

MODEL ESTIMASI TINGGI MUKA AIR TANAH LAHAN GAMBUT MENGUNAKAN INDEKS KEKERINGAN (GROUND WATER LEVEL ESTIMATION MODEL ON PEATLANDS USING DROUGHT INDEX)

Nur Febrianti^{1,2*}, Kukuh Murti Laksono², dan Baba Barus³

¹ Sekolah Pascasarjana IPB

² Pusat Pemanfaatan Penginderaan Jauh, LAPAN

³ Departemen Ilmu Tanah Sumberdaya Lahan, Institut Pertanian Bogor

*e-mail: nfebrianti@gmail.com

Diterima 27 Desember 2017; Direvisi 16 Mei 2018; Disetujui 16 Mei 2018

ABSTRACT

The Ground Water Level plays an important role in determining the greenhouse gas emission and, in turn, in regulating global climate system. Information on existing water levels is still using field measurements. The purpose of this study was to evaluate the best approximation model for estimating water level using drought index. This study utilizes Landsat 8 data to calculate *Normalized Difference Water Index and Visible and Shortwave infrared Drought Index* for 3 months (March, April and June 2016). The best estimation model is selected by the Akaike Information Criteria correction method and validated using K-Fold cross-validation. The results of this study indicate that the estimation of water level is affected by both drought indices with the TMA (mm) equation = $-439,47 - 1639,7 * NDWI_Maret - 640,23 * NDWI_April + 477 * VSDI_Maret$. Estimated water level began to detect hotspots ranging from $64,35 \pm 36,96$ cm (27 - 101 cm). The critical point for KHG Sei Jangkang - Sei Liong is 27 cm, thus the water level depth should be maintained less than that to avoid fire in peatlands.

Keywords: AICc, Drought Index, Moisture Index, Peatland, Cross Validation

ABSTRAK

Tinggi muka air tanah lahan gambut atau secara teknis dikenal dengan kedalaman muka air tanah memegang peran penting dalam menentukan emisi gas rumah kaca dan mengatur sistem iklim global. Informasi tentang tinggi muka air yang ada saat ini masih menggunakan hasil pengukuran lapangan. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi model aproksimasi terbaik untuk estimasi tinggi muka air dengan menggunakan indeks kekeringan. Penelitian ini memanfaatkan data Landsat 8 untuk menghitung *Normalized Difference Water Index* dan *Visible and Shortwave infrared Drought Index* selama 3 bulan (Maret, April dan Juni 2016). Model estimasi terbaik dipilih dengan metode koreksi Kriteria Informasi Akaike dan divalidasi menggunakan validasi silang K-Fold. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa estimasi tinggi muka air dipengaruhi oleh kedua indeks kekeringan tersebut dengan persamaan $TMA \text{ (mm)} = -439,47 - 1639,7 * NDWI_{\text{Maret}} - 640,23 * NDWI_{\text{April}} + 477 * VSDI_{\text{Maret}}$. Estimasi tinggi muka air mulai terdeteksi adanya hotspot berkisar antara $64,35 \pm 36,96$ cm (27 – 101 cm). Titik kritis untuk KHG Sei Jangkang – Sei Liong adalah 27 cm, dengan demikian kedalaman tinggi muka air harus dipertahankan kurang dari itu untuk menghindari terjadinya kebakaran di lahan gambut.

Kata kunci: AICc, Indeks Kekeringan, Indeks Kelembaban, Lahan Gambut, Validasi Silang

1 PENDAHULUAN

Lahan gambut di Indonesia luasnya mencapai lebih dari 7% dari daratan. Kondisi ini menyebabkan pemanfaatan lahan gambut tidak dapat dihindari. Pembukaan lahan dan pembuatan jaringan drainase akan merusak gambut. Air di lahan gambut akan keluar tanpa terkendali. Dampak dari kehilangan air ini menyebabkan penurunan tinggi muka air (TMA), penurunan permukaan gambut, emisi CO₂, terjadinya kebakaran lahan dan kekeringan total (*irreversible drying*).

Pengaturan TMA di lahan gambut merupakan hal yang sangat penting sebagai upaya pencegahan bencana kebakaran lahan gambut (karhutla) dan emisi gas rumah kaca. Pemerintah telah berupaya untuk mencegah kerusakan pada lahan gambut dengan menerbitkan Peraturan Pemerintah (PP) No. 71/2014. Pemanfaatan ekosistem gambut wajib dilakukan dengan menjaga fungsi hidrologis gambut. PP No. 71/2014 menyatakan bahwa lahan gambut dinyatakan rusak bila pada lahan gambut fungsi lindung dibuat jaringan drainase, sedangkan pada lahan gambut fungsi budidaya dinyatakan rusak bila tinggi muka air tanah (TMA) lebih dari 0,4 meter di bawah permukaan.

Upaya menjaga TMA tetap kurang dari 40 cm bukanlah suatu hal yang mudah, karena berarti kondisi TMA harus selalu diukur/dipantau. Pemantauan TMA di lahan gambut

sendiri bukan suatu pekerjaan yang mudah, karena menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen KLHK) No.15/2017 bahwa pengukuran TMA secara manual dilakukan minimal dua minggu sekali, sedangkan bila pengukuran secara otomatis dilakukan paling sedikit sekali sehari.

Pemantauan TMA saat ini masih dilakukan dengan cara pengukuran langsung di lapangan. Pemantauan TMA dengan pengukuran langsung ini membutuhkan biaya operasional yang sangat besar. Sebab itu diperlukan suatu metode yang lebih mudah, murah dan cepat.

Teknologi penginderaan jauh menjadi pilihan alternatif untuk menjawab permasalahan ini. Data penginderaan jauh resolusi rendah hingga sedang dapat diperoleh secara gratis misalnya Landsat 8, MODIS dan NOAA AVHRR. Selain itu, prosesnya jauh lebih mudah daripada melakukan pengukuran langsung di lapang. Hingga saat ini, data penginderaan jauh telah banyak dimanfaatkan baik untuk pemantauan permukaan bumi, pemantauan cuaca dan iklim, pemantauan kekeringan dan lain sebagainya.

Upaya pemantauan kekeringan dan kebasahan pada suatu lahan dengan memanfaatkan data penginderaan jauh telah banyak dilakukan. Zargar *et al.* (2011)

menyatakan bahwa pada tahun 2011 terdapat 74 macam indeks kekeringan. Indeks yang dapat ditemukan antara lain *Normalized Difference Water Index* (NDWI) yang menurut Thenkabail (2015) memiliki respon yang lebih baik daripada *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). NDWI juga baik dalam melihat perubahan tubuh air (Rokni, 2016) dan mengklasifikasi air keruh (Guo, 2017).

Menurut Zhang *et al.* (2013b) VSDI lebih dapat memberikan gambaran mengenai kelembaban tanah daripada *Land Surface Water Index* (LSWI), *Surface Water Capacity Index* (SWCI), *Moisture Stress Index* (MSI) dan *Shortwave Infrared Soil Moisture Index* (SIMI).

Taufik (2010); Taufik *et al.* (2011); Taufik dan Setiawan (2012), membuat estimasi TMA menggunakan modifikasi *Keetch-Byram Drought Index* (mKBDI), Namun dalam perhitungannya masih menggunakan data lapangan.

Informasi TMA lahan gambut secara teratur sangat diperlukan gunaantisipasi terjadinya karhutla, oleh sebab itu perlu dicari suatu model yang dapat memberikan informasi TMA di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk mencari model estimasi TMA terbaik dengan menggunakan indeks kekeringan NDWI dan VSDI yang dapat digunakan sebagai peringatan dini kebakaran gambut.

Model yang dihasilkan dari penelitian ini diharapkan dapat membantu pemantauan TMA lahan gambut. Selain itu, dengan mengetahui kondisi TMA di lapangan sejak awal, maka diharapkan kebakaran lahan gambut dapat dicegah sedini mungkin.

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi dan Data

Penelitian ini dilakukan di Kesatuan Hidrologi Gambut (KHG) Sei Jangkang – Sei Liong, Kabupaten Bengkalis, Provinsi Riau (Gambar 2-1). Secara geografis penelitian ini terletak antara 1°27'40" – 1°33'50" LU dan 102°11'25" – 102°18'5" BT. KHG Sei Jangkang – Sei Liong memiliki luasan kurang lebih 15,9 km².

Bentuk lahan di wilayah penelitian relative datar karena hampir di seluruh pulau merupakan tanah gambut, dengan tutupan dan penggunaan lahan berupa perkebunan (perkebunan karet, kelapa, kelapa sawit dan perkebunan pinang).

Gambut di Kabupaten Bengkalis umumnya merupakan gambut sangat dalam (lebih dari 4 m) yaitu sekitar 285 ribu Ha. Namun di lokasi penelitian yaitu KHG Sei Jangkang – Sei Liong mayoritas adalah gambut dangkal (kedalaman 50 – 100 cm) atau tanah bergambut (kedalaman < 50 cm), meskipun masih dapat ditemukan variasi kedalaman dari gambut dangkal sampai gambut sangat dalam.

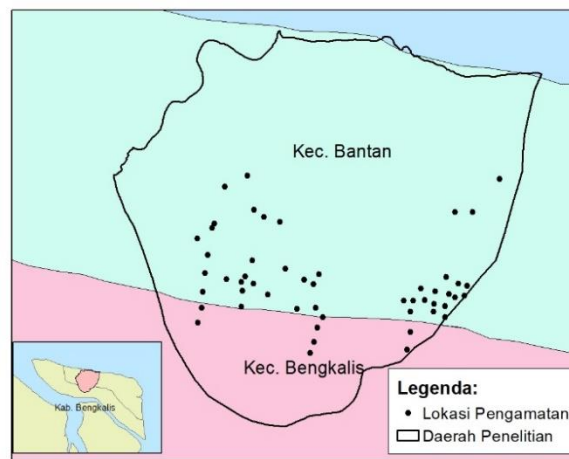
Data primer yang dipergunakan yaitu Landsat 8 OLI bulan Maret, April dan Juni 2016. Data bulan Mei 2016 tidak tersedia untuk perhitungan, sehingga dipilih bulan yang memiliki kondisi cuaca/iklim yang mirip dengan kondisi bulan Mei yaitu pada musim hujan.

Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Pulau Bengkalis 1:50.000 dari Badan Informasi Geospasial (BIG). Data tinggi muka air bulan Mei 2016 diperoleh dari pengukuran Edi (2017). Pengukuran TMA dilakukan di 52 titik yang cukup menyebar dan mewakili setiap kedalaman gambut. Data *Visible Infrared Imaging Radiometer Suite* (VIIRS) berupa data hotspots dengan resolusi spasial 375 m bulan Maret – Juni 2016 (23 titik) dari FIRMS/NASA.

Pengolahan data satelit menggunakan software ERDAS Imagine 2014 dan ARC GIS 10.4. Pembuatan model TMA dan validasi menggunakan program R.

2.2 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan yaitu menghitung indeks kekeringan, membuat model estimasi TMA, seleksi model estimasi terbaik, uji validasi akurasi dan pembuatan peta sebaran estimasi TMA. Pembuatan estimasi TMA pada kondisi hotspots dilakukan untuk mengetahui bagaimana kesesuaian estimasi TMA pada saat terdapat hotspot.



Gambar 2-1: Lokasi Penelitian KHG Sei Jangkang – Sei Liong

2.2.1 Indeks Kekeringan

a. Normalized Difference Water Index (NDWI)

NDWI (Gao, 1996) adalah indeks satelit yang diturunkan dari saluran *Near-Infrared* (NIR) dan *Short Wave Infrared* (SWIR). Reflektansi SWIR mencerminkan perubahan baik kadar air vegetasi dan struktur mesofil spons di kanopi vegetasi, sedangkan reflektansi NIR dipengaruhi oleh struktur internal daun dan daun kering tetapi tidak dengan kandungan air. Kombinasi dari NIR dan SWIR menghilangkan variasi yang disebabkan oleh struktur internal daun dan daun konten bahan kering, meningkatkan akurasi dalam mengambil kadar air vegetasi (Ceccato *et al.*, 2001). Rasio NIR dan SWIR6 dalam perhitungan NDWI diperlihatkan dalam persamaan 1:

$$NDWI = \frac{(R_{Nir} - R_{SWIR6})}{(R_{Nir} + R_{SWIR6})} \quad (2-1)$$

Indeks NDWI (Gao, 1996) tidak hanya tergantung pada kadar air daun tetapi juga pada jenis vegetasi dan penutup lahan. Nilai NDWI tinggi sesuai dengan kadar air vegetasi yang tinggi dan tutupan vegetasi fraksi tinggi. Nilai-nilai NDWI rendah sesuai dengan kadar air vegetasi rendah dan penutup fraksi vegetasi rendah. Nilai NDWI akan menurun pada periode stres air (Tabel 2-1).

NDWI adalah indeks kekeringan yang populer untuk kelembaban vegetasi. Identifikasi kekeringan menggunakan NDWI untuk identifikasi kelembaban dan kekeringan telah banyak dilakukan sebelumnya. Indeks

ini telah terbukti efektif dalam memantau air vegetasi konten dalam berbagai studi (Zarco-Tejada *et al.*, 2003; Maki *et al.*, 2004; Xiao *et al.*, 2005; Gu *et al.*, 2008). Membandingkan kemampuan NDVI dan NDWI untuk pemantauan kelembaban vegetasi, dan kekeringan padang rumput juga telah dilakukan oleh Jackson *et al.* (2004), dan Chen *et al.* (2005).

TABEL 2-1: KATEGORI KEKERINGAN NDWI

Kategori NDWI	Keterangan
0,7<= NDWI	kadar air sangat tinggi
0,6<= NDWI <0,7	kadar air tinggi
0,6<= NDWI <0,5	kadar air sedang
0,4<= NDWI <0,5	kadar air rendah
0,3<= NDWI <0,4	kekeringan rendah
0,2<= NDWI <0,3	Kekeringan sedang
0,0<= NDWI <0,2	Kekeringan kuat
NDWI <0,0	Kekeringan sangat kuat

Sumber: Gulácsi and Kovács (2015)

b. Visible and Shortwave Infrared Drought Index (VSDI)

VSDI merupakan indeks kekeringan yang baru dikembangkan untuk pemantauan kekeringan permukaan baik tanah dan vegetasi. Menurut Zhang *et al.* (2013a), indeks ini merupakan kombinasi dari Landsat 8 kanal biru, merah, dan SWIR, yang didefinisikan dalam persamaan 2.

$$VSDI = 1 - [(R_{SWIR6} - R_{biru}) + (R_{merah} - R_{biru})] \quad (2-2)$$

Dengan menganalisis respon spektral terhadap stres air dari tanaman dan tanah, kanal SWIR dan merah ditemukan sensitif terhadap variasi kelembaban untuk kedua jenis permukaan, sehingga kedua kanal tersebut digunakan sebagai pengukur

kelembaban. Kanal biru kurang sensitif terhadap perubahan air dan dapat berfungsi sebagai patokan kelembaban (Zhang et al., 2013a).

VSDI dibangun berdasarkan perbedaan antara kanal kelembaban sensitif (SWIR dan merah) dan kanal referensi (biru). Kombinasi ($R_{SWIR} - R_{Biru}$) and ($R_{merah} - R_{Biru}$) memaksimalkan variasi kelembaban dan memberikan potensi untuk memperkirakan permukaan air independen dari jenis tutupan lahan. Akhirnya, VSDI dikurangi dari 1 untuk membuat VSDI positif berkorelasi terhadap variasi lembab. Rentang VSDI teoritis didefinisikan pada Tabel 2-2 dengan penjelasan singkat.

TABEL 2-2: KISARAN VSDI

Nilai VSDI	Keterangan
$0 < VSDI \leq 1$	Semakin kecil nilai, semakin kering
$1 < VSDI \leq 2$	air atau air salju

2.2.2 Model Estimasi TMA

Estimasi tinggi muka air dibuat dari variabel-variabel yang diduga mempengaruhi besaran nilai TMA. Model estimasi dibuat dengan model analisis regresi linier berganda menggunakan program R. Banyaknya model kombinasi yang mungkin dapat dihasilkan adalah $2^n - 1$, dimana n merupakan jumlah variabel.

Analisis regresi linear merupakan metode statistik yang dapat digunakan untuk mempelajari hubungan antar sifat permasalahan yang sedang diselidiki. Model analisis regresi linear berganda dapat memodelkan hubungan antara beberapa peubah. Pada model ini terdapat peubah tidak bebas (Y) yang mempunyai hubungan fungsional dengan satu atau lebih peubah bebas (X). Secara umum dapat ditulis seperti yang ditunjukkan persamaan 3 berikut:

$$Y = A + B_1X_1 + B_2X_2 + \dots + B_nX_n \quad (2-3)$$

dimana Y adalah estimasi TMA, A adalah konstanta regresi, $B_1 \dots B_n$ adalah koefisien regresi, $X_1 \dots X_n$ = peubah bebas NDWI_{Maret-Juni} dan VSDI_{Maret-Juni}. Dalam penelitian ini ada 63 variasi model yang dapat dibuat.

2.2.3 Seleksi model estimasi TMA

Model terbaik dapat dianalisis menggunakan Model Diagnostik seperti

Root Mean Square Error (RMSE), dan *adjusted coefficient of determination* (R^2). Namun menurut Beal (2007), model diagnostik ini tidak cukup untuk menentukan model terbaik karena tidak dapat menduga kualitas suatu model dari kumpulan model lainnya. Oleh karena itu untuk melihat berapa besar kualitas antar model, dapat dilakukan dengan *Information Criteria* (IC). Salah satu metode IC yang dapat digunakan yaitu *Akaike Information Criterion* (AIC)

Kriteria Informasi Akaike (AIC) merupakan estimasi kualitas relatif dari model statistik untuk kumpulan data tertentu. AIC akan memperkirakan kualitas masing-masing model, relatif terhadap model lainnya. Dengan demikian, AIC menyediakan sarana untuk pemilihan model. Untuk AIC dengan ukuran sampel yang terbatas ($n/k < 40$) maka dihitung menggunakan koreksi (AICc). Perhitungan nilai AICc untuk setiap model dilakukan dengan set data yang sama, persamaan AICc dapat dilihat pada persamaan 2-4:

$$AICc = -2 * \log(L) + 2 * k + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad (2-4)$$

dimana log adalah logaritmik alami, L (*likelihood*) yaitu nilai dari kemungkinan; dan k merupakan jumlah variabel dalam model; dan n merupakan ukuran sampel.

Model terbaik merupakan model yang memiliki nilai AICc minimum. Namun untuk membandingkan kemampuan setiap model, maka dilakukan perhitungan delta AICc dan bobot Akaike. Delta AICc (Δ_i) adalah ukuran dari setiap model relatif terhadap model terbaik dan dihitung seperti pada persamaan 2-5:

$$\Delta_i = AICc_i - AICc_{min} \quad (2-5)$$

dimana AICc_i adalah nilai AICc untuk model i dan AICc_{min} adalah nilai AICc dari model terbaik. Sebagai aturan praktis, sebuah $\Delta_i < 2$ menunjukkan bukti substansial untuk model, nilai antara 3 dan 7 menunjukkan bahwa model tersebut memiliki dukungan yang jauh lebih rendah, sedangkan $\Delta_i > 10$ menunjukkan bahwa model tersebut sangat tidak mungkin (Burnham dan Anderson, 2002).

Bobot Akaike (w_i) memberikan ukuran lain dari kekuatan bukti untuk setiap model dan mewakili rasio nilai

delta AICc (Δ_i) untuk setiap model relatif terhadap keseluruhan rangkaian kandidat model seperti terlihat pada persamaan 2-6:

$$w_i = \frac{\exp\left(-\frac{1}{2}\Delta_i\right)}{\sum_{i=1}^n \exp\left(-\frac{1}{2}\Delta_i\right)} \quad (2-6)$$

dimana w_i adalah bobot Akaike dan Δ_i adalah delta AICc.

Interpretasi bobot Akaike (w_i) menunjukkan probabilitas bahwa model tersebut adalah yang terbaik di antara keseluruhan model kandidat.

2.2.4 Validasi model dengan *K-fold cross validation*

K-fold Cross validation (KCV) adalah teknik penarikan sampel pada validasi model. KCV berguna untuk menghindari terjadinya *overlapping* pada data testing. KCV ini memiliki 2 proses yaitu: membagi data menjadi K -subset yang berukuran sama, kemudian menggunakan setiap k - subset untuk data testing dan sisanya sebagai data training. KCV merata-rata nilai kecocokan untuk mendapatkan perkiraan kinerja model prediksi yang lebih akurat.

Pada penelitian ini menggunakan $k=5$, berarti data dibagi menjadi 5 bagian/kelompok, dengan perulangan sebanyak 500 kali. Perhitungan KCV juga akan menghasilkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dan R^2 dari setiap model.

2.2.5 Verifikasi model estimasi TMA

Peta sebaran estimasi TMA di verifikasi dengan titik hotspot untuk memperoleh kisaran TMA saat terjadi hotspots. Asumsi yang dipakai disini adalah semakin besar TMA maka kemungkinan terjadinya hotspot akan semakin besar. Sebaliknya, semakin kecil TMA, maka tidak akan ditemukan hotspot.

2.2.6 Pembobotan Model Tinggi Muka Air

Penentuan rekomendasi model dilakukan dengan mengelaskan seluruh kriteria yang digunakan yaitu

AICc dan RMSE terkecil dikelaskan dari nilai terkecil ke terbesar. R^2 dan Proporsi hotspot terbesar dikelaskan dari nilai terbesar hingga terkecil. Masing-masing kelas diberi bobot dimana kelas 1 memiliki bobot 6, kelas 2 bobot 5, kelas 3 bobot 4 dan seterusnya. Model yang memperoleh jumlah bobot terbesar menjadi model terpilih yang akan direkomendasikan sebagai model estimasi TMA. Selanjutnya dicari berapa nilai TMA maksimum terjadi hotspot dan berpotensi terjadi kebakaran di lahan gambut.

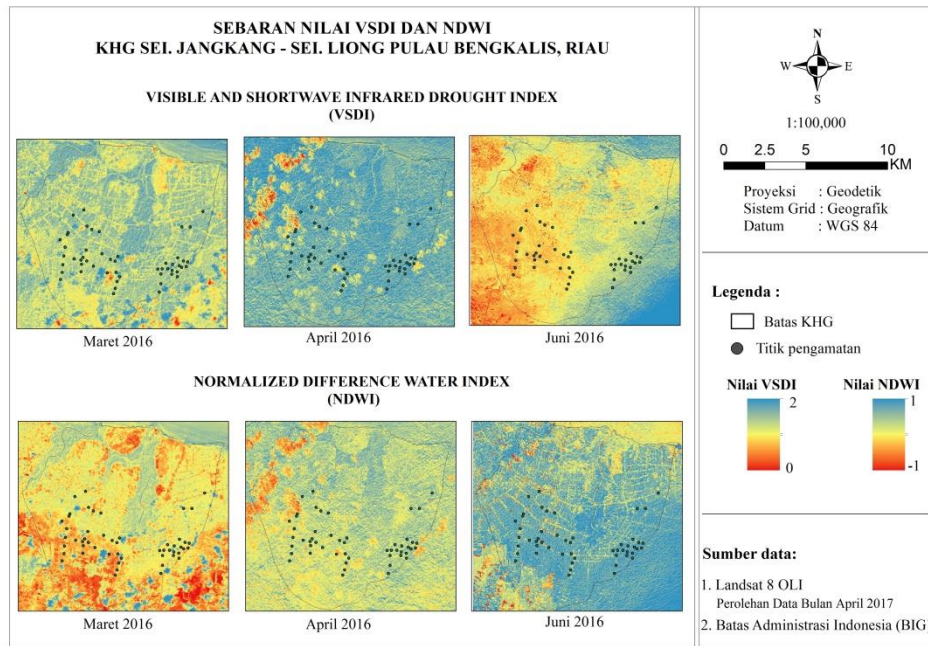
3 HASIL PEMBAHASAN

3.1 Sebaran nilai VSDI dan NDWI

Pengolahan indeks kekeringan menggunakan VSDI dan NDWI dapat dilihat pada Gambar 3-1. Pada gambar ini terlihat bahwa kondisi NDWI bulan Maret berwarna biru hingga kemerahan (berkisar -1 hingga 1). Warna biru (basah) terdapat disepanjang Sei, sedangkan lokasi sekitarnya telah mulai mengering ditandai dengan warna kuning (lembab) hingga merah (kering). Pada bulan April dan Juni 2016 terlihat kondisi semakin kuning (warna biru semakin berkurang bahkan hilang di bulan Juni).

VSDI bulan Maret 2016 berwarna orange (berkisar antara 1). Pada bulan April dan Juni 2016 kondisi VSDI lebih basah daripada bulan Maret 2016. Identifikasi kekeringan NDWI yang mengidentifikasi kondisi kebasahan tanaman (terlihat ada perbedaan antara area bervegetasi dan tidak bervegetasi), berbeda dengan VSDI yang mengidentifikasi kondisi kebasahan tanaman dan permukaan tanah (tidak terlihat perbedaan antara yang ada tanaman dan tidak) (Gambar 3-1).

Pada Gambar 3-1 juga terlihat NDWI lebih sensitif terhadap tutupan awan daripada VSDI. Karena itu pada bulan April dan Juni 2016 terlihat bahwa citra tertutup selaput awan/asap sehingga nilai yang diperoleh tidak akurat, maka selanjutnya dalam perhitungan data ini tidak dipergunakan.



Gambar 3-1 Sebaran Nilai VSDI dan NDWI KHG Sei Jangkang- Sei Liong

3.2 Model Estimasi dan Seleksi Model

Model estimasi TMA global dibangun dari variable NDWI dan VSDI (Maret, April dan Juni). Variasi model yang dapat dibuat yaitu sebanyak 63 model. Hasil analisis terhadap indeks kekeringan menunjukkan bahwa citra Landsat 8 perekaman bulan Juni tidak dapat dipergunakan karena tertutup awan. Maka persamaan global untuk estimasi TMA indeks kekeringan menjadi:

$$Y = -561,1 - 1390,6X_1 - 1884,5X_2 + 368,7X_3 + 219,7X_4 \quad (3-1)$$

dimana: Y = Estimasi TMA, X₁ = NDWI Maret, X₂ = NDWI April, X₃ = VSDI Maret dan X₄ = VSDI April.

Dari 4 variabel yang dipergunakan, diperoleh 15 variasi model estimasi TMA data lapangan. Oleh karena itu perlu dilakukan seleksi model-model yang dapat mengestimasi tinggi muka air dengan baik. Seleksi model yang dilakukan dengan membandingkan antar model dihitung menggunakan AICc. Hasil perhitungan AICc dapat dilihat pada Tabel 3-1. Pada tabel tersebut dapat dilihat bahwa model telah diurutkan dari nilai AICc terkecil hingga terbesar. Model 1 memiliki nilai AICc terkecil sebesar 521,9 dan diikuti oleh Model 2 (522,64).

Pada penelitian ini digunakan kriteria delta AICc kurang dari 2.

Berdasarkan nilai delta AICc tersebut ($\Delta i < 2$), ternyata hanya enam model yang menjadi *confidence set of model*. *Confidence set of model* dari model estimasi indeks kekeringan terdiri dari Model 1 sampai Model 6. Variabel-variabel yang membangun set model tersebut adalah NDWI dan VSDI pada bulan Maret dan April.

3.3 Model Estimasi TMA

Estimasi TMA dihitung menggunakan koefisien setiap variabel dari *confident set of model* yang diperoleh dari Tabel 3-2. Perhitungan model estimasi TMA data lapangan dihitung menggunakan *raster calculator* pada program Arc GIS. Peta sebaran estimasi TMA untuk data indek kekeringan langsung menggunakan *raster calculator* dengan memasukan nilai koefisien dari Tabel 3-2, dimana hasilnya ditunjukkan pada Gambar 3-2.

Sebaran TMA yang disajikan pada Gambar 3-2, memiliki nilai yang hampir sama yaitu lebih kecil dari 20 cm hingga lebih besar dari 80 cm (kecuali Model 4 dan Model 5). Model 4 dan Model 5 hanya memiliki nilai kisaran TMA lebih dari 40 cm. Perbedaan nilai kisaran TMA ini dikarenakan Model 4 dan Model 5 hanya menggunakan Variabel NDWI saja, sedangkan model yang lainnya menggunakan variabel VSDI.

Model 2 dan Model 6 pada Gambar 3-2 menunjukkan sebaran TMA

dalam (> 80 cm) dengan jumlah yang sangat banyak dan kondisi TMA dangkal (< 20 cm) dalam jumlah kecil. Pada Model 5 terlihat kering karena seolah-olah seluruh wilayah memiliki TMA yang dalam, meskipun pada kenyataannya sedikit sekali daerah dengan kondisi TMA dalam (> 80 cm).

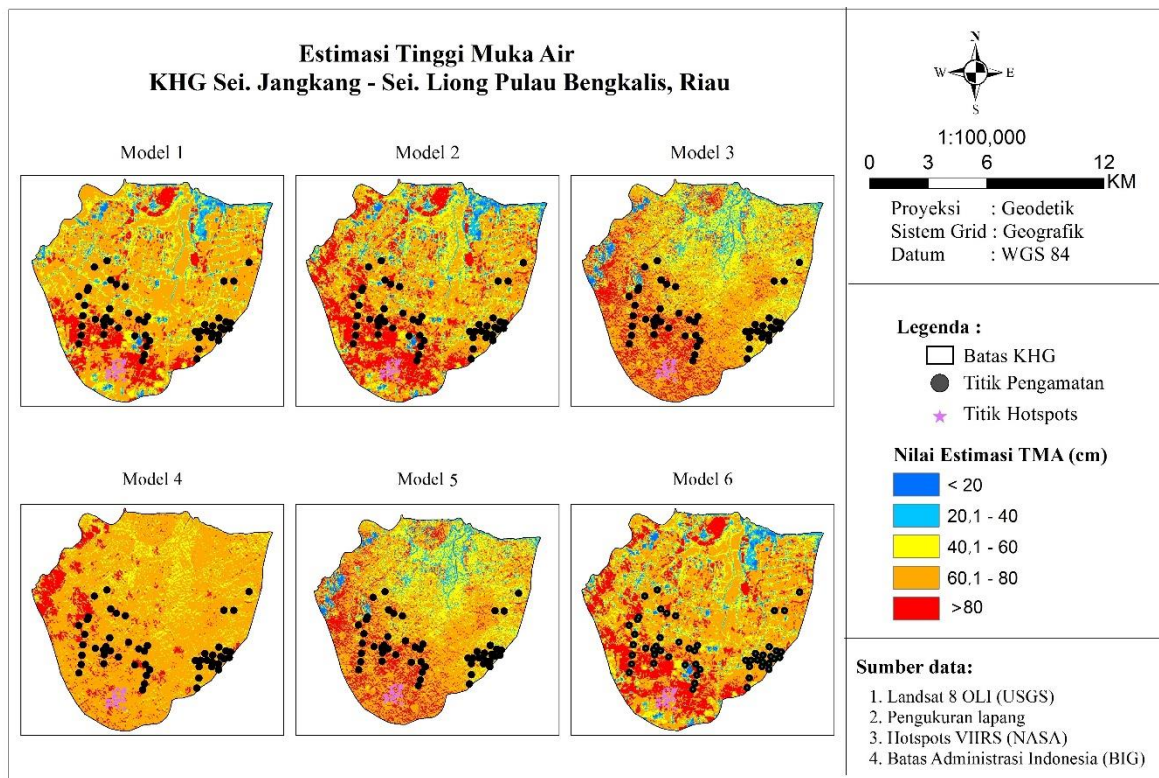
Pada Gambar 3-2 terlihat bahwa semakin banyak variabel yang digunakan pada Model TMA, maka kisaran nilai TMA semakin besar. Hal ini mungkin lebih dikarenakan saling melengkapi kekurangan dari masing-masing variabel.

TABEL 3-1: MODEL CONFIDENCE SET OF MODEL ESTIMASI TMA

Model	Model	AICc	Delta	Bobot
1	NDWI Maret + VSDI Maret	521,90	0,00	0,19
2	NDWI Maret + NDWI April + VSDI Maret	522,64	0,74	0,13
3	NDWI April + VSDI April	523,00	1,10	0,11
4	NDWI Maret	523,32	1,42	0,09
5	NDWI April	523,44	1,54	0,09
6	NDWI Maret + VSDI Maret + VSDI April	523,46	1,56	0,09
7	NDWI Maret + NDWI April + VSDI April	523,94	2,04	0,07

TABEL 3-2: NILAI KOEFISIEN CONFIDENT SET OF MODEL

Model	Intersep	NDWI Maret	NDWI April	VSDI Maret	VSDI April
1.	-431,7	-1647,7		447,0	
2.	-439,5	-1639,7	-640,2	477,0	
3.	-327,6		-2820,8		379,3
4.	78,8	-526,5			
5.	94,7		-624,9		
6.	-394,0	-1730,3		505,9	-77,7



Gambar 3-2: Sebaran Estimasi TMA dari Confidence Set of Model

3.4 Validasi dan Verifikasi Model Estimasi TMA

Validasi silang K-fold pada penelitian ini dilakukan pengulangan (*looping*) sebanyak 500 kali, untuk masing-masing grup (fold) yaitu 5 fold. Pengulangan ini dilakukan bertujuan agar diperoleh kombinasi data yang lebih beragam. Setiap pengulangan akan memiliki nilai RMSE dan R^2 masing-masing.

Pada Tabel 3-3 terlihat Estimasi TMA terdangkal berkisar antara 62,3 hingga 66,12 cm, sedangkan TMA terdalam berkisar antara 83,84 – 93,67 cm. RMSE terkecil dimiliki Model 4 dan Model 5 yaitu sebesar 36,5 dan 36,4 cm, kemudian diikuti oleh Model 1 dan Model 3 yaitu 36,6 cm dan 36,7 cm. Nilai R^2 terbesar dimiliki oleh Model 2, Model 6 dan Model 1 yaitu sebesar 13 %, 11,4 %, dan 10 %. Dengan demikian maka estimasi TMA untuk masing-masing model pada *confidence set of model* dari Model 1 hingga Model 6 secara berturut-turut adalah 66,06±36,6 cm, 64,35±36,9 cm, 64,18±36,7 cm, 63,20±36,5 cm, 66,12±36,4 cm, dan 62,30±37,2 cm. Nilai RMSE yang besar dan R^2 yang kecil ini dikarenakan pada penelitian ini hanya menggunakan indeks kekeringan yang diturunkan dari variabel kondisi permukaan.

Berdasarkan hipotesis, hotspot berpotensi terjadi pada TMA maksimum, oleh sebab itu selanjutnya dilakukan perhitungan terhadap jumlah titik hotspot yang berada pada TMA lebih dari 80 cm. Tabel 3-3 menunjukkan proporsi hotspot berurutan dari Model 1 hingga Model 6 masing-masing adalah 1, 9, 8, 15, 2, dan 7 buah. Dengan demikian maka Model 4 merupakan model yang memiliki proporsi hotspot dengan TMA maksimum terbesar yaitu 65,2 %. *Overlay* antara lokasi titik hotspot dan estimasi TMA indeks kekeringan dapat dilihat pada Gambar 3-3.

3.5 Pembobotan Model TMA dan Peringatan Dini Kebakaran

Terdapatnya perbedaan model-model yang memiliki kriteria AICc terkecil, RMSE terkecil dan R^2 terbesar menyebabkan diperlukannya metode lain untuk menentukan model terpilih. Maka pada penelitian ini penentuan model yang akan direkomendasikan

dilakukan dengan cara pembobotan. Bobot dari masing-masing kriteria pada setiap model yang masuk ke dalam *confidence set of model* (Tabel 3-3).

Pada Tabel 3-4 terlihat bahwa Model 1 memiliki nilai bobot tertinggi untuk kriteria AICc, sedangkan untuk kriteria RMSE dan R^2 bernilai 4 sehingga memperoleh jumlah bobot 15. Model 2 memiliki nilai bobot tertinggi pada kriteria R^2 , untuk kriteria AICc dan proporsi hotspot pada TMA maksimum memiliki nilai 5, sehingga total jumlah bobot yang dimiliki 18. Model yang direkomendasikan adalah Model 2.

Model 2 terdiri dari variabel NDWI bulan Maret dan April, serta VSDI bulan Maret. Dengan demikian maka untuk estimasi TMA indeks kekeringan direkomendasikan Model 2 dengan persamaan:

$$Y = -439,47 - 1639,7 * NDWI_Maret - 640,23 * NDWI_April + 477 * VSDI_Maret \quad (3-2)$$

Kombinasi NDWI dan VSDI terlihat cukup baik karena saling melengkapi. Estimasi TMA terdangkal dari Model 2 pada saat terjadi kebakaran gambut adalah 66.1 cm, dengan RMSE 36.6 cm. Kedalaman TMA terjadi kebakaran adalah berkisar antara 64,4 ±37 cm (27 – 101 cm).

Penggunaan data akumulasi dari bulan Maret dan April untuk menduga TMA bulan Mei ini sesuai dengan pernyataan Ma'rufah *et al.* (2008) bahwa defisit curah hujan berturut-turut selama tiga bulan memberikan dampak yang signifikan terhadap kejadian kekeringan pertanian. Menurut data rata-rata klimatologi curah hujan BMKG 1980-2016 di Provinsi Riau diketahui bahwa wilayah ini memiliki curah hujan equatorial. Namun pada Juni 2015 - Februari 2016 terjadi El Nino, sehingga pada bulan Maret dan April 2016 belum banyak terjadi hujan, sedangkan ketersediaan air di permukaan dan di bawah permukaan sudah menurun.

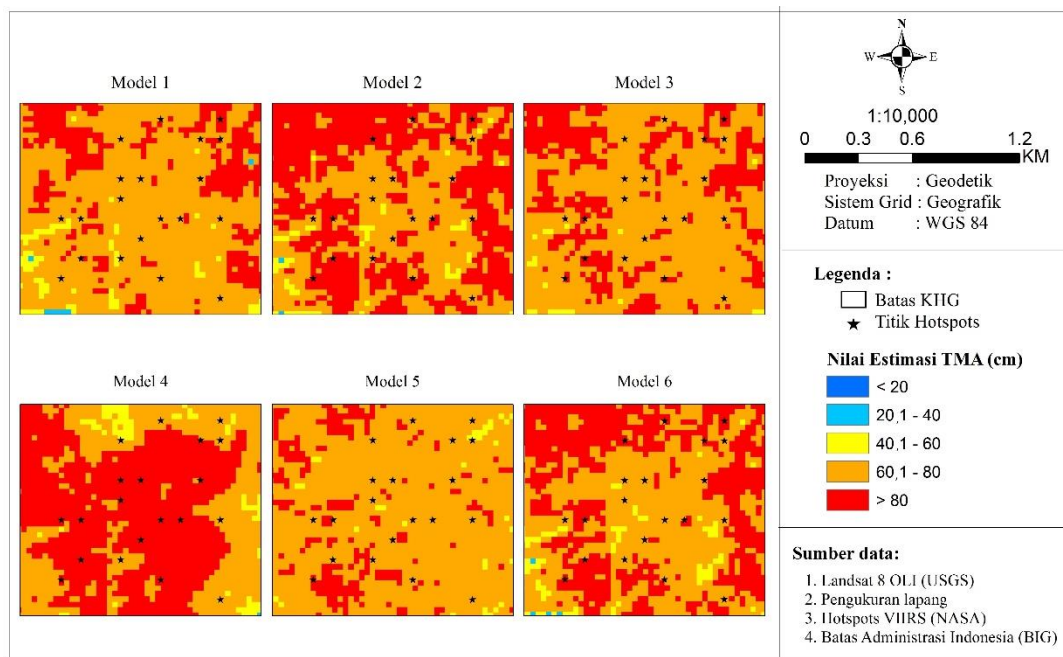
Akurasi dari estimasi TMA lahan gambut yang diperoleh masih sangat kasar atau rendah. Rendahnya akurasi ini dapat disebabkan oleh berbagai hal, namun ini sudah dapat digunakan sebagai pendugaan awal pada lokasi-lokasi yang selama ini belum pernah dilakukan pengukuran TMA.

TABEL 3-3 VALIDASI DAN VERIFIKASI MODEL ESTIMASI TMA

	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
Min/Terdangkal (cm)	66,1	64,4	64,2	63,2	66,1	62,3
Max/Terdalam (cm)	85,4	93,7	83,8	89,8	86,4	90,9
AICc	521,9	522,6	523,0	523,32	523,4	523,5
RMSE (cm)	36,6	37,0	36,7	36,5	36,4	37,2
R ² (%)	10,0	13,0	8,0	3,0	3,0	11,0
Proporsi Hotspot Pada TMA Terdalam (buah)	1,0	9,0	8,0	15,0	2,0	7,0

TABEL 3-4 PEMBOBOTAN CONFIDENT SET OF MODEL INDEKS KEKERINGAN

Kriteria	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4	Model 5	Model 6
AICc	6	5	4	3	2	1
RMSE (cm)	4	2	3	5	6	1
R ² (%)	4	6	3	2	2	5
Proporsi Hotspot Pada TMA Terdalam (buah)	1	5	4	6	2	3
Jumlah Bobot	15	18	14	16	12	10



Gambart 3-3 Verifikasi Model Estimasi TMA dengan hotspot KHG Sei Jangkang – Sei Liong

4 KESIMPULAN

Model estimasi TMA yang direkomendasikan dari perhitungan menggunakan indeks NDWI dan VSDI terdiri dari variabel NDWI Maret dan April, serta VSDI Maret. Bentuk persamaan yang dapat dibuat sebagai berikut $TMA = -439,5 - 1639,7 * NDWI \text{ Maret} - 640,2 * NDWI \text{ April} + 477 * VSDI \text{ Maret}$. Kedalaman muka air tanah saat terjadi hotspot dan kebakaran lahan gambut adalah berkisar antara 27 - 101 cm. Oleh karena itu, untuk mencegah terjadinya kebakaran di lahan gambut

maka kedalaman muka air hendaknya tetap dipertahankan kurang dari 27 cm, jika tidak kekeringan dan kebakaran gambut mungkin akan terjadi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Tulisan ini merupakan bagian dari Tesis penulis yang pendidikannya dibiayai oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN).

DAFTAR RUJUKAN

- Beal D.J., (2007). *Information Criteria Methods in SAS for Multiple Linear Regression Models. The 15th Annual South East SAS Users Group (SESUG) Conference in Hilton Head, SC on November 4–6, 2007. South Carolina (US).*
- Burnham, K.P., & Anderson, D.R., (2002). *Model Selection and Multimodel Inference: A Practical Information-Theoretic Approach.* 2nd ed. Colorado (US): Springer.
- Ceccato, P., Flasse, S., Tarantola, S., Jacquemond, S., & Gregoire, J.M., (2001). *Detecting Vegetation Water Content Using Reflectance in the Optical Domain.* Remote Sensing of Environment, 77: 22–33.
- Chen, D., Huang, J., & Jackson, T.J., (2005). *Vegetation Water Content Estimation for Corn and Soybeans Using Spectral Indices Derived from MODIS Near- and Short-Wave Infrared Bands.* Remote Sensing of Environment, 98 (2–3): 225–236.
- Edi, H., (2017). *Identifikasi Potensi Bahaya Subsidence di Kesatuan Hidrologi Gambut Sungai Jangkang – Sungai Liong Pulau Bengkalis.* Tesis. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Gao, B-C., (1996). *NDWI—A Normalized Difference Water Index For Remote Sensing Of Vegetation Liquid Water From Space.* Int. Remote Sensing of Environment, 58: 257-266.
- Gu, Y., Hunt, E., Wardlow, B., Basara, J.B., Brown, J.F., & Verdin, J.P., (2008). *Evaluation of MODIS NDVI and NDWI for Vegetation Drought Monitoring Using Oklahoma Mesonet Soil Moisture Data.* Geophysical Research Letters, 35 (5): L22401.
- Gulácsi, A., & Kovács, Ferenc., (2015). *Drought Monitoring With Spectral Indices Calculated From Modis Satellite Images In Hungary.* Environmental Geography 8 (3–4), 11–20
- Guo, Q., Pu, R., Li, J., & Cheng, J., (2017). *A Weighted Normalized Difference Water Index for Water Extraction Using Landsat Imagery.* Remote Sensing, 38 (19), 5430-5445.
- Jackson, T.J., Chen, D., Cosh, M., Li, F., Anderson, M., Walthall, C., Doriaswamy, P., & Hunt, E.R., (2004). *Vegetation Water Content Mapping Using Landsat Data Derived Normalized Difference Water Index for Corn and Soybeans.* Remote Sensing of Environment, 92 (4): 475–482.
- Ma'rifah, U., Hidayat, R. & Prasasti, I., (2008). *Analysis Of Relationship Between Meteorological And Agricultural Drought Using Standardized Precipitation Index And Vegetation Health Index.* IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 54
- Maki, M., Ishihara, M., & Tamura, M., (2004). *Estimation of Leaf Water Status to Monitor the Risk of Forest Fires by Using Remotely Sensed Imagery.* Remote Sensing of Environment, 90 (4): 441–450.
- Pemerintah Republik Indonesia, (2014). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 71 Tahun 2014 tentang Perlindungan dan Pengelolaan Ekosistem Gambut.* Jakarta (ID): Sekretariat Negara.
- Pemerintah Republik Indonesia, (2017). *Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor P.15 Tahun 2017 tentang Tata Cara Pengukuran Muka Air Tanah di Titik Pengamatan Ekosistem Gambut.* Jakarta (ID): Sekretariat Negara.
- Rokni, K., Ahmad, A., Solaimani, K., & Hazini, S., (2016). *A New Approach for Detection of Surface Water Changes Based on Principal Component Analysis of Multitemporal Normalized Difference Water Index.* Coastal Research, 32 (2): pp. 443 – 451.
- Taufik, M., (2010). *Analisis Perilaku Indeks Kekeringan di Wilayah Rentan Kebakaran, Sumatra Selatan.* Agromet, 24 (2): 9-17.
- Taufik, M., & Setiawan, B.I., (2012). *Interpretation of Soil Water Content into Dryness Index; Implication for Forest Fire Management.* Manajemen Hutan Tropika, 18 (1): 31-38.
- Taufik, M., Setiawan, B.I., Prasetyo, L.B., & Pandjaitan, N.H., (2011). *Development of Fire Danger Index at SBA Wood Industries, South Sumatra.* Penelitian Hutan Tanaman, 8 (4): 215 – 223.
- Thenkabail, P.S., (2015). *Remote Sensing of Water Resources, Disasters, and Urban Studies.* Remote Sensing Handbook (3). CRC Press. New York.

- Xiao, X., Boles, S., Liu, J., Zhuang, D., Frolking, S., Li, C., Salas, W., & Moore III, B., (2005). *Mapping Paddy Rice Agriculture in Southern China Using Multi-Temporal MODIS Images*. Remote Sensing of Environment, 95 (4): 480–492.
- Zarco-Tejada, P.J., Rueda, C.A., & Ustin, S.L., (2003). *Water Content Estimation in Vegetation with MODIS Reflectance Data and Model Inversion Methods*. Remote Sensing of Environment, 85 (1): 109–124.
- Zargar, A, Sadiq, R, Naser, B., & Khan F.I., (2011). *A Review Of Drought Indices*. Environ. Rev., 19: 333–349.
- Zhang, N., Hong, Y., Qin, Q., & Liu, L., (2013a). *VSDI: A Visible And Shortwave Infrared Drought Index For Monitoring Soil and Vegetation Moisture Based On Optical Remote Sensing*. Remote Sensing, 34 (13): 4585-4609.
- Zhang, N., Hong, Y., Qin, Q., & Zhu, L., (2013b). *Evaluation of the Visible and Shortwave Infrared Drought Index in China*. Disaster Risk Sci., 4 (2): 68–76.