

Interpretasi Kandungan Air Tanah untuk Indeks Kekeringan: Implikasi untuk Pengelolaan Kebakaran Hutan

Interpretation of Soil Water Content into Dryness Index: Implication for Forest Fire Management

Muh Taufik^{1*} dan Budi Indra Setiawan²

¹Departemen Geofisika dan Meteorologi, Institut Pertanian Bogor, Jalan Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

²Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Jalan Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

Diterima 30 Desember 2011/Disetujui 5 Maret 2012

Abstract

Forest fire research is very important for tropical regions as the current available models on forest fire predictions and control were developed based on studies conducted in dry sub-tropical forest areas. The use of dryness index (DI) based on actual soil water content for assessing fire danger in wetland ecosystem was proposed in this paper. The study site was located in South Sumatera, Indonesia and study was conducted from April 1st 2009 to March 15th 2011. Fire danger was categorized into 4 levels; low, medium, dry, and extreme with its margin level was determined based on soil water retention curve analysis. All DI categories occurred in 2009, however only 2 categories (low and medium) were observed in 2010 and 2011. DI reached its maximum intensity in September 2009 with an onset rate of 1.4 per day based on analysis of time intensity curve. Information of onset rate is importance for forest fire management such as for estimating when the extreme category would be reached. Therefore anticipation and prevention efforts might be prepared prior to reaching certain danger level. Information on DI might be useful for water management planning in forest plantation areas as many of them are located in wetland ecosystem.

Keywords: dryness index, soil water content, wetland, onset rate, danger level

Abstrak

Kajian tentang kebakaran hutan sangat penting untuk kondisi wilayah tropika karena model-model penduga dan pengendalian kebakaran hutan yang ada dikembangkan berdasarkan kajian di wilayah lahan kering subtropika. Dalam tulisan ini, indeks kekeringan (dryness index, DI) berdasarkan informasi kadar air tanah aktual dikembangkan untuk menilai bahaya kebakaran hutan pada ekosistem lahan basah. Lokasi kajian terletak di Sumatera Selatan dengan periode pengamatan dari 1 April 2009–15 Maret 2011. Kategori bahaya kebakaran hutan dikelompokkan menjadi empat: rendah, sedang, kering, dan ekstrim dengan batas tiap kategori ditentukan berdasarkan analisis kurva retensi air tanah. Pada tahun 2009 nilai DI mencakup semua kategori, sedangkan pada tahun 2010 hanya dua kategori yaitu rendah dan sedang. Nilai DI mencapai intensitas maksimum pada bulan September 2009 dengan laju peningkatan DI sebesar 1,4 per hari berdasarkan analisis kurva intensitas waktu. Informasi nilai laju peningkatan DI sangat penting untuk pengelolaan kebakaran hutan seperti untuk pendugaan kapan bahaya kebakaran ekstrim akan tercapai. Kegiatan pencegahan danantisipasi dapat direncanakan dan disusun, jika bahaya kebakaran akan mencapai kategori tertentu. Informasi tentang DI sangat penting untuk perencanaan pengelolaan air pada lokasi kawasan hutan industri di lahan basah.

Kata kunci: indeks kekeringan, kadar air tanah, lahan basah, laju peningkatan, bahaya kebakaran

**Penulis untuk korespondensi, email: mtaufik@ipb.ac.id, telp. +62-251-8623850, faks. +62-251-8623850*

Pendahuluan

Kandungan air tanah merupakan peubah penting dalam hubungan antara tanah, atmosfer, dan tanaman. Dari berbagai penggunaan, kandungan air tanah dapat juga digunakan untuk pendugaan kondisi bahaya kebakaran hutan (Castro *et al.*

2003). Kandungan air tanah bersifat dinamis dimana perilakunya ditentukan oleh faktor cuaca, tanah, dan tanaman. Kekeringan merupakan salah satu respons kandungan air tanah terhadap faktor-faktor tersebut yang pada level tertentu dapat merugikan bagi tanaman dan lingkungan. Penilaian

terhadap kekeringan di kawasan hutan ditujukan untuk mengetahui potensi bahaya kebakaran yang mungkin akan terjadi. Model penduga bahaya kebakaran telah banyak dikembangkan terutama pada iklim subtropika. Penggunaan model tersebut pada kondisi iklim (Liu *et al.* 2010a; Liu *et al.* 2010b; Petros *et al.* 2011) dan tanah (Sparks *et al.* 2002; Snyder *et al.* 2006) berbeda dapat menyebabkan hasil pendugaan yang kurang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Beberapa permasalahan penting yang dapat diangkat dalam penyelesaian permasalahan tersebut antara lain: metode pengembangan informasi kandungan air tanah aktual menjadi indeks kekeringan, cara pengembangan model indeks kekeringan yang sesuai dengan kondisi lokal, dan cara penggunaan informasi indeks kekeringan dalam pengelolaan hutan lestari.

Kebakaran hutan biasanya terjadi pada kondisi cuaca ekstrim seperti kekeringan atau kemarau. Cuaca kering, panas, dan berangin dikombinasikan dengan bahan bakaran yang kering menciptakan kondisi yang cocok untuk peletupan dan penyebaran api. *El-Nino Southern Oscillation* (ENSO) merupakan salah satu variabilitas iklim yang menyebabkan perubahan suhu dan curah hujan yang menghasilkan kejadian ekstrim seperti kekeringan dan kebakaran hutan (Brolley *et al.* 2007). Pada kondisi ENSO 1997, cuaca kering ekstrim berkontribusi pada kebakaran hutan yang meluas di hutan tropika ekuator, Indonesia yang menghasilkan emisi karbon sekitar 2,57 Gt (Page *et al.* 2002). Melihat dampak kebakaran hutan yang ditimbulkan terhadap ekologi, lingkungan, ekonomi, dan kesehatan manusia sehingga banyak model kekeringan telah dikembangkan terutama untuk kondisi daerah subtropika.

Model kekeringan untuk menilai potensi bahaya kebakaran hutan telah banyak dikembangkan berdasarkan data pengukuran cuaca, vegetasi, dan kondisi bahan bakaran tersedia di hutan. Model *Keetch Byram Drought Index* (KBDI) dikembangkan hanya menggunakan data harian suhu udara dan curah hujan untuk pengendalian kebakaran hutan di Florida, USA (Keetch & Byram 1968). Model *Canadian Fire Weather Index* (CFWI) yang dikembangkan di Kanada memerlukan data yang lebih kompleks yaitu cuaca, bahan bakaran, dan kondisi aktual vegetasi (Wagner 1974; Amiro *et al.* 2004). Kedua model tersebut telah banyak diaplikasikan untuk menilai potensi bahaya kebakaran hutan di Asia Tenggara. Murdiyarto *et al.* (2002) menggunakan model KBDI untuk menilai risiko kebakaran hutan di Jambi untuk proyek karbon. Syaufina *et al.* (2004) menggunakan model KBDI untuk memprediksi kadar air dan tinggi muka air dengan lokasi penelitian di Selangor, Malaysia. Dymond *et al.* (2005) dan Groot *et al.* (2006) menggunakan model CFWI untuk pengembangan sistem peringkat bahaya kebakaran di Indonesia dan Malaysia. Khusus untuk model KBDI telah banyak digunakan dengan alasan keperluan data sedikit dan kemudahan dalam perhitungan (Dimitrakopoulos & Bemmerzouk 2003).

Pengembangan model kekeringan untuk penilaian tingkat bahaya kebakaran hutan yang sesuai dengan kondisi lokal

(terutama faktor iklim dan tanah) sangat diperlukan. Liu *et al.* (2010a; 2010b) mengemukakan bahwa faktor iklim sangat menentukan tingkat kekeringan yang terjadi, sehingga aplikasi model kekeringan pada lokasi yang berbeda dengan tanpa penyesuaian terhadap kondisi iklim akan berdampak pada keluaran model yang kurang baik. Selain faktor iklim, faktor sifat hidrologi tanah juga harus diperhitungkan karena berpengaruh terhadap pergerakan air di dalam tanah (Reardon *et al.* 2009). Interaksi antara tanah dan iklim sebagai faktor penentu dalam pemodelan kekeringan dihubungkan oleh kondisi kandungan air tanah. Kandungan air tanah merupakan faktor penting dalam interaksi antara tanah dan iklim/cuaca (Seneviratne *et al.* 2010) seperti pengaruhnya terhadap konduktivitas tanah (Tamai *et al.* 2008) yang menentukan tingkat kehilangan air melalui evapotranspirasi (Goncalves *et al.* 2006). Kajian pemanfaatan informasi kandungan air tanah aktual sebagai alat untuk menentukan level indeks kekeringan merupakan kontribusi dalam pengembangan indeks kekeringan di wilayah tropika di Indonesia. Penelitian bertujuan mengkaji penggunaan data kandungan air tanah untuk indeks kekeringan dan mensimulasi kegunaan informasi indeks kekeringan untuk pengelolaan hutan.

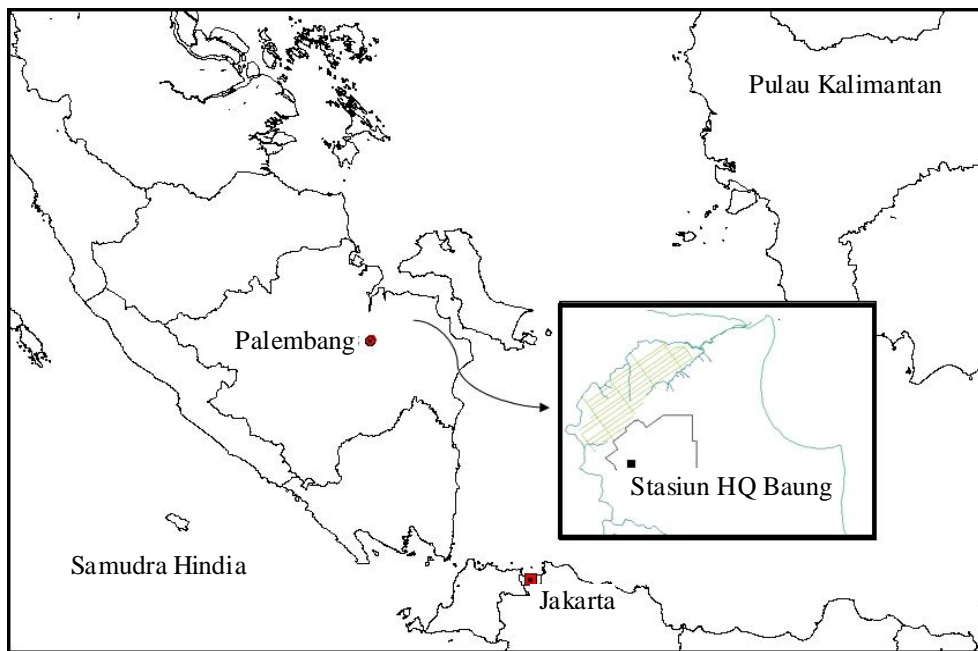
Metode

Penelitian dilakukan di areal Izin Usaha Pemanfaatan Hasil Hutan Kayu-Hutan Tanaman Industri Sebangun Bumi Andalas Wood Industries (SBAWI) yang berlokasi di Kabupaten Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan. Ekosistem alami yang ada merupakan khas lahan basah dengan tipologi posisi muka air tanah dekat dengan permukaan. Tanaman kayu yang diusahakan yaitu jenis *Acacia crassicaarpa*. Tipe tanah di lokasi penelitian tergolong *marine clay* dengan kadar air tanah jenuh (θ_s) sebesar $0,634 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ dan kadar air pada titik layu permanen (θ_{pp}) sebesar $0,320 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$. Tekstur tanah termasuk jenis *marine clay* dengan kandungan liat sebesar 58% dengan kandungan pasir hanya 1%. Dengan tipe tekstur tersebut, *water logging* sering terjadi pada musim penghujan.

Beberapa instrumen digunakan untuk monitoring lingkungan seperti instrumen pengukur cuaca dan kadar air tanah (KAT) di HQ Baung yang secara geografis terletak pada $105,3^\circ \text{ BT}$ dan $2,74^\circ \text{ LS}$ (Gambar 1). Unsur cuaca diukur dengan *AWS Vantage Pro* (Davis Instrument), sedangkan kadar air tanah diukur dengan sensor 5TM (Decagon Devices) dengan data logger Em50 (Decagon Devices). Data tersebut diukur setiap jam selama periode 1 April 2009–15 Maret 2011.

Data pengamatan setiap jam diolah untuk mendapatkan data curah hujan dan KAT harian. Data KAT kemudian dianalisis untuk mendapatkan informasi Indeks Kekeringan (*Dryness Index, DI*) setiap hari dengan menggunakan Persamaan [1]. Pengolahan dilakukan dengan pemograman *Visual Basic Application* dalam *Microsoft Excel*.

Indeks kekeringan KAT terukur di stasiun pengamatan digunakan untuk menilai tingkat kekeringan dengan pendekatan sebagai berikut:



Gambar 1 Lokasi penelitian di Kabupaten Oki, Sumatera Selatan.

$$DI = 100(\theta_i - \theta_s / \theta_{pwp} - \theta_s) \quad [1]$$

DI adalah indeks kekeringan yang bernilai 0–100. Angka 0 menyatakan KAT dalam kondisi jenuh (θ_s), sedangkan 100 menyatakan KAT dalam kondisi titik layu permanen (θ_{pwp}), θ_i adalah kadar air tanah hari ke- i . Tingkat kekeringan di lokasi penelitian kemudian dikelompokkan menjadi 4 kelas kekeringan (Tabel 1).

Batas skala level kekeringan ditentukan berdasarkan nilai parameter kurva retensi air tanah (Tabel 2) dengan nilai minimum yaitu 0 pada titik jenuh dan nilai maksimum sebesar 100 pada titik layu permanen. Kondisi titik jenuh terbentuk pada saat semua ruang pori tanah terisi penuh oleh air (batas bawah dari level kekeringan). Titik *air-entry* menunjukkan udara mulai masuk ke dalam pori-pori tanah. Titik *air-entry* digunakan

sebagai batas atas nilai indeks kekeringan rendah (*low fire danger level*) yaitu angka 19. Level sedang berada pada kisaran antara titik *air-entry* dan titik kapasitas lapang yaitu pada selang 19–54. Titik kritis diperkenalkan untuk memisahkan antara level kering dan kering ekstrim. Nilai titik kritis merupakan kondisi keterbatasan ketersediaan air tanah untuk transpirasi tanaman (Novak & Havrila 2006) yang dihitung sebagai nilai tengah dari ketersediaan air tanah ($\theta_{fc} - \theta_{pwp}$). KAT pada titik kritis yaitu 40,7% (Tabel 2) sehingga level kering berada pada kisaran 54–73, jika melebihi angka 73 maka indeks kekeringan akan masuk ke level kering ekstrim.

Kurva intensitas waktu (*time-intensity curve*, Kurva TI)

Kurva TI merupakan alat yang banyak digunakan dalam studi *sensory response* (Eilers & Dijksterhuis 2004) terutama terkait cita rasa (*flavor*) (sebagai contoh Reinbach *et al.* 2007). Kurva TI merupakan metode untuk mengetahui informasi temporal dari suatu sensasi yang diterima. Kurva TI terdiri dari bagian naik (*onset*) dan bagian turun (*decay*) yang keduanya berbentuk kurva S (*S-shaped*). Dalam analisis kurva TI, parameter kunci yang diperlukan meliputi (Duizer *et al.* 1995) intensitas maksimum (I_{max}), waktu untuk mencapai I_{max} (t_{max}), dan laju peningkatan intensitas (*onset rate*).

Dalam kajian ini, analisis temporal indeks kekeringan

Table 1 Level dan skala indeks kekeringan

Kategori	Skala	Level bahaya kebakaran
Rendah	0–19	<i>Low fire danger level</i>
Sedang	19–54	<i>Moderate fire danger level</i>
Kering	54–73	<i>High fire danger level</i>
Kering ekstrim	73–100	<i>Extreme fire danger level</i>

Tabel 2 Kurva retensi air tanah di lokasi penelitian

Parameter kurva retensi air tanah	Simbol	pF	θ (%)	DI
Titik jenuh (<i>saturated</i>)	θ_s	0.2	63.3	0.1
<i>Air-entry</i>	θ_{ae}	1.8	57.3	19
Kapasitas lapang (<i>field capacity</i>)	θ_{fc}	2.5	46.5	54
Titik kritis (<i>critical point</i>)	θ_c	3.1	40.7	73
Titik layu permanen (<i>permanent wilting point</i>)	θ_{pwp}	4.2	32.0	100

diterapkan melalui aplikasi kurva TI. Informasi laju peningkatan DI diperoleh melalui parameter yang diperlukan meliputi intensitas DI maksimum (DI_{max}), waktu yang diperlukan untuk mencapai intensitas DI_{max} (t_{max}), waktu yang diperlukan untuk mencapai 75% dari DI_{max} (T_{75inc}), dan waktu yang diperlukan untuk mencapai 25% dari DI_{max} (T_{25inc}). Laju peningkatan DI dihitung sebagai berikut:

$$\text{Laju peningkatan } DI = 0,5DI_{max} / (T_{75inc} - T_{25inc}) \quad [2]$$

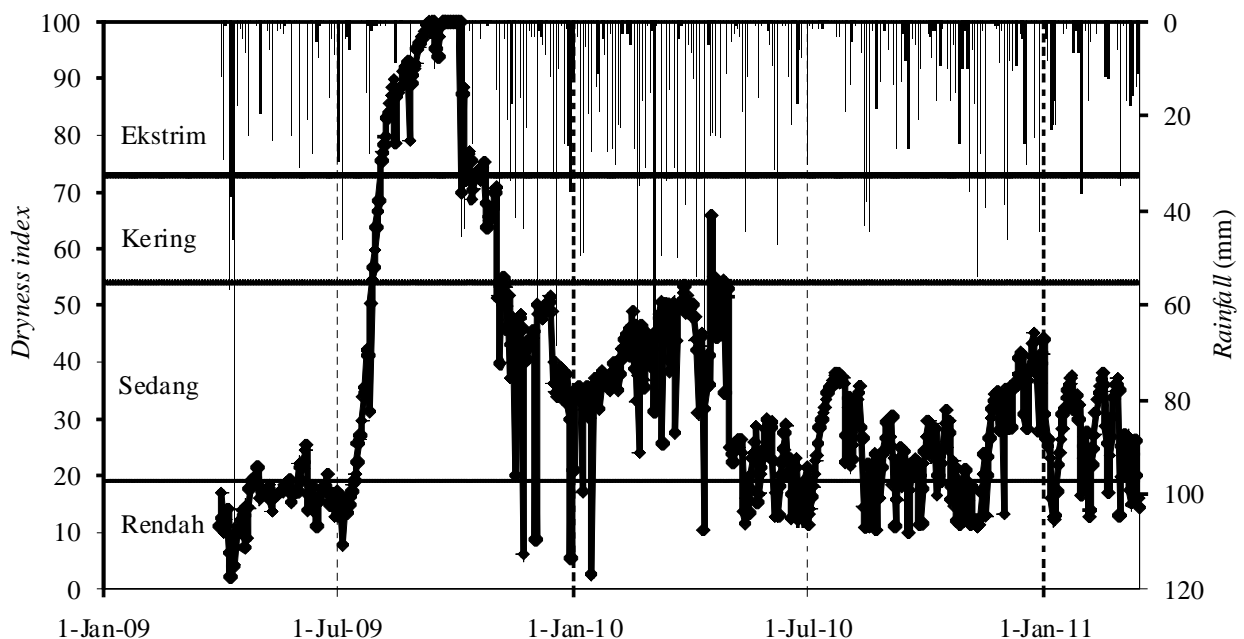
Hasil dan Pembahasan

Dinamika curah hujan dan kadar air tanah Lokasi kajian mendapatkan curah hujan yang tinggi selama periode pengamatan, dengan curah hujan harian tertinggi sebesar 107 mm pada tanggal 12 April 2009. Pola hujan musiman yang jelas antara musim hujan dan musim kemarau terjadi pada tahun 2009. Pada tahun 2010, lokasi kajian menerima curah hujan sepanjang tahun dengan total hari hujan sebanyak 215 hari yang menghasilkan curah hujan tahunan sebesar 2718 mm. Curah hujan bulanan tertinggi sebesar 384 mm terjadi pada bulan April 2010. Periode kering terjadi pada bulan Mei–Oktober 2009 dengan curah hujan bulanan terendah pada bulan September 2009 sebesar 22,6 mm.

KAT di Stasiun HQ Baung berfluktuasi pada kisaran 0,289–0,627 $m^3 m^{-3}$. KAT tertinggi terjadi pada tanggal 9 April 2009 dan terendah pada tanggal 3 Oktober 2009. Pada bulan-bulan basah, KAT mendekati level kadar air jenuh (θ_s), sedangkan pada bulan-bulan kering KAT mendekati level titik layu permanen (θ_{pwp}). Curah hujan sangat berpengaruh terhadap dinamika KAT. KAT mulai berkurang dengan berakhirnya musim penghujan di bulan Mei 2009. Bahkan, KAT mencapai titik layu permanen pada tanggal 12 Septem-

ber 2009 sebesar 0,32 $m^3 m^{-3}$. Selanjutnya KAT meningkat menjadi 0,335 $m^3 m^{-3}$ pada tanggal 15 September 2009 dengan kejadian hujan sebesar 10,2 mm. KAT kemudian mencapai titik terendah sebesar 0,289 $m^3 m^{-3}$ pada tanggal 3 Oktober 2009. Dengan adanya hujan sebesar 2 mm (4 Oktober 2009), KAT naik menjadi 0,299 $m^3 m^{-3}$. Selanjutnya, hujan hari berikutnya sebesar 45,6 mm (5 Oktober 2009) menyebabkan KAT naik menjadi 0,415 $m^3 m^{-3}$. Pada musim penghujan, KAT selalu berada di atas 0,4 $m^3 m^{-3}$.

Dinamika indeks kekeringan Perilaku DI sangat dipengaruhi oleh dinamika curah hujan harian. DI secara alami akan meningkat tajam jika tidak ada kejadian hujan dalam periode lama (Gambar 2). Hujan yang tinggi di periode awal pengamatan (April–Juni 2009) menyebabkan level DI termasuk kategori rendah dengan beberapa kali berkategori sedang. Level DI mencapai kategori sedang mulai tanggal 15 Juli 2009, mencapai kategori kering pada tanggal 28 Juli 2009 dan mencapai kategori ekstrim sejak tanggal 4 Agustus 2009. Nilai DI maksimum menyentuh angka 100 pada tanggal 10 September 2009 yaitu pada saat KAT mencapai titik layu permanen. Nilai DI turun seiring dengan curah hujan yang turun sebesar 3,6 mm pada tanggal 11 September 2009, akan tetapi curah hujan yang rendah tersebut tidak mampu membendung nilai DI yang kembali naik mencapai angka 100 selama 15 hari berturut-turut mulai tanggal 20 September–4 Oktober 2009 (Gambar 2). Hujan buatan yang dilaksanakan sebanyak 2 kali yaitu tanggal 5 dan 8 Oktober 2009 menghasilkan hujan dengan curah hujan sebesar 89,6 mm mampu menurunkan kategori DI ke level kering. Setelah masuk musim penghujan, kategori DI menjadi sedang dan rendah selama bulan November dan Desember 2009.



Gambar 2 Dinamika curah hujan dan DI selama pengamatan. Rainfall (—), DI (●).

Tahun 2010 merupakan tahun basah dengan curah hujan jatuh merata sepanjang tahun menyebabkan kategori *DI* pada kisaran rendah dan sedang dengan dominasi kategori sedang sebanyak 291 hari. Selama tahun 2010 hanya tercatat 3 kali kategori *DI* mencapai kering (Tabel 3). Selama 714 hari pengamatan, frekuensi *DI* kategori kering dan ekstrim kurang dari 15%, sedangkan kategori sedang terjadi lebih dari 60% kejadian.

Indeks *DI* yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik dalam menilai tingkat kekeringan hutan. Di sekitar lokasi kajian dilaporkan terjadi kebakaran hutan ketika kategori kekeringan pada level ekstrim yaitu kebakaran pada tanggal 5, 7, 11, 22, dan 29 September 2009.

Indeks kekeringan sangat sensitif terhadap ketiadaan hujan dalam periode yang lama. Dalam penelitian ini, nilai *DI* akan meningkat tajam pada periode kering mulai bulan Juli hingga Oktober 2009. Pada periode kering, kehilangan air dari tanah hutan lahan basah melalui evapotranspirasi meningkat sehingga muka air tanah akan semakin turun. Penurunan muka air tanah akan mengurangi penyediaan air pada lapisan atas tanah sehingga kandungan air tanah pada lapisan atas akan berkurang secara bertahap menuju level titik layu permanen. Kondisi tersebut menyebabkan nilai *DI* meningkat mencapai intensitas maksimum pada bulan Oktober 2009. Perilaku indeks kekeringan tersebut mirip dengan perilaku indeks kekeringan KBDI yang terlalu sensitif terhadap ketiadaan hujan dalam jangka tertentu (Dolling *et al.* 2009). Jika dalam beberapa hari berturut-turut tidak ada hujan maka nilai indeks KBDI akan meningkat tajam. Akan tetapi nilai *DI* yang dikembangkan tidak terlalu fluktuatif seperti indeks KBDI yang sangat tergantung pada dinamika curah hujan. Perubahan kadar air tanah lapisan atas pada ekosistem lahan basah berlangsung secara simultan. Posisi muka air tanah sangat berpengaruh terhadap distribusi kadar air tanah pada lapisan atas yang ditentukan oleh sifat fisik tanah. Perubahan KAT yang drastis dapat terjadi karena kejadian ekstrim seperti kebakaran.

Penilaian kekeringan dengan data kadar air tanah lapisan atas sangat penting karena dapat digunakan untuk mengetahui secara langsung kondisi aktual kekeringan. Kandungan air pada lapisan atas tanah berpengaruh langsung terhadap transfer massa dan energi antara tanah dan atmosfer (Kerr 2007) yang berpengaruh pada evaporasi dan transpirasi. Model-model kekeringan yang ada seperti KBDI dan CFWI dibangun

untuk menduga defisiensi kandungan air tanah yang terjadi pada lapisan atas karena pengaruh cuaca dan iklim, sehingga penggunaan indeks *DI* berdasarkan data aktual kadar air tanah dapat mensubstitusi aplikasi model-model kekeringan yang dikembangkan di daerah subtropika tersebut. Penggunaan indeks *DI* dapat menjawab Liu *et al.* (2010a, 2010b) tentang aplikasi model kekeringan pada kondisi iklim berbeda dan Readon *et al.* (2009) yang menyatakan model kekeringan harus mempertimbangkan sifat fisik hidrologi tanah. Indeks *DI* memiliki empat kategori kekeringan yang ditentukan berdasarkan sifat fisik tanah (Tabel 2) seperti kapasitas lapang dan titik layu permanen. Dengan mengetahui nilai *DI*, sebenarnya dapat digunakan untuk menilai kebutuhan air tanaman. Selain itu, dalam konteks perubahan iklim dapat disebutkan bahwa aktivitas mikroba dan respirasi tanah yang menghasilkan emisi CO₂ sangat dipengaruhi oleh tingkat kekeringan tanah pada lapisan atas (Seneviratne *et al.* 2010).

Meskipun sangat bermanfaat, aplikasi *DI* di Indonesia akan memiliki banyak kendala mengingat pemantauan data kadar air tanah pada kawasan hutan tidak sebanyak pemantauan iklim dan cuaca. Perkembangan teknologi penginderaan jauh seperti radar sangat bermanfaat untuk mengetahui sebaran spasial nilai kadar air tanah seperti yang dilakukan Zribi *et al.* (2009) untuk wilayah Sahel, Afrika. Proses kalibrasi data radar dengan pengamatan lapang yang baik dapat menghasilkan nilai kadar air tanah sehingga indeks kekeringan dapat diketahui. Pemantauan kekeringan pada kawasan hutan lahan basah Indonesia sangat penting karena pada musim kemarau wilayah tersebut sering mengalami kebakaran hutan dan pengembangan indeks kekeringan di Indonesia masih perlu penelitian lebih lanjut.

Kurva TI dan pengelolaan hutan Informasi nilai *DI* penting untuk prediksi level kekeringan yang menyebabkan potensi bahaya kebakaran hutan. Analisis kurva TI dilakukan untuk mengetahui laju peningkatan *DI* hingga mencapai intensitas DI_{max} . Tanggal 1 Juli 2009 digunakan sebagai titik awal analisis kurva TI sebagai awal dari periode kering. DI_{max} sebesar 100 tercapai pada tanggal 10 September 2009 dengan durasi pencapaian (t_{max}) selama 72 hari dari tanggal 1 Juli 2009. Waktu yang diperlukan untuk mencapai 75% dari DI_{max} ($t_{75 inc}$) yaitu 54 hari dan waktu yang diperlukan untuk mencapai 25% dari DI_{max} ($t_{25 inc}$) yaitu 18 hari. Laju peningkatan *DI* dihitung dengan Persamaan [2] menghasilkan nilai sebesar 1,4 per hari.

Informasi laju peningkatan *DI* sebesar 1,4 per hari memberikan prediksi waktu tempuh *DI* di setiap level kekeringan. Sebagai ilustrasi, misalkan pada suatu hari nilai *DI* adalah 20, maka untuk mencapai kategori kering memerlukan waktu tempuh 24 hari dengan batas bawah level kering adalah 54 (Tabel 1) dan mencapai level ekstrim memerlukan waktu tempuh 38 hari (Gambar 3). Dalam periode waktu tempuh tersebut, pihak pengelola hutan dapat menyiapkan sumber daya yang diperlukan untuk mengantisipasi dan menghadapi kemungkinan kebakaran dalam waktu 38 hari kedepan. Terkait dengan informasi laju peningkatan *DI* tersebut, pengelola

Tabel 3 Analisis frekuensi indeks kekeringan selama periode pengamatan

Level kekeringan	Tahun			Total
	2009	2010	2011	
Rendah	94	71	14	179
Sedang	82	291	60	433
Kering	25	3	0	28
Kering ekstrim	74	0	0	74
Total	275	365	74	714

hutan dapat menyusun dan melakukan kegiatan yang dapat berdampak pada penurunan laju peningkatan *DI* atau peningkatan kadar air tanah di areal hutan.

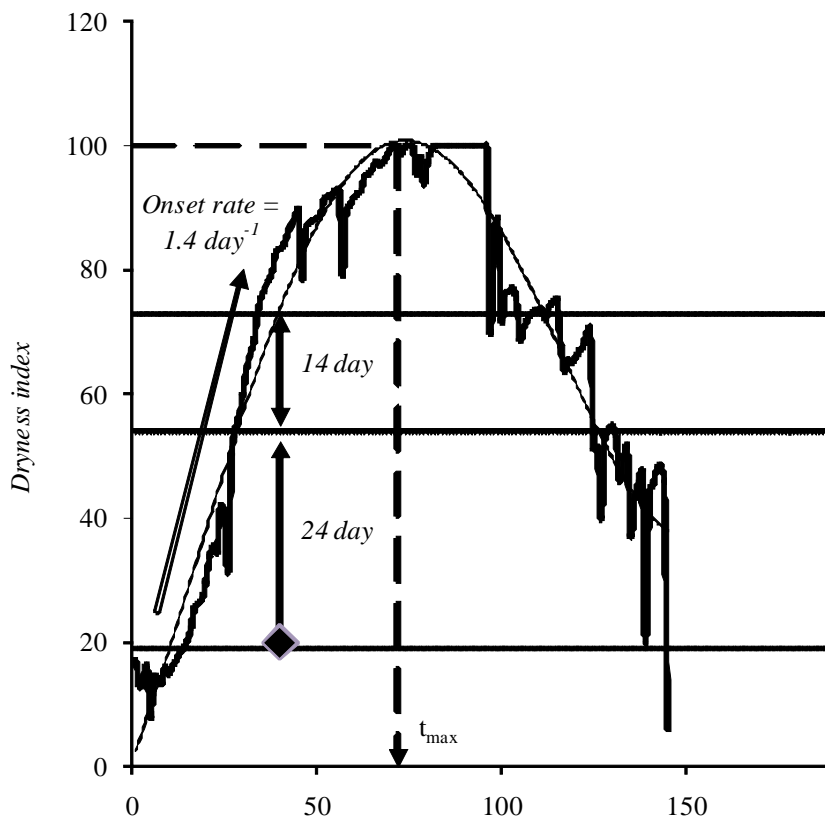
Faktor yang berpengaruh terhadap *DI* pada lahan basah (*wetland*) yaitu curah hujan dan suhu udara maksimum. Dua peubah tersebut bersifat pemberian (*given*) yang tidak bisa diubah dan dikelola sehingga dalam aplikasi di lapangan pengelola hutan tidak bisa mengatur dan merencanakan kegiatan antisipasi kebakaran dengan baik mengingat kedua peubah tersebut tidak dapat dikelola. Dalam tataran praktis, pengelola hutan selalu berharap hujan akan segera turun untuk mengurangi bahaya kebakaran hutan yang akan terjadi.

Pengelolaan air dimaksudkan untuk mendapatkan kedalaman muka air tanah yang masih mampu membasahi lapisan atas tanah sehingga level *DI* masih pada batas yang

aman. Taufik *et al.* (2010) menyebutkan angka kritis kedalaman muka air tanah yaitu tidak lebih dari 65,9 cm agar potensi bahaya kebakaran dapat dikurangi. Praktik-praktik pengelolaan hutan terkait dengan pengelolaan air dapat dibedakan berdasarkan kategori indeks kekeringan dan musim. Kategori *DI* sangat menentukan ditutup atau dibukanya kanal drainase pada lahan hutan tanaman dan Menentukan waktu pembuatan hujan buatan (Tabel 4). Tujuan akhir dari pengaturan dan pengelolaan air di hutan tanaman industri untuk mendapatkan kisaran KAT yang optimum bagi pertumbuhan tanaman. Tanaman dapat tumbuh dengan baik jika KAT berkisar antara kapasitas lapang dan titik layu permanen. Pencapaian kondisi tersebut dapat dilakukan melalui pembukaan dan penutupan kanal drainase berdasarkan informasi kelas *DI*.

Tabel 4 Pengelolaan air berdasarkan kelas *DI*

Kategori <i>DI</i>	Musim kemarau	Musim hujan
Rendah	–	Drainase air lahan Pembukaan bendung
Sedang	Penutupan bendung di kanal	Drainase air lahan
Kering	Pembendungan kanal Proses irigasi dari sungai	–
Ekstrem	Pembendungan kanal Proses irigasi dari sungai Curah hujan buatan	–



Gambar 3 Pemanfaatan laju peningkatan *DI*. Poly. *DI* (—), *DI* (—).

Kesimpulan

Dinamika kandungan air tanah aktual berfluktuasi berdasarkan kondisi cuaca harian sehingga dinamika tersebut dapat mencerminkan tingkat kekeringan pada areal hutan yang dikaji. Nilai kandungan air tanah aktual tersebut dikonversi menjadi indeks kekeringan dengan selang nilai 0–100. Indeks kekeringan yang dikembangkan berkinerja baik pada kejadian kebakaran hutan pada indeks kekeringan level ekstrim. Berdasarkan hasil simulasi, informasi nilai indeks kekeringan dapat digunakan sebagai alat untuk deteksi dini level bahaya kebakaran hutan yang mungkin terjadi.

Saran

Model indeks kekeringan yang dikembangkan ini berbeda dengan model sebelumnya yang dikembangkan berdasarkan data cuaca dan kondisi bahan bakar. Model indeks kekeringan dikembangkan berdasarkan pada sifat fisik tanah yang memiliki kekhasan tersendiri sesuai dengan jenis tanah. Model ini dapat diaplikasikan untuk lokasi lain dengan cara merevisi batasan kelas kekeringan berdasarkan informasi kurva retensi air tanah lokasi tersebut. Penelitian lanjutan dapat dipertajam dengan melakukan analisis tahunan *onset rate* pada data iklim yang lebih panjang. Informasi tersebut sangat bermanfaat untuk memetakan waktu mulai level kekeringan ekstrim pada daerah-daerah yang secara geografis dan geologis rawan kebakaran.

Ucapan Terima Kasih

Sebagian penelitian ini didanai oleh Hibah Kompetensi Direktorat Pendidikan Tinggi, Kementerian Pendidikan Nasional tahun 2009. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Perusahaan Hutan Tanaman Industri Sebangun Bumi Andalas Wood Industries yang telah memberikan izin dalam monitoring data cuaca, tanah, dan hidrologi.

Daftar Pustaka

- Amiro BD, Logan KA, Wotton BM, Flannigan MD, Todd JB, Stocks BJ, Martell DL. 2004. Fire weather index system components for large fires in the Canadian boreal forest. *International Journal of Wildland Fire* 13:391–400. DOI: 10.1071/WF03066.
- Brolleya JM, O'Brien JJ, Schoofb J, Zierdena D. 2007. Experimental drought threat forecast for Florida. *Agricultural and Forest Meteorology* 145:84–96. DOI:10.1016/j.agrformet.2007.04.003.
- Castro FX, Tudela A, Sebastia MA. 2003. Modeling moisture content in shrubs to predict fire risk in Catalonia, Spain. *Agricultural and Forest Meteorology* 116:49–59. DOI:10.1016/S0168-1923(02)00248-4.
- Dimitrakopoulos AP, Bemmerzouk AM. 2003. Predicting live herbaceous moisture content from a seasonal drought index. *International Journal of Biometeorology* 47:73–79. DOI: 10.1007/s00484-002-0151-1.
- Dolling K, Chu PS, Fujioka F. 2009. Natural variability of the Keetch–Byram Drought Index in the Hawaiian Islands. *International Journal of Wildland Fire* 18: 459–475. DOI: 10.1071/WF/06146.
- Duizer LM, Bloom K, Findlay CJ. 1995. The effect of line orientation on the recording of time-intensity perception of sweetener solutions. *Food Quality and Preference* 6:121–126. DOI: 10.1016/0950-3293(94)00021-M.
- Dymond CC, Field RD, Roswintiarti O, Guswanto. 2005. Using satellite fire detection to calibrate components of the fire weather index system in Malaysia and Indonesia. *Environmental Management* 35(4):426–440. DOI: 10.1007/S00267-003-0241-9.
- Eilers PHC, Dijksterhuis GB. 2004. A parametric model for time–intensity curves. *Food Quality and Preference* 15:239–245. DOI: 10.1016/S0950-3293(03)00063-6.
- Goncalves LG de, Shuttleworth WJ, Chou SC, Xue Y, Houser PR, Toll DL, Marengo J, Rodell M. 2006. Impact of different initial soil moisture fields on Eta model weather forecasts for South America. *Journal of Geophysical Research* 111:381–394. DOI:10.1029/2005JD006309.
- Groot WJ de, RD Field, MA Brady, O Roswintiarti, M Mohamad. 2006. Development of the Indonesian and Malaysian fire danger rating systems. *Mitigation Adaptation Strategy Global Change* 12:165–180. DOI:10.1007/s11027-006-9043-8.
- Kerr YH. 2007. Soil moisture from space: where are we? *Hydrogeology Journal* 15:117–120. DOI: 10.1007/S10040-006-0095-3.
- Keetch JJ, Byram GM. 1968. *A drought index for forest fire control*. USDA Forest Service Research Paper SE-38.
- Liu Y, Stanturf J, Goodrick S. 2010. Trends in global wildfire potential in a changing climate. *Forest Ecology and Management* 259:685–697. DOI: 10.1016/j.foreco.2009.09.002.
- Liu Y, Stanturf J, Goodrick S. 2010. Wildfire potential evaluation during a drought event with a regional climate model and NDVI. *Ecological Informatics* 5:418–428. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2010.04.001.
- Murdiyarso D, Widodo M, Suyanto D. 2002. Fire risks in forest carbon projects in Indonesia. *Science in China* 45S:65–74.
- Novak V, Havrila J. 2006. Method to estimate the critical soil water content of limited availability for plants. *Biologia* 61S(19):S289–S293. DOI: 10-2478/S11756-006-0175-9.
- Page SE, Siegert F, Rieley JO, Boehm HDV, Jaya A, Limin S.

2002. The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. *Nature* 420:61–65. DOI: 10.1038/nature01131.
- Petros G, Antonis M, Marianthi T. 2011. Development of an adapted empirical drought index to the Mediterranean conditions for use in forestry. *Agricultural and Forest Meteorology* 151:241–250. DOI: 10.1016/j.agroformet.2010.10.011.
- Reardon J, Curcio G, Bartlette R. 2009. Soil moisture dynamics and smoldering combustion limits of pocosin soils in North Carolina, USA. *International Journal of Wildland Fire* 18:326–335. DOI: 10.1071/WF08085.
- Reinbach HC, Meinert L, Ballabio D, Aaslyng MD, Bredie WLP, Olsen K, Møller P. 2007. Interactions between oral burn, meat flavor and texture in chili spiced pork patties evaluated by time-intensity. *Food Quality and Preference* 18:909–919. DOI: 10.1016/j.foodqual.2007.02.005.
- Seneviratne SI, Corti T, Davin EL, Hirschi M, Jaeger EB, Lehner I, Orlowsky B, Teuling AJ. 2010. Investigating soil moisture–climate interactions in a changing climate: a review. *Earth-Science Reviews* 99:125–161. DOI: 10.1016/j.erscirev.2010.02.004.
- Snyder RL, Spano D, Duce P, Baldocchi D, Xu L, Paw UKT. 2006. A fuel dryness index for grassland fire-danger assessment. *Agricultural and Forest Meteorology* 139:1–11. DOI: 10.1016/j.agroformet.2006.05.006.
- Sparks JC, Masters RE, Engle DM, Bukenhofer GA. 2002. Season of burn influences fire behavior and fuel consumption in restored shortleaf pine–grassland communities. *Restoration Ecology* 10(4):714–722. DOI: 10.1046/j.1526-100X.2002.01052.X.
- Syaufina L, Nuruddin AA, Basharuddin J, See LF, Yusof MRM. 2004. The effects of climatic variations on peat swamp forest condition and peat combustibility. *Jurnal Manajemen Hutan Tropika* 10(1):1–14.
- Tamai K, Shimizu A, Nobuhiro T, Kabeya N, Araki M. 2008. Comparison of soil moisture effects on surface conductance between late dry and rainy seasons in an evergreen forest of central Cambodia. *Paddy Water Environ* 6:47–53. DOI: 10.1007/S10333-007-0097-3.
- Taufik M, Setiawan BI, Prasetyo LB, Pandjaitan NH, Suwarso. 2010. Peluang untuk mengurangi bahaya kebakaran di hti lahan basah: model pendekatan pengelolaan air. *Jurnal Hidrosfer Indonesia* 5(2):55–62.
- Wagner CE van. 1974. Structure of the Canadian forest fire weather index. Canadian Forestry Service. Publication No. 1333.
- Zribi M, Pardé M, DeRosnay P, Baup F, Boulain N, Descroix L, Pellarin T, Mougín E, Ottlé C, Decharme B. 2009. ERS scatterometer surface soil moisture analysis of two sites in the south and north of the Sahel region of West Africa. *Journal of Hydrology* 375: 253–261. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2008.11.046.