

# POTENSI RISIKO KEBAKARAN LAHAN DAN HUTAN MELALUI INDEKS KEKERINGAN BERDASARKAN DATA MENTAH DARI MODEL IKLIM REGIONAL PRECIS

Heru Santoso<sup>1</sup>, Hety Herawati<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Pusat penelitian Geoteknologi LIPI, Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang, Bandung 40135, tel. 022-2503654  
email: [therunoff@yahoo.co.uk](mailto:therunoff@yahoo.co.uk)

<sup>2</sup>Center for International Forestry Research, Jl. CIFOR, Bogor Barat 16115, tel. 0252-8622622,  
email: [h.herawati@cgiar.org](mailto:h.herawati@cgiar.org)

## Abstract

Drought is one driving factor for extensive forest and land fires in Indonesia. We studied the effect of climate change on the potential risk of forest and land fires based on an analysis on climate and Keetch-Byram Drought Index (KBDI) patterns. We used raw output data of PRECIS regional climate model in our analysis. We selected eastern Kalimantan and eastern Sumatra as our case studies, and two clusters of greenhouse gas emission scenarios of high emission A2 and low emission B2 for climate simulations. In general, climate projection showed an increase in temperature of more than 3°C in the 2070-2100 period from the baseline period 1960-1990. Mean annual precipitation was slightly reduced (by about 12%) or similar for the same period, but the seasonal difference were higher. Number of days with extreme drought (KBDI is more than 1750 for a maximum 2000) in Kalimantan showed an increase from an average of 13.9 days/year to 42.9 – 55.2 days/year for B2 and A2 respectively. In Sumatra, the number of days with extreme drought showed an increase from an average of 17.1 days/year to 56.5 – 64.2 days/year for B2 and A2 respectively. Hence, climate change would increase the flammability of forest and land under both low and high greenhouse gas emissions. Therefore, forest and land fire management would require a greater attention in the future.

Keywords: potential risk, KBDI, regional climate model

## Abstrak

Kondisi cuaca kering merupakan salah satu penyebab terjadinya kebakaran lahan dan hutan yang luas di Indonesia. Kami melakukan kajian dampak perubahan iklim terhadap potensi risiko kebakaran lahan dan hutan melalui analisa pola iklim dan pola Indeks Kekeringan Keetch-Byram (KBDI) dengan menggunakan data mentah luaran dari model iklim regional PRECIS. Kami memilih lokasi Kalimantan timur dan Sumatera timur sebagai contoh kasus, dan dua kelompok emisi gas rumah kaca, emisi tinggi A2 dan emisi rendah B2, dalam melakukan simulasi iklim regional. Secara umum proyeksi iklim memperlihatkan kenaikan suhu maksimum di kedua lokasi di atas 3°C pada periode 2070-2100 dibandingkan periode acuan 1960-1990. Sedangkan rata-rata curah hujan tahunan sedikit berkurang (hampir 12%) atau tetap, namun dengan perbedaan antar musim yang semakin tajam. Jumlah hari dengan kondisi kekeringan ekstrim (KBDI melebihi 1750 untuk nilai maksimum 2000) di Kalimantan menunjukkan peningkatan dari rata-rata 13,9 hari/thn menjadi 42,9 hingga 55,2 hari/thn masing-masing untuk B2 dan A2. Sedangkan di Sumatera, jumlah hari dengan kondisi kekeringan ekstrim meningkat dari rata-rata 17,1 hari/thn menjadi 56,5 hingga 64,2 hari/thn untuk B2 dan A2. Dengan demikian, kondisi cuaca yang memudahkan terjadinya kebakaran lahan dan hutan akan lebih sering terjadi untuk skenario perubahan iklim dengan emisi rendah maupun tinggi. Sehingga penanganan kebakaran lahan dan hutan harus lebih serius.

Kata kunci: potensi risiko, KBDI, model iklim regional

## 1. PENDAHULUAN

Kebakaran lahan dan hutan di wilayah tropis Indonesia merupakan persoalan yang sampai sekarang belum dapat diselesaikan. Hampir setiap musim kemarau terjadi



kebakaran lahan dan hutan, terutama di wilayah Sumatera dan Kalimantan. Kebakaran di lahan gambut yang kaya akan kandungan karbon menyebabkan peningkatan emisi CO<sub>2</sub> yang sangat tinggi yang mendorong laju pemanasan global, selain gangguan asap ke negara tetangga dan gangguan lainnya seperti kesehatan, kerugian ekonomi karena kehilangan/kerusakan materi dan terganggunya berbagai usaha perekonomian seperti transportasi udara, pariwisata, dll. Usaha mengatasi persoalan kebakaran lahan dan hutan telah lama berlangsung, terutama setelah terjadinya kebakaran hebat tahun 1997/1998 dengan munculnya beberapa undang-undang dan peraturan pemerintah terkait dengan pengelolaan dan perlindungan hutan (UU 41/1999), upaya pencegahan kebakaran hutan (PP 45/2004, PP 84/2000, PP 4/2001), mitigasi bencana termasuk bencana akibat kebakaran hutan dan lahan (UU 24/2007), dan pengelolaan lingkungan (UU 23/1997).

Kebakaran terjadi jika tiga unsur yang terdiri dari bahan bakar, kondisi kering dan pemantik tersedia bersamaan. Ketiga unsur tersebut tersedia di sebagian wilayah Sumatera dan Kalimantan, sehingga sering mengalami kebakaran hutan. Iklim tropis dan lembab menyebabkan proses tumbuh vegetasi begitu cepat sehingga bahan bakar selalu tersedia hampir setiap tahun meskipun area yang sama sudah mengalami kebakaran pada tahun-tahun sebelumnya. Di lain pihak, tipe iklim monsun menyebabkan adanya bulan-bulan yang mengalami kekeringan. Usaha pertanian di lahan gambut dengan menurunkan muka air tanah, misalnya dengan cara pengeringan (*drainage*) pada kenyataannya memperburuk kondisi kekeringan lahan. Unsur pemicu kebakaran umumnya merupakan akibat aktivitas manusia dalam membudidayakan lahan. Membakar masih dianggap sebagai cara paling murah dan mudah dalam proses menyiapkan lahan untuk bertani. Kebanyakan kebakaran lahan dan hutan yang terjadi di Indonesia dipicu dari pembakaran untuk keperluan pembersihan lahan.

Terjadinya kebakaran lahan dan hutan dalam skala besar terkait erat dengan kekeringan yang tinggi. Pada tahun-tahun El Niño, Indonesia sering kali mengalami kebakaran yang cukup besar, seperti misalnya pada tahun 1982-83, 1987, 1991, 1994, 1997-98 dan 2002 (Tacconi 2003; Murdiyarso & Adiningsih 2006; Adiningsih et al. 2008). Pemanasan global disinyalir akan memberikan pengaruh pada kondisi kekeringan sehingga berpotensi meningkatkan potensi risiko kebakaran lahan dan hutan (Carcaillet et al. 2001; Mouillot & Joffre 2002; Shlisky et al. 2007), selain dapat pula meningkatkan ketersediaan bahan bakar (Cao and Woodward 1998).

Makalah ini mencoba menganalisa dampak pemanasan global terhadap potensi risiko terjadinya kebakaran hutan dan lahan di Indonesia dari unsur kekeringan. Dalam penelitian ini, kami mengambil conto lokasi di wilayah Kalimantan dan Sumatera yang hampir setiap tahun mengalami kebakaran lahan dan hutan. Kami melakukan analisa perbandingan antara kondisi kekeringan di masa yang akan datang yang dipengaruhi oleh peningkatan gas rumah kaca terhadap kondisi kekeringan pada periode acuan 1960-1990, dengan melakukan proyeksi perubahan iklim dan penghitungan indeks kekeringan yang akan dijelaskan lebih rinci dalam makalah ini.

## 2. DATA/TEORI DAN METODE

### 2.1. Indeks kekeringan dan potensi bahaya kebakaran

Seperti dijelaskan sebelumnya, terjadinya kebakaran besar pada hutan dan lahan di Indonesia erat kaitannya dengan keadaan cuaca khususnya kekeringan. Kejadian kebakaran hebat seringkali terjadi pada tahun-tahun terjadinya fenomena El Niño, yaitu fenomena iklim global yang memberikan pengaruh tingkat kekeringan yang tinggi di wilayah Indonesia. Jumlah titik api di wilayah Indonesia berkorelasi dengan fenomena El Niño dan

Moda Dipol positif di Samudera India (Murdiyarso & Adiningsih 2006). Hadi (2008) memperlihatkan korelasi positif yang cukup baik antara indeks kekeringan dan jumlah titik api, yang mana indeks kekeringan merupakan fungsi suhu udara dan curah hujan. Parameter cuaca bahkan digunakan untuk membangun berbagai indikator tingkat bahaya kebakaran (*Fire Danger Rating System* atau FDRS) (Piñol et al. 1998).

Salah satu indikator FDRS yang sudah banyak digunakan di beberapa lokasi di dunia seperti di Amerika, Spanyol dan Indonesia adalah Indeks Kekeringan Keetch-Byram (KBDI). KBDI dikembangkan mulanya di Amerika (Keetch & Byram 1968) dan berfungsi baik sebagai indikator tingkat bahaya kebakaran di negara empat musim. KBDI memperhitungkan kekeringan atmosfer, yaitu kekeringan akibat rendahnya curah hujan dan kelembaban udara, dan kekeringan pada tanah lapisan atas hingga kedalaman perakaran tanaman. Indeks kekeringan pada hari tertentu juga mempertimbangkan indeks kekeringan hari sebelumnya. Untuk diterapkan di Indonesia, khususnya seperti yang telah diterapkan di Kalimantan, diperlukan penyesuaian terhadap tingkat kedalaman perakaran (Buchholz & Weidemann 2000). Sehingga skala dari pada indeks perlu penyesuaian dengan nilai maksimum menjadi 2000. Persamaan matematika untuk menghitung KBDI adalah:

$$KBDI_{HARI\ i} = KBDI_{HARI\ i-1} - 10 \times Hujan + DF \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

dan nilai DF diperoleh dengan persamaan

$$DF = \frac{(2000 - KBDI) \times (0.9676 \times e^{(0.0875 \times T_{MAX} + 1.552)} - 8.299) \times 0.001}{1 + 10.88 \times e^{(-0.00175 \times Hujan_{Ann})}}$$

yang mana KBDI adalah indeks kekeringan Keetch-Byram, Hujan adalah volume hujan harian dalam mm, DF adalah faktor kekeringan (*drought factor*),  $T_{MAX}$  adalah suhu udara maksimum dan  $Hujan_{Ann}$  adalah volume hujan tahunan.

Nilai KBDI harian yang diperoleh dikonversi menjadi skala kualitatif dari tingkat bahaya kebakaran rendah hingga ekstrim (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. Tingkat bahaya kebakaran berdasarkan nilai KBDI.

Skala numeric	Skala kualitatif
0 – 999	Rendah
1000 – 1499	Sedang
1500 – 1749	Tinggi
1750 – 2000	Ekstrim

## 2.2. Skenario dan proyeksi perubahan iklim

Proyeksi iklim dimasa yang akan datang sebagai dampak dari pemanasan global dilakukan dengan menggunakan model iklim regional PRECIS yang dikembangkan oleh UK Meteorological Office (Taylor et al. 2004). PRECIS (*Providing Regional Climate for Impact Studies*) merupakan model iklim dinamik yang berfungsi untuk meningkatkan resolusi dari luaran model sirkulasi general atau yang lazim dikenal dengan istilah *downscaling* atau *regionalization*. Sebagaimana umumnya model iklim regional dinamik, tingkat ketepatan luaran dari PRECIS bergantung pada pilihan sirkulasi model (*General Circulation Model* atau GCM), selain struktur internal dalam model itu sendiri.

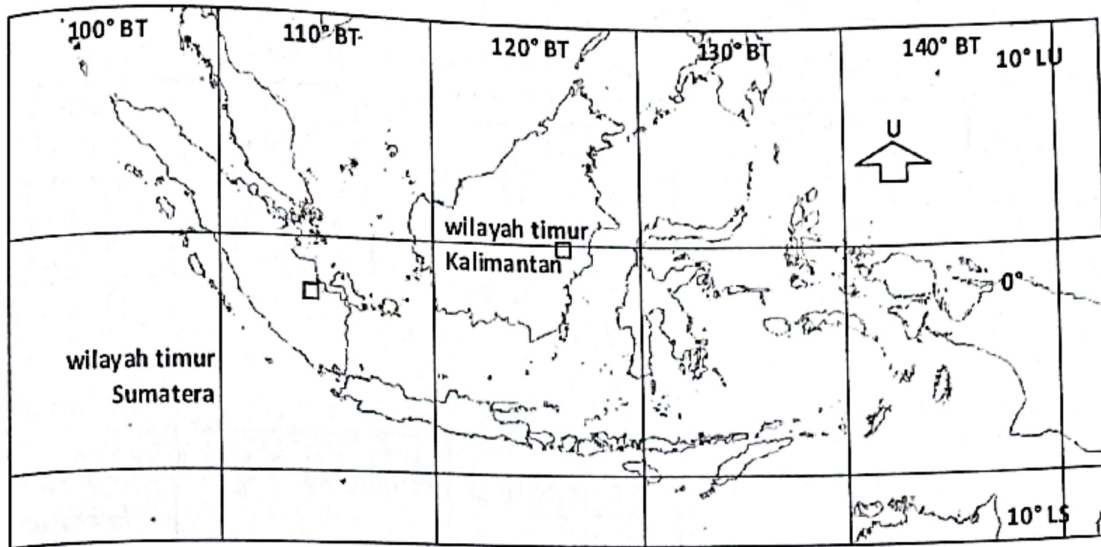


Dalam penelitian ini, kami menggunakan PRECIS untuk menghasilkan proyeksi data iklim dengan resolusi spasial  $50 \times 50$  km dan resolusi temporal harian untuk periode tahun 2070-2100, dan data iklim periode 1960-1990 sebagai acuan (*baseline*). Paket PRECIS yang kami gunakan hanya menyediakan pilihan *ensemble* untuk melakukan simulasi pada periode acuan (1960-1990) dengan menggunakan data model HadCM3. Sedangkan untuk simulasi periode 2070-2100 pilihan yang tersedia adalah model HadAM3P dengan skenario emisi gas rumah kaca SRES A2 dan B2. Perbedaan antara HadCM3 dan HadAM3P adalah pada komponen osean. HadCM3 merupakan model bergandeng (*coupled*) atmosfer dan osean. HadAM3P mengurangi komputasi pada komponen osean dan fokus pada komponen atmosfernya saja untuk mengurangi beban komputasi model. Hal ini karena kebanyakan penggunaan PRECIS adalah untuk studi dampak perubahan iklim di wilayah daratan.

Dalam penelitian ini kami mengambil titik contoh pengamatan di wilayah timur Kalimantan ( $0^{\circ}9'13,709''$  LS;  $116^{\circ}13'27,714''$  BT) dan di wilayah timur Sumatera ( $2^{\circ}22'20,1288''$  LS;  $104^{\circ}12'49,32''$  BT). Kedua lokasi tersebut masing-masing merupakan representasi dari wilayah Kalimantan dan Sumatera yang sering mengalami kebakaran lahan dan hutan dalam skala besar (Gambar 2.1). Tingkat kejadian dan bencana kebakaran hutan dan lahan di kedua wilayah tersebut dikenal sensitif terhadap kondisi kekeringan, meskipun terdapat faktor keterlambatan (*delay*) munculnya api dari awal mulainya periode kekeringan (Murdiyarto & Adiningsih 2006).

Kami menggunakan luaran data iklim dari PRECIS sesuai keperluan penghitungan KBDI, yaitu suhu udara maksimum ( $T_{MAX}$ ) harian dan curah hujan harian untuk periode proyeksi (2070-2100) dan periode acuan (1960-1990) sebagai pembanding. Dalam menganalisa, kami menggunakan data mentah luaran PRECIS yang belum divalidasi karena ketidak-tersediaan data pengamatan untuk keperluan validasi. Secara umum hasil simulasi menggunakan model HadCM3 dengan batas data (*boundary data*) yang identik dengan yang kami gunakan berkorelasi baik terhadap data pengamatan untuk wilayah Semenanjung Malaysia (Sei et al. 2009) dan kabupaten Subang, Jawa Barat (Rahayu 2010).

Selain tingkat validitas data yang belum teruji, penggunaan data mentah dengan resolusi  $50 \times 50$  km memberikan implikasi pada nilai  $T_{MAX}$  yang cenderung lebih rendah (*underestimate*) dari nilai pada skala stasiun pengamatan. Sehingga penghitungan KBDI dengan menggunakan data mentah PRECIS cenderung menghasilkan nilai KBDI yang lebih rendah daripada jika menggunakan data dari stasiun pengamatan seperti yang umumnya dilakukan. Namun dalam melakukan analisa perbandingan dan diskusi, kami menggunakan data mentah luaran hasil data simulasi PRECIS untuk periode acuan dan untuk periode proyeksi.



Gambar 2.1. Lokasi titik contoh luaran data PRECIS di wilayah timur Kalimantan dan timur Sumatera.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Contoh luaran dari hasil simulasi PRECIS berupa data harian suhu maksimum dan curah hujan harian diperlihatkan dalam Gambar 3.1 dan Gambar 3.2. Data tersebut memperlihatkan kecenderungan perubahan untuk periode acuan (1960-1990) dan periode proyeksi (2070-2100) dengan skenario emisi A2 dan B2. Perubahan pola hujan musiman, yaitu rata-rata bulanan dalam dua periode yang diamati, diperlihatkan dalam Gambar 3.3. Demikian pula contoh untuk hasil penghitungan nilai KBDI dengan menggunakan data hasil simulasi PRECIS ditampilkan dalam bentuk grafik (Gambar 3.4).

Tabel 3.1 merupakan ringkasan dari perubahan pola suhu maksimum, curah hujan dan jumlah hari dengan tingkat bahaya kebakaran ekstrim yang merupakan hasil simulasi dari PRECIS untuk kedua wilayah.

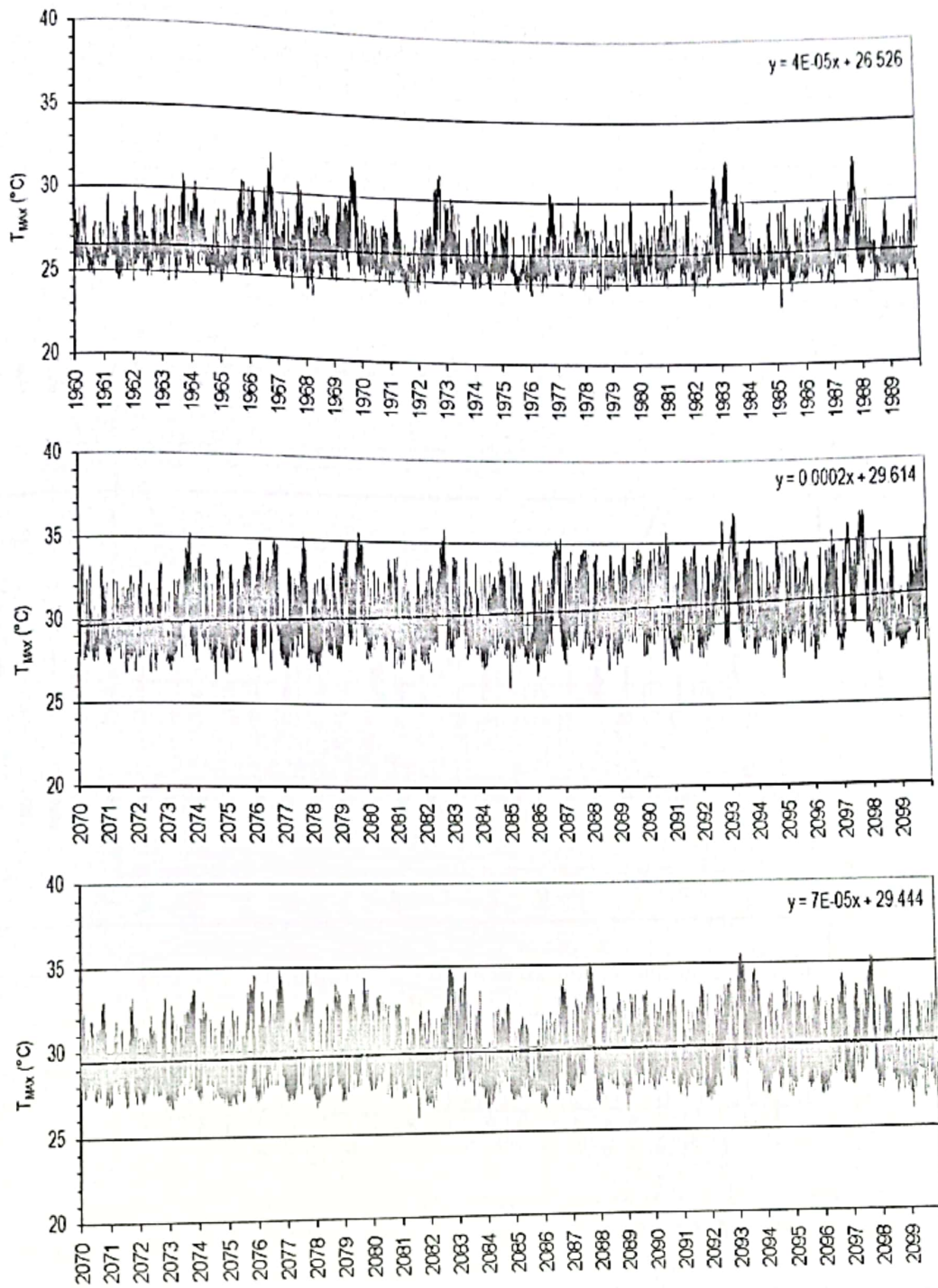
Dari grafik dan analisa perubahan suhu maksimum di wilayah timur Kalimantan cenderung mengalami peningkatan rata-rata sebesar  $3,94^{\circ}\text{C}$  untuk skenario emisi tinggi A2 dan  $3,06^{\circ}\text{C}$  untuk skenario emisi rendah B2. Kenderungan untuk terus meningkat terjadi pada masing-masing periode dan proyeksi skenario. Hal yang hampir sama terjadi untuk wilayah timur Sumatera dimana terjadi peningkatan rata-rata sebesar  $3,97^{\circ}\text{C}$  untuk skenario A2 dan  $3,22^{\circ}\text{C}$  untuk skenario B2. Dalam periode proyeksi 2070-2100, suhu maksimum tersebut cenderung terus meningkat dengan A2 memperlihatkan laju peningkatan yang lebih cepat daripada B2 (lihat Gambar 3.1).

Tabel 3.1. Ringkasan hasil simulasi untuk perubahan pola suhu maksimum, curah hujan dan jumlah hari dengan tingkat bahaya kebakaran ekstrim.

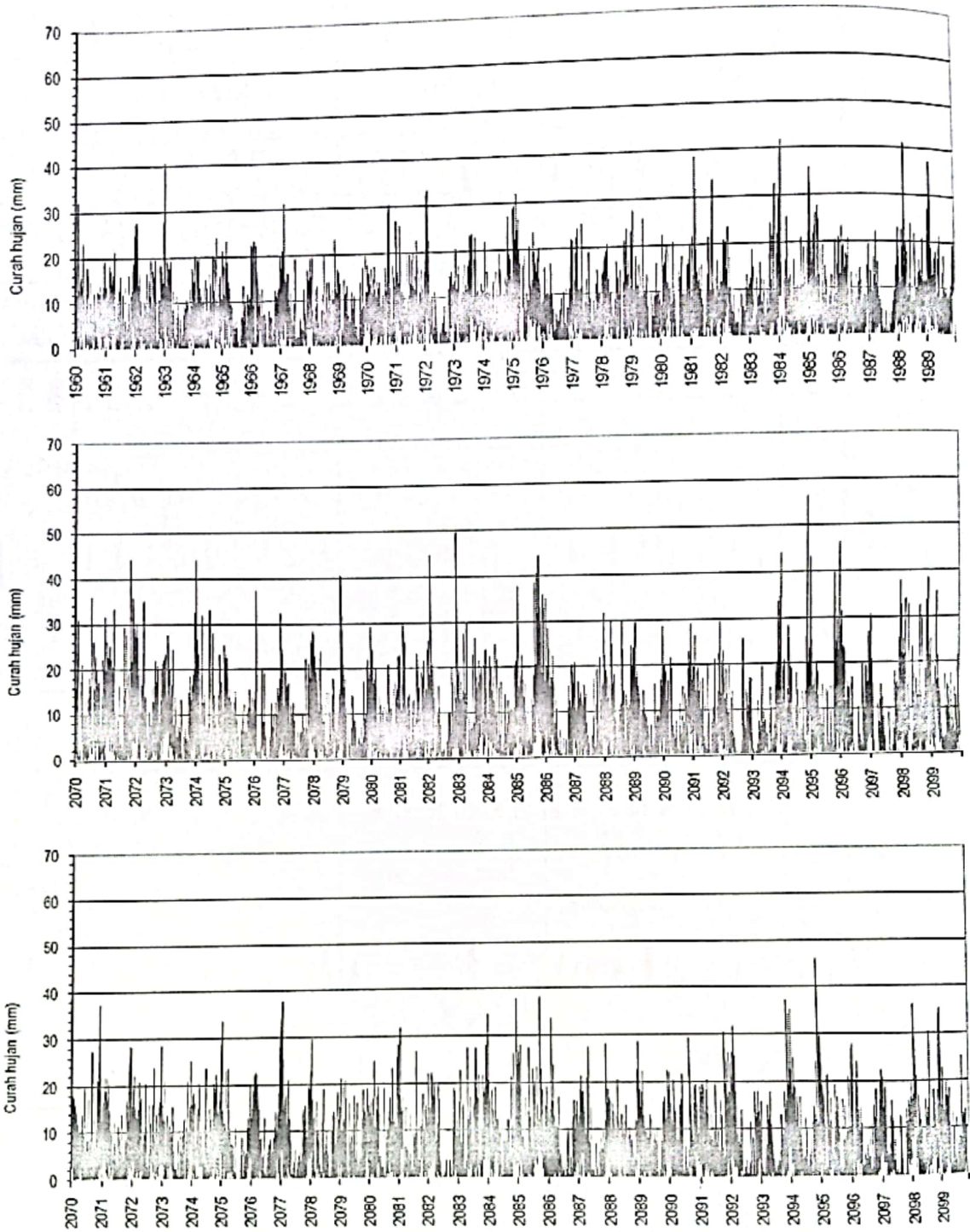
	Curah hujan tahunan		Curah hujan musiman		Rata-rata suhu maksimum		Rata-rata jumlah hari ekstrim per tahun
	P <sub>Annual</sub>	$\Delta$ P <sub>Annual</sub> terhadap acuan	DJF	JJA	T <sub>MAX</sub>	$\Delta$ T <sub>MAX</sub>	
Wilayah timur Kalimantan							
1960-1990							
Acuan	2005 mm	-	678 mm	352 mm	26,73 °C	-	13.9 hari/tahun
	<i>meningkat</i>				<i>meningkat</i>		<i>stabil-berkurang</i>
2070-2100							
A2	1970 mm	-1,7 %	787 mm	250 mm	30,67 °C	+3,94 °C	55.2 days/yr
	<i>Berkurang</i>		<i>perbedaan meningkat</i>		<i>meningkat</i>		<i>meningkat</i>
B2	1765 mm	-11,9 %	742 mm	209 mm	29,80 °C	+3,06 °C	42.9 days/yr
	<i>stabil</i>		<i>perbedaan meningkat</i>		<i>Meningkat</i>		<i>meningkat</i>
Wilayah timur Sumatera							
1960-1990							
Acuan	1645 mm	n.a.	559 mm	228 mm	26.65 °C	n.a.	17.1 days/yr
	<i>meningkat</i>				<i>meningkat</i>		<i>stabil-berkurang</i>
2070-2100							
A2	1450 mm	-11.8 %	578 mm	139 mm	30.63 °C	+3.97 °C	64.2 days/yr
	<i>berkurang</i>		<i>perbedaan meningkat</i>		<i>Meningkat</i>		<i>meningkat</i>
B2	1335 mm	-11.9 %	526 mm	114 mm	29.87 °C	+3.22 °C	56.5 days/yr
	<i>stabil</i>		<i>perbedaan meningkat</i>		<i>Meningkat</i>		<i>meningkat</i>

Catatan: kata-kata yang dicetak miring menerangkan pola kecenderungan (*trend*) dalam periode yang bersangkutan.





Gambar 3.1. Suhu maksimum ( $T_{MAX}$ ) wilayah Kalimantan untuk periode acuan dan proyeksi A2 dan B2.



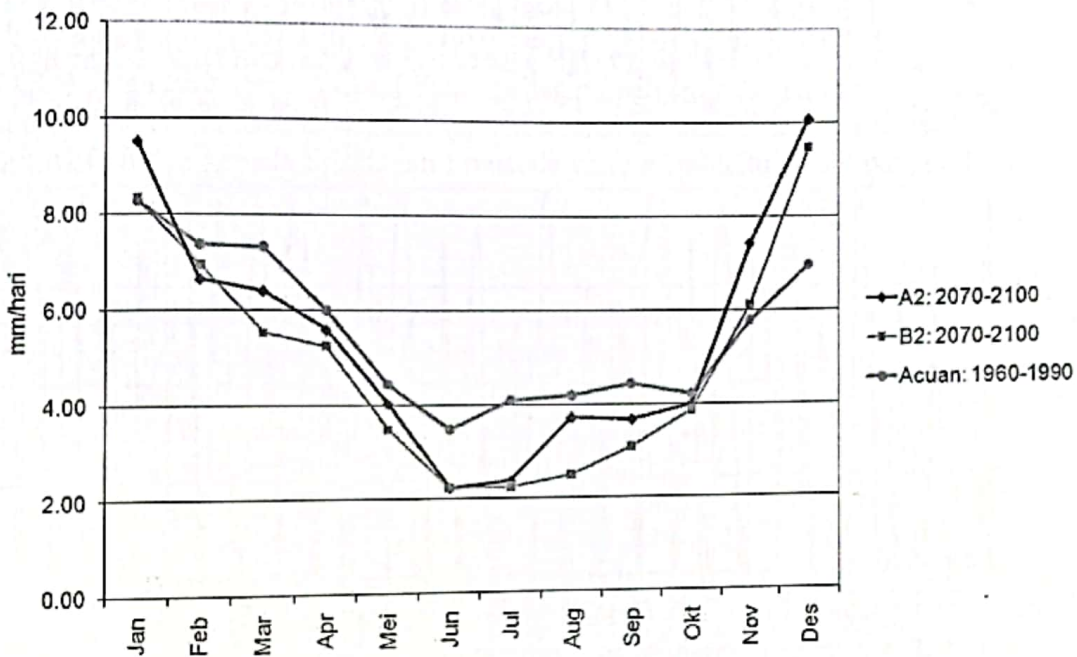
Gambar 3.2. Pola curah hujan harian wilayah timur Kalimantan untuk periode acuan dan periode proyeksi A2 dan B2.

Curah hujan secara umum memperlihatkan sedikit penurunan untuk kedua wilayah. Di timur Kalimantan, rata-rata curah hujan tahunan memperlihatkan penurunan 1,7% untuk periode proyeksi 2070-2100 dengan skenario emisi A2, dan penurunan 11,9% untuk emisi B2, relatif terhadap rata-rata curah hujan tahunan pada periode acuan. Sedangkan di wilayah timur Sumatera, terjadi penurunan sekitar 11,8% hingga 11,9% masing-masing untuk skenario emisi A2 dan B2. Namun dari kedua skenario emisi dalam periode proyeksi



2070-2100, A2 memperlihatkan kecenderungan volume curah hujan yang terus menurun sedangkan B2 cenderung stabil. Dalam arti bahwa apabila skenario emisi tinggi yang terjadi (A2) maka volume curah hujan tahunan akan semakin berkurang setelah periode tahunan cenderung stabil.

Untuk pola musiman, secara umum terjadi peningkatan perbedaan antara volume hujan pada bulan-bulan basah (DJF) dan bulan-bulan kering (JJA). Misalnya untuk Kalimantan, perbedaan volume rata-rata curah hujan pada bulan basah terhadap bulan kering bergeser dari sekitar 325 mm untuk periode acuan menjadi sekitar 530 mm untuk periode proyeksi dengan emisi A2 maupun B2 (lihat Gambar 3.3 dan Tabel 3.1). Perbedaan tersebut cenderung terus meningkat.

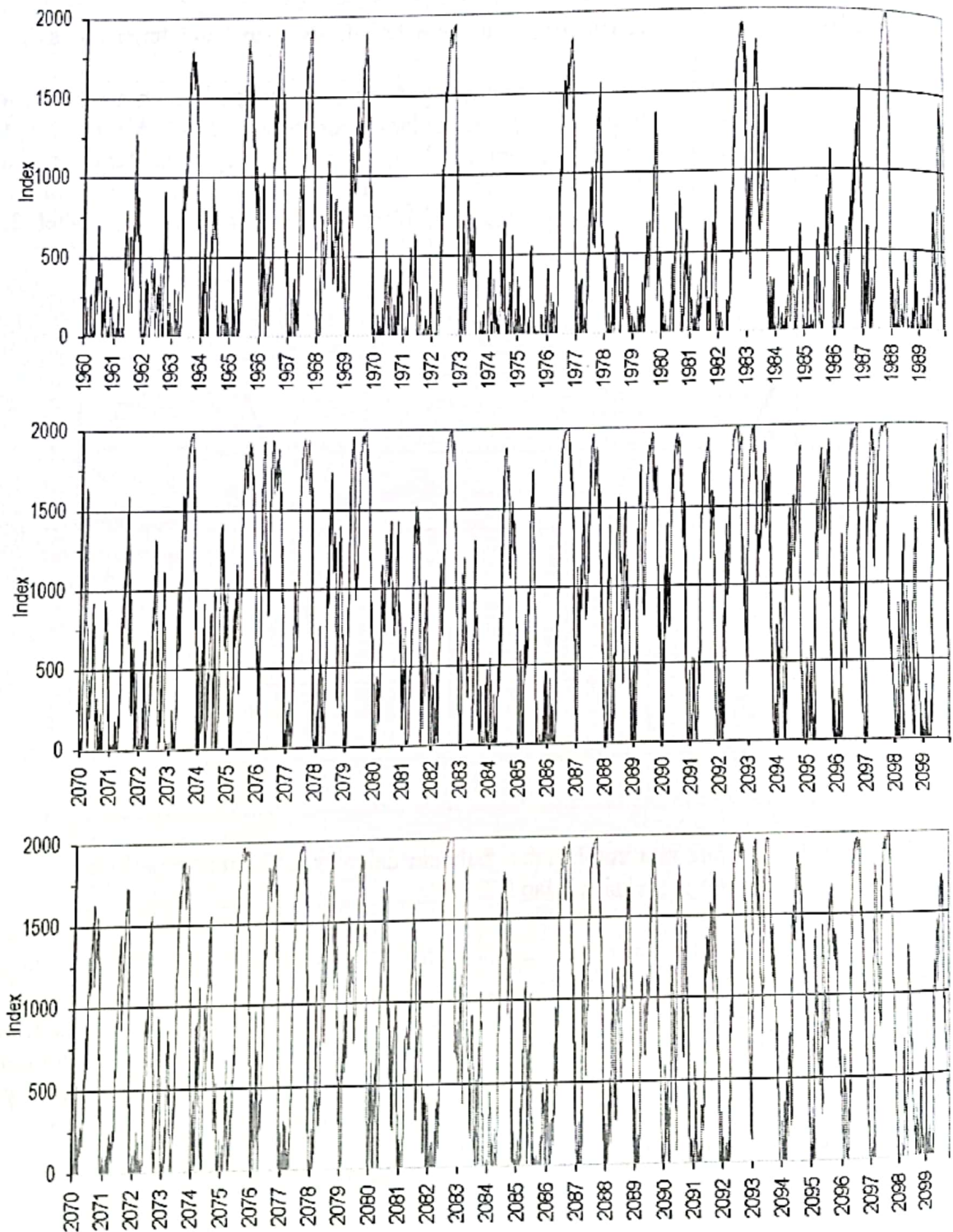


Gambar 3.3. Pola rata-rata curah hujan bulanan dalam setahun untuk periode acuan dan periode proyeksi A2 dan B2.

Hasil penghitungan KBDI memperlihatkan peningkatan jumlah rata-rata hari dengan tingkat bahaya kebakaran ekstrim per tahun ( $KBDI > 1750$ ) yang cukup penting, yaitu antara 3,1 hingga 4,0 kali untuk wilayah timur Kalimantan dan 3,3 hingga 3,8 kali untuk wilayah timur Sumatera. Sebagai contoh, untuk wilayah Kalimantan rata-rata jumlah hari ekstrim pada periode acuan adalah 13,9 hari/tahun. Sedangkan pada periode proyeksi 2070-2100, rata-rata jumlah hari ekstrim menjadi 55,2 hari/tahun untuk skenario A2 dan 42,9 hari/tahun untuk skenario B2 (lihat Tabel 3.1).

Dari hasil simulasi model terlihat bahwa kondisi kekeringan yang konduktif terhadap terjadinya kebakaran lahan dan hutan mengalami peningkatan meskipun curah secara umum mengalami sedikit penurunan (sekitar 12%). Namun peningkatan suhu maksimum dan perubahan pola musiman curah hujan mendorong tingkat kekeringan yang lebih tinggi. Hal ini diperkuat dengan nilai KBDI yang cenderung meningkat di bawah pengaruh pemanasan global, yang juga ditunjukkan dengan rata-rata jumlah hari dengan tingkat bahaya kebakaran ekstrim per tahun yang mengalami peningkatan 3 hingga 4 kali lipat. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa kondisi cuaca atau iklim di masa yang akan datang sebagai akibat pengaruh dari pemanasan global memiliki kontribusi yang sangat

penting dalam meningkatkan risiko terjadinya kebakaran lahan dan hutan di masa yang akan datang.



Gambar 3.4. Pola KBDI harian wilayah timur Kalimantan untuk periode acuan dan periode proyeksi A2 dan B2.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil analisa perubahan pola curah hujan tahunan dan musiman dan perubahan suhu maksimum, serta penghitungan KBDI sebagai akibat dari pemanasan global, kami



menyimpulkan bahwa kondisi kering yang menjadi salah satu komponen untuk terjadinya kebakaran mengalami peningkatan yang cukup signifikan dalam kisaran antara 3 hingga 4 kali lipat untuk skenario SRES emisi rendah hingga tinggi. Komponen ini menjadi penyumbang yang sangat penting terhadap potensi risiko kebakaran hutan dan lahan di wilayah Kalimantan dan Sumatera di masa yang akan datang. Dengan demikian, persoalan kebakaran hutan dan lahan di masa yang akan datang memerlukan penanganan yang lebih serius.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari kegiatan proyek *Tropical Forests and Climate Change Adaptation* (TroFCCA) di Asia Tenggara. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Centre for International Forestry Research (CIFOR) sebagai pelaksana proyek TroFCCA dan European Commission sebagai penyedia dana proyek. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada UK Meteorological Office sebagai penyedia model iklim PRECIS dan kepada Sdr. Isnan Franseda yang membantu dalam pengelolaan data.

## DAFTAR RUJUKAN

- Adiningsih, E.S., Roswintiarti, O. Buono, A., Ramadhan, A., Ismail, A. & Dyahwathi, N., 2008, Climate Change and Fire Risks in Indonesia. Final Report submitted to CIFOR, National Aeronautic and Space Agency, Bogor.
- Buchholz, G., & Weidemann, D., 2000, The use of simple Fire Danger Rating Systems as a tool for early warning in forestry, *International Forest Fire News* No. 23, 32-36.
- Cao, M. & Woodward, F.I., 1998, Dynamic response of terrestrial ecosystem carbon cycling to global climate change, *Nature* **393**, 249-252.
- Carcaillet, C., Bergeron, Y., Richard, P.J.H., Frechette, B., Gauthier, S. & Prairies, Y.T., 2001, Change of fire frequency in the eastern Canadian boreal forests during the Holocene: does vegetation composition or climate trigger the fire regime?, *J. Ecology*. **89** (6), 930-946.
- Hadi, P., 2008, A R/GIS based multi-criteria approaches to assess forest fire hazard in Indonesia, Case study: West Kutai District, East Kalimantan, Thesis submitted for Master of Science, Bogor Agriculture University, Bogor.
- Keetch, J.J. & Byram, G.M., 1968, A Drought Index for Forest Fire Control. USDA Forest Service Research Paper SE-38.
- Mouillot, F. & Joffre, S.R.R., 2002, Simulating climate change impacts on fire frequency and vegetation dynamics in a Mediterranean-type ecosystem, *Global Change Biology* **8** (5), 423-437.
- Murdiyarsa, D. & Adiningsih, E., 2006, Climatic variability, Indonesian vegetation fires and terrestrial carbon emissions, *J. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change* **12** (1), 101-112.
- Piñol, J., Terradas, J. & Lloret, F., 1998, Climate warming, wildfire hazard, and wildfire occurrence in coastal eastern Spain, *Climatic Change* **38**, 345-357.
- Rahayu, R., 2010, Dampak perubahan iklim terhadap ketersediaan air untuk energi alternatif mikrohidro (Studi Kasus: PLTMH Cinta Mekar Kabupaten Subang), Laporan tugas akhir, Program Sarjana Strata 1 (S-1), Program Studi Meteorologi, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Sei, K.M., Le, L.J., Huey, S.J., Juneng, L. & Tangang, F., 2009, Evaluation of PRECIS Performance in Simulating The Present Climate Over Malaysia. Slide presentation,

ASEAN Regional Workshop on Providing Regional Climates for Impacts Studies (PRECIS), Organised by Malaysian Meteorological Department and British High Commission in Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia 12-15 August 2009, Available online.

at [http://www.met.gov.my/index.php?option=com\\_content&task=view&id=2331&Itemid=2329](http://www.met.gov.my/index.php?option=com_content&task=view&id=2331&Itemid=2329) (accessed: June 2, 2010).

- Shlisky, A., Waugh, J., Gonzalez, P., Gonzalez, M., Manta, M., Santoso, H., Alvarado, E., Ainuddin-Nuruddin, A., Rodríguez-Trejo, D.A., Swaty, R., Schmidt, D., Kaufmann, M., Myers, R., Alencar, A., Kearns, F., Johnson, D., Smith, J., Zollner, D. & Fulks, W., 2007, Fire, Ecosystems and People: Threats and Strategies for Global Biodiversity Conservation, GFI Technical Report 2007-2, The Nature Conservancy, Arlington, VA.
- Tacconi, L., 2003, Fires in Indonesia: causes, costs and policy implications, CIFOR Occasional Paper No. 38, CIFOR, Bogor. 24p.
- Taylor, R., Jones R., Noguer M., Hassel D., Hudson D., Wilson S., Jenkins G., & Mitchel J., 2004, Generating High Resolution Climate Changer Scenarios Using PRECIS, PRECIS Handbook, Hadley Centre for Climate Prediction and Research, U.K.