

Telaah potensi kebakaran hutan di Pulau Kalimantan, Indonesia menggunakan data satelit dan cuaca

Dodi Sudiana^{1,4}, Hiroaki Kuze², Nobuo Takeuchi², and Robert E. Burgan³

¹Graduate School of Science and Technology, Chiba University
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

²Center for Environmental Remote Sensing (CEReS), Chiba University
1-33 Yayoi-cho, Inage-ku, Chiba 263-8522, Japan

³Retired, USDA Forest Service, Rocky Mountain Research Station
PO Box 8089, Missoula MT 59807

⁴Corresponding author; Telephone/Fax: +81-43-2903852; e-mail: dodi@ceres.cr.chiba-u.ac.jp

Abstract: An algorithm for assessing forest fire potential is tested for Kalimantan Island, Indonesia. It is based on a fuel model map modified from the US-National Fire Danger Rating System (US-NFDRS), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), and weather data. The Indonesian fuel model map was derived using the global 4-minute land cover data set consisting of 13 classes. The NDVI data was derived from the global 4-minute NOAA-AVHRR data. The output is presented as a monthly Fire Potential Index (FPI) and compared with trends in fire occurrences over the same time period. A case study illustrates correlation between the FPI and the hot-spot distribution derived from AVHRR data, as well as between the FPI and the Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) Aerosol Index.

Abstrak: Algoritma untuk mengkaji potensi kebakaran hutan di Pulau Kalimantan telah diujicobakan. Analisa didasarkan pada peta model bahan bakar yang dimodifikasi dari US-National Fire Danger Rating System (US-NFDRS), Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) dan data cuaca. Peta model bahan bakar dibuat menggunakan data lahan global beresolusi 4 menit yang terdiri atas 13 kelas. NDVI mengacu pada data NOAA/AVHRR global resolusi 4-menit. Keluaran simulasi berupa data bulanan indeks potensi kebakaran (Fire Potential Index, FPI) dan dihubungkan dengan kejadian kebakaran hutan pada waktu yang sama. Satu studi kasus menunjukkan adanya hubungan antara FPI dengan distribusi titik api (hotspot) yang dianalisa dari data AVHRR. Korelasi yang baik juga dijumpai ketika FPI dibandingkan dengan data indeks aerosol sensor Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS).

Kata kunci: forest fires, fire potential, fire danger, fuels, NDVI, TOMS, Kalimantan Island, Indonesia

Pendahuluan

Kebakaran merupakan salah satu ancaman terbesar bagi hutan-hutan tropis selama 2 dekade terakhir, khususnya di Indonesia. Biomas kering yang berasal dari sisa-sisa penebangan hutan berubah menjadi bahan bakar, disamping pabrik-pabrik kertas berskala besar, pengusaha tanaman industri dan para petani lokal yang seringkali menggunakan api untuk membuka lahan-lahan dan membakar sisa-sisa tanaman (Schewithelm, 1998). Kekeringan hebat yang melanda kawasan-kawasan tropis akibat fenomena El-Nino juga menjadi faktor penting yang memicu kebakaran hutan tak terkendali di sejumlah besar kawasan hutan tropis, padang rumput dan ilalang. Namun, akibat kurangnya data yang menyeluruh tentang kebakaran di Kalimantan, tingkat kerusakan dan luas areal yang terbakar tidak dapat diketahui dengan pasti. Data penginderaan jauh dengan sifat cakupannya yang luas, dapat menjadi sarana yang efisien untuk menelaah informasi tersebut (Siegert and Hoffman, 1998). Aspek penting lainnya adalah dengan memanfaatkan data tersebut, metodologi pemantauan dan perkiraan kebakaran serta pengkajiannya dapat dikembangkan lebih lanjut.

Berbagai model dikembangkan untuk memprediksi potensi kebakaran hutan dengan menggunakan berbagai asumsi, namun secara umum faktor cuaca menjadi faktor utama (Chandler 1983). Misalnya, US National Fire Danger Rating System (NFDRS) disusun dengan memasukkan faktor jenis vegetasi bahan

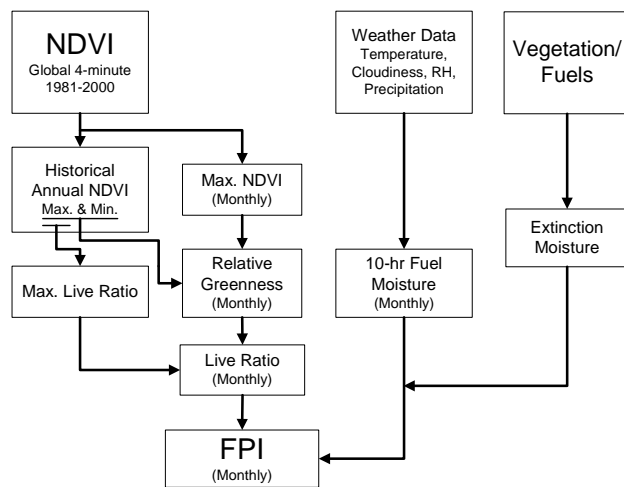
bakar, cuaca dan topografi (Rothermel 1972). Dalam sistem NFDRS, berbagai parameter digunakan untuk mendeskripsikan potensi bahaya kebakaran (Wybo et al. 1995; Deeming et al. 1972). NFDRS diterapkan pertama kali pada tahun 1972 (Deeming et al. 1972), direvisi dua kali, yakni pada 1978 (Deeming et al. 1977) dan pada 1988 (Burgan 1988).

Indeks potensi kebakaran (Fire Potential Index, sejak saat ini disingkat menjadi FPI) merupakan salah satu parameter yang dikembangkan oleh Burgan (Burgan *et al.* 1998) untuk menguji apakah data kehijauan vegetasi yang terpantau dari satelit yang dikombinasikan dengan data kelembaban vegetasi kecil dapat memprediksi potensi kebakaran di suatu kawasan. Karena sifat perhitungannya yang sederhana, indeks ini mudah digunakan untuk kawasan yang luas dan dalam berbagai jenis cuaca. Makalah ini secara ringkas akan memaparkan pengujian FPI untuk pertama kalinya bagi kawasan tropis. Resolusi pemodelannya mengikuti resolusi data indeks vegetasi NDVI, yakni 8-km per pixelnya. Dalam makalah ini juga akan dibahas modifikasi peta model bahan bakar yang digunakan dalam perhitungan FPI untuk Pulau Kalimantan. Untuk menguji validitasnya, FPI akan dibandingkan dengan data indeks aerosol sensor TOMS, disamping perbandingan dengan distribusi titik api (hotspot) pada saat terjadi kebakaran yaitu dengan mengambil sampel kejadian kebakaran pada bulan September 1991.

Algoritma perhitungan FPI

Dalam makalah ini, kejadian kebakaran hutan di Pulau Kalimantan dikaji dengan menghitung FPI per bulannya. Parameter-parameter utama yang digunakan dalam perhitungan ialah:

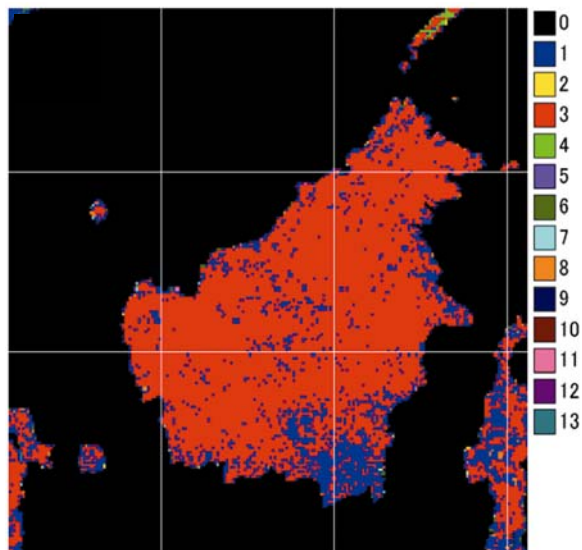
- a. Kehijauan relatif, *relative greenness* (RG) yang dihitung berdasarkan NDVI
- b. Peta rasio kehidupan vegetasi maksimum, atau *maximum live ratio* (MLR), dihitung dari NDVI historis maksimum



Gambar 1. Diagram alir perhitungan FPI

- c. Kelembaban bahan bakar yang sudah mati dan disesuaikan dengan curah hujan, atau *10-hour timelag dead fuel moisture* (TTFMR), dihitung dari data cuaca
- d. Peta model bahan bakar yang menggambarkan kelembaban yang hilang pada vegetasi yang telah mati, *dead fuel extinction moisture* (DFEM)

Prosedur perhitungan FPI dapat dilihat pada gambar 1. Secara garis besar, NDVI temporal dari data satelit digunakan untuk menghitung RG yang menggambarkan perbandingan tingkat kehijauan vegetasi suatu lokasi saat ini, dengan nilai-nilai NDVI historis pada lokasi yang sama. Data NDVI yang digunakan dalam penelitian ini adalah data historis 1981-2000, yang pengembangannya dilakukan oleh Tateishi (Tateishi 2000). Nilai



Gambar 2. Peta Vegetasi

RG diskalakan antara 0 hingga 100%, semakin rendah RG, maka vegetasi pada lokasi itu memiliki tingkat kehijauan yang semakin rendah pula. RG dihitung berdasarkan nilai maksimum dan minimum NDVI secara historis bagi setiap pixel/lokasi (Burgan and Hartford 1993). Hubungan antara nilai RG bulanan dengan NDVI maksimum dan minimum dijelaskan melalui rumus berikut:

Tabel 1. Kelembaban ambang yang digunakan untuk menghitung FPI

Kelas	Kategori AARS	DFEM (%)	Jenis Vegetasi	Jumlah Pixel
0	0	--	Waters, including Ocean and Inland Waters ¹	34164
1	10	40	Vegetation	3194
2	12	40	Forest or shrubland	13
3	14	40	Evergreen forest or shrubland	12986
4	18	40	Evergreen broadleaf forest	36
5	120	40	Mixed forest or shrubland	7
6	130	30	Grassland	55
7	132	30	Natural grassland/pastures	16
8	140	30	Grass crops	80
9	146	30	Wheat and rice	18
10	184	25	Dwarf vegetation	21
11	191	--	Bare ground ¹	29
12	222	--	Inland water ¹	6

¹ FPI tidak dihitung untuk kasus ini

vegetasi yang ditemui di Pulau Kalimantan beserta jumlah pixel dan nilai DFEM setiap kelas. Nilai DFEM merupakan modifikasi dari model bahan bakar NFDRS yang digunakan di Amerika Serikat, yang umumnya ditetapkan lebih besar untuk menyesuaikan dengan lingkungan tropis di Indonesia. DFEM adalah besaran kelembaban ambang bahan bakar yang menyebabkan terhentinya penjarangan kebakaran.

Peta MLR, yang juga dihitung dari nilai historis NDVI menggambarkan perbandingan vegetasi yang hidup dengan yang mati pada saat mencapai tingkat kehijauan tertinggi. Dalam model ini, MLR dihitung dari peta NDVI maksimum menggunakan rumus:

$$MLR = 35.0 + 45.0(ND_{max} - 62.4)/36.8 \quad (2)$$

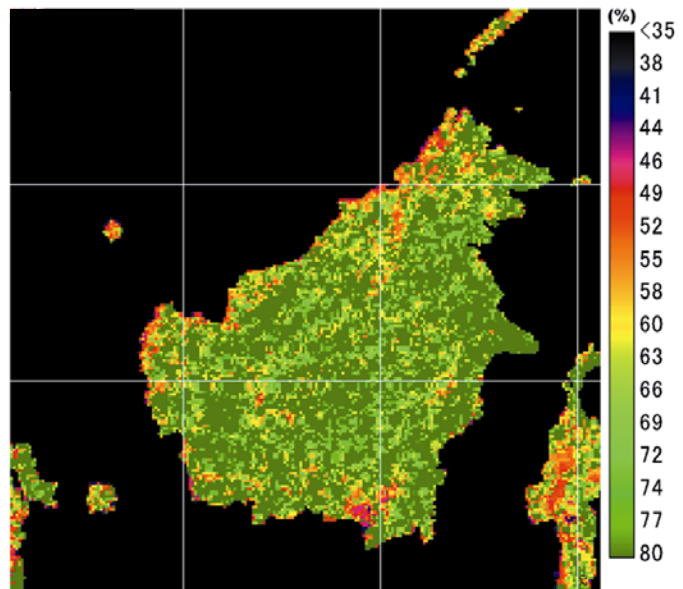
dimana

$ND_{max} = NDVI_{max} \times 100$. Nilai NDVI historis antara 1981-2000, ternyata memiliki nilai maksimum 0.992 dan minimum 0.624. Jadi, berdasarkan

$$RG = \left(\frac{NDVI_o - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right) \times 100, \quad (1)$$

dimana $NDVI_o$ adalah nilai maksimum NDVI setiap pixel per bulan, dihitung dari periode 10-harian data NDVI. Sedangkan $NDVI_{max}$ dan $NDVI_{min}$ masing-masing adalah nilai NDVI historis maksimum dan minimum pada pixel tersebut.

Algoritma FPI juga memanfaatkan parameter DFEM untuk mengetahui tingkat kekeringan relatif tumbuhan mati. Penentuan DFEM dalam penelitian ini memanfaatkan peta vegetasi sebagaimana terlihat pada gambar 2. Peta cakupan lahan ini dibuat berdasarkan kelas vegetasi dari dataset Global Land Cover yang disusun Asian Association on Remote Sensing (AARS) yang pengembangan asalnya menggunakan data NDVI NOAA/AVHRR global beresolusi 8-km, komposit 10-hari periode dari 1 Januari hingga 31 Desember 1990 (James and Kalluri 1994). Tabel 1 menunjukkan 13 kelas



Gambar 3. Peta MLR

rumus (2) di atas, nilai MLR akan berkisar antara 35% (sangat kering) hingga 80% (sangat basah). Gambar 3 menunjukkan peta MLR bagi Pulau Kalimantan, dimana bagian-bagian yang berwarna kemerahan di sebelah utara, barat dan selatan pulau itu menunjukkan perbandingan vegetasi hidup dan mati terendah.

Live ratio (LR) merupakan parameter yang menggambarkan proporsi vegetasi hidup saat ini terhadap vegetasi hidup maksimum. LR saat ini, dinyatakan dalam persen dihitung menggunakan hubungan sbb.:

$$LR = 100(RG/100)(MLR/100). \quad (3)$$

Data cuaca, yang terdiri atas suhu, cakupan awan, kelembaban relatif serta curah hujan digunakan untuk menentukan TTFMR (Fosberg and Deeming 1971). Dalam algoritma ini, data meteorologi global dengan ukuran kisi 0.5° lintang \times 0.5° bujur yang dibuat oleh Climatic Research Unit (CRU), digunakan sebagai data cuaca (CRU 1998). TTFMR adalah parameter kuantitatif vegetasi mati berdiameter antara 0.6 hingga 2.5 cm. Parameter ini dihitung berdasarkan faktor-faktor yang mempengaruhinya menggunakan rumus:

$$TTFMR = FM_{10} + (DFEM - FM_{10})R_f, \quad (4)$$

Dimana TTFMR adalah kelembaban bahan bakar mati setelah 10-jam yang disesuaikan dengan curah hujan. FM_{10} adalah kelembaban bahan bakar mati setelah 10-jam tanpa curah hujan sama sekali dan R_f adalah fraksi curah hujan. Parameter terakhir, R_f diturunkan dari perkiraan curah hujan yang diperlukan untuk melembabi bahan bakar mati hingga mencapai kelembaban ambang yang menghentikan menjalarnya kebakaran. Karena $0 \leq FM_{10} \leq 40$, $0 \leq R_f \leq 1$, dan $25 \leq DFEM \leq 40(\%)$, maka nilai TTFMR akan berkisar antara 2-40%.

FPI dihitung hanya pada lokasi-lokasi yang memiliki tipe bahan bakar yang valid, kecuali kawasan pertanian, lahan terbuka, perairan, dsb. Parameter-parameter perhitungan FPI adalah $DFEM$, RG , $TTFMR$ dan MLR , dimana untuk setiap pixel, FPI dihitung dalam langkah-langkah sbb.:

1. LR dihitung menggunakan rumus (3)
2. TN_f , atau fraksi kelembaban bahan bakar setelah 10-jam dihitung dari TTFMR dan $DFEM$ menggunakan rumus:

$$TN_f = (TTFMR - 2)/(DFEM - 2). \quad (5)$$

3. FPI akhirnya dihitung menggunakan rumus:

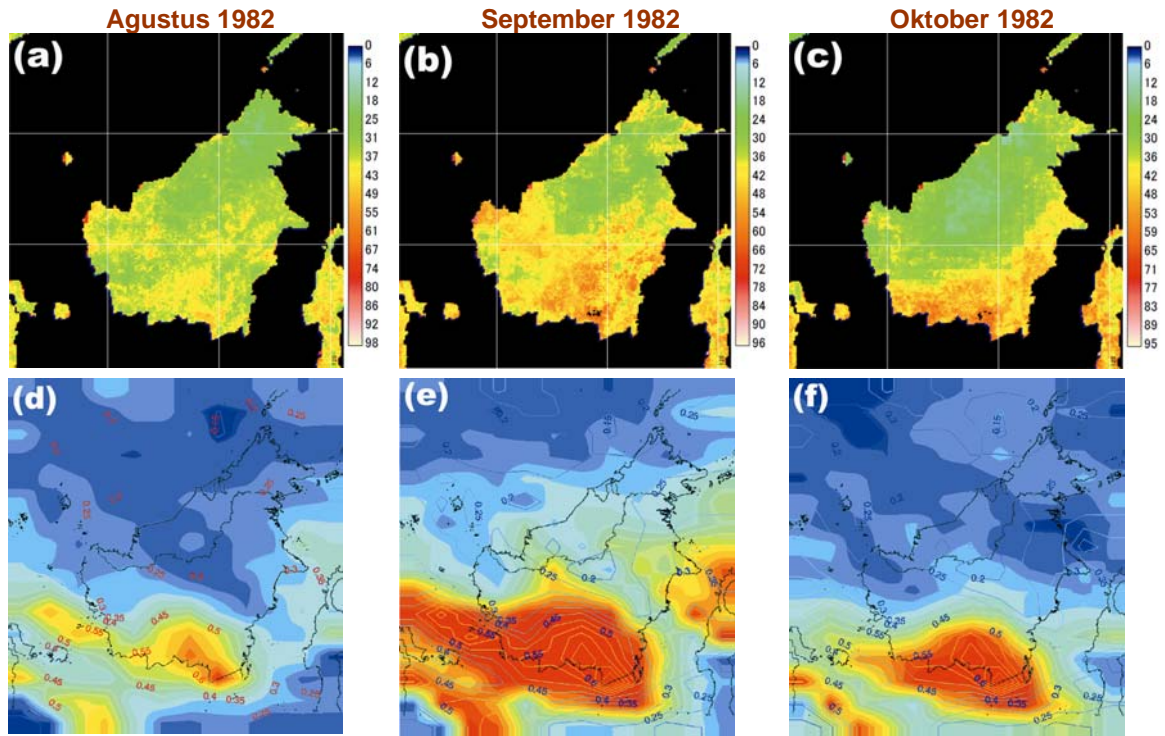
$$FPI = 100(1 - TN_f)(1 - LR). \quad (6)$$

Sebagai validasi, nilai FPI akan dibandingkan dengan data indeks aerosol (AI) yang berasal dari satelit NIMBUS 7 TOMS dengan resolusi kisi $1^\circ \times 1.25^\circ$. AI merupakan parameter yang berhubungan linier dengan ketebalan optis aerosol (Aerosol Optical Depth, AOD) di atmosfer. AOD merupakan parameter umum yang digunakan untuk mengetahui kandungan aerosol, gas ataupun partikel-partikel lainnya di atmosfer. Karena FPI dihitung dalam orde bulanan, maka data pembandingan AI TOMS, yang terukur setiap hari, dihitung nilai rata-ratanya dalam sebulan. Namun perlu menjadi catatan bahwa AI tidak hanya menunjukkan kandungan aerosol yang berasal dari suatu lokasi kebakaran hutan saja, melainkan bisa jadi merupakan gabungan dengan kandungan aerosol dari kawasan atau sumber lain misalnya polusi atau partikel garam dari air laut.

Hasil Perhitungan

Algoritma perhitungan diterapkan untuk mengkaji potensi kebakaran di Pulau Kalimantan selama periode 1981-1993. Akibat fenomena El Nino-Southern Oscillation (ENSO), kekeringan pada akhir abad ini mengakibatkan maraknya aktifitas pembukaan lahan dan menyebarnya kebakaran tak terkendali (Goldammer 1997). Khususnya pada tahun 1982-1983, kebakaran hutan terjadi sangat hebat di Kalimantan disusul dengan kebakaran yang lebih ringan pada 1987, 1991 dan 1994. Gambar 4(a), (b), and (c) menunjukkan peta FPI bulanan yang dihitung masing-masing pada Agustus, September dan Oktober 1982. Dari ketiga gambar ini, terlihat bahwa meningkatnya nilai FPI pada Agustus (Gambar 4(a)) di bagian selatan Kalimantan, terus

membesar ($FPI > 40$) hingga ke bulan September (Gambar 4(b)); namun di bagian barat dan timur, FPI tampak menurun pada bulan Oktober (hingga $FPI \leq 35$). Sementara di kawasan selatan, FPI tetap menunjukkan nilai yang tinggi (Gambar 4(c)).

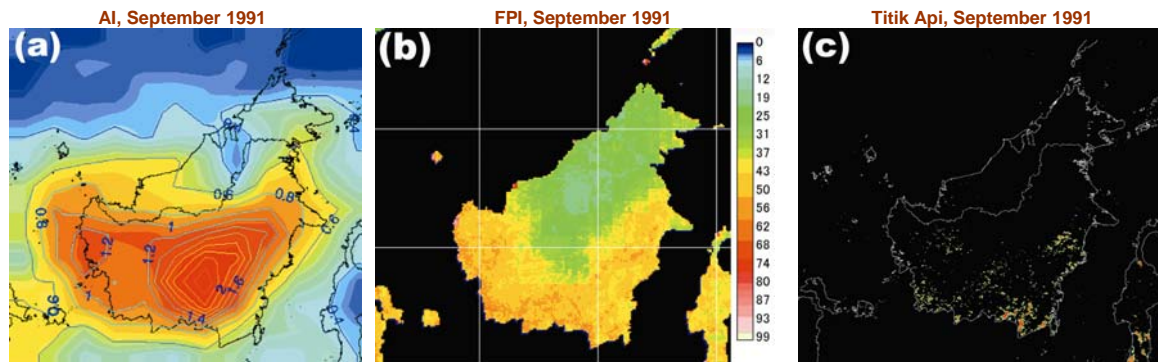


Gambar. 4. Peta sebaran FPI ((a)-(c)) dan TOMS AI ((d)-(f)) selama kejadian kebakaran pada bulan Agustus, September, dan Oktober 1982.

Gambar 4(d)-(f) menunjukkan sebaran indeks aerosol (AI) rata-rata bulanan pada periode yang sama. Perubahan nilai AI temporal dianggap mewakili intensitas kebakaran hutan di Kalimantan, berupa informasi mengenai aerosol yang dilepaskan ke atmosfer akibat terbakarnya biomas. Dari gambar tersebut, terlihat bahwa distribusi kandungan aerosol lebih tinggi di bagian selatan Kalimantan, dibandingkan kawasan lainnya. Kesamaan pola sebaran antara FPI dan AI menunjukkan bahwa sumber kebakaran di daratan Kalimantan merupakan sumber utama pelepasan aerosol ke atmosfer.

Sebaran FPI juga konsisten dengan kejadian kebakaran yang sebenarnya dengan mengambil sampel pada bulan September 1991 di kawasan Kalimantan timur, sebagaimana terdeteksinya titik api (hotspot) di kawasan tersebut. Titik api dideteksi secara empiris dengan mengambil nilai threshold temperatur pada kanal 3 serta selisih temperatur kanal 3 dan 4 data NOAA/AVHRR (Kaufman *et al.* 1990). Gambar 5(a)-(c) masing-masing menunjukkan sebaran FPI, AI dan titik api yang dihitung rata-rata selama bulan September 1991. Pada gambar 5(c) terlihat bahwa titik api ditemui utamanya di bagian barat, selatan dan timur pulau Kalimantan, menunjukkan intensitas kebakaran hutan di kawasan-kawasan tersebut.

Perbandingan antara peta titik api dan FPI menunjukkan bahwa 89% pixel titik api pada Gambar 5(c) berhubungan dengan pixel-pixel dengan $FPI > 40$ pada Gambar 5(b), serta 99% pixel titik api berhubungan dengan nilai $FPI > 45$.



Gambar. 5. Peta sebaran AI, FPI dan titik api pada September 1991

Kesimpulan

Penelitian ini telah mengambil dua kasus kebakaran hutan besar (1982/83, 1991) sebagai sampel perhitungan indeks potensi kebakaran bulanan yang dinyatakan dalam parameter FPI. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa sebaran spasial dan temporal FPI menunjukkan hubungan yang baik dengan AI, indeks aerosol TOMS di kawasan selatan Kalimantan. Sebaran nilai tinggi FPI juga berkorelasi erat dengan sebaran titik api seperti yang terlihat pada kejadian kebakaran tahun 1991. Dapat disimpulkan bahwa algoritma FPI dapat diterapkan dengan baik pada sistem peringatan kebakaran untuk kawasan tropis, walaupun parameter-parameter yang terkait seperti kelembaban ambang, suhu, curah hujan, kelembaban relatif dan cakupan awan sama sekali berbeda dengan sistem US-NFDRS.

Karena kajian ini hanya menghitung FPI bulanan dari data historis, penelitian tambahan masih diperlukan untuk menguji apakah algoritma ini dapat diterapkan secara operasional dalam manajemen kebakaran yang berbasis data per minggu atau per hari. Tantangan lain penerapan algoritma ini ialah ketersediaan data satelit dan cuaca secara periodik, pemanfaatan peta FPI bagi para pengambil kebijakan di Indonesia serta kemampuan penerapannya dalam regulasi kebakaran.

Acknowledgements

Ucapan terima kasih dan penghargaan diberikan kepada Prof. Ryutaro Tateishi pada CEReS, Chiba University yang berkenan menyediakan data NDVI dan data cakupan lahan global.

Daftar acuan

- Burgan RE (1988) 1988 revisions to the 1978 The National Fire-Danger Rating System. Research Paper SE-273, USDA, Forest Service, Southeastern Forest and Range Experiment Station, Asheville, North Carolina, USA.
- Burgan RE, Hartford RA (1993) Monitoring vegetation greenness with satellite data. General Technical Report INT-297 USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, UT, USA.
- Burgan RE, Klaver RW, Klaver JM (1998) Fuel models and fire potential from satellite and surface observations. *International Journal of Wildland Fire* **8**, 3, 159-170.
- Chandler C (1983) 'Fire in forestry', Vol. 1 (John Wiley and Sons, Inc: New York), <http://met.rfl.psw.fs.fed.us/met/MFWFDesc.html>
- CRU05 (1998) Global 0.5° lat/lon gridded monthly climate dataset CDROM (1901-1995), Climatic Research Unit, University of East Anglia.
- Deeming JE, Lancaster JW, Fosberg MA, Furman WR, Schroeder MJ (1972) The National Fire-Danger Rating System. Research paper RM-84, USDA Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado, USA.

- Deeming JE, Burgan RE, Cohen JD (1977) The National Fire-Danger Rating System-1978. General Technical Report INT-39, USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah, USA.
- Fosberg MA, Deeming JE (1971) Derivation of the 1- and 10-hour timelag fuel moisture calculations of fire-danger. Research Note RM-207, USDA, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, Fort Collins, Colorado, USA.
- Goldammer JG (1997) The ASEAN Fire Forum: Initial thoughts towards cooperation in fire and smoke research and management in the ASEAN region. In 'Transboundary Pollution and the Sustainability of Tropical Forests: Towards Wise Forest Fire Management' - The Proceedings of the AIFM International Conference (Eds. Hassan HA, Taha D, Dahalan MP, and Mahmud A), pp.137-165. (ASEAN Institute for Forest Management: Ampang Press, Kuala Lumpur)
- James ME, Kalluri SNV (1994) The Pathfinder AVHRR land data set: An improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *International Journal of Remote Sensing* **15**(17), 3347-3363.
- Kaufman, Y, Tucker CJ, Fung I (1990) Remote sensing of biomass burning in the tropics. *Journal of Geophysical Research* **95**, 9927-9939.
- Rothermel RC (1972) 'A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels.' USDA, Forest Service, Research paper INT-115, Intermountain Forest and Range Experiment Station, Ogden, Utah.
- Schweithelm J (1998) 'The fire this time. An overview of Indonesia's forest fires in 1997/98.' World Wide Fund for Nature Discussion paper. WWF Indonesia programme.
- Siegert F, Hoffmann AA (1998) The 1998 Forest Fires in East-Kalimantan (Indonesia): A quantitative evaluation using high resolution, multitemporal ERS-2 SAR Images and NOAA-AVHRR hotspot data. *Remote Sensing of Environment* **72**, 64-77
- Tateishi R (2000) Twenty-year Global 4-minute AVHRR NDVI Dataset CD-ROM (CEReS, Chiba University).
- Wybo JL, Guarnieri F, Richard B (1995) Forest Fire Danger Assessment: Combination of Methods for Efficient Decision Making. *Safety Science* **20**, 61-70.