



Kontribusi Kebakaran Hutan terhadap Distribusi Spasial Gas CO₂ Akibat Fenomena El Nino di Provinsi Jambi

Contribution of Forest Fires to the Spatial Distribution of CO₂ Gas Due to El Nino and Dipole Mode in Jambi Province

Eva Gusmira¹

Program Studi Fisika, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Jambi, Indonesia

Try Susanti

Program Studi Biologi, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Jambi, Indonesia

Arif Ma'rufi

Stasiun Klimatologi Jambi, Jambi, Indonesia

Scendy Nawa Malini

Program Studi Fisika, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Jambi, Indonesia

Artikel Masuk : 14 Oktober 2024

Artikel Diterima : 15 Desember 2025

Tersedia Online : 31 Desember 2025

Abstrak: Fenomena *El Nino* memberikan dampak terhadap perubahan iklim di Indonesia khususnya di Provinsi Jambi. Fenomena ini akan menimbulkan kekeringan yang berkepanjangan dan memicu terjadinya bencana kebakaran hutan dan meningkatkan jumlah gas rumah kaca di udara termasuk CO₂. Artikel ini bertujuan untuk memetakan distribusi gas CO₂ secara spasial akibat kebakaran hutan di Provinsi Jambi dan melihat kesesuaian pola penyebaran angin dengan penyebaran kebakaran hutan. Artikel ini menggunakan data parameter gas CO₂ yang diambil dalam bentuk grid pada tahun 2015 dan tahun 2019 yang merupakan tahun *El Nino* kuat dan *El Nino* lemah. Data hotspot dan pola angin ketinggian 1000 milibar untuk mendukung distribusi CO₂ tersebut. Data grid diolah menggunakan software *Grid Analysis Display Sistem* (GrADS). Pemetaan pola distribusi gas CO₂, kejadian kebakaran hutan dianalisis menggunakan software *ArcGIS* 10.8. Distribusi spasial CO₂ dari 11 kabupaten di Provinsi Jambi menunjukkan pola penyebaran CO₂ mengikuti pola penyebaran titik hotspot dan dipengaruhi oleh pola distribusi angin permukaan pada tahun 2015 dan tahun 2019. Tingkat emisi CO₂ pada saat kebakaran hutan di tahun 2015 lebih tinggi dibandingkan emisi CO₂ pada saat kebakaran hutan di tahun 2019. Hasil ini mengimplikasikan bahwa *El Nino* sangat mempengaruhi tingginya emisi gas CO₂ di Provinsi

¹ Korespondensi Penulis: Program Studi Fisika, UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi, Jambi, Indonesia

Email: evagusmira@uinjambi.ac.id

How to Cite

Gusmira, E., Susanti, T., Ma'rufi, A., & Malini, S. N. (2025). Kontribusi Kebakaran Hutan terhadap Distribusi Spasial Gas CO₂ Akibat Fenomena El Nino di Provinsi Jambi. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 13(3), 92-102. <https://doi.org/10.14710/jwl.13.3.92-102>

Jambi yang dihasilkan oleh kebakaran hutan baik saat *El Nino* kuat maupun *El Nino* lemah. Hasil penelitian ini dapat menjadi acuan bagi pemerintah untuk lebih mewaspadai bencana yang ditimbulkan oleh fenomena *El Nino* dan mewaspadai aktivitas manusia yang menjadi pemicu kebakaran hutan.

Kata Kunci: Bencana, *El Nino*, Gas CO₂, Kebakaran Hutan

Abstract: *The El Nino phenomenon has an impact on climate change and causes prolonged drought, triggers forest fires and increases the amount of CO₂ gas in the air. This article aims to map the spatial distribution of CO₂ gas due to forest fires in Jambi Province and to see the suitability of wind distribution patterns with the spread of forest fires. This article uses CO₂ gas parameter data taken in grid form in 2015 and 2019. Hotspot data and wind patterns at an altitude of 1000 millibars to support the distribution of CO₂. Grid data is processed using Grid Analysis Display System (GrADS) software. Mapping of CO₂ gas distribution patterns, forest fire incidents are analyzed using ArcGIS 10.8 software. The spatial distribution of CO₂ from 11 districts in Jambi Province shows that the CO₂ distribution pattern follows the hotspot distribution pattern and is influenced by the surface wind distribution pattern in 2015 and 2019. The level of CO₂ emissions during forest fires in 2015 was higher than CO₂ emissions during forest fires in 2019. These results imply that El Nino greatly influences the high CO₂ gas emissions in Jambi Province produced by forest fires both during strong El Nino and weak El Nino. The results of this study can be a reference for the government to be more aware of disasters caused by the El Nino phenomenon and to be aware of human activities that trigger forest fires.*

Keywords: CO₂ Gas, Disasters, *El Nino*, Forest Fires

Pendahuluan

Provinsi Jambi merupakan wilayah yang kerap menjadi langganan kejadian kebakaran hutan (Direktorat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan et al., 2024). Apabila musim kemarau datang maka titik api akan muncul di berbagai wilayah. Kebakaran hutan ini telah menjadi topik utama dalam masalah lingkungan di Indonesia, dengan daerah utama Sumatera dan Kalimantan (Pan et al., 2018). Ekosistem hutan tropis luas yang dimiliki Provinsi Jambi sering mengalami kebakaran hutan (Arrafi et al., 2022; Direktorat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan et al., 2024). Hal ini dipicu oleh aktivitas manusia (Carvalho et al., 2021) dan kondisi iklim ekstrem seperti *El Nino* dan *Indian Ocean Dipole* (IOD).

El Nino merupakan fenomena alam yang dapat menyebabkan peningkatan suhu dan penurunan curah hujan (Pasta Dewanti et al., 2018) sehingga memicu kondisi kekeringan dan memperbesar risiko terjadinya kebakaran hutan (Tenzin et al., 2024). Kondisi ini diperburuk oleh IOD positif yang memperburuk kekeringan di wilayah Indonesia bagian barat (Jeong et al., 2022; Jo et al., 2022; Pasta Dewanti et al., 2018).

Fenomena *El Nino* memiliki pengaruh besar terhadap perubahan pola cuaca di wilayah Indonesia, termasuk di Jambi (Ahmad & Goparaju, 2019). Untuk selanjutnya dapat memicu terjadinya kebakaran hutan dan meningkatkan jumlah gas rumah kaca (GRK) di atmosfer. Kebakaran hutan di Jambi tidak hanya merusak ekosistem, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca (Eilenberg, 2022; Martono & Komala, 2018), kerusakan lingkungan, ekonomi dan mengganggu kesehatan manusia (Hidayat et al., 2024).

GRK di antaranya adalah gas *carbon dioksida* (CO₂), *metana* (CH₄), *dinitroksida* (N₂O) dan *Chlorofluorocarbon* (CFC) sebagai gas pembentuk efek rumah kaca. Gas ini bisa dihasilkan secara alami di alam dan juga bisa diakibatkan oleh pencemaran. Dibandingkan gas lainnya, gas CO₂ paling banyak terkandung dalam atmosfer. GRK bisa dihasilkan di antaranya asap pabrik, transportasi, kegiatan pertanian, peternakan dan yang paling

dominan adalah kebakaran hutan (Sinthiya & Kusnadi, 2018). Gas CO₂ yang dihasilkan dari kebakaran hutan dilepaskan ke atmosfer dan berdampak pada perubahan iklim global. Studi oleh MacCarthy et al., (2024) menunjukkan bahwa 7,8 juta hektar hutan yang terbakar menyumbangkan 3 milyar ton CO₂ (Martono & Komala, 2018). Kebakaran hutan secara global telah berkontribusi sebanyak 7,3 milyar sejak tahun 2000 hingga tahun 2020 (Liu et al., 2023). Maka dari itu, distribusi spasial gas CO₂ yang dihasilkan dari kebakaran hutan di Provinsi Jambi perlu dikaji untuk memahami dampaknya terhadap lingkungan lokal dan global.

Fenomena El Nino juga dapat merubah pola pergerakan angin yang melintasi ekuator pada sirkulasi *walker* dan *zonal* normal (Dong et al., 2024). Pergerakan angin ini dapat menambah potensi kebakaran dan penyebaran kebakaran (Fangrong et al., 2024). Oleh karena itu, penting untuk menganalisis bagaimana kondisi iklim ekstrem ini berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO₂ dan pola distribusinya di atmosfer.

Penelitian ini penting untuk mengidentifikasi wilayah dengan konsentrasi CO₂ tinggi yang dipengaruhi oleh kebakaran hutan dan fenomena iklim tersebut, sehingga dapat digunakan sebagai dasar untuk mitigasi dan adaptasi perubahan iklim di masa depan dengan cara melakukan konservasi hutan dan aktivitas manusia yang menyebabkan perubahan iklim akibat pembakaran hutan (Liu et al., 2023; Roy, 2020). Studi ini bertujuan untuk menganalisis kontribusi kebakaran hutan terhadap distribusi spasial gas CO₂ di Provinsi Jambi terkait dengan fenomena El Nino. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi bagi kebijakan pemerintah dalam penanggulangan kebakaran hutan dan pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Provinsi Jambi yang secara geografis berada pada koordinat antara 0,45° – 2,45° Lintang Selatan dan antara 101,10° – 104,55° Bujur Timur. Titik lokasi penelitian terdiri dari 11 Kabupaten/Kota, yaitu Kota Jambi, Kota Sungai Penuh, Kabupaten Muaro Jambi, Kabupaten Tebo, Kabupaten Bungo, Kabupaten Sarolangun, Kabupaten Kerinci, Kabupaten Bangko, Kabupaten Merangin, Kabupaten Tanjung Jabung Barat, dan Kabupaten Tanjung Jabung Timur. Pengambilan semua wilayah sebagai daerah penelitian untuk melihat distribusi emisi gas CO₂ di seluruh wilayah Provinsi Jambi yang diakibatkan oleh kebakaran hutan di tahun *El Nino* Tahun 2015 dan Tahun 2019 bersumber dari hotspot pantauan sensor modis (Satelit *Terra Aqua*) dan *Suomi NPP*.

Data penelitian menggunakan data emisi gas CO₂, sebaran titik panas (hotspot) dan data angin ketinggian 1000 milibar. Data CO₂ menggunakan data sekunder dari tahun 2013 – tahun 2020, sumber data diperoleh dari *CAMS global greenhouse gas reanalysis (EGG4) (copernicus.eu)*. Data hotspot diperoleh dari data dokumentasi Stasiun Meteorologi BMKG Jambi yang bersumber dari data Dinas Kehutanan Provinsi Jambi tahun 2015 dan tahun 2019 dengan tingkat kepercayaan >50%. Data angin diambil dari data satelit NOAA dari tahun 2013 – tahun 2020. Data CO₂ dan angin diolah menggunakan *software Grid Analysis Display Sistem (GrADS)* dengan resolusi spasial 0,05 x 0,05. Selanjutnya data dianalisis dan ditampilkan menggunakan sistem informasi geografis (SIG) secara visual menggunakan *ArcGis 10.8*. GIS sangat relevan digunakan untuk menampilkan hasil model dari kebakaran hutan (El Mazi et al., 2024). Kontribusi kebakaran hutan dianalisis menggunakan pola distribusi CO₂ yang merujuk pada sebaran titik hotspot dan arah angin permukaan yang terjadi selama Tahun 2015 dan Tahun 2019. Sebaran CO₂ menggambarkan wilayah emisi dan wilayah serapan yang ditentukan oleh nilai anomali dari Gas CO₂. Anomali diperoleh dari selisih nilai emisi bulan yang dicari dengan nilai mean emisi seluruh data. Nilai anomali yang diperoleh mengindikasikan dua wilayah, yaitu jika anomali positif maka dinyatakan sebagai wilayah emisi dan sebaliknya jika mengalami anomali negatif disebut sebagai wilayah serapan (Golkar & Mousavi, 2022).

Hasil Penelitian dan Pembahasan

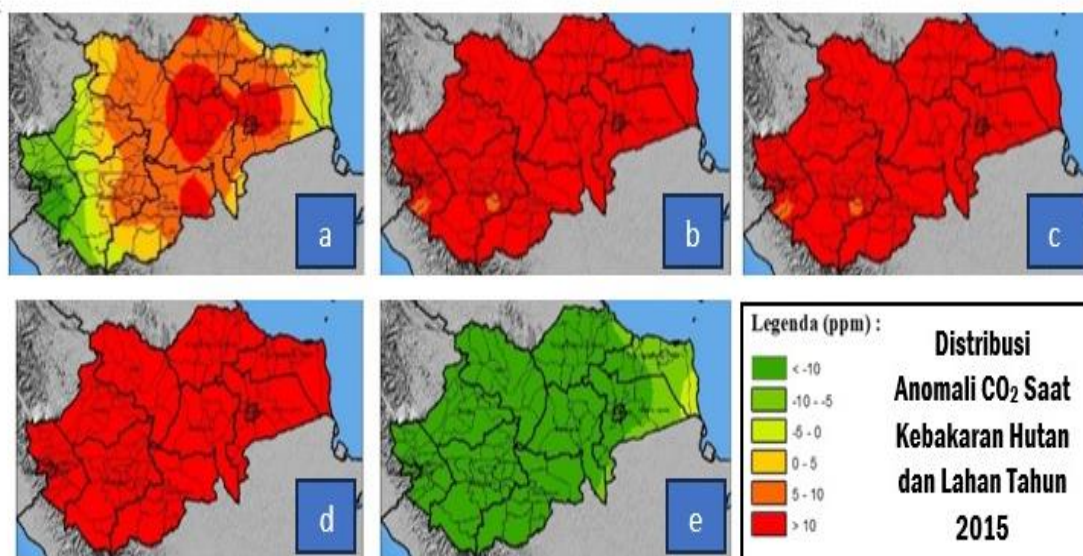
Kebakaran hutan terjadi di beberapa daerah di Provinsi Jambi yang menyisakan gas-gas hasil asap dari kebakaran hutan tersebut. Tahun 2015 mengalami fase fenomena *El Nino* lemah hingga kuat, sedangkan pada tahun 2019 terjadi fase *El Nino* lemah (Yuniasih et al., 2023). Fenomena ini mengakibatkan kemarau yang panjang dan kurangnya curah hujan sehingga menimbulkan dampak kekeringan ekstrem di Indonesia terutama Provinsi Jambi. Walaupun dampaknya tidak sama besar namun tetap menjadi pemicu terjadinya kebakaran hutan (Pan et al., 2018). Kejadian kebakaran hutan dan lahan tahun 2019 tidak separah kejadian kebakaran hutan tahun 2015. Pada tahun 2015 *El Nino* memiliki intensitas yang sangat kuat dengan nilai anomali suhu permukaan laut 2,57 (Malinda Hidayat et al., 2018). Sementara kejadian *El Nino* tahun 2019 tergolong kejadian lemah (Molle & Larasati, 2020).

Artikel ini memaparkan bagaimana pola distribusi gas CO₂ saat terjadinya kebakaran di tahun 2015 sebagai studi kejadian *El Nino* yang dikaitkan dengan titik hotspot dan pola penyebaran angin permukaan 1000 mb. Gas ini memiliki konsentrasi yang berbeda di setiap tutupan lahan, dimana Provinsi Jambi memiliki 16 jenis tutupan lahan yang berbeda di setiap wilayah. Konsentrasi CO₂ yang tertinggi berada pada daerah pertanian lahan kering campur dengan konsentrasi 662,3 ppm dan daerah transmigrasi dengan konsentrasi 663,7 ppm. Sementara konsentrasi CO₂ yang paling rendah adalah daerah dengan tutupan hutan mangrove sekunder dan hutan rawa sekunder.

Distribusi CO₂ Tahun 2015

Penyebaran gas rumah kaca terkait *El Nino* dalam penelitian ini mengambil contoh tahun 2015 yang dipilih sesuai dengan tahun kejadian *El Nino*. Pemilihan tahun ini terkait dengan kejadian kebakaran terparah di Provinsi Jambi 10 tahun terakhir. Hal ini terkait terjadinya *El Nino* kuat dengan anomali suhu permukaan laut di atas 2°C (Yuniasih et al., 2023) yang dimulai pada Bulan Juli 2015. Sementara itu penyebaran gas rumah kaca yang dikaitkan dengan angin permukaan bertujuan untuk melihat pola penyebaran distribusi dengan arah angin saat kejadian *El Nino*.

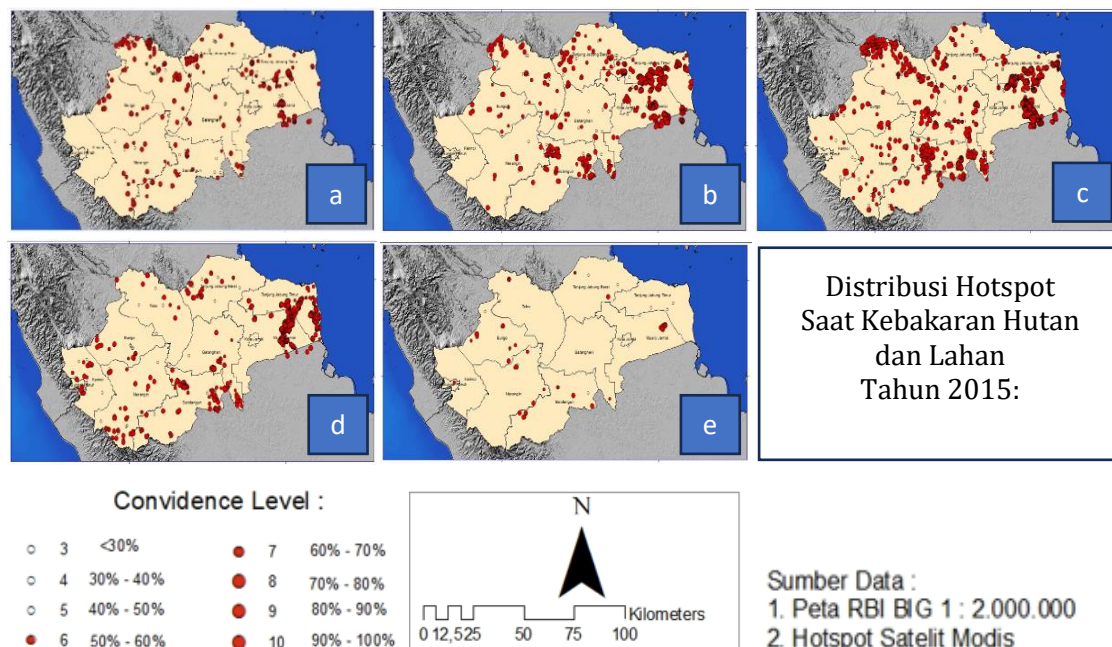
Anomali GRK dibuat berdasarkan selisih antara nilai GRK pada bulan bersangkutan terhadap nilai reratanya. Jika suatu wilayah mengalami anomali positif maka dinyatakan sebagai wilayah emisi dan sebaliknya jika mengalami anomali negatif disebut sebagai wilayah serapan (Golkar & Mousavi, 2022). Anomali Gas CO₂ saat kejadian *El Nino* tahun 2015 ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Distribusi Anomali CO₂ Saat Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2015: (a) Juli, (b) Agustus, (c) September, (d) Oktober, (e) November

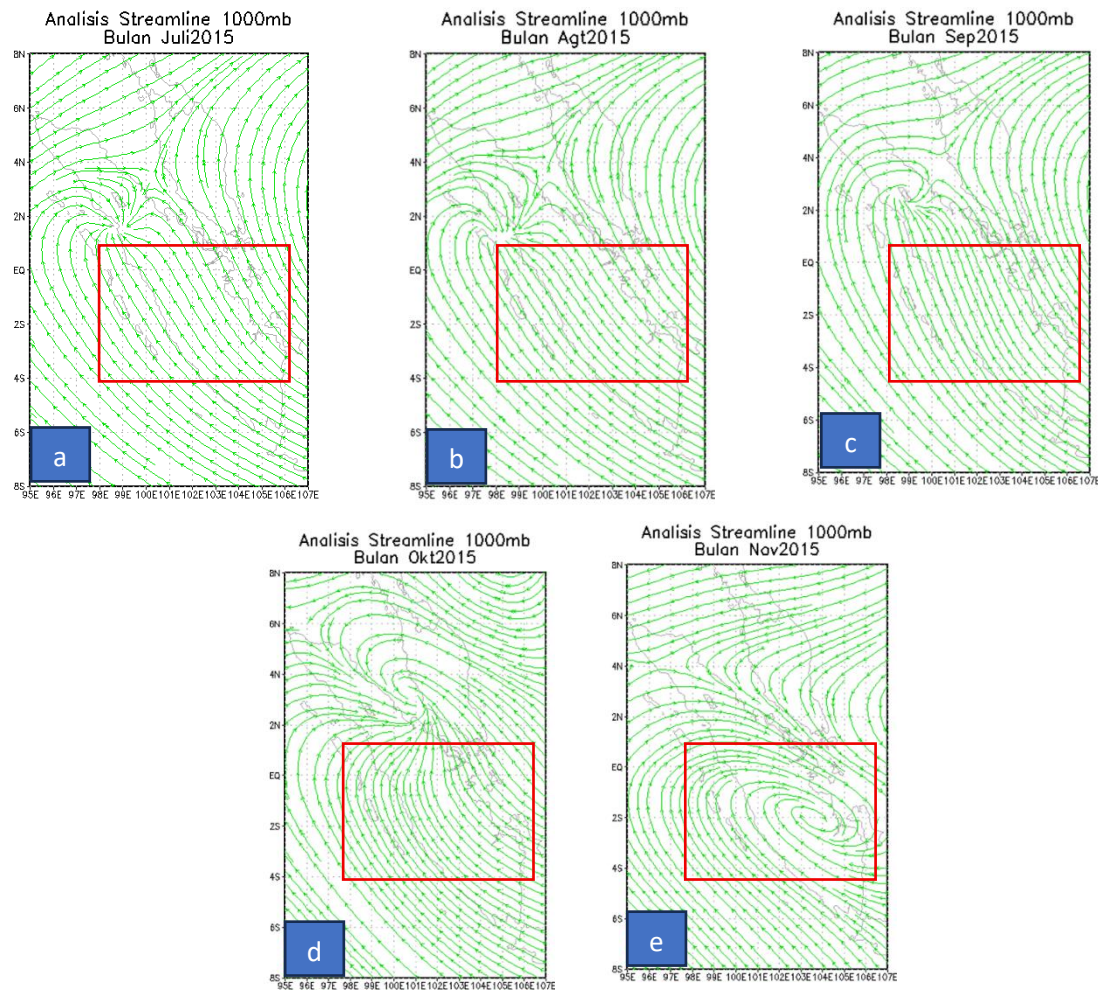
Gambar 1 menunjukkan terjadinya emisi CO₂ yang sangat tinggi. Terlihat pada Bulan Juli peningkatan CO₂ sudah mulai tinggi terutama wilayah sekitar Kota Jambi dengan nilai konsentrasi 5 – 10 ppm. Namun wilayah bagian barat Provinsi Jambi sekitar Kabupaten Kerinci masih menjadi daerah serapan dengan nilai <10 ppm. Pola ini mengikuti titik hotspot kebakaran hutan di wilayah Provinsi Jambi (Gambar 2). Nilai konsentrasi CO₂ semakin tinggi pada bulan Agustus hingga bulan Oktober dengan nilai konsentrasi >10 ppm. Pada Bulan November nilai konsentrasi CO₂ sudah berkurang hingga -10 ppm yang menandakan terjadi penyerapan CO₂ di Provinsi Jambi. Emisi CO₂ saat kejadian *El Nino* tahun 2015 lebih tinggi dibandingkan emisi tahun 2019. Hal ini disebabkan karena pengaruh *El Nino* di Tahun 2015 yang tergolong kuat dibandingkan dengan kejadian *El Nino* lemah di Tahun 2019 (Malinda Hidayat et al., 2018; Molle & Larasati, 2020).

Sebaran nilai anomali CO₂ diakibatkan juga oleh kejadian kebakaran yang terjadi di tahun 2015 dan tahun 2019. Distribusi hotspot kejadian kebakaran hutan di wilayah Provinsi Jambi tahun 2015 diperlihatkan pada gambar 2. Kebakaran hutan dan lahan telah terlihat sejak Bulan Juli, dimana hampir semua wilayah di Provinsi Jambi mengalami kebakaran hutan kecuali daerah Kabupaten Kerinci. Hal ini terlihat dari titik-titik hotspot yang tersebar di semua wilayah. Pada bulan ini pengaruh *El Nino* dikurangi oleh kejadian IOD negatif sehingga sebagian daerah bagian barat termasuk Kerinci masih mengalami curah hujan dengan intensitas ringan yang berkurang pada bulan berikutnya akibat tingginya suhu permukaan laut di Pasifik bagian timur (Yananto et al., 2016). Kebakaran terparah terjadi pada bulan September dengan titik hotspot terbanyak di Kabupaten Sarolangun, Tebo dan Muaro Jambi. Pada Bulan November titik api sudah mulai berkurang.



Gambar 2. Distribusi Hotspot Saat Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2015: (a) Juli, (b) Agustus, (c) September, (d) Oktober, (e) November

Fenomena IOD negatif yang terjadi pada tahun 2015 yang mengurangi pengaruh *El Nino* sehingga aliran angin masih terlihat ke arah barat yang berpusat di bagian bawah Sumatera pada bulan Juli dan September. Pembelokan arah sirkulasi terlihat pada bulan Oktober.



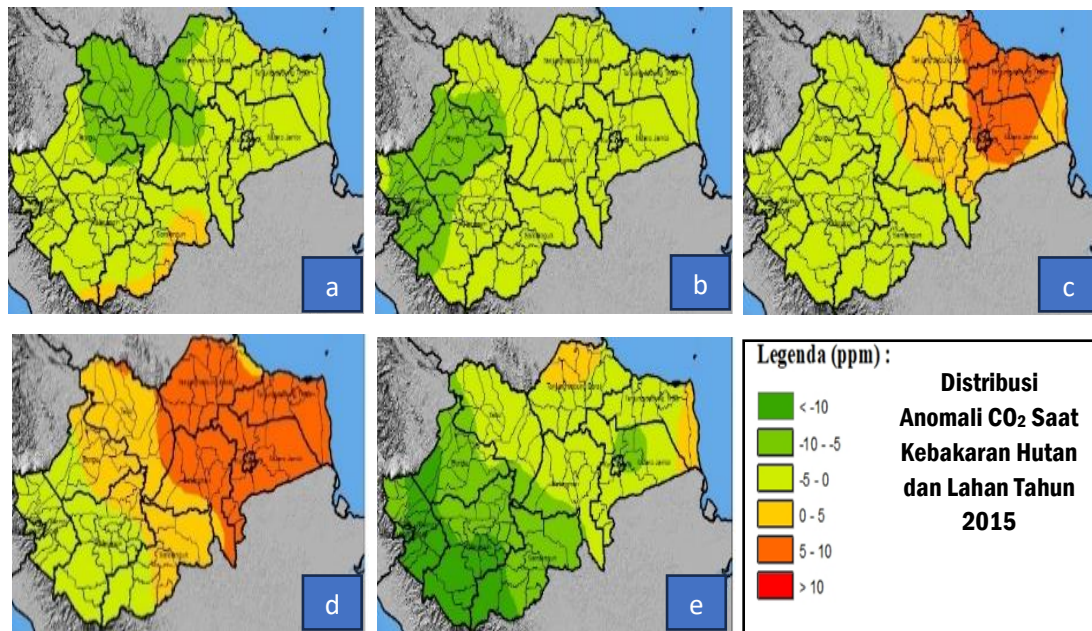
Gambar 3. Arah Angin Permukaan Saat Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2015: : (a) Juli, (b) Agustus, (c) September, (d) Oktober, (e) November

Pola pergerakan angin di Tahun 2015 ini mendukung pola penyebaran titik api (Fangrong et al., 2024) dan tingkat ketinggian distribusi gas CO₂. Bulan Juli hingga Agustus terdapat pusat tekanan rendah di Samudera Hindia bagian timur di sekitar Sumatera akibat bersamaan dengan fenomena IOD negatif sehingga menimbulkan hujan dengan intensitas ringan (Yuniasih et al., 2023).

Distribusi CO₂ Tahun 2019

Anomali Gas CO₂ saat kejadian *El Nino* lemah tahun 2019 ditunjukkan pada gambar 4. Dari gambar terlihat adanya wilayah emisi di bagian timur sampai ke tengah Provinsi Jambi khususnya pada bulan September dan Oktober tahun 2019. Sedangkan wilayah tengah ke barat dari Provinsi Jambi masih menjadi wilayah serapan CO₂ dengan anomali positif. Wilayah emisi CO₂ pada bulan September dan Oktober tahun 2019 bersesuaian dengan

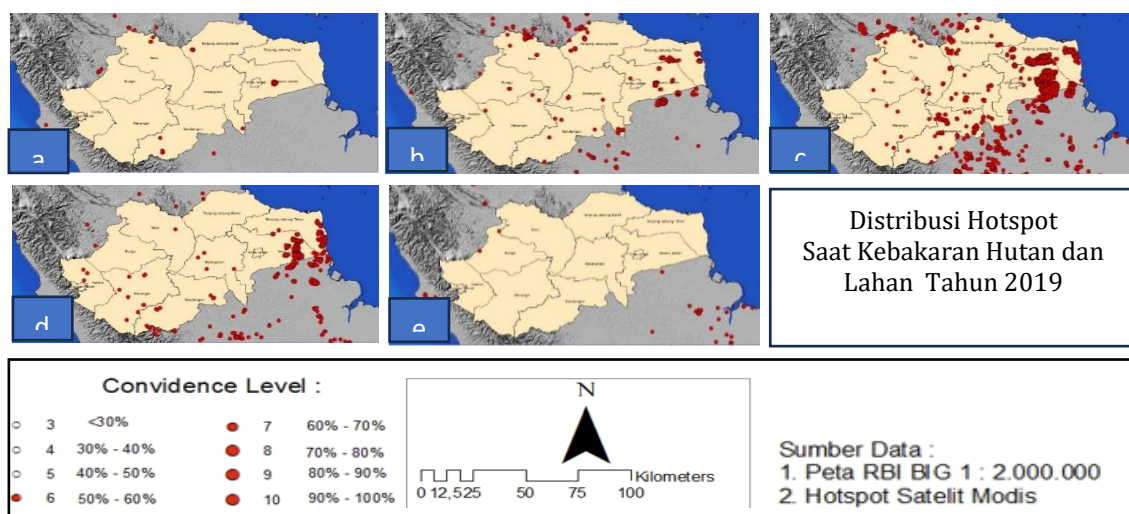
emisi hotspot yang merupakan salah satu indikator terjadinya kebakaran hutan dan lahan di Provinsi Jambi.



Gambar 4. Distribusi Anomali CO₂ Saat Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2019: (a) Juli, (b) Agustus, (c) September, (d) Oktober, (e) November

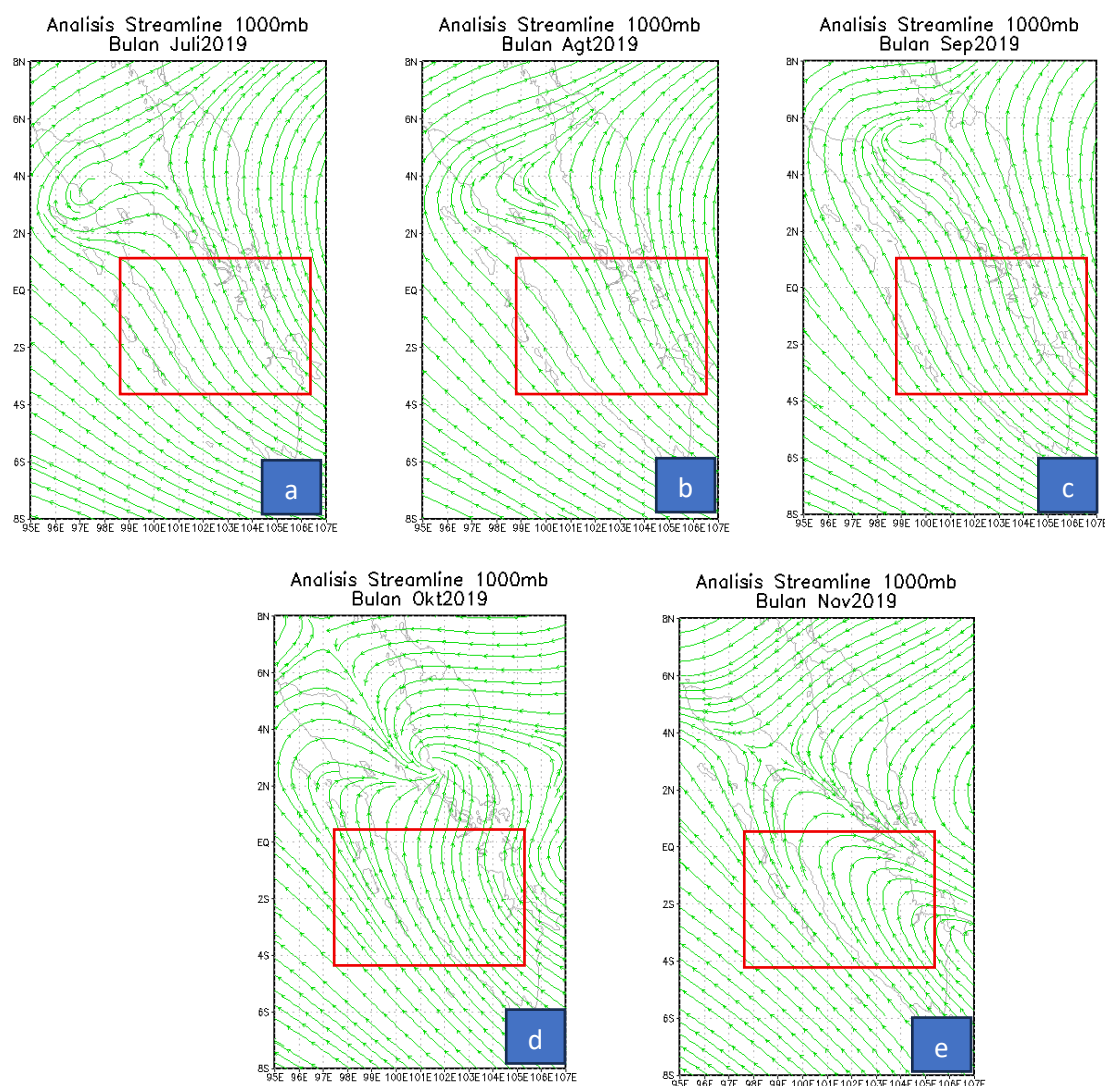
Distribusi hotspot kejadian kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2019 diperlihatkan pada gambar 5. Kejadian kebakaran hutan dan lahan tahun 2019 tidak separah kejadian kebakaran hutan tahun 2015. Pada 2015 *El Nino* memiliki intensitas yang sangat kuat dengan nilai anomali suhu permukaan laut 2,57 (Malinda Hidayat et al., 2018). Sementara kejadian *El Nino* tahun 2019 tergolong kejadian lemah (Molle & Larasati, 2020).

Secara temporal, emisi CO₂ di Provinsi Jambi saat terjadi kebakaran hutan dan lahan pada tahun 2019 mengikuti pola sebaran hotspot. Namun terjadi *lag* antara puncak kejadian hotspot yang terjadi di bulan September 2019 dengan puncak emisi CO₂ yang terjadi di bulan Oktober 2019. Hal ini dimungkinkan karena adanya penumpukan CO₂ di Provinsi Jambi akibat belum terjadinya hujan pada bulan Oktober.



Gambar 5. Distribusi Hotspot Saat Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2019: : (a) Juli, (b) Agustus, (c) September, (d) Oktober, (e) November

Disamping itu, arah sebaran CO₂ yang cenderung ke utara dan sedikit ke barat sesuai dengan pola angin permukaan pada periode Juli-November 2019 yang berasal dari tenggara menuju barat laut – utara (Gambar 6).



Gambar 6. Arah Angin Permukaan Saat Kebakaran Hutan dan Lahan Tahun 2019: : (a) Juli, (b) Agustus, (c) September, (d) Oktober, (e) November

Gas CO₂ di Provinsi Jambi terus mengalami tren peningkatan dari tahun ke tahun, hal ini terlihat dari analisis tren pada salah satu grid (lon = 103.00; lat = 3.00) dimana terjadi peningkatan yang signifikan sejak tahun 2013 hingga 2020. Hal ini juga sama dengan Kototabang Bukittinggi yang mencapai 0.1306 ppm kenaikan per bulan selama tahun 2005–2011. Peningkatan yang terjadi di Indonesia lebih rendah daripada rata-rata kenaikan CO₂ secara global (Komalasari et al., 2019). Peningkatan gas CO₂ di atmosfer akibat kebakaran

hutan dapat menambah efek gas rumah kaca dan mengganggu kesehatan manusia (Sitanggang et al., 2024).

Kesimpulan

Analisis data yang telah dilakukan memberikan kesimpulan bahwa gas rumah kaca di Provinsi Jambi yang diamati pada penelitian ini khususnya untuk gas karbon dioksida (CO₂). Distribusi Gas CO₂ secara spasial terjadi dengan konsentrasi gas berkisar antara 620-680 ppm. Pola sebaran CO₂ dengan emisi terendah terjadi di bagian timur meningkat ke arah barat hingga mencapai emisi tertinggi di bagian barat sekitar Kabupaten Bungo dan Kabupaten Tebo. Distribusi sebaran CO₂ di setiap kabupaten Provinsi Jambi mengikuti distribusi kebakaran hutan yang terjadi baik di saat terjadinya fenomena *El Nino* lemah tahun 2019 maupun fenomena *El Nino* kuat di tahun 2015. Namun pola angin yang terjadi baik tahun 2015 tidak terlalu mendukung pola penyebaran titik api yang disebabkan adanya kejadian IOD negatif ditahun itu. Konsentrasi gas CO₂ ini juga bervariasi dari jenis tutupan lahan yang ada, dimana wilayah transmigrasi dan wilayah hutan menjadi daerah dengan konsentrasi CO₂ tertinggi, sementara hutan rawa sekunder dan hutan rawa mangrove memiliki konsentrasi paling rendah. Sehingga dalam rangka mengurangi konsentrasi CO₂ ini dapat dilakukan dengan menggalakkan penanaman hutan termasuk hutan mangrove.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami disampaikan kepada LPPM UIN Sulthan Thaha Saifuddin Jambi yang telah memberikan dana dan pihak-pihak terkait yang telah membantu demi terlaksananya penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Ahmad, F., & Goparaju, L. (2019). Forest Fire Trend and Influence of Climate Variability in India: A Geospatial Analysis at National and Local Scale. *Ekologia Bratislava*, 38(1), 49–68. <https://doi.org/10.2478/eko-2019-0005>
- Arrafi, M., Somantri, L., Ridwana, R., Sensing, R., Ratio, B., & Panas, T. (2022). Pemetaan Tingkat Keparahan Kebakaran Hutan dan Lahan Menggunakan Algoritma Normalized Burn Ratio (NBR) Pada Citra Landsat 8 di Kabupaten Muaro Jambi. *Jurnal Geosains Dan Remote Sensing (JGRS)*, 3(1), 10–19.
- Carvalho, T. C., Wittmann, F., Piedade, M. T. F., Resende, A. F. de, Silva, T. S. F., & Schöngart, J. (2021). Fires in Amazonian Blackwater Floodplain Forests: Causes, Human Dimension, and Implications for Conservation. *Frontiers in Forests and Global Change*, 4. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2021.755441>
- Direktorat Pengendalian Kebakaran Hutan dan Lahan, Direktorat Jenderal Pengendalian Perubahan Iklim, & Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2024). *Sistem Pemantauan Karhutla*. 2023.
- Dong, X., Chen, H., Zhou, Y., Hsu, P. C., & Zhang, W. (2024). Disentangling the Complexities of How Underlying Surface Thermal Factors Influence July Precipitation in Eastern China. *Journal of Climate*, 37(19), 5105–5129. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-23-0748.1>
- Eilenberg, M. (2022). The Last Enclosure: Smoke, Fire and Crisis on The Indonesian Forest Frontier. *Journal of Peasant Studies*, 49(5), 969–998. <https://doi.org/10.1080/03066150.2021.1907355>
- El Mazi, M., Boutallaka, M., Saber, E.-R., Chanyour, Y., & Bouhlal, A. (2024). Forest fire risk modeling in Mediterranean forests using GIS and AHP method: case of the high Rif forest massif (Morocco). *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration*, 9(3), 1109–1123.

- Fangrong, Z., Yuning, G., Guochao, Q., Yi, M., & Guofang, W. (2024). Multi-factor coupled forest fire model based on cellular automata. *Journal of Safety Science and Resilience*, 5(4), 413–421.
- Golkar, F., & Mousavi, S. M. (2022). Variation of XCO₂ anomaly patterns in the Middle East from OCO-2 satellite data. *International Journal of Digital Earth*, 15(1), 1218–1234. <https://doi.org/10.1080/17538947.2022.2096936>
- Hidayat, A., Sitanggang, I. S., & Syaufina, L. (2024). Classification of forest and land fire severity levels using convolutional neural network. *BIO Web of Conferences*, 123. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202412301030>
- Jeong, Y. C., Yeh, S. W., Lim, Y. K., Santoso, A., & Wang, G. (2022). Indian Ocean warming as key driver of long-term positive trend of Arctic Oscillation. *Npj Climate and Atmospheric Science*, 5(1). <https://doi.org/10.1038/s41612-022-00279-x>
- Jo, H. S., Ham, Y. G., Kug, J. S., Li, T., Kim, J. H., Kim, J. G., & Kim, H. (2022). Southern Indian Ocean Dipole as a trigger for Central Pacific El Niño since the 2000s. *Nature Communications*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34721-8>
- Komalasari, K. E., Dayantolis, W., & Okaem, T. T. (2019). Studi Tren Kenaikan CO₂ Hasil Pengukuran pada GAW Bukit Kototabang dan Perbandingannya dengan Data Global. *Megasains*, 10(2), 16–23. www.r-project.org
- Liu, Z., He, H., Xu, W., Liang, Y., Zhu, J., Wang, G. G., Wei, W., Wang, Z., & Han, Y. (2023). Impacts of Forest Fire Carbon Emission and Mitigation Strategies. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 38(10), 1552–1560.
- MacCarthy, J., Tyukavina, A., Weisse, M. J., Harris, N., & Glen, E. (2024). Extreme Wildfires in Canada and Their Contribution to Global Loss in Tree Cover and Carbon Emissions in 2023. *Global Change Biology*, 30(6).
- Malinda Hidayat, A., Efendi, U., Agustina, L., Agus Winarso, P., Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, S., Perhubungan No, J. I., Pondok Betung, K., Pondok Aren, K., & Selatan, T. (2018). Korelasi Indeks Nino 3.4 dan Southern Oscillation Index(SOI) Dengan Variasi Curah Hujan di Semarang. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 19(2), 75–81. www.bom.gov.au
- Martono, M., & Komala, N. (2018). Concentration Conditions of Carbon Dioxide in Bukittinggi During the Event of El Niño 2015. *JKPK (Jurnal Kimia Dan Pendidikan Kimia)*, 3(3), 118. <https://doi.org/10.20961/jkpk.v3i3.24860>
- Molle, B. A., & Larasati, A. F. (2020). Analisis Anomali Pola Curah Hujan Bulanan Tahun 2019 Terhadap Normal Curah Hujan (30 Tahun) di Kota Manado dan Sekitarnya. *Jurnal Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika*, 7(1). <https://web.meteo.bmkg.go.id/id>
- Pan, X., Chin, M., Ichoku, C. M., & Field, R. D. (2018). Connecting Indonesian Fires and Drought With the Type of El Niño and Phase of the Indian Ocean Dipole During 1979–2016. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(15), 7974–7988. <https://doi.org/10.1029/2018JD028402>
- Pasta Dewanti, Y., Adriat, R., & Hadari Nawawi, J. (2018). *Pengaruh El Niño Southern Oscillation (ENSO) Terhadap Curah Hujan di Kalimantan Barat*. 6(3), 145–151. www.noaa.gov/data/indices/
- Roy, D. (2020). ‘On the Horns of a Dilemma’! Climate Change, Forest Conservation and the Marginal People in Indian Sundarbans. *Forum for Development Studies*, 47(2), 307–326. <https://doi.org/10.1080/08039410.2020.1786452>
- Sinthiya, I. A. P. A., & Kusnadi, D. (2018). Analisis Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dan Pemetaan Zona Emisi Menggunakan GIS (Geospasial Information System) di Kabupaten Pringsewu, Lampung. *Explore: Jurnal Sistem Informasi Dan Telematika*, 9(2). <https://doi.org/10.36448/jsit.v9i2.1078>

- Sitanggang, I. S., Apriliantono, Syaufina, L., Agmalaro, M. A., & Khotimah, H. (2024). Haze Trajectory Simulation System from Forest and Land Fires in Indonesia Using HYSPLIT. *Environment and Ecology Research*, 12(1), 54–65. <https://doi.org/10.13189/eer.2024.120106>
- Tenzin, K., Nitschke, C. R., Allen, K. J., Krusic, P. J., Cook, E. R., Nguyen, T. V., & Baker, P. J. (2024). Climate and Humans Interact to Shape the Fire Regime of a Chir Pine (*Pinus Roxburghii*) Forest in Eastern Bhutan. *Fire Ecology*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s42408-024-00275-x>
- Yananto, A., Dewi, S., Besar Teknologi Modifikasi Cuaca -Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, B., Ir Mohammad Soebagio, G., Puspipetek, K., Selatan, T., Sumatera Selatan dan Kalimantan Tengah Kata Kunci, P., Nino, E., Permukaan Laut, S., Wind, Z., Curah Hujan, A., & Api, T. (2016). Analysis of the 2015 El Nino Event and Its Influence on the Increase of Hotspots in Sumatera and Kalimantan. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 17(1), 11.
- Yuniasih, B., Harahap, W. N., & Wardana, D. A. S. (2023). Anomali Iklim El Nino dan La Nina di Indonesia pada 2013-2022. *AGROISTA : Jurnal Agroteknologi*, 6(2), 136–143. <https://doi.org/10.55180/agi.v6i2.332>