PAPARAN ASAP KEBAKARAN HUTAN

Lansia, Ibu Hamil, dan Kelompok Rentan



SIAPA YANG LEBIH RENTAN?



Lansia • Ibu hamil • Bayi dan anak





Penderita asma, penyakit paru, jantung, dan diabetes

APA DAMPAKNYA?



Iritasi mata dan tenggorokan



Batuk, sesak, dan memburuknya penyakit kronis



Risiko kehamilan perlu dipantau tenaga kesehatan

LANGKAH PERLINDUNGAN



Pantau kualitas udara dan ikuti arahan resmi



Kurangi aktivitas berat di luar ruang



Cari ruang dalam yang lebih bersih; tutup celah dan gunakan filtrasi bila tersedia



Jika sesak berat atau gejala memburuk, segera cari pertolongan medis

Perlindungan efektif memerlukan keluarga, layanan kesehatan, dan kesiapsiagaan komunitas.

Oleh: Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD
Guru Besar Manajemen dan AI Data Analyst | IBM-ASMI
RudyCT Academic Series • www.rudyct.com/cv.pdf

Paparan Asap Kebakaran Hutan pada Lansia, Ibu Hamil, dan Kelompok Rentan

Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD
www.rudyct.com/cv.pdf

IBM-ASMI | RudyCT Academic Series

2026

Abstrak

Asap kebakaran hutan dan lahan mengandung partikel halus dan gas yang dapat memperburuk penyakit pernapasan serta kardiovaskular, mengganggu fungsi sehari-hari, dan meningkatkan kebutuhan layanan kesehatan. Risiko tidak terbagi merata. Lansia, ibu hamil dan janin, bayi dan anak, penyandang penyakit kronis, penyandang disabilitas, pekerja luar ruang, serta masyarakat berpenghasilan rendah atau tinggal di wilayah terpencil dapat menghadapi paparan lebih tinggi atau memiliki ruang pemulihan dan perlindungan yang lebih sempit. Artikel ini menguraikan karakter asap, jalur paparan, mekanisme biologis, bukti kesehatan, dan kondisi sosial yang membentuk risiko pada kelompok tersebut. Bukti tentang dampak kehamilan menunjukkan sinyal potensi bahaya, tetapi hasil meta-analisis masih dibatasi heterogenitas studi dan kurangnya data dari Asia Tenggara. Untuk lansia, penyakit penyerta, keterbatasan mobilitas, ketergantungan pada obat dan layanan, serta isolasi sosial dapat memperbesar konsekuensi episode asap. Pembahasan juga menyusun langkah perlindungan berlapis: pencegahan kebakaran, pemantauan

udara, komunikasi yang mudah dipahami, ruang udara lebih bersih, kesiapan klinik dan layanan maternal, perlindungan pekerja, serta dukungan komunitas. Agenda kebijakan menempatkan kelompok terdampak sebagai mitra perencanaan dan menilai keberhasilan melalui pengurangan paparan serta kesenjangan kesehatan, bukan semata jumlah imbauan atau alat yang dibagikan.

Kata Kunci
asap kebakaran; PM2.5; lansia; kehamilan; kesehatan maternal; penyakit kronis; kelompok rentan; perlindungan kesehatan; kualitas udara; Indonesia.

1. Pendahuluan: Risiko asap dan ketimpangan kesehatan

Kebakaran hutan dan lahan bukan hanya bahaya api yang mengancam orang yang tinggal di dekat titik nyala. Asap halus dapat menyebar lintas kabupaten dan negara, memasuki rumah, sekolah, tempat kerja, kendaraan, serta fasilitas pelayanan kesehatan. Ketika kualitas udara memburuk selama beberapa hari atau minggu, dampak yang muncul dapat mencakup iritasi mata dan saluran napas, batuk, sesak, serangan asma, peningkatan beban jantung dan paru, gangguan aktivitas, serta kebutuhan berobat yang lebih besar. Pada episode ekstrem, sekolah dapat diliburkan, pekerjaan luar ruang terhenti, transportasi terganggu, dan klinik menerima lonjakan pasien. Karena paparan meluas, warga yang tidak melihat api pun tetap dapat menghirup polutan hasil kebakaran.

Dampak tersebut tidak terbagi merata. Lansia lebih mungkin hidup dengan penyakit jantung atau paru, menggunakan beberapa obat, memiliki mobilitas yang terbatas, atau tinggal sendiri. Kehamilan membawa perubahan fisiologis yang meningkatkan kebutuhan oksigen dan aliran darah, sementara janin berada dalam tahap perkembangan yang peka terhadap gangguan lingkungan. Bayi dan anak memiliki paru yang sedang berkembang dan menghirup lebih banyak udara relatif terhadap ukuran tubuh. Orang dengan

asma, penyakit paru obstruktif kronis, penyakit kardiovaskular, diabetes, atau gangguan ginjal dapat mengalami perburukan kondisi yang sudah ada. Risiko juga dipengaruhi pekerjaan, kondisi rumah, kemiskinan energi, akses terhadap informasi, jarak ke fasilitas kesehatan, bahasa, disabilitas, dan dukungan sosial.

Istilah kelompok rentan perlu digunakan secara cermat. Kerentanan bukan sifat tetap seseorang dan bukan tanda ketidakmampuan. Ia terbentuk ketika paparan, sensitivitas biologis, kondisi kesehatan, kapasitas bertindak, dan dukungan yang tersedia berinteraksi. Seorang lansia yang memiliki kondisi kesehatan stabil, akses kendaraan, keluarga pendamping, serta rumah dengan ruang udara bersih dapat menghadapi keadaan berbeda dari lansia dengan keterbatasan mobilitas, tinggal sendirian, dan kesulitan membeli obat. Demikian juga, ibu hamil yang memiliki layanan antenatal rutin dan tempat perlindungan yang nyaman mungkin berbeda risikonya dari pekerja informal yang tetap harus bekerja di luar rumah selama asap pekat.

Artikel ini membahas bagaimana asap terbentuk dan mencapai tubuh, mekanisme biologis yang mungkin menghubungkan paparan dengan gangguan kesehatan, serta bukti yang tersedia bagi lansia, ibu hamil, bayi dan anak, penderita penyakit kronis, pekerja, dan kelompok sosial yang menghadapi hambatan perlindungan. Bukti ilmiah akan dipisahkan dari hipotesis biologis dan rekomendasi kebijakan. Banyak studi kehamilan dan lansia berasal dari Amerika Utara, Brasil, atau Australia; hasilnya tidak dapat dipindahkan begitu saja ke Indonesia, tempat kebakaran gambut, kepadatan hunian, sistem layanan, dan kondisi kerja memiliki karakter berbeda. Keterbatasan tersebut justru memperkuat kebutuhan penelitian Indonesia dan Asia Tenggara.

Argumen utama naskah ialah bahwa perlindungan kesehatan harus dimulai sebelum asap mencapai rumah sakit. Pemerintah perlu mengurangi kebakaran di sumber, menyediakan informasi kualitas udara yang dapat dipercaya, memudahkan kelompok sasaran mengurangi paparan tanpa

memindahkan risiko ke panas atau kehilangan pendapatan, dan menyiapkan layanan yang dapat menjangkau warga dengan kebutuhan khusus. Rumah tangga, kader kesehatan, klinik, bidan, puskesmas, pemerintah daerah, pengelola sekolah, pemberi kerja, dan lembaga lintas negara memiliki peran yang saling melengkapi. Hasilnya perlu dinilai melalui penurunan paparan, keterlambatan pertolongan, komplikasi, dan kesenjangan akses perlindungan.

2. Kerangka konseptual: Bahaya, paparan, kerentanan, dan kapasitas perlindungan

Risiko bencana dapat dipahami sebagai hasil interaksi bahaya, paparan, dan kerentanan. Bahaya dalam konteks karhutla meliputi kemungkinan api menyala, meluas, bertahan, dan menghasilkan asap. Paparan merujuk pada manusia, sekolah, fasilitas kesehatan, infrastruktur, hutan, satwa, kebun, dan aset ekonomi yang berada pada jalur api atau plume asap. Kerentanan menunjukkan seberapa mudah unsur yang terpapar mengalami kerugian dan seberapa terbatas kemampuannya untuk menghindari, menyerap, atau pulih dari dampak. Konsep ini menggeser perhatian dari pertanyaan “berapa titik api?” ke pertanyaan “siapa yang berisiko, di mana, mengapa, dan dengan kapasitas perlindungan apa?”

Bahaya api sendiri memiliki beberapa dimensi: peluang penyalaan, tingkat kekeringan bahan bakar, kecepatan rambat, intensitas panas, kedalaman pembakaran, durasi, serta emisi. Kebakaran yang luas tidak selalu menghasilkan paparan asap tertinggi di satu kota, karena angin, stabilitas atmosfer, hujan, topografi, dan jenis bahan bakar mengubah distribusi polutan. Sebaliknya, kebakaran yang relatif kecil pada gambut yang kering dekat permukiman dapat menimbulkan pencemaran lokal yang berat. Pemetaan risiko karenanya perlu menyatukan data hotspot, kelembapan tanah, kedalaman gambut, kanal, tutupan lahan, permukiman, arah angin, kualitas udara, serta data sosial dan kesehatan.

Kerentanan tidak merata. Anak-anak menghirup lebih banyak udara per satuan berat badan dan paru-parunya masih berkembang. Lansia, ibu hamil, penderita asma, penyakit paru obstruktif kronis, penyakit jantung, dan pekerja luar ruang dapat menghadapi risiko lebih besar. Keluarga berpendapatan rendah mungkin tidak memiliki ruang tertutup, filter udara, pilihan untuk tinggal sementara di tempat lain, atau pekerjaan yang memungkinkan mereka berhenti bekerja ketika kualitas udara memburuk. Sekolah dan puskesmas di daerah terpencil dapat kekurangan alat pengukur dan pasokan medis. Kebijakan yang menyampaikan pesan "tetap di dalam ruangan" tanpa menyediakan ruang aman atau perlindungan penghasilan dapat memindahkan beban kepada warga yang paling rentan.

Pendekatan sosio-ekologis memandang lanskap sebagai sistem yang saling terhubung. Perubahan pada satu bagian, misalnya kanal untuk mengeringkan gambut, dapat memengaruhi muka air, kelembapan vegetasi, emisi, peluang api, kualitas air, dan mata pencaharian. Hasilnya tidak selalu linear: kekeringan beberapa minggu mungkin tidak berbahaya pada gambut yang masih basah, tetapi dapat menjadi sangat berbahaya jika muka air telah turun dan bahan bakar menumpuk. Risiko adalah hasil lintasan sejarah penggunaan lahan, bukan hanya keadaan cuaca hari ini. Ini membantu menjelaskan mengapa upaya mitigasi perlu dilakukan sebelum musim kemarau, sebelum kanal dan vegetasi berada pada kondisi kritis.

Dari sudut pandang manajemen risiko, siklus kebakaran mencakup pencegahan, kesiapsiagaan, respons, pemulihan, dan pembelajaran. Pencegahan mengurangi kemungkinan terjadinya api dan kondisi yang membuat api tak terkendali. Kesiapsiagaan memastikan peringatan, sumber air, personel, alat, dan layanan kesehatan siap. Respons membatasi api dan paparan dengan mengutamakan keselamatan manusia. Pemulihan memperbaiki ekosistem, penghidupan, layanan publik, serta kesehatan masyarakat. Pembelajaran menguji apakah intervensi berhasil dan mengubah kebijakan ketika hasilnya tidak memadai. Jika anggaran dan perhatian hanya

mengalir pada tahap respons, sistem akan terus membayar mahal untuk mengatasi akibat yang berulang.

3. Lanskap kebakaran dan pembentukan paparan asap

Indonesia memiliki ekosistem yang beragam, dari hutan hujan dataran rendah hingga hutan pegunungan, savana, mangrove, lahan pertanian, perkebunan, dan rawa gambut. Api memiliki peran ekologis pada beberapa ekosistem yang secara alami mengalami kebakaran berkala, tetapi kebakaran besar dan berulang pada hutan hujan lembap atau gambut yang dikeringkan bukanlah proses yang setara dengan rezim api alami. Perubahan tutupan lahan dapat membuat hutan lebih terbuka, meningkatkan paparan sinar dan angin, mengeringkan serasah, serta menciptakan akses bagi kegiatan manusia. Fragmentasi juga menambah tepi hutan yang rentan dan memudahkan api berpindah ke vegetasi yang sebelumnya terlindungi.

Gambut terbentuk dari akumulasi bahan organik yang membusuk secara tidak sempurna dalam lingkungan jenuh air. Air adalah unsur pengaman utama: ketika muka air tetap tinggi, lapisan gambut lebih sulit terbakar. Drainase untuk perkebunan, pertanian, atau infrastruktur menurunkan muka air, meningkatkan oksidasi dan subsidensi, mengubah mikroklimat, dan mengeringkan bahan organik. Kanal yang dibuat untuk mengeluarkan air juga dapat menjadi jalur masuknya api dan mempercepat kekeringan di sekitarnya. Jika api masuk ke lapisan gambut, pembakaran dapat berlangsung secara membara di bawah permukaan dan menghabiskan bahan bakar organik dalam waktu lama.

Kebakaran gambut memiliki implikasi iklim yang besar karena karbon tersimpan bukan hanya dalam biomassa pohon, tetapi juga dalam tanah organik. Pembakaran melepaskan karbon dioksida dan polutan lain; emisi per hektare dapat sangat tinggi bila api mengonsumsi lapisan gambut yang tebal. Dengan demikian, luas terbakar saja tidak cukup untuk menggambarkan kerusakan. Dua kejadian dengan luas sama dapat berbeda jauh dalam kedalaman pembakaran, massa bahan organik yang hilang, emisi, dan peluang

pemulihan. Pemantauan perlu menggabungkan luas, jenis ekosistem, kedalaman, tingkat keparahan, durasi, dan perubahan muka air.

Pembasahan kembali atau rewetting melalui sekat kanal, pengelolaan pintu air, sumur bor untuk keadaan tertentu, dan pemulihan hidrologi bertujuan menjaga kelembapan gambut. Intervensi fisik harus dirancang secara hidrologis, bukan sekadar membangun struktur di satu titik. Air bergerak mengikuti kesatuan hidrologis gambut; sekat yang tidak tepat dapat menimbulkan genangan pada satu area, mengurangi air di area lain, atau rusak ketika debit tinggi. Pemantauan muka air dan pemeliharaan berkala sama pentingnya dengan konstruksi. Pendekatan hidrologis harus dikaitkan dengan kebutuhan warga yang menggunakan air untuk pertanian, transportasi, dan kehidupan sehari-hari.

Restorasi gambut bukan pekerjaan menanam pohon setelah api padam saja. Ia meliputi pemulihan tata air, perlindungan vegetasi tersisa, regenerasi spesies asli, pengendalian akses yang meningkatkan risiko, pengelolaan spesies invasif, serta dukungan kepada penghidupan yang tidak bergantung pada pengeringan. Pada sejumlah lokasi, pemanfaatan ekonomi yang kompatibel dengan kondisi basah dapat membantu menjaga fungsi ekosistem. Namun, pilihan komoditas perlu diuji menurut kondisi biofisik, hak masyarakat, pasar, beban kerja, dan risiko ketergantungan baru. Solusi yang berhasil di satu desa tidak otomatis cocok di desa lain.

4. Komposisi asap dan karakteristik paparan

Asap kebakaran merupakan campuran partikel dan gas yang komposisinya bergantung pada jenis vegetasi, bahan organik tanah, bahan buatan yang ikut terbakar, kadar air, suhu, dan ketersediaan oksigen. PM2.5 menjadi penanda penting karena partikelnya dapat mencapai bagian dalam paru. Asap dapat pula mengandung karbon monoksida, senyawa organik volatil, oksida nitrogen, dan senyawa iritan lain. Kebakaran gambut yang membara perlahan sering menghasilkan asap pekat dan berlangsung lama; komposisi

serta toksisitasnya tidak selalu identik dengan asap kebakaran hutan permukaan atau polusi lalu lintas (Stockwell et al., 2016; Cascio, 2018).

Paparan yang dialami individu merupakan hasil konsentrasi udara, lama berada di lingkungan tercemar, aktivitas fisik, pola pernapasan, infiltrasi asap ke bangunan, dan kondisi tubuh. Karena itu, seseorang dapat menerima dosis berbeda dari tetangganya meskipun tinggal pada wilayah dengan angka kualitas udara yang sama. Paparan dalam ruang tidak otomatis rendah; asap bisa masuk melalui celah, pintu, ventilasi, atau pendingin udara tanpa filtrasi memadai. Sebaliknya, bangunan yang rapat tanpa pendinginan dapat menjadi terlalu panas, terutama bagi lansia, bayi, ibu hamil, dan penderita penyakit jantung. Strategi harus mempertimbangkan kualitas udara sekaligus suhu, kelembapan, dan kemampuan penghuni.

PM2.5 dari asap dapat mengiritasi dan memicu peradangan pada saluran napas, memperburuk gejala asma atau penyakit paru, serta berhubungan dengan perubahan kardiovaskular. Studi epidemiologi pada beragam jenis asap telah melaporkan peningkatan kunjungan gawat darurat, rawat inap pernapasan, dan beberapa luaran kardiovaskular, tetapi besar risiko bervariasi menurut usia, komorbiditas, karakteristik asap, dan desain penelitian (Liu et al., 2015; Reid et al., 2016). Efek yang paling cepat terlihat bukan satu-satunya efek yang relevan; paparan berulang dan pemulihan yang tidak sempurna dapat membebani individu dengan penyakit kronis.

Penilaian kualitas udara perlu memisahkan konsentrasi rata-rata dan puncak jangka pendek, durasi episode, serta perbedaan polutan. Indeks kualitas udara merupakan alat komunikasi, bukan alat diagnosis dan bukan ukuran langsung dosis yang masuk ke tubuh. Ambang dan rumus indeks dapat berbeda antardaerah. Pedoman kualitas udara WHO menyajikan tingkat panduan berbasis kesehatan untuk PM2.5 jangka panjang dan 24 jam, tetapi angka tersebut bukan garis yang menjamin bahwa paparan di bawahnya bebas risiko bagi semua individu atau kriteria tunggal untuk mengaktifkan respons kebakaran (WHO, 2021).

Kesalahan umum adalah menganggap jarak dari api sebagai ukuran paparan yang memadai. Asap dapat diangkut jauh oleh angin dan konsentrasi dapat meningkat ketika plume terjebak pada kondisi atmosfer tertentu. Di sisi lain, dekatnya sebuah titik panas tidak dengan sendirinya menunjukkan bahwa sumber itu merupakan penyebab utama konsentrasi di satu kota. Pengukuran permukaan, satelit, meteorologi, dan model transport harus dibaca bersama. Prinsip ini penting untuk penilaian kesehatan, komunikasi risiko, dan kerja sama lintas daerah maupun negara.

Dosis yang berhasil dihindari tetap merupakan ukuran pencegahan yang bermakna, meskipun tidak semua gangguan kesehatan dapat segera dideteksi. Mengurangi paparan bukan berarti meminta kelompok sasaran mengisolasi diri tanpa dukungan. Pengendalian sumber kebakaran, ruang udara lebih bersih, bantuan transportasi, perlindungan pekerja, layanan klinis, dan dukungan sosial harus berfungsi sebagai satu sistem.

5. Jalur biologis dan mekanisme dampak kesehatan

Partikel halus yang terhirup dapat memicu iritasi dan respons inflamasi pada saluran napas. Pada sebagian orang, proses tersebut muncul sebagai batuk, tenggorokan terasa perih, napas berbunyi, atau sesak. Pada penderita asma dan penyakit paru obstruktif kronis, iritan dapat memicu gejala yang memerlukan penyesuaian tata laksana oleh tenaga kesehatan. Asap juga dapat membebani sistem kardiovaskular melalui peradangan, stres oksidatif, perubahan fungsi pembuluh, serta respons saraf otonom. Mekanisme ini masuk akal secara biologis dan konsisten dengan sebagian bukti epidemiologi, tetapi tidak berarti setiap gejala pada hari berkabut disebabkan oleh asap atau bahwa risiko individual dapat ditentukan hanya dari indeks udara.

Pada lansia, cadangan fisiologis dapat menurun seiring usia, sementara penyakit jantung, paru, diabetes, dan ginjal lebih umum. Infeksi atau kekambuhan penyakit yang tampak ringan dapat berkembang cepat ketika

tubuh menghadapi beban tambahan. Obat tertentu, gangguan kognitif, masalah pendengaran atau penglihatan, kesulitan membaca peringatan digital, dan mobilitas yang terbatas dapat memperlambat respons. Namun, usia saja tidak mengidentifikasi siapa yang paling rentan. Penilaian perlu mempertimbangkan status kesehatan, kemampuan mengelola obat, dukungan sosial, kondisi rumah, pekerjaan, dan akses pada pertolongan.

Kehamilan melibatkan perubahan respirasi, sirkulasi, dan metabolisme yang dapat meningkatkan sensitivitas terhadap polusi udara. Hipotesis yang diteliti mencakup inflamasi sistemik, stres oksidatif, perubahan fungsi plasenta, serta kemungkinan gangguan pertumbuhan janin. Bukti tentang apakah partikel berpindah langsung ke sirkulasi janin, pada dosis apa, dan melalui jalur biologis yang mana masih berkembang; naskah ini tidak menyederhanakannya sebagai kepastian. Kajian sistematis tentang paparan asap kebakaran selama kehamilan menemukan bukti yang mengarah pada potensi peningkatan risiko berat lahir rendah dan kelahiran prematur, tetapi meta-analisis untuk berat lahir dan berat lahir rendah tidak konklusif karena jumlah studi yang seragam masih terbatas (Foo et al., 2024).

Kesehatan ibu dan janin juga dipengaruhi mekanisme tidak langsung. Asap dapat mengurangi aktivitas di luar rumah, mengganggu tidur, menambah stres, menyulitkan perjalanan ke layanan antenatal, dan mengubah kebiasaan kerja atau makan. Evakuasi dapat memutus jadwal kontrol, akses obat, privasi, dukungan keluarga, dan akses persalinan. Panas di ruang tertutup atau shelter yang tidak berventilasi dapat menambah beban fisiologis. Faktor-faktor ini membuat perlindungan kehamilan harus menggabungkan kualitas udara, kontinuitas layanan, transportasi, kenyamanan termal, serta dukungan mental dan sosial.

Bayi dan anak memiliki saluran napas yang berkembang, ventilasi relatif tinggi per kilogram, dan ketergantungan pada pengasuh untuk berpindah ke tempat yang lebih aman. Anak dengan asma atau kondisi khusus mungkin membutuhkan obat dan dukungan yang tidak mudah tersedia saat sekolah

ditutup. Perkembangan janin dan masa awal kehidupan merupakan periode yang sensitif, tetapi hubungan sebab-akibat untuk setiap luaran perlu dinilai dengan hati-hati karena paparan sering bercampur dengan panas, stres, kemiskinan, merokok, dan polusi lain.

Kelompok rentan tidak terbatas pada kategori medis. Pekerja lapangan, petani, pedagang kaki lima, pengemudi, petugas pemadam, masyarakat adat yang tinggal dekat hutan, warga di permukiman berdebu, penghuni panti, tunawisma, serta keluarga yang rumahnya tidak dapat ditutup rapat dapat menerima paparan lebih lama. Keterbatasan ekonomi dapat menghalangi pembelian filter, respirator yang pas, kendaraan, listrik untuk pendingin, atau waktu cuti. Keadilan kesehatan menuntut kebijakan yang mengurangi bahaya dan hambatan perlindungan, bukan sekadar memberi label kelompok berisiko.

6. Penyebab dan pendorong kebakaran

Sumber penyalaan utama di banyak lanskap Indonesia berkaitan dengan aktivitas manusia. Api dapat dipakai untuk membersihkan lahan, mengelola sisa tanaman, membuka akses, memperbarui padang, mengusir satwa, atau menandai klaim. Sebagian api yang dinyalakan untuk pengelolaan terbatas dapat lepas ketika angin kencang, bahan bakar kering, atau pengawasan kurang. Pada lahan gambut, praktik yang dianggap terkendali di tanah mineral dapat menjadi sangat berbahaya karena api masuk ke bawah permukaan dan sulit dideteksi. Namun, tidak tepat menyederhanakan seluruh kebakaran sebagai tindakan yang sama: motif, skala, kapasitas, dan manfaat ekonomi berbeda antara petani kecil, pemegang konsesi, kontraktor, dan pihak yang terlibat dalam konflik lahan.

Tacconi et al. (2020) menunjukkan bahwa penyebab kebakaran di Indonesia bersifat berlapis. Analisis pada tingkat desa dan kabupaten menemukan hubungan antara penggunaan api dalam pertanian, keterpencilan, tingkat pembangunan, kondisi iklim, dan faktor spasial lain. Temuan tersebut

mengingatkan bahwa korelasi tidak dapat digunakan untuk menuduh satu kelompok tertentu. Data hotspot memberi lokasi indikatif, bukan identitas pelaku maupun bukti bahwa sebuah perusahaan atau petani melakukan pembakaran. Penetapan tanggung jawab memerlukan investigasi lapangan, bukti penguasaan lahan, pola api, citra satelit, keterangan saksi, dokumen izin, dan prosedur hukum yang transparan.

Faktor ekonomi memperkuat penggunaan api. Pembakaran sering lebih murah dan lebih cepat dibandingkan pembukaan mekanis; biaya sosial dan kesehatan tidak masuk ke dalam perhitungan pelaku. Jika keuntungan privat diperoleh segera sementara kerugian ditanggung publik, api menjadi pilihan yang secara sempit dianggap rasional. Perubahan harga komoditas dapat mendorong ekspansi atau intensifikasi pembukaan lahan. Ketidakjelasan batas, sengketa tenurial, akses yang tidak setara terhadap alat, dan lemahnya pengawasan dapat menambah insentif untuk membakar. Sebaliknya, larangan membakar tanpa dukungan teknologi, pembiayaan, dan jalur legal yang jelas dapat mendorong praktik menjadi lebih tersembunyi atau memperberat petani kecil.

Perusahaan dan rantai pasok memegang peranan penting pada lanskap konsesi. Risiko dapat muncul dari pembukaan lahan, pengelolaan drainase, jalan dan kanal, pemeliharaan sekat kanal, pengawasan kontraktor, serta tanggap darurat. Audit kebakaran harus menilai praktik perusahaan di seluruh konsesi dan lanskap sekitarnya, tidak hanya saat api terlihat. Pembeli, lembaga keuangan, dan pemilik merek dapat mendorong standar tanpa bakar, keterlacakan pemasok, verifikasi independen, dan pemulihan. Tindakan akuntabilitas perlu ditentukan oleh bukti dan prinsip tanggung jawab yang berlaku, seraya menghindari generalisasi bahwa semua kebakaran berasal dari perusahaan atau semua masyarakat lokal tidak bertanggung jawab.

Kondisi politik dan administrasi membentuk kemampuan pencegahan. Kewenangan penggunaan lahan, kehutanan, perkebunan, lingkungan, kebencanaan, dan tata ruang tersebar di berbagai lembaga. Tumpang tindih perizinan dan lemahnya pertukaran data dapat menciptakan ruang abu-abu.

Perubahan pemimpin daerah, prioritas pembangunan, kapasitas anggaran, dan hubungan antara aktor lokal dengan pusat dapat memengaruhi kecepatan respons. Literatur tentang tata kelola kebakaran menyoroti bahwa kebijakan dapat mandek ketika tanggung jawab tersebar, sementara kerugian tidak memiliki pemilik administratif yang jelas. Karena itu, koordinasi harus memiliki mandat, protokol, indikator, dan jalur eskalasi yang konkret.

El Niño dan variabilitas iklim regional memengaruhi peluang serta tingkat keparahan kebakaran dengan mengubah curah hujan, lama kemarau, suhu, dan kelembapan bahan bakar. Iklim bukan sumber penyalaan itu sendiri; ia memperbesar peluang api menyebar dan membara. Keterkaitan antara kekeringan dan kebakaran bukan hubungan otomatis: lanskap dengan tata air terjaga, bahan bakar dikelola, dan praktik tanpa bakar dapat lebih tahan. Sebaliknya, beberapa pekan kering pada gambut terdrainase dapat meningkatkan risiko dengan cepat. Perubahan iklim jangka panjang dapat menggeser pola kekeringan dan memperpanjang musim bahaya, meskipun setiap kejadian tertentu tetap perlu dianalisis berdasarkan bukti meteorologisnya.

7. Cuaca, prakiraan asap, dan peringatan kesehatan

Prediksi musiman memiliki nilai operasional ketika diterjemahkan menjadi keputusan. Prakiraan curah hujan dan suhu perlu dikombinasikan dengan pemantauan muka air tanah, kelembapan bahan bakar, indeks bahaya api, kondisi kanal, histori hotspot, serta kalender tanam. Informasi bahwa kemarau akan lebih kering tidak cukup bila tidak diikuti penentuan desa prioritas, jadwal patroli, lokasi sumur bor atau sumber air, penempatan alat, kesiapan fasilitas kesehatan, dan komunikasi risiko kepada warga. Sistem prakiraan yang baik mengurangi ketidakpastian, tetapi tidak menghapus kebutuhan untuk bertindak ketika sinyal risiko meningkat.

BMKG dan lembaga lain dapat menyampaikan informasi dalam skala yang sesuai kebutuhan. Pemerintah kabupaten memerlukan informasi mingguan

untuk mengatur sumber daya; petugas lapangan memerlukan peta harian atau lebih cepat; warga membutuhkan pesan sederhana tentang tindakan yang dapat diambil. Indeks bahaya perlu dilengkapi penjelasan: risiko tinggi karena hujan rendah selama sekian hari, muka air turun, dan bahan bakar kering, misalnya. Data teknis harus dapat diakses dan dibaca oleh pemerintah lokal, organisasi masyarakat, serta peneliti. Namun, hotspot tidak selalu berarti kebakaran aktual, dan ketiadaan hotspot tidak selalu membuktikan lanskap bebas api. Tutupan awan, waktu lintasan satelit, ukuran api, temperatur, dan resolusi sensor memengaruhi deteksi.

Operasi modifikasi cuaca dapat membantu meningkatkan curah hujan atau mengurangi kondisi sangat kering pada wilayah prioritas ketika syarat meteorologis memungkinkan. Intervensi ini dapat menjadi salah satu alat, tetapi tidak menggantikan pembasahan gambut, pembatasan drainase, pengurangan sumber penyalaan, atau kesiapan kesehatan. Efektivitas dan biaya operasi perlu dievaluasi secara transparan, termasuk wilayah yang mendapat manfaat dan risiko pergeseran hujan. Prinsip yang sama berlaku untuk water bombing: efektif dalam kondisi dan lokasi tertentu, tetapi tidak dapat menggantikan pemadaman bawah permukaan pada gambut yang luas, jauh dari sumber air, atau sulit diakses.

Risiko iklim perlu dipandang sebagai masalah adaptasi pembangunan. Infrastruktur air, jalan, kanal, sistem pertanian, dan permukiman seharusnya dirancang dengan memperhitungkan kondisi kering dan bahaya api. Perencanaan yang hanya menggunakan rata-rata historis dapat gagal ketika terjadi musim ekstrem. Skenario iklim membantu menguji apakah kapasitas pemadaman, fasilitas kesehatan, stok masker, jaringan komunikasi, dan tata kelola air cukup menghadapi kejadian yang lebih panjang. Pengujian skenario juga membantu pemerintah menetapkan ambang tindakan dini, misalnya kapan pembukaan lahan harus dihentikan, kapan sekolah harus mengubah kegiatan, dan kapan klinik perlu menambah layanan.

8. Dampak kesehatan menurut kelompok rentan

Asap kebakaran berdampak pada banyak sistem tubuh, tetapi bukti paling konsisten untuk episode akut berkaitan dengan iritasi dan gangguan pernapasan serta peningkatan kebutuhan layanan kardiopulmoner. Efek dapat berupa iritasi mata dan tenggorokan, batuk, sakit kepala, sesak napas, mengi, dan kelelahan; pada kondisi tertentu terjadi perburukan asma, penyakit paru obstruktif kronis, penyakit jantung, dan diabetes. Paparan dekat sumber api dapat menambahkan bahaya panas, luka bakar, dan keracunan gas, berbeda dari paparan ambien terhadap PM2.5 yang dialami penduduk jauh dari api. Perbedaan tersebut penting ketika menentukan prioritas triase dan respons layanan.

Lansia dapat menghadapi risiko yang bertumpuk: usia, penyakit penyerta, penurunan cadangan fisiologis, polifarmasi, gangguan mobilitas, dan ketergantungan pada layanan rutin. Kajian cakupan tentang kebakaran dan orang lanjut usia menemukan perhatian penelitian terutama pada dampak kesehatan dan kualitas udara, tetapi juga menunjukkan keterbatasan data mengenai pengalaman langsung mereka serta sedikitnya penelitian yang merancang respons bersama lansia (Cummings Melton et al., 2023). Dengan demikian, kebijakan tidak cukup menyampaikan pesan umum agar tinggal di dalam rumah. Petugas perlu mengetahui siapa yang memerlukan panggilan atau kunjungan, siapa yang membutuhkan transportasi, siapa yang memakai alat bantu pernapasan, dan bagaimana pengiriman obat dilakukan ketika jalan atau layanan terganggu.

Tanda perburukan pada lansia kadang tidak khas. Sesak, nyeri dada, kebingungan baru, penurunan kemampuan beraktivitas, kelemahan, atau perubahan perilaku dapat dipersepsikan sebagai bagian normal dari usia atau penyakit lama. Pendamping dan tenaga kesehatan perlu memperoleh informasi yang jelas tentang gejala yang membutuhkan pertolongan segera, sesuai panduan klinis setempat. Perencanaan juga harus mengakomodasi warga dengan demensia atau gangguan komunikasi yang mungkin tidak

mampu melaporkan paparan, memahami peringatan, atau mengambil keputusan evakuasi tanpa bantuan.

Bagi ibu hamil, potensi konsekuensi perlu dipandang sepanjang periode kehamilan serta masa persalinan dan pascapersalinan. Penelitian mengkaji kelahiran prematur, berat lahir rendah, pertumbuhan janin, dan beberapa luaran maternal. Hasil tidak seragam karena cara mengukur paparan berbeda-beda: jarak dari kebakaran, estimasi konsentrasi polutan, jumlah hari asap, atau penginderaan jauh. Tinjauan Foo et al. (2024) menemukan sinyal bukti yang mengarah pada kemungkinan bahaya, tetapi hasil gabungan untuk sebagian luaran tidak konklusif. Oleh sebab itu, komunikasi publik harus menyatakan bahwa mengurangi paparan merupakan langkah pencegahan yang masuk akal, sementara risiko absolut seorang individu dan hubungan kausal untuk setiap hasil belum dapat dipastikan dari satu indikator udara.

Dampak terhadap kehamilan tidak boleh menjadi alasan menyalahkan ibu atau menimbulkan kecemasan yang tidak perlu. Perempuan hamil sering tidak memiliki kendali atas pembakaran, kualitas hunian, jadwal kerja, transportasi, atau kemampuan membeli alat filtrasi. Fasilitas kesehatan perlu menawarkan konsultasi yang tenang, memeriksa kebutuhan klinis dan akses perlindungan, serta menjaga kesinambungan pemeriksaan antenatal. Tanda darurat obstetri harus mengikuti jalur rujukan yang telah ditetapkan; warga tidak seharusnya menunda pertolongan karena takut terhadap asap atau bingung membaca indeks.

Penderita asma, penyakit paru obstruktif kronis, penyakit jantung, diabetes, dan penyakit ginjal dapat mengalami perburukan akibat partikel, stres termal, atau gangguan akses pengobatan. CDC menekankan bahwa asap dapat memperburuk penyakit kronis dan meningkatkan kunjungan gawat darurat, sehingga layanan perlu mengantisipasi lonjakan pasien (CDC, 2023). Pasien membutuhkan rencana pengelolaan penyakit yang disusun bersama tenaga

kesehatan, resep yang tersedia, dan akses tindak lanjut. Artikel ini tidak menganjurkan perubahan dosis atau penghentian obat secara mandiri.

Dampak kesehatan juga bersifat mental dan sosial. Ketidakpastian tentang berapa lama asap akan bertahan, kekhawatiran pada janin atau anggota keluarga, kehilangan penghasilan, penutupan sekolah, isolasi lansia, dan pengalaman evakuasi dapat memicu stres, gangguan tidur, atau rasa tidak berdaya. Keluarga yang merawat lansia atau bayi sering memikul tambahan kerja tanpa kompensasi. Dukungan psikososial dan jaringan sosial bukan pelengkap semata, melainkan bagian dari kemampuan masyarakat mengurangi paparan dan memulihkan diri.

Bukti yang tersedia harus dibaca berdasarkan rancangan studi. Studi harian dapat menghubungkan variasi konsentrasi dengan kunjungan klinik, tetapi belum tentu mengukur paparan pribadi. Kohort dapat mengikuti luaran jangka panjang, tetapi masih menghadapi salah klasifikasi paparan dan faktor perancu. Tinjauan sistematis menyatukan studi, namun tidak dapat mengatasi mutu data yang kurang. Literatur kesehatan asap Asia Tenggara melaporkan hubungan dengan dampak respirasi, kardiovaskular, neurologis, dan psikologis, sambil menyatakan kebutuhan riset longitudinal (Cheong et al., 2019). Generalisasi dari kebakaran hutan di Amerika Serikat atau Australia ke kebakaran gambut tropis harus dilakukan secara transparan.

Karena dampak tidak hanya diukur dengan rawat inap, surveilans sebaiknya memantau gejala, penggunaan obat, ketidakhadiran sekolah atau kerja, layanan antenatal yang terlewat, gangguan persalinan, masalah tidur, kesehatan mental, dan kebutuhan bantuan sosial. Data perlu dipilah berdasarkan umur, kehamilan, penyakit kronis, disabilitas, pekerjaan, lokasi, dan status sosial-ekonomi dengan perlindungan privasi. Tanpa data terpilah, rata-rata populasi dapat menutupi beban yang sangat tinggi pada komunitas tertentu.

9. Dampak sosial, pendidikan, ekonomi, dan ekologis

Kabut asap mengganggu proses pendidikan ketika sekolah ditutup, aktivitas olahraga dihentikan, perjalanan siswa menjadi tidak aman, atau kualitas udara ruang kelas memburuk. Penutupan sekolah dapat melindungi kesehatan dalam jangka pendek, tetapi menimbulkan kehilangan jam belajar dan memperlebar kesenjangan bila pembelajaran jarak jauh tidak tersedia. Rumah tangga yang tidak memiliki jaringan internet, ruang belajar, atau perangkat akan menanggung kerugian yang lebih besar. Sekolah perlu memiliki protokol kualitas udara yang mempertimbangkan kesehatan, kesinambungan belajar, kebutuhan anak berkebutuhan khusus, serta kondisi keluarga pekerja harian.

Dampak ekonomi meliputi kerusakan tanaman dan hutan, hilangnya hari kerja, terganggunya transportasi, penutupan usaha, pembatalan penerbangan, biaya pemadaman, perawatan kesehatan, serta penurunan daya tarik wisata. Kerugian tidak hanya berasal dari nilai aset yang terbakar. Asap dapat memengaruhi sektor yang jauh dari titik api karena mengurangi visibilitas, menghambat logistik, dan meningkatkan biaya perlindungan. Penilaian biaya juga perlu memisahkan kerugian langsung, gangguan layanan, kerusakan modal alam, biaya kesehatan jangka panjang, dan biaya karbon. Kajian Kiely et al. (2021) yang memasukkan dampak kesehatan dan karbon menemukan biaya lebih tinggi daripada penilaian yang berfokus pada aset fisik saja.

Kebakaran mengubah ekosistem melalui hilangnya vegetasi, kematian satwa, fragmentasi habitat, perubahan struktur tanah, erosi, dan perubahan aliran air. Spesies dengan mobilitas terbatas dapat terperangkap atau kehilangan habitat. Satwa yang lolos dari api mungkin berpindah ke kebun dan permukiman, sehingga meningkatkan konflik manusia-satwa. Pada gambut, pembakaran dapat merusak lapisan organik dan menciptakan kondisi yang menyulitkan regenerasi spesies asli. Kebakaran berulang dapat menggeser ekosistem menuju vegetasi yang lebih mudah terbakar, membentuk lingkaran umpan balik: api merusak hutan, hutan yang rusak menjadi lebih kering, dan kebakaran berikutnya makin mudah terjadi.

Keadilan sosial menjadi aspek penting. Orang yang menikmati keuntungan dari pembukaan lahan belum tentu sama dengan orang yang menghirup asap. Komunitas adat dan lokal dapat kehilangan akses terhadap hutan, kebun, sumber pangan, dan tempat budaya. Petani kecil dapat menghadapi sanksi ketika kebakaran terjadi tanpa memperoleh dukungan teknis untuk praktik alternatif, sementara pelaku berkapasitas lebih besar mungkin lebih mampu menavigasi proses administrasi. Analisis yang adil mempertimbangkan siapa yang menimbulkan risiko, siapa yang menerima manfaat, siapa yang menanggung biaya, serta siapa yang memiliki suara dalam keputusan. Ini bukan alasan untuk mengabaikan hukum, melainkan dasar untuk menerapkan hukum secara konsisten dan proporsional.

Pada tingkat regional, asap dapat melintasi batas negara dan menimbulkan konsekuensi diplomatik. Asap lintas batas tidak mengubah tanggung jawab nasional atas pencegahan di wilayah masing-masing, tetapi menguatkan kepentingan kerja sama mengenai informasi, bantuan teknis, pemantauan, standar, dan kesiapsiagaan. Mekanisme ASEAN dapat mendukung pertukaran data, latihan bersama, dan bantuan pemadaman yang diminta negara terdampak. Kepercayaan regional memerlukan komunikasi tepat waktu dan data yang dapat dibandingkan, bukan hanya pernyataan setelah krisis mencapai puncak.

10. Episode asap besar dan pelajaran kesehatan masyarakat

Situasi hingga 16 Oktober 2026 memperlihatkan bagaimana kemarau, kekeringan, kerentanan gambut, dan kesiapsiagaan lintas negara dapat bertemu dalam satu krisis. Pada Februari 2026, BMKG (2026) melaporkan luas kebakaran sekitar 32.637 hektare sampai 28 Februari, hampir 20 kali angka pada periode yang sama tahun sebelumnya. Laporan berikutnya dari Kementerian Kehutanan yang diberitakan pada Juli menyebut sekitar 107.465 hektare terbakar pada semester pertama. Pada pertengahan Oktober, Reuters mengutip beragam taksiran area terbakar yang lebih besar untuk periode

berikutnya, sekitar 637.000 hingga 900.000 hektare dari sumber independen. Rentang itu tidak boleh diperlakukan sebagai satu angka resmi yang pasti; tanggal penutupan data, definisi area terdampak, resolusi penginderaan jauh, dan metode perhitungan berbeda.

Dampak kesehatan yang dilaporkan juga meningkat tajam. Reuters (2026a) mengutip data Kementerian Kesehatan bahwa 283.270 kasus gangguan pernapasan terkait kebakaran tercatat di tujuh provinsi sampai 13 Oktober. Ini adalah jumlah kasus yang dilaporkan menurut sumber berita, bukan estimasi seluruh beban kesehatan nasional, dan definisi kasus serta tata cara pelaporannya perlu diperiksa ketika angka dipakai untuk evaluasi akademik. Laporan media pada pekan yang sama juga menggambarkan kualitas udara sangat buruk, penutupan sekolah di negara tetangga, gangguan penerbangan, kerusakan habitat, serta tekanan terhadap masyarakat yang tinggal dekat area gambut. Semua klaim tersebut perlu dibaca sesuai atribusi sumber dan tanggal.

Pada 16 Oktober, Reuters (2026b) melaporkan bahwa Presiden Indonesia menyetujui penerimaan bantuan negara tetangga, sementara BNPB menilai bantuan teknis yang dapat dipercepat. Berita yang sama menyebut Sumatra dan Kalimantan sebagai wilayah terdampak berat, api yang membara di bawah permukaan gambut, dan kejadian kebakaran di kawasan Taman Nasional Bromo yang menyebabkan korban jiwa di antara petugas pemadam. Kasus ini menegaskan bahwa keselamatan petugas harus menjadi bagian inti dari operasi, bukan pertimbangan tambahan setelah strategi pemadaman ditetapkan. Bantuan internasional dapat menambah helikopter, personel, atau keahlian, tetapi keefektifannya bergantung pada koordinasi komando, informasi cuaca, akses air, dan pemahaman mengenai karakter kebakaran gambut.

Pembelajaran kebijakan dari 2026 bukan sekadar “menambah alat pemadam”. Pertama, sistem perlu menghubungkan data resmi lintas lembaga dan mengumumkan perbedaan metodologis agar publik mengetahui apa yang

dihitung. Kedua, komunikasi kesehatan perlu menghubungkan data ISPU dan PM2.5 dengan tindakan khusus, ruang aman, perlindungan pekerja, serta keputusan sekolah. Ketiga, wilayah gambut memerlukan pemantauan hidrologi dan tata air sebelum musim api, bukan hanya penambahan personel setelah asap menyebar. Keempat, kejadian lintas batas memperlihatkan bahwa diplomasi bantuan dan pertukaran data perlu dirancang sebelum darurat, termasuk protokol siapa meminta, menerima, mengoordinasikan, dan mengevaluasi bantuan.

Kasus ini juga menuntut kehati-hatian dalam menyimpulkan penyebab pelaku. Kebakaran dapat muncul di dalam maupun di luar konsesi, dan sumber penyalaan bisa berbeda antarwilayah. Taksiran kebakaran pada suatu konsesi harus diuji dengan data spasial dan bukti lapangan; lokasi api di konsesi merupakan indikator untuk penyelidikan, bukan putusan kesalahan. Di sisi lain, pemilik konsesi tetap memiliki kewajiban pengelolaan risiko sesuai hukum dan izin yang berlaku. Publikasi data kepemilikan lahan, peta api, respons perusahaan, dan hasil investigasi dapat memperkuat akuntabilitas tanpa mengorbankan asas praduga tak bersalah.

Kesimpulan operasional dari kasus 2026 adalah bahwa pengendalian harus dimulai pada musim basah dan berlanjut sampai pascakebakaran. Ketika hujan terlambat, kesiapan respons harus meningkat; tetapi langkah yang menentukan pada tahun berikutnya adalah mengurangi kondisi yang membuat api berulang. Pemerintah daerah, kementerian, perusahaan, lembaga kesehatan, masyarakat desa, dan mitra regional perlu menyepakati ukuran keberhasilan yang sama: penurunan luas dan intensitas kebakaran, berkurangnya hari dengan kualitas udara berbahaya, tidak terulangnya kebakaran pada lokasi yang sama, perlindungan mata pencaharian, serta keselamatan petugas dan warga.

11. Agenda pencegahan: Dari pengendalian api ke pengelolaan lanskap

Pencegahan dimulai dengan memahami bahwa kebakaran mengikuti kondisi lanskap. Peta risiko perlu menggabungkan hidrologi gambut, tutupan vegetasi, jaringan kanal dan jalan, batas desa dan konsesi, penggunaan lahan, histori api, cuaca, sumber air, serta permukiman. Peta tersebut harus diperbarui dan dipakai untuk keputusan anggaran, patroli, pemberian izin, serta penyuluhan. Penggunaan peta sekadar sebagai visualisasi tanpa mengubah keputusan tidak menghasilkan mitigasi. Setiap area prioritas perlu memiliki penanggung jawab, target, sumber daya, dan jadwal tinjau.

Perlindungan gambut yang masih utuh sering lebih efektif dan lebih murah daripada memulihkan lahan yang telah rusak. Perlindungan ini mencakup pengendalian kanal baru, penegakan ketentuan tata ruang, pengawasan kegiatan pada kubah gambut, pemeliharaan tutupan vegetasi, dan pencegahan pembukaan yang mengeringkan hidrologi. Pada gambut yang telah terdrainase, pembasahan kembali dan revegetasi perlu dirancang dengan dukungan pemilik lahan dan warga. Evaluasi terbaru terhadap intervensi restorasi memperkuat argumen bahwa tindakan pada tata air dapat mengurangi peluang kebakaran, tetapi keberhasilan sangat bergantung pada lokasi, pemeliharaan, dan implementasi yang konsisten.

Pengelolaan api harus berbeda dari sekadar larangan. Kebijakan tanpa bakar penting pada ekosistem rentan, terutama gambut, tetapi petani membutuhkan metode alternatif yang layak, aman, dan terjangkau. Pengolahan residu mekanis, kompos, mulsa, pengelolaan biomassa, alat sederhana, kelompok jasa pembukaan lahan, serta akses pembiayaan dapat mengurangi ketergantungan pada api. Program perlu memahami kalender kerja dan hak tenurial setempat. Bantuan satu kali berupa alat yang tidak dapat dipelihara tidak cukup; perlu pelatihan, suku cadang, layanan sewa, dan pasar untuk hasil atau residu yang dikelola tanpa bakar.

Partisipasi masyarakat tidak berarti memindahkan tanggung jawab negara kepada desa dengan anggaran minim. Masyarakat Peduli Api, kelompok tani,

organisasi perempuan, dan tokoh adat dapat menjadi mitra pencegahan jika dilibatkan sejak perencanaan serta diberi insentif, perlindungan, peralatan, akses data, dan ruang untuk menyampaikan pengetahuan lokal. Studi Purnomo et al. (2024) di Bengkalis, Riau, menunjukkan bahwa perubahan perilaku dan pemulihan lebih mungkin bertahan ketika warga ikut merancang tindakan, bukan hanya menjadi penerima sosialisasi. Keterlibatan perempuan juga perlu dihargai sebagai kepemimpinan substantif, bukan sekadar pelengkap kegiatan komunikasi.

Pada tingkat perusahaan, pencegahan perlu menjadi bagian dari tata kelola operasional. Rencana pengelolaan kebakaran harus mencakup sumber daya manusia, alat, air, komunikasi, patroli, pemeliharaan kanal, pembinaan kontraktor, dan hubungan dengan desa. Audit harus menilai apakah tindakan benar-benar tersedia di lapangan pada saat bahaya meningkat. Perusahaan dan pemegang izin perlu melaporkan kejadian secara tepat waktu, membuka data respons, mendukung investigasi independen, dan memperbaiki kerusakan hidrologis. Rantai pasok dapat mensyaratkan ketertelusuran hingga tingkat kebun dan prosedur keluhan yang dapat diakses masyarakat. Komitmen tanpa verifikasi tidak cukup.

Penegakan hukum perlu menyasar pelaku sesuai bukti, baik individu maupun badan usaha, dan melindungi pelapor serta saksi. Investigasi efektif memerlukan kapasitas laboratorium, pemetaan konsesi, analisis citra, pemeriksaan jejak api, dan koordinasi penyidik lingkungan. Penindakan yang tidak konsisten dapat menciptakan persepsi bahwa risiko hukum rendah. Di sisi lain, penerapan sanksi yang tidak membedakan skala, niat, kapasitas, dan bentuk tanggung jawab dapat membebani rumah tangga kecil tanpa menghentikan sumber risiko utama. Keadilan dan konsistensi merupakan syarat efektivitas, bukan pesaingnya.

Pencegahan harus memasukkan tata kelola hak atas tanah. Kepastian tenurial yang adil dapat memperkuat insentif untuk menjaga lahan dalam jangka panjang, tetapi tidak otomatis menghilangkan risiko jika pembukaan lahan

tetap memberi keuntungan. Penyelesaian tumpang tindih izin, pengakuan hak masyarakat, mediasi sengketa, dan keterbukaan peta dapat mengurangi konflik yang mendorong pembakaran. Keputusan tata ruang sebaiknya dinilai berdasarkan konsekuensi hidrologis kumulatif; pembukaan kanal kecil yang tampak terpisah dapat bersama-sama mengeringkan bentang gambut yang luas.

12. Kesiapsiagaan, pemadaman, dan perlindungan kesehatan

Kesiapsiagaan memerlukan rencana operasi yang mempertimbangkan jenis kebakaran. Api permukaan di lahan mineral, kebakaran semak, api tajuk, dan api gambut menuntut taktik serta perlengkapan yang berbeda. Pada gambut, pemadaman permukaan mungkin tidak cukup; tim perlu memastikan titik panas bawah tanah telah ditangani dan memeriksa kemungkinan penyalaan kembali. Ketersediaan air, akses kendaraan, kedalaman gambut, keselamatan personel, kualitas udara, dan cuaca harus dinilai sebelum tim masuk. Keputusan operasi harus memiliki komando insiden yang jelas dan hak menghentikan pekerjaan ketika risiko bagi petugas tidak dapat diterima.

Sistem peringatan dini perlu memiliki ambang tindakan, bukan hanya peta. Saat indeks bahaya tertentu tercapai, misalnya, patroli ditingkatkan, pembukaan lahan dihentikan sementara, sumber air diuji, puskesmas mengaktifkan rencana lonjakan kasus, sekolah menyiapkan pengalihan kegiatan, dan informasi kualitas udara diperbarui lebih sering. Protokol tersebut sebaiknya dilatih melalui simulasi sebelum musim kemarau. Latihan bersama melibatkan pemerintah desa, pemadam, TNI/Polri, BPBD, BMKG, dinas kesehatan, sekolah, perusahaan, dan kelompok masyarakat; hasil simulasi digunakan untuk memperbaiki akses, komunikasi radio, dan pembagian wewenang.

Perlindungan kesehatan memerlukan jaringan pemantauan yang memadai dan dapat dipercaya. Sensor kualitas udara berbiaya rendah dapat menambah kepadatan pengamatan, tetapi harus dikalibrasi dan dipelihara. Pengukuran

PM2.5 perlu dipahami bersama indeks kualitas udara dan sumber data. Pemerintah dapat menetapkan dashboard terbuka dengan waktu pembaruan, metode, lokasi sensor, dan penjelasan ketidakpastian. Data yang baik memungkinkan penentuan kapan kegiatan luar ruang dibatasi, kapan kelas dipindahkan, kapan ruang bersih dibuka, dan kapan kelompok berisiko perlu dihubungi langsung.

Fasilitas ruang bersih dapat disiapkan di sekolah, puskesmas, balai desa, atau gedung publik yang memiliki kemampuan membatasi masuknya udara luar dan menyaring partikulat. Ruang tersebut perlu memiliki listrik cadangan, filter yang dapat diganti, ventilasi yang dirancang dengan baik, air minum, obat dasar, jalur rujukan, dan kapasitas yang jelas. Membuka ruang tanpa mengelola udara dalam ruang hanya memberi perlindungan terbatas. Program masker perlu memperhatikan standar, kecocokan pada wajah, ketersediaan stok, cara penggunaan, dan prioritas distribusi. Kelompok rentan sebaiknya mendapat perlindungan lebih dahulu tanpa prosedur administratif yang menghambat.

Rencana kesehatan masyarakat mencakup pengawasan penyakit, klinik bergerak, penyediaan obat, jalur rujukan, pelayanan kesehatan ibu dan anak, konsultasi jarak jauh, dan dukungan kesehatan jiwa. Petugas kesehatan perlu menerima pelatihan untuk membedakan gejala iritasi ringan dari tanda bahaya yang memerlukan penanganan segera. Pencatatan harus melindungi data pribadi dan memungkinkan analisis agregat. Sektor kesehatan juga dapat membantu mengukur paparan melalui survei rumah tangga dan penggunaan alat pemantauan, sehingga kebijakan respons tidak hanya bertumpu pada jumlah kunjungan klinik.

Komunikasi risiko perlu disampaikan sebelum, selama, dan sesudah episode asap. Pesan harus menggunakan bahasa lokal, menyebut sumber data dan waktu pembaruan, menjelaskan apa yang diketahui dan belum diketahui, serta memberi tindakan yang realistis. Informasi yang berlebihan atau berubah tanpa penjelasan dapat mengikis kepercayaan. Koordinasi dengan media dan pemimpin komunitas membantu memperluas jangkauan. Penanggulangan

misinformasi membutuhkan pembaruan cepat, bukan hanya koreksi setelah rumor menyebar.

13. Pemulihan dan restorasi pascakebakaran

Pemulihan dimulai dengan penilaian kerusakan yang membedakan area terbakar ringan, sedang, dan berat, serta memperhatikan apakah api mencapai lapisan gambut. Citra satelit dapat menunjukkan perubahan tutupan, tetapi pengamatan lapangan tetap penting untuk menilai kedalaman terbakar, kondisi hidrologi, regenerasi, spesies invasif, dan kebutuhan masyarakat. Penilaian awal memandu prioritas: daerah tangkapan air, habitat spesies kunci, lokasi dekat permukiman, serta area yang berisiko mengalami kebakaran ulang mendapat perhatian berbeda. Pemulihan tidak boleh hanya mengejar target tanam, sebab bibit tidak akan bertahan bila muka air tetap turun dan tekanan penggunaan lahan tidak berubah.

Rewetting dapat menurunkan risiko pembakaran dengan mempertahankan muka air, tetapi tindakan fisik perlu terhubung dengan tata kelola wilayah. Sekat kanal perlu dipelihara, dipantau, dan disepakati dengan pengguna air. Pemulihan vegetasi harus menyesuaikan karakter ekosistem, menggunakan spesies lokal, dan mempertimbangkan suksesi alami. Pada beberapa lokasi, pemulihan pasif dapat lebih tepat daripada penanaman intensif, selama tekanan api dan gangguan dikendalikan. Indikator yang relevan meliputi tinggi muka air, kelembapan tanah, tutupan vegetasi, tingkat hidup bibit, keanekaragaman, emisi, dan kejadian api berulang.

Pemulihan sosial harus berjalan bersamaan dengan restorasi ekologis. Rumah tangga kehilangan pendapatan, alat kerja, tanaman, kesehatan, dan waktu belajar; bantuan pemulihan perlu mengidentifikasi kelompok terdampak berdasarkan kebutuhan, bukan hanya alamat administratif. Skema tunai, akses kredit, bantuan input, program kerja pemulihan, dan perlindungan pekerja dapat mencegah keluarga melakukan pembukaan yang lebih berisiko. Warga perlu dilibatkan dalam pemilihan prioritas pemulihan dan mekanisme

pengaduan. Bantuan yang tidak peka terhadap hak lahan dapat memperkuat ketimpangan atau mendorong konflik baru.

Evaluasi pemulihan perlu menggunakan kontrafaktual yang wajar: apa yang mungkin terjadi bila intervensi tidak dilakukan? Perbandingan antara lokasi intervensi dan lokasi serupa membantu menilai pengaruh pembasahan gambut atau program desa bebas api. Evaluasi harus mencatat kemungkinan faktor lain, seperti perubahan cuaca, harga komoditas, penegakan hukum, dan migrasi. Pengukuran perlu dilakukan lebih dari satu musim, karena satu tahun tanpa kebakaran tidak cukup membuktikan keberlanjutan. Data terbuka dan audit independen memperkuat pembelajaran dan mencegah laporan keberhasilan yang hanya berbasis aktivitas, misalnya jumlah sekat kanal yang dibangun, tanpa menilai dampaknya.

14. Tata kelola risiko kesehatan dan kelembagaan

Pencegahan memerlukan tata kelola yang menghubungkan pusat, provinsi, kabupaten, desa, masyarakat adat, perusahaan, dan lembaga regional. Pembagian peran harus jelas: siapa menetapkan peta prioritas, siapa menyediakan dana, siapa memelihara infrastruktur air, siapa memeriksa konsesi, siapa memimpin operasi, siapa membuka data, dan siapa mengevaluasi kesehatan publik. Koordinasi yang hanya berlangsung pada rapat darurat sering gagal karena aktor belum menyepakati protokol sebelum krisis. Forum rutin lintas sektor perlu membahas risiko, anggaran, data, dan tindak lanjut dengan keputusan yang dapat dipantau.

Kapasitas pemerintah daerah sangat beragam. Kabupaten dengan risiko tinggi tetapi sumber pendapatan terbatas memerlukan dukungan fiskal yang mempertimbangkan beban pencegahan, bukan hanya pembiayaan pemadaman. Transfer berbasis kinerja dapat memberi insentif apabila indikatornya mengukur outcome yang dapat diverifikasi dan tidak mendorong manipulasi. Contoh indikator: hari paparan PM2.5 tinggi, frekuensi kebakaran berulang, keberlanjutan muka air gambut, waktu respons, keselamatan

personel, partisipasi masyarakat, dan penurunan praktik pembakaran. Indikator harus mempertimbangkan bahwa daerah tidak selalu dapat mengendalikan cuaca, sehingga penilaian perlu membedakan faktor eksternal dan kinerja yang berada dalam kendali.

Transparansi merupakan prasyarat akuntabilitas. Data perizinan, batas konsesi, lokasi kebakaran, hasil investigasi, sanksi, dan rencana pemulihan sebaiknya dapat diakses dalam bentuk yang dapat digunakan publik. Perlindungan privasi dan keselamatan pelapor tetap harus dijaga. Publikasi data tidak berarti menganggap pelaku bersalah sebelum pemeriksaan; justru keterbukaan prosedur membantu publik melihat bagaimana bukti diproses. Perusahaan perlu mengungkapkan peta area pengelolaan, kejadian api, langkah pemadaman, dan hasil audit dalam format standar.

Kebijakan perlu menghindari ketergantungan pada solusi teknologi tunggal. AI, penginderaan jauh, drone, sensor, dan model prediksi dapat mempercepat deteksi serta mengarahkan petugas. Namun, algoritma dapat salah mengklasifikasikan hotspot, menghasilkan bias karena data yang tidak merata, atau tidak menyelesaikan masalah hak lahan dan insentif. Sistem digital yang efektif menggabungkan keahlian ilmiah, pengetahuan lapangan, dan keputusan yang dapat dijelaskan. Petugas perlu dapat memverifikasi peringatan dan menyampaikan umpan balik agar model diperbaiki. Teknologi memperluas kapasitas manusia; ia tidak menggantikan tanggung jawab institusional.

15. Pendanaan, akuntabilitas, dan evaluasi kebijakan

Pembiayaan pencegahan harus diperlakukan sebagai investasi pengurangan kerugian, bukan beban tambahan. Perbandingan biaya perlu memasukkan biaya pemadaman berulang, kesehatan, kehilangan hasil, kerusakan karbon dan habitat, serta gangguan layanan. Manfaat pencegahan sering tersebar pada banyak sektor, sehingga kementerian lingkungan tidak dapat menanggung seluruh biaya. Anggaran bersama antara lingkungan, kesehatan,

pertanian, pendidikan, pekerjaan umum, dan kebencanaan dapat mencerminkan manfaat lintas sektor. Pembiayaan jangka panjang dibutuhkan untuk pemeliharaan kanal, sensor, alat desa, pendidikan, dan layanan kesehatan, bukan hanya kegiatan proyek tahunan.

Instrumen ekonomi dapat mengubah insentif jika dirancang adil dan dapat ditegakkan. Insentif untuk praktik tanpa bakar, pembayaran jasa ekosistem, kredit restorasi, pengadaan pemerintah yang bertanggung jawab, dan standar rantai pasok dapat membantu. Namun, insentif harus menghindari pembayaran untuk kepatuhan yang seharusnya menjadi kewajiban dasar. Bantuan perlu ditargetkan pada kebutuhan dan hasil yang dapat diverifikasi. Sanksi perlu proporsional tetapi cukup kuat untuk menghilangkan keuntungan dari pembakaran. Skema berbasis hasil perlu mengantisipasi risiko kebocoran, yaitu berkurangnya api di satu lokasi tetapi meningkat di tempat lain.

Evaluasi kebijakan perlu menjawab empat pertanyaan. Apakah kegiatan dilakukan sesuai rencana? Apakah kegiatan mengubah perilaku atau kondisi hidrologi? Apakah perubahan itu mengurangi api dan paparan? Siapa yang memperoleh manfaat dan menanggung biaya? Evaluasi yang hanya menghitung pelatihan, sumur bor, patroli, atau sekat kanal mengukur output, bukan dampak. Pengukuran dampak memerlukan pembanding, data sebelum-sesudah, pengendalian faktor cuaca, dan horizon waktu yang memadai. Hasil negatif harus dipublikasikan untuk menghindari pengulangan program yang tidak efektif.

Manajemen risiko juga membutuhkan registrasi risiko yang dapat ditindaklanjuti. Setiap risiko memiliki pemilik, indikator pemicu, rencana respons, dan tanggal tinjau. Sebagai contoh, turunnya muka air pada lokasi gambut tertentu dapat memicu patroli, penghentian pembukaan, pemeriksaan kanal, dan pengiriman pompa atau peralatan. Kualitas udara yang melewati ambang tertentu dapat memicu pembatasan kegiatan luar ruang, pembukaan ruang bersih, dan distribusi informasi ke kelompok rentan. Keputusan yang

dikaitkan dengan indikator mengurangi respons ad hoc dan memperjelas akuntabilitas.

Keberhasilan sebaiknya dinilai dengan ukuran yang berorientasi pada manusia dan ekosistem: semakin sedikit hari dengan paparan berbahaya, lebih sedikit kunjungan penyakit yang dapat dicegah, lebih sedikit kebakaran berulang, meningkatnya kelembapan gambut, terjaganya tutupan habitat, menurunnya kerugian rumah tangga, serta tidak adanya korban jiwa pada warga dan petugas. Ukuran ini sebaiknya dipublikasikan setiap tahun beserta definisi, sumber data, dan keterbatasannya. Rangkaian waktu jangka panjang memungkinkan publik menilai apakah kebijakan benar-benar menghasilkan ketahanan.

16. Agenda riset dan pendidikan

Kebutuhan riset mencakup pengukuran paparan lokal yang lebih baik, terutama di kota kecil dan desa dekat sumber api; validasi sensor berbiaya rendah; pemetaan kebakaran bawah permukaan; dampak kesehatan jangka panjang; pengaruh asap terhadap kehamilan dan perkembangan anak; perubahan penghidupan setelah kebakaran; dan efektivitas intervensi restorasi. Penelitian perlu mengintegrasikan ekologi, kesehatan masyarakat, ekonomi, antropologi, hukum, ilmu atmosfer, dan administrasi publik. Desain penelitian harus terbuka tentang asumsi, ketidakpastian, dan keterbatasan kausalitas.

Riset kebijakan juga perlu membandingkan variasi antarprovinsi dan antardesa. Mengapa intervensi komunitas bertahan di satu tempat tetapi tidak di tempat lain? Bagaimana kepastian tenurial memengaruhi perawatan gambut? Kapan bantuan teknologi membuat praktik tanpa bakar layak secara ekonomi? Bagaimana perusahaan dan pemerintah membagi tanggung jawab pemeliharaan hidrologis? Apa pengaruh perubahan rantai pasok terhadap perilaku pembukaan lahan? Pertanyaan-pertanyaan ini perlu dijawab dengan data kualitatif dan kuantitatif, bukan hanya indikator administratif.

AI dan analitik data dapat membantu menggabungkan citra satelit, cuaca, jaringan kanal, peta konsesi, serta laporan warga untuk memperkirakan lokasi berisiko. Model dapat mendeteksi pola hotspot dan memprioritaskan inspeksi, tetapi keputusan penegakan hukum tidak boleh diserahkan pada prediksi algoritmik saja. Validasi lapangan dan hak untuk mengoreksi data penting, terutama ketika sistem dapat memengaruhi reputasi perusahaan atau masyarakat. Sistem harus menyimpan rekam jejak sumber data dan tingkat keyakinan, serta dirancang agar pemerintah lokal dapat memahami mengapa suatu lokasi ditandai.

Pendidikan publik dapat mengajarkan hubungan antara api, gambut, kualitas udara, perubahan iklim, dan kesehatan. Kurikulum sekolah di wilayah rawan perlu memasukkan keselamatan kebakaran, literasi kualitas udara, ekologi lokal, dan keterampilan melapor. Pendidikan tinggi dapat mendorong proyek lintas disiplin yang bermitra dengan pemerintah daerah dan masyarakat. Mahasiswa manajemen dapat mengkaji tata kelola rantai pasok, pembiayaan restorasi, manajemen krisis, dan akuntabilitas organisasi. Materi pendidikan harus menghindari narasi menyalahkan satu kelompok dan menekankan bahwa pilihan kebijakan serta perilaku kolektif dapat mengurangi risiko.

Universitas dan lembaga riset juga dapat berperan sebagai penghubung pengetahuan. Mereka dapat membantu mengkalibrasi sensor, mengevaluasi hasil restorasi, menyusun peta risiko partisipatif, dan menjelaskan ketidakpastian kepada pembuat kebijakan. Kemitraan perlu memberi manfaat balik bagi masyarakat, termasuk akses data, pelatihan, dan perlindungan atas pengetahuan lokal. Penelitian tidak seharusnya berhenti pada publikasi; hasil perlu diterjemahkan menjadi panduan operasional yang dapat digunakan dalam anggaran dan keputusan lapangan.

17. Variasi wilayah dan kebutuhan mitigasi yang berbeda

Tidak terdapat satu pola kebakaran yang menjelaskan seluruh Indonesia. Sumatra dan Kalimantan memiliki hamparan gambut luas yang banyak

mengalami perubahan hidrologi dan konversi lahan. Di sana, pencegahan memerlukan pemantauan muka air, pengelolaan kanal, perlindungan kubah gambut, serta kesiapan menghadapi api bawah permukaan. Daerah yang mengalami kebakaran berulang memerlukan analisis historis yang memeriksa apakah api kembali pada lokasi yang sama, apakah terjadi perubahan akses, dan apakah pemulihan tata air benar-benar bertahan. Tanpa penilaian tersebut, patroli dapat berulang pada titik yang sama tanpa mengubah penyebabnya.

Di sebagian wilayah Nusa Tenggara dan kawasan kering lainnya, kebakaran vegetasi dapat lebih erat terkait dengan padang rumput, lahan pertanian, angin, dan musim kering. Strategi yang mengandalkan sekat kanal gambut tidak relevan di sana. Pengelolaan bahan bakar, jalur sekat bakar yang dirancang secara ekologis, pengaturan pembakaran terkendali bila diizinkan dan aman, serta perlindungan permukiman dapat lebih penting. Kebijakan harus mengenali bahwa api dapat menjadi unsur ekologi tertentu, tetapi bahaya meningkat bila intensitas dan frekuensinya berubah akibat aktivitas manusia atau perubahan iklim.

Di Jawa, tekanan penduduk dan infrastruktur dapat mempertemukan kebakaran vegetasi dengan permukiman, kawasan wisata, dan jaringan transportasi. Kebakaran di lereng gunung atau taman nasional dapat membahayakan wisatawan, relawan, dan petugas yang bekerja di medan curam. Sistem evakuasi, informasi kepada pengunjung, penutupan jalur, dan pengendalian akses menjadi bagian dari mitigasi. Kasus yang menimbulkan korban jiwa menunjukkan perlunya protokol keselamatan operasi, pembatasan jumlah relawan tidak terlatih di zona bahaya, serta komunikasi komando yang tidak terfragmentasi.

Di Papua dan wilayah berhutan lainnya, perencanaan harus memperhatikan nilai ekologis, hak masyarakat adat, akses pelayanan yang jauh, serta kemungkinan kebakaran lokal dengan dampak yang berbeda dari episoda besar Sumatra-Kalimantan. Peta risiko nasional dapat membantu menentukan

prioritas, tetapi peta tersebut perlu disesuaikan dengan pengetahuan lokal dan kondisi sosial. Keputusan tentang pembukaan lahan, pemadaman, atau restorasi harus menghormati hak dan mekanisme persetujuan masyarakat. Pendekatan yang seragam dapat menghasilkan intervensi mahal yang tidak sesuai dengan kebutuhan atau justru mengganggu mata pencaharian.

Perbedaan wilayah menuntut kerangka nasional yang menetapkan standar keselamatan, keterbukaan data, dan akuntabilitas, disertai desain lokal yang fleksibel. Setiap kabupaten rawan perlu menyusun profil risiko yang menjawab jenis bahan bakar, sumber air, sejarah kejadian, kapasitas respons, kelompok rentan, dan opsi penggunaan lahan. Profil tersebut ditinjau sebelum setiap musim kering dan setelah setiap kejadian besar. Pembelajaran antarwilayah akan lebih efektif bila praktik baik dijelaskan bersama konteksnya: apa yang berhasil, dalam kondisi apa, berapa biaya pemeliharaan, dan siapa yang mendapat manfaat.

18. Siklus sejarah kebakaran dan pembelajaran kebijakan

Sejarah kebakaran Indonesia menunjukkan pola yang berulang tetapi tidak identik. Episode besar pada 1997–1998, 2015, dan 2019 terjadi dalam konteks iklim yang kering, tetapi luas, emisi, lokasi, dan dampak dipengaruhi perubahan penggunaan lahan serta kondisi hidrologi. Kajian Page et al. (2002) mengenai kebakaran 1997 menunjukkan bahwa pembakaran gambut dapat melepaskan karbon dalam jumlah sangat besar. Kajian 2015 kemudian memperlihatkan bahwa asap, kerusakan lahan, emisi, dan gangguan ekonomi merupakan satu paket kerugian yang saling berhubungan. Setiap episode seharusnya menjadi kesempatan untuk menilai bagaimana kebijakan mengubah keadaan sebelum episode berikutnya.

Respons pasca-krisis biasanya mencakup pengetatan aturan, pembentukan lembaga, operasi pemadaman, restorasi, dan kampanye publik. Tantangan muncul ketika perhatian menurun setelah asap hilang, sementara anggaran pemeliharaan dan pengawasan ikut berkurang. Sekat kanal yang dibangun

tanpa dana perawatan, patroli yang tidak terus berjalan, atau sensor yang tidak dikalibrasi dapat kehilangan fungsi. Pengalaman sebelumnya menunjukkan bahwa pengumuman program bukan bukti bahwa risiko telah berkurang; hasil harus diukur pada muka air, kejadian api, kualitas udara, dan kesehatan.

Kajian biaya dan manfaat restorasi oleh Kiely et al. (2021) memperkirakan bahwa skenario pemulihan gambut tertentu berpotensi mengurangi luas terbakar, emisi, dan kematian prematur pada episode historis. Temuan tersebut merupakan hasil pemodelan kontrafaktual, bukan pengukuran langsung semua manfaat restorasi yang telah selesai. Perbedaan ini penting: model membantu menilai potensi, sementara evaluasi lapangan menguji capaian nyata. Kebijakan harus menggunakan kedua jenis bukti dan menjelaskan batas inferensinya.

Pelajaran sejarah juga berhubungan dengan memori sosial. Warga yang mengalami beberapa musim asap mungkin menormalisasi kondisi berbahaya, mengurangi kepercayaan pada peringatan, atau menganggap tidak ada pilihan selain bertahan. Pemerintah perlu mendokumentasikan pengalaman tersebut dan menindaklanjuti pengaduan. Evaluasi pascakebakaran yang melibatkan masyarakat dapat mengungkap bagaimana bantuan didistribusikan, apakah layanan kesehatan terjangkau, apakah sekolah memiliki protokol, dan apakah upaya pemadaman mengabaikan keselamatan warga.

Pembelajaran kebijakan memerlukan mekanisme tetap. Setelah kejadian besar, tim independen dapat menyusun laporan kejadian yang merangkum kronologi, keputusan, penggunaan data, kinerja, korban, biaya, hambatan koordinasi, dan tindakan perbaikan. Rekomendasi harus memiliki penanggung jawab serta tenggat. Publikasi laporan menjadi sarana pertanggungjawaban sekaligus sumber pembelajaran bagi provinsi lain. Bila rekomendasi lama terus muncul tanpa pelaksanaan, masalahnya bukan kekurangan pengetahuan, melainkan kapasitas, insentif, atau kemauan untuk bertindak.

19. Model operasional pencegahan lintas sektor

Model operasional yang dapat diterapkan pemerintah daerah memiliki tiga lapisan. Lapisan pertama adalah pengurangan kondisi mudah terbakar melalui perlindungan hutan dan gambut, pengelolaan air, pembatasan pembukaan berisiko, serta dukungan usaha tanpa bakar. Lapisan kedua adalah deteksi dan kesiapsiagaan melalui pemantauan cuaca, sensor, patroli, sumber air, pelatihan, dan kesiapan layanan publik. Lapisan ketiga adalah respons dan pemulihan yang mengutamakan keselamatan, kesehatan, pengendalian api, rehabilitasi, dan dukungan penghidupan. Ketiganya saling melengkapi; kekuatan lapisan respons tidak dapat menutup kelemahan pencegahan struktural.

Pada awal tahun, pemerintah daerah dapat menetapkan peta prioritas dan meninjau rencana tata ruang, konsesi, dan hidrologi. Sebelum musim kemarau, dinas terkait memeriksa sekat kanal, sumur, alat pemadam, jalur komunikasi, rumah sakit, ruang bersih, sekolah, dan stok obat. Saat indikator bahaya meningkat, pemerintah mengaktifkan patroli dan pembatasan aktivitas berisiko, mengirimkan peringatan kepada warga, serta menghubungkan data kualitas udara dengan keputusan kesehatan dan pendidikan. Setelah api padam, tim menilai kerusakan, memulihkan tata air, memberi dukungan sosial, serta meninjau apakah respons sesuai rencana.

Pembagian peran dapat diringkas sebagai berikut: BMKG memberi prakiraan dan informasi meteorologi; dinas lingkungan dan kehutanan mengelola data lanskap dan penegakan sesuai kewenangan; BPBD mengoordinasikan kesiapsiagaan dan operasi darurat; dinas kesehatan mengelola pemantauan penyakit dan layanan; pemerintah desa memobilisasi pengetahuan dan relawan lokal; perusahaan mengelola risiko di wilayah operasi serta mendukung lanskap sekitar sesuai kewajiban; lembaga pendidikan menjalankan protokol keselamatan belajar; dan organisasi masyarakat sipil mengawasi serta membantu menjangkau kelompok rentan. Pengaturan ini memerlukan SOP bersama dan satu peta data yang diperbarui.

Dalam operasi, struktur komando harus menentukan siapa yang berwenang menetapkan zona aman, memerintahkan evakuasi, menghentikan pekerjaan, dan mengalokasikan sumber daya. Relawan memerlukan identifikasi, pelatihan dasar, perlindungan asuransi, komunikasi, serta arahan yang jelas. Petugas tidak boleh ditempatkan pada kondisi yang melampaui kemampuan alat atau pelatihannya. Keselamatan bukan sekadar penggunaan helm dan masker; ia juga mencakup pengamatan cuaca, rute keluar, hidrasi, rotasi tugas, komunikasi radio, pemeriksaan kesehatan, serta pencatatan insiden nyaris celaka.

Setiap kabupaten dapat membangun dashboard kinerja yang menampilkan indikator awal, proses, dan hasil. Indikator awal meliputi curah hujan, muka air, dan indeks bahaya; indikator proses mencakup kecepatan respons, cakupan patroli, dan fungsi alat; indikator hasil meliputi luas terbakar, hari dengan udara tidak sehat, gangguan sekolah, kasus kesehatan, kematian, dan kejadian berulang. Dengan cara ini, pejabat dapat membedakan apakah kegagalan berasal dari prakiraan, koordinasi, sumber daya, kepatuhan, atau desain intervensi.

20. Data paparan, epidemiologi, dan batas pengetahuan

Keputusan yang baik memerlukan data yang dapat dibandingkan. Luas kebakaran dapat dihitung melalui titik panas, peta terbakar, survei lapangan, atau kombinasi beberapa metode. Produk yang berbeda memiliki resolusi, sensitivitas, dan periode cakupan yang berbeda. Sebagian sistem menghitung piksel terbakar, sementara yang lain mengestimasi area terdampak atau area konsesi dengan indikasi kebakaran. Karena itu, angka dari dua sumber tidak seharusnya dijumlahkan atau dibandingkan langsung tanpa membaca definisi dan metadata. Pengumuman resmi perlu menyebut tanggal pembaruan, metode, cakupan geografis, dan tingkat ketidakpastian.

Hotspot satelit adalah sinyal yang berguna untuk mengarahkan pemeriksaan, bukan putusan hukum. Penginderaan jauh dapat melewatkan api kecil, api di

bawah awan, atau api yang tidak menyala pada saat satelit melintas. Sebaliknya, anomali panas dapat berasal dari sumber non-kebakaran. Konfirmasi membutuhkan data lapangan atau bukti independen. Demikian pula, lokasi titik api pada konsesi tidak dengan sendirinya membuktikan bahwa pemegang konsesi menyalakan api; tetapi lokasi tersebut dapat menjadi pemicu audit atas kewajiban pengelolaan dan respons.

Estimasi kesehatan menggunakan model untuk menghubungkan paparan dengan perubahan risiko penyakit atau kematian pada populasi. Ketidakpastian dapat berasal dari jumlah PM2.5 yang dihirup, komposisi partikulat, kualitas data mortalitas, pola aktivitas manusia, dan fungsi respons paparan yang dipilih. Hasil model berguna untuk kebijakan, terutama saat catatan klinis belum menangkap semua dampak, tetapi angka yang dihasilkan harus diberi label sebagai estimasi. Penyebutan "sekian ribu kematian" tanpa menerangkan metode dapat menciptakan kesan presisi berlebihan dan mengurangi kepercayaan publik.

Pengembangan data lokal sebaiknya mengikuti prinsip keterbukaan, interoperabilitas, dan perlindungan privasi. Data agregat dapat dibagikan untuk perencanaan, sedangkan informasi individu kesehatan dibatasi dan diamankan. Peta pengaduan warga perlu menghindari publikasi identitas pelapor. Data perusahaan dan pemerintah dapat dipadankan melalui standar koordinat, kode wilayah, tanggal, dan klasifikasi jenis kebakaran. Universitas dapat membantu verifikasi, tetapi harus menyatakan konflik kepentingan serta keterbatasan metodologi.

Kesenjangan data juga merupakan temuan kebijakan. Jika kualitas udara tidak diukur di desa yang paling dekat dengan api, maka ketidakpastian bukan alasan untuk menganggap tidak ada paparan; hal itu justru menunjukkan kebutuhan investasi pemantauan. Jika fasilitas kesehatan tidak menyimpan data episode asap secara konsisten, maka beban penyakit mungkin tidak terlihat. Program yang bertanggung jawab tidak menunggu data sempurna,

tetapi menggunakan tindakan pencegahan yang proporsional sembari memperbaiki pengukuran.

21. Keadilan, etika, dan kepercayaan publik

Keadilan lingkungan menanyakan distribusi risiko dan manfaat. Sering kali masyarakat yang bergantung pada lahan menghadapi aturan penggunaan yang ketat, sementara keputusan investasi dan perubahan hidrologi ditetapkan pada tingkat yang lebih tinggi. Di sisi lain, masyarakat juga dapat menggunakan api yang menimbulkan risiko bagi tetangga. Kebijakan yang adil tidak menghapus tanggung jawab, tetapi menilai kapasitas, motif, dampak, dan pilihan yang tersedia. Ia memastikan bahwa bantuan untuk alternatif tanpa bakar tidak hanya diberikan kepada pelaku yang paling mudah dijangkau, dan bahwa proses penegakan hukum tidak selektif.

Persetujuan dan partisipasi bermakna ketika warga dapat memengaruhi rancangan, anggaran, dan evaluasi, bukan hanya menghadiri sosialisasi. Masyarakat perlu mendapat informasi yang dapat dipahami tentang peta lahan, rencana tata air, risiko kesehatan, jalur pengaduan, dan mekanisme kompensasi. Pengetahuan adat mengenai kondisi air, angin, vegetasi, dan sejarah api dapat melengkapi data ilmiah. Namun, pengetahuan tersebut tidak boleh dieksploitasi tanpa persetujuan, pengakuan, atau manfaat bagi pemiliknya.

Komunikasi krisis juga merupakan persoalan etika. Pemerintah dan media harus menyampaikan informasi cepat, tetapi tidak boleh mengklaim kepastian yang belum didukung bukti. Data yang berubah perlu dijelaskan melalui catatan revisi. Informasi mengenai penyebab kebakaran harus membedakan dugaan, hasil penyelidikan, dan putusan. Klaim kesehatan perlu menghindari kepanikan sekaligus tidak mengecilkan bahaya. Kepercayaan publik tumbuh ketika pesan konsisten, kanal umpan balik tersedia, dan koreksi dilakukan terbuka.

Perlindungan kelompok rentan harus diwujudkan dalam anggaran. Ruang bersih, masker yang layak, layanan kesehatan, transportasi evakuasi, pembelajaran pengganti, dan dukungan pendapatan memerlukan pembiayaan nyata. Bila keluarga diminta membatasi aktivitas luar rumah, pemerintah perlu memperhatikan pekerja yang bergantung pada penghasilan harian. Bila sekolah ditutup, anak yang tidak memiliki koneksi digital memerlukan opsi belajar yang aman. Bila warga dievakuasi, kebutuhan disabilitas, lansia, ibu hamil, serta hewan ternak perlu direncanakan.

Kepercayaan terhadap kebijakan dapat rusak ketika pesan pencegahan tidak sejalan dengan keputusan perizinan atau pembangunan. Pemerintah perlu memperlihatkan bahwa standar keselamatan berlaku untuk semua pemegang hak dan pelaku. Transparansi hasil investigasi dan tindak lanjut pemulihan membantu memperkuat legitimasi. Pada saat yang sama, kebijakan tidak boleh mengubah kelompok masyarakat menjadi kambing hitam untuk menutupi kelemahan tata kelola. Keadilan dan efektivitas berjalan bersama ketika setiap pihak memahami kewajiban serta memiliki jalur untuk memenuhi kewajiban tersebut.

22. Kesiapan layanan kesehatan untuk kelompok rentan

Kesiapan layanan kesehatan dimulai sebelum musim kering. Dinas kesehatan perlu memetakan puskesmas, rumah sakit, bidan praktik, posyandu, layanan gawat darurat, farmasi, oksigen, listrik cadangan, dan jalur rujukan; kemudian mengidentifikasi kesenjangan geografis dan aksesibilitas. Rencana harus mencakup peningkatan kunjungan pernapasan dan kardiovaskular, kebutuhan pasien kehamilan, pengantaran obat, serta kontinuitas pelayanan penyakit kronis. Puskesmas dapat memasukkan prakiraan asap ke rapat kesiapsiagaan musiman dan menetapkan kapan kapasitas staf, persediaan, atau jam layanan perlu diperluas.

Sistem surveilans yang baik menggabungkan indikator lingkungan dan kesehatan dengan interval waktu yang konsisten. Data PM2.5 atau indeks

kualitas udara dapat dipasangkan dengan kunjungan klinik, panggilan darurat, rawat inap, kelahiran, dan ketidakhadiran layanan antenatal. Analisis harus mempertimbangkan hari dalam pekan, infeksi musiman, suhu, hujan, dan perubahan perilaku mencari layanan. Data individu yang sensitif perlu diamankan dan hanya digunakan untuk tujuan kesehatan yang sah. Peringatan publik berbasis ambang lokal sebaiknya transparan mengenai metodenya, karena ambang komunikasi tidak selalu sama dengan pedoman kualitas udara jangka panjang WHO.

Layanan primer membutuhkan protokol praktis untuk mengenali gejala, menilai risiko, memberi nasihat pengurangan paparan, dan merujuk pasien bila diperlukan. Tenaga kesehatan tidak perlu menganggap semua keluhan sebagai akibat asap, tetapi perlu menanyakan paparan saat kualitas udara memburuk. Penderita asma atau penyakit paru kronis dapat meninjau rencana tindakan dan akses obat dengan tenaga kesehatan. Untuk ibu hamil, layanan antenatal dapat membahas paparan, kesehatan pernapasan, jadwal kunjungan, transportasi, dan cara menghubungi fasilitas bila terjadi gangguan. Konseling harus mendukung pengambilan keputusan tanpa menghakimi atau mengubah terapi tanpa penilaian klinis.

Lansia yang tinggal sendiri atau memiliki keterbatasan mobilitas perlu menjadi bagian dari daftar kesiapsiagaan komunitas dengan persetujuan dan perlindungan data. Kader, petugas sosial, keluarga, serta pengelola panti dapat menyepakati mekanisme pemeriksaan kondisi harian, penyampaian pesan melalui telepon atau kunjungan, transportasi, dan rujukan. Kesiapan harus menjangkau orang dengan gangguan pendengaran, penglihatan, kognitif, bahasa, atau akses telepon. Panti wreda dan fasilitas rawat jangka panjang perlu menilai filtrasi, pendinginan, cadangan listrik, obat rutin, ruang perlindungan, dan rencana evakuasi yang mempertahankan kebutuhan perawatan.

Perlindungan ibu hamil memerlukan kesinambungan layanan maternal-neonatal sepanjang episode asap. Fasilitas perlu menyiapkan jalur komunikasi

untuk perubahan jadwal, transportasi ke pemeriksaan dan persalinan, akses rekam medis, dan rujukan ketika kondisi klinis mendesak. Bidan dan kader dapat menyampaikan informasi menggunakan bahasa yang dipahami komunitas dan menjelaskan kapan konsultasi dibutuhkan. Kebijakan tidak boleh mengalihkan semua tanggung jawab kepada perempuan untuk tinggal di rumah; pekerjaan, pengasuhan anak, dan kondisi rumah membatasi pilihan sebagian keluarga.

Ruang udara bersih di klinik, balai warga, sekolah, atau gedung pemerintah dapat menyediakan perlindungan sementara bagi orang yang rumahnya tidak dapat menjaga kualitas udara. Pemilihan lokasi perlu mempertimbangkan filtrasi, pendinginan, kapasitas, akses kursi roda, toilet, obat, area istirahat, privasi, keamanan, serta jarak dari kelompok sasaran. Petugas shelter harus memantau kualitas udara dalam ruang dan suhu, menjaga sirkulasi sesuai kebutuhan, serta menghindari kepadatan berlebih. Jika bangunan terlalu panas atau tidak mempunyai ventilasi dan filtrasi yang sesuai, ia mungkin tidak memberikan perlindungan yang diharapkan.

Kesiapan obat dan alat perlu dipastikan secara hati-hati. Oksigen, inhaler, spacer, nebulisasi jika memang tersedia dan sesuai protokol, alat pengukur tanda vital, serta obat yang diresepkan merupakan bagian dari kesiapan klinis. Sistem rantai pasok perlu mempertimbangkan lonjakan permintaan dan kemungkinan gangguan transportasi. Tenaga kesehatan perlu melindungi diri saat memberikan layanan di lingkungan berasap, dan prosedur penggunaan alat pelindung mengikuti jenis pekerjaan serta aturan keselamatan kerja.

Peningkatan kapasitas kesehatan tidak dapat berdiri sendiri. Perencanaan puskesmas harus berkoordinasi dengan BPBD, dinas lingkungan, pendidikan, transportasi, pekerjaan, organisasi penyandang disabilitas, kelompok lansia, organisasi profesi, dan masyarakat. Simulasi pra-musim menguji jalur rujukan, daftar warga yang perlu dihubungi, alur pesan, penempatan ruang udara bersih, serta kemampuan memperoleh bantuan. Setelah episode berakhir,

tinjauan bersama mengidentifikasi layanan yang terlewat dan memperbarui rencana.

23. Perubahan mata pencaharian dan ekonomi tanpa bakar

Larangan penggunaan api akan memiliki legitimasi dan hasil yang lebih baik bila didukung pilihan ekonomi yang dapat dijalankan. Pemerintah dan perusahaan dapat membantu kelompok tani memperoleh mesin pencacah, alat pengolah tanah, kompos, layanan sewa, serta akses ke tenaga kerja dan pembiayaan. Model layanan bersama sering lebih masuk akal bagi petani kecil daripada mewajibkan setiap rumah tangga membeli mesin sendiri. Pengelolaan residu dapat mengubah biomassa menjadi mulsa atau kompos, tetapi pilihan tersebut perlu mempertimbangkan tenaga, waktu, kualitas tanah, musim, dan pasar hasil samping.

Analisis biaya perlu memperhitungkan bukan hanya biaya membeli alat, tetapi juga biaya operasi, perawatan, bahan bakar, suku cadang, pelatihan, dan koordinasi. Subsidi yang hanya menurunkan harga alat tanpa memperbaiki ketersediaan jasa mungkin tidak mengubah perilaku. Pemerintah dapat mendukung koperasi atau badan usaha milik desa sebagai penyedia jasa pembukaan lahan tanpa bakar, dengan standar keselamatan, tarif transparan, dan mekanisme pemeliharaan. Dukungan tersebut harus dirancang berdasarkan kebutuhan setempat serta tidak menciptakan utang yang tidak seimbang dengan pendapatan petani.

Kelayakan ekonomi juga bergantung pada hak atas lahan. Petani yang tidak memiliki kepastian akses jangka panjang mungkin kurang memiliki insentif untuk berinvestasi pada pengolahan tanah dan pemeliharaan hidrologi. Penyelesaian sengketa dan pengakuan hak yang sah dapat memperkuat kepastian, tetapi penataan tersebut harus disertai perlindungan hutan dan gambut. Proses formal tidak boleh menghapus hak masyarakat atau membuka ruang spekulasi baru. Pemerintah perlu menyediakan saluran mediasi yang dapat dipercaya dan peta batas yang transparan.

Rantai nilai komoditas dapat mendukung perubahan jika pembeli menawarkan hubungan dagang yang memberi penghargaan pada praktik baik. Kontrak jangka lebih panjang, bantuan teknis, harga yang dapat diprediksi, dan keterlacakan pemasok meningkatkan kemungkinan petani mempertahankan metode tanpa bakar. Sebaliknya, tuntutan sertifikasi yang mahal tanpa premi harga dapat mengecualikan petani kecil dan membuat pasar terkonsentrasi. Kebijakan keberlanjutan perlu menggabungkan standar dengan pembiayaan transisi, penyuluhan, dan akses pasar, serta melindungi kelompok yang paling kecil kapasitasnya.

Diversifikasi penghidupan dapat mengurangi ketergantungan pada satu komoditas atau satu bentuk pembukaan lahan. Pilihan seperti produk hutan bukan kayu, agroforestri yang sesuai dengan hidrologi, perikanan pada lanskap basah, jasa restorasi, atau usaha lokal perlu dinilai berdasarkan kondisi ekologis dan budaya. Tidak semua alternatif menghasilkan pendapatan setara dalam jangka pendek. Karena itu, masa transisi dapat membutuhkan pembayaran jasa ekosistem, program padat karya, atau pembelian hasil lokal oleh pemerintah. Ukuran keberhasilan mencakup pendapatan bersih, keamanan pangan, waktu kerja, partisipasi perempuan, dan penurunan penggunaan api, bukan jumlah pelatihan semata.

24. Peran perusahaan, investor, dan rantai pasok

Tanggung jawab pengelolaan risiko melekat pada keputusan operasional. Perusahaan yang mengelola kebun atau hutan tanaman perlu memastikan wilayah konsesi memiliki rencana pencegahan yang diperbarui, petugas yang cukup, sumber air yang berfungsi, kanal yang dikelola, jalur patroli, dan komunikasi dengan masyarakat sekitar. Prosedur harus menjangkau kontraktor dan pemasok, sebab pengendalian yang hanya berlaku pada pekerja langsung meninggalkan celah. Audit independen dapat menguji bukti pemeliharaan, latihan, respons, laporan kejadian, dan pemulihan; dokumen kebijakan tanpa bukti pelaksanaan tidak cukup.

Investor dan pemberi pinjaman dapat mengintegrasikan risiko kebakaran dan gambut ke dalam uji tuntas. Penilaian perlu melihat eksposur fisik perusahaan, kepatuhan hukum, ketergantungan pada drainase, potensi gangguan operasi, risiko reputasi, dan dampak terhadap warga. Mekanisme keluhan yang mudah diakses membantu mengidentifikasi masalah sebelum eskalasi. Bila ditemukan indikasi pelanggaran, tindak lanjut harus berbasis bukti dan memiliki tahapan verifikasi, perbaikan, serta sanksi. Transparansi risiko tidak sama dengan menyimpulkan kesalahan sebelum investigasi selesai.

Perusahaan dapat mempublikasikan data kebakaran dengan metodologi yang jelas: koordinat, tanggal, area, tipe lahan, tindakan pemadaman, hasil pemeriksaan, dan status pemulihan. Data tersebut perlu disandingkan dengan sumber pemerintah dan pengamatan independen. Peta konsesi yang akurat membantu penentuan kewenangan dan mempercepat respons, sementara perlindungan saksi dan privasi tetap dijaga. Keterbukaan juga memungkinkan perusahaan belajar dari kejadian yang terjadi di wilayah tetangga, karena kebakaran dapat melintasi batas pengelolaan.

Prinsip tanggung jawab perlu mencakup pencegahan, respons, dan pemulihan. Pelaku yang terbukti menimbulkan kebakaran dapat diminta memulihkan kondisi hidrologi, membayar kerugian sesuai ketentuan, memperbaiki praktik, dan mendukung pemantauan jangka panjang. Kompensasi kepada warga harus menggunakan prosedur yang sederhana, cepat, dan dapat diajukan tanpa biaya tinggi. Penyelesaian administratif atau perdata tidak menggantikan penyelidikan pidana jika terdapat bukti tindak pidana; sebaliknya, proses hukum harus menjaga hak semua pihak dan menghindari penghukuman berdasarkan dugaan semata.

Konsistensi rantai pasok dapat mencegah pemindahan risiko. Bila pembeli hanya memutus hubungan setelah muncul sorotan media, pemasok dapat berganti nama atau beralih ke pasar yang tidak menuntut transparansi. Pendekatan bertahap dapat menggabungkan keterlacakan, dukungan perbaikan, tenggat, dan sanksi untuk pelanggaran berulang atau berat.

Pemutusan hubungan dagang harus mempertimbangkan apakah tindakan itu memperbaiki kondisi lapangan atau hanya memindahkan sumber masalah ke pemasok lain. Transparansi hasil dan verifikasi independen membantu membedakan komitmen nyata dari komunikasi reputasi.

25. Kerja sama kesehatan dan pertukaran data lintas batas

Asap lintas batas menciptakan kepentingan bersama bagi Indonesia dan negara-negara ASEAN. Kerja sama dapat mencakup pertukaran prakiraan, data kualitas udara, informasi kebakaran, pemantauan emisi, pelatihan petugas, bantuan teknis, dan tata cara mobilisasi sumber daya. Perjanjian regional akan lebih efektif bila prosedurnya diuji dalam latihan, termasuk standar komunikasi, titik kontak, akses personel dan peralatan, pembagian biaya, serta koordinasi dengan otoritas nasional dan daerah. Bantuan harus dapat diterima dengan cepat tanpa mengabaikan komando Indonesia atas operasi di wilayahnya.

Kepercayaan regional tergantung pada kualitas informasi. Negara yang terpapar asap memerlukan data yang diperbarui dan dapat dibandingkan; negara sumber memerlukan pemahaman bahwa variasi sensor dan metode dapat menghasilkan angka berbeda. Portal bersama dapat menampilkan prakiraan angin, lokasi kebakaran, emisi, indeks pencemaran, dan langkah respons. Ketidaksepakatan tentang angka sebaiknya ditangani melalui pertukaran metadata dan verifikasi, bukan saling menyalahkan di ruang publik. Komunikasi yang transparan meningkatkan kredibilitas respons nasional.

Diplomasi tidak boleh hanya berlangsung pada saat asap memuncak. Forum kerja sama dapat membahas pembiayaan pencegahan, pelatihan, perlindungan kesehatan, penelitian lintas batas, dan dukungan pada masyarakat yang mengelola gambut. Negara penerima dampak dapat berkontribusi melalui dukungan teknis, investasi restorasi, dan komitmen rantai pasok yang bertanggung jawab. Pembagian manfaat dan biaya perlu dibicarakan dengan menghormati kedaulatan serta tanggung jawab negara,

dan tidak mengubah kerja sama menjadi alat untuk memindahkan beban kepada komunitas lokal.

Untuk Indonesia, koordinasi lintas batas juga memiliki manfaat operasional langsung. Bantuan helikopter, pesawat, tenaga ahli, atau peralatan dapat menambah kapasitas ketika lokasi dan kondisi memungkinkan. Namun, kebutuhan harus ditentukan oleh komandan operasi, bukan hanya tawaran aset. Water bombing pada wilayah gambut yang luas tidak selalu menyelesaikan api bawah permukaan; pemadaman darat, pembasahan, akses sumber air, dan verifikasi titik panas tetap diperlukan. Evaluasi gabungan dapat mencatat aset yang digunakan, lokasi intervensi, hasil, risiko, serta pelajaran untuk musim berikutnya.

Kebijakan regional paling kuat ketika dikaitkan dengan pengurangan sumber risiko. Kerja sama ilmiah dapat membantu mengevaluasi emisi, pemaparan, dan manfaat restorasi. Kerja sama ekonomi dapat mendorong komoditas yang diproduksi tanpa merusak gambut. Pendidikan publik regional dapat mengurangi misinformasi dan meningkatkan pemahaman tentang perbedaan antara sumber api, penyebaran asap, dan dampak kesehatan. Diplomasi pencegahan membutuhkan kesinambungan politik, bukan hanya pernyataan solidaritas setelah bencana terjadi.

26. Kerangka pelaksanaan bertahap untuk pemerintah daerah

Pemerintah daerah dapat menyusun pelaksanaan dalam tiga horizon. Dalam jangka pendek, sebelum musim kering, langkah prioritas mencakup pemutakhiran peta risiko, pemeriksaan tata air, penempatan alat, penguatan MPA, latihan evakuasi, pengadaan obat dan masker, serta protokol sekolah dan kerja luar ruang. Risiko tinggi yang terlihat dari kombinasi prakiraan kering, muka air turun, dan histori api perlu memicu tindakan awal. Penanggung jawab, kebutuhan biaya, dan jalur koordinasi harus ditetapkan dalam dokumen operasi yang dapat dipakai oleh semua dinas.

Dalam jangka menengah, pemerintah memperbaiki prasyarat struktural: menyelesaikan konflik data batas, menata perizinan, mengembangkan layanan mekanis untuk pembukaan tanpa bakar, memelihara sekat kanal, memperluas pemantauan PM2.5, dan membangun mekanisme bantuan mata pencaharian. Pemerintah dapat memilih beberapa desa sebagai lokasi percontohan, tetapi pemilihan harus mewakili variasi gambut, mata pencaharian, akses, dan kapasitas. Hasil uji coba diumumkan bersama biaya dan hambatan, agar model yang diperluas sesuai kondisi nyata.

Dalam jangka panjang, pembaruan tata ruang, pengembangan ekonomi daerah, investasi infrastruktur, dan program adaptasi iklim perlu memasukkan risiko kebakaran. Jalan dan kanal baru harus dinilai menurut dampak kumulatif terhadap hidrologi serta akses penyalaan. Perencanaan pusat dan daerah perlu menggunakan skenario iklim yang lebih kering dan ekstrem. Daerah dapat mengembangkan pembiayaan berkelanjutan melalui anggaran multi-tahun, dana lingkungan, kemitraan rantai pasok, dan kerja sama riset, dengan audit penggunaan yang terbuka.

Setiap horizon perlu mempunyai indikator. Jangka pendek: persentase wilayah prioritas yang memiliki rencana aktif, kesiapan air, dan protokol kesehatan; waktu antara peringatan dan patroli; serta ketersediaan informasi kualitas udara. Jangka menengah: perubahan praktik penggunaan api, kondisi muka air, jumlah kebakaran berulang, pemeliharaan alat, serta akses alternatif ekonomi. Jangka panjang: tren luas dan intensitas kebakaran, hari paparan berbahaya, emisi, kehilangan habitat, kerugian rumah tangga, dan keselamatan. Indikator harus diterbitkan dengan baseline dan definisi agar dapat dibandingkan antar-tahun.

Rencana bertahap perlu memiliki mekanisme koreksi. Bila dukungan alat tidak digunakan, pemerintah harus mengetahui apakah masalahnya biaya operasi, keterampilan, atau konflik tenurial. Bila kebakaran berpindah ke luar wilayah program, analisis perlu memeriksa kebocoran. Bila kualitas udara tetap buruk meskipun luas kebakaran menurun, penilaian perlu melihat lokasi api, jenis

bahan bakar, durasi, dan arah angin. Pengelolaan adaptif mengubah desain berdasarkan bukti, bukan mempertahankan program hanya karena telah dianggarkan.

Keterlibatan warga dalam pemantauan dapat memperkuat akuntabilitas, tetapi partisipasi sebaiknya tidak hanya diukur dari jumlah rapat. Masyarakat perlu mengetahui keputusan apa yang dibuat berdasarkan masukan mereka. Mekanisme umpan balik dapat berupa laporan berkala, forum desa, nomor pengaduan, dan peta partisipatif. Keputusan yang memengaruhi lahan atau akses warga harus disertai penjelasan, konsultasi, dan jalur banding. Dengan cara ini, pencegahan menjadi bagian dari tata kelola pembangunan daerah, bukan proyek musiman.

27. Kerangka hukum dan pelaksanaan kebijakan

Kerangka hukum menjadi efektif bila norma dapat diterjemahkan menjadi keputusan operasional. Aturan tentang perlindungan hutan, pengendalian pencemaran, pengelolaan gambut, tata ruang, perkebunan, dan kebencanaan membentuk lapisan kewajiban yang beririsan. Petugas perlu memahami hubungan antarketentuan, batas kewenangan, prosedur pembuktian, serta saluran koordinasi. Ketidakjelasan tentang siapa yang memeriksa, siapa yang menindak, dan siapa yang memulihkan dapat memperlambat tindakan. Pemerintah daerah dapat menyusun panduan terpadu yang merujuk pada ketentuan resmi dan memperjelas alur administrasi tanpa menggantikan peraturan yang berlaku.

Penegakan yang efektif memiliki unsur pencegahan, pemeriksaan, sanksi, pemulihan, dan pembelajaran. Sanksi tanpa pengawasan yang mungkin terjadi hanya memiliki daya cegah terbatas. Pemeriksaan yang baik memerlukan kapasitas teknis untuk memeriksa lokasi api, perubahan lahan, dokumen izin, hubungan kontraktual, dan kepatuhan terhadap rencana pengelolaan. Pemulihan harus memastikan tata air dan fungsi ekosistem diperbaiki, bukan hanya membayar denda. Hasil penegakan perlu diumumkan dalam bentuk

yang dapat dipahami, dengan membedakan dugaan awal, proses penyidikan, putusan, serta tindakan korektif.

Asas keadilan mensyaratkan proses yang konsisten dan hak pihak yang diperiksa. Masyarakat harus memiliki akses terhadap bantuan hukum dan mekanisme banding jika menghadapi tindakan administratif. Perusahaan harus diberikan ruang untuk menyampaikan bukti, tetapi proses tersebut tidak boleh menjadi alasan menunda tindakan perlindungan yang mendesak. Ketika bukti belum cukup untuk menentukan pelaku, pemerintah tetap dapat menjalankan langkah keselamatan dan pemadaman yang proporsional sambil melanjutkan investigasi. Dengan demikian, kepastian hukum dan perlindungan publik berjalan bersamaan.

Kebijakan penggunaan lahan perlu menguji dampak kumulatif, bukan menilai izin satu per satu secara terisolasi. Jalan dan kanal baru dapat mengubah hidrologi, akses, pola permukiman, serta potensi penyalaan di area yang lebih luas. Kajian lingkungan dan tata ruang sebaiknya mengukur perubahan risiko pada skala kesatuan hidrologis dan bentang ekologi. Jika ambang risiko terlampaui, pilihan yang tersedia mencakup perubahan desain, larangan kegiatan tertentu, perlindungan zona inti, atau kewajiban pemulihan. Proses ini lebih baik daripada membiarkan risiko bertambah sampai biaya respons menjadi jauh lebih besar.

Pengadaan publik juga dapat digunakan untuk mendukung praktik yang lebih aman. Pemerintah dapat mensyaratkan pengelolaan tanpa bakar, pelacakan bahan baku, dan perlindungan gambut dalam kontrak yang relevan, disertai verifikasi yang sepadan. Persyaratan harus realistis bagi usaha kecil dan memberi dukungan transisi, bukan membuat mereka kehilangan pasar karena administrasi. Kerangka hukum yang baik tidak hanya menetapkan larangan; ia juga membangun cara yang layak bagi masyarakat dan organisasi untuk memenuhi kewajiban.

28. Ekonomi risiko dan alasan investasi pencegahan

Dalam penganggaran publik, pengeluaran untuk pencegahan sering kalah bersaing dengan kebutuhan yang terlihat segera. Api yang berhasil dipadamkan mudah dihitung, sementara kerugian yang tidak terjadi lebih sulit diamati. Analisis ekonomi dapat membuat manfaat pencegahan lebih terlihat dengan menghitung biaya kesehatan, kehilangan hasil pertanian, kerusakan ekosistem, gangguan pendidikan, emisi, gangguan transportasi, serta biaya pemadaman. Perhitungan harus menjelaskan metode dan tidak mengubah nilai moneter menjadi satu-satunya ukuran, sebab kehilangan habitat atau budaya tidak selalu dapat diganti dengan uang.

Kiely et al. (2021) memperkirakan bahwa kebakaran tahun 2015 menimbulkan kerugian ekonomi sangat besar ketika kerusakan tutupan lahan, karbon, dan dampak kesehatan jangka panjang dimasukkan. Penulis juga membandingkan skenario restorasi gambut dan menunjukkan potensi pengurangan kerugian. Angka tersebut merupakan estimasi model, bukan audit keuangan aktual yang menghitung setiap transaksi. Nilai utamanya bagi kebijakan adalah mengungkap bahwa biaya sosial kebakaran dapat jauh melampaui penghematan privat dari pembukaan lahan menggunakan api. Analisis serupa dapat diperbarui untuk wilayah dan episode terbaru dengan data lokal yang lebih baik.

Analisis biaya-manfaat perlu menangkap distribusi, bukan hanya jumlah total. Bila manfaat investasi restorasi dinikmati masyarakat luas dan negara tetangga, sementara biaya awal jatuh pada pemilik lahan atau pemerintah kabupaten, maka dibutuhkan mekanisme pembagian biaya yang adil. Pendanaan dapat menggabungkan APBN, APBD, kontribusi perusahaan, dana iklim, dan kemitraan internasional sesuai aturan. Pembayaran berbasis hasil harus menghindari insentif untuk membiarkan degradasi dahulu agar kemudian memperoleh dana pemulihan. Baseline dan bukti tambahan harus ditetapkan secara independen.

Investasi juga dapat diarahkan pada infrastruktur pencegahan yang memberi manfaat ganda. Pengelolaan air gambut dapat mengurangi risiko api sekaligus menjaga sumber air. Sistem sensor dapat memperbaiki peringatan dan data kualitas udara. Pelatihan desa dapat meningkatkan keterampilan pemadaman sekaligus memperkuat organisasi lokal. Namun, manfaat ganda perlu diverifikasi. Struktur air yang tidak terawat tidak memberikan manfaat; sensor yang tidak dikalibrasi dapat menyesatkan; dan pelatihan tanpa alat atau kewenangan tidak otomatis meningkatkan kapasitas.

Rencana pembiayaan sebaiknya mempertimbangkan biaya siklus hidup. Untuk setiap alat atau infrastruktur, anggaran perlu mencakup pengadaan, operasi, pemeliharaan, penggantian, penyimpanan, serta pelatihan. Pembangunan sekat kanal tanpa pembiayaan perawatan adalah investasi yang nilainya menurun cepat. Pengadaan masker tanpa kebijakan distribusi dan panduan penggunaan juga menghasilkan perlindungan yang tidak merata. Analisis biaya siklus hidup membantu pemerintah membandingkan investasi pencegahan dengan biaya darurat yang berulang.

Transparansi anggaran memperkuat kepercayaan. Publik dapat mengetahui berapa dana yang dialokasikan bagi patroli, pemantauan udara, pencegahan desa, pemulihan, dan layanan kesehatan. Pelaporan perlu menunjukkan belanja, keluaran, hasil, dan penerima manfaat. Audit sosial dapat membantu mendeteksi apakah alat tersedia, apakah pelatihan dilakukan, dan apakah sumber daya mencapai lokasi prioritas. Pembiayaan yang terbuka memudahkan pemerintah memperbaiki alokasi dari tahun ke tahun.

29. Teknologi pemantauan dan komunikasi risiko kesehatan

Teknologi penginderaan jauh menyediakan cakupan luas untuk mendeteksi anomali termal, perubahan tutupan lahan, asap, dan area terbakar. Citra dengan resolusi dan frekuensi berbeda dapat saling melengkapi. Data satelit memberi gambaran spasial yang tidak mungkin dicapai hanya melalui patroli darat, terutama di daerah terpencil. Namun, awan, waktu lintasan, ukuran api,

topografi, serta jenis bahan bakar memengaruhi hasil. Produk penginderaan jauh harus diverifikasi dengan laporan lapangan dan diberi penjelasan mengenai waktu pengamatan serta batas akurasinya.

AI dan pembelajaran mesin dapat menggabungkan curah hujan, kelembapan, vegetasi, jaringan jalan, kedalaman gambut, sejarah hotspot, dan penggunaan lahan untuk memperkirakan risiko. Nilai praktis model bukan pada kemampuannya memberikan kepastian, melainkan membantu menentukan prioritas pemeriksaan ketika sumber daya terbatas. Model perlu diuji pada provinsi dan tahun yang berbeda, sebab pola kebakaran dapat berubah. Data pelatihan yang didominasi kawasan tertentu dapat membuat prediksi kurang akurat bagi wilayah lain. Evaluasi harus mengukur false positive dan false negative, serta biaya kesalahan masing-masing.

Peringatan digital perlu disertai protokol manusia. Ketika algoritma menandai wilayah berisiko, petugas dapat memeriksa sensor, menghubungi desa, menilai kondisi kanal, dan memastikan apakah tindakan pencegahan perlu dilakukan. Jika model salah, hasil lapangan harus dikembalikan ke sistem agar dapat diperbaiki. Keputusan tentang sanksi, evakuasi, atau pembatasan hak tidak boleh dibuat hanya berdasarkan skor algoritmik. Penggunaan data harus dapat dijelaskan, diaudit, dan dikoreksi oleh pihak yang terdampak.

Drone dapat membantu patroli, pemetaan garis api, pencarian titik panas, dan pengamatan keselamatan, tetapi penggunaannya bergantung pada izin, cuaca, kompetensi operator, baterai, jangkauan komunikasi, dan perlindungan privasi. Drone tidak menggantikan akses air atau pemadaman darat. Sensor kualitas udara portabel juga berguna untuk memperbanyak titik pengamatan, tetapi perlu kalibrasi dan pemeliharaan. Data perangkat berbiaya rendah sebaiknya ditandai sebagai pengukuran indikatif bila belum memenuhi standar acuan, bukan dipresentasikan seolah-olah setara dengan instrumen referensi.

Sistem informasi harus dirancang untuk pengguna dengan kemampuan dan akses berbeda. Dashboard pemerintah dapat memuat peta kompleks, sedangkan pesan warga perlu singkat dan bisa dibaca melalui telepon dengan

jaringan lemah. Peta risiko dapat dicetak untuk posko dan balai desa. Kode warna perlu konsisten dan disertai tindakan spesifik. Aksesibilitas bagi penyandang disabilitas dan penggunaan bahasa lokal meningkatkan kemungkinan informasi benar-benar digunakan.

Investasi teknologi perlu disertai tata kelola data. Lembaga harus menetapkan siapa yang memiliki data, siapa yang boleh mengakses, bagaimana data diperbarui, bagaimana kesalahan dilaporkan, dan berapa lama rekaman disimpan. Koordinat lahan dan data kesehatan dapat bersifat sensitif. Standar interoperabilitas memungkinkan lembaga menggabungkan data tanpa kehilangan jejak sumber. Sistem yang tertutup atau bergantung pada satu penyedia dapat menciptakan risiko keberlanjutan; pemerintah memerlukan dokumentasi, transfer kapasitas, dan pilihan pemeliharaan jangka panjang.

30. Rancangan penelitian dan evaluasi dampak

Penelitian karhutla perlu menggabungkan beberapa unit analisis. Unit ekologi mengukur perubahan tutupan, kelembapan, kedalaman terbakar, dan biodiversitas. Unit kesehatan mengukur paparan, gejala, penggunaan layanan, serta perbedaan risiko antar kelompok. Unit organisasi menganalisis koordinasi, kapasitas, keputusan, dan akuntabilitas. Unit rumah tangga mengkaji pendapatan, penggunaan api, biaya adaptasi, serta perubahan mata pencaharian. Unit kebijakan meneliti bagaimana izin, anggaran, penegakan, dan pasar membentuk pilihan. Penggabungan unit memungkinkan hubungan antara akar penyebab dan dampak akhir dipahami secara lebih utuh.

Metode kuantitatif dapat menguji hubungan antara curah hujan, kelembapan gambut, akses jalan, penggunaan lahan, dan frekuensi api. Panel desa atau kabupaten dapat membantu membedakan kondisi tetap dari perubahan dari waktu ke waktu. Namun, korelasi spasial tidak otomatis menunjukkan sumber penyalaan atau pelaku. Analisis kausal memerlukan strategi identifikasi, asumsi yang dinyatakan, pemeriksaan faktor pengganggu, serta uji ketahanan. Hasil

model harus dijelaskan dalam bahasa yang dapat dipahami pembuat kebijakan dan masyarakat.

Metode kualitatif seperti wawancara, observasi, sejarah lisan, dan analisis proses dapat menyingkap alasan warga atau organisasi menggunakan api, hambatan praktik alternatif, dan bagaimana keputusan darurat dibuat. Peneliti perlu menjaga kerahasiaan informan, memperoleh persetujuan, dan tidak menempatkan peserta dalam risiko hukum atau sosial. Temuan kualitatif tidak bertujuan menghitung prevalensi seluruh populasi, tetapi menjelaskan mekanisme dan makna yang sulit ditangkap oleh data satelit. Triangulasi dengan peta, dokumen, dan data cuaca meningkatkan kredibilitas.

Evaluasi program dapat menggunakan desain sebelum-sesudah dengan kelompok pembanding, pencocokan lokasi, atau pendekatan kuasi-eksperimental. Pemilihan metode bergantung pada kapan intervensi dimulai, ketersediaan baseline, dan kemungkinan lokasi pembanding terkena dampak limpahan. Intervensi pembasahan gambut, misalnya, perlu diukur melalui perubahan muka air, api, emisi, kualitas udara, dan mata pencaharian. Evaluasi satu tahun mungkin terlalu singkat untuk menangkap ketahanan hidrologis atau perubahan perilaku. Data beberapa musim kering memberikan gambaran yang lebih kuat.

Riset harus mempublikasikan protokol, definisi variabel, dan keterbatasan. Data yang digunakan untuk mengestimasi dampak kesehatan perlu menjelaskan resolusi waktu dan ruang, sumber polusi lain, serta pemodelan paparan. Studi yang melaporkan mortalitas perlu membedakan jumlah kematian yang diamati dari kematian berlebih yang diestimasi. Penyampaian ketidakpastian tidak mengurangi kegunaan penelitian; justru membantu pembuat keputusan memahami rentang hasil yang masuk akal dan tindakan yang tetap bermanfaat dalam berbagai skenario.

Agenda penelitian masa depan mencakup pemantauan jangka panjang anak dan ibu hamil, studi kualitas udara di desa dekat sumber api, perbandingan model restorasi, evaluasi kesejahteraan setelah kebakaran, pengaruh tata

kelola tenurial, dan efektivitas pendanaan berbasis hasil. Kemitraan universitas dengan pemerintah daerah dapat membangun laboratorium lapangan yang mengintegrasikan sensor, data administrasi, dan pengetahuan masyarakat. Hasil riset sebaiknya disampaikan dalam artikel ilmiah sekaligus ringkasan operasional, peta, dan materi pendidikan yang dapat dipakai langsung.

31. Kepemimpinan dan manajemen organisasi dalam krisis

Karhutla menguji kemampuan organisasi untuk bekerja lintas batas sektoral. Pemimpin perlu mengelola informasi yang tidak lengkap, ketidakpastian cuaca, konflik kepentingan, keterbatasan sumber daya, dan tekanan publik. Keputusan yang baik tidak selalu berarti mengetahui seluruh fakta, melainkan mengidentifikasi risiko paling besar, bertindak secara proporsional, mendokumentasikan alasan, dan memperbarui keputusan ketika bukti berubah. Struktur komando yang jelas membantu mengurangi duplikasi dan perintah yang saling bertentangan.

Organisasi perlu membangun budaya pelaporan dini. Petugas dan warga yang melaporkan asap, kebakaran kecil, atau sekat kanal yang rusak harus mendapat respons, bukan disalahkan karena membawa kabar buruk. Jika laporan awal diabaikan, api dapat berkembang dan kepercayaan menurun. Sistem pembelajaran tanpa menyalahkan membedakan kesalahan yang dapat diperbaiki dari pelanggaran yang disengaja. Catatan insiden, termasuk kejadian nyaris celaka, dapat memperbaiki prosedur keselamatan dan alokasi alat.

Komunikasi internal memerlukan gambaran situasi bersama. Peta operasi, pembaruan cuaca, lokasi tim, sumber air, zona berbahaya, rumah sakit, dan jalur evakuasi harus tersedia bagi pihak yang memerlukan. Ketika koneksi digital terputus, prosedur cadangan melalui radio dan peta cetak menjadi penting. Organisasi perlu menunjuk juru bicara dan kanal informasi agar pesan tidak berbeda-beda. Pembaruan rutin membatasi ruang bagi rumor dan memudahkan pimpinan menjelaskan perubahan strategi.

Manajemen relawan memerlukan rekrutmen, pelatihan, perlengkapan, penugasan, dan pengakhiran operasi yang tertib. Semangat membantu tidak menghapus risiko. Relawan yang tidak memahami api gambut atau kondisi angin dapat membahayakan dirinya dan tim lain. Organisasi lokal dapat mengembangkan modul keselamatan yang sesuai dengan jenis kebakaran setempat, menyediakan pengawasan, dan menetapkan tugas yang dapat dilakukan relawan tanpa memasuki zona berbahaya. Data jam kerja, paparan, luka, dan kebutuhan pemulihan harus dicatat.

Kepemimpinan kolaboratif memberi ruang kepada pemerintah, masyarakat, perusahaan, universitas, dan organisasi sipil untuk berbagi informasi sambil menjaga akuntabilitas. Kolaborasi bukan berarti menyamakan tanggung jawab semua pihak. Pemilik izin memiliki kewajiban tertentu; pemerintah menjalankan fungsi pengaturan dan pengawasan; masyarakat memiliki pengetahuan dan hak; peneliti menyediakan bukti; dan lembaga kesehatan melindungi warga. Peran yang eksplisit membantu menghindari situasi ketika semua pihak hadir tetapi tidak ada yang bertanggung jawab atas tindak lanjut.

Setelah krisis, pimpinan perlu menerjemahkan pembelajaran menjadi agenda organisasi dengan pemilik, anggaran, dan tenggat. Rapat evaluasi tanpa daftar tindakan mudah menjadi ritual. Setiap rekomendasi perlu ditandai statusnya, hambatannya, dan keputusan yang diperlukan. Pimpinan daerah dapat meninjau kemajuan setiap triwulan sebelum musim kemarau berikutnya. Dengan demikian, manajemen krisis tidak berakhir ketika api padam, tetapi menjadi siklus perbaikan kapasitas organisasi.

32. Pembelajaran lintas episode kebakaran besar

Perbandingan episode 1997–1998, 2015, 2019, dan 2026 perlu dilakukan dengan metodologi yang konsisten. Setiap episode memiliki kondisi iklim, tata guna lahan, instrumen pemantauan, kepadatan penduduk, dan respons kebijakan berbeda. Membandingkan total luas terbakar tanpa menyesuaikan definisi, cakupan, serta periode observasi dapat menghasilkan kesimpulan

yang keliru. Peneliti perlu membedakan luas permukaan yang terdeteksi, wilayah yang terpapar asap, luas gambut terdampak, dan luas konsesi yang memiliki indikasi kejadian. Penyajian rentang dengan sumber dan tanggal akan lebih jujur daripada menyajikan satu angka seolah-olah tidak memiliki ketidakpastian.

Kebakaran 1997–1998 memperlihatkan skala emisi dan kerusakan yang dapat terjadi ketika kekeringan dan penggunaan api bertemu pada lanskap yang berubah. Kebakaran 2015 memicu pembentukan kebijakan restorasi dan penguatan lembaga khusus gambut. Tahun 2019 menunjukkan bahwa kejadian besar kembali dapat berlangsung meskipun telah ada pengalaman sebelumnya dan beberapa perubahan kelembagaan. Situasi 2026, berdasarkan laporan yang tersedia sampai 16 Oktober, kembali memperlihatkan tekanan pada kesehatan, layanan publik, koordinasi bantuan, dan lanskap gambut. Pola berulang ini menunjukkan bahwa penguatan kapasitas darurat saja belum cukup untuk memutus sebab struktural.

Setiap krisis menghasilkan keputusan dan kebijakan, tetapi daya tahannya bergantung pada kesinambungan politik serta pendanaan. Lembaga dapat berganti nama, mandat, atau struktur; yang penting adalah fungsi perlindungan lanskap dan masyarakat tetap berjalan. Metrik kemajuan seharusnya mengikuti fungsi tersebut dari satu periode pemerintahan ke periode berikutnya. Jika data muka air, patroli, dan kondisi sensor tidak diteruskan ketika program berubah, pembelajaran hilang. Karena itu, arsip kebijakan, peta, data, serta laporan evaluasi perlu disimpan dalam sistem yang dapat diakses oleh pejabat dan peneliti yang datang kemudian.

Perbandingan historis juga membantu mengidentifikasi kombinasi pemicu dan kerentanan. Bila kekeringan dengan indeks yang mirip menghasilkan dampak berbeda, perbedaan itu dapat menunjukkan pengaruh tata air, perubahan tutupan, kesiapsiagaan, atau efektivitas respons. Bila luas terbakar menurun tetapi paparan PM2.5 tetap tinggi, hal tersebut mungkin terkait dengan kedalaman api, bahan bakar gambut, lokasi dekat penduduk, dan pola angin.

Analisis semacam ini menghindari kesimpulan sederhana yang hanya melihat satu indikator.

Pembelajaran lintas episode harus diakhiri dengan daftar perubahan yang dapat diaudit: kebijakan apa yang diubah, anggaran apa yang disediakan, wilayah mana yang diprioritaskan, siapa penanggung jawab, dan kapan hasilnya diperiksa. Pemerintah dapat membandingkan komitmen sebelum dan sesudah musim api, lalu mengundang lembaga independen untuk memeriksa kemajuannya. Penilaian publik yang teratur mengubah krisis dari peristiwa yang dilupakan menjadi sumber pembelajaran kelembagaan.

33. Jalur paparan asap dan pengurangan dosis terhirup

Pengurangan paparan bekerja melalui beberapa lapisan: mengurangi api di sumber, memantau kualitas udara, memutus atau mengurangi jalur masuk asap, mengurangi kegiatan berat di udara luar, dan memberi akses ke ruang dengan udara lebih bersih. Langkah-langkah tersebut perlu ditargetkan pada kelompok yang memiliki risiko klinis atau hambatan perlindungan lebih besar, tetapi pesannya berlaku bagi seluruh masyarakat. Pilihan perlindungan harus dinilai berdasarkan kondisi aktual rumah, cuaca panas, ketersediaan listrik, dan aktivitas harian.

Informasi kualitas udara yang berguna bagi warga harus mudah diperoleh, lokal, diperbarui teratur, dan disertai tindakan yang jelas. Pesan dapat menyebut lokasi dan waktu pengukuran, kondisi yang diperkirakan, kelompok yang perlu memberi perhatian khusus, perubahan aktivitas yang disarankan, lokasi ruang perlindungan, serta nomor layanan kesehatan. Satu angka tanpa penjelasan dapat membingungkan karena indeks antarplatform berbeda. Peringatan berbasis peta perlu tersedia dalam format teks, radio, pesan singkat, pengeras suara lokal, dan bahasa yang digunakan masyarakat.

Di rumah, membatasi masuknya udara luar saat episode berasap dapat membantu, tetapi rumah yang sangat panas atau tanpa ventilasi aman membawa risiko lain. Ruang udara lebih bersih memerlukan penutupan celah

tertentu, pengelolaan ventilasi, dan filtrasi partikel yang sesuai. Pembersih udara dengan filter efisiensi tinggi atau sistem filtrasi yang dirancang tepat dapat mengurangi partikel dalam ruang; kinerja bergantung pada ukuran ruang, debit udara bersih, penempatan, pemeliharaan, dan listrik. Perangkat buatan sendiri memerlukan desain dan penggunaan aman, serta tidak boleh dianggap pengganti pengendalian sumber atau nasihat teknis lokal (U.S. Environmental Protection Agency [EPA], 2026).

Masker respirator partikulat yang pas di wajah dapat mengurangi paparan partikel saat seseorang harus berada di luar, namun tidak menyaring semua gas dan tidak mengatasi beban panas atau kesulitan bernapas. Kesesuaian dan kemampuan menggunakan respirator perlu dipertimbangkan, terutama pada lansia dengan kondisi paru, anak kecil, orang dengan disabilitas, dan ibu hamil yang merasa tidak nyaman. Masker kain atau bedah tidak setara dengan respirator partikulat yang tersertifikasi untuk menyaring PM2.5. Warga harus diberi informasi realistis mengenai manfaat dan keterbatasan, bukan janji perlindungan total.

Pencegahan paparan juga meliputi pilihan perjalanan dan pekerjaan. Kegiatan luar ruang yang berat dapat dipindahkan, dijadwalkan ulang, atau dikurangi saat udara sangat tercemar. Pekerja tidak boleh dipaksa menanggung paparan tanpa pelindung dan pilihan kerja yang layak. Untuk lansia yang memerlukan layanan, keluarga atau komunitas dapat mengatur antar-jemput ke ruang udara bersih atau fasilitas kesehatan. Untuk ibu hamil, pengaturan kerja fleksibel dan dukungan transportasi mungkin lebih efektif dibandingkan pesan umum agar menghindari semua aktivitas.

Perencanaan paparan harus menghindari pesan tunggal seperti “tetap di rumah” bila kondisi rumah panas, padat, atau memiliki sumber polusi dalam ruang. Mengurangi aktivitas membakar, merokok, memasak dengan bahan bakar berasap, atau menggunakan lilin dapat mendukung kualitas udara saat ventilasi dibatasi. Keputusan tentang pendinginan dan ventilasi perlu disesuaikan dengan kondisi lokal. Petugas kesehatan dapat membantu

keluarga memilih alternatif yang aman dan terjangkau, serta mengidentifikasi kapan shelter yang lebih baik diperlukan.

Tidak semua rumah tangga mampu membeli pendingin udara, filter, listrik, atau respirator. Program bantuan perlu memprioritaskan warga yang berada pada risiko tertinggi berdasarkan paparan dan hambatan akses, menyediakan alat beserta penjelasan penggunaannya, dan memelihara fasilitas publik. Bantuan harus dapat diterima penyandang disabilitas dan tidak membebankan seluruh biaya kepada keluarga. Pemantauan efektivitas dapat mengukur perubahan PM2.5 dalam ruang, pemanfaatan ruang bersih, dan kemampuan warga mempertahankan kegiatan penting.

34. Perlindungan anak, sekolah, dan pengasuhan

Sekolah di wilayah rawan perlu mempunyai rencana operasional yang mengatur kapan kegiatan olahraga dibatasi, kapan jendela ditutup, kapan pembelajaran dipindahkan, serta kapan sekolah ditutup sementara. Keputusan harus mengacu pada data kualitas udara yang tersedia dan panduan kesehatan, dengan fleksibilitas bagi kondisi lokal. Sekolah tidak seharusnya menunggu instruksi administratif bila kondisi di ruang kelas sudah membahayakan. Pada saat yang sama, keputusan penutupan perlu disertai rencana agar anak tidak kehilangan pembelajaran secara berkepanjangan.

Pembelajaran jarak jauh dapat menjadi alternatif, tetapi tidak semua keluarga memiliki internet, perangkat, ruang belajar, atau pendamping. Sekolah dapat menyiapkan lembar belajar cetak, pengumpulan tugas fleksibel, siaran radio atau pesan singkat, dan jadwal konsultasi yang tidak mensyaratkan koneksi terus-menerus. Dukungan perlu diberikan kepada anak yang mengalami gangguan kesehatan atau kehilangan tempat tinggal. Guru harus memperoleh panduan untuk mengatur beban belajar selama situasi darurat, bukan sekadar memindahkan seluruh kegiatan kelas ke layar.

Kualitas udara di dalam ruang sekolah perlu diperhatikan. Ruangan yang tertutup dapat mengurangi masuknya asap pada kondisi tertentu, tetapi

ventilasi yang tidak dirancang baik dapat menyebabkan panas, kelembapan, dan penumpukan polutan dari dalam. Sekolah perlu memiliki protokol ventilasi dan pembersihan yang aman, memperhatikan filter bila tersedia, serta menetapkan ruang yang lebih terlindungi untuk siswa dengan penyakit pernapasan. Pemeriksaan kesehatan dan komunikasi dengan orang tua membantu mengidentifikasi gejala yang memerlukan perhatian.

Pendidikan kebencanaan dapat memperkuat literasi lingkungan sebelum krisis. Siswa dapat mempelajari perbedaan hotspot dan api terverifikasi, hubungan gambut dengan air, dampak asap, cara mengakses informasi resmi, serta tindakan aman ketika melihat kebakaran. Materi tidak perlu menakut-nakuti atau menyalahkan kelompok tertentu. Pembelajaran berbasis proyek dapat melibatkan pemetaan sumber air, pengamatan vegetasi, wawancara sejarah lokal, dan kampanye perlindungan kesehatan. Kegiatan lapangan harus memperhatikan keselamatan dan tidak membawa siswa ke lokasi api.

Setelah asap menghilang, sekolah perlu membantu pemulihan belajar dan kesejahteraan. Penilaian diagnostik dapat mengidentifikasi materi yang tertinggal tanpa memberi stigma kepada siswa. Konselor atau guru bimbingan dapat membantu anak yang mengalami kecemasan atau kehilangan anggota keluarga, rumah, maupun penghidupan. Pengalaman sekolah pada suatu musim dapat dicatat dan digunakan untuk memperbaiki protokol. Dengan demikian, pendidikan berperan sekaligus sebagai layanan yang perlu dilindungi dan sebagai sarana membangun kesiapsiagaan generasi berikutnya.

35. Kesiapsiagaan rumah tangga bagi lansia dan ibu hamil

Rumah tangga sebaiknya memiliki rencana sederhana sebelum musim kering: cara menerima peringatan, siapa yang memeriksa kualitas udara, lokasi ruang lebih bersih, daftar obat dan kontak klinik, kebutuhan transportasi, serta orang yang dapat membantu bila anggota keluarga kesulitan bergerak. Rencana perlu disesuaikan dengan rumah nyata, bukan mengasumsikan

bahwa semua keluarga memiliki pendingin, generator, kendaraan, dan internet.

Untuk lansia, keluarga dan tetangga dapat menyusun daftar kebutuhan yang tidak boleh terputus, seperti obat rutin, alat bantu, oksigen sesuai resep, alat komunikasi, makanan, dan kontak pendamping. Bila lansia menggunakan alat medis bertenaga listrik, rencana cadangan perlu dibicarakan dengan tenaga kesehatan dan penyedia layanan. Periksa apakah informasi disampaikan dalam format yang dapat didengar atau dibaca, dan jangan mengandalkan aplikasi telepon saja. Lansia sendiri perlu dilibatkan dalam penetapan pilihan, terutama tentang kapan akan pindah ke ruang perlindungan dan siapa yang mendampingi.

Ibu hamil dapat mendiskusikan rencana musim asap dengan bidan atau dokter yang menangani kehamilan, termasuk cara menghubungi fasilitas bila jadwal atau akses transportasi berubah. Rencana dapat menyertakan dokumen pemeriksaan, nomor layanan, dukungan perjalanan, dan kebutuhan persalinan darurat. Tujuannya bukan memberi diagnosis atau mengganti perawatan antenatal, melainkan memastikan kesinambungan layanan dan mengurangi hambatan bila polusi meningkat. Keluarga perlu memperoleh pesan yang tenang dan jelas agar perlindungan tidak berubah menjadi kecemasan atau pembatasan yang tidak perlu.

Dalam episode asap, keluarga dapat memantau informasi setempat, menyesuaikan aktivitas luar ruang, dan mencari pertolongan saat gejala baru atau memburuk. Gejala seperti kesulitan bernapas berat, nyeri dada, pingsan, kebingungan akut, atau keadaan darurat kehamilan memerlukan penilaian segera menurut jalur layanan setempat. Daftar gejala darurat harus disusun dan disebarluaskan oleh otoritas kesehatan, dengan bahasa dan nomor telepon yang berlaku di wilayah tersebut. Artikel ini tidak menggantikan nasihat klinis untuk pasien individual.

Ruang perlindungan rumah dapat menjadi satu kamar yang lebih mudah dijaga kebersihannya, jauh dari sumber asap dalam ruang, dan

memungkinkan pendinginan serta istirahat. Filter perlu sesuai ukuran ruang dan dirawat; penggunaan alat tidak boleh menciptakan risiko kebakaran, sengatan listrik, atau kualitas udara yang lebih buruk. Bila kondisi rumah tidak memungkinkan, keluarga harus tahu lokasi ruang udara bersih umum, jam akses, transportasi, dan dukungan bagi penghuni dengan kursi roda, anak kecil, atau kebutuhan medis.

Keluarga perlu menyeimbangkan perlindungan dari asap dengan bahaya lain. Menutup rapat rumah tanpa pendinginan dalam suhu panas ekstrem dapat membahayakan lansia dan ibu hamil. Evakuasi pun dapat menambah kelelahan atau mengganggu pelayanan bila dilakukan tanpa perencanaan. Keputusan harus mempertimbangkan instruksi otoritas setempat, konsentrasi polutan, suhu, kemampuan bangunan, kondisi kesehatan, dan ketersediaan tempat yang lebih aman. Bantuan publik menjadi penting ketika keluarga tidak memiliki pilihan yang aman.

Setelah kualitas udara membaik, keluarga dapat memastikan obat dan layanan kembali tersedia, menghubungi tenaga kesehatan jika keluhan menetap, dan mengevaluasi apa yang berjalan atau gagal. Catatan sederhana tentang lokasi, waktu, gejala, kunjungan, serta kegiatan yang terdampak dapat membantu konsultasi dan pembelajaran komunitas, tanpa menganggap catatan itu sebagai diagnosis atau bukti sebab-akibat. Persiapan yang berulang dan dapat dipahami mengurangi kepanikan dan meningkatkan rasa kendali.

36. Perlindungan pekerja dan petugas lapangan

Petugas pemadam menghadapi gabungan bahaya: panas, asap, visibilitas rendah, permukaan tanah tidak stabil, pohon tumbang, peralatan berat, kelelahan, dan perubahan cuaca yang cepat. Api gambut memiliki risiko tersendiri karena tanah dapat tampak padat tetapi menyimpan rongga terbakar, sehingga petugas dapat terperosok atau mengalami luka. Penilaian risiko harus dilakukan sebelum penugasan dan diperbarui selama operasi.

Komandan perlu memiliki kewenangan nyata untuk menarik tim bila kondisi berubah.

Sistem manajemen keselamatan sebaiknya mencakup pelatihan sesuai tipe kebakaran, alat pelindung yang layak, pemeriksaan medis, hidrasi, rotasi kerja, komunikasi, pencatatan posisi, serta jalur evakuasi. Peralatan tidak cukup hanya tersedia di gudang; ia perlu diperiksa, diuji, dan digunakan oleh personel yang terlatih. Petugas baru atau relawan harus bekerja di bawah pengawasan. Kelelahan meningkatkan kemungkinan kesalahan, sehingga batas jam kerja dan periode istirahat harus diterapkan meskipun operasi sedang mendapat tekanan publik.

Insiden keselamatan perlu dianalisis untuk mencari penyebab sistemik. Jika alat rusak, perlu ditelusuri apakah pengadaan, penyimpanan, atau pemeliharaan bermasalah. Jika komunikasi terputus, organisasi perlu memeriksa jaringan, protokol cadangan, dan disiplin radio. Jika personel masuk ke zona berbahaya tanpa informasi cukup, komando perlu menilai kualitas briefing dan pembagian peran. Pelaporan kejadian nyaris celaka membantu mencegah korban berikutnya dan tidak seharusnya dihambat oleh budaya menyalahkan.

Penggunaan relawan harus memenuhi prinsip perlindungan dan martabat. Warga yang membantu tidak boleh dipaksa mengambil risiko karena tidak ada tim profesional. Mereka perlu menerima informasi bahaya, pelatihan, alat, jaminan atau perlindungan sesuai kebijakan, dan penugasan yang sesuai kemampuan. Pengakuan publik penting, tetapi tidak menggantikan keselamatan dan dukungan pascaoperasi. Keluarga petugas yang terluka atau meninggal memerlukan layanan yang cepat serta proses pertanggungjawaban yang transparan.

Operasi pemadaman juga harus melindungi masyarakat di sekitar lokasi. Evakuasi perlu mempertimbangkan lansia, anak, pasien, ternak, akses transportasi, tempat tinggal sementara, dan informasi yang mudah dipahami. Petugas harus menjelaskan batas bahaya dan kapan warga dapat kembali. Penggunaan jalan dan sumber air untuk operasi tidak boleh memutus akses

warga tanpa alternatif. Hubungan yang terbuka antara komandan dan masyarakat meningkatkan kepatuhan serta membantu petugas mendapatkan informasi lokal.

37. Komunikasi risiko yang inklusif dan dapat ditindaklanjuti

Dalam krisis asap, informasi menyebar melalui media tradisional, pesan singkat, media sosial, dan percakapan komunitas. Kecepatan informasi membantu warga bertindak, tetapi rumor mengenai penyebab, kesehatan, bantuan, dan angka kebakaran dapat menciptakan kebingungan. Pemerintah perlu menyediakan sumber data yang mudah dibagikan, format pesan singkat, dan pembaruan terjadwal. Informasi yang terlambat sering memberi ruang kepada spekulasi dan melemahkan kepercayaan.

Pesan publik sebaiknya memisahkan tiga status informasi: fakta yang terverifikasi, perkiraan sementara, dan hipotesis yang sedang diperiksa. Ketika angka berubah karena pembaruan data, lembaga menjelaskan alasannya, misalnya karena luas peta telah direvisi atau periode penghitungan bertambah. Jika terdapat perbedaan angka antarinstansi, publik memerlukan penjelasan tentang definisi dan sumber masing-masing, bukan sekadar memilih angka yang paling besar atau paling kecil.

Komunikasi risiko kesehatan harus menyebut tindakan berdasarkan kondisi dan kelompok. Pesan seperti “jaga kesehatan” terlalu umum. Pesan yang lebih berguna menjelaskan kapan aktivitas luar ruang perlu dibatasi, gejala apa yang harus diperhatikan, di mana ruang bersih tersedia, dan bagaimana mengakses pertolongan. Materi perlu diterjemahkan ke bahasa lokal, menggunakan gambar bagi pembaca dengan literasi terbatas, serta disampaikan lewat kanal yang benar-benar digunakan masyarakat.

Media dapat membantu menjelaskan hubungan antara sumber api, gambut, angin, kualitas udara, dan kesehatan tanpa menyederhanakan penyebab. Pelatihan jurnalis lingkungan dan akses terhadap pakar lokal dapat meningkatkan mutu liputan. Foto lokasi dan peta harus diberi tanggal, konteks,

serta verifikasi agar tidak digunakan ulang sebagai bukti kejadian baru. Organisasi pemerintah dan masyarakat sipil perlu menanggapi informasi salah dengan bukti serta bahasa yang tidak merendahkan warga.

Kepercayaan publik dibangun melalui konsistensi antara ucapan dan tindakan. Jika pemerintah mengimbau warga melindungi kesehatan tetapi sekolah tidak memiliki protokol dan puskesmas kekurangan obat, pesan menjadi tidak meyakinkan. Jika transparansi dijanjikan tetapi data perizinan dan penegakan tidak tersedia, kampanye pencegahan dipandang sebagai komunikasi sepihak. Karena itu, komunikasi publik harus menjadi bagian dari akuntabilitas: menjelaskan apa yang dilakukan, apa yang belum dilakukan, dan kapan masyarakat dapat menilai hasilnya.

38. Pemulihan kesehatan dan dukungan bagi keluarga

Pemulihan setelah kebakaran memerlukan asesmen kebutuhan yang dilakukan bersama warga. Kerugian dapat berupa rumah, tanaman, peralatan, kesehatan, pendapatan, dokumen, akses air, dan kesempatan belajar. Bantuan yang hanya didasarkan pada nilai aset dapat mengabaikan keluarga yang kehilangan sumber nafkah tetapi rumahnya tidak terbakar. Tim pemulihan perlu menggunakan kriteria terbuka dan memberi jalur pengaduan bagi warga yang tidak tercatat.

Perlindungan sosial sementara dapat mencegah rumah tangga mengambil keputusan yang meningkatkan risiko. Bantuan tunai, akses pangan, pemulihan alat kerja, dukungan kesehatan, dan program kerja lokal dapat menjaga penghasilan selama kebun atau usaha pulih. Bantuan harus disalurkan cepat dan tidak mensyaratkan dokumen yang hilang akibat bencana. Pada saat yang sama, program perlu menjaga integritas data dan memastikan bantuan tidak hanya sampai kepada kelompok yang memiliki hubungan administratif kuat.

Pemulihan harus mempertimbangkan perbedaan dampak menurut gender, usia, disabilitas, status lahan, dan pekerjaan. Perempuan sering memikul beban perawatan saat anggota keluarga sakit, sementara kehilangan pendapatan

utama dapat membuat beban itu bertambah. Pekerja migran mungkin tidak masuk daftar penerima lokal, sedangkan masyarakat adat menghadapi proses administrasi yang tidak sesuai dengan bukti hak mereka. Analisis distribusi membantu pemerintah menyesuaikan bantuan agar tidak memperbesar ketimpangan.

Kesehatan mental dapat terganggu oleh pengalaman kehilangan rumah, ketidakpastian kesehatan, pengungsian, dan konflik sosial. Dukungan komunitas, layanan psikologis, ruang aman, kegiatan anak, dan pendampingan dapat membantu pemulihan. Intervensi perlu menghormati pilihan warga dan tidak memaksakan label klinis. Petugas yang memberikan layanan juga memerlukan dukungan karena mereka dapat mengalami kelelahan dan tekanan setelah bekerja dalam operasi panjang.

Pemulihan sosial dan restorasi ekologi saling berhubungan. Jika keluarga kehilangan akses terhadap sumber penghasilan lalu tidak memiliki alternatif, tekanan untuk membuka atau membakar lahan dapat kembali muncul. Program restorasi yang melibatkan warga dalam pekerjaan pemulihan, pemantauan, pembibitan, dan pengelolaan air dapat menyediakan manfaat ekonomi sekaligus memperkuat kepemilikan sosial. Namun, pekerjaan tersebut harus dibayar wajar dan tidak menggantikan tanggung jawab perusahaan atau negara.

39. Strategi evaluasi hasil dan pembelajaran berkelanjutan

Evaluasi kebijakan dapat menggunakan kerangka input, kegiatan, output, outcome, dan dampak. Input mencakup anggaran, personel, alat, dan data. Kegiatan mencakup patroli, pemeliharaan, penyuluhan, serta pemulihan. Output dapat berupa jumlah desa yang memiliki rencana atau kanal yang ditangani. Outcome mengukur perubahan kondisi dan perilaku, seperti naiknya muka air, berkurangnya pembakaran, atau meningkatnya waktu respons. Dampak mencakup penurunan paparan, penyakit, kerusakan

ekosistem, kerugian, dan kematian. Pembedaan ini mencegah laporan keberhasilan yang hanya menjumlahkan kegiatan.

Baseline perlu dibuat sebelum intervensi. Data historis mengenai hotspot, luas terbakar, curah hujan, muka air, kunjungan kesehatan, gangguan sekolah, dan penghidupan membantu menilai perubahan. Lokasi pembanding harus dipilih secara hati-hati karena karakter gambut, akses, dan pola penggunaan lahan mungkin berbeda. Evaluasi dapat memadukan data kuantitatif, wawancara, dan observasi, sehingga perubahan angka dapat dijelaskan oleh mekanisme lapangan.

Evaluasi perlu menangkap efek tidak diinginkan. Pembasahan pada satu bagian dapat mengubah akses air bagi pengguna lain; larangan api dapat menambah biaya pengolahan lahan; pembatasan akses dapat mengganggu mata pencaharian; dan program insentif dapat menimbulkan konflik penerima manfaat. Mekanisme keluhan dan diskusi rutin membantu mendeteksi efek tersebut lebih dini. Program yang adaptif dapat mengubah desain tanpa mengabaikan tujuan perlindungan.

Hasil evaluasi harus dapat diakses dan diperdebatkan. Pemerintah dapat menerbitkan ringkasan metodologi, data agregat, peta, dan rekomendasi, sementara lembaga independen melakukan verifikasi. Ketidakpastian dan keterbatasan perlu dicatat secara eksplisit. Jika intervensi tidak berhasil, penyebabnya harus ditelusuri agar anggaran berikutnya tidak mengulang pola yang sama. Mengakui kelemahan program merupakan bagian dari tata kelola yang bertanggung jawab.

Pembelajaran berkelanjutan memerlukan forum yang menghubungkan peneliti, pembuat kebijakan, petugas, perusahaan, sekolah, dan warga. Forum dapat meninjau hasil sebelum musim bahaya dan sesudahnya, memperbarui ambang peringatan, serta menyepakati prioritas penelitian. Pengetahuan harus bergerak dua arah: bukti ilmiah diterjemahkan menjadi keputusan praktis, sementara pengalaman lapangan menjadi pertanyaan penelitian baru. Siklus ini mempercepat perbaikan sistem dari satu musim ke musim berikutnya.

40. Kerangka analisis terpadu paparan, kesehatan, dan kebijakan

Karhutla dapat dianalisis sebagai rangkaian dari akar pendorong hingga akibat sosial. Pada tingkat makro terdapat kebijakan, pasar komoditas, perubahan iklim, dan struktur hak atas lahan. Pada tingkat lanskap terdapat drainase, fragmentasi, tutupan vegetasi, sumber air, serta akses jalan. Pada tingkat kejadian terdapat penyalaan, rambatan, durasi, dan emisi. Pada tingkat paparan terdapat arah angin, kualitas udara, dan jumlah penduduk terpapar. Pada tingkat hasil terdapat penyakit, gangguan belajar, kerugian ekonomi, kerusakan habitat, serta perubahan kepercayaan. Kerangka berlapis ini membantu merancang intervensi pada titik yang tepat.

Pertanyaan penelitian dapat menyasar hubungan antara tingkat-tingkat tersebut. Apakah penurunan muka air meningkatkan kemungkinan api bertahan? Apakah akses mesin pembukaan tanpa bakar menurunkan praktik penggunaan api? Apakah peringatan berbasis kualitas udara mengurangi paparan anak? Apakah penegakan yang konsisten mengubah keputusan usaha? Apakah restorasi meningkatkan pendapatan lokal dalam jangka menengah? Pertanyaan ini perlu memiliki variabel dan metode yang jelas, serta tidak mengasumsikan hubungan kausal sebelum diuji.

Model kebijakan perlu menggabungkan faktor risiko dengan kapasitas penanganan. Dua desa dengan bahaya serupa dapat memiliki tingkat kerugian berbeda karena organisasi, sumber air, layanan kesehatan, dan akses informasi berbeda. Intervensi berorientasi kapasitas dapat mencakup pelatihan, perangkat, komunikasi, koordinasi, dan perlindungan sosial. Pada saat yang sama, peningkatan kapasitas lokal tidak boleh digunakan untuk membenarkan kelanjutan kondisi struktural yang memproduksi bahaya. Ketahanan memerlukan pengurangan risiko sekaligus kemampuan menghadapi sisa risiko yang tidak dapat dihilangkan sepenuhnya.

Kerangka ini juga membantu memilah indikator yang dekat dengan hasil kebijakan. Jumlah patroli adalah ukuran kegiatan; waktu deteksi sampai pemeriksaan adalah ukuran kinerja proses; penurunan titik api terverifikasi dan

berkurangnya area terbakar adalah hasil ekologis; berkurangnya hari dengan PM2.5 tinggi adalah hasil paparan; berkurangnya kunjungan gangguan pernapasan merupakan hasil kesehatan yang dipengaruhi faktor lain. Setiap indikator perlu ditempatkan dalam rantai logika agar pejabat tidak mengklaim dampak langsung dari kegiatan yang baru menghasilkan output.

Penggunaan model terpadu menuntut kolaborasi ilmu. Peneliti kehutanan mengukur kondisi vegetasi dan restorasi; ahli atmosfer memodelkan dispersi; epidemiolog menilai dampak kesehatan; ekonom mengukur biaya dan insentif; ilmuwan sosial memahami kelembagaan serta penghidupan; ahli manajemen mengkaji koordinasi dan kinerja; dan ahli hukum menilai tanggung jawab serta keadilan. Desain lintas disiplin memerlukan bahasa bersama dan kesepakatan tentang definisi, sehingga data dapat dibandingkan. Keterlibatan masyarakat dalam pertanyaan dan interpretasi membantu memastikan hasil tidak kehilangan konteks.

41. Pengelolaan risiko dari tingkat desa hingga lanskap

Pemetaan risiko di tingkat desa perlu dimulai dari pengalaman yang sudah ada. Warga dapat menandai lokasi api berulang, kanal yang mengeringkan lahan, sumber air yang masih tersedia, jalur evakuasi, sekolah, puskesmas, dan lokasi yang sulit dijangkau. Peta tersebut kemudian dibandingkan dengan data satelit, citra tutupan lahan, informasi cuaca, dan peta hidrologi. Perbedaan antara pengetahuan lokal dan data teknis perlu dibahas bersama, karena dapat menunjukkan perubahan yang belum tercatat atau ketidakakuratan salah satu sumber.

Peta desa sebaiknya mengidentifikasi siapa yang bertanggung jawab atas tindakan tertentu. Jika muka air pada blok gambut turun, siapa yang memeriksa pintu air? Jika sensor menunjukkan risiko tinggi, siapa yang memulai patroli? Jika udara mencapai ambang berbahaya, siapa yang menghubungi sekolah dan warga rentan? Pembagian ini mencegah peta

berhenti sebagai dokumen proyek. Tanggung jawab perlu disepakati sebelum musim kemarau dan diperbarui ketika pengurus desa atau petugas berganti.

Pada tingkat lanskap, risiko sering melampaui batas administratif. Air bergerak pada kesatuan hidrologis, api dapat berpindah melalui vegetasi dan kanal, sementara asap mengikuti angin ke kabupaten lain. Karena itu, forum antardesa atau kabupaten perlu menyelaraskan tindakan. Satu desa yang membasahi kanal tanpa koordinasi mungkin tidak mampu melindungi seluruh blok gambut jika wilayah lain terus mengeringkan lahan. Perencanaan lanskap membantu menyelaraskan investasi, patroli, dan pengelolaan air.

Pemerintah provinsi dapat membantu menghubungkan peta desa dengan sistem data pusat serta memastikan daerah yang memiliki kapasitas teknis terbatas mendapat dukungan. Proses ini tidak berarti mengambil alih pengetahuan lokal. Pemerintah dapat menyediakan standar dan perangkat, sementara masyarakat mengisi informasi penggunaan lahan, akses, serta titik yang tidak terlihat pada citra satelit. Data yang dihasilkan bersama lebih mungkin digunakan karena warga memahami asal-usul dan tujuan peta.

Peta risiko perlu memiliki versi publik dan versi operasional. Versi publik berisi informasi yang membantu warga memahami bahaya, tindakan perlindungan, dan kanal bantuan. Versi operasional dapat memuat lokasi infrastruktur, sumber air, serta jadwal personel yang lebih rinci. Pengaturan akses melindungi keamanan tanpa menutup seluruh informasi yang menjadi hak publik. Perubahan data, tanggal verifikasi, dan tingkat keyakinan perlu dicatat agar pengguna tidak menganggap semua informasi memiliki kepastian yang sama.

Setelah setiap musim api, pemerintah desa dapat mengadakan evaluasi untuk memperbarui peta dan daftar prioritas. Perubahan penggunaan lahan, kerusakan sekat, akses jalan baru, perpindahan warga, serta hasil restorasi dapat mengubah risiko. Pemeriksaan berkala mengurangi ketergantungan pada peta lama yang tidak lagi menggambarkan kondisi lapangan.

Pengetahuan yang terbarui menjadi modal untuk tindakan pencegahan pada tahun berikutnya.

42. Rencana kesehatan masyarakat dan standar kesiapsiagaan

Rencana kesehatan masyarakat untuk musim asap perlu menghubungkan pemantauan lingkungan, peringatan, surveilans, layanan klinis, perlindungan sosial, dan komunikasi publik. Dinas kesehatan menetapkan titik kontak lintas sektor dan prosedur untuk menerima prakiraan, menerjemahkannya menjadi tindakan, memantau kebutuhan, serta menyampaikan informasi secara konsisten. Standar kesiapsiagaan dapat mencakup waktu pembaruan, keterjangkauan pesan, akses shelter, kesiapan obat esensial, kontinuitas layanan maternal, prosedur rujukan, dan sistem pemeriksaan kondisi warga yang tinggal sendiri.

Daftar kelompok sasaran hendaknya disusun dengan partisipasi komunitas dan memperhatikan privasi. Data dapat mengidentifikasi kawasan dengan konsentrasi tinggi, populasi lansia, klinik antenatal, sekolah, panti, permukiman pekerja, dan rumah tangga dengan akses rendah. Informasi kesehatan individu tidak perlu dipublikasikan dalam peta; koordinasi perlindungan dapat dilakukan melalui sistem rujukan dan petugas berwenang. Ukuran keberhasilan meliputi persentase kelompok yang menerima peringatan, waktu respons terhadap permintaan bantuan, ketersediaan transportasi dan ruang bersih, serta kesenjangan akses menurut disabilitas, pendapatan, atau lokasi.

Klinik dan rumah sakit memerlukan prosedur peningkatan kapasitas yang memperhitungkan kemungkinan kenaikan kunjungan pernapasan dan kardiovaskular selama serta sesudah episode asap. Rencana berisi jadwal tenaga, stok obat sesuai protokol, layanan ambulans, cadangan listrik, filtrasi ruang, kualitas udara dalam ruangan, dan komunikasi dengan fasilitas rujukan. Pelayanan rutin tidak boleh sepenuhnya dihentikan; penundaan kunjungan kehamilan, dialisis, atau pengobatan penyakit kronis dapat

menimbulkan bahaya lain. Pengaturan ulang layanan harus disertai kanal konsultasi dan transportasi yang memadai.

Puskesmas, bidan, posyandu, dan kader memiliki hubungan dekat dengan masyarakat dan dapat menyampaikan peringatan melalui saluran yang dipercaya. Petugas perlu dilatih untuk mengkomunikasikan ketidakpastian tanpa membuat pesan menjadi tidak berguna, mengenali tanda bahaya, dan mengarahkan warga ke layanan yang tepat. Pelibatan kader harus disertai kompensasi, perlindungan keselamatan kerja, bahan komunikasi, dan jalur eskalasi, bukan mengandalkan kerja sukarela tanpa sumber daya.

Ruang udara bersih publik sebaiknya memenuhi persyaratan minimum: filtrasi partikel yang sesuai, pendinginan atau ventilasi aman, kapasitas yang memadai, listrik cadangan, akses universal, toilet, air minum, area istirahat, komunikasi, dan dukungan bagi kebutuhan perawatan. Lokasi harus berada di luar zona kebakaran langsung dan dapat dicapai tanpa perjalanan berisiko. Penempatan ruang ini sebaiknya diketahui sebelum krisis dan diuji melalui latihan; membuka gedung tanpa pengelolaan udara dalam ruang bukan jaminan perlindungan.

Standar peringatan harus mencakup format yang dapat dibaca pembaca layar, teks singkat untuk radio, bahasa lokal, saluran bagi orang tanpa telepon pintar, dan instruksi untuk keluarga maupun pendamping. Peringatan perlu membedakan kualitas udara saat ini dari prakiraan, menjelaskan langkah yang dapat dilakukan dan batasnya, serta memberi waktu pembaruan berikutnya. Penggunaan istilah “kelompok sensitif” harus disertai contoh yang menghormati martabat warga dan tidak menyalahkan individu.

Rencana kesehatan masyarakat harus memiliki anggaran dan indikator yang dapat ditinjau setiap tahun. Indikator meliputi hari paparan tinggi, cakupan pemantauan, waktu respons, kunjungan layanan, gangguan pada layanan antenatal dan penyakit kronis, ketersediaan shelter, serta distribusi manfaat dan beban. Setelah kejadian, evaluasi bersama warga dan tenaga kesehatan dapat menemukan hambatan yang tidak terdeteksi dalam rapat kantor. Hasil

evaluasi perlu mengubah rencana, alokasi dana, dan koordinasi antarlembaga.

Pada tingkat nasional, pedoman harus mendukung keputusan daerah tanpa memaksakan satu pilihan teknis untuk semua iklim dan bentuk rumah. Badan kesehatan dapat mengembangkan materi berbahasa Indonesia dan bahasa daerah, koordinasi dengan BMKG dan pengelola kualitas udara, serta mekanisme berbagi data antarwilayah. Kerja sama dengan universitas dan organisasi profesi diperlukan untuk memperbaiki bukti Indonesia tentang paparan, kehamilan, kesehatan lansia, dan intervensi yang dapat diterapkan di daerah berpendapatan rendah.

43. Kewajiban rantai pasok dan pengadaan yang bertanggung jawab

Rantai pasok komoditas memiliki pengaruh karena keputusan pembelian memberi sinyal ekonomi kepada produsen. Pembeli dapat mensyaratkan keterlacakan kebun, kepatuhan terhadap perlindungan gambut, pencegahan kebakaran, dan mekanisme keluhan. Persyaratan harus jelas sejak kontrak dimulai, bukan baru diperkenalkan setelah terjadi krisis. Pemasok membutuhkan panduan, waktu penyesuaian, dan dukungan yang proporsional agar standar tidak hanya dapat dipenuhi oleh perusahaan besar.

Keterlacakan perlu menghubungkan bahan baku dengan lokasi produksi melalui informasi yang dapat diverifikasi. Data rantai pasok dapat menggabungkan identitas pemasok, poligon kebun, status lahan, sumber bahan, dan catatan kejadian. Informasi ini sensitif secara komersial, tetapi dapat dibagikan kepada auditor atau otoritas dengan protokol yang melindungi privasi serta persaingan usaha. Tujuannya adalah memastikan penilaian tidak hanya dilakukan pada tingkat perusahaan induk, tetapi menjangkau lokasi sumber risiko.

Pengadaan pemerintah dapat memberi pasar bagi produk yang dihasilkan tanpa pembakaran dan tanpa konversi ekosistem bernilai tinggi. Pemerintah dapat menggunakan kriteria keberlanjutan dalam pembelian pangan, bahan

bangunan, atau jasa yang relevan. Syarat perlu dapat dipenuhi oleh koperasi, usaha kecil, dan kelompok masyarakat melalui pendampingan teknis. Bila standar terlalu kompleks, pemasok kecil dapat dikeluarkan dan konsentrasi pasar meningkat tanpa mengurangi kebakaran.

Sistem keluhan yang efektif menyediakan kanal bagi pekerja, masyarakat, dan pemasok untuk melaporkan kebakaran atau tekanan yang mendorong praktik berisiko. Kanal harus aman, mudah digunakan, memiliki batas waktu respons, dan mencegah pembalasan terhadap pelapor. Laporan yang masuk perlu diverifikasi dan disalurkan kepada pihak yang memiliki kewenangan. Data keluhan agregat dapat membantu mendeteksi pola masalah sebelum menjadi krisis besar.

Investor dapat mengintegrasikan paparan kebakaran ke dalam analisis risiko fisik dan transisi. Risiko fisik mencakup kerusakan aset, gangguan operasi, dan kesehatan tenaga kerja. Risiko transisi mencakup perubahan aturan, tuntutan pasar, biaya restorasi, dan reputasi. Penilaian yang baik tidak berhenti pada skor, tetapi menunjukkan tindakan perusahaan, investasi yang diperlukan, dan kemajuan yang dapat diverifikasi. Lembaga keuangan dapat meminta rencana pemulihan dan pengungkapan data sebagai bagian dari pembiayaan.

Penghentian hubungan dengan pemasok perlu dilakukan secara proporsional. Pemutusan dapat mengurangi risiko reputasi, tetapi jika dilakukan tanpa proses perbaikan dapat memindahkan produksi ke pembeli lain yang tidak menerapkan standar. Dalam kasus pelanggaran berat atau berulang, sanksi tegas dapat diperlukan; dalam kasus awal yang dapat diperbaiki, dukungan dan tenggat terukur dapat menghasilkan perubahan. Keputusan harus menjelaskan bukti, konsekuensi, serta mekanisme banding dan verifikasi.

44. Ekonomi restorasi dan model penghidupan lanskap basah

Restorasi gambut menciptakan kebutuhan akan pekerjaan jangka pendek dan kompetensi jangka panjang. Warga dapat terlibat dalam pemetaan kanal, pembangunan dan pemeliharaan sekat, pembibitan spesies lokal, pemantauan

muka air, pengendalian spesies invasif, dan pengawasan kebakaran. Pekerjaan ini perlu dibayar dengan standar wajar dan disertai pelatihan yang mengakui keterampilan. Jika pekerjaan restorasi hanya datang sebagai proyek sementara, manfaat ekonomi dapat menghilang setelah pendanaan berakhir.

Usaha yang sesuai dengan lanskap basah perlu ditentukan melalui penelitian dan pengalaman lokal. Produk non-kayu, budidaya yang tidak memerlukan drainase dalam, perikanan, madu, hasil hutan bukan kayu, dan jasa wisata dapat menjadi pilihan pada kondisi tertentu. Tidak semua model usaha dapat diterapkan di setiap lokasi; pasar, akses transportasi, kapasitas pengolahan, kualitas air, dan hak masyarakat memengaruhi kelayakan. Studi kelayakan partisipatif dapat menghindari promosi produk yang tidak memiliki pembeli atau menambah tekanan ekologis.

Model bisnis restorasi harus memperhitungkan manfaat publik yang tidak dapat ditangkap oleh penjualan produk saja. Pengurangan asap, emisi, risiko kesehatan, dan kehilangan biodiversitas adalah manfaat yang diterima masyarakat luas. Skema pembayaran jasa ekosistem atau pembiayaan iklim dapat membantu menutup kesenjangan nilai tersebut, tetapi harus transparan tentang siapa yang menerima pembayaran, indikator yang digunakan, dan bagaimana hak atas lahan dihormati. Pembayaran tidak boleh meniadakan kewajiban dasar pemegang izin.

Pengembangan usaha lokal perlu menghindari ketergantungan pada satu komoditas yang rentan terhadap harga atau iklim. Diversifikasi dapat menyebar risiko, tetapi membutuhkan akses pembiayaan, pelatihan, koperasi, dan jaringan distribusi. Perempuan dan pemuda perlu mendapat akses pada aset, keterampilan, dan posisi pengambilan keputusan, bukan hanya pekerjaan tambahan yang tidak dibayar. Evaluasi usaha perlu melihat pendapatan bersih, stabilitas sepanjang tahun, pembagian manfaat, dan pengaruhnya terhadap praktik penggunaan lahan.

Pemerintah daerah dapat memasukkan ekonomi restorasi ke dalam strategi pengembangan wilayah. Pengadaan bibit, alat, jasa pemantauan, dan

pemeliharaan dapat melibatkan badan usaha lokal bila mutu dan keselamatan memenuhi standar. Universitas dan lembaga pelatihan dapat membantu sertifikasi kompetensi. Dengan demikian, restorasi tidak hanya bergantung pada kontraktor luar dan menghasilkan kapasitas yang tinggal di daerah setelah proyek selesai.

Keberhasilan ekonomi restorasi tetap dinilai bersama kondisi ekologi. Pendapatan tidak dapat dianggap berkelanjutan jika diperoleh dengan mengeringkan gambut kembali, membebani air warga lain, atau mengganti vegetasi asli dengan monokultur yang mudah terbakar. Rencana usaha perlu memiliki batas ekologis, pemantauan, dan mekanisme penghentian jika dampak tidak sesuai. Penghidupan yang tahan bencana merupakan bagian dari pencegahan, bukan agenda yang terpisah dari konservasi.

45. Prinsip etis untuk penelitian, media, dan kebijakan

Penelitian dan kebijakan kebakaran bekerja dengan data yang dapat berpengaruh pada reputasi, hak, mata pencaharian, dan kesehatan. Karena itu, klaim tentang sebab atau tanggung jawab perlu sepadan dengan bukti. Peneliti harus membedakan analisis asosiasi, estimasi model, laporan kejadian, dan temuan investigasi. Media perlu menyebut sumber serta tanggal; pemerintah perlu menghindari pernyataan yang melampaui bukti. Kehati-hatian tidak berarti menunda tindakan perlindungan publik ketika bahaya sudah nyata.

Prinsip keterbukaan harus diseimbangkan dengan privasi dan keselamatan. Data agregat kualitas udara, lokasi terbakar, dan anggaran publik sebaiknya dapat diakses. Identitas pasien, pelapor, atau saksi perlu dilindungi. Data masyarakat adat dan pengetahuan lokal harus digunakan dengan persetujuan dan pengakuan. Peta yang membuka lokasi sensitif dapat menimbulkan risiko baru, sehingga perlu pengaturan akses dan tujuan penggunaan.

Penelitian yang melibatkan masyarakat perlu mengembalikan manfaat kepada peserta. Hasil dapat disampaikan melalui pertemuan lokal, ringkasan bahasa

sederhana, peta, atau materi pendidikan. Kompensasi waktu, perlindungan informan, dan saluran koreksi harus dipertimbangkan. Warga tidak seharusnya hanya menjadi sumber data bagi publikasi yang tidak dapat mereka akses. Kemitraan yang setara meningkatkan kualitas bukti karena peserta dapat mengoreksi interpretasi yang keliru.

Komunikasi kebijakan perlu mengakui ketidakpastian tanpa mengaburkan tanggung jawab. Informasi bahwa penyebab kebakaran masih diselidiki tidak menghalangi pemerintah untuk mengendalikan sumber api, melindungi warga, atau memeriksa kewajiban pengelolaan. Sebaliknya, bukti bahwa suatu wilayah terbakar tidak otomatis menjawab siapa pelakunya. Bahasa yang tepat membantu publik memahami tahapan proses dan mengurangi polarisasi yang tidak produktif.

Keadilan prosedural juga berlaku saat pemerintah menetapkan zona larangan, membatasi akses, atau melakukan relokasi. Warga perlu mengetahui dasar keputusan, durasi, kompensasi, dan jalur pengaduan. Langkah darurat harus proporsional dengan risiko dan ditinjau berkala. Apabila pembatasan berlangsung lama, pemerintah perlu menyediakan alternatif untuk bekerja, belajar, memperoleh pangan, serta menjalankan praktik budaya.

Etika publik menuntut evaluasi terhadap dampak kebijakan, termasuk dampak yang tidak direncanakan. Program yang mengurangi kebakaran tetapi memperburuk kemiskinan atau menyingkirkan masyarakat dapat kehilangan legitimasi dan pada akhirnya tidak berkelanjutan. Kebijakan yang baik menggabungkan perlindungan ekologi dengan pengakuan hak, kesejahteraan, dan akuntabilitas. Hal tersebut membutuhkan konsultasi terus-menerus, bukan satu kali persetujuan formal.

46. Prioritas penelitian kesehatan dan kelompok rentan

Agenda penelitian perlu mengisi kesenjangan antara pengukuran fisik dan pengalaman warga. Stasiun kualitas udara banyak berada di kota besar, sedangkan komunitas yang dekat sumber api dapat kekurangan data.

Pemetaan sensor yang menggabungkan pengukuran terkalibrasi, survei paparan, dan catatan kesehatan akan menghasilkan estimasi lebih baik. Penelitian harus memeriksa variasi antar rumah tangga dan waktu, karena satu nilai harian tidak menggambarkan paparan setiap individu.

Penelitian epidemiologi perlu mengikuti dampak jangka panjang dan kelompok rentan. Data tentang perkembangan anak, penyakit kronis, kehamilan, kesehatan mental, dan hasil kerja masih memerlukan penguatan. Penggabungan data kesehatan dengan informasi lingkungan harus menerapkan perlindungan privasi dan persetujuan yang tepat. Studi kohort dan survei berulang dapat membantu membedakan efek paparan kebakaran dari faktor sosial dan lingkungan lainnya.

Evaluasi restorasi membutuhkan data jangka panjang mengenai air, vegetasi, emisi, api, biodiversitas, dan pendapatan. Perbandingan perlu mencakup variasi jenis sekat kanal, kondisi hidrologi, tingkat degradasi, dan pola penggunaan lahan. Penelitian kontrafaktual yang baik membantu memperkirakan apa yang mungkin terjadi tanpa intervensi, tetapi hasilnya perlu diuji terhadap pengamatan lapangan. Biaya pemeliharaan dan risiko kegagalan perlu dilaporkan bersama manfaat.

Riset ekonomi dan kelembagaan dapat meneliti bagaimana insentif pasar, pembiayaan, hak lahan, kebijakan perusahaan, dan kapasitas pemerintah memengaruhi keputusan menggunakan api. Penelitian yang menilai petani kecil dan korporasi secara terpisah dapat membantu merancang kebijakan yang proporsional. Namun, studi perlu mengakui bahwa klaim lahan dapat bertumpang tindih dan bahwa api dapat melintasi batas pelaku. Bukti yang lebih rinci meningkatkan akurasi atribusi dan efektivitas pencegahan.

Evaluasi teknologi perlu membandingkan biaya, akurasi, kecepatan, serta dampaknya pada keputusan. Model prediksi perlu diuji pada variasi iklim dan wilayah, termasuk bagaimana kesalahan prediksi ditanggung. Sistem pelaporan warga perlu dinilai dari keamanan, respons pemerintah, dan manfaat bagi masyarakat. Penelitian implementasi dapat menjelaskan

mengapa teknologi yang berfungsi secara teknis tidak digunakan oleh petugas atau tidak dipercaya warga.

Penelitian tindakan partisipatif dapat menghubungkan perubahan praktik dengan penguatan kelembagaan lokal. Studi perlu menilai siapa yang berbicara, siapa yang memutuskan, siapa yang bekerja, dan siapa yang menerima manfaat. Dimensi gender, usia, status adat, dan kepemilikan lahan memengaruhi partisipasi. Pelaporan yang transparan tentang proses dan batas keterwakilan membantu pembaca menilai apakah temuan dapat diterapkan pada konteks lain.

47. Ketahanan layanan kesehatan dan infrastruktur dasar

Kebakaran dan asap dapat mengganggu listrik, telekomunikasi, transportasi, air bersih, dan layanan dasar. Infrastruktur harus dinilai berdasarkan risiko kebakaran dan kualitas udara, terutama fasilitas kesehatan, sekolah, pusat evakuasi, pelabuhan udara, dan jaringan distribusi air. Rencana kontinuitas layanan perlu menentukan pasokan listrik cadangan, penyimpanan obat, jalur alternatif, jadwal komunikasi, serta petugas pengganti bila sebagian tenaga tidak dapat bekerja.

Jalan dan kanal merupakan infrastruktur yang dapat memberi manfaat ekonomi sekaligus mengubah risiko lanskap. Jalan membuka akses bagi layanan dan pasar, tetapi juga dapat meningkatkan fragmentasi serta akses untuk pembukaan lahan. Kanal membantu transportasi dan pengelolaan air, tetapi drainase yang tidak sesuai dapat mengeringkan gambut. Penilaian proyek perlu menggabungkan manfaat sosial dengan perubahan hidrologi, akses kebakaran, dan biaya pemeliharaan. Desain ulang, zona penyangga, pintu air, atau pembatasan akses dapat mengurangi sebagian risiko.

Fasilitas publik dapat dirancang sebagai titik perlindungan sementara ketika kualitas udara memburuk. Gedung sekolah, balai desa, dan puskesmas dapat dipilih berdasarkan lokasi, akses, kapasitas, serta kemampuan memperbaiki udara dalam ruang. Penetapan fasilitas perlu dikomunikasikan lebih awal agar

warga tidak mencari tempat perlindungan ketika asap sudah berat. Pemerintah dapat menguji kesiapan melalui simulasi, termasuk skenario listrik padam, jalan tertutup, dan peningkatan kebutuhan layanan.

Transportasi darurat memerlukan protokol untuk pasien, warga tanpa kendaraan, serta daerah yang terisolasi. Pengelola angkutan umum dapat mengatur rute atau jam layanan ketika visibilitas rendah, sementara otoritas penerbangan dan pelabuhan menggunakan data meteorologi serta keselamatan untuk keputusan operasional. Informasi gangguan harus segera tersedia agar warga dapat merencanakan perjalanan. Perlindungan petugas transportasi dan pekerja luar ruang juga perlu diperhitungkan.

Ketahanan infrastruktur tidak hanya ditentukan oleh desain, tetapi juga pemeliharaan. Filter udara harus diganti, genset diuji, pompa air dirawat, kanal diperiksa, dan jaringan komunikasi diperbarui. Anggaran pemeliharaan perlu dicantumkan sejak awal, bukan diandalkan setelah terjadi keadaan darurat. Audit berkala dapat memastikan fasilitas yang tercatat siap memang dapat digunakan dan mampu melayani warga dengan kebutuhan berbeda.

48. Mekanisme akuntabilitas dan tinjauan tahunan

Akuntabilitas karhutla sebaiknya memiliki siklus tahunan yang menghubungkan perencanaan, pelaksanaan, pelaporan, dan koreksi. Sebelum musim kering, pemerintah dapat memublikasikan sasaran pencegahan dan pembagian tanggung jawab. Selama musim, dashboard melaporkan indikator bahaya, tindakan, penggunaan anggaran, dan kebutuhan dukungan. Setelah musim, tinjauan menilai hasil, korban, paparan, kerusakan, serta tindakan yang belum selesai. Siklus tersebut membantu warga melihat apakah janji sebelum krisis diwujudkan.

Tinjauan tahunan perlu melibatkan lembaga yang berbeda dari pelaksana program untuk memeriksa bukti secara independen. Auditor dapat memeriksa pembelian dan penggunaan alat; peneliti menilai data lingkungan dan kesehatan; masyarakat menilai kualitas konsultasi, akses bantuan, serta

respons pengaduan. Tidak setiap indikator memerlukan audit lapangan penuh, tetapi sampel verifikasi dan publikasi metode meningkatkan kredibilitas. Temuan harus disertai rekomendasi yang memiliki pihak penanggung jawab dan tenggat.

Sistem pengaduan perlu mencatat jenis laporan, lokasi, waktu respons, hasil pemeriksaan, dan alasan penutupan kasus. Warga harus dapat melacak laporan tanpa harus menghubungi banyak kantor. Laporan dugaan kebakaran, kegagalan infrastruktur, ketidaktersediaan bantuan, atau paparan berbahaya dapat diarahkan kepada unit berbeda tetapi tetap memiliki nomor pelacakan. Perlindungan pelapor dan data pribadi harus menjadi bagian desain sejak awal.

Manajemen risiko membutuhkan pemilik untuk setiap risiko penting. Risiko penurunan muka air, kerusakan sekat kanal, keterlambatan bantuan, gangguan layanan kesehatan, atau kegagalan peringatan harus memiliki indikator, ambang tindakan, dan pihak yang bertanggung jawab. Rapat koordinasi mengevaluasi apakah risiko meningkat dan apakah respons perlu diubah. Dengan pendekatan ini, tanggung jawab tidak menghilang di antara lembaga yang memiliki mandat beririsan.

Tinjauan juga harus menyediakan ruang bagi perubahan kebijakan. Bila indikator menunjukkan tidak ada pengurangan kebakaran berulang, pemerintah dapat meninjau kembali perizinan, insentif, atau desain program. Jika layanan kesehatan tidak menjangkau kelompok berisiko, anggaran dan metode distribusi perlu diubah. Akuntabilitas bukan hanya mencari kesalahan setelah kejadian; ia adalah mekanisme untuk memastikan organisasi belajar dan mengoreksi tindakannya secara terbuka.

49. Integrasi agenda ke dalam siklus pembangunan daerah

Mitigasi karhutla perlu masuk ke dokumen pembangunan daerah, penganggaran, perizinan, rencana kesehatan, dan strategi adaptasi iklim. Dengan integrasi tersebut, pencegahan tidak bergantung pada satu unit atau

satu proyek. Setiap program infrastruktur dan ekonomi dapat diuji terhadap pengaruhnya pada air, bahan bakar, akses, serta paparan penduduk.

Rencana pembangunan harus menetapkan target tahunan yang dapat diverifikasi. Target dapat mencakup pemeliharaan hidrologi, dukungan usaha tanpa bakar, cakupan pemantauan udara, kesiapan layanan kesehatan, dan keselamatan petugas. Target perlu dilengkapi biaya, sumber dana, dan pejabat penanggung jawab agar tidak menjadi daftar aspirasi.

Integrasi juga berarti menghubungkan jadwal. Pemeriksaan kanal, latihan pemadaman, penyediaan obat, dan pembaruan peta harus selesai sebelum periode kering diperkirakan dimulai. Keterlambatan satu fungsi dapat melemahkan fungsi lainnya. Pemerintah dapat menggunakan kalender bersama untuk meninjau kesiapan lintas sektor.

Forum pembangunan daerah dapat mengundang perwakilan masyarakat, universitas, perusahaan, dan organisasi sipil untuk menelaah risiko serta kemajuan. Partisipasi perlu menghasilkan keputusan yang dapat dilacak. Masukan yang diterima, ditolak, atau ditunda sebaiknya disertai alasan, sehingga warga dapat menilai bagaimana pengetahuan dan kebutuhan mereka dipertimbangkan.

Pada akhirnya, integrasi agenda adalah cara mengubah pengalaman bencana menjadi keputusan pembangunan. Lahan yang tidak lagi dikeringkan, usaha yang tidak bergantung pada api, layanan yang siap melindungi kesehatan, dan anggaran yang mengutamakan pencegahan merupakan perubahan yang dapat diamati dari tahun ke tahun.

50. Kesimpulan dan agenda perlindungan kesehatan

Asap kebakaran hutan dan lahan merupakan bahaya kesehatan yang meluas dari sumber api melalui udara hingga ke rumah, tempat kerja, sekolah, dan fasilitas kesehatan. Risiko muncul dari interaksi konsentrasi dan durasi paparan dengan kondisi biologis, penyakit penyerta, usia, kehamilan,

aktivitas, tempat tinggal, pekerjaan, akses layanan, dan dukungan sosial. Lansia dan ibu hamil memiliki kebutuhan perlindungan yang khas, tetapi tidak seragam; kapasitas dan pilihan setiap individu berbeda. Bayi dan anak, penderita penyakit kronis, penyandang disabilitas, pekerja luar ruang, serta masyarakat miskin atau terpencil juga dapat mengalami beban paparan dan hambatan perlindungan yang lebih besar.

Bukti ilmiah mendukung pengurangan paparan sebagai langkah kehati-hatian kesehatan, sementara kepastian mengenai besarnya risiko setiap individu dan sebagian luaran jangka panjang masih terbatas. Kajian tentang kehamilan menunjukkan sinyal potensi hubungan dengan berat lahir rendah dan kelahiran prematur, tetapi hasil gabungan belum konklusif karena heterogenitas dan kurangnya studi yang seragam. Kajian lansia menegaskan pentingnya komorbiditas, evakuasi, akses, dan pengalaman warga, sekaligus menunjukkan bahwa penelitian respons komunitas masih kurang. Bukti dari negara lain berguna untuk merumuskan hipotesis dan langkah perlindungan, tetapi memerlukan validasi dalam konteks kebakaran gambut dan sistem kesehatan Indonesia.

Perlindungan yang efektif memadukan pencegahan kebakaran di sumber, pengukuran udara, peringatan yang dapat ditindaklanjuti, rumah dan shelter dengan udara lebih bersih, perlindungan pekerja, pengaturan aktivitas yang realistis, dan layanan kesehatan yang siap. Lansia perlu mekanisme pemeriksaan kondisi dan transportasi; ibu hamil memerlukan kesinambungan layanan maternal; penderita penyakit kronis membutuhkan akses obat dan rencana klinis; keluarga dengan sumber daya terbatas memerlukan dukungan publik. Tidak ada perangkat tunggal yang menghilangkan seluruh risiko, dan pengurangan paparan tidak boleh menghasilkan bahaya baru berupa panas, kehilangan pendapatan, isolasi, atau tertundanya perawatan.

Keberhasilan kebijakan dinilai melalui pengurangan konsentrasi dan lama paparan, komplikasi serta keterlambatan pertolongan, kesinambungan layanan antenatal dan penyakit kronis, akses ruang udara bersih, dan

mengecilnya kesenjangan antara kelompok sosial. Data harus dipilah secara aman dan digunakan untuk memperbaiki perencanaan bersama komunitas. Dengan menggabungkan pencegahan ekologis, layanan kesehatan primer, komunikasi inklusif, perlindungan sosial, serta penelitian lokal, Indonesia dapat mengubah respons terhadap kabut asap dari imbauan sesaat menjadi sistem perlindungan kesehatan yang dapat diandalkan sebelum, selama, dan setelah kebakaran.

Glossarium

Asap kebakaran: Campuran partikel dan gas dari pembakaran vegetasi, gambut, dan bahan lain yang dapat menurunkan kualitas udara.
Aksesibilitas: Kemudahan seseorang menggunakan informasi, fasilitas, transportasi, dan layanan sesuai kebutuhannya.
Antenatal: Pelayanan kesehatan yang diberikan selama kehamilan untuk memantau kondisi ibu dan janin.
CADR (Clean Air Delivery Rate): Ukuran volume udara bersih yang dihasilkan alat filtrasi dalam waktu tertentu.
Disabilitas: Interaksi kondisi fungsi seseorang dengan hambatan lingkungan, komunikasi, sikap, dan layanan.
Dosis terhirup: Jumlah polutan yang masuk ke saluran napas, dipengaruhi konsentrasi, waktu, aktivitas, dan laju pernapasan.
Evakuasi: Pemindahan warga dari area berbahaya menuju lokasi yang lebih aman dengan rencana dukungan.
Filter HEPA: Filter partikulat berefisiensi tinggi yang digunakan pada sistem pembersih udara sesuai spesifikasi perangkat.
Inflamasi: Respons biologis tubuh terhadap iritan atau cedera yang dapat memengaruhi jaringan dan fungsi organ.
Indeks kualitas udara: Skala komunikasi yang merangkum kondisi polusi; metode dan ambangnya dapat berbeda antarlembaga.
Ibu hamil: Perempuan yang sedang menjalani kehamilan; kebutuhan dan

risiko kesehatannya berbeda menurut kondisi individu dan tahap kehamilan.
Kader kesehatan: Anggota masyarakat yang membantu kegiatan promotif, preventif, dan penghubung layanan kesehatan lokal.
Kelompok rentan: Kelompok yang dapat menghadapi paparan lebih tinggi, sensitivitas kesehatan, atau hambatan perlindungan dan pemulihan.
Komorbiditas: Satu atau lebih penyakit atau kondisi kesehatan yang terjadi bersamaan pada seseorang.
Lansia: Orang berusia lanjut; batas usia administratif dapat berbeda, dan kondisi kesehatan serta kapasitas tidak seragam.
PM2.5: Partikel halus berdiameter aerodinamis 2,5 mikrometer atau kurang yang dapat masuk jauh ke paru.
Paparan: Kontak individu atau populasi dengan polutan pada konsentrasi dan durasi tertentu.
Pembersih udara: Perangkat yang mengurangi partikel dalam ruang melalui filtrasi atau teknologi lain sesuai desain dan pemeliharaan.
Penyakit paru obstruktif kronis (PPOK): Kondisi paru kronis yang membatasi aliran udara dan dapat memburuk akibat iritan.
Polifarmasi: Penggunaan beberapa obat oleh satu pasien, yang memerlukan pengelolaan dan pemantauan klinis.
Ruang udara bersih: Ruang yang dikelola untuk mengurangi masuknya polutan dan menyediakan udara yang lebih bersih, dengan pengendalian panas dan ventilasi.
Saturasi oksigen: Perkiraan proporsi hemoglobin yang membawa oksigen; interpretasinya perlu memperhatikan kondisi dan alat ukur.
Surveilans kesehatan: Pengumpulan dan analisis data kesehatan secara berkelanjutan untuk mendeteksi perubahan dan memandu tindakan.
Stres oksidatif: Ketidakseimbangan antara molekul oksidatif dan sistem pertahanan antioksidan yang dapat memengaruhi sel.
Tanda bahaya: Gejala atau keadaan yang menurut protokol kesehatan memerlukan penilaian atau pertolongan segera.
Transpor atmosfer: Pergerakan asap oleh angin, turbulensi, dan proses

meteorologi lain dari sumber ke lokasi paparan.
Triase: Penilaian prioritas klinis untuk menentukan urutan pertolongan sesuai tingkat kegawatan.
WHO Air Quality Guidelines: Pedoman kualitas udara berbasis kesehatan untuk membantu pengelolaan polusi, bukan jaminan bebas risiko individual.

Daftar Pustaka

BMKG. (2026, April 6). Hadapi risiko karhutla, BMKG tekankan kesiapsiagaan dalam Rakornas Pengendalian Karhutla 2026. https://www.bmkg.go.id/berita/hadapi-risiko-karhutla-bmkg-tekankan-kesiapsiagaan-dalam-rakornas-karhutla-2026

Cascio, W. E. (2018). Wildland fire smoke and human health. Science of the Total Environment, 624, 586–595. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.12.086

Centers for Disease Control and Prevention. (2023, June 30). Wildfire smoke exposure poses threat to at-risk populations (Health Alert Network 00495). https://www.cdc.gov/han/2023/han00495.html

Cheong, K. H., Ngiam, N. J., Morgan, G. G., Pek, P. P., Tan, B. Y.-Q., Lai, J. W., Koh, J. M., Ong, M. E. H., & Ho, A. F. W. (2019). Acute health impacts of the Southeast Asian transboundary haze problem—A review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 16(18), Article 3286. https://doi.org/10.3390/ijerph16183286

Cummings Melton, C., De Fries, C. M., Smith, R. M., & Reyes Mason, L. (2023). Wildfires and older adults: A scoping review of impacts, risks, and interventions. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(13), Article 6252. https://doi.org/10.3390/ijerph20136252

Fernandes, A. A. R., Panjaitan, R. B., & Solimun. (2019). The effect of community and company participation and implementation of good forest fire governance on the forest fire policy in Indonesia. Journal of Science and

Technology Policy Management, 10(1), 102–115. https://doi.org/10.1108/JSTPM-05-2017-0017

Field, R. D., van der Werf, G. R., & Shen, S. S. P. (2009). Human amplification of drought-induced biomass burning in Indonesia since 1960. Nature Geoscience, 2, 185–188. https://doi.org/10.1038/ngeo443

Foo, D., Stewart, R., Heo, S., Dhamrait, G., Choi, H. M., Song, Y., & Bell, M. L. (2024). Wildfire smoke exposure during pregnancy and perinatal, obstetric, and early childhood health outcomes: A systematic review and meta-analysis. Environmental Research, 241, Article 117527. https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.117527

Gaveau, D. L. A., Salim, M. A., Hergoualc'h, K., Locatelli, B., Sloan, S., Wooster, M., Marlier, M. E., Molidena, E., Yaen, H., Deverell, E., Verchot, L., Murdiyarso, D., & Nasi, R. (2014). Major atmospheric emissions from peat fires in Southeast Asia during non-drought years: Evidence from the 2013 Sumatran fires. Scientific Reports, 4, Article 6112. https://doi.org/10.1038/srep06112

Gaveau, D. L. A., Sheil, D., Husnayaen, Salim, M. A., Arjasakusuma, S., Ancrenaz, M., Pacheco, P., & Meijaard, E. (2016). Rapid conversions and avoided deforestation: Examining four decades of industrial plantation expansion in Borneo. Scientific Reports, 6, Article 32017. https://doi.org/10.1038/srep32017

Grosvenor, M. J., Ardiyani, V., Wooster, M. J., Gillott, S., Green, D. C., Lestari, P., & Suri, W. (2024). Catastrophic impact of extreme 2019 Indonesian peatland fires on urban air quality and health. Communications Earth & Environment, 5, Article 649. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01813-w

Hein, L., Spadaro, J. V., Ostro, B., Hammer, M. S., Sumarga, E., Salmayenti, R., Boer, R., Tata, H. L., Atmoko, D., & Castañeda, J. P. (2022). The health impacts of Indonesian peatland fires. Environmental Health, 21, Article 62. https://doi.org/10.1186/s12940-022-00872-w

Hooijer, A., Page, S., Canadell, J. G., Silvius, M., Kwadijk, J., Wösten, H., & Jauhiainen, J. (2010). Current and future CO2 emissions from drained peatlands in Southeast Asia. Biogeosciences, 7, 1505–1514. https://doi.org/10.5194/bg-7-1505-2010

Huijnen, V., Wooster, M. J., Kaiser, J. W., Gaveau, D. L. A., Flemming, J., Parrington, M., Inness, A., Murdiyarso, D., Main, B., & van Weele, M. (2016). Fire carbon emissions over maritime southeast Asia in 2015 largest since 1997. Scientific Reports, 6, Article 26886. https://doi.org/10.1038/srep26886

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

Kiely, L., Spracklen, D. V., Wiedinmyer, C., Conibear, L., Reddington, C. L., Arnold, S. R., Knote, C., Khan, M. F., Latif, M. T., Syaufina, L., & Adrianto, H. A. (2020). Air quality and health impacts of vegetation and peat fires in Equatorial Asia during 2004–2015. Environmental Research Letters, 15(9), Article 094054. https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab9a6c

Koplitz, S. N., Mickley, L. J., Marlier, M. E., Buonocore, J. J., Kim, P. S., Liu, T., Sulprizio, M. P., DeFries, R. S., Jacob, D. J., Schwartz, J., Pongsiri, M., & Myers, S. S. (2016). Public health impacts of the severe haze in Equatorial Asia in September–October 2015: Demonstration of a new framework for informing fire management strategies to reduce downwind smoke exposure. Environmental Research Letters, 11(9), Article 094023. https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/9/094023

Liu, J. C., Pereira, G., Uhl, S. A., Bravo, M. A., & Bell, M. L. (2015). A systematic review of the physical health impacts from non-occupational exposure to wildfire smoke. Environmental Research, 136, 120–132. https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.10.015

Marlier, M. E., DeFries, R. S., Kim, P. S., Koplitz, S. N., Jacob, D. J., Mickley, L. J., & Myers, S. S. (2015). Fire emissions and regional air quality impacts from fires in oil palm, timber, and logging concessions in Indonesia. Environmental Research Letters, 10(8), Article 085005. https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/8/085005

Marlier, M. E., Liu, T., Yu, K., Buonocore, J. J., Koplitz, S. N., Jacob, D. J., Mickley, L. J., & DeFries, R. S. (2019). Fires, smoke exposure, and public health: An integrative framework to maximize health benefits from peatland restoration. GeoHealth, 3(7), 178–189. https://doi.org/10.1029/2019GH000191

Page, S. E., Siegert, F., Rieley, J. O., Boehm, H.-D. V., Jaya, A., & Limin, S. (2002). The amount of carbon released from peat and forest fires in Indonesia during 1997. Nature, 420, 61–65. https://doi.org/10.1038/nature01131

Purnomo, H., Puspitaloka, D., Okarda, B., Andrianto, A., Qomar, N., Sutikno, S., Muhammad, A., Basuki, I., Jalil, A., Yesi, Pandam Prasetyo, Tarsono, Zulkardi, Kusumadewi, S. D., Komarudin, H., Dermawan, A., & Brady, M. A. (2024). Community-based fire prevention and peatland restoration in Indonesia: A participatory action research approach. Environmental Development, 50, Article 100971. https://doi.org/10.1016/j.envdev.2024.100971

Reid, C. E., Brauer, M., Johnston, F. H., Jerrett, M., Balmes, J. R., & Elliott, C. T. (2016). Critical review of health impacts of wildfire smoke exposure. Environmental Health Perspectives, 124(9), 1334–1343. https://doi.org/10.1289/ehp.1409277

Reuters. (2026, October 15). Why is the haze so bad in Southeast Asia this year? https://www.reuters.com/business/environment/why-is-haze-so-bad-southeast-asia-this-year-2026-10-15/

Reuters. (2026, October 16). Indonesia’s president ready to accept foreign assistance to combat fires, foreign minister says. https://www.reuters.com/business/environment/indonesias-president-ready-accept-foreign-assistance-combat-fires-foreign-2026-10-16/

Rodríguez Vásquez, M. J., Benoist, A., Roda, J.-M., & Fortin, M. (2021). Estimating greenhouse gas emissions from peat combustion in wildfires on Indonesian peatlands, and their uncertainty. Global Biogeochemical Cycles, 35, e2019GB006218. https://doi.org/10.1029/2019GB006218

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

Tacconi, L. (2003). Fires in Indonesia: Causes, costs and policy implications. Center for International Forestry Research. https://doi.org/10.17528/CIFOR/001130

Tacconi, L., Jotzo, F., & Grafton, R. Q. (2020). Causes of Indonesia's forest fires. World Development, 127, Article 104717. https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2019.104717

Turetsky, M. R., Benscoter, B., Page, S., Rein, G., van der Werf, G. R., & Watts, A. (2015). Global vulnerability of peatlands to fire and carbon loss. Nature Geoscience, 8, 11–14. https://doi.org/10.1038/ngeo2325

Uda, S. K., Hein, L., & Sumarga, E. (2019). Assessing the health impacts of peatland fires: A case study for Central Kalimantan, Indonesia. Environmental Science and Pollution Research, 26(30), 31315–31327. https://doi.org/10.1007/s11356-019-06264-x

United Nations Environment Programme. (2019). A review of the science and policy on forest fires in Indonesia. https://www.unep.org/resources/report/review-science-and-policy-forest-fires-indonesia

United States Environmental Protection Agency. (2026). How to create a cleaner air room at home. https://www.epa.gov/wildfires/how-create-cleaner-air-room-home

World Bank. (2016). The cost of fire: An economic analysis of Indonesia's 2015 fire crisis. World Bank. https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23840

World Health Organization. (2021). WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. https://www.who.int/publications/i/item/9789240034228

World Health Organization. (2026, July 31). Wildfire smoke: A frequently underestimated health risk. https://www.who.int/europe/news/item/31-07-2026-wildfire-smoke--a-frequently-underestimated-health-risk