

VALUASI JUMLAH AIR DI EKOSISTEM LAHAN GAMBUT DENGAN DATA LANDSAT 8 OLI/TIRS (WATER CONTENT VALUATION IN PEATLAND ECOSYSTEM BY USING LANDSAT 8 OLI/TIRS)

Idung Risdiyanto dan Allan Nur Wahid

Departemen Geofisika dan Meteorologi – Institut Pertanian Bogor

Jl. Lingkar Akademik, Kampus IPB Dermaga, Bogor Indonesia

e-mail: idungris@ipb.ac.id

Diterima 26 Maret 2017; Direvisi 14 Juli 2017; Disetujui 11 September 2017

ABSTRACT

The water content of peatland ecosystems stored as gasses in the air and as liquid in the peat soil and vegetation. The presence of water was influential to the value of spectral radiances received by satellite sensors. Objective of study were develop empirical model to be applied in the Landsat 8 satellite imagery interpretation to estimate water content of peatland ecosystem. Method consisted of field measurements and satellite data interpretation. Field activities aimed to obtain weather parameters such as radiation, air temperature, surface temperature, evapotranspiration (ET), relative humidity (RH), soil water content (KAT), and biomass for each land cover in peatland ecosystems. Field measurements results were used to validate the parameters derived from Landsat 8 satellite data. Water content in the air was assessed by the ET and RH, in the soil was assessed by soil heat flux (G) and in the vegetation by biomass. The results of the validation of the data field measurement with Landsat 8 showed only ET ($r^2 = 0.71$), RH ($r^2 = 0.71$), and biomass ($r^2 = 0.87$) had a strong relationship, while between G and KAT had weak relationship. Conclusion of this study indicated Landsat 8 satellite data could be used to calculate the water content in the air and vegetation. Thus, estimating water content in the peatland ecosystem with satellite data can only be done on the surface.

Keywords: *biomass, Landsat 8, moisture, peat, water*

ABSTRAK

Ekosistem lahan gambut menyimpan air dalam bentuk gas di udara, dan cair dalam tanah gambut dan vegetasi. Keberadaannya mempengaruhi nilai spektral radians yang diterima oleh sensor satelit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan model empirik yang dapat diaplikasikan untuk interpretasi citra satelit dalam pendugaan jumlah air di ekosistem lahan gambut. Metode penelitian terdiri dari pengukuran lapangan dan interpretasi data satelit LANDSAT 8. Parameter cuaca seperti radiasi, suhu udara, suhu permukaan, evapotranspirasi (ET), kelembaban udara (RH), kadar air tanah (KAT) dan biomassa diukur di lapangan pada setiap jenis tutupan lahan. Hasil-hasil pengukuran lapangan digunakan untuk memvalidasi parameter-parameter yang diturunkan dari data satelit LANDSAT 8. Jumlah air di udara yang dinilai dari ET dan RH, jumlah air di tanah dinilai dengan laju pemanasan tanah (G) dan jumlah air di vegetasi dengan biomassa. Hasil validasi antara data lapangan dengan data LANDSAT 8 menunjukkan hanya nilai ET ($r^2=0,71$), RH ($r^2=0,71$), dan biomassa ($r^2=0,87$) mempunyai hubungan yang kuat, sedangkan nilai G tidak mempunyai hubungan yang kuat dengan KAT. Penelitian ini menyimpulkan bahwa data satelit LANDSAT 8 hanya dapat digunakan untuk menghitung jumlah air yang tersimpan di udara dan vegetasi. Oleh karena itu, pendugaan jumlah air di ekosistem lahan gambut dengan data satelit hanya dapat dilakukan di atas permukaan.

Kata kunci: *air, biomassa, gambut, kelembaban, Lansat 8*

1 PENDAHULUAN

Indonesia memiliki lahan gambut terluas di antara negara tropis, yaitu sekitar 21 juta ha (BB Litbang SDLP 2008). Salah satu fungsi hutan lahan gambut adalah sebagai cadangan air yang berperan penting saat musim kemarau dan keseimbangan hidrologi kawasan untuk pengendalian banjir (Bullock and Acreman, 2003; Querner *et al.*, 2010). Hutan lahan gambut juga merupakan ekosistem dengan cadangan air yang tinggi (Joosten & Clarke, 2002). Konversi terhadap lahan gambut dapat menyebabkan gangguan terhadap sistem hidrometeorologi.

Kondisi hidrometeorologi suatu lahan ditunjukkan oleh jumlah kandungan air di udara, tanah dan vegetasi dalam bentuk gas dan cair. Di udara dinyatakan sebagai kelembaban udara yang dipengaruhi oleh faktor-faktor iklim dan vegetasi (Santoso, 2004). Kelembaban tanah didefinisikan sebagai air yang terkandung di permukaan

tanah tak jenuh (Petropoulos *et al.*, 2014) yang dipengaruhi oleh sifat-sifat tanah seperti tekstur tanah, struktur tanah, kandungan bahan organik tanah, kedalaman solum tanah, dan faktor iklim mikronya. Perubahan kelembaban tanah ini berhubungan dengan perubahan suhu permukaan (Hirschi *et al.*, 2014) sehingga mempengaruhi variabilitas iklim dan kondisi atmosfer (Entin *et al.*, 2000; Wu *et al.*, 2002; Amenu *et al.*, 2005; Zhang *et al.*, 2008).

Selama ini, pengukuran kelembaban ekosistem lahan gambut lebih difokuskan pada jumlah air di dalam tanah. Misalnya, dengan cara mengukur tinggi muka air (Schlotzhauer & Price, 1999; Kettridge *et al.*, 2015), metode gravimetri (Chambers *et al.*, 2010; Shien *et al.*, 2011; Kramarenko *et al.*, 2015), dan metode konduktivitas elektrik (Roth *et al.*, 1992; Noborio, 2001; Campbell *et al.*, 2002). Pada skala yang lebih luas, sering digunakan metode pengukuran tidak langsung dengan

menggunakan data satelit multispektral (Kasischke *et al.*, 2009; Meingast *et al.*, 2014). Pengukuran langsung akan mendapatkan jumlah air di tanah gambut secara kuantitatif, sedangkan dengan satelit bersifat kualitatif. Kedua cara tersebut belum memadai untuk memberikan informasi jumlah air di atas permukaan lahan, terutama dalam bentuk gas dan yang tersimpan dalam vegetasi.

Pengukuran langsung pada tingkat wilayah yang lebih luas memerlukan biaya dan waktu yang tidak sedikit (Grand-Clement *et al.*, 2015; Iriana *et al.*, 2016). Sedangkan dengan data satelit hanya memberikan hasil kualitatif dan lebih efektif untuk mengetahui kelembaban ekosistem lahan gambut pada tingkat wilayah (Middleton, *et al.*, 2008; Honkavaara *et al.*, 2016). Oleh karenanya, kuantifikasi kelembaban ekosistem lahan gambut dengan menggunakan data satelit masih perlu dikembangkan (Krankina *et al.*, 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan pendekatan kuantitatif untuk menduga jumlah air di ekosistem lahan gambut dalam bentuk gas dan cair yang tersimpan di udara, vegetasi dan tanah dengan menggunakan data satelit multispektral LANDSAT 8 OLI/TIRS. Hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan dalam interpretasi citra satelit untuk mendapatkan nilai jumlah air di dalam ekosistem hutan gambut.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Kegiatan pengukuran data lapangan dilaksanakan di perkebunan kelapa sawit PT BSS di Kec. Kendawangan, Kab. Ketapang, Kalimantan Barat (110° 53' 03" – 110° 48' 54" BT dan 02° 47' 43" – 02° 53' 09" LS. Pada bulan Maret-April 2016. Selain data lapangan, data satelit

yang digunakan adalah LANDSAT 8 OLI/TIRS path/row 120/62 dengan tanggal akuisisi 29 April 2016 (www.glovis.usgs.gov)

2.2 Metode Penelitian Kegiatan Lapangan

Pengukuran parameter cuaca, biomassa dan kelembaban tanah dilakukan di tiga jenis tutupan lahan di atas gambut, yaitu hutan sekunder (HS), belukar (B), dan semak (S) dengan masing-masing terdiri dari tiga plot area sebagai ulangan lokasi. Parameter cuaca yang diukur untuk mengetahui kondisi iklim mikro dari setiap tutupan lahan terdiri atas suhu udara (°C), suhu permukaan tanah (°C,), suhu tanah (°C), pada berbagai kedalaman (0 cm, 5 cm, 10 cm, 20 cm, 40 cm, 80 cm dan 100 cm), kelembaban udara relative (RH) (%), radiasi (watt/m²), curah hujan (mm), kecepatan angin (m/s) dan arah angin (*degree*) yang diukur menggunakan *Automatic Weather Station* (AWS). Kadar air tanah (%KAT) diukur dengan menggunakan metode gravimetrik. Pengambilan sampel tanah dilakukan sampai dengan kedalaman 100 cm.

Data biomassa dengan metode plot transek vegetasi dan dihitung dengan metode destruktif dan alometrik (Hashimoto *et al.*, 2004; Hariah dan Rahayu, 2007; Dharmawan, 2014). Untuk setiap plot vegetasi (400 m²) terdiri atas empat subplot yang terdiri dari (i) subplot 1x1 m untuk destruktif sampel vegetasi bawah, (ii) subplot 5x5 m untuk diameter vegetasi 2-10 cm, (iii) sub-plot 10x10 m untuk diameter vegetasi 10-20 cm dan (iv) subplot 20x20 m untuk diameter vegetasi >20 cm. Di setiap plot terdiri dari tiga kali ulangan pengukuran, sehingga luas plot menjadi 1200 m². Jumlah plot untuk setiap tutupan lahan adalah sembilan plot.

2.3 Analisis Data Lapangan

Data cuaca digunakan untuk menghitung evapotranspirasi dan tekanan uap aktual untuk mengetahui jumlah air di udara dalam bentuk gas. Evapotranspirasi dihitung dengan metode Penman-Monteith (persamaan 2-1).

$$ET = \frac{\Delta(Rn - G) + \rho_a C_p (e_s - e_a) / r_a}{\Delta + \gamma [1 + \frac{r_s}{r_a}]} \quad (2-1)$$

Dimana:

- ET : adalah evapotranspirasi potensial (mm hari⁻¹),
- Δ : slope kurva tekanan uap (kPa°C⁻¹),
- Rn : radiasi netto (MJ m⁻²hari⁻¹),
- G : fluks bahang tanah (Wm⁻²),
- ($e_s - e_a$): defisit tekanan uap udara,
- ρ_a : kerapatan udara rata-rata pada tekanan konstan,
- γ : konstanta psikometrik (kPa°C⁻¹),
- Cp : kapasitas panas spesifik udara pada tekanan konstan (1,013x 10⁻³ MJ kg⁻¹°C⁻¹),
- r_a : tahanan aerodinamik (s m⁻¹), dan r_s merupakan hambatan kanopi (s m⁻¹). Menurut Oke (2010) r_a dan r_s berbeda tiap tutupan lahan.

Fluks bahang tanah (G-Wm⁻²) dipengaruhi oleh nilai konduktivitas termal tanah dan perubahan suhu tanah menurut kedalaman (Hillel, 1998; Castelli *et al.*, 1999; Sauer and Horton, 2005; Gentine *et al.*, 2012). G dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2):

$$G = -k \left(\frac{dT}{dz} \right) \quad (2-2)$$

Dimana,

- k : konduktivitas termal tanah gambut (Wm⁻¹ °C),
- dT: perubahan suhu (°C) menurut kedalaman, dan

dz : perubahan kedalaman (m).

Oleczuk *et al.*, 2010 menyebutkan bahwa jumlah air yang tersimpan di dalam vegetasi lebih dari 30% cadangan air dalam suatu ekosistem, sedangkan Hero (2010) menyebutkan vegetasi ekosistem lahan gambut mengandung kadar air sekitar ± 42% dari bobot basahnya. Oleh karenanya, jumlah cadangan air di vegetasi dapat diketahui dengan parameter biomassa yang dihitung dengan persamaan alometrik (2-3). Pendugaan biomassa vegetasi menggunakan persamaan alometrik untuk ekosistem lahan basah (Krisnawati *et al.*, 2012):

$$Biomass = 0,19999 \cdot D^{2,14} \quad (2-3)$$

2.4 Analisis Data Satelit

Pengolahan data satelit digunakan untuk mendapatkan data klasifikasi tutupan lahan, luas tutupan lahan, dan parameter fisik seperti suhu permukaan (Ts), suhu udara (Ta), radiasi netto (RN), fluks bahang tanah (G), fluks bahang terasa (H) dan fluks bahang laten (LE), dan biomassa. Klasifikasi tutupan lahan dilakukan dengan metode klasifikasi terbimbing dengan menggunakan kombinasi band 653. Penurunan parameter fisik dimulai dengan mengubah nilai *digital number* (DN) menjadi nilai *spectral radiance* (Lλ). menggunakan persamaan (USGS, 2016):

$$L_\lambda = \left[\frac{L_{max} \cdot L_{min}}{QCAL_{max} \cdot QCAL_{min}} \right] \times (QCAL \cdot QCAL_{min}) + L_{min} \quad (2-4)$$

Dimana,

- Lλ : *spectral radiance* pada kanal ke-i (Wm⁻²sr⁻¹μ⁻¹),
- QCAL: nilai *digital number* kanal ke-i,
- Lmin nilai minimum *spectral radiance* kanal ke-i dan Lmax nilai maksimum *spectral radiance* kanal ke-i

Nilai-nilai spektral *radiance* ini dikonversi menjadi suhu kecerahan (T_b , Kelvin) yang menunjukkan intensitas radiasi termal yang diemisikan oleh obyek. Nilai T_b ini berkorelasi suhu fisik permukaan obyek di bumi (Khomarudin 2005). Persamaan yang digunakan adalah persamaan 2-5 (USGS, 2016), dengan memasukkan nilai konversi thermal kanal-i dari metadata, yaitu $K1$ dan $K2$:

$$T_b = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L\lambda} + 1\right)} \quad (2-5)$$

$$T_s = \frac{T_b}{\left(1 + \frac{\lambda T_b}{\delta} \ln \varepsilon\right)} \quad (2-6)$$

Suhu permukaan (T_s) obyek dihitung dari T_b (2-6), dengan parameter-parameter λ panjang gelombang kanal termal-i (μm), δ fungsi radiasi ($\delta = hc/\sigma$ ($1,438 \times 10^{-2}$ mK)), h Konstanta Planck ($6,26 \times 10^{-34}$ J sec), c kecepatan cahaya ($2,998 \times 10^8$ m sec⁻¹), σ Konstanta Stefan Boltzman ($1,38 \times 10^{-23}$ JK⁻¹), ε emisivitas obyek.

Radiasi netto (R_n) adalah selisih antara radiasi gelombang pendek matahari dan gelombang panjang yang datang ke permukaan obyek di bumi dengan gelombang pendek dan gelombang panjang yang meninggalkan permukaan obyek (2-7).

$$R_n = R_s(in) - R_s(out) + R_l(in) - R_l(out) \quad (2-7)$$

$$R_n = (1 - \alpha)R_s in + \varepsilon_a \sigma T_a^4 \cdot 0.7(1 + 0.7N^2) - \varepsilon \sigma T_s^4$$

Dimana,

- R_s : radiasi gelombang pendek (Wm^{-2}),
- R_l : radiasi gelombang panjang (Wm^{-2}),
- α : albedo permukaan,
- T_a : suhu udara (K),
- ε_a : emisivitas udara,
- ε : emisivitas permukaan, faktor keawanan (%).

Radiasi gelombang pendek yang dipantulkan oleh permukaan (R_s out), dapat diduga dari sensor satelit yang menerima panjang gelombang pendek, yaitu kanal 4, 3, dan 2. Sementara itu, nilai R_s (in) dapat dihitung setelah diketahui nilai α (USGS, 2016) (2-8) dengan mengetahui jarak astronomi bumi-matahari (d) sebagai fungsi hari Julian (JD) (2-9), rata-rata nilai solar *spectral irradiance* pada *band* tertentu (ESUN), *spectral radiance* ($L\lambda$ -kanal 4, 3 dan 2), dan sudut zenit matahari ($\cos \theta$).

$$\alpha = \frac{\pi \cdot L\lambda \cdot d^2}{ESUN \cdot \cos \theta} \quad (2-8)$$

$$d^2 = (1 - 0.01674 \times \cos(0.9856(JD - 4)))^2 \quad (2-9)$$

Seluruh hasil perhitungan nilai radiasi mempunyai unit $\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$ sehingga perlu dikonversi menjadi satuan Wm^{-2} , dengan persamaan $E = \pi \cdot d^2$

Nilai G dari LANDSAT 8 menurut Allen *et al.*, (2001) dihitung berdasarkan nilai R_n , α , T_s , dan NDVI (2-10):

$$\frac{G}{R_n} = \frac{T_s}{\alpha} (0.0038\alpha + 0.0074\alpha^2)(1 - 0.98NDVI^4) \quad (2-10)$$

Fluks bahang terasa (H) adalah jumlah R_n yang digunakan untuk memanaskan udara, yang dapat dihitung dengan persamaan $R_n = H + G + \lambda E$ dan nilai *bower ratio* $\beta = \frac{H}{\lambda E}$. Fluks bahang laten (λE) adalah nilai R_n yang digunakan proses penguapan dari permukaan bumi.

Biomassa diduga dari spektral radiasi gelombang elektromagnetik pada kisaran panjang gelombang pendek infra merah yang dipantulkan permukaan (*Shortwave Infra Red*-SWIR). Avitabile, (2012); Baccini, (2012) menunjukkan kemampuan SWIR untuk mengestimasi biomassa. Fakhrol dan Risdiyanto (2015) mengembangkan algoritma pendugaan biomassa di lahan basah dengan *band* 6

(1,57-1,65 μm) dari data satelit LANDSAT 8 (2-11).

$$\text{Biomassa} = 116849e^{-0.638 LA} \quad (2-11)$$

2.5 Analisis Korelasi Data Lapang dengan Data Satelit

Analisis korelasi dilakukan dengan metode regresi untuk mengetahui hubungan parameter hasil pengukuran lapangan dengan hasil analisis citra satelit LANDSAT 8 (Lefsky *et al.*, 2005; Saleh and Hasan, 2014; Jin *et al.*, 2015). Parameter yang dihubungkan adalah nilai RH, G, dan biomassa. Hubungan kuat atau korelasi yang tinggi ditunjukkan oleh nilai koefisien korelasi (r) yang hampir mendekati +1 atau -1, sedangkan korelasi yang lemah ditunjukkan oleh nilai (r) mendekati nol (Siregar 2012).

3 HASIL PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Mikrometeorologi

Hutan sekunder di lahan gambut memiliki tingkat kerapatan vegetasi lebih tinggi dibandingkan dengan belukar dan semak. Ukuran tegakan pohon beragam antara 5 cm - 50 cm dengan tinggi pohon mencapai lebih dari 20 meter. Area belukar didominasi tanaman prepat dengan tinggi pohon berkisar antar 2 m-10 m dengan diameter maksimum 20 cm dan ilalang dengan tinggi ± 1 m. Area semak hampir tidak ada tegakan pohon, area ini ditumbuhi tanaman bawah seperti paku-pakuan, kerisan, pulai, dan lainnya dengan tingkat kerapatan yang cukup rendah. Kondisi ini menyebabkan perbedaan parameter-parameter iklim mikro (Gambar 3-1).

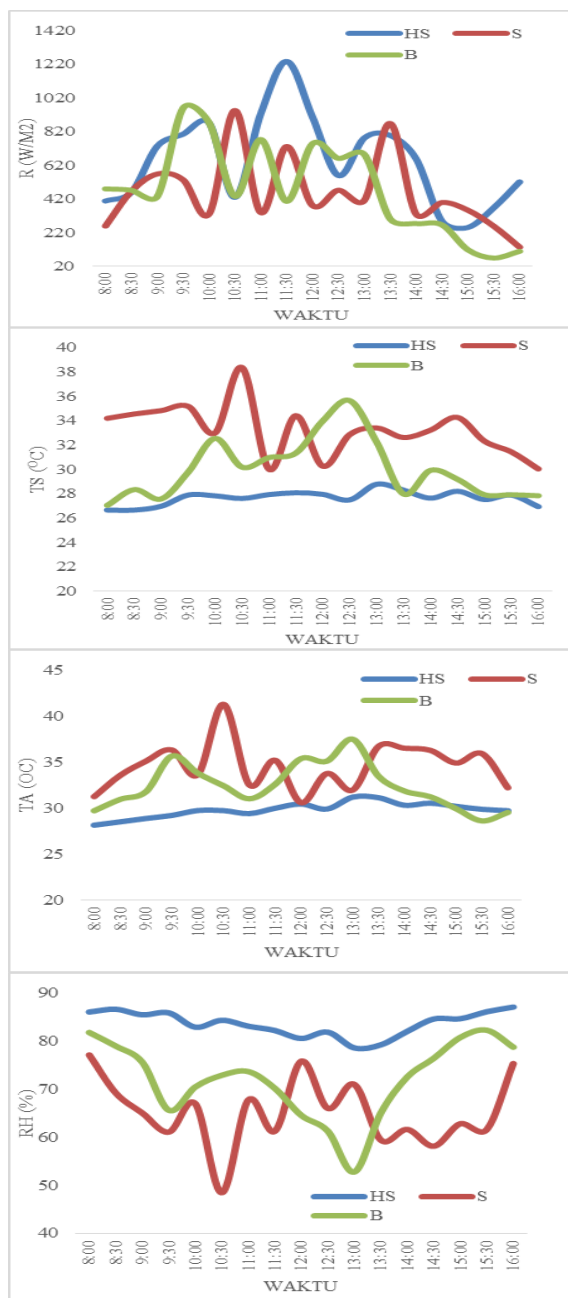
Perbedaan tinggi dan kerapatan vegetasi di hutan sekunder menyebabkan radiasi yang sampai ke permukaan lebih sedikit dibandingkan dengan belukar dan semak, sehingga kondisi dalam tutupan lahan menjadi lebih basah

karena jumlah uap air yang tinggi. Dibandingkan dengan belukar dan semak, kondisi suhu udara dan suhu permukaan selalu lebih rendah, hal ini disebabkan oleh kanopi hutan yang menghalangi masuknya radiasi sampai ke permukaan, sehingga proses penguapan di permukaan tidak maksimal. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Maryati (2014), hutan rawa gambut memiliki rata-rata suhu kurang dari 30° C dan kelembaban rata-rata diatas 90%

3.2 Kelembaban Udara (RH) dan Evapotranspirasi (ET)

Jumlah uap air di udara dinyatakan sebagai kelembaban relatif ($RH = (ea/es)\%$) yang merupakan fungsi dari tekanan uap aktual (ea) dan tekanan uap jenuh (es). Semakin rapat vegetasi menunjukkan bahwa nilai RH juga tinggi (Gambar 3-2), hal ini sama dengan yang dilaporkan oleh Wang *et al.*, 2012). Menurut Oke (1977) semakin tinggi kandungan uap air di udara maka proses penguapan yang terjadi melalui evapotranspirasi semakin tinggi, karena ada peningkatan ea. Namun demikian, hubungan antara RH dan ET yang diukur di lapangan menunjukkan korelasi negatif. Pengukuran nilai RH dilakukan pada ketinggian 1,2 meter menunjukkan bahwa yang terukur adalah uap air di bawah kanopi, terutama di tutupan lahan HS.

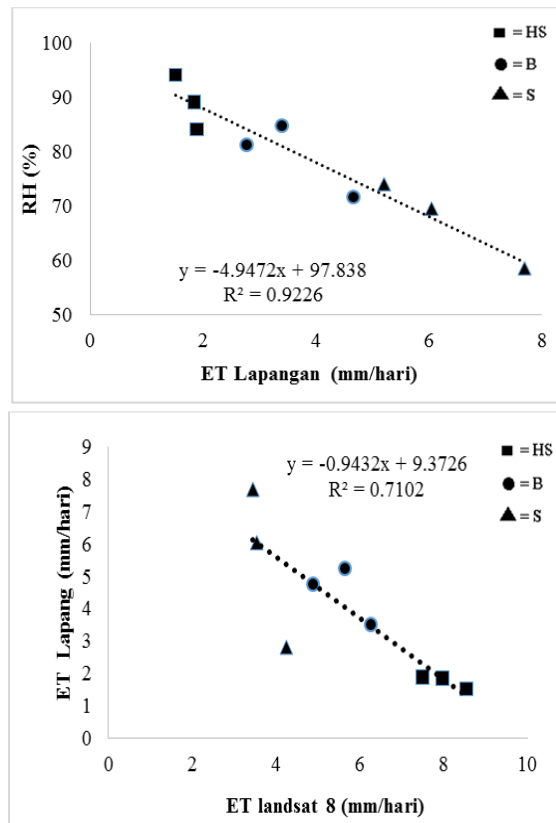
Pendugaan ET dengan data satelit menunjukkan bahwa semakin rapat tutupan vegetasi menunjukkan ET yang semakin rendah. Hasil ini mirip dengan McCabe dan Wood (2006); Liu *et al.*, (2010) yang menyebutkan area-area basah dan berhutan mempunyai nilai evapotranspirasi yang lebih tinggi, karena faktor ketersediaan air. Duffkova (2006) menyebutkan bahwa nilai defisit tekanan uap akan menurun dengan kenaikan suhu udara.



Gambar 3-1: Grafik hasil pengukuran parameter mikrometeorologi (a) radiasi, (b) suhu permukaan, (c) suhu udara, dan (d) kelembaban udara

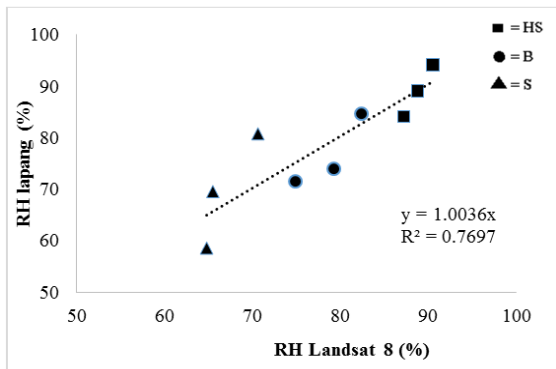
Hal ini menyebabkan nilai kelembaban di areal yang lebih terbuka juga rendah. Jika hasil ini dikorelasikan dengan hasil perhitungan ET data lapangan untuk setiap tutupan lahan, maka akan menghasilkan korelasi yang negatif (Gambar 3-2). Persamaan korelasi antara ET lapangan dengan hasil dugaannya di setiap tutupan lahan

menunjukkan hubungan yang sistematis dengan $R^2 = 0,71$. Oleh karena itu, untuk mendapatkan nilai kelembaban di bawah kanopi, persamaan tersebut masih dapat digunakan.



Gambar 3-2: Hubungan antara kelembaban relatif (RH) dengan evapotranspirasi di lapangan (ET) (atas) dan Hubungan antara ET perhitungan data lapangan dengan ET pendugaan data satelit (bawah)

RH yang diduga dari persamaan hubungan antara ET perhitungan data lapangan dengan nilai dugaan data satelit menunjukkan kelembaban di tutupan lahan HS lebih tinggi dibandingkan di B dan S. Hasil ini mirip dengan pengukuran RH di lapangan. Hubungan antara keduanya mempunyai korelasi yang kuat ($R^2 = 0.77$) (Gambar 3-3). Oleh karenanya, data satelit dapat digunakan untuk menduga nilai RH dengan terlebih dahulu mengetahui nilai ET.)



Gambar 3-3: Hubungan antara RH pendugaan satelit dengan RH lapangan.

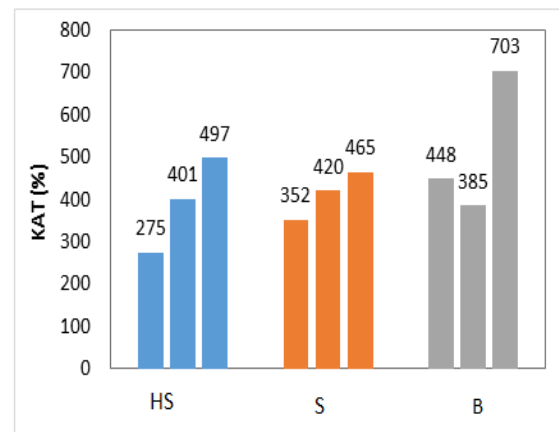
3.3 Kadar Air Tanah (KAT) dengan Fluks Bahang Tanah (G)

Nilai KAT tertinggi selama pengamatan terdapat pada tutupan lahan B dengan kadar air sebesar 703 % bobot kering, dan yang terendah pada HS sebesar 275 % bobot kering (Gambar 3-4). Menurut Mutalib (1991); Campos *et al.* (2011) kadar air tanah gambut berkisar antara 100-1.300 % dari berat keringnya, artinya bahwa tanah gambut mampu menyerap air 13 kali bobot keringnya. Perbedaan tinggi muka air di ketiga tutupan lahan pada saat pengamatan menunjukkan untuk HS berkisar antara 40-50 cm, B adalah 40-50 cm dan S adalah 35-40 cm. Ketebalan gambut di setiap tutupan lahan rata-rata adalah 300 cm. Ketebalan gambut dan tinggi muka air sebenarnya adalah faktor penting dalam pendugaan KAT gambut (Bourgault *et al.*, 2017).

Namun dalam penelitian ini, faktor tersebut tidak diperhitungkan dengan asumsi bahwa data satelit hanya dapat menggambarkan kondisi permukaan setiap tutupan lahan.

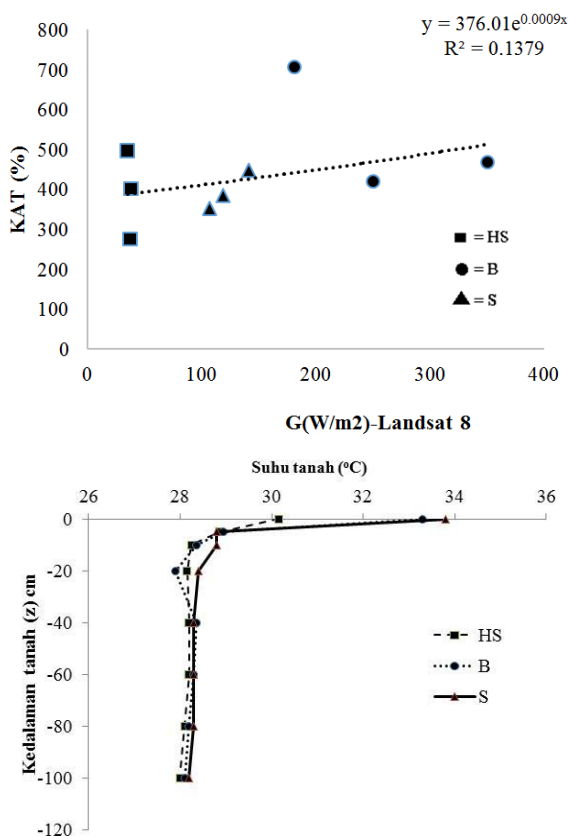
Rata-rata konduktivitas termal air adalah 25 kali lebih besar daripada udara pada suhu normal (Stull, 1995). Konduktivitas termal memiliki hubungan positif dengan jumlah air, semakin banyak jumlah air maka energi/bahang yang ditransfer semakin cepat (Omar dan Farouki, 1981)). Dalam penelitian ini,

jumlah air yang ada di dalam tanah (KAT) sampai dengan kedalaman 100 cm tidak menunjukkan hubungan yang kuat dengan pemanasan tanah (G) yang diperoleh dari data satelit (Gambar 3-5). Hal ini disebabkan sebagian besar komponen di lahan gambut adalah air, sehingga pemanasan permukaan lahan gambut sampai dengan kedalaman tertentu lebih dominan proses konveksi dibandingkan dengan proses konduksi.



Gambar 3-4: Grafik hasil pengukuran KAT di hutan sekunder (HS), belukar (B) dan semak (S)

Hasil lapangan juga menunjukkan bahwa perbedaan suhu tanah yang paling signifikan hanya terjadi pada permukaan sampai dengan kedalaman 20 cm. Sedangkan pada kedalaman 20-100 cm, suhu cenderung stabil. Hal ini indikasi bahwa pemanasan tanah melalui proses konduksi hanya terjadi sampai dengan kedalaman 20 cm. Sehingga nilai G yang dihitung dari data satelit juga tidak dapat menjelaskan perpindahan panas untuk seluruh kedalaman gambut. Oleh karenanya, jumlah air di lahan gambut tidak bisa dihitung dengan menggunakan data LANDSAT, terutama jika menggunakan nilai G yang diduga dengan suhu permukaan dan NDVI.



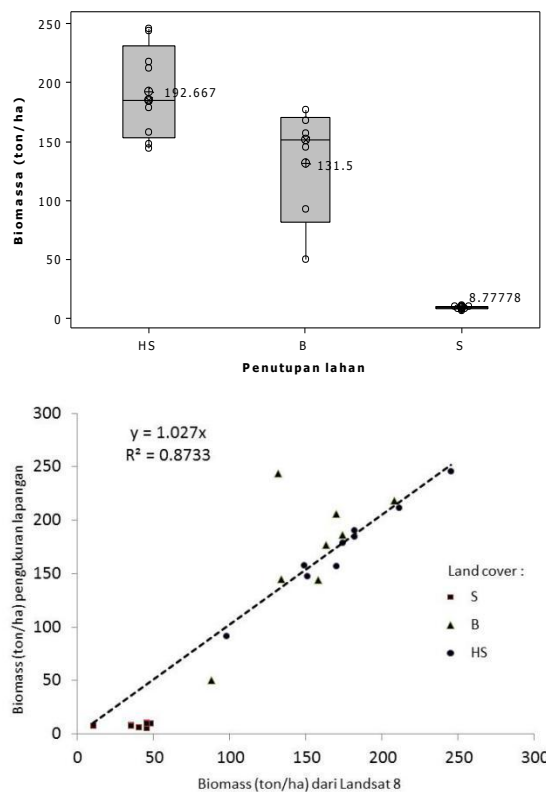
Gambar 3-5: Regresi G dengan KAT hasil pengamatan lapangan (atas) dan hasil pengamatan suhu tanah (bawah)

3.4 Biomass dan Kadar Air di Dalam Vegetasi

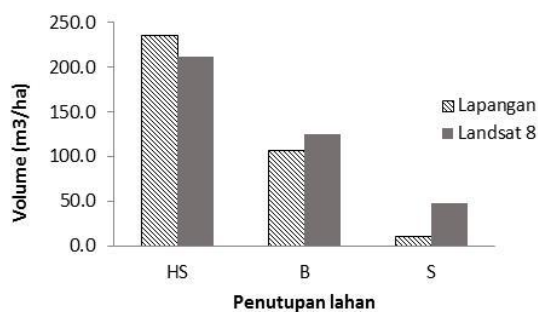
Biomassa hasil pengukuran lapangan menurut tutupan lahan menunjukkan di HS adalah 192,7 ton/ha, B adalah 131,5 ton/ha dan S adalah 8,7 ton/ha (Gambar 3-6). Hasil ini digunakan untuk memvalidasi pendugaan nilai biomassa dari data satelit (Gambar 3-6). Validasi pendugaan biomassa dari data LANDSAT 8 dengan biomassa pengukuran di lapangan menunjukkan hubungan yang kuat ($R^2=0,87$). Penutupan lahan HS mempunyai hubungan yang paling kuat dibandingkan dengan B dan S. Hal ini dapat disebabkan oleh variasi tegakan dan bentuk permukaan kanopi di setiap tutupan lahan yang lebih homogen, yang berpengaruh terhadap pemantulan gelombang elektromagnetik pendek. Hasil ini menunjukkan bahwa data

satelit LANDSAT 8 (*band* 6) dapat digunakan untuk menduga biomass di setiap tutupan lahan.

LANDSAT 8 menduga kandungan air yang lebih tinggi di tutupan lahan B dan S, sedangkan di HS lebih rendah (Gambar 3-7). Struktur tegakan vegetasi, bentuk permukaan dan pengaruh kebasahan tanah gambut di bawah kanopi menjadi faktor-faktor yang menyebabkan kadar air di B dan S menjadi lebih tinggi. Pantulan spectral radian SWIR di kedua tempat tersebut adalah hasil komposit dari vegetasi dan tanah gambut yang basah pada piksel berukuran 30x30 m². Pengaruh ini lebih jelas pada tutupan lahan S, yang sebagian besar adalah vegetasi herba dan vegetasi bawah berdiameter < 2 cm. Di tutupan HS, dengan struktur tegakan yang lebih homogeny dan jarak permukaan tanah dengan kanopi yang lebih tinggi, pengaruh tanah gambut yang basah lebih kecil.



Gambar 3-6: Box plot hasil pengukuran biomassa di lapangan (atas) dan regresinya dengan hasil dugaan LANDSAT 8



Gambar 3-7: Volume air (m³/ha) yang tersimpan di dalam vegetasi menurut tutupan lahan

4 KESIMPULAN

Di antara tiga obyek yang menunjukkan keberadaan jumlah air di lahan gambut, yang dapat diduga nilainya adalah air di udara di atas permukaan lahan dan di dalam vegetasi. Hal ini digambarkan dengan penilaian data satelit terhadap kelembaban udara dan biomassa. Sedangkan jumlah air di dalam tanah gambut tidak dapat diduga dengan data satelit yang hanya menunjukkan kondisi kelembaban secara kualitatif dengan pernyataan kering-basah. Dengan demikian, estimasi pendugaan jumlah air di ekosistem lahan gambut dengan data satelit hanya dapat dilakukan di atas permukaan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis sampaikan ucapan terimakasih kepada manajemen dan karyawan PT BSS dan PT Aksenta yang telah menyediakan lokasi untuk penelitian lapangan dan aktif membantu selama penelitian, kepada Tim Redaksi Jurnal Penginderaan Jauh, dan kepada seluruh pihak yang turut membantu penulis selama penelitian yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

DAFTAR RUJUKAN

Allen R.G, Morse A., Tasumi M., Bastiaansen W., Kramber W., and Anderson H., 2001. *Evapotranspiration from LANDSAT (SEBAL) for Water Right Management and Compliance with Multi-State water*

Compacts. University of Idaho Kimberly, ID 83341.

Amenu, G.G., P., Kumar, and X. Z., Liang, 2005. *Interannual variability of Deep-Layer Hydrologic Memory and Mechanisms of its Influence on Surface Energy Fluxes*, J. Clim., 18, 5024–5045, doi:10.1175/JCLI3590.1.

Avitabile, V., Baccini, A., Friedl, M.A., and Schmullius, C., 2012. *Capabilities and Limitations of LANDSAT and Land Cover Data for Aboveground Woody Biomass Estimation of Uganda*. Remote Sens. Environ. 117, 366–380.

Baccini, A., Goetz, S.J., Walker, W.S., Laporte, N.T., Sun, M., Sulla-Menashe, D., Hackler, J., Beck, P.A., Dubayah, R., and Friedl, M.A., 2012. *Estimated Carbon Dioxide Emissions from Tropical Deforestation Improved by Carbon-Density Maps*. Nat. Clim. Chang. Vol. 2, 182–185.

BB Litbang SDLP (Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, 2008. *Laporan Tahunan 2008, Konsorsium Penelitian dan Pengembangan Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian*. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor.

Bourgault, M.A., Larocque, M., and Garneau, M., 2017. *Quantification of Peatland Water Storage Capacity Using the Water Table Fluctuation Method*. Hydrological Process. Vol. 31, Issue 5 1184–1195.

Bullock A., and Acreman M., 2003. *The Role of Wetlands in the Hydrological Cycles*. Hydrology and Earth System Sciences, 7, (3), 358.

Campbell D.I., Laybourn C.E., Ian J.B., 2002. *Measuring Peat Moisture Content Using the Dual-Probe Heat Pulse Technique*. Soil Research 40, 177-190. <https://doi.org/10.1071/SR00108>.

Castelli, F., Entekhabi, D., and Caporali, E., 1999. *Estimation of Surface Heat Flux and an Index of Soil Moisture Using*

- Adjoint-state Surface Energy Balance*. Water Resources Research, Vol. 35, No. 10, 3115-3125.
- Chambers, F.M., Beilman, D.W., and Yu, Z., 2010. *Methods for Determining Peat Humification and for Quantifying Peat Bulk Density, Organic Matter and Carbon Content for Palaeostudies of Climate and Peatland Carbon Dynamics*. Mires and Peat, Volume 7 (2010/11), Article 07, 1-10, <http://www.mires-and-peat.net/>.
- Chan, S., Bindlish, R., Hunt, R., Jackson, T., and Kimball, J., 2013. *Vegetation Water Content-Ancillary Data Report-Preliminary v.1* SMAP Science Document no. 047. JPL D-53061. California Institute of Technology.
- da Rocha Campos, J.R., Silva, A.C., Fernandes, J.S.C., Ferreira, M.M., and Silva, D.V., 2011. *Water Retention in a Peatland With Organic Matter In Different Decomposition Stages*. R. Bras. Ci. Solo, 35:1217-1227.
- Dharmawan, I.W.S., 2014. *Persamaan Alometrik dan Cadangan Karbon Vegetasi pada Hutan Gambut Primer dan Bekas Terbakar (Allometric Equation and Vegetation Carbon Stock at Primary and Burnt Peat Forest)*. Jurnal penelitian hutan dan konservasi alam. Vol. 10 No. 2: 175-191.
- DOI: 10.1002/hyp.11116.
doi:10.1029/2000JD900051.
Doi:10.1029/2005gl023971.
doi:10.1029/2008JD009807.
doi:10.1088/1755-1315/33/1/012040.
doi:10.1111/j.1365-2389.1992.tb00115.x.
doi:10.4172/2169-0049.1000120.
- Duffkova, R., 2006. *Difference in Canopy and Air Temperature as an Indicator of Grassland Water Stress*. Soil & Water Res., 1, 2006 (4): 127-138.
- Emrich A., Pokorny B., Sepp C., 2000. *The Significance of Secondary Forest Management for Development Policy*. Eschborn. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH.
- Entin, J., A., Robock, K. Y., Vinnikov, S. E., Hollinger, S., Liu, and A., Namkai, 2000. *Temporal and Spatial Scales of Observed Soil Moisture Variations in the Extratropics*. J. Geophys. Res., 105, 11,865 – 11,877.
- Fakhrul M., dan Risdiyanto I., 2015. *Analisis Spektral Citra Satelit LANDSAT 8 untuk Menduga Simpanan Karbon Biomassa di Hutan Dataran Rendah*. [skripsi]. Bogor (ID). Institut Pertanian Bogor.
- Gentine, P., Enkhabi, D., and Heusinkveld, B., 2012. *Systematic Errors in Ground Heat Flux Estimation and their Correction*. Water Resources Research, Vol. 48, W09541, doi:10.1029/2010wr010203, 2012.
- Grand-Clement, E., et al, 2015. *New Approaches to the Restoration of Shallow Marginal Peatlands*. Journal of Environmental Management. xxx (2015) 1-14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.06.023>.
- Hairiah K., and Rahayu S., 2007. *Pengukuran 'Karbon Tersimpan' di Berbagai Macam Penggunaan Lahan*. Bogor. World Agroforestry Centre-ICRAF, SEA Regional Office, University of Brawijaya, Unibraw, Indonesia. 77.
- Hashimoto, T., Tange, T., Masumori, M., Yagi, H., Sasaki, S., and Kojima, K., 2004. *Allometric Equations for Pioneer Tree Species and Estimation of Aboveground Biomass of a Tropical Secondary Forest in East Kalimantan*. Tropics 14(1): 123-130.
- Hero, B., Ayu, N., Manuri, S., dan Istomo, 2010. *Pendugaan Biomassa dan Potensi Karbon Terikat di Atas Permukaan Tanah pada Hutan Rawa Gambut Bekas Terbakar di Sumatera Selatan*. Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia. ISSN. 15(1):41-49.

- Hillel, G., 1998. *Remote Sensing of Vegetation: Principle, techniques, and Application*. Oxford university press.
- Hirschi M., Mueller B., Dorigo W., Seneviratne, S.I., 2014. *Using Remotely Sensed Soil Moisture for Land-Atmosphere Coupling Diagnostics: the Role of Surface Vs. Root-Zone Soil Moisture Variability*. *Remote Sensing of Environment* 154, 246–252.
- Honkavaara, E., Eskelinen, M.A., Pölonen, I., Saari, H., Ojanen, H., Mannila, R., Holmlund, C., Hakala, T., Litkey, P., Rosnell, T., Viljanen, N., and Pulkkanen, M., 2016. *Remote Sensing of 3-D Geometry and Surface Moisture of a Peat Production Area Using Hyperspectral Frame Cameras in Visible to Short-Wave Infrared Spectral Ranges Onboard a Small Unmanned Airborne Vehicle (UAV)*. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 54, No. 9 (5440-5454).
- Iriana, W., Tonokura, K., Kawasaki, M., Inoue, G., Kusin, K., and Limin, S.H., 2016. *Measurement of Carbon Dioxide Flux from Tropical Peatland in Indonesia Using the Nocturnal Temperature-Inversion Trap Method*. *Environ. Res. Lett.* 11, doi:10.1088/1748-9326/11/9/095011.
- Jin, X., Ma J., Wen, Z., and Song, K., 2015. *Estimation of Maize Residue Cover Using LANDSAT-8 OLI Image Spectral Information and Textural Features*. *Remote Sens.* 2015, 7, 14559-14575; doi:10.3390/rs71114559.
- Joosten H., Clarke D., 2002. *Wise use of Mires and Peatlands: Background and Principles Including a Framework for Decision-Making*. International Mire Conservation Group and International Peat Society. Saarijärvi, Finland. 304.
- Kasischke, E.S, Bourgeau-Chavez, L.L, Rober, A.R, Wyatt, K.H., Waddington, J.M., Turetsky, M.R., 2009. *Effects of Soil Moisture and Water Depth on ERSSAR Backscatter Measurements from an Alaskan Wetland Complex*. *Remote Sensing of Environment*. 113 (2009): 1868-1873.doi:10.1016/j.rse.2009.04.006.
- Kettridge, N., Turetsky, M.R., Sherwood, J.H., Thompson, D.K., Miller, C.A., Benscoter, B.W., Flannigan, M.D., Wotton, B.M., Waddington, J.M., 2015. *Moderate Drop in Water Table Increases Peatland Vulnerability to Post-Fire Regime Shift*. *Scientific Reports*. <http://dx.doi.org/10.1038/srep08063>.
- Khomarudin, M.R., Bey, A., dan Risdiyanto, I., 2005. *Identifikasi Neraca Energi di Beberapa Penggunaan Lahan untuk Deteksi Daerah Potensi Kekeringan di Surabaya, Gresik, dan Sidoarjo*. *Pertemuan Ilmiah Tahunan MAPIN XIV*. Surabaya.
- Kramarenko, V.V., Nikitenkov, A.N., Molokov, V.Y., Shramok, A.V., and Pozdeeva, G.P., 2015). *Application of Microwave Method for Moisture Determination of Organic and Organic-Mineral Soils*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 33 (2016) 012040.
- Krankina, O.N., Pflugmacher, D., Friedl, M., Cohen, W.B., Nelson, P., and Baccini, A., 2008. *Meeting the Challenge of Mapping Peatlands with Remotely Sensed Data*. *Biogeosciences*, 5, 1809–1820, 2008.
- Krisnawati, H., W.C. Adinugroho dan R., Imanuddin, 2012. *Monograph: Allometric Models for Estimating Tree Biomass at Various Forest Ecosystem Types in Indonesia*. Research and Development Center for Conservation and Rehabilitations, Forest Research and Development Agency, Bogor, Indonesia.
- Lefsky, MA., Harding DJ., Keller, M., Cohen, WB., Carabajal, CC., Espirito-Santo, FB., Hunter, MO., and Oliveira Jr, R., 2005. *Estimates of Forest Canopy Height and Aboveground Biomass Using*

- ICESat. *Geophysical Research Letters*, Vol. 32, L22s02.
- Liu, W., Hong, Y., Khan, SI., Huang, M., Vieux, B., Caliskan, S., and Grout, T., 2010. *Actual Evapotranspiration Estimation for Different Land use and Land Cover in Urban Regions Using LANDSAT 5 Data*. *Journal of Applied Remote Sensing*, Vol. 4, 041873. DOI: 10.1117/1.3525566.
- Malingreau, Jean-Paul, 1981. *A Land Cover Classification for Indonesia. The Indonesian Journal of Geography*. Faculty of Geograpy. Gadjah Mada University. 11 (41):13-50.
- McCabe, M.F. and Wood, E.F., 2006. *Scale Influences on the Remote Estimation of Evapotranspiration Using Multiple Satellite Sensors*. *Remote Sensing of Environment* 105 (2006) 271–285. doi: 10.1016/j.rse.2006.07.006.
- Meingast, K.M., Falkowski, M.J., Kane, E.S., Potvin, L.R., Benschoter, B.W., Smith, A.M.S., Bourgeau-Chavez, L.L., Miller, M.E., 2014. *Spectral Detection of Near-Surface Moisture Content and Water-Table Position in Northern Peatland Ecosystems*. *Remote Sensing Of Environment* 152 (2014) 536–546. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.014> 0034-4257.
- Middleton, M., Närhi, P., Arkimaa, H., Hyvönen, E., Kuosmanen, V., Treitz, P., and Sutinen, R., 2012. *Ordination and Hyperspectral Remote Sensing Approach to Classify Peatland Biotopes Along Soil Moisture and Fertility Gradients*. *Remote Sensing of Environment*, Vol.124, 596-609, ISSN 0034-4257, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2012.06.010>.
- Mutalib AA, Lim JS, Wong MH dan Koonvai L., 1991. *Characterization, Distribution and Utilization of Peat in Malaysia*. Proc. International Symposium on tropical peatland. 6-10 May 1991, Kuching, Serawak, Malaysia.
- Noborio, K., 2001. *Measurement of Soil Water Content and Electrical Conductivity by Time Domain Reflectometry: a Review*. *Computers and Electronics in Agriculture*, Vol.1, Issue 3, pp 213-237, ISSN 0168-1699, [http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699\(00\)00184-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0168-1699(00)00184-8).
- Oke TR., 1978. *Boundary Layer Climates*. London: Methuen & Co Ltd.
- Omar T., and Farouki, 1981. *Thermal Properties of Soils*. United States Army Corps Of Engineers Cold Regions Research And Engineering Laboratory. Hanover, New Hampshire, U.S.A.
- Petropoulos G.P, Griffiths H.M, Dorigo W, Xaver A., and Gruber A., 2014. *Surface Soil Moisture Estimation: Significance, Controls, and Conventional Measurement Techniques*. *Remote Sensing of Energy Fluxes and Soil Moisture Content*. Book Chapter 2: 29-47.
- Querner, E.P., Mioduszewski, W., Povilaitis, A., Ślesicka, A., 2010. *Modelling Peatland Hydrology: Three Cases from Northern Europe*. *Polish J. of Environ. Stud*, Vol. 19, No.1, 149-159.
- Roth, C.H., Malicki, M.A., Plagge, R., 1992. *Empirical Evaluation of the Relationship Between Soil Dielectric Constant and Volumetric Water Content as the Basis for Calibrating Soil Moisture Measurements by TDR*. *Journal of Soil Science*, 43: 1–13.
- Saleh S.A.H., & Hasan, G., 2014. *Estimation of PM10 Concentration Using Ground Measurements and LANDSAT 8 OLI Satellite Image*. *J Geophys Remote Sens* 3:120.
- Sauer, T.J and Horton, R., 2005. *Soil Heat Flux*. Publications from USDA-ARS/ UNL Faculty. 1402. <http://digitalcommons.unl.edu/usdaarsfacpub/1402>.
- Schlotzhauer, S.M., and Price, J.S., 1999. *Soil Water Flow Dynamics in a Managed Cutover Peat Field, Quebec: Field and Laboratory Investigations*. Water

- Resources Research, vol. 35, no. 12, 3675–3683.
- Shien, P.T., Seneviratne, H.N. and Ismail, A.D.S., 2011. *A Study on Factors Influencing the Determination of Moisture Content of Fibrous Peat*. UNIMAS E-Journal of Civil Engineering, Vol. 2 (2), 39-47.
- Stull RB., 1995. *Meteorology Today for Scientist and Engineers, a Technical Compinion Book*. USA: West Publishing Company.
- U.S. Geological Survey, 2016. *LANDSAT 8 (L8) Data Users Handbook*. LSDS-1574 Version 2.0.
- Wang, S., Fu, B.J., Gao, G.Y., Yao, X.L. and Zhou, J., 2012. *Soil Moisture and Evapotranspiration of Different Land Cover Types in the Loess Plateau, China*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 2883–2892.doi:10.5194/hess-16-2883-2012.
- Wu, W., & Dickinson, R.E., 2004,). *Time Scales of Layered Soil Moisture Memory in the Context of Land-Atmosphere Interaction*. J. Clim., 17, 2752 – 2764, doi:10.1175/1520-0442(2004)0172.0.
- Zhang, J., W.-C. Wang, and J., Wei, 2008. *Assessing Land-Atmosphere Coupling Using Soil Moisture from the Global Land Data Assimilation System and Observational Precipitation*. J. Geophys. Res., 113, D17119,