

Analisis Kebakaran Hutan dan Lahan serta Emisi Karbon dan Gas Rumah Kaca terhadap Perubahan Iklim di Indonesia

Kudus Kurniawan

Fakultas Lingkungan, Universitas Indonesia, Gedung SIL-SKSG Lt. 3, Universitas Indonesia Salemba, Jalan Salemba Raya No. 4, Jakarta Pusat, Indonesia 10430
Email kudus.kurniawan@gmail.com

Jatna Supriatna

Fakultas Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Gedung SIL-SKSG Lt. 3, Universitas Indonesia Salemba, Jalan Salemba Raya No. 4, Jakarta Pusat, Indonesia 10430.
Lembaga Ilmu Pengetahuan Bumi dan Sumber Daya Berkelanjutan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia Email: jatna.supriatna@gmail.com

Jan Sapoheluwakan

Lembaga Ilmu Pengetahuan Bumi dan Sumber Daya Berkelanjutan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia Email: jan.sapoheluwakan@gmail.com

Tri Edhi Budhi Soesilo

Fakultas Ilmu Lingkungan, Universitas Indonesia, Gedung SIL-SKSG Lt. 3, Universitas Indonesia Salemba, Jalan Salemba Raya No. 4, Jakarta Pusat, Indonesia 10430 Email: soesilo@indo.net.id

Sri Mariati

Sekolah Tinggi Pariwisata Trisakti, Jakarta, Indonesia Email: srimariati@stpttrisakti.ac.id

Gigit Gunarso

Yayasan Belantara, Jakarta, Indonesia Email: gigitgunarso@gmail.com

Fatimah

Lembaga Ilmu Pengetahuan Bumi dan Sumber Daya Berkelanjutan, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Indonesia Email: fatimahjannnah9@gmail.com

Akibat kebakaran hutan dan lahan serta berbagai emisi industri, perubahan iklim telah menjadi isu besar saat ini. Artikel ini membahas dampak kebakaran hutan dan lahan, emisi karbon dioksida (CO₂), emisi gas rumah kaca (GRK), pertumbuhan penduduk, dan industrialisasi terhadap perubahan iklim di Indonesia. Artikel ini mengumpulkan data statistik dari tahun 1991 hingga 2020 dengan menggunakan World Development Indicators (WDI) dan Statista. Para peneliti menggunakan Auto-regressive Distributed Lags (DARDL) yang dinamis untuk memeriksa hubungan antara komponen-komponen studi. Kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi gas rumah kaca, ekspansi populasi, dan industrialisasi secara positif terkait dengan perubahan iklim di Indonesia. Laporan ini memberikan saran kepada para pembuat kebijakan untuk merumuskan kebijakan perubahan iklim dengan menggunakan data kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, dan GRK.

Kata-kata kunci: Kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi GRK, pertumbuhan penduduk, industrialisasi, perubahan iklim di Indonesia.

1. PENDAHULUAN

Selama beberapa dekade terakhir, salah satu masalah paling signifikan di dunia adalah memerangi perubahan iklim untuk melindungi generasi mendatang dari dampak buruknya. Sebagai akibat dari pemanasan global, suhu global meningkat dengan cepat (Kriksen et al., 2021; Venäläinen et al., 2020). Pergeseran suhu ini berdampak pada lapisan ozon dalam bentuk kematian manusia, yang sebanding dengan gelombang panas. Ada beberapa penyebab perubahan iklim, termasuk polusi, pembangkitan energi dari sumber daya tradisional (seperti bahan bakar fosil dan batu bara), kebakaran hutan, dan industrialisasi. Tindakan mendesak diperlukan dalam bentuk produksi energi dari sumber daya terbarukan, investasi dalam proyek-proyek energi hijau, dan mengurangi penggunaan bahan kimia dalam industri untuk mengurangi dampak buruk perubahan iklim. Populasi dan pembangunan Indonesia sangat terpengaruh oleh perubahan iklim dan implikasi lingkungannya. Berkat kebijakan ekonomi yang baik dan stabilitas politik, ekonomi Indonesia telah berkembang pesat selama dua dekade terakhir. Perubahan iklim telah membuat tujuan

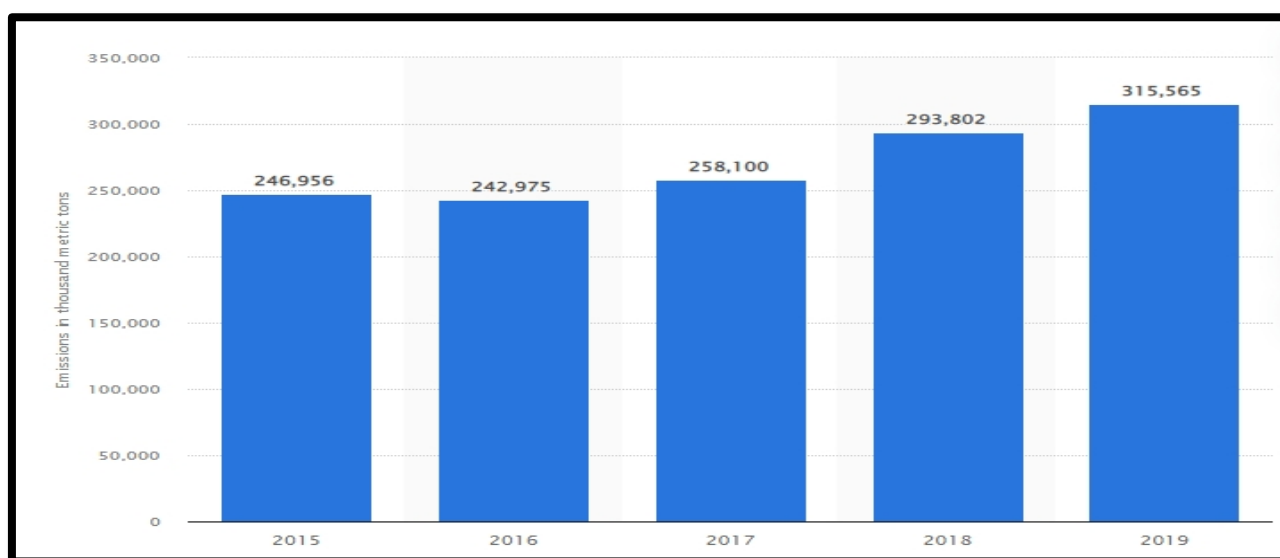
pembangunan untuk negara berkembang menjadi lebih menantang. Indonesia sudah mengalami dampak negatif dari perubahan iklim akibat seringnya terjadi gelombang panas dan banjir (Nawaz et al., 2020; Shair et al., 2021). Jika dampak ini terus berlanjut dan meningkat di Indonesia, maka ancaman terhadap tantangan pembangunan Indonesia akan meningkat. Pada bulan Desember 2007, ketika pemerintah Indonesia menjadi tuan rumah Konferensi Perubahan Iklim Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) di Bali, perubahan iklim di Indonesia juga menarik perhatian dunia internasional. Sekitar 10.000 orang menghadiri pertemuan tersebut untuk membahas keprihatinan Indonesia dan dunia terhadap perubahan iklim (Abram et al., 2021; Sesana et al., 2021).

Indonesia adalah negara kepulauan terbesar di dunia, dengan lebih dari 17.500 pulau dan lebih dari 81.000 kilometer (km) garis pantai. Indonesia memiliki populasi 270,6 juta jiwa dan merupakan negara dengan ekonomi terbesar di Asia Tenggara hingga tahun 2019. (Halofsky et al., 2020; Iriyadi et al., 2021). Bentang alam, geologi, dan iklim pulau-pulau di Indonesia sangat beragam, mulai dari rawa gambut dan hutan pegunungan hingga sistem laut dan pesisir. Indonesia sangat rentan terhadap

konsekuensi dari perubahan iklim, yang mencakup kejadian bencana seperti banjir dan kekeringan perubahan jangka panjang yang disebabkan oleh kenaikan permukaan air laut, perubahan pola curah hujan, dan kenaikan suhu (Parks et al., 2020; Wang et al., 2020). Terkait risiko iklim, Indonesia berada di peringkat tiga besar negara yang paling rentan terhadap semua jenis banjir dan suhu ekstrem (Heinrich et al., 2021; Xu et al., 2020). Diproyeksikan bahwa bahaya-bahaya ini akan menjadi lebih parah seiring dengan perubahan iklim. Tanpa adaptasi yang berhasil, kerentanan penduduk akan meningkat (Fonseca et al., 2019; Lucash et al., 2018). Antara tahun 2035 dan 2044, bencana banjir sungai dapat berdampak pada 1.400.000 orang. Indonesia merupakan negara terpadat kelima di dunia dalam hal kepadatan penduduk di pesisir dataran rendah, sehingga sangat rentan terhadap kenaikan permukaan laut. Tanpa adaptasi, lebih dari 4,2 juta orang akan tinggal di daerah yang terendam banjir secara permanen pada tahun 2070-2100. Ketersediaan air, pengurangan risiko bencana, pembangunan perkotaan,

terutama di daerah pesisir, dan kesehatan dan gizi juga diperkirakan akan terdampak oleh perubahan iklim, yang berdampak pada kemiskinan dan ketidaksetaraan. Emisi karbon dioksida merupakan salah satu penyebab utama perubahan iklim (Li, 2021; Rehman et al., 2022; Zhao et al., 2021). Gambar 1 menggambarkan emisi karbon di Indonesia.

Dampak mengerikan dari perubahan iklim, yang menandakan masa depan yang suram bagi generasi mendatang, merupakan salah satu kesenjangan penelitian masa lalu yang akan dibahas dalam penelitian ini. Meskipun dalam perlombaan untuk mencapai pertumbuhan ekonomi, banyak negara, terutama negara berkembang, mengabaikan degradasi lingkungan. Masalah ini harus ditinjau dari perspektif ekonomi dan lingkungan, seperti ekonomi dan emisi gas rumah kaca. Meskipun perubahan iklim telah dipelajari secara ekstensif, kombinasi faktor-faktor seperti karbon, emisi gas rumah kaca, industrialisasi, kebakaran hutan dan lahan, dan pertumbuhan ekonomi belum dieksplorasi.



Gambar 1. Emisi Karbon di Indonesia

Oleh karena itu, penelitian ini akan mengisi kesenjangan ini dengan menyelidiki perubahan iklim dari berbagai perspektif.

2) Zheng dkk. (2019) meneliti hubungan antara emisi gas rumah kaca dan perubahan iklim; namun, studi saat ini juga akan berfokus pada perubahan iklim, dengan penambahan emisi karbon, industrialisasi, kebakaran hutan dan lahan, serta pertumbuhan ekonomi di Indonesia, dengan menggunakan set data yang baru. 3) Meskipun berbagai persamaan yang berkaitan dengan perubahan iklim telah dieksplorasi, model yang terdiri dari perubahan iklim, emisi karbon, emisi gas rumah kaca, industrialisasi, kebakaran hutan dan lahan, serta pertumbuhan ekonomi belum pernah diuji sebelumnya, khususnya di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir. 4) Khan dkk. (2022) mempelajari hubungan antara perubahan iklim dan risiko karbon; namun, studi saat ini juga akan berfokus pada perubahan iklim, dengan tambahan industrialisasi, emisi gas rumah kaca, kebakaran hutan dan lahan, serta pertumbuhan ekonomi, dengan menggunakan set data yang baru. 5) Abram dkk. (2021) mempelajari pengaruh kebakaran hutan terhadap perubahan iklim.

Penelitian ini juga akan mengkaji topik tersebut dan menambahkan emisi karbon, industrialisasi, emisi gas rumah kaca, dan pertumbuhan ekonomi di Indonesia. 6) Jorgenson dkk. (2019) meneliti faktor pendorong perubahan iklim global; namun, penelitian ini juga akan mengkaji hasil penelitian mereka beserta emisi karbon dan gas rumah kaca dengan menggunakan sampel data yang baru. Signifikansi dari penelitian ini ada dua: 1) perubahan iklim merupakan salah satu isu yang paling mendesak saat ini, dan penyelesaian masalah ini sangat penting untuk melindungi generasi masa depan; oleh karena itu, penelitian ini akan menekankan pentingnya perubahan iklim bagi dunia; dan 2) penelitian ini juga akan membantu para profesional yang terkait dengan lingkungan dalam memahami dan merevisi kebijakan mereka untuk mengendalikan perubahan iklim.

2. Tinjauan Pustaka

Dunia sedang mengalami perubahan iklim yang cepat, yang kenaikan suhu global. Kenaikan suhu ini berdampak pada setiap elemen kehidupan, termasuk mencairnya

gletser, peningkatan kebutuhan energi, dan masalah kesehatan yang disebabkan oleh lapisan ozon He dkk. (2020); (Zheng dkk., 2019). Mempertimbangkan masa depan generasi berikutnya, dunia sangat mengkhawatirkan dampak bencana dari perubahan iklim (Breton et al., 2018; Rehman, Ma, & Ozturk, 2021). Emisi karbon merupakan salah kontributor utama dalam perubahan iklim (Chami et al., 2019; Zheng et al., 2019). Terkait hal ini, Khan dkk. (2022) mengeksplorasi apakah ada korelasi antara perubahan iklim dan risiko emisi karbon. Penelitian ini dilakukan terhadap 129 negara. Sebagai sampel, penelitian ini menggunakan data selama 30 tahun, dari tahun 1190 hingga 2020.

Data yang terkumpul diperiksa dengan menggunakan estimator GMM. Analisis menunjukkan bahwa ekonomi dengan tingkat pembangkitan dan konsumsi energi terbarukan yang lebih besar memiliki kapasitas yang lebih besar untuk memperlambat degradasi lingkungan dari waktu ke waktu dengan mengurangi total emisi karbon mereka. Dengan menggunakan pendekatan sistem GMM, korelasi ini dimodifikasi, dengan menyoroti pentingnya arus masuk FDI. Banyak faktor yang secara signifikan mempengaruhi perubahan iklim, termasuk budaya, ekonomi, dan sosial-budaya. Dalam konteks ini, Jorgenson dkk. (2019) melakukan kajian literatur tentang empat dimensi faktor budaya, ekonomi, geografis, politik, dan sosial-budaya yang dapat menyebabkan perubahan iklim meningkat atau menurun. temuan investigasi tersebut, keempat komponen tersebut secara signifikan berdampak pada perubahan iklim. Amazon merupakan salah satu hutan terluas di dunia.

Akibatnya, hutan menjadi salah satu penyerap karbon yang paling signifikan selama beberapa dekade terakhir. Penyerap karbon ini berkurang karena deforestasi. Gatti dkk. (2021) meneliti sumber daya karbon yang memengaruhi perubahan iklim dalam konteks ini. Penyelidikan Amazonia dilakukan di Amerika Serikat. Sebagai sampel, investigasi ini menggunakan informasi selama delapan tahun, dari 2010 hingga 2018. Data yang dikumpulkan dievaluasi menggunakan pengukuran AVP. Hasil analisis menunjukkan bahwa Amazonia bagian timur memiliki emisi karbon yang lebih tinggi dibandingkan wilayah barat, terutama perbedaan distribusi hasil kebakaran yang menghasilkan karbon monoksida. Secara khusus, Amazonia bagian tenggara berkontribusi terhadap sumber karbon bersih di atmosfer. Selama empat dekade terakhir, Amazonia bagian timur telah mengalami deforestasi, pemanasan, dan tekanan kelembaban yang lebih signifikan dibandingkan dengan bagian barat, terutama selama musim kemarau, dengan bagian tenggara mengalami perubahan yang paling drastis. Telah diamati bahwa, karena populasinya yang lebih banyak, kota-kota besar menghasilkan lebih banyak emisi karbon daripada kota-kota kecil. Produksi yang berlebihan ini berkontribusi negatif terhadap perubahan iklim. Terkait hal ini, Mi dkk. (2019) meneliti dampak emisi karbon perkotaan terhadap perubahan iklim. Penyelidikan tersebut dilakukan di Cina. Penelitian tersebut mengambil sampel dan menganalisis data dari tahun 2012 sebagai sampel yang representatif. Hasil analisis menunjukkan bahwa daerah perkotaan membutuhkan lebih banyak energi, yang biasanya berasal dari bahan bakar fosil. Produksi bahan bakar fosil menghasilkan emisi karbon, yang pada gilirannya menyebabkan perubahan iklim. Dalam beberapa tahun terakhir

Dalam beberapa dekade terakhir, kerusakan lingkungan telah menjadi salah satu masalah yang paling mendesak di dunia (Dino et al., 2019; Tarroja et al., 2018). Berbagai faktor, termasuk pembangkitan energi dari sumber daya tradisional, emisi karbon, dan emisi gas rumah kaca, berkontribusi terhadap fenomena ini. Penelitian ini mencoba untuk mengkaji hubungan antara perubahan iklim dan emisi gas rumah kaca (Tribouillois et al., 2018; Zhang et al., 2021). Zheng dkk. (2019) mempelajari apakah emisi gas rumah kaca berperan dalam perubahan iklim di lingkungan ini. Penelitian ini mencakup ekonomi G7 dan BRICS. Sebagai sampel, penelitian ini menggunakan data selama 37 tahun, dari tahun 1990 hingga 2017. Analisis komparatif digunakan untuk menganalisis data yang diperoleh.

Dibandingkan dengan negara-negara BRICS, emisi gas rumah kaca per kapita telah meningkat di negara-negara G7, temuan analisis. Intensitas energi, pertumbuhan ekonomi, dan faktor karbon merupakan faktor penentu utama peningkatan emisi gas rumah kaca per kapita di kedua kelompok negara tersebut. Faktor karbon, berdasarkan emisi gas rumah kaca per unit dari total pasokan energi langsung, mengukur intensitas karbon dari sektor energi suatu negara. Demikian pula, komunitas global berkewajiban untuk memberlakukan peraturan yang ketat untuk membatasi dampak perubahan iklim. Perjanjian Paris mengamanatkan hal ini untuk semua negara. Dalam konteks ini, Eskander dkk. (2020) meneliti emisi gas rumah kaca dari perspektif legislasi perubahan iklim. Penelitian ini dilakukan di 133 negara. Sebagai sampel, penelitian ini menggunakan informasi selama tujuh belas tahun, dari tahun 1999 hingga 2016. Data dianalisis dengan bantuan FMOLS. Menurut temuan penelitian, setiap undang-undang baru dapat mengurangi emisi karbon tahunan per unit PDB sebesar

0,78 persen dalam jangka pendek (selama tiga tahun pertama) dan sebesar 1,78 persen dalam jangka panjang (setelah tiga tahun). Peraturan perundang-undangan dan negara dengan sistem hukum yang kompeten menentukan hasilnya. Sebagai hasil dari pembatasan iklim yang ada, emisi Karbon Dioksida (CO_2) global pada tahun 2016 diturunkan sebesar 5,9 GtCO per tahun, yang lebih besar daripada produksi CO_2 Amerika Serikat pada tahun tersebut. Dari tahun 1999 hingga 2016, emisi CO_2 secara keseluruhan menurun sebesar 38 GtCO₂, setara dengan satu tahun produksi CO_2 global. Gas rumah kaca lainnya hanya mengalami sedikit penurunan. Jiang dkk. (2020) juga menyelidiki hubungan antara perubahan iklim dan emisi gas rumah kaca. Analisis tersebut menemukan bahwa pelepasan gas rumah kaca merupakan salah satu penyebab utama perubahan iklim.

Hutan menutupi sebagian besar permukaan dunia. Beberapa wilayah berada di bawah pengawasan ketat manusia. Namun, sebagian besar wilayah lainnya berada di luar jangkauan dan kendali manusia. Kebakaran hutan yang terjadi berulang kali, yang disebabkan oleh berbagai faktor, mengakibatkan kerugian yang tidak dapat dipulihkan, melepaskan emisi karbon dalam jumlah besar, dan kerusakan lingkungan (Ertugrul et al., 2021). Krisis kebakaran hutan Musim Panas Hitam di Australia tenggara pada tahun 2019-2020 belum pernah terjadi sebelumnya dalam hal jumlah hutan yang terbakar, intensitas radiasi api, dan frekuensi kebakaran yang luar biasa yang menjadi kebakaran hebat.

peristiwa konvektif. Karena tahun 2019 merupakan tahun terpanas dan terkering yang pernah tercatat di Australia, maka tanah di sana siap menghadapi kebakaran hutan ketika mengalami kondisi kebakaran dan penyalan yang berbahaya. [Abram dkk. \(2021\)](#) mempelajari apakah ada korelasi antara perubahan iklim dan kebakaran hutan dalam skenario ini.

Di Australia, investigasi dilakukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebakaran hutan merupakan salah satu kontributor paling signifikan terhadap perubahan iklim, karena kebakaran hutan mengeluarkan karbon dioksida dalam jumlah yang cukup besar, yang berdampak buruk terhadap iklim. Pada tahun 2018, terjadi insiden kebakaran di Swedia. Dalam konteks ini, [Krikken dkk. \(2021\)](#) meneliti hubungan antara perubahan iklim dan kebakaran hutan. Penelitian tersebut dilakukan di Swedia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebakaran hutan di Swedia pada tahun 2018 mengakibatkan keluarnya emisi karbon dalam jumlah yang cukup besar. Hasil karbon ini berkontribusi negatif terhadap perubahan iklim.

Demikian pula, [Michetti dkk. \(2019\)](#) meneliti hubungan antara kebakaran hutan dan perubahan iklim. Investigasi tersebut dilakukan di Italia. Sebagai sampel, investigasi ini menggunakan informasi yang mencakup sebelas tahun, dari tahun 2000 hingga 2011. Data yang terkumpul dianalisis dengan menggunakan teknik mutiara. Hasil analisis menunjukkan bahwa kebakaran hutan melepaskan karbon, yang berkontribusi terhadap kerusakan lingkungan lebih lanjut. Negara-negara dengan proporsi kawasan hutan yang tinggi menjamin keamanan yang optimal untuk mencegah kebakaran hutan yang disebabkan oleh insiden apa pun. Negara-negara di seluruh dunia berlomba untuk memastikan pembangunan ekonomi mereka untuk memberikan masa depan yang cerah bagi generasi mendatang dan meningkatkan standar hidup generasi saat ini. Pertumbuhan ekonomi ini memiliki berbagai efek sekunder, termasuk kerusakan lingkungan dan industrialisasi. [Ceesay dkk. \(2023\)](#) mengeksplorasi hubungan antara pembangunan ekonomi dan perubahan iklim di lingkungan ini. Investigasi tersebut dilakukan di Gambia. Sebagai sampel, penelitian ini menggunakan informasi selama 57 tahun, dari tahun 1960 hingga 2017. Data yang terkumpul dievaluasi dengan menggunakan metodologi ARDL. Hasil investigasi menunjukkan bahwa 1) peningkatan produksi ikan dan ternak di Gambia memiliki dampak positif yang signifikan terhadap pertumbuhan PDB, 2) perluasan impor pertanian dan pangan merusak pertumbuhan PDB, 3) terdapat hubungan satu arah antara tingkat pertumbuhan PDB yang tertinggal dengan tingkat pertumbuhan ketersediaan pangan, 4) nilai pertumbuhan PDB yang tertinggal mengindikasikan adanya hubungan langsung antara Granger dengan pertumbuhan pertanian yang tertinggal, dan 5) nilai pertumbuhan PDB yang tertinggal mengindikasikan adanya hubungan langsung antara Granger dengan pertumbuhan pertanian. Demikian pula, [Guedie et al \(2022\)](#) meneliti apakah pembangunan ekonomi dan perubahan iklim saling terkait. Investigasi ini dilakukan di negara-negara ASEAN. Sebagai sampel, analisis ini menggunakan informasi yang mencakup 32 tahun, dari tahun 1982 hingga 2014. Dengan bantuan FMOLS, data yang terkumpul diperiksa.

Degradasi lingkungan (emisi CO_2) dan pembangunan keuangan dan ekonomi, serta PMA, ditemukan memiliki hubungan kointegrasi jangka panjang yang signifikan secara statistik di beberapa negara ASEAN. Selain itu,

FDI, ekspansi keuangan, dan kemajuan ekonomi meningkatkan degradasi lingkungan di negara-negara ASEAN-5. Jangka waktu kuadrat untuk pembangunan ekonomi memiliki pengaruh negatif terhadap kerusakan lingkungan. Selain itu, [Shimada \(2022\)](#) meneliti hubungan antara perubahan iklim dan pertumbuhan ekonomi. Investigasi tersebut dilakukan di Afrika. Sebagai sampel, penelitian ini menggunakan data selama 52 tahun, dari tahun 1961 hingga 2011. Analisis PDRM digunakan untuk memeriksa data yang dikumpulkan. Hasil analisis menunjukkan bahwa bencana alam yang disebabkan oleh perubahan iklim mempengaruhi kemiskinan, pertanian, dan pembangunan ekonomi di Afrika. Selain itu, bencana alam tersebut juga menyebabkan bentrokan kekerasan. Bencana dengan dampak buruk yang paling signifikan adalah kelangkaan pangan, merusak tanaman seperti jagung dan kopi, meningkatkan kemiskinan di perkotaan, dan peperangan dengan kekerasan.

Sebaliknya, bantuan asing memiliki dampak positif, tetapi tidak seberapa dibandingkan dengan kerusakan yang disebabkan oleh bencana alam terkait iklim. Bantuan pangan sereal memiliki efek negatif terhadap produksi sereal. Penyandang dana internasional harus menilai kembali proyek-proyek mereka untuk meningkatkan kemampuan adaptasi Afrika terhadap bencana. Karena efisiensi pemerintah, jumlah korban jiwa telah menurun, dan ini adalah area di mana upaya Afrika untuk beradaptasi didukung. Untuk meningkatkan kinerja ekonomi mereka, negara-negara ini menerapkan beragam strategi. Ekspansi bisnis adalah salah satu pendorong utama. Dengan cara ini, komunitas bisnis berfungsi sebagai titik tumpu. Dalam situasi ini, pemerintah mempromosikan industrialisasi untuk menarik investasi dari sumber internal dan eksternal. Pertumbuhan industrialisasi ini menyebabkan peningkatan penggunaan bahan kimia, meningkatkan emisi karbon. Produksi karbon ini berkontribusi terhadap perubahan iklim yang merugikan. Dalam konteks ini, [Abram dkk. \(2021\)](#) meneliti apakah industrialisasi berperan dalam perubahan iklim atau kerusakan lingkungan. Penelitian tersebut dilakukan di Australia. Sebagai sampel, penelitian ini menggunakan data selama 35 tahun, dari tahun 1980 hingga 2014. Data yang terkumpul diperiksa dengan bantuan EKC. Hasil analisis menunjukkan bahwa terdapat hubungan antara variabel-variabel jangka pendek dan jangka panjang yang bervariasi. Ekspansi ekonomi, konsumsi energi, industrialisasi, pertumbuhan pasar saham, dan emisi CO_2 menunjukkan hubungan sebab akibat dua arah dalam jangka pendek. Namun, pada EKC, tidak banyak data yang mendukung. Hal ini disebabkan oleh efek positif jangka panjang dari perkembangan keuangan, konsumsi energi, dan keterbukaan perdagangan terhadap emisi CO_2 . Menarik untuk diperhatikan bahwa industrialisasi tidak mempengaruhi emisi CO_2 . Demikian pula, [Wang dkk. \(2020\)](#) mengeksplorasi hubungan antara industrialisasi dan perubahan iklim terkait emisi karbon. Investigasi dilakukan di negara-negara anggota APEC. Sebagai sampel, penelitian ini menggunakan data selama 25 tahun, dari tahun 1990 hingga 2014. Dengan bantuan DSUR, data yang diperoleh dievaluasi.

Menurut temuan penyelidikan tersebut, industrialisasi merusak lingkungan dengan mengeluarkan karbon dioksida ke atmosfer. Selain itu, meningkatnya emisi CO_2 telah dikaitkan dengan urbanisasi, intensitas energi, dan pertumbuhan ekonomi. Selain itu,

hubungan antara industrialisasi dan emisi CO₂. Selain itu, [Zafar dkk. \(2020\)](#) mengeksplorasi apakah industrialisasi berkontribusi terhadap perubahan iklim melalui kontaminasi lingkungan. Penelitian ini dilakukan di negara-negara Asia. Sebagai sampel, penelitian ini mencakup informasi yang mencakup 26 tahun, dari tahun 1991 hingga 2017. Dengan bantuan FMOLS, data yang terkumpul diperiksa. Hasil analisis menunjukkan bahwa industrialisasi memiliki dampak jangka panjang yang substansial terhadap emisi karbon dioksida. Selain itu, pendekatan pengembangan industrialisasi yang berbeda harus diterapkan berdasarkan tingkat pertumbuhan ekonomi untuk mengurangi emisi.

Selain itu, laporan tersebut menyarankan agar negara-negara Asia yang dipilih mengkhususkan diri dalam membatasi emisi karbon dari industrialisasi. Selain itu, [Lin dkk. \(2015\)](#) meneliti apakah industrialisasi mempengaruhi perubahan iklim terkait emisi karbon. Investigasi tersebut dilakukan di Nigeria. Sebagai sampel, analisis ini menggunakan data selama 31 tahun dari tahun 1980 hingga 2011. Data yang terkumpul dievaluasi menggunakan uji ADF. Studi ini menunjukkan bahwa strategi jangka panjang yang menimbulkan guncangan permanen pada variabel-variabel tersebut diperlukan untuk mencapai pertumbuhan ekonomi yang berkelanjutan, industrialisasi, dan pengurangan CO₂. Berdasarkan kesimpulan analisis bahwa terdapat hubungan terbalik yang substansial antara nilai tambah industri dan emisi CO₂, tidak ada bukti bahwa industrialisasi di Nigeria meningkatkan emisi karbon. PDB per kapita dan populasi memiliki efek yang signifikan dan positif terhadap emisi CO₂. Pada konsentrasi 10%, intensitas energi dan karbon memiliki dampak positif yang kecil terhadap emisi CO₂.

3. Metode Penelitian

Tabel 1. Variabel dengan Pengukuran

S#	Variabel	Pengukuran	Sumber
01	Perubahan Iklim	Suhu meningkat dalam derajat Celcius.	Statista
02	Kebakaran Hutan dan Lahan	Lahan dan hutan yang terbakar (kilo hektar)	Statista
03	Emisi Karbon Dioksida	Emisi CO ₂ (metrik ton per kapita)	WDI
04	Emisi Gas Rumah Kaca	Total emisi GRK (% perubahan dari tahun 1990)	WDI
05	Industrialisasi	Nilai tambah industri (% dari PDB)	WDI
06	Pertumbuhan Populasi	Pertumbuhan populasi (% tahunan)	WDI

Artikel ini menggunakan statistik deskriptif yang memaparkan rincian dari semua variabel pengganti. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan matriks korelasi yang menggambarkan korelasi antar konstruk. Selain itu, artikel ini juga menyediakan akar unit dari variabel menggunakan uji Augmented Dickey-Fuller (ADF) dan Phillips-Perron (PP). Persamaan untuk uji akar unit diberikan di bawah ini:

$$d(Y_t) = \alpha_0 + \beta t + \gamma Y_{t-1} + d(Y_t(-1)) + \varepsilon_t \quad (2)$$

Selain itu, artikel ini juga menggunakan pendekatan ([Westerlund dkk., 2008](#)) dalam menganalisa kointegrasi, yaitu penting untuk menerapkan model yang sesuai. Persamaan-persamaan tersebut adalah yang disebutkan di bawah ini:

$$LM_\varphi(i) = T\hat{\varphi}_i'(\hat{r}_i'/\hat{\sigma}_i^2) \quad (3)$$

$$LM_\tau(i) = \hat{\varphi}_i'/SE(\hat{\varphi}_i) \quad (4)$$

Dalam persamaan yang disebutkan di atas, kesalahan standar ditunjukkan oleh $\hat{\varphi}_i'$, dan varians terukur jangka panjang ditunjukkan

Artikel ini menyelidiki dampak kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi GRK, pertumbuhan penduduk, dan industrialisasi terhadap perubahan iklim di Indonesia. Artikel tersebut menggunakan WDI dan Statista untuk pengumpulan data dan mengumpulkan data dari tahun 1991 hingga 2020. Studi ini menetapkan persamaan estimasi dengan bantuan variabel pengganti yang diberikan di bawah ini:

$$CC_t = \alpha_0 + \beta_1 FLF_t + \beta_2 CO2E_t + \beta_3 GHGE_{it} + \beta_4 IND_t + \beta_5 EG_t + e_t \quad (1)$$

Dimana;

CC	=	Perubahan Iklim
t	=	Periode Waktu
FLF	=	Kebakaran Hutan dan Lahan
CO2E	=	Emisi Karbon Dioksida
GHGE	=	Emisi Gas Rumah Kaca
IND	=	Industrialisasi
EG	=	Pertumbuhan Ekonomi

Artikel tersebut mengukur perubahan iklim sebagai fungsi dari kenaikan suhu dalam derajat Celcius sebagai variabel dependen. Selain itu, penelitian ini menggunakan tiga prediktor, termasuk kebakaran hutan dan lahan yang diukur dengan luas lahan dan hutan yang terbakar (kilo hektare), emisi CO₂ yang diukur dengan emisi CO₂ (metrik ton per kapita), dan emisi gas rumah kaca yang diukur dengan total emisi gas rumah kaca (persen perubahan dari tahun 1990). Selain itu, makalah ini menggunakan dua konstruk kontrol: peningkatan populasi yang dinilai dari pertumbuhan penduduk (persen tahunan) dan industrialisasi yang diukur dari nilai tambah industri (persen dari PDB). [Tabel 1](#) menampilkan semua pengukuran variabel yang sedang diselidiki.

oleh $r^{(2)} \cdot i$

Selain itu, artikel menggunakan model ARDL karena uji akar unit menunjukkan bahwa beberapa konstruk stasioner pada level, tetapi yang lainnya stasioner pada first difference. Model ARDL mengontrol efek heteroskedastisitas dan autokorelasi ([Zaidi et al., 2018](#)). Persamaan dari pendekatan ini disebutkan di bawah ini:

$$\Delta CC_t = \alpha_0 + \sum \delta_1 \Delta CC_{t-1} + \sum \delta_2 \Delta FLF_{(t-1)} + \sum \delta_3 \Delta CO2E_{t-1} + \sum \delta_4 \Delta GHGE_{t-1} + \sum \delta_5 \Delta IND_{(t-1)} + \sum \delta_6 \Delta PG_{t-1} + \varphi_1 CC_{(t-1)} + \varphi_2 FLF_{(t-1)} + \varphi_3 CO2E_{(t-1)} + \varphi_4 GHGE_{t-1} + \varphi_5 IND_{(t-1)} + \varphi_6 PG_{t-1} + \varepsilon_t \quad (5)$$

Terakhir, artikel ini menggunakan model DARDL karena model ini merupakan pendekatan terbaru yang diperkenalkan oleh [Jordan dkk. \(2018\)](#). Model ini dapat mencakup isu-isu yang tidak dapat diatasi oleh model ARDL biasa. Persamaan dari pendekatan ini disebutkan di bawah ini:

$$\Delta CC_t = \alpha_0 + \sum \delta_1 \Delta CC_{t-1} + \sum \delta_2 \Delta FLF_t +$$

$$\begin{aligned} & \sum \delta_3 \Delta FLF_{t-1} + \sum \delta_4 \Delta CO2E_t + \sum \delta_5 \Delta CO2E_{t-1} + \\ & \sum \delta_6 \Delta GHGE_t + \sum \delta_7 \Delta GHGE_{t-1} + \sum \delta_8 \Delta IND_t + \\ & \sum \delta_9 \Delta IND_{t-1} + \sum \delta_{10} \Delta PG_t + \sum \delta_{11} \Delta PG_{t-1} + \varepsilon_t \end{aligned} \quad (6)$$

4. Temuan

Artikel ini menggunakan statistik deskriptif yang mengungkapkan secara spesifik semua variabel yang dipertimbangkan. Outputnya menunjukkan bahwa tiga puluh observasi dikumpulkan antara

1991 dan 2020. Selain itu, studi tersebut mengungkapkan bahwa nilai CC rata-rata adalah 26,092 derajat Celcius, nilai FLF rata-rata adalah 1,102 hektar, dan emisi CO₂ rata-rata per kapita adalah 1,558 kilogram. Hasil studi juga mengungkapkan bahwa nilai GHGE rata-rata adalah 10,536%, nilai IND rata-rata adalah 43,073%, dan nilai PG rata-rata adalah 11,369%. [Tabel 2](#) merangkum hasil penelitian tersebut.

Tabel 2. Statistik Deskriptif

Variabel	Obs	Berarti (Mean)	Std. Dev.	Min	Max
CC	30	26.022	0.544	25.607	26.417
FLF	30	1.101	0.735	0.936	1.787
CO2E	30	1.553	0.348	0.887	2.295
GHGE	30	10.552	73.423	-46.574	332.646
IND	30	43.072	3.022	38.254	48.064
PG	30	1.362	0.151	1.063	1.737

Selain itu, penelitian ini juga menggunakan matriks korelasi yang menggambarkan korelasi antar konstruk. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, gas rumah kaca

emisi, pertumbuhan penduduk, dan industrialisasi secara positif mempengaruhi perubahan iklim di Indonesia. [Tabel 3](#) menyoroti hasil-hasil dari penelitian ini.

Tabel 3. Matriks Korelasi

Variabel	CC	FLF	CO2E	GHGE	IND	PG
CC	1.000					
FLF	0.674	1.000				
CO2E	0.394	0.489	1.000			
GHGE	0.662	0.644	0.488	1.000		
IND	0.634	-0.334	0.747	0.749	1.000	
PG	0.776	-0.195	-0.536	-0.646	0.736	1.000

Selain itu, artikel ini juga menyajikan akar unit dari variabel tersebut dengan menggunakan uji ADF dan PP. Hasilnya menunjukkan bahwa CC,

FLF, IND, dan PG stasioner pada level, tetapi emisi CO₂ dan GRK stasioner pada first difference. [Tabel 4](#) menyoroti keluaran dari studi ini.

Tabel 4. Uji Akar Unit

ADF PP					
Seri	Tingkat	Perbedaan pertama	Tingkat	Perbedaan pertama	
CC	-3.839***	—	-3.563***	—	
FLF	-3.768***	—	-2.902***	—	
CO2E	—	-4.567***	—	-4.674***	
GHGE	—	-4.873***	—	-5.744***	
IND	-3.098***	—	-3.921***	—	
PG	-2.954***	—	-4.093***	—	

Selain itu, studi ini menggunakan metode ([Westerlund et al., 2008](#)) untuk menganalisis kointegrasi, yang sangat penting untuk menerapkan model yang sesuai. Hasilnya menunjukkan bahwa t

statistik lebih dari atau sama dengan 1,96, dan nilai p kurang dari 0,05. Hasil ini mengindikasikan adanya integrasi bersama. [Tabel 5](#) merangkum hasil penyelidikan.

Tabel 5. Uji Kointegrasi

Model	No Shift		Pergeseran Rata-rata		Pergeseran Rezim	
	Status Uji	p-value	Status Uji	p-value	Status Uji	p-value
LM _t	-5.343	0.000	-5.734	0.000	-6.496	0.000
LM _p	-5.986	0.000	-5.837	0.000	-6.102	0.000

Akibat kebakaran hutan dan lahan serta berbagai emisi industri, perubahan iklim telah menjadi isu besar saat ini. Artikel ini menyelidiki dampak kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi GRK, pertumbuhan penduduk, dan industrialisasi terhadap perubahan iklim di Indonesia. The

Para peneliti menggunakan DARDL untuk menguji hubungan antara konstruk-konstruk penelitian. Kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi gas rumah kaca, ekspansi populasi, dan industrialisasi berhubungan positif dengan perubahan iklim di Indonesia. [Tabel 6](#) merangkum hasil penelitian tersebut.

Tabel 6. Model ARDL dinamis

Variabel	Koefisien	t-Statistik	Mungkin.
ECT	-3.783***	-5.883	0.000
FLF_{t-1}	5.192***	4.739	0.000
FLF	4.328***	4.902	0.000
$CO2E_{t-1}$	6.361***	5.383	0.000
CO2E	2.910**	2.121	0.021
$GHGE_{t-1}$	3.673**	2.673	0.015
GHGE	2.547**	2.121	0.021
IND_{t-1}	5.655***	5.673	0.000
IND	2.673***	4.641	0.000
PG_{t-1}	3.562***	4.273	0.000
PG	3.102***	4.332	0.000
Kekurangan	3.775***	4.901	0.000

R square= 62.675 Stimulasi= 5000

5. Diskusi

Akibat kebakaran hutan dan lahan serta berbagai emisi industri, perubahan iklim telah menjadi isu besar saat ini. Artikel ini mengeksplorasi dampak kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi GRK, ekspansi populasi, dan industrialisasi terhadap perubahan iklim di Indonesia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kebakaran hutan dan lahan berpengaruh positif terhadap perubahan iklim. Temuan ini konsisten dengan [Stephens dkk. \(2020\)](#), yang menyatakan bahwa pembangunan hutan menjaga keseimbangan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca, menstabilkan suhu, dan mengatur aliran air. Ketika hutan dibakar, iklim menjadi tidak seimbang dan menyebabkan masalah bagi makhluk hidup. Temuan ini diperkuat oleh [Prichard dkk. \(2021\)](#), yang menunjukkan bahwa kebakaran hutan dan lahan merugikan lingkungan. Gumpalan asap kebakaran dan penyebarannya lebih lanjut dapat menghasilkan senyawa berbahaya yang jika bercampur dengan udara dapat mengganggu keseimbangan iklim. Temuan ini sejalan dengan penelitian [Venäläinen dkk. \(2020\)](#) tentang pengaruh kebakaran hutan dan lahan terhadap iklim alami. Menurut penelitian tersebut, jika kebakaran hutan dan lahan yang besar tidak terkendali, maka akan menimbulkan kabut asap, menyebabkan emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan suhu.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi CO₂ mempengaruhi perubahan iklim secara positif. Mengikuti [Nguyen dkk. \(2021\)](#), efek rumah kaca alami yang menjaga atmosfer bumi di atas titik beku tidak akan cukup jika emisi CO₂ dihilangkan. Dengan mengeluarkan lebih banyak karbon dioksida ke atmosfer, manusia mempercepat efek rumah kaca alami dan meningkatkan suhu planet ini. Oleh karena itu, emisi CO₂ menyebabkan perubahan iklim. Temuan ini juga dikuatkan oleh [Adedoyin dkk. \(2020\)](#), yang mengusulkan bahwa jumlah emisi CO₂ di atmosfer dipertahankan oleh alam. Ketika aktivitas manusia meningkat, kadar CO₂ meningkat, mengakibatkan peningkatan efek rumah kaca dan ketidakseimbangan iklim. Bagi [Dusenge dkk. \(2019\)](#), salah satu perubahan iklim yang paling signifikan adalah pemanasan global. Dengan membentuk lapisan, emisi CO₂ dari aktivitas manusia memerangkap panas di bumi. Oleh karena itu, emisi CO₂ menyebabkan perubahan iklim.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca mempengaruhi perubahan iklim secara positif. Temuan ini juga konsisten dengan [Beach dkk. \(2019\)](#), yang mengindikasikan

api tersebut dibakar untuk menyediakan energi untuk menyalakan berbagai perangkat dan melakukan operasi. Dalam proses yang menghasilkan energi ini, gas rumah kaca juga dilepaskan. Gas rumah kaca menciptakan panas selama periode tertentu dan membatasi panas matahari ke permukaan bumi. Dengan demikian, peningkatan emisi GRK mengakibatkan pergeseran keseimbangan iklim. Temuan ini juga didukung oleh [Mikhaylov dkk. \(2020\)](#), yang menemukan bahwa GRK, sebagai hasil dari praktik yang melibatkan pembakaran bahan bakar fosil, emisi limbah dari perusahaan manufaktur, dan penggunaan produk berbasis bahan kimia, menipiskan lapisan ozon dan membuat panas matahari meningkat secara global. Perubahan iklim dan pola cuaca dapat terjadi pada masa ini. Demikian pula, hasil ini sejalan dengan [Manabe \(2019\)](#). Menurut penelitian sebelumnya, perubahan iklim kemungkinan besar akan terjadi ketika aktivitas manusia menghasilkan emisi GRK yang tinggi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa industrialisasi mempengaruhi perubahan iklim secara positif. Hasil ini juga konsisten dengan temuan [Rehman, Ma, Ahmad, dkk. \(2021\)](#) yang menemukan bahwa ketika industrialisasi meningkat, unit-unit manufaktur berkembang, dan ketika perdagangan meningkat, transportasi juga meningkat. Dalam proses ini, bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, gas, minyak bumi, dan bijih dibakar untuk menghasilkan energi. Namun, gas-gas berbahaya seperti karbon dioksida, metana, dan dinitrogen oksida, antara lain, juga dilepaskan selama proses-proses ini, dan gas-gas ini menyebabkan perubahan iklim. Temuan ini juga dikuatkan oleh [Dong dkk. \(2021\)](#), yang menyatakan bahwa industrialisasi secara dramatis mengubah gaya hidup penduduk pedesaan. Ketika standar hidup meningkat, begitu pula keinginan manusia, dan penggunaan bahan bakar fosil dan proses kimia untuk memenuhi kebutuhan ini mengeluarkan bahan kimia, menghasilkan efek rumah kaca. Perubahan iklim merupakan akhir dari efek rumah kaca. Mengikuti temuan [Opoku dkk. \(2020\)](#), jika industrialisasi terjadi, mesin akan meningkat untuk memfasilitasi dan mempercepat praktik-praktik manusia. Peningkatan penggunaan mesin menghasilkan polutan yang dapat mengubah keseimbangan iklim alami.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa ekspansi ekonomi berdampak positif terhadap perubahan iklim. Temuan ini juga konsisten dengan pernyataan [Abram dkk. \(2021\)](#) bahwa ketika suatu negara mengalami pertumbuhan ekonomi yang cepat, bisnis mengembangkan kapasitas untuk memperoleh mesin, pabrik, dan berbagai teknologi pendukung sebagai keterampilan untuk berinteraksi

dengan mereka. Ketika manusia menggunakan semakin banyak perangkat, pabrik, dan teknologi, zat-zat beracun diproduksi yang menipiskan lapisan ozon dan menyebabkan perubahan iklim. Hasil ini juga didukung oleh Albert (2020), yang menyatakan bahwa impor sumber daya energi, kendaraan transportasi, dan teknologi manufaktur akan tinggi ketika ekonomi berkembang, dan perdagangan kuat. Dalam skenario ini, penggunaan energi dan bahan kimia di negara tersebut meningkat dan menjadi sumber emisi gas rumah kaca yang signifikan. Peningkatan emisi gas rumah kaca akan mengubah iklim. Temuan ini juga konsisten dengan kesimpulan Dodson dkk. (2020) yang menyatakan bahwa pertumbuhan ekonomi meningkatkan posisi keuangan bisnis swasta dan pendapatan pemerintah. Dalam situasi ini, mereka berjuang untuk menyelesaikan proyek-proyek pembangunan, dan pekerjaan konstruksi, penggunaan teknologi, serta konsumsi energi melepaskan zat-zat yang terkontaminasi ke udara, yang mengakibatkan perubahan iklim.

6. Implikasi

Studi saat ini dapat memberikan pedoman bagi para penulis untuk memberikan kontribusinya terhadap literatur. Studi ini menyelidiki dampak kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi gas rumah kaca (GRK), industrialisasi, dan pertumbuhan ekonomi terhadap perubahan iklim. Studi terpisah telah membahas hubungan antara kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi gas rumah kaca, dan perubahan iklim. Penelitian ini mengkaji peran kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, dan emisi gas rumah kaca terhadap perubahan iklim. Studi ini berkontribusi terhadap literatur yang ada dengan menganalisis hubungan antara faktor-faktor tersebut dan perubahan iklim di Indonesia.

Perubahan iklim merupakan perhatian utama bagi hampir semua negara saat ini. Hal ini sangat penting bagi negara berkembang seperti Indonesia. Laporan ini memberikan panduan untuk mengatasi tantangan perubahan iklim. Studi ini menyarankan agar kebijakan-kebijakan harus dirancang untuk mencegah kebakaran hutan dan lahan dalam rangka memerangi perubahan iklim. Laporan ini juga menunjukkan bahwa praktik-praktik dan sumber daya yang menyebabkan emisi CO₂ harus dicegah untuk menghindari perubahan iklim. Disarankan kepada para pembuat kebijakan bahwa upaya-upaya harus dilakukan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dengan memodifikasi kebijakan. Hal ini dapat bermanfaat untuk mencegah perubahan iklim. Studi ini juga mengungkapkan bahwa pemerintah harus mengelola industrialisasi dan perubahan ekonomi yang dibawanya untuk mencegah perubahan iklim. Studi ini memberikan panduan bagi para pembuat kebijakan untuk menetapkan kebijakan perubahan iklim dengan menggunakan kebakaran hutan dan lahan, CO₂, dan emisi GRK. Selain itu, studi ini juga menunjukkan bahwa jika suatu negara mengalami pertumbuhan ekonomi yang cepat, pemerintah harus mengadopsi praktik-praktik ramah lingkungan untuk mencegah perubahan iklim.

7. Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dampak kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂ dan emisi gas rumah kaca, industrialisasi, dan pertumbuhan ekonomi terhadap perubahan iklim. Data empiris yang dikumpulkan di Indonesia mengenai faktor-faktor tersebut. Kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi GRK, industrialisasi, dan ekonomi pembangunan mempengaruhi

perubahan iklim secara positif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jika hutan terbakar atau kebakaran terjadi di tempat lain di daratan, kabut asap, panas, dan gas berbahaya akan dihasilkan, yang dapat menyebabkan perubahan iklim. Hasil penelitian ini juga menunjukkan bahwa setelah merusak lapisan ozon, emisi CO₂ akan memerangkap panas di bumi dan menyebabkan perubahan iklim. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa ketika manusia mengeluarkan gas rumah kaca, mereka meningkatkan jumlah sinar matahari yang mencapai permukaan bumi, menyebabkan perubahan iklim. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa pertumbuhan ekonomi menghasilkan situasi di mana emisi gas rumah kaca dan berbagai zat berbahaya diproduksi. Hal ini pemanasan global. Selain itu, penelitian ini menemukan bahwa industrialisasi meningkatkan konsumsi bahan kimia, energi, dan sumber daya teknologi. Kesimpulannya adalah perubahan iklim.

8. Keterbatasan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Dengan keahlian yang dimiliki, penulis selanjutnya dapat menghilangkan keterbatasan-keterbatasan tersebut dari penelitian ini. Penelitian ini menyelidiki dampak dari faktor-faktor seperti kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, dan emisi gas rumah kaca terhadap perubahan iklim. Namun, banyak faktor lain yang dapat berkontribusi terhadap perubahan iklim atau digunakan untuk melawannya. Menggunakan elemen-elemen yang terbatas untuk mengevaluasi perubahan iklim membuat penelitian ini menjadi tidak lengkap. Penelitian perubahan iklim di masa depan harus memasukkan lebih banyak variabel yang lebih signifikan. Selain itu, kerangka waktu penelitian ini terbatas, dan data dikumpulkan dari satu negara, yaitu Indonesia, untuk mendukung hubungan antara kebakaran hutan dan lahan, emisi CO₂, emisi GRK, industrialisasi, dan pertumbuhan ekonomi terhadap perubahan iklim. Hal ini membatasi penerapan studi ini untuk generasi dan negara tertentu. Diharapkan bahwa penulis selanjutnya akan mengumpulkan data dari lebih banyak negara dalam jangka waktu yang lebih panjang.

Referensi

- Abram, N. J., Henley, B. J., Sen Gupta, A., dkk. (2021). Hubungan perubahan iklim dan variabilitas dengan kebakaran hutan besar dan ekstrem di Australia bagian tenggara. *Komunikasi Bumi & Lingkungan*, 2(1), 1-17. doi: <https://doi.org/10.1038/s43247-020-00065-8>
- Adedoyin, F., Ozturk, I., Abubakar, I., Kumeka, T., Folarin, O., & Bekun, F. V. (2020). Jeda struktural dalam emisi CO₂: apakah disebabkan oleh protes perubahan iklim atau faktor lain? *Journal of Environmental Management*, 266, 110628. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110628>
- Albert, M. J. (2020). Melampaui kontinuitas: Perubahan iklim, pertumbuhan ekonomi, dan masa depan tatanan dunia (dis)order. *Cambridge Review of International Affairs*, 9, 1-20. doi: <https://doi.org/10.1080/09557571.2020.1825334>
- Beach, R.H., Sulser, T.B., Crimmins, A., dkk. (2019). Menggabungkan efek dari peningkatan atmosfer

- karbon dioksida pada ketersediaan protein, zat besi, dan seng serta proyeksi perubahan iklim terhadap pola makan global: sebuah studi pemodelan. *The Lancet Planetary Health*, 3(7), e307-e317. doi: [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(19\)30094-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(19)30094-4)
- Breton, C., Blanchet, P., Amor, B., Beauregard, R., & Chang, W.-S. (2018). Menilai dampak perubahan iklim dari karbon biogenik pada bangunan: Tinjauan kritis terhadap dua pendekatan dinamis utama. *Sustainability*, 10(6), 2020. doi: <https://doi.org/10.3390/su10062020>
- Ceesay, E. K., Francis, P. C., Jawneh, S., Njie, M., Belford, C., & Fanneh, M. M. (2023). Perubahan Iklim, Pertumbuhan Nilai Tambah Pertanian, Ketersediaan Pangan, dan Hubungan Pertumbuhan Ekonomi di Gambia: Pendekatan Kausalitas Granger dan Pemodelan ARDL. Dalam *Ketahanan dan Keamanan Pangan Jilid 2* (Vol. 2, hal. 435-468): Springer, 435-468. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-09614-3_20
- Chami, R., Cosimano, TF, Fullenkamp, C., & Oztosun, S. (2019). Solusi Alam untuk Perubahan Iklim: Strategi untuk melindungi paus dapat membatasi gas rumah kaca dan pemanasan global. *Finance & Development*, 56(004), 39-49. doi: <https://doi.org/10.5089/9781498316880.022>
- Dino, I. G., & Akgül, C. M. (2019). Dampak perubahan iklim terhadap stok bangunan tempat tinggal yang ada di Turki: Analisis penggunaan energi, emisi gas rumah kaca, dan kenyamanan penghuni. *Energi Terbarukan*, 141, 828-846. doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.150>
- Dodson, J. C., Dérier, P., Cafaro, P., & Götmarm, F. (2020). Populasi pertumbuhan dan perubahan iklim: Mengatasi pengganda ancaman yang terabaikan. *Ilmu Pengetahuan Lingkungan Total*, 748, 141346. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141346>
- Dong, H., Xue, M., Xiao, Y., & Liu, Y. (2021). Apakah emisi karbon berdampak pada kesehatan penduduk? Mempertimbangkan industrialisasi dan urbanisasi Tiongkok. *Ilmu Pengetahuan Lingkungan Total*, 758, 143688. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143688>
- Dusenge, M. E., Duarte, A. G., & Way, D. A. (2019). Tanaman metabolisme karbon dan perubahan iklim: peningkatan CO₂ dan suhu berdampak pada fotosintesis, fotospirasi dan respirasi. *New Phytologist*, 221(1), 32-49. doi: <https://doi.org/10.1111/nph.15283>
- Ertugrul, M., Varol, T., Ozel, H. B., Cetin, M., & Sevik, H. (2021). Pengaruh faktor iklim terhadap perubahan bahaya kebakaran hutan dan panjang musim kebakaran di Turki. *Pemantauan dan Penilaian Lingkungan*, 193(1), 1-17. doi: <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08800-6>
- Eskander, S. M., & Fankhauser, S. (2020). Pengurangan emisi gas rumah kaca dari undang-undang iklim nasional. *Perubahan Iklim Alam*, 10(8), 750-756. doi: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0831-z>
- Fonseca, M. G., Alves, L. M., Aguiar, A. P. D., dkk. (2019). Pengaruh skenario perubahan iklim dan tata guna lahan terhadap probabilitas kebakaran selama abad ke-21 di Amazon, Brasil. *Global Change Biology*, 25(9), 2931-2946. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14709>
- Gatti, L. V., Basso, L. S., Miller, J. B., dkk. (2021). Amazonia sebagai sumber karbon yang terkait dengan deforestasi dan perubahan iklim. *Nature*, 595 (7867), 388-393. doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03629-6>
- Guedie, R., Ngnemadon, A. S. A., Fotio, H. K., & Nembot, L. (2022). Analisis Terpilah tentang Dampak Konsumsi Energi terhadap Emisi Gas Rumah Kaca di Afrika. *Ekonomi Energi Economics Letters*, 9(2), 75-90. doi: <https://doi.org/10.55493/5049.v9i2.4640>
- Halofsky, J. E., Peterson, D. L., & Harvey, B. J. (2020). Mengubah kebakaran, mengubah hutan: dampak perubahan iklim terhadap rezim kebakaran dan vegetasi di Pasifik Barat Laut, Amerika Serikat. *Fire Ecology*, 16(1), 1-26. doi: <https://doi.org/10.1186/s42408-019-0062-8>
- He, W., Abbas, Q., Alharthi, M., dkk. (2020). Integrasi hidrogen terbarukan dalam kendaraan tugas ringan: hubungan antara keamanan energi dan sumber daya emisi karbon rendah. *International Journal of Hydrogen Energy*, 45(51), 27958-27968. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2020.06.177>
- Heinrich, V. H., Dalagnol, R., Cassol, H. L., dkk. (2021). Potensi penyerap karbon yang besar dari hutan sekunder di Amazon Brasil untuk memitigasi perubahan iklim. *Nature Communications*, 12(1), 1-11. doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22050-1>
- Iriyadi, I., & Antonio, Y. (2021). Dampak Pengungkapan Perubahan Iklim terhadap Kinerja Keuangan Perusahaan Indonesia. *Jurnal Dinamika Akuntansi dan Bisnis*, 8(2), 117-127. doi: <https://dx.doi.org/10.24815/JDAB.V8I2.20424>
- Jiang, Q., Qi, Z., Xue, L., Bukovsky, M., Madramootoo, C. C., & Smith, W. (2020). Menilai dampak perubahan iklim terhadap emisi gas rumah kaca, kehilangan N dalam drainase dan produksi tanaman di lahan yang didrainase di bawah permukaan. *Science of The Total Environment*, 705, 135969. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135969>
- Jordan, S., & Philips, A. Q. (2018). Pengujian kointegrasi dan simulasi dinamis dari model lag terdistribusi autoregresif. *Jurnal Stata*, 18(4), 902-923. doi: <https://doi.org/10.1177/1536867X1801800409>
- Jorgenson, A. K., Fiske, S., Hubacek, K., dkk. (2019). Perspektif ilmu sosial tentang pendorong dan respons terhadap perubahan iklim global. *Ulasan Interdisipliner Wiley: Perubahan Iklim*, 10(1), e554. doi: <https://doi.org/10.1002/wcc.554>
- Khan, M. K., Trinh, H. H., Khan, I. U., & Ullah, S. (2022). Kegiatan ekonomi berkelanjutan, perubahan iklim,

- dan risiko karbon: sebuah bukti internasional. *Lingkungan, Pembangunan dan Keberlanjutan*, 24(7), 9642-9664. doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01842-x>
- Krikken, F., Lehner, F., Hausteiner, K., Drobyshev, I., & Van Oldenborgh, GJ (2021). Atribusi peran perubahan iklim dalam kebakaran hutan di Swedia 2018. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 21(7), 2169-2179. doi: <https://doi.org/10.5194/nhess-21-2169-2021>
- Li, L. (2021). Mengintegrasikan dampak perubahan iklim dalam proses desain bangunan baru: Tinjauan metodologi penilaian emisi karbon siklus hidup bangunan. *Rekayasa dan Teknologi Bersih*, 5, 100286. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100286>
- Lin, B., Omoju, O. E., & Okonkwo, J. U. (2015). Dampak industrialisasi terhadap emisi CO₂ di Nigeria. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 52, 1228-1239. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.164>
- Lucash, M. S., Scheller, R. M., Sturtevant, B. R., Gustafson, E. J., Kretchun, A. M., & Foster, J. R. (2018). Lebih dari sekadar penjumlahan dari bagian-bagiannya: bagaimana interaksi gangguan membentuk dinamika hutan di bawah perubahan iklim. *Ecosphere*, 9(6), e02293. doi: <https://doi.org/10.1002/ecs2.2293>
- Manabe, S. (2019). Peran gas rumah kaca dalam perubahan iklim. *Tellus A: Meteorologi Dinamis dan Oseanografi*, 71(1), 1620078. doi: <https://doi.org/10.1080/16000870.2019.1620078>
- Mi, Z., Zheng, J., Meng, J., dkk. (2019). Emisi karbon kota dari perspektif berbasis konsumsi. *Energi Terapan*, 235, 509-518. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.137>
- Michetti, M., & Pinar, M. (2019). Kebakaran hutan di seluruh wilayah Italia dan implikasinya terhadap perubahan iklim: analisis data panel. *Ekonomi Lingkungan dan Sumber Daya*, 72(1), 207-246. doi: <https://doi.org/10.1007/s10640-018-0279-z>
- Mikhaylov, A., Moiseev, N., Aleshin, K., & Burkhardt, T. (2020). Perubahan iklim global dan efek rumah kaca. *Kewirausahaan dan Masalah Keberlanjutan*, 7(4), 2897. doi: [https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4\(21\)](https://doi.org/10.9770/jesi.2020.7.4(21))
- Nawaz, MA, Ahmadk, TI, Hussain, MS, & Bhatti, M. A. (2020). Bagaimana penggunaan energi, perkembangan keuangan dan pertumbuhan ekonomi mempengaruhi emisi karbon dioksida di beberapa negara Asia Tenggara. *Paradigma, SI*(1), 159-165. doi: <https://doi.org/10.24312/20000123>
- Nguyen, X. P., Hoang, A. T., Ölçer, A. I., & Huynh, T. T. (2021). Rekorder penurunan emisi CO₂ global yang dipicu oleh pandemi COVID-19 dan implikasinya terhadap kebijakan perubahan iklim di masa depan. *Sumber Energi, Bagian A: Pemulihan, Pemanfaatan, dan Dampak Lingkungan*, 7, 1-4. doi: <https://doi.org/10.1080/15567036.2021.1879969>
- Opoku, E. E. O., & Boachie, M. K. (2020). Dampak lingkungan dari industrialisasi dan investasi asing langsung. *Kebijakan Energi*, 137, 111178. doi: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111178>
- Parks, S., & Abatzoglou, J. (2020). Api yang lebih hangat dan lebih kering musim berkontribusi terhadap peningkatan area yang terbakar dengan tingkat keparahan tinggi di hutan Amerika Serikat bagian barat dari tahun 1985 hingga 2017. *Geophysical Research Letters*, 47(22), e2020GL089858. doi: <https://doi.org/10.1029/2020GL089858>
- Prichard, SJ, Hessburg, PF, Hagmann, RK, dkk. (2021). Mengadaptasi hutan Amerika Utara bagian barat terhadap perubahan iklim dan kebakaran hutan: 10 pertanyaan umum. *Ecological Applications*, 31(8), e02433. doi: <https://doi.org/10.1002/eap.2433>
- Rehman, A., Ma, H., Ahmad, M., Irfan, M., Traore, O., & Chandio, A. A. (2021). Menuju Keberlanjutan Lingkungan: Menguraikan pengaruh emisi karbon dioksida terhadap pertumbuhan penduduk, perubahan iklim, kehutanan, peternakan dan produksi tanaman di Pakistan. *Ecological Indicators*, 125, 107460. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107460>
- Rehman, A., Ma, H., & Ozturk, I. (2021). Apakah industrialisasi, impor energi, dan kemajuan ekonomi mempengaruhi emisi karbon di Pakistan. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(33), 45840-45852. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-13916-4>
- Rehman, A., Ma, H., Ozturk, I., & Ahmad, M. I. (2022). Menelaah emisi karbon dan dampak iklim terhadap produksi tanaman pertanian utama dan penggunaan lahan: bukti terbaru dari Pakistan. *Ilmu Lingkungan dan Penelitian Polusi*, 29(1), 868-882. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-15481-2>
- Sesana, E., Gagnon, AS, Ciantelli, C., Cassar, J., & Hughes, J. J. (2021). Dampak perubahan iklim terhadap warisan budaya: Sebuah tinjauan pustaka. *Ulasan Interdisipliner Wiley: Perubahan Iklim*, 12(4), e710. doi: <https://doi.org/10.1002/wcc.710>
- Shair, F., Shaorong, S., Kamran, , Hussain, MS, Nawaz, M. A., & Nguyen, V. C. (2021). Menilai efisiensi dan pertumbuhan produktivitas faktor total industri perbankan: apakah masalah lingkungan itu penting? *Ilmu Lingkungan dan Penelitian Pencemaran*, 28(16), 20822-20838. doi: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11938-y>
- Shimada, G. (2022). Dampak bencana terkait perubahan iklim terhadap pertumbuhan ekonomi, pertanian, dan konflik di Afrika: Dapatkah bantuan kemanusiaan dan bantuan pangan mengimbangi kerusakan? *Jurnal Internasional Penelitian Lingkungan dan Kesehatan Masyarakat*, 19(1), 467. doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph19010467>
- Stephens, SL, Westerling, AL, Hurteau, MD, Peery, M. Z., Schultz, CA, & Thompson, S. (2020). Kebakaran dan perubahan iklim: melestarikan hutan kering musiman masih mungkin dilakukan. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 18(6), 354-360. doi:

- <https://doi.org/10.1002/fee.2218>
- Tarroja, B., Chiang, F., AghaKouchak, A., dkk. (2018). Menerjemahkan dampak perubahan iklim dan elektrifikasi sistem pemanas pada penggunaan energi bangunan terhadap emisi gas rumah kaca di masa depan dan kebutuhan kapasitas jaringan listrik di California. *Energi Terapan*, 225, 522-534. doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.05.003>
- Tribouillois, H., Constantin, J., & Justes, E. (2018). Tanaman penutup tanah memitigasi keseimbangan gas rumah kaca secara langsung tetapi mengurangi drainase di bawah skenario perubahan iklim di iklim sedang dengan musim panas yang kering. *Global Change Biology*, 24(6), 2513-2529. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.14091>
- Venäläinen, A., Lehtonen, I., Laapas, M., dkk. (2020). Perubahan iklim menimbulkan berbagai risiko terhadap hutan boreal dan kehutanan di Finlandia: Sebuah tinjauan literatur. *Biologi Perubahan Global*, 26(8), 4178-4196. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.15183>
- Wang, Z., Rasool, Y., Zhang, B., Ahmed, Z., & Wang, B. (2020). Hubungan dinamis antara industrialisasi, urbanisasi, dan emisi CO₂ di kawasan APEC: bukti berdasarkan estimasi DSUR. *Structural Change and Economic Dynamics*, 52, 382-389. doi: <https://doi.org/10.1016/j.strueco.2019.12.001>
- Westerlund, J., & Edgerton, D. L. (2008). Uji sederhana untuk kointegrasi pada panel dependen dengan structural break. *Oxford Bulletin of Economics and Statistics*, 70(5), 665-704. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1468-0084.2008.00513.x>
- Xu, X., Jia, G., Zhang, X., Riley, W. J., & Xue, Y. (2020). Pergeseran rezim iklim dan hilangnya hutan memperkuat kebakaran di hutan Amazon. *Biologi Perubahan Global*, 26(10), 5874-5885. doi: <https://doi.org/10.1111/gcb.15279>
- Zafar, A., Ullah, S., Majeed, M. T., & Yasmeen, R. (2020). Pencemaran lingkungan di negara-negara Asia: apakah industrialisasi berpengaruh? *Tinjauan Energi OPEC*, 44(3), 227-248. doi: <https://doi.org/10.1111/opec.12181>
- Zaidi, S., & Saidi, K. (2018). Pencemaran lingkungan, pengeluaran kesehatan dan pertumbuhan ekonomi di negara-negara Afrika Sub-Sahara: Pendekatan ARDL panel. *Kota dan Masyarakat Berkelanjutan*, 41, 833-840. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.04.034>
- Zhang, X., Joachimski, MM, & Gong, Y. (2021). Transisi iklim rumah kaca-rumah es pada akhir Devonian: Bukti baru dari termometri $\delta^{18}\text{O}$ konodonta di Palaeotethys timur (bagian Lali, Cina Selatan). *Geologi Kimia*, 581, 120383. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2021.120383>
- Zhao, G., Yu, B., An, R., Wu, Y., & Zhao, Z. (2021). Transformasi sistem energi dan mitigasi emisi karbon bagi Cina untuk mencapai target iklim global 2°C. *Jurnal Manajemen Lingkungan*, 292, 112721. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112721>
- Zheng, X., Streimikiene, D., Balezentis, T., Mardani, A., Cavallaro, F., & Liao, H. (2019). Tinjauan profil emisi gas rumah kaca, dinamika, dan upaya mitigasi perubahan iklim di seluruh pemain utama perubahan iklim. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1113-1133. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.140>