kesetimbangan energi adalah sebesar 0,88 mm/hari -1,57 mm/hari, sedangkan dengan menggunakan metode *Penman-Monteith* adalah sebesar 0,531 mm/hari - 0,696 mm/hari. . Nilai RMSE yang paling rendah pada penutup lahan vegetasi kerapatan tinggi sehingga metode kesetimbangan energi yang paling baik diterapkan di wilayah DAS Tanggul adalah pada penutup lahan vegetasi kerapatan tinggi.

Kata Kunci: Evapotranspirasi, Metode Kesetimbangan Energi, Metode *Penman-Monteith*, Nilai RMSE.

PENDAHULUAN

Air merupakan komponen terpenting dalam kehidupan manusia. Ketidaktersediaan air dalam kehidupan akan menghambat kehidupan di muka bumi ini. Bahkan, apabila tidak tersedia air di muka bumi ini akan mengakibatkan tidak adanya kehidupan di muka bumi ini. Keberadaan air tidak lepas dari peranan daur hidrologi di muka bumi. Evapotranspirasi merupakan bagian terpenting dalam siklus hidrologi.

Data mengenai evapotranspirasi hampir selalu dibutuhkan dalam aplikasi di bidang hidrologis. Menurut *US Soil Conservation Service* dalam Asdak (2010), besarnya evapotranspirasi suatu komunitas vegetasi perlu untuk diketahui, hal ini disebabkan oleh hasil penelitian yang menunjukkan bahwa dua-pertiga jumlah hujan yang jatuh di wilayah Amerika Utara akan dikembalikan ke atmosfer sebagai hasil evaporasi tanaman dan permukaan tubuh air. Berbeda dengan di Afrika, jumlah air yang mengalami evapotranspirasi melebihi 90% dari curah hujan yang jatuh di tempat tersebut.

Data evapotranspirasi sangat sulit untuk didapatkan. Pengukuran nilai evapotranspirasi merupakan salah satu pengukuran yang cukup sulit dilakukan. Sehingga data yang tersedia merupakan data yang tidak *reall time* dan akurasi datanya sangat kecil. Selain itu, data evapotranspirasi merupakan data titik yang diukur pada titik-titik pengamatan hujan saja, sehingga data yang dihasilkan kurang menyeluruh.

Banyak metode dalam perhitungan nilai evapotranspirasi, seperti perhitungan dengan menggunakan panci evapotranspirasi, perhitungan dengan menggunakan metode *Thornwaite*, perhitungan dengan menggunakan metode *Penman*, dan lain sebagainya. Nilai evapotranspirasi juga dapat dihitung dengan menggunakan teknik penginderaan jauh. Penginderaan jauh akan membuat perhitungan nilai evapotranspirasi menjadi lebih mudah, hemat biaya, hemat energi,

dan hasilnya lebih akurat. Penginderaan jauh digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai pada setiap parameter yang digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi yang memanfaatkan metode kesetimbangan energi. Parameter tersebut diantaranya adalah nilai albedo, nilai *NDVI*, nilai emisifitas, nilai energi netto, nilai energi terasa, nilai energi terasa kedalam tanah, dan lain sebagainya.

Lokasi kajian penelitian ini adalah di DAS Tanggul, Kabupaten Jember. Menurut data BPS tahun 2012, sebagian besar wilayah Kabupaten Jember merupakan wilayah hutan. Wilayah hutan di Kabupaten Jember merupakan hutan yang memiliki jenis tanaman yang bermacam-macam. Akan tetapi data mengenai evapotranspirasi di wilayah tersebut masih kurang memadai.

Ketidaktersediaan data itulah yang membuat penelitian ini dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk (1) membuat Peta Zonasi evapotranspirasi di wilayah DAS Tanggul Kabupaten Jember (2) mengetahui tingkat akurasi metode kesetimbangan energi di DAS Tanggul Kabupaten Jember pada setiap penutup lahan.

Penelitian ini menggunakan dua metode dalam estimasi nilai evapotranspirasi yaitu metode kesetimbangan energi dan metode *Penman-Monteith*. Metode kesetimbangan energi merupakan metode yang menggunakan data penginderaan jauh sebagai data utamanya. Data yang digunakan adalah data citra Landsat 8 OLI dan juga citra MODIS, sedangkan metode *Penman-Monteith* menggunakan data fisik lapangan yang diperoleh dari stasiun pengamatan BMKG. Metode *Penman-Monteith* digunakan sebagai pembanding acuan data pembanding yang dianggap benar untuk menghitung nilai akurasi metode kesetimbangan Energi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Seperangkat Komputer

- Aplikasi Envi 5.0
- Aplikasi Arc-Gis 10.1
- GPS
- Seperangkat Kamera
- Alat Tulis
- Aplikasi *Microsoft Office*

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- Citra Landsat 8 OLI Path 118, Row 66 perekaman bulan Juni.
- Data suhu udara bulan Juni
- Data kelembaban relatif bulan Juni 2015
- Data kecepatan angin bulan Juni 2015
- Data lama penyinaran matahari
- Data tekanan udara bulan Juni
- Data radiasi matahari bulan Jun
- Citra SRTM

Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Citra Landsat 8 OLI, Citra Modis, dan Citra SRTM sebagai data utama dalam perhitungan nilai evapotranspirasi dengan menggunakan metode kesetimbangan energi, sedangkan dalam metode *Penman-Monteith* data utama yang digunakan adalah data pengukuran iklim yang diperoleh dari BMKG dan juga data ketinggian dari citra SRTM. Seluruh data yang digunakan adalah data pada perekaman tanggal 16 Juni 2015, akan tetapi adabeberapa data yang tidak tepat diambil pada tanggal 16 Juni 2015, yaitu citra MODIS yang direkam pada tanggal 15 Juni 2015 karena resolusi temporalnya tidak sama dengan Citra Landsat 8 OLI, dan citra SRTM yang menggambarkan nilai ketinggian yang perubahannya tidak akan terlalu signifikan dari tahun ke tahun sehingga dianggap sama ketinggiannya pada saat perekaman citranya.

Tahapan penelitian yang dilakukan adalah menghitung nilai evapotranspirasi dengan menggunakan metode kesetimbangan energi, menghitung nilai evapotranspirasi dengan menggunakan metode *Penman-Monteith*, dan

menghitung nilai RMSE metode kesetimbangan energi dibandingkan dengan metode *Penman-Monteith*.

Metode Kesetimbangan Energi

Metode kesetimbangan energi, menghitung energi yang masuk kedalam ($Energy_{in}$), energi yang keluar ($Energy_{out}$) dan juga perubahan pada penyimpanan energi ($\Delta Energy_s$), tetapi tidak termasuk pada kelembaban yang tersedia dan mekanisme transfer massa. e dihitung sebagai eror dalam kesetimbangan energi. Secara sederhana perhitungan kesetimbangan energi dirumuskan dalam persamaan berikut ini (Abtew *et al*,2013):

$$R_n = LE + H + G \quad (1)$$

dimana LE merupakan Aliran panas laten (Wm^{-2}) atau nilai evapotranspirasi dalam satuan energi, R_n merupakan Aliran radiasi permukaan (Wm^{-2}), H merupakan Aliran panas terasa (Wm^{-2}), dan G merupakan Aliran panas tanah (Wm^{-2}).

Nilai R_n didapatkan dari jumlah rata-rata gelombang pendek (matahari) dan gelombang panjang (Thermal) yang digambarkan dengan rumus berikut:

$$R_n = (R_{s\downarrow} - R_{s\uparrow}) + (R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow}) \quad (2)$$

dimana $R_{s\downarrow}$ dan $R_{s\uparrow}$ merupakan gelombang pendek yang masuk dan keluar dari permukaan bumi, dan $R_{L\downarrow}$ dan $R_{L\uparrow}$ adalah gelombang panjang yang masuk dan juga keluar.

Nilai radiasi gelombang pendek ($R_{s\downarrow} - R_{s\uparrow}$), digambarkan dalam algoritma berikut:

$$R_{s\downarrow} = \frac{G_{sc} \times \tau_{sw}}{\sin\theta \times d_{e-s}^2} \quad (3)$$

$$\tau_{sw} = 0,75 + 0,00002z \quad (4)$$

$$R_{s\uparrow} = \alpha \times R_{s\downarrow} \quad (5)$$

$$\alpha = 0,356 \rho_2 + 0,130 \rho_4 + 0,373 \rho_5 + 0,085 \rho_6 + 0,072 \rho_7 - 0,0018 \quad (6)$$

dimana:

G_{sc} = Konstanta matahari ($1,367 \text{ Wm}^{-2}$)

τ_{sw} = Transivitas atmosfer searah

θ = Sudut inklinasi matahari (Radian)

d_{e-s} = Jarak relatif antara bumi dan matahari (*Astronomical Unit*)

Z = Ketinggian tempat dari permukaan laut(m)

α = nilai Albedo

ρ = Saluran dalam citra Landsat

Nilai radiasi gelombang panjang, digambarkan dalam algoritma berikut:

$$RL \downarrow = \sigma \times \varepsilon_a \times T_a^4 \quad (7)$$

$$\varepsilon_a = -0,85 (\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (8)$$

$$RL \uparrow = \sigma \varepsilon_s T_{sur}^4 \quad (9)$$

$$\varepsilon_s = 1,009 + 0,047 \quad (10)$$

dimana:

σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

ε_a = emisifitas Atmosfer

T_a = Suhu udara di dekat permukaan (K)

σ = konstanta Stefan-Boltzmann ($5,67 \times 10^{-8} \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$)

ε_s = Emisifitas inframerah termal permukaan

T_{sur} = Suhu Permukaan (K)

Aliran panas tanah (G) merupakan tingkat penyimpanan panas di tanah melalui sebuah konduksi. Menurut Campbel dan Norman (1998), aliran panas tanah didapatkan dari konduktivitas termal pada tanah, perbedaan temperatur pada suatu kedalaman tanah, dan juga kedalaman pengukuran tanah. Akan tetapi, perhitungan yang dilakukan merupakan perhitungan langsung di lapangan yang membutuhkan waktu dan biaya yang cukup banyak. Hal itu membuat perhitungan tersebut jarang digunakan dalam pemodelan dengan menggunakan kesetimbangan energi (Abtew *et al*, 2013).

$$\frac{G}{Rn} = 0,2 (1 - 0,98NDVI^4) \quad (11)$$

dimana:

G = Aliran panas tanah (Wm^{-2})

Rn = Aliran radiasi permukaan (Wm^{-2})

NDVI = Nilai idex Vegetasi

Aliran panas terasa (H) di setimasikan menggunakan model tahanan aerodinamis besar dan prosedur yang diasumsikan linear dengan hubungan antara tahanan aerodinamis di sekitar permukaan-perbedaan suhu udara (dT) dan T_s yang dihitung dari piksel yang ekstrim (Panas dan dingin) untuk membangun sebuah hubungan yang linear antara dt dan T_s . Pendekatan yang dilakukan di metode kesetimbangan energi juga mengasumsikan bahwa piksel terdingin dan terpanas, H dan LE diasumsikan nol. Persamaan 1 dilakukan perubahan sehingga menghasilkan $Rn = G + LE$ pada suhu terdingin, dan $Rn = G + H$ pada suhu terpanas.

Perhitungan evapotranspirasi menurut *Penman-Monteith* (1965) dalam SNI T-01, (2004):

$$ET = \frac{0,408\Delta Rn + \gamma \frac{900}{(T+273)} U_2 (es - ea)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (12)$$

dimana:

ET = Evapotranspirasi (mm/hari)

Rn = Radiasi matahari netto diatas permukaan tanaman ($\text{MJ/m}^2/\text{hari}$)

T = Suhu udara rata-rata ($^{\circ}\text{C}$)

U_2 = kecepatan angin pada ketinggian 2 m diatas permukaan tanah (m/s)

es = tekanan ua air jenuh (kPa)

ea = tekanan uap air aktual (kPa)

Δ = kemiringan kurva tekanan uap air terhadap suhu ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)

γ = konstanta psikometrik ($\text{kPa}/^{\circ}\text{C}$)

Setelah nilai evapotranspirasi dengan menggunakan metode kesetimbangan energi dan juga dengan menggunakan metode *Penman-Monteith* didapatkan maka kemudian dihitung nilai RMSE untuk mengetahui tingkat akurasi metode kesetimbangan energi

dibandingkan dengan metode *Penman-Monteith*. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\sum_i^n (e_i - e)^2 / (n - 1)} \quad (13)$$

dimana:

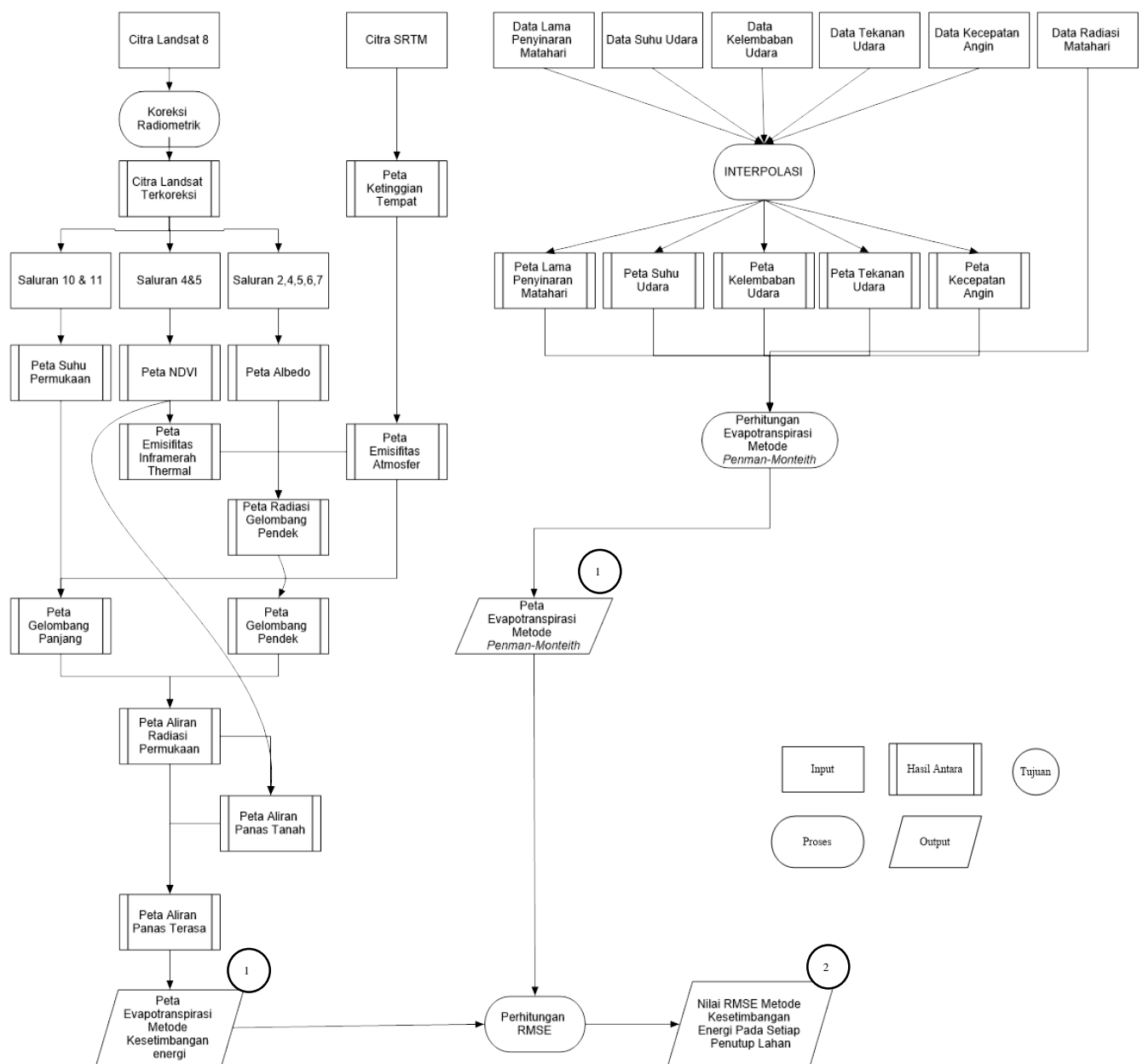
$RMSE = \text{Root Mean Square Error}$

E_i = nilai pada data acuan (Nilai evapotranspirasi metode *Penman*)

e = nilai pada data sampel (Nilai evapotranspirasi metode Kesetimbangan energi)

n = Jumlah Sampel

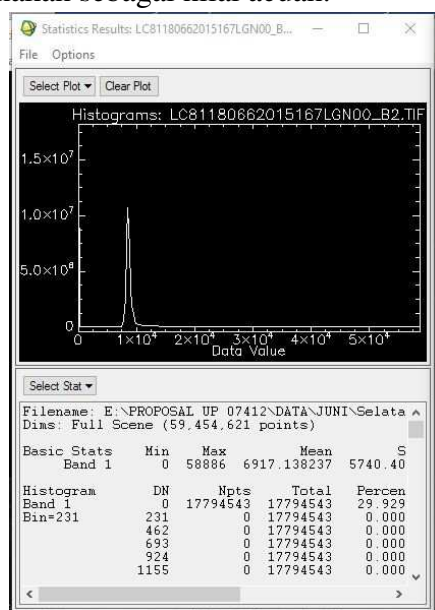
Uji validasi nilai evapotranspirasi dengan menggunakan metode kesetimbangan energi dibandingkan dengan perhitungan dengan menggunakan metode *Penman-Monteith*. Metode *Penman* dianggap paling akurat karena tiap nilai pada parameternya menggunakan data yang didapatkan dari pengukuran langsung oleh BMKG, sehingga data acuan lapangan yang digunakan adalah data hasil perhitungan dengan menggunakan metode *Penman-Monteith*.



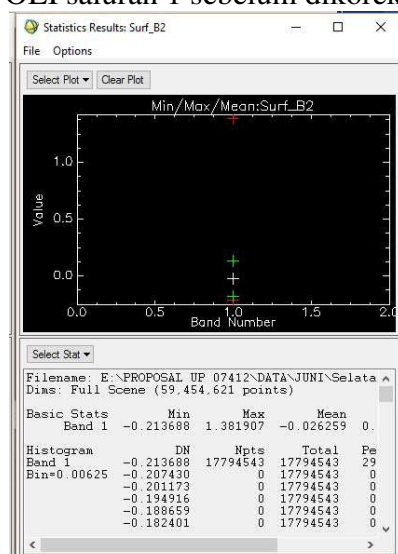
Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tahapan pengolahan data untuk menjadi nilai evapotranspirasi diawali dengan melakukan koreksi terhadap data yang digunakan. Koreksi yang dilakukan terhadap citra Landsat adalah koreksi radiometrik untuk mendapatkan nilai pantulan objek yang sebenarnya. Nilai yang tertera pada citra sebelum dikoreksi adalah nilai digital yang bukan merupakan nilai pantulan suatu objek. Koreksi radiometri dilakukan ingga tahapan *dark subtract* dimana dianggap nilai pantulan tergelap adalah nilai pantulan air bersih sehingga digunakan sebagai nilai acuan.



Gambar 2. Histogram citra Landsat 8 OLI saluran 1 sebelum dikoreksi



Gambar 3. Histogram citra Landsat 8 OLI saluran 1 setelah dikoreksi

Setelah citra Landsat dilakukan koreksi tahapan selanjutnya adalah mengolah citra Landsat menjadi nilai-nilai parameter yang digunakan dalam perhitungan evapotranspirasi metode kesetimbangan energi. Parameter yang digunakan dengan menggunakan citra Landsat diantaranya adalah nilai NDVI, nilai suhu permukaan, nilai Albedo, nilai emisivitas. Apabila seluruh parameter didapatkan maka perhitungan evapotranspirasi metode kesetimbangan energi dapat dilakukan pula.

Perhitungan evapotranspirasi dengan menggunakan metode kesetimbangan energi merupakan perhitungan evapotranspirasi yang menggunakan data penginderaan jauh sebagai data utamanya. Perhitungannya menggunakan analisis raster sehingga nilai per piksel pada citra yang digunakan akan dilakukan perhitungan dan akan menghasilkan nilai evapotranspirasi. Data yang digunakan dalam metode ini adalah citra Landsat dan citra SRTM sebagai acuan ketinggian.

Aliran Radiasi Permukaan (Rn)

Radiasi permukaan adalah nilai radiasi yang diserap oleh permukaan yang didapatkan dari jumlah antara radiasi gelombang pendek dan radiasi gelombang panjang. Data yang digunakan dalam mendapatkan nilai aliran radiasi permukaan adalah data ketinggian, nilai albedo, nilai NDVI, dan suhu permukaan. Data ketinggian digunakan untuk mendapatkan nilai transitifitas atmosfer searah (τ_{sw}). Nilai yang dihasilkan searah dengan nilai ketinggian. Semakin tinggi wilayahnya maka nilai transitifitas atmosfer semakin tinggi. Setelah nilai transitifitas atmosfer didapatkan maka kemudian dilakukan perhitungan nilai gelombang pendek yang masuk ke bumi dengan memperhatikan nilai konstanta matahari, sudut inklinasi matahari, dan jarak antara matahari dan bumi dalam satuan astronomi.

Jarak antara bumi dan matahari dalam unit astronomi nilainya adalah satu karena

digunakan sebagai jarak acuan antar benda-benda angkasa lainnya. Sedangkan nilai sudut inklinasi matahari ditentukan oleh posisi titik balik matahari sehingga nilainya berbeda tergantung tanggal dan bulan. Nilai sudut inklinasi matahari pada tanggal 16 Juni 2015 adalah sebesar 0,9973. Setelah nilai gelombang pendek yang masuk ke bumi didapatkan maka perhitungan selanjutnya adalah dengan mengalikannya terhadap nilai albedo untuk mendapatkan nilai radiasi gelombang pendek yang masuk.

Setelah nilai gelombang pendek didapatkan, maka selanjutnya dihitung nilai gelombang panjangnya dengan menggunakan data suhu permukaan, data NDVI, dan data ketinggian. Data suhu permukaan dan ketinggian digunakan untuk mencari nilai radiasi gelombang panjang yang masuk ke bumi. Sedangkan untuk mencari nilai radiasi gelombang panjang yang keluar dengan memanfaatkan nilai NDVI dan nilai suhu permukaan. Nilai NDVI terlebih dahulu diubah menjadi nilai emisifitas inframerah permukaan untuk kemudian dilakukan perhitungan aliran gelombang panjang yang keluar.

Nilai aliran radiasi permukaan di wilayah DAS Tanggul adalah antara 35,278 hingga 56,0436 W/m^2 . Wilayah yang memiliki nilai aliran radiasi terbesar adalah wilayah tengah DAS Tanggul. Sedangkan wilayah hulu DAS Tanggul memiliki nilai yang terkecil. Wilayah dengan penutup lahan berupa lahan kosong dan pemukiman pun memiliki nilai aliran radiasi permukaan yang cukup kecil. Sebaliknya, wilayah bervegetasi memiliki nilai aliran radiasi yang cukup besar.

Aliran Panas Tanah (G)

Aliran panas tanah (G) merupakan nilai dari panas yang disimpan di tanah dari proses konduksi. Nilai aliran panas tanah didapatkan dari nilai aliran radiasi permukaan dan nilai NDVI. Sebenarnya persamaan tersebut merupakan persamaan empiris yang menggunakan nilai yang dihubungkan pada tutupan vegetasi yang telah banyak digunakan. Hal tersebut

dikarenakan nilai aliran panas tanah merupakan nilai yang paling sulit untuk didapatkan.

Nilai aliran panas tanah yang dihasilkan adalah 3,6 hingga 9,6 W/m^2 . Penutup lahan berupa lahan kosong dan lahan terbangun memiliki nilai aliran panas tanah yang cukup tinggi, sedangkan untuk wilayah bervegetasi seperti sawah dan hutan memiliki nilai aliran panas yang cukup rendah. Hal tersebut berkebalikan dengan nilai aliran radiasi permukaan.

Nilai aliran panas tanah tidak terlalu terpengaruh oleh aspek ketinggian. Hal ini dibuktikan dengan nilai aliran radiasi permukaan yang dihasilkan nilainya tidak konsisten terhadap ketinggiannya. Nilai aliran panas tanah tersebut lebih banyak dipengaruhi oleh nilai tutupan vegetasinya. Semakin sedikit vegetasi yang menutupi permukaan semakin besar pula nilai aliran panas permukaannya.

Aliran Panas Terasa (H)

Aliran panas terasa menggunakan nilai dari aliran radiasi permukaan dan aliran panas tanah dalam perhitungannya. Nilai aliran panas terasa pada dasarnya diasumsikan dengan menggunakan dua persamaan yang berbeda pada piksel dingin dan piksel panas. Pada piksel dingin, nilai H dianggap 0 karena tidak terdapat aliran panas yang terjadi, sedangkan pada piksel panas diasumsikan bahwa LE adalah 0.

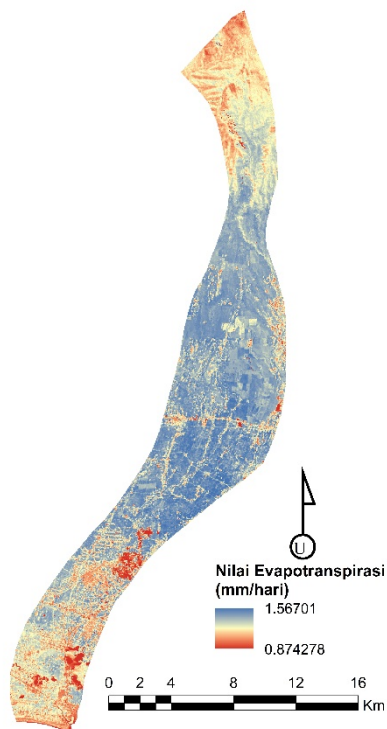
Nilai aliran panas terasa di wilayah DAS Tanggul adalah 3,3 hingga 6,1. Nilai aliran panas terasa memiliki pola yang mirip dengan nilai aliran radiasi permukaan. Wilayah tengah memiliki nilai aliran terasa yang paling tinggi dan nilai terendah berada pada wilayah hulu dan wilayah hilir. Wilayah dengan penutup lahan berupa lahan kosong dan lahan terbangun memiliki nilai aliran panas terasa yang rendah, sedangkan wilayah dengan penutup lahan bervegetasi memiliki nilai aliran panas terasa yang cukup tinggi.

Nilai Evapotranspirasi Metode Keseimbangan Energi

Nilai evapotranspirasi menurut persamaan keseimbangan energi

merupakan nilai panas laten. Nilai panas laten (LE) masih memiliki satuan energi sehingga perlu dikonversikan dari satuan energi menjadi satuan mm/hari untuk menjadikan nilai panas laten menjadi nilai evapotranspirasi. Nilai panas laten yang memiliki satuan energi (W/m^2) tidak dapat langsung diubah menjadi nilai satuan mm/hari. Satuan energi perlu dikonversikan terlebih dahulu menjadi nilai radiasi dengan satuan $MJ/M^2/hari$. Satu W/m^2 nilainya setara dengan $0,00864 MJ/m^2/hari$. Setelah diubah menjadi satuan radiasi maka diubah kembali kedalam satuan evapotranspirasi (mm/hari). Satu $MJ/m^2/hari$ nilainya sama dengan $0,408 mm/hari$.

Nilai evapotranspirasi di wilayah DAS Tanggul dengan menggunakan metode kesetimbangan energi nilainya cukup rendah, yaitu sekitar $0,88$ hingga $1,57 mm/hari$. Wilayah tengah DAS memiliki nilai evapotranspirasi yang tinggi bila dibandingkan dengan wilayah hulu dan hilir. Wilayah dengan tutupan lahan berupa lahan kosong dan berupa bangunan memiliki nilai evapotranspirasi yang cukup kecil pula.



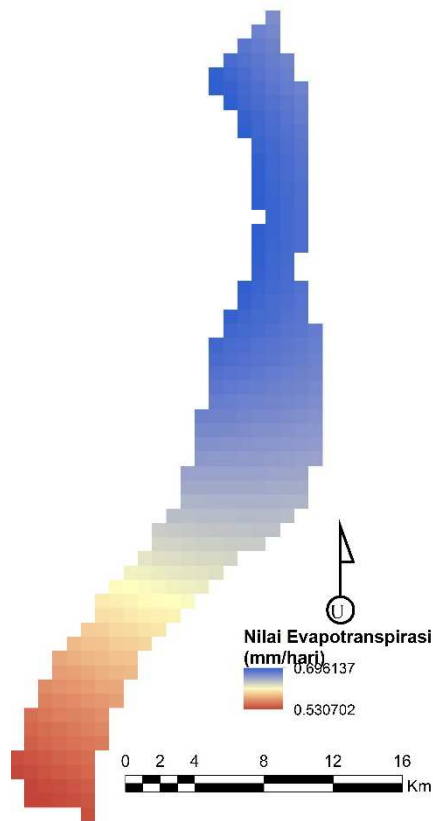
Gambar 3. Nilai Evapotranspirasi Metode Kesetimbangan Energi

Nilai Evapotranspirasi Metode *Penman-Monteith*

Perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode *Penman-Monteith* menggunakan data yang diukur langsung di lapangan oleh BMKG. Metode ini digunakan sebagai hasil acuan nilai evapotranspirasi yang akurat. Nilai evapotranspirasi yang dihasilkan menjadi pembandingan dari nilai evapotranspirasi dengan menggunakan metode kesetimbangan energi untuk selanjutnya digunakan untuk perhitungan RMSE.

Idealnya, nilai evapotranspirasi metode *Penman-Monteith* dihitung pada tiap titik pengukuran data BMKG. Penelitian ini menggunakan data BMKG yang dilakukan interpolasi terlebih dahulu untuk menghasilkan data berupa data raster yang kemudian dilakukan perhitungan evapotranspirasi. Jumlah data yang diinterpolasikan adalah sebanyak tujuh titik data yang tersebar di wilayah Jawa Timur dan tidak ada titik pengukuran BMKG yang masuk di dalam wilayah DAS Tanggul. Hal tersebut menyebabkan hasil interpolasi yang dihasilkan tidak terlalu baik.

Hasil interpolasi data BMKG kemudian digunakan untuk perhitungan evapotranspirasi metode *Penman-Monteith*. Nilai evapotranspirasi yang dihasilkan sangatlah kecil yaitu antara $0,53$ hingga $0,69 mm/hari$. Nilai tersebut sangatlah kecil dan kurang dapat dipercaya karena data yang digunakan sangatlah sedikit dan persebaran datanya kurang merata. Akan tetapi hasil tersebut tetap dianggap benar untuk digunakan sebagai pembandingan nilai Evapotranspirasi yang telah dihiung dengan menggunakan metode kesetimbangan energi.



Gambar 4. Nilai Evapotranspirasi Metode *Penman-Monteith*

Perhitungan Nilai Akurasi Evapotranspirasi pada Setiap Penutup Lahan

Perhitungan nilai RMSE dilakukan pada tiap penutup lahan untuk mengetahui penutup lahan yang paling sesuai untuk dilakukan perhitungan evapotranspirasi dengan menggunakan metode kesetimbangan energi. Semakin kecil nilai RMSE maka semakin akurat nilai evapotranspirasi yang dihasilkan.

Perhitungan RMSE ditunjukkan pada tabel 1. Nilai RMSE pada setiap penutup lahan tidak terlalu berbeda yaitu antara 0,69 hingga 0,8. Nilai yang dihasilkan cukup tinggi sehingga metode yang digunakan kurang begitu baik diterapkan di wilayah DAS Tanggul. Nilai RMSE yang paling kecil adalah pada penutup lahan bervegetasi kerapatan tinggi. Sebaliknya, nilai RMSE yang paling besar adalah penutup lahan bervegetasi kerapatan rendah.

Tabel 1. Nilai RMSE pada setiap penutup lahan

Penutup Lahan	Kesetimbangan Energi	Penman-Monteith	RMSE
Bangunan	1.3	0.64	0.7
Sawah	1.4	0.7	0.76
Lahan Kosong	1.3	0.6	0.72
Vegetasi Kerapatan Rendah	1.4	0.6	0.8
Vegetasi Kerapatan Tinggi	1.4	0.7	0.69
NILAI RMSE TOTAL			0.7

KESIMPULAN

Menurut hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai evapotranspirasi di wilayah DAS Tanggul dengan menggunakan metode kesetimbangan energi nilainya cukup rendah, yaitu sekitar 0,88 hingga 1,57 mm/hari, sedangkan nilai evapotranspirasi dengan menggunakan metode *Penman-Monteith* adalah sebesar 0,53 hingga 0,69 mm/hari. Nilai evapotranspirasi yang dihasilkan dengan menggunakan metode kesetimbangan energi memiliki tampilan yang lebih baik dan hasil yang lebih detail, sedangkan nilai evapotranspirasi yang dihasilkan dengan menggunakan metode *Penman-Monteith* hasilnya kurang detail tetapi lebih akurat.
2. Nilai RMSE vegetasi kerapatan rendah adalah 0,80, bangunan memiliki nilai RMSE 0,70, lahan kosong memiliki nilai RMSE sebesar 0,72, sawah memiliki nilai RMSE 0,76, dan vegetasi kerapatan tinggi memiliki nilai RMSE 0,69. Nilai RMSE keseluruhan adalah sebesar 0,70.

Penutup lahan yang memiliki nilai RMSE paling rendah adalah penutup lahan berupa vegetasi kerapatan tinggi sehingga metode kesetimbangan energi paling baik digunakan untuk megestimasi nilai evapotranspirasi berupa vegetasi kerapatan tinggi di wilayah DAS Tanggul.

DAFTAR PUSTAKA

- Abtew, W. Melesse, A. 2013. *Evaporation and Evapotranspiration Measurements and Estimation*. London; Springer Science + Business Media Dordecht.
- Asdak, Chay. 2002. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Yogyakarta : Gadjah Mada University Press.
- Congalton, RG. Green, K. 2008. *Assessing the Accuracy of Remotly Sensed Data*. London; CRC Press.
- SNI. 2004. *Tata Cara Perhitungan Evapotranspirasi Tanaman Acuan dengan Metode Penman-Monteith*. Jakarta;Badan Standarisasi Nasional