

PENGGUNAAN ALGORITMA *SURFACE ENERGY BALANCE SYSTEM* (SEBS) PADA CITRA LANDSAT 8 UNTUK ESTIMASI EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL

Khalifah Insan Nur Rahmi
khalifah.insan.n@mail.ugm.ac.id

Projo Danoedoro
projo.danoedoro@geo.ugm.ac.id

Abstract

The actual evapotranspiration (ETa) which is one of the processes that occur in the hydrological cycle can be extracted from remote sensing images using Surface Energy Balance System (SEBS) algorithms. The purposes of this study was to knowing the ability of Landsat 8 to deriving the parameters of ETa estimation, knowing its accuracy based on data from meteorological and climatology stations, and determining the spatial distribution of ETa based on land cover. The parameters required for SEBS namely: albedo, emissivity, land surface temperature, NDVI, vegetation fraction, LAI, surface roughness momentum transfer (Z0m), canopy height, and DEM. The results showed that all parameters have good accuracy compared with the data reference. ETa accuracy results are 0.99, 2.18, and 2.66 mm/day at 3 different station locations. The highest and the lowest value of ETa is placed in the objects of body of water at 9.6 mm/day and zinc roof at 5.6 mm/day.

Keywords: actual evapotranspiration, Landsat 8, SEBS, energy balance.

Abstrak

Evapotranspirasi aktual (ETa) yang merupakan salah satu proses yang terjadi di siklus hidrologi dapat diekstraksi dari citra penginderaan jauh menggunakan algoritma *Surface Energy Balance System* (SEBS). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan Landsat 8 menurunkan parameter estimasi ETa, mengetahui akurasi ETa berdasarkan data stasiun meteorologi dan klimatologi, serta mengetahui distribusi spasial ETa berdasarkan penutup lahan. Parameter yang dibutuhkan untuk SEBS adalah: albedo, emisivitas, suhu permukaan, NDVI, fraksi vegetasi, LAI, kekasaran permukaan transfer momentum (Z0m), tinggi kanopi, dan DEM. Hasilnya menunjukkan bahwa semua parameter memiliki akurasi yang baik berdasarkan data referensi. Akurasi ETa adalah 0.99, 2.18, dan 2.66 mm/hari pada 3 lokasi stasiun yang berbeda. Nilai ETa tertinggi dan terendah berada di objek tubuh air dengan 9.6 mm/hari dan atap seng dengan 5.6 mm/hari.

Kata kunci: evapotranspirasi aktual, Landsat 8, SEBS, imbalanced energi.

PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan yang mutlak bagi setiap makhluk hidup di permukaan bumi. Seiring dengan pertambahan penduduk kebutuhan air pun meningkat. Namun, sekarang ini sumberdaya air menjadi semakin sedikit diberbagai belahan dunia. Terjadi banyak kasus kekeringan di musim kemarau, tetapi mengalami banjir di musim penghujan, hal ini menunjukkan lemahnya manajemen sumberdaya air. Manajemen sumberdaya air dapat dilakukan dengan memahami siklus hidrologi serta unsur-unsur pembentuknya. Evapotranspirasi

merupakan salah satu bentuk kehilangan air dalam neraca air siklus hidrologi.

Evapotranspirasi adalah gabungan dari dua proses dalam siklus hidrologi yaitu evaporasi dan transpirasi. Evaporasi yaitu proses penguapan air yang terjadi di tanah, tubuh air ataupun benda mati lainnya, sementara evapotranspirasi yaitu proses penguapan air yang terjadi pada makhluk hidup, khususnya tumbuhan (Asdak, 1995). Evapotranspirasi penting untuk diketahui supaya salah satu bentuk kehilangan air dapat diestimasi sehingga

dapat digunakan untuk manajemen sumberdaya air dengan melibatkan data masukan air.

Evapotranspirasi merupakan proses yang menghubungkan imbangan air dan imbangan energi (Su, 2002). Dalam imbangan air proses evapotranspirasi merupakan proses kehilangan air, sementara itu dalam imbangan energi evapotranspirasi merupakan bagian dari energi laten yang dijadikan bahan bakar untuk penguapan. Teknik penginderaan jauh menggunakan imbangan energi dalam perhitungan evapotranspirasi karena bentuk yang direkam sensor dari permukaan bumi berupa energi pantulan atau pancaran objek yang berkaitan dengan energi laten tersebut (Jia, 2009).

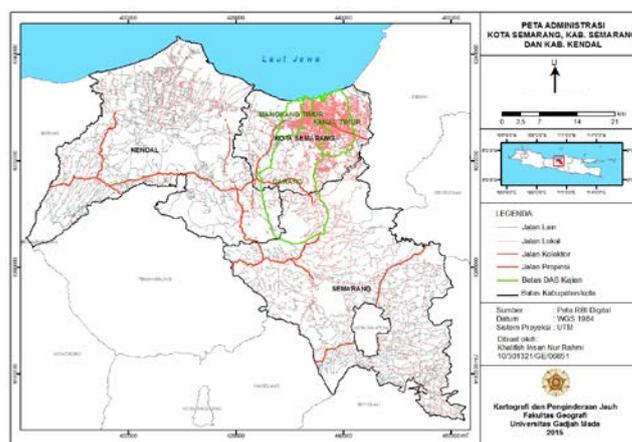
Evapotranspirasi dibedakan secara garis besar menjadi dua jenis yaitu evapotranspirasi aktual dan potensial. Evapotranspirasi aktual merupakan evapotranspirasi yang terjadi pada waktu dan wilayah tertentu. Evapotranspirasi aktual sangat dipengaruhi oleh keadaan tutupan lahan permukaan (Rwasoka, 2011). Evapotranspirasi potensial merupakan evapotranspirasi yang terjadi pada kondisi optimal dimana kondisi vegetasi, tanah atau tubuh air sebagai tutupan lahan dalam kondisi sempurna. Penelitian ini diarahkan pada estimasi evapotranspirasi aktual dimana parameter-parameter yang dibutuhkan dapat diturunkan dari citra penginderaan jauh secara aktual.

Evapotranspirasi aktual (ET_a) dapat diekstraksi dari citra penginderaan jauh menggunakan algoritma *Surface Energy Balance System* (SEBS) (Su, 2002). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan citra Landsat 8 dalam menurunkan parameter-parameter untuk estimasi ET_a, mengetahui akurasi berdasarkan data stasiun meteorologi dan klimatologi, serta mengetahui distribusi spasial ET_a berdasarkan penutup lahan.

LOKASI DAN DATA

Penelitian ini dilakukan di 3 daerah aliran sungai (DAS) yaitu DAS Mangkang Timur, Garang dan Kanal Timur yang Secara geografis berada di 110°18'30" – 110°28'30" BT dan 6°57'0" – 7°11'0" LS. DAS Mangkang Timur secara keseluruhan terletak di Kota Semarang. 55,48% wilayah DAS Garang masuk dalam wilayah admisitrase Kota Semarang,

33,42% masuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Semarang dan sisanya 11,1% masuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Kendal. Sementara itu, DAS Kanal Timur termasuk dalam wilayah administrasi Kota Semarang. Ketiga DAS tersebut dengan luas total 302,897301 km² (336.675 piksel 30 x 30 m) memanjang dari hulu Gunung Ungaran sebelah selatan hingga ke hilir disebelah utara dan bermuara di Laut Jawa (Gambar 1).



Gambar 1 Lokasi Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data primer dan data sekunder. Data primer berupa data citra penginderaan jauh dan data lapangan untuk uji akurasi. Data penginderaan jauh yang digunakan yaitu citra Landsat 8, citra MODIS, dan citra SRTM. Citra Landsat 8 dan MODIS yang digunakan dalam penelitian merupakan perekaman tanggal:

1. 24 Juni 2013
2. 27 Agustus 2013
3. 12 September 2013
4. 28 September 2013
5. 14 Oktober 2013
6. 10 Mei 2014
7. 14 Agustus 2014
8. 30 Agustus 2014
9. 01 Oktober 2014
10. 17 Oktober 2014

Sementara data sekunder berupa data meteorologis yaitu evaporasi, tekanan uap air jenuh dan aktual, suhu udara, radiasi matahari, dan kecepatan angin dari Stasiun Klimatologi Klas I, Meteorologi Klas II, Meteorologi Maritim Klas II Semarang yang diukur sesuai tanggal perekaman citra.

METODE PENELITIAN

Estimasi ETa menggunakan algoritma SEBS yang merupakan pengembangan dari sistem imbalan energi di permukaan bumi, yaitu energi netto (Rn) sebanding dengan jumlah energi panas tanah (G0), panas terasa (H) dan energi laten (λE) (Su, 2002).

$$R_n - \lambda E - H - G_0 = 0$$

Persamaan tersebut dijabarkan menjadi:

$$R_n = (1 - \alpha) \times R_{swd} + \varepsilon \times R_{lwd} - \varepsilon \times \sigma \times T_0^4$$

Dimana α adalah albedo, R_{swd} adalah radiasi gelombang pendek menurun, ε adalah emisivitas, R_{lwd} adalah gelombang panjang menurun, σ adalah konstanta Stefan-Boltzman dan T_0 adalah suhu permukaan.

$$G_0 = R_n \times [\Gamma_c + (1 - fc) \times (\Gamma_s - \Gamma_c)]$$

Dimana fc adalah fraksi vegetasi, $\Gamma_c = 0,05$ untuk vegetasi penuh dan $\Gamma_s = 0,315$ untuk lahan terbuka.

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

$$L = - \frac{\rho C_p u_*^3 \theta_v}{kgH}$$

$$H_{basah} = R_n - G_0$$

$$H_{kering} = R_n - G_0 - \lambda E_{basah} \approx 0$$

$$H_{basah} = \left((R_n - G_0) - \frac{\rho C_p \cdot \varepsilon_s - \varepsilon_a}{r_{ew} \cdot \gamma} \right) / \left(1 + \frac{\Delta}{\gamma} \right)$$

$$r_{ew} = \frac{1}{k u_*} \left[\ln \left(\frac{z - d}{L_w} \right) + \psi_h \left(\frac{z - d}{L_w} \right) + \psi_h \left(\frac{z_{oh}}{L_w} \right) \right]$$

$$L_w = \frac{\rho u_*^3}{kg \cdot 0,61 \cdot (R_n - G_0) / \lambda}$$

Dimana $\theta_0 - \theta_a$ adalah suhu potensial pada permukaan dan udara, z adalah tinggi referensi, u_* kecepatan friksi, p adalah massa jenis udara, $k=0.4$ yaitu konstanta von Karman, d_0 adalah nol perbedaan ketinggian, z_{oh} adalah tebal kekasaran permukaan untuk transfer momentum, z_{oh} adalah tebal kekasaran permukaan untuk transfer panas, ψ_h dan ψ_m adalah fungsi koreksi stabilitas untuk momentum dan transfer energi panas terasa. L adalah panjang Obukhov dimana,

g adalah percepatan karena gravitasi, θ_v adalah suhu potensial virtual pada dekat permukaan (Brutsaert dalam Hailegiorgis, 2006)

$$\lambda E = R_n - H - G_0$$

$$\Lambda = \frac{\lambda E}{R_n - G_0}$$

Dimana Λ adalah fraksi penguapan.

ETa merupakan bagian dari λE yang dihitung berdasarkan algoritma SEBS. Parameter-parameter yang diperlukan untuk membentuk SEBS yaitu: albedo, emisivitas, suhu permukaan, NDVI, fraksi vegetasi, LAI, kekasaran permukaan transfer momentum (Z0m), tinggi kanopi, dan DEM. Setiap parameter ini berfungsi untuk membentuk unsur-unsur imbalan energi baik R_n , G_0 , H , ataupun λE . Penjabaran parameternya yaitu:

1. Citra emisivitas diperoleh melalui penyamaan citra penutup lahan dengan nilai emisivitasnya yaitu:

Tabel 1. Nilai emisivitas penutup lahan

Penutup lahan	Emisivitas
Tubuh air (TA)	0,98
Vegetasi bertajuk rapat (VBR)	0,99
Vegetasi bertajuk tidak menutup (VBT)	0,96
Tanah kering (TK)	0,92
Tanah basah (TB)	0,95
Aspal	0,96
Seng	0,90

Sumber: Danoedoro, 2012 dan Sutanto, 1994

2. Citra albedo diperoleh dari persamaan (Smith, 2010):

$$\alpha = \frac{0,356\rho_2 + 0,130\rho_4 + 0,373\rho_5 + 0,085\rho_6 + 0,072\rho_7 - 0,0018}{0,356 + 0,130 + 0,373 + 0,085 + 0,072}$$

3. Citra suhu permukaan diekstraksi band 10 dan band 11 citra Landsat 8 menggunakan metode *Split Windows Algorithm* (SWA) (Rozenstein, 2013) yang melibatkan citra MODIS sebagai data penunjang nilai transmisi atmosferik.

4. Citra NDVI diperoleh dari persamaan (Jensen, 2005):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}$$

5. Citra fraksi vegetasi diperoleh dari persamaan (Choundhury, 1994):

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

6. Citra LAI diturunkan dari indeks vegetasi *Reduce Simple Ratio* (RSR) berdasarkan persamaan (Schiffman, dkk, 2008):

$$LAI = 0.6789 \times RSR - 0.001$$

$$RSR = \frac{\rho_{NIR}}{\rho_{RED}} \times \frac{\rho_{MIRmax} - \rho_{MIR}}{\rho_{MIRmax} - \rho_{MIRmin}}$$

7. Citra kekasaran permukaan transfer panas (Z_{0m}) diperoleh dari (Jia, 2002):

$$Z_{0m} = EXP(-7,13 + 9,33 \times NDVI)$$

8. Citra tinggi kanopi diperoleh dari persamaan (Hailegiorgis, 2006):

$$h = \frac{Z_{0m}}{0,136}$$

9. Citra DEM direkam melalui citra SRTM-1 dengan resolusi 30 x 30 m

Setelah diperoleh semua parameter nilai ET_a (mm/hari) dihitung berdasarkan persamaan (Hailegiorgis, 2006; Jia, 2009; dan Kurkura, 2011):

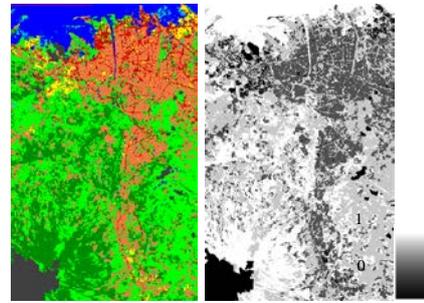
$$E_{daily} = 8,67 \times 10^7 \times \Lambda_0^{24} \times \frac{\overline{R_n} - \overline{G_0}}{\lambda \rho_w}$$

Dimana Λ_0^{24} adalah fraksi penguapan harian, R_n adalah energi netto, G₀ adalah energi panas tanah, λ dan ρ_w adalah energi laten penguapan dan massa jenis air yang bernilai 2,45x10⁶ J/Kg dan 1000 Kg/m³.

HASIL DAN PEMBAHASAN

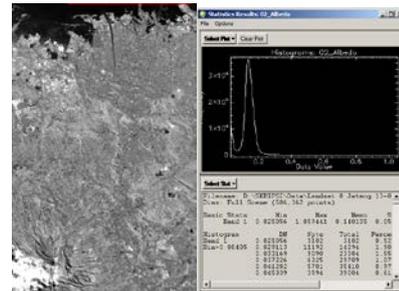
Parameter SEBS

Nilai akurasi citra Landsat 8 dalam menurunkan parameter-parameter SEBS berdasarkan data referensi berbeda-beda tiap parameter. Pertama, citra emisivitas yang diperoleh dari citra penutup lahan diuji akurasi dengan cek interpretasi lapangan pada 70 sampel menghasilkan nilai akurasi 94,28% dihitung berdasarkan metode *confussion matrix*. Citra PL dan emisivitas ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah:



Gambar 2 Citra Penutup Lahan dan Emisivitas

Parameter kedua yaitu albedo menghasilkan citra seperti Gambar 3. Uji akurasi dilakukan berdasarkan data referensi albedo per penutup lahan (Tabel 2) memiliki kesesuaian 5/6 dari data referensi.



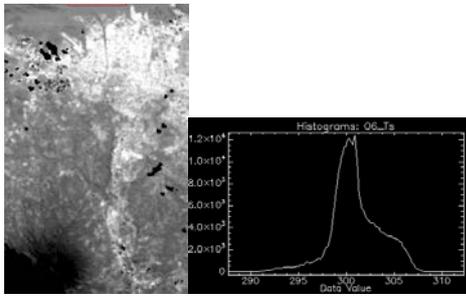
Gambar 3 Citra Albedo dan Statistiknya

Tabel 2 Nilai Albedo Pengolahan Citra dan Referensi

PL	Citra	Referensi	Kesesuaian
TK	0.13	0.05-0.4	v
VBT	0.12	0.18-1.25	x
A	0.08	0.04-0.12	v
TA	0.17	0.1-1	v
S	0.12	-	-
VBR	0.13	0.05-0.2	v
TB	0.15	0.05-0.4	v

Sumber: Pemrosesan, 2015 dan Oke, 1992; Ahrens, 2006

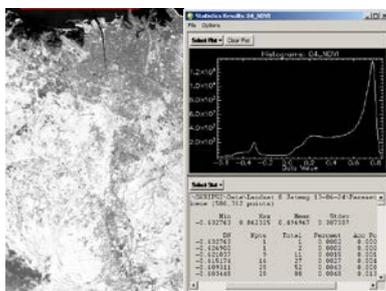
Suhu permukaan sebagai parameter ketiga pada algoritma SEBS di peroleh dari normalisasi band 10 dan 11 citra Landsat 8 menggunakan metode SWA. Metode SWA ini menggunakan parameter transmisi atmosferik, emisivitas dan suhu kecerahan. Emisivitas menggunakan parameter SEBS sebelumnya yang sudah dihitung. Transmisi atmosferik dihitung dari konversi nilai uap air yang diperoleh dari ekstraksi citra MODIS. Sementara suhu kecerahan diperoleh dari pengolahan Landsat band 10 dan 11. Hasil pengolahan SWA ditunjukkan pada Gambar 4.



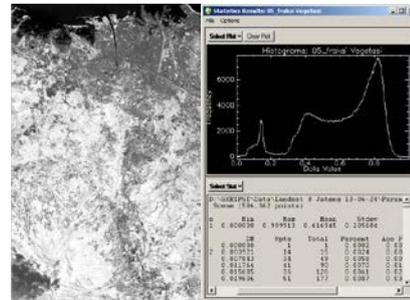
Gambar 4 Suhu Permukaan Hasil Metode SWA dan Histogramnya

Suhu permukaan pada citra tersebut berkisar antara 290 – 310 K, dimana didominasi oleh suhu 300 K atau 27°C. Suhu tinggi yang ditunjukkan dengan piksel yang berrona cerah berada di tutupan lahan yang berupa atap genteng sementara suhu rendah yang divisualisasikan dengan rona yang gelap merupakan objek vegetasi dan tubuh air. Uji akurasi dilakukan berdasarkan data pengukuran 3 stasiun meteorologi dan klimatologi pada daerah kajian. Standar eror pengolahan citra tersebut adalah 1.79°C.

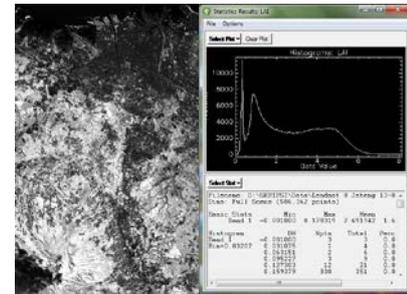
Parameter keempat, kelima, dan keenam, adalah NDVI, fraksi vegetasi, dan LAI yang menunjukkan kondisi vegetasi di lapangan. Ketiga parameter ini tidak diuji akurasi karena keterbatasan alat, waktu, dan topografi. Sehingga pengecekan NDVI dilihat secara kualitatif dari kerapatan vegetasi di lapangan. Sementara parameter fraksi vegetasi dan LAI akan sebanding dengan nilai NDVI. Hasil di pengecekan di lapangan merepresentasikan kondisi yang sebanding antara NDVI dan kerapatan vegetasinya. Hasil pengolahan citra ketiga parameter dapat dilihat pada Gambar 5, 6, dan 7.



Gambar 5 Citra NDVI dan Statistiknya

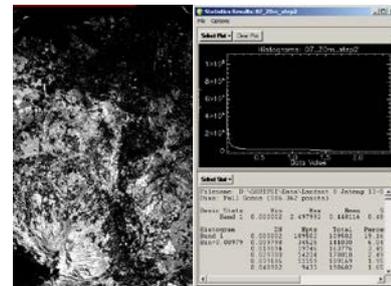


Gambar 6 Citra Fraksi Vegetasi dan Statistiknya



Gambar 7 Citra LAI dan Statistiknya

Citra kekasaran permukaan sebagai parameter ketujuh diuji akurasi berdasarkan data referensi nilai kekasaran permukaan per penutup lahan. Hasilnya menunjukkan semua hasil pengolahan citra terklasifikasikan dengan benar berdasarkan data referensi. Citra hasil pengolahan ada pada Gambar 8, sementara Tabel 3 menunjukkan perbandingan nilai kekasaran permukaan dari citra hasil pengolahan dan data referensi.



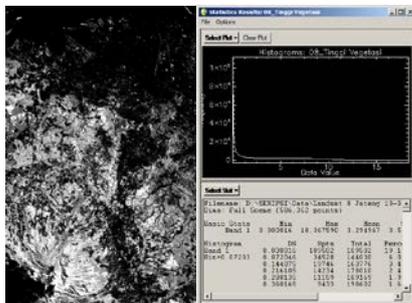
Gambar 8 Citra Kekasaran Permukaan dan Statistiknya

Tabel 3 Nilai Kekasaran Permukaan Pengolahan Citra dan Referensi

PL	Citra	Referensi	Kesesuaian
TK	0.41	0.4-0.7	v
VBT	0.17	0.12-0.18	v
A	0.003	0.001-0.004	v
TA	0.002	0.0002-0.004	v
S	0.77	0.7-1.5	v
VBR	0.21	0.12-0.45	v
TB	0.01	0.008-0.03	v

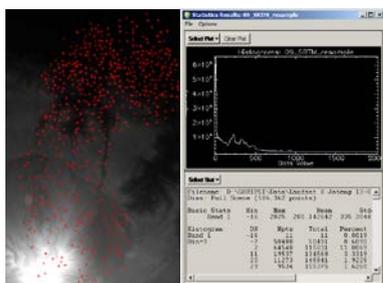
Sumber: Pemrosesan, 2015 dan Wieringa, 1993

Parameter selanjutnya yaitu tinggi kanopi, hasil pengolahan citra tinggi kanopi dari Landsat 8 dapat dilihat pada Gambar 9. Uji akurasi tinggi kanopi dilakukan dengan mengukur tinggi kanopi vegetasi sampel di luasan 30 x 30m pada 70 lokasi menggunakan abney level buatan untuk mengukur sudut antara pengamat dan kanopi vegetasi. Hasil uji akurasi menghasilkan nilai standar error sebesar 1.8 m.



Gambar 9 Citra Tinggi Vegetasi dan Statistiknya

Parameter terakhir adalah citra DEM yang diperoleh dari citra SRTM-1. Nilai piksel yang berupa ketinggian medan kemudian diuji akurasi menggunakan titik tinggi yang bersumber dari Data Digital Rupa Bumi Indonesia (RBI). Pada lokasi penelitian terdapat 570 titik tinggi yang kemudian dijadikan acuan untuk uji akurasi citra SRTM. Citra SRTM dan Persebaran 570 sampel tersebut dapat dilihat pada Gambar 10. Proses uji akurasi menggunakan metode regresi dan menghasilkan nilai standar error senilai 7.31757 mdpal. Nilai ini menunjukkan bahwa nilai ketinggian medan yang direkam oleh citra mempunyai kesalahan kurang lebih 7.32 mdpal dari lapangan.

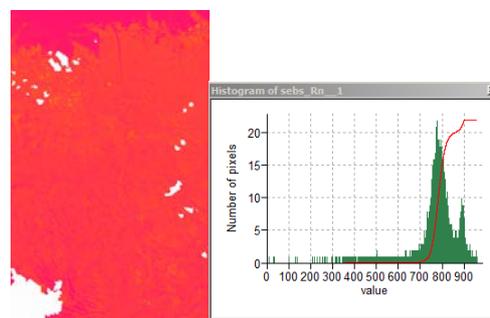


Gambar 10 Persebaran Titik Tinggi pada Citra SRTM dan Statistiknya.

Penyusunan imbangan energi dilakukan berdasarkan unsur-unsur energi netto (Rn), energi panas tanah (G0), energi panas terasa (H), dan energi laten. Berdasarkan 9 parameter tersebut 3 unsur imabangan ini terbentuk. Proses

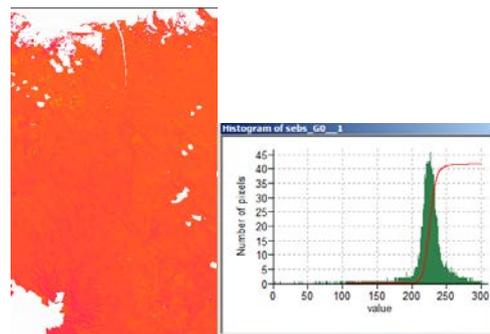
perhitungan dilakukan pada tools SEBS pada software ILWIS.

Energi netto (Rn) ini merupakan selisih antara radiasi matahari netto yang masuk permukaan bumi dikurangi radiasi yang dipancarkan kembali oleh permukaan bumi, atau berupa radiasi yang tinggal di permukaan bumi baik berupa energi laten, energi panas terasa, atau energi panas tanah. Untuk menghitung Rn dibutuhkan unsur yang digunakan adalah suhu permukaan, emisivitas, albedo, radiasi gelombang pendek menurun dan radiasi gelombang panjang menurun Berdasarkan Gambar 11 nilai rata-rata Rn adalah 800 W/m² pada wilayah tersebut.



Gambar 11 Energi Netto dan Histogramnya

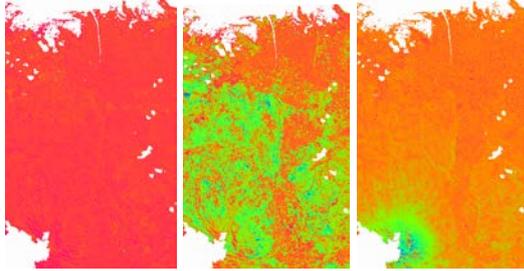
Energi panas tanah diperoleh dari unsur pembentuknya yaitu fraksi vegetasi. Hasil pengolahan menunjukkan nilai sebesar 100 – 300 W/m², nilai G tinggi didominasi oleh objek vegetasi, G sedang objek tanah kering, G rendah objek seng (Gambar 12).



Gambar 12 Energi Panas Tanah dan Histogramnya

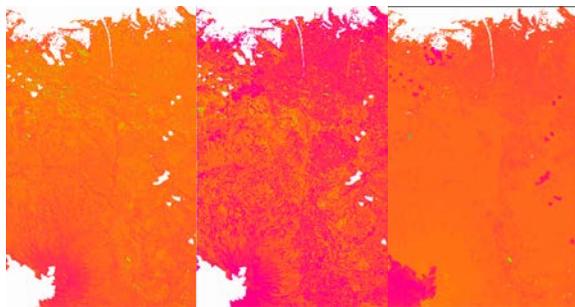
Energi panas terasa yang berperan penting pada imbangan energi diperoleh dari perhitungan citra kekasaran permukaan, tinggi kanopi, DEM, LAI, dan NDVI. Berdasarkan Gambar 13 tersebut nilai H tertinggi pada kondisi Hkering dan terendah pada saat Hbasah, dan kondisi Hnormal merupakan normalisasi dari Htinggi dan Hrendah. Citra Hnormal

menunjukkan bahwa objek vegetasi mempunyai nilai terendah (warna hijau-kuning) dibanding objek yang lain, sementara yang paling tinggi (warna oranye-merah) merupakan objek aspal.



Gambar 13 Citra H_{kering} , Citra H_{basah} , dan Citra H_{normal}

Energi laten merupakan sumber energi untuk melakukan evapotranspirasi, karena energi ini merupakan energi yang digunakan untuk merubah wujud benda, seperti proses evapotranspirasi yang mengubah air menjadi uap air di permukaan bumi. Energi yang digunakan untuk mengevapotranspirasi ini disebut fraksi evaporatif. Untuk mendapatkan λE digunakan unsur yang sudah ada yaitu R_n , G_0 , dan H . Setelah diperoleh λE maka evaporasi relatif dan fraksi evaporasi dapat dihitung. Hasil citra energi laten, evaporasi relatif dan fraksi evaporasi diberikan pada Gambar 14



Gambar 14 Citra Energi Laten, Citra Evaporasi Relatif dan Citra Fraksi Evaporasi

Uji Akurasi ET_a

Uji akurasi nilai ET_a hasil estimasi SEBS menggunakan metode *advection aridity* yang merupakan metode pengembangan dari metode FAO Penman-Monteith. Metode ini menggunakan unsur meteorologi dan klimatologi di lapangan berupa: kecepatan angin, suhu udara, tekanan uap air aktual, tekanan uap air jenuh, radiasi matahari, dan elevasi lokasi pengukuran. Unsur-unsur ini diperoleh melalui stametklim setempat, yaitu di tiga lokasi stasiun. Perhitungan ET_{AA} pada tiga stasiun setempat dijelaskan pada. Selain diuji akurasi berdasarkan metode ET_{AA} , nilai ET_{aSEBS}

juga dibandingkan dengan nilai evaporasi yang dihitung menggunakan panci evaporasi. Hasil perbandingan nilai estimasi ET_{aSEBS} , ET_{AA} , dan E pada tiga stasiun dapat dilihat pada Tabel 4, 5, dan 6

Tabel 4 Nilai Evaporasi, Evapotranspirasi Advection Aridity dan Evapotranspirasi SEBS pada Stasiun Klimatologi Klas I Semarang

Tanggal	E	ET_{AA}	ET_{aSEBS}
24-Jun-13	4.4	6.44	9.62
27-Agust-13	7.4	8.87	10.62
12-Sep-13	5.2	8.60	12.37
28-Sep-13	5.8	6.99	11.08
14-Okt-13	8.2	7.86	10.36
10-Mei-14	7.2	8.05	11.13
14-Agust-14	5.2	6.61	11.17
30-Agust-14	4.4	6.18	11.71
01-Okt-14	6.2	8.40	11.06
02-Nop-14	5	8.01	11.93

Sumber: Pemrosesan, 2015

Tabel 5 Nilai Evaporasi, Evapotranspirasi Advection Aridity dan Evapotranspirasi SEBS pada Stasiun Meteorologi Klas II Ahmad Yani Semarang

Tanggal	E	ET_{AA}	ET_{aSEBS}
24-Jun-13	4.7	8.28	10.37
27-Agust-13	6.3	10.80	10.13
12-Sep-13	5.8	10.00	11.93
28-Sep-13	5.8	8.51	10.16
14-Okt-13	6.6	9.63	9.97
10-Mei-14	4.5	4.76	9.92
14-Agust-14	5.6	9.92	10.2
30-Agust-14	6.5	9.59	10.44
01-Okt-14	7.2	10.48	10.11
02-Nop-14	6.3	5.23	10.35

Sumber: Pemrosesan, 2015

Tabel 6 Nilai Evaporasi, Evapotranspirasi Advection Aridity dan Evapotranspirasi SEBS pada Stasiun Meteorologi Maritim Klas II Semarang

Tanggal	E	ET_{AA}	ET_{aSEBS}
24-Jun-13	3	6.43	9.31
27-Agust-13	7.3	6.66	10.28
12-Sep-13	6.5	14.01	11.7
28-Sep-13	7.2	8.27	10.84
14-Okt-13	9	14.35	10.32
10-Mei-14	8.4	7.10	8.93
14-Agust-14	3	6.38	10.23
30-Agust-14	6.2	6.52	10.4
01-Okt-14	7.2	9.02	10.69
02-Nop-14	10.2	9.76	10.31

Sumber: Pemrosesan, 2015

Tabel 4.12 Estimasi Standar Error nilai ET_{SEBS} - ET_{AA} dan ET_{SEBS} -E pada tiga stasiun meteorologi dan klimatologi Semarang

Stasiun	$SEE_{SEBS-AA}$	SEE_{SEBS-E}
Klimatologi Klas I Smg	0.99	1.33
Meteorologi Klas II Ahmad Yani Smg	2.18	0.89
Meteorologi Maritim Klas II Smg	2.65	2.45

Sumber: Pemrosesan, 2015

Hasil estimasi ET_{SEBS} diuji akurasi dengan ET_{AA} dan E di lokasi Stasiun Klimatologi Klas I Semarang. Uji akurasi hanya dilakukan pada satu piksel lokasi stasiun berada yaitu di koordinat 49 M 431640 9227870. Nilai ET_{SEBS} estimasi metode SEBS mempunyai nilai 9 – 12 mm/hari sementara nilai referensi ET_{AA} berkisar 6 – 9 mm/hari. Hal ini terjadi karena pengukuran di lapangan hanya berada di satu lokasi, bukan pada luasan 30 x 30 m seperti pada piksel, selain itu masih ada kesalahan-kesalahan pengukuran unsur-unsur ET_{AA} , baik kesalahan teknis maupun kesalahan manusia. Nilai standar eror yang dihitung dengan metode regresi menghasilkan nilai 0.99 mm/hari. Nilai ini merupakan nilai terbaik dibandingkan akurasi pada dua stasiun lainnya. Pada stasiun ini alat-alat yang digunakan lebih bagus dan lengkap (akurasi lebih baik) karena stasiun ini merupakan stasiun pusat Jawa Tengah (level propinsi) sementara dua lainnya merupakan stasiun skala lokal.

Lokasi Stasiun Meteorologi Klas II Ahmad Yani berada di koordinat 49M 431824 9228050, menjadi lokasi kedua yang dijadikan sumber data uji akurasi ET_{SEBS} . Standar eror pada stasiun ini lebih besar karena nilai ET_{AA} yang fluktuatif, misalnya pada tanggal 10 Mei 2014 ET_{AA} sangat rendah yaitu 4 mm/hari. Pada tanggal ini nilai ET_{AA} rendah karena selisih antara tekanan uap air jenuh dan tekanan uap air aktual yang kecil, menyebabkan kemampuan udara untuk melakukan evapotranspirasi juga kecil.

Lokasi Stasiun Meteorologi Maritim Klas II Semarang berada di koordinat 49M 436360 9231530, merupakan stasiun yang berada di kawasan pelabuhan Tanjung Mas, Semarang. Di lokasi ini, nilai standar eror

dibandingkan kedua stasiun lain memiliki nilai yang paling besar, berarti pada lokasi ini kesalahan estimasi paling besar. Hal ini dikarenakan ada dua nilai anomali yaitu di tanggal 12 September dan 14 Oktober 2014, dalam dua tanggal tersebut nilai ET_{AA} lebih besar daripada ET_{SEBS} yang pada tanggal lain lebih kecil. Hal ini terjadi dikarenakan selisih tekanan uap udara aktual dan jenuh yang besar menyebabkan nilai ET_{AA} juga besar.

Distribusi Spasial ET_a

Tanggal 24 Juni 2013 objek yang memiliki ET_a tinggi adalah objek TA dengan nilai ET_a rata-rata 9.6 mm/hari, sementara itu objek dengan ET_a terendah adalah objek seng dengan nilai 7.2 mm/hari. Dari 10 tanggal objek TA memiliki nilai tertinggi pada 7 tanggal, sehingga dapat dikatakan bahwa objek tubuh air mempunyai nilai ET_a paling tinggi dari 7 objek penutup lahan. Objek yang memiliki nilai terendah adalah seng dimana di 7 tanggal memiliki nilai terendah diantara lainnya. Hal ini terjadi karena proses evapotranspirasi aktual yang merupakan proses penguapan, merubah wujud air menjadi uap air, paling dominan pada wujud air, sementara pada objek yang kedap air seperti seng, air tidak dapat diuapkan ke atmosfer sehingga nilainya rendah.

Objek yang terbentuk dari air, atau mempunyai kandungan air akan memiliki ET_a yang tinggi, dan sebaliknya semakin rendah kandungan air atau kemampuan benda menyimpan air maka nilai ET_a semakin rendah. Hal ini juga dipengaruhi oleh kemampuan objek untuk menyerap R_n dan G_0 . Objek tubuh air pada daerah kajian berupa waduk, laut, tambak, sungai, dan genangan air rob memiliki nilai tinggi (warna oranye-merah Gambar 15) seperti kawasan Pantai Marina dan Sungai Garang yang berwarna oranye-merah disemua tanggal.

Objek vegetasi yang banyak berpengaruh pada proses transpirasi, rata-rata berada pada urutan kedua dibawah tubuh air. Hal ini menunjukkan peran evaporasi lebih tinggi dibandingkan transpirasi pada daerah kajian ini. Dari dua objek vegetasi yang diklasifikasikan, objek VBR memiliki nilai ET_a yang lebih tinggi dibandingkan VBT, dapat dilihat pada Gambar 15 bahwa di sekitar puncak Gunung Ungaran

(objek VBR) warnanya lebih tua dibandingkan wilayah lereng gunung yang didominasi VBT. Sementara itu, objek seng, aspal, dan tanah kering/genteng yang merupakan objek kedap air memiliki nilai ETa yang rendah.

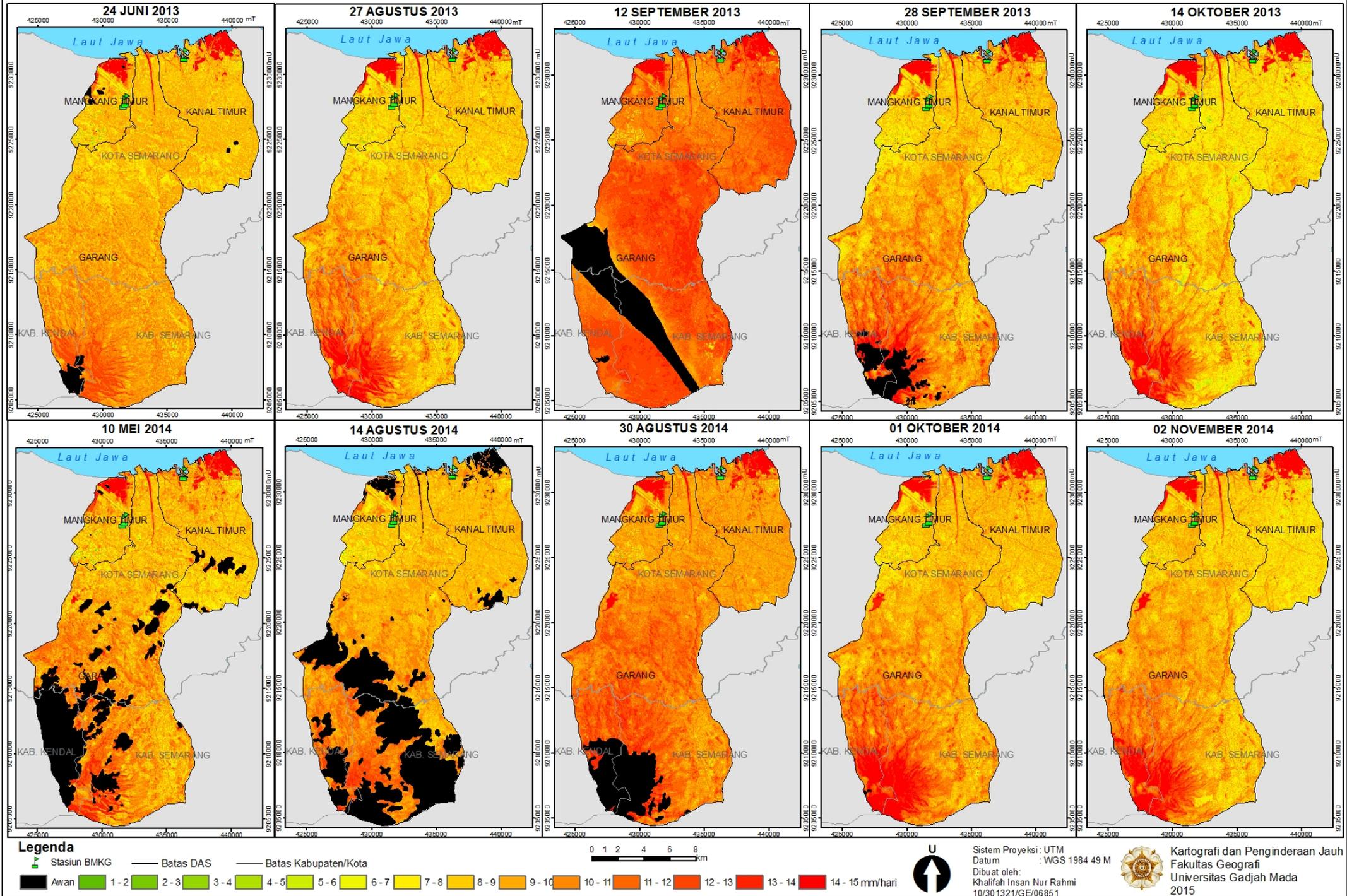
KESIMPULAN

Uji akurasi 9 parameter layak digunakan untuk membangun algoritma SEBS. ETa hasil estimasi SEBS mempunyai standar eror 0,99 mm/hari di Stasiun Klimatologi Klas I Semarang, 2,18 mm/hari di Stasiun Meteorologi Klas II Ahmad Yani Semarang, dan 2,66 mm/hari di Stasiun Meteorologi Maritim Klas II Semarang berdasarkan data sekunder yang dihitung menggunakan metode advection aridity (ETAA). Diantara 7 objek penutup lahan, objek tubuh air (TA) memiliki nilai rata-rata ETa tertinggi yaitu sebesar 9.6 mm/hari, sementara objek dengan nilai rata-rata ETa terendah adalah seng (S) dengan ETa sebesar 5.6 mm/hari. Secara spasial, ETa tinggi ada di perbatasan daratan dan Laut Jawa (bagian utara daerah kajian) dan sekitar Gunung Ungaran (bagian selatan daerah kajian), karena didominasi objek tubuh air dan vegetasi yang sangat berpengaruh pada proses evapotranspirasi aktual. Sementara ETa rendah ada di bagian tengah daerah kajian yang didominasi objek kedap air yaitu aspal (A), seng (S), dan tanah kering/genteng (TK).

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi dan Pengelolaan DAS*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Choundhury, B.J. dan J.L. Montheith. 1998. A Four Layer Model for the Heat Budget of Homogenous Land Surfaces. *Quarterly Journal Roy. Meteorology Society*, 114, 373-398.
- Danoedoro, Projo. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Hailegiorgis, S. Wondimagegn. 2006. Remote Sensing Analysis of Summer Time Evapotranspiration using SEBS Algorithm. *Thesis*. 2006. Enschede: ITC.
- Jensen, J.R. 2005. *Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, 3rd Edition*. Sydney: Pearson Prentice Hall.
- Jia, I., dkk. 2009. Regional Estimation of Daily to Annual Regional Evapotranspiration with MODIS data in the Yellow River Data Wetland. *Hydrology and Earth System Sciences*. 13, 1775-1787.
- Kurkura, Mussa. 2011. Water Balance of Upper Awash Basin based on Satellite-derived Data (Remote Sensing). *Thesis*. Addis Ababa: Addis Ababa Institute of Technology.
- Lillesand, Thomas M., dan R.W. Kiefer. 1987. *Remote Sensing and Image Interpretation Second Edition*. New York: John Wiley and Sons.
- Rozenstein, Offer, dkk. 2014. Derivation of Land Surface Temperature for Landsat-8 TIRS Using a Split Window Algorithm. *Sensor* 2014, 14,5768-5780.
- Rwasoka, D.T., dkk. 2011. Estimation of Actual Evapotranspiration using the Surface Energy Balance System (SEBS) Algorithm in the Upper Manyame catchment in Zimbabwe. *Journal of Physics and Chemistry of the Earth* 36, 736-746.
- Schiffman, B., et. al. 2008. Estimation of LAI through The Acquisition of Ground Truth Data in Yesemitte National Park. *ASPRS 2008 Annual Conference*. Portland, Oregon, April 28 – May 2, 2008
- Su, Z. B., 2002. The Surface Energy Balance System (SEBS) for Estimation of Turbulent Heat Fluxes. *Hydrology and Earth System Sciences*. 6, 1, 85-99.
- Sutanto. 1994. *Penginderaan Jauh Jilid II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Teixeira, A.H.C., 2008. Measurement and Modelling of Evapotranspiration to Assess Agricultural Water Productivity in Basins with Changing Landuse Patterns. *Thesis*. Wageningen: Wageningen University.
- Wieringa, Jon. 1993. Representative Roughness Parameters for Homogeneous Terrain. *Boundary Layer Meteorology*. 63, 323 – 363.
- Smith, R.B. 2010. *The Heat Budget of Earth's Surface Decoded From Space*. http://www.yale.edu/ceo/Documentation/ceo_faq.html diakses 21 Juni 2014.

PETA EVAPOTRANSPIRASI AKTUAL DAS MANGKANG TIMUR, GARANG, DAN KANAL TIMUR 2013-2014



Gambar 15 Peta Evapotranspirasi Aktual