Bab II

Smoke | Asap Mengungkap Bahaya Tersembunyi Asap Beracun dari Kebakaran Lahan Gambut Tropis

Wiwiek Setyawati dan Saipul Hamdi

Smoke atau asap merupakan salah satu polutan di udara yang secara visual keberadaannya terlihat oleh mata. Asap dapat dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna. Pada skala kecil, asap dapat ditemukan sehari-hari dalam asap rokok dan kegiatan memasak yang menggunakan kayu bakar. Asap ini hanya terlihat tidak jauh dari sumbernya. Pembakaran sampah, baik sampah rumah tangga maupun sampah hasil pertanian, menghasilkan asap yang cukup besar.

W. Setyawati & S. Hamdi
Badan Riset dan Inovasi Nasional, *e-mail*: wiwi007@brin.go.id

© 2026 Editor & Penulis

Setyawati, W. & Hamdi, S. (2026). Smoke | Asap Mengungkap Bahaya Tersembunyi Asap Beracun dari Kebakaran Lahan Gambut Tropis. Dalam Sumaryati & L. S. Supriatin (Ed.), *Fenomena Polusi Udara dan Dampaknya* (17–35). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1375.c1806
E-ISBN: 978-634-7933-34-8

Sumber *smoke* yang menyita perhatian di Indonesia berasal dari kebakaran hutan dan lahan, terutama lahan gambut. Kebakaran lahan gambut menghasilkan asap hingga membentuk kabut asap atau *haze* yang mengganggu kesehatan dan mengurangi jarak pandang. Tebalnya kabut asap dari kebakaran lahan gambut ini menyebar hingga jarak jauh (*long-range transport air pollution*), bahkan menyebar melintasi batas negara (*transboundary haze pollution*). Oleh karena itu, pembahasan *smoke* di Indonesia tidak dapat dipisahkan dari lahan gambut, yang akan diuraikan dalam bab ini.

A. Mengenal Peran Penting Lahan Gambut Tropis

Lahan gambut tropis merupakan harta karun tersembunyi yang berperan penting bagi kesehatan planet kita, tetapi sering kali keberadaannya kurang dihargai. Ekosistem ini mencakup wilayah yang luas, seperti Indonesia, Malaysia, dan sebagian Amerika Selatan, ekosistem ini berfungsi sebagai reservoir keanekaragaman hayati, penyimpanan karbon, dan mata pencaharian yang sangat berharga bagi jutaan orang.

Lahan gambut memiliki signifikansi yang jauh melampaui batas negara, memengaruhi pola iklim global, dan menyediakan jasa ekosistem penting yang bermanfaat bagi kita semua. Hal ini menandakan betapa pentingnya peran lahan gambut tropis Indonesia dalam mengendalikan iklim dunia dan menjaga keberlangsungan kehidupan makhluk hidup di dunia.

Indonesia memiliki hutan dan lahan gambut tropis terluas di dunia dengan perkiraan total luasnya adalah sekitar 21 juta hektar yang tersebar di Sumatra, Kalimantan, dan Papua (Agus et al., 2008). Kementerian Pertanian (2011) melaporkan bahwa hutan dan lahan gambut terluas di Indonesia ditemukan di Sumatra (6.436.649 ha), Kalimantan (4.778.000 ha), dan Papua (3.690.000 ha).

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup dalam PERMEN LH No.7/2006, tanah gambut adalah tanah hasil penumpukan bahan organik melalui produksi biomassa hutan hujan tropis. Sementara

itu, Kementerian Pertanian dalam PERMENTAN No.14/Permentan/PL.110/2009 mendefinisikan lahan ”gambut” sebagai tanah hasil akumulasi timbunan bahan organik dengan komposisi lebih besar dari 65% yang terbentuk secara alami dalam jangka waktu ratusan tahun dari lapukan vegetasi yang tumbuh di atasnya yang proses dekomposisinya terhambat suasana anaerob dan basah. Selanjutnya, Kementerian Kehutanan dalam PERMENHUT No. P69/Menhut-II/2011 mendefinisikan hutan ”gambut” sebagai satu formasi pohon-pohon yang tumbuh pada kawasan yang sebagian besar terbentuk oleh sisa-sisa bahan organik yang tertimbun dalam waktu lama. Oleh karena itu, ”gambut” adalah sisa-sisa bahan organik yang tertimbun dalam waktu yang lama.

Gambut tropis dicirikan oleh akumulasi bahan organik yang terurai sebagian dalam kondisi tergenang air. Selama ribuan tahun, lapisan vegetasi telah menumpuk membentuk endapan gambut tebal dengan panjang hingga ratusan kilometer. Lingkungan unik ini mendukung hidupnya beragam spesies tumbuhan dan hewan, yang banyak di antaranya tidak ditemukan di tempat lain di Bumi—mulai dari orangutan ikonik di Kalimantan hingga beragam burung berwarna-warni di kawasan gambut tropis Amerika Selatan—menjadikan lahan gambut tropis sebagai pusat keanekaragaman hayati yang penting secara global.

Gambut tropis memiliki perbedaan dengan gambut dari wilayah beriklim subtropis (*temperate climate*) dan boreal, yaitu sebagai berikut.

1) Umumnya, ditemukan di wilayah pesisir dengan drainase buruk dan curah hujan tinggi.
2) Akumulasinya dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti produktivitas primer yang tinggi, material kayu yang kasar, dan proses kimia yang memperlambat laju dekomposisi.
3) Memiliki tinggi muka air (*water table*) yang tinggi, tingkat pH rendah, dan akumulasi bahan organik yang tinggi.
4) Memiliki berat isi (*bulk density*) yang rendah dan porositas yang tinggi dalam kondisi tidak terganggu (*undisturbed*).

5) Memiliki tingkat sekuestrasi karbon (*carbon sequestration*) yang lebih tinggi dibandingkan lahan gambut boreal dan subtropis.

Salah satu fungsi lahan gambut tropis yang paling penting adalah perannya dalam penyimpanan dan penyerapan karbon. Gambut sangat efisien dalam memerangkap karbon dioksida (CO_2) dari atmosfer dan bertindak sebagai penyerap karbon alami yang membantu mitigasi perubahan iklim. Meskipun hanya menutupi sebagian kecil permukaan bumi, lahan gambut tropis menyimpan sekitar 30–40% karbon tanah dunia, menjadikannya komponen penting dalam siklus karbon global (KLHK, 2021; Adityasari, 2023). Dengan melestarikan ekosistem ini, kita dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dan memerangi krisis iklim yang makin parah.

Gambut tropis juga menyediakan jasa ekosistem penting yang mendukung kesejahteraan dan kehidupan manusia, yaitu mengatur aliran air, bertindak sebagai penyangga alami terhadap banjir dan kekeringan, dan menyediakan habitat bagi ikan dan spesies air lainnya. Lahan gambut juga berperan penting dalam menjaga kualitas air, menyaring polutan dan sedimen sebelum mencapai ekosistem hilir. Selain itu, lahan gambut mendukung mata pencaharian tradisional seperti perikanan, pertanian, dan hasil hutan nonkayu, menyediakan makanan, bahan bakar, dan pendapatan bagi jutaan orang yang tinggal di wilayah tropis.

Namun, lahan gambut tropis menghadapi ancaman yang belum pernah terjadi sebelumnya akibat aktivitas manusia, termasuk deforestasi, drainase, dan konversi untuk pertanian dan pembangunan. Degradasi ekosistem yang meluas tidak hanya menyebabkan hilangnya keanekaragaman hayati dan jasa ekosistem, tetapi juga melepaskan sejumlah besar karbon yang tersimpan ke atmosfer, sehingga memperburuk perubahan iklim. Selain itu, pengeringan dan pembakaran gambut dapat mengakibatkan kebakaran hutan yang dahsyat, seperti yang terjadi dalam beberapa tahun terakhir di negara-negara seperti Indonesia, yang menyebabkan meluasnya polusi udara dan bahaya kesehatan

tidak hanya bagi masyarakat lokal, tetapi juga bagi negara tetangga akibat adanya pergerakan asap melewati lintas batas antarnegara (*transboundary pollutant*). Di sini, kami akan membahas penyebab kebakaran, kandungan asap, dampak yang ditimbulkan, dan upaya pencegahan serta mitigasi kebakaran lahan gambut di Indonesia.

B. Memahami Penyebab Kebakaran Gambut

Salah satu krisis lingkungan hidup yang berulang kali terjadi di Indonesia adalah kebakaran lahan gambut. Hampir setiap tahun, sebagian besar lahan gambut terbakar, hutan dilalap api, kota-kota terselimuti kabut tebal, serta ekosistem dan kesehatan manusia mengalami kerusakan akibatnya. Bagian ini akan membahas berbagai faktor yang memicu kebakaran lahan gambut di Indonesia serta alasan kebakaran tersebut tetap terjadi meskipun berbagai upaya pengendalian telah dilakukan.

Lahan gambut, yang ditandai dengan akumulasi bahan tanaman yang membusuk sebagian dalam kondisi tergenang air, mencakup wilayah yang luas di pulau-pulau di Indonesia, khususnya Sumatra dan Kalimantan. Ekosistem ini, yang menyimpan sejumlah besar karbon dan keanekaragaman hayati yang unik, berada di bawah tekanan yang makin besar akibat aktivitas manusia, seperti pertanian, penebangan kayu, dan konversi lahan. Ketika dikeringkan dan dibuka untuk budidaya, lahan gambut menjadi sangat mudah terbakar, sehingga menjadi sangat mudah terbakar dan menjadi bahan bakar yang sempurna bagi penyebaran api.

Salah satu penyebab utama kebakaran gambut di Indonesia adalah praktik pertanian tebang bakar (*slash and burn*), tempat petani dengan sengaja membakar hutan dan lahan gambut untuk membuka lahan untuk tanaman, seperti kelapa sawit, karet, dan kayu *pulp*. Meskipun ilegal, praktik tidak berkelanjutan ini terus meluas, didorong oleh faktor ekonomi dan kurangnya penegakan peraturan yang ada. Kombinasi kondisi cuaca kering, tumbuh-tumbuhan yang mudah terbakar, dan aktivitas manusia menciptakan

kondisi sempurna bagi terjadinya bencana kebakaran yang dapat meluas di luar kendali selama berbulan-bulan.

Faktor lain yang berkontribusi terhadap kebakaran lahan gambut di Indonesia adalah pengeringan lahan gambut untuk pengembangan industri, seperti perkebunan kelapa sawit dan proyek infrastruktur. Ketika lahan gambut dikeringkan untuk dijadikan lahan pertanian atau kawasan permukiman akibat urbanisasi, lahan gambut tersebut menjadi lebih rentan terhadap kebakaran, karena air yang tadinya membuat lahan gambut tetap lembap kini berkurang, sehingga meninggalkan tanah gambut yang sangat mudah terbakar. Selain itu, penggalian kanal dan parit untuk drainase menyebabkan masuknya oksigen ke dalam gambut, sehingga makin meningkatkan risiko kebakaran dan memperburuk penyebarannya.

Variabilitas iklim dan perubahan pola cuaca juga berperan dalam terjadinya dan meningkatnya keparahan kebakaran lahan gambut di Indonesia. Peristiwa El Niño, yang mengakibatkan kondisi wilayah menjadi lebih kering dan panas, dapat menciptakan kondisi ideal bagi api untuk berkobar dan menyebar. Dalam beberapa tahun terakhir, makin intensifnya peristiwa El Niño, ditambah dengan deforestasi dan degradasi lahan, telah menyebabkan terjadinya kebakaran lahan gambut yang belum pernah terjadi sebelumnya, sehingga mengakibatkan kerusakan lingkungan dan krisis kesehatan masyarakat (Budiharta, 2023; Greenpeace Southeast Asia, 2020; WMO, 2024).

C. Mengenal Karakteristik Kebakaran Lahan Gambut

Kebakaran lahan gambut yang membara (*smoldering)* mempunyai beberapa ciri yang berbeda dengan kebakaran yang menyala-nyala (*flaming*), antara lain sebagai berikut (Bourgeau-Chavez et al., 2020; Palamba et al., 2023; Rein, 2014; Rein & Huang, 2021; Watts et al., 2013; Xinyan et al., 2019).

1) Kebakaran *smoldering* terjadi pada temperatur yang lebih rendah, biasanya berkisar antara 500 °C hingga 700 °C, dibandingkan

flaming yang d apat mencapai suhu 1.500° C hingga 1.800° C. Temperatur yang lebih rendah dan laju penyebaran yang lebih lambat, sekitar 1 mm/menit, membuat kebakaran *smoldering* lebih sulit dipadamkan dan lebih persisten.

2) Kadar air berperan penting dalam penyalaan dan penyebaran kebakaran gambut. Ambang batas kelembapan kritis untuk terjadinya kebakaran adalah sekitar 120% untuk lahan gambut *boreal*, dan kandungan mineral yang lebih tinggi dapat menurunkan ambang batas ini. Artinya, lahan gambut yang lebih kering dari ambang batas ini rentan terhadap kebakaran, dan keberadaan mineral dapat meningkatkan penyebaran api.
3) Perubahan iklim juga merupakan faktor penting dalam terjadinya dan berlanjutnya kebakaran lahan gambut. Kondisi yang lebih hangat dan lebih kering dapat memperparah kebakaran serta menciptakan umpan balik positif yang berkontribusi terhadap penyebaran dan durasi kebakaran. Hal ini sangat memprihatinkan karena kebakaran lahan gambut dapat melepaskan gas rumah kaca dalam jumlah besar sehingga memperburuk perubahan iklim.

Kebakaran lahan gambut ditandai dengan temperatur yang rendah, laju penyebaran yang lambat, dan ketergantungan yang kuat pada kadar air. Kebakaran tersebut sulit dipadamkan, bertahan lama, dan melepaskan sejumlah besar gas rumah kaca ke atmosfer. Perubahan iklim memperparah kebakaran ini, sehingga menimbulkan kekhawatiran besar terhadap lingkungan dan kesehatan ekologis.

D. Mempelajari Kandungan Asap Kebakaran Lahan Gambut

Setelah tersulut, kebakaran di lahan gambut dapat bertahan selama berbulan-bulan, bahkan bertahun-tahun, dan melepaskan asap dalam jumlah besar ke atmosfer. Komposisi asap dari kebakaran lahan gambut di Indonesia menjadi perhatian besar karena dampaknya terhadap kualitas udara dan kesehatan manusia. Kebakaran lahan

gambut melepaskan campuran kompleks partikel dan gas yang dapat menimbulkan dampak yang parah. Berikut beberapa aspek penting komposisi asap dari kebakaran lahan gambut di Indonesia berdasarkan sumber yang tersedia.

1. Partikulat ($PM_{2.5}$)

$PM_{2.5}$ adalah partikel sangat kecil yang biasanya ditemukan dalam asap dan berdiameter 2,5 mikrometer (0,0025 mm) atau kurang. Kebakaran lahan gambut berkontribusi besar terhadap emisi $PM_{2.5}$, yang merupakan komponen utama asap yang dilepaskan selama kebakaran tersebut. Hasil pengukuran pada asap kebakaran gambut tahun 2015 menunjukkan bahwa terdapat sekitar 17,3 ± 6,0 g $PM_{2.5}$/ kg gambut yang terbakar (Jayarathne et al., 2018).

Menurut Hu et al. (2018) $PM_{2.5}$ yang terkandung dalam asap kebakaran gambut tropis nilainya relatif sedikit lebih rendah jika dibandingkan dengan gambut subtropik dan boreal. Namun demikian, mengingat kebakaran gambut di Indonesia yang lebih intensif dan ekstensif, beban emisi $PM_{2.5}$ ke atmosfer yang dihasilkan dapat menjadi lebih besar dibandingkan kebakaran gambut subtropik dan boreal. Menurut Kiely et al. (2019), kebakaran gambut bulan September–Oktober 2015 di Sumatra dan Kalimantan diperkirakan mengemisikan 7,33 Tg $PM_{2.5}$ ke atmosfer.

Karakterisasi $PM_{2.5}$ dari asap kebakaran gambut di Kalimantan Tengah menunjukkan adanya kandungan senyawa-senyawa yang berbahaya bagi kesehatan manusia dan lingkungan seperti polisiklik aromatik hidrokarbon (PAH), logam berat (Fe, Cu, Zn, As, Cd, Ba, dan Pb), dan ion terlarut dalam air (Na^+, K^+, Cl^-, F^-, NH_4^+, SO_4^{2-}, NO_3-) (Jayarathne et al., 2018).

2. Gas-Gas Beracun

Asap dari kebakaran gambut mengandung gas-gas beracun. Beberapa yang terbesar meliputi HCN, NH_3, benzena, formaldehida, toluena, furan, NO_x, HNO_2, dan HCl. Hal yang menarik adalah tidak terdeteksinya SO_2 pada asap pembakaran gambut Indonesia (Christian et al., 2003; Stockwell et al., 2014; Yokelson et al., 2022),

yang membedakannya dengan *biomass burning*. Hal ini disebabkan oleh kandungan sulfur yang relatif sangat rendah dalam gambut tropis, yaitu sekitar 0,2–1,3% untuk gambut Sumatra (Priyono dan Wibisono, 2018), dan 0,12–2,22% untuk gambut Kalimantan (Setyawati, 2017).

3. Karbon

CO_2, CO, dan CH_4 merupakan tiga gas karbon terbesar yang diemisikan dari kebakaran gambut (Christian et al., 2003; Stockwell et al., 2014; Stockwell et al., 2019; Yokelson et al., 2022). Ketiganya dikenal sebagai gas rumah kaca yang berpotensi menyebabkan pemanasan global (*global warming*). Mayoritas emisi karbon akibat kebakaran lahan gambut berasal dari pembakaran lahan gambut, yang menyumbang sekitar 70% dari total emisi, sedangkan 30% sisanya berasal dari pembakaran biomassa di atas permukaan tanah (Rodríguez Vásquez et al., 2020). Estimasi awal mengenai emisi (gas rumah kaca) dari kebakaran lahan gambut ternyata meremehkan emisi yang sebenarnya, dengan margin kesalahan sebesar 200–300%. Artinya, emisi yang sebenarnya dapat 2 hingga 3 kali lipat lebih besar dari yang diperkirakan sebelumnya (Burgelman, 2022; Datta dan Krishnamoorti, 2022). Kesulitan pemantauan dan pengukuran kebakaran lahan gambut menyebabkan perkiraan dampak iklim yang terlalu rendah (Burgelman, 2022; INCAS, 2015; Rodríguez Vásquez et al., 2020).

E. Menyelidiki Dampak Asap Kebakaran Gambut

Campuran asap beracun yang dihasilkan oleh kebakaran lahan gambut menjadi ancaman. Meskipun kebakaran ini tampak seperti kejadian alam atau praktik budaya, dampaknya jauh melampaui lingkungan sekitar, sehingga menimbulkan risiko serius terhadap kesehatan manusia, ekosistem, ekonomi, dan iklim global. Beberapa dampak yang ditimbulkan dari asap kebakaran gambut kami rangkum di bawah ini.

1. Kualitas Udara dan Keberlangsungan Makhluk Hidup

Salah satu risiko paling langsung yang ditimbulkan oleh asap kebakaran lahan gambut adalah dampaknya terhadap kesehatan pernapasan. Menghirup partikel halus, yang dapat menembus jauh ke dalam paru-paru, dapat memperburuk kondisi pernapasan seperti asma dan penyakit paru obstruktif kronik (PPOK), serta dapat meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan.

Kebakaran gambut tahun 2015 dilaporkan telah menimbulkan tingginya kadar karbon monoksida dalam asap gambut yang dapat mengganggu kemampuan tubuh untuk mengangkut oksigen, sehingga menyebabkan gejala, seperti pusing, mual, dan bahkan kematian dalam kasus yang ekstrem (Hu et al., 2018; Setyawati, 2017).

Senyawa beracun yang ditemukan dalam asap gambut dapat berdampak luas terhadap ekosistem dan satwa liar, misalnya *polycyclic aromatic hydrocarbon* (PAH) dan *volatile organic compound* (VOC). PAH diketahui bersifat karsinogenik dan dapat terakumulasi di tanah dan air sehingga menimbulkan risiko bagi tanaman, hewan, dan kehidupan akuatik (Kariyawasam et al., 2022; Mallah et al., 2022; Patel et al., 2020). VOC dapat bereaksi dengan polutan lain di atmosfer untuk membentuk ozon dan kabut asap, yang selanjutnya menurunkan kualitas udara dan membahayakan kesehatan manusia dan lingkungan (Wang et al., 2022).

2. Ekonomi

Kebakaran lahan gambut tropis mempunyai dampak ekonomi yang signifikan, menyebabkan hilangnya lapangan kerja, dan menghambat pertumbuhan ekonomi masyarakat lokal. Kebakaran mengakibatkan kerugian ekonomi sebesar miliaran dolar karena hancurnya tanaman pertanian dan hutan serta melepaskan sejumlah besar CO_2 dan polutan udara yang menyebabkan dampak buruk terhadap kesehatan (Lee et al., 2022).

Kebakaran tahun 2015 di Indonesia saja mengakibatkan kerugian ekonomi sebesar US$28 miliar, dengan potensi upaya restorasi yang diperkirakan dapat mengurangi emisi CO_2 sebesar 18% dan mencegah 12.000 kematian dini (Krisnawati et al., 2022). Selain itu, kebakaran hutan yang berulang di lahan gambut terdegradasi di Kalimantan Tengah menimbulkan dampak ekonomi yang parah terhadap masyarakat lokal. Hal ini menunjukkan adanya saling ketergantungan antara mata pencaharian dan kebakaran hutan di wilayah tersebut (Samuel et al., 2023). Oleh karena itu, diperlukan intervensi kebijakan untuk memitigasi dampak ekonomi dan mendorong pembangunan ekonomi berkelanjutan di wilayah lahan gambut tropis yang rawan kebakaran.

3. Perubahan Iklim

Pembakaran lahan gambut berkontribusi signifikan terhadap emisi gas rumah kaca dan berdampak pada perubahan iklim. Kebakaran lahan gambut melepaskan sejumlah besar karbon, metana, dan gas rumah kaca lainnya yang tersimpan dalam jangka panjang, sehingga memperburuk siklus karbon dan menimbulkan efek umpan balik positif pada sistem iklim (Blackford et al., 2023; Wilkinson et al., 2023). Kebakaran hutan di lahan gambut mengurangi serapan karbon di kawasan alami dan meningkatkan emisi dari lahan gambut terdegradasi, sehingga menjadikan penyerap karbon saat ini rentan terhadap dampak perubahan iklim yang mempercepat hilangnya karbon (Kübert et al., 2023).

Kebakaran lahan gambut, terutama di wilayah tropis, melepaskan sejumlah besar aerosol dan gas yang memengaruhi iklim secara global. Selain itu, kebakaran lahan gambut yang membara sangat sulit dideteksi dari satelit. Model kebakaran perlu memasukkan kebakaran lahan gambut untuk memperkirakan secara akurat area yang terbakar, emisi karbon, serta memahami dampak saat ini dan masa depan terhadap iklim di wilayah lintang tinggi (Graham et al., 2022).

F. Upaya Pencegahan Dan Mitigasi

Upaya mengatasi akar penyebab kebakaran lahan gambut di Indonesia memerlukan pendekatan multifaset untuk mengatasi penyebab utama deforestasi, degradasi lahan, dan praktik penggunaan lahan yang tidak berkelanjutan. Hal ini mencakup penegakan hukum dan peraturan terhadap pembakaran ilegal dan pembukaan lahan, mendorong praktik pertanian berkelanjutan yang meminimalkan risiko kebakaran, dan memulihkan lahan gambut yang terdegradasi ke kondisi hidrologi alaminya. Kerja sama dan dukungan internasional juga penting dalam menyediakan sumber daya dan keahlian yang diperlukan untuk mencegah dan memitigasi dampak kebakaran lahan gambut di Indonesia.

Upaya mengatasi ancaman yang ditimbulkan oleh asap kebakaran lahan gambut memerlukan pendekatan multifaset yang mengatasi bahaya langsung dan penyebab mendasar dari kebakaran tersebut. Hal ini mencakup langkah-langkah untuk mencegah drainase dan degradasi lahan gambut, menegakkan peraturan ketat mengenai penggunaan lahan dan praktik pembakaran, serta berinvestasi dalam teknologi untuk deteksi dini dan pemadaman kebakaran. Hal ini juga memerlukan kesadaran dan pendidikan yang lebih besar mengenai risiko yang terkait dengan kebakaran lahan gambut, baik di kalangan pembuat kebijakan maupun masyarakat umum.

Kompleksitas dampak asap kebakaran lahan gambut menegaskan keterkaitan erat antara kesehatan manusia, ekosistem, dan sistem iklim global. Tindakan tegas untuk mengatasi akar penyebab kebakaran lahan gambut serta dampak yang ditimbulkannya diperlukan untuk melindungi kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan bagi generasi mendatang.

Pemerintah dan masyarakat Indonesia telah melakukan beberapa inisiatif untuk mencegah dan memitigasi kebakaran gambut. Upaya tersebut antara lain sebagai berikut.

1) Badan Restorasi Gambut (BRG/BRGM): Didirikan pada tahun 2016, badan ini bertujuan untuk merestorasi lebih dari 2 juta hektar lahan gambut terdegradasi di beberapa provinsi melalui pembasahan kembali, revegetasi, pembangunan bendungan, dan tindakan lainnya. Meskipun organisasi ini menghadapi tantangan dalam mencapai targetnya, mandatnya telah diperluas.
2) Program Insentif Desa: Program ini memberikan insentif kepada desa-desa untuk menerapkan kebijakan tanpa membakar dan mencegah dan memadamkan kebakaran dengan cepat melalui paket bantuan. Hal ini bertujuan untuk membina kolaborasi antara masyarakat dan pemerintah/swasta.
3) Pemadam Kebakaran Masyarakat (Masyarakat Peduli Api/MPA): Ini adalah kelompok sukarelawan pemadam kebakaran yang dibentuk oleh kepala desa untuk membantu upaya pencegahan dan pemadaman kebakaran. Meskipun mereka sering kali kekurangan dana dan pelatihan, mereka memainkan peran penting dalam pengelolaan kebakaran berbasis masyarakat.
4) Program Desa Peduli Gambut: Program ini berfokus pada keterlibatan masyarakat, pendidikan, dan praktik berkelanjutan untuk mengurangi risiko kebakaran. Hal ini telah berhasil di beberapa daerah, seperti di Provinsi Riau, yang membantu mencegah kebakaran dan mendorong penggunaan lahan yang berkelanjutan.
5) Komunitas/Desa Peduli Kebakaran: Inisiatif ini bertujuan untuk mengintegrasikan strategi pencegahan kebakaran dengan sistem pertanian lokal serta mendorong praktik berkelanjutan dan keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan kebakaran.
6) Sistem Kehutanan dan Pertanian Terpadu: Program ini menggabungkan pencegahan kebakaran dengan praktik kehutanan dan pertanian berkelanjutan, yang bertujuan untuk mengurangi risiko kebakaran dan mendorong kelestarian lingkungan.

Inisiatif-inisiatif ini menunjukkan komitmen pemerintah dan masyarakat Indonesia dalam mengatasi masalah kebakaran lahan gambut. Namun, masih ada tantangan yang dihadapi, seperti terbatasnya pendanaan dan pelatihan bagi pemadam kebakaran masyarakat, serta perlunya kolaborasi yang lebih efektif antarpemangku kepentingan.

Daftar Pustaka

Adityasari, M. (2023). *Siaran pers: Lahan gambut tropis punya peranan utama dalam mitigasi perubahan iklim*. YKAN. https://www.ykan.or.id/id/publikasi/artikel/siaran-pers/lahan-gambut-tropis-punya-peranan-utama-dalam-mitigasi-perubahan-iklim/

Agus, F., & Subiksa, I. G. M. (2008). *Lahan gambut: Potensi untuk pertanian dan aspek lingkungan*. Balai Penelitian Tanah dan World Agroforestry Centre (ICRAF).

Blackford, K., Voulgarakis, A., Prentice, C., Burton, C., & Kasoar, M. (2023, April 24–28). *Representing northern high latitude peat fires in the JULES-INFERNO fire model* [Conference presentation]. EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-6083

Bourgeau-Chavez, L. L., Grelik, S. L., Billmire, M., Jenkins, L. K., Kasischke, E. S., & Turetsky, M. R. (2020). Assessing boreal peat fire severity and vulnerability of peatlands to early season wildland fire. *Frontiers in Forests and Global Change*, *3*, Article 20. https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00020

Budiharta, S. (2023). *El Nino, karhutla, dan kesehatan masyarakat*. Kompas.id. https://www.kompas.id/baca/opini/2023/08/11/el-nino-karhutla-dan-kesehatan-masyarakat

Burgelman, S. (2022). *Greenhouse gas emission impact from peatland fires underestimated by 200%–300%, shows new study*. Frontiers. https://www.frontiersin.org/news/2022/02/08/greenhouse-gas-emission-impact-from-peatland-fires-underestimated-by-200-300-shows-new-study/

Christian, T. J., Kleiss, B., Yokelson, R. J., Holzinger, R., Crutzen, P. J., Hao, W. M., Saharjo, B. H., & Ward, D. E. (2003). Comprehensive laboratory measurements of biomass-burning emissions: 1. Emissions from Indonesian, African, and other fuels. *Journal of Geophysical Research*, *108*(D23), Article 4719. https://doi.org/10.1029/2003JD003704

Datta, A., & Krishnamoorti, R. (2022). Understanding the greenhouse gas impact of deforestation fires in Indonesia and Brazil in 2019 and 2020. *Frontiers in Climate*, *4*. https://doi.org/10.3389/fclim.2022.799632

Graham, L. L. B., Applegate, G. B., Thomas, A., Ryan, K. C., Saharjo, B. H., & Cochrane, M. A. (2022). A field study of tropical peat fire behaviour and associated carbon emissions. *Fire*, *5*(3), Article 62. https://doi.org/10.3390/fire5030062

Greenpeace Southeast Asia. (2020). *Membara: Dampak kesehatan dari kebakaran hutan di Indonesia dan implikasinya bagi pandemi Covid-19*. https://www.greenpeace.org/static/planet4-indonesia-stateless/2020/09/50e1f6a5-membara-2020-kebakaran-hutan.pdf

Hu, Y., Fernandez-Anez, N., Smith, T. E. L., & Rein, G. (2018). Review of emissions from smouldering peat fires and their contribution to regional haze episodes. *International Journal of Wildland Fire*, *27*, 293–312. https://doi.org/10.1071/WF17084

Indonesian National Carbon Accounting System. (2015). *INCAS standard method–Peat GHG emissions*. http://incas.menlhk.go.id/methodology/incas-standard-method-peat-ghg-emissions/

Jayarathne, T., Stockwell, C. E., Gilbert, A. A., Daugherty, K., Cochrane, M. A., Ryan, K. C., Putra, E. I., Saharjo, B. H., Nurhayati, A. D., Albar, I., Yokelson, R. J., & Stone, E. A. (2018). Chemical characterization of fine particulate matter emitted by peat fires in Central Kalimantan, Indonesia, during the 2015 El Niño. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *18*, 2585–2600. https://doi.org/10.5194/acp-18-2585-2018

Kariyawasam, T., Doran, G. S., Howitt, J. A., & Prenzler, P. D. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbon contamination in soils and sediments: Sustainable approaches for extraction and remediation. *Chemosphere*, *291*(Pt. 3), Article 132981. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132981

Kementerian Pertanian. (2011). *Peta lahan gambut Indonesia skala 1:250.000* (Edisi Desember 2011). Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.

Kiely, L., Spracklen, D. V., Wiedinmyer, C., Conibear, L., Reddington, C. L., Archer-Nicholls, S., Lowe, D., Arnold, S. R., Knote, C., Khan, M. F., Latif, M. T., Kuwata, M., Budisulistiorini, S. H., & Syaufina, L. (2019). New estimate of particulate emissions from Indonesian peat fires in 2015. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *19*, 11105–11121. https://doi.org/10.5194/acp-19-11105-2019

Kiely, L., Spracklen, D. V., Arnold, S. R., Papargyropoulou, E., Conibear, L., Wiedinmyer, C., Knote, C., & Adrianto, H. A. (2021). Assessing costs of Indonesian fires and the benefits of restoring peatland. *Nature Communications*, *12*, Article 7044. https://doi.org/10.1038/s41467-021-27353-x

KLHK. (2021). *Indonesia: Kelola gambut dengan integrasi kebijakan bersama masyarakat*. https://ppid.menlhk.go.id/berita/siaran-pers/6042/indonesia-kelola-gambut-dengan-integrasi-kebijakan-bersama-masyarakat

Krisnawati, H., Volkova, L., Budiharto, B., Zamzani, F., Adinugroho, W. C., Qirom, M. A., & Weston, C. J. (2023). Building capacity for estimating fire emissions from tropical peatlands: A worked example from Indonesia. *Scientific Reports*, *13*, Article 14355. https://doi.org/10.1038/s41598-023-40894-z

Kübert, A., Aurela, M., Hatakka, J., Laurila, T., Rainne, J., Tuovinen, J.-P., Vekuri, H., & Lohila, A. (2023, April 24–28). *Peatland methane emissions in a changing climate: A 13-year time series of a boreal fen in Northern Finland* [Conference presentation]. EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-8556

Lee, J. S. H., Fatimah, Y. A., Smith, S. W., Rahman, N. E., Nurhidayah, L., Wardhana, B., Saad, A., Prasojo, Z., Khan, F., Wu, M. S., Giam, X., Chong, K. Y., Graham, L., & Lallemant, D. (2022, May 23–27). *Mapping socio-ecological vulnerability of tropical peat landscape fires* [Conference presentation]. EGU General Assembly 2022, Vienna, Austria. https://doi.org/10.5194/egusphere-egu22-6811

Mallah, M. A., Changxing, L., Mallah, M. A., Noreen, S., Liu, Y., Saeed, M., Xi, H., Ahmed, B., Feng, F., Mirjat, A. A., Wang, W., Jabar, A., Naveed, M., Li, J. H., & Zhang, Q. (2022). Polycyclic aromatic hydrocarbon and its effects on human health: An overview. *Chemosphere*, *296*, Article 133948. https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133948

Palamba, P., Werdhani, A. S., & Numberi, J. J. (2022). Smoldering behavior of peat fire. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, *1192*, Article 012039. https://doi.org/10.1088/1755-1315/1192/1/012039

Patel, A. B., Shaikh, S., Jain, K. R., Desai, C., & Madamwar, D. (2020). Polycyclic aromatic hydrocarbons: Sources, toxicity, and remediation approaches. *Frontiers in Microbiology*, *11*, Article 562813. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.562813

Priyono, & Wibisono, S. A. (2018). Karakteristik gambut berdasarkan analisis geokimia dan petrografi organik di Kabupaten Indragiri Hilir, Provinsi Riau. *Buletin Sumber Daya Geologi*, *13*(2), 128–140. https://doi.org/10.47599/bsdg.v13i2.72

Rein, G. (2014). *From Indonesia to Botswana, from Scotland to North Carolina, peat mega-fires burn for months, destroy habitat, clog the air with haze, and self-accelerate climate change impacts*. International Association of Wildland Fire. https://www.iawfonline.org/article/the-long-slow-burn-of-smouldering-peat-mega-fires/

Rein, G., & Huang, X. (2021). Smouldering wildfires in peatlands, forests and the arctic: Challenges and perspectives. *Current Opinion in Environmental Science & Health*, *24*, Article 100296. https://doi.org/10.1016/j.coesh.2021.100296

Rodríguez Vásquez, M. J., Benoist, A., Roda, J. M., & Fortin, M. (2020). Estimating greenhouse gas emissions from peat combustion in wildfires on Indonesian peatlands, and their uncertainty. *Global Biogeochemical Cycles*, *35*(2). https://doi.org/10.1029/2019GB006218

Samuel, R., Yanetri, A. N., Trisna, A., Russell, R., Ammar, A. A., Stephen, J., & Dargusch, P. D. (2023). The dynamics of burning activity on degraded peatland in two villages in Central Kalimantan, Indonesia. *International Journal of Wildland Fire*, *32*, 222–237. https://doi.org/10.1071/WF22067

Setyawati, W. (2017). *Pengembangan faktor emisi dari kebakaran lahan gambut di Indonesia untuk menunjang inventori emisi gas rumah kaca (Studi kasus: Kalimantan)* [Disertasi doktoral, Institut Teknologi Bandung].

Stockwell, C. E., Yokelson, R. J., Kreidenweis, S. M., Robinson, A. L., DeMott, P. J., Sullivan, R. C., Reardon, J., Ryan, K. C., Griffith, D. W. T., & Stevens, L. (2014). Trace gas emissions from combustion of peat, crop residue, domestic biofuels, grasses, and other fuels: Configuration and Fourier transform infrared (FTIR) component of the fourth Fire Lab at Missoula Experiment (FLAME-4). *Atmospheric Chemistry and Physics*, *14*, 9727–9754. https://doi.org/10.5194/acp-14-9727-2014

Stockwell, C. E., Veres, P. R., Williams, J., & Yokelson, R. J. (2015). Characterization of biomass burning emissions from cooking fires, peat, crop residue, and other fuels with high-resolution proton-transfer-reaction time-of-flight mass spectrometry. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *15*, 845–865. https://doi.org/10.5194/acp-15-845-2015

Stockwell, C. E., Jayarathne, T., Cochrane, M. A., Ryan, K. C., Putra, E. I., Saharjo, B. H., Nurhayati, A. D., Albar, I., Blake, D. R., Simpson, I. J., Stone, E. A., & Yokelson, R. J. (2016). Field measurements of trace gases and aerosols emitted by peat fires in Central Kalimantan, Indonesia, during the 2015 El Niño. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *16*, 11711–11732. https://doi.org/10.5194/acp-16-11711-2016

Wang, Z., Shi, Z., Wang, F., Liang, W., Shi, G., Wang, W., Chen, D., Liang, D., Feng, Y., & Russell, A. (2022). Implications for ozone control by understanding the survivor bias in observed ozone-volatile organic compounds system. *npj Climate and Atmospheric Science*, *5*, Article 39. https://doi.org/10.1038/s41612-022-00261-7

Watts, A. C., & Kobziar, L. N. (2013). Smoldering combustion and ground fires: Ecological effects and multi-scale significance. *Fire Ecology*, *9*, 124–132. https://doi.org/10.4996/fireecology.0901124

Wilkinson, S. L., Andersen, R., & Moore, P. A. (2023). Wildfire and degradation accelerate northern peatland carbon release. *Nature Climate Change*, *13*, 456–461. https://doi.org/10.1038/s41558-023-01657-w

WMO. (2024). *El Niño weakens but impacts continue*. World Meteorological Organization. https://wmo.int/news/media-centre/el-nino-weakens-impacts-continue

Xinyan, H., & Rein, G. (2019). Upward-and-downward spread of smoldering peat fire. *Proceedings of the Combustion Institute*, *37*(3), 4025–4033. https://doi.org/10.1016/j.proci.2018.05.125

Yokelson, R. J., Saharjo, B. H., Stockwell, C. E., Putra, E. I., Jayarathne, T., Akbar, A., Albar, I., Blake, D. R., Graham, L. L. B., Kurniawan, A., Meinardi, S., Ningrum, D., Nurhayati, A. D., Saad, A., Sakuntaladewi, N., Setianto, E., Simpson, I. J., Stone, E. A., Sutikno, S., … Cochrane, M. A. (2022). Tropical peat fire emissions: 2019 field measurements in Sumatra and Borneo and synthesis with previous studies. *Atmospheric Chemistry and Physics*, *22*, 10173–10194. https://doi.org/10.5194/acp-22-10173-2022