
KABUT ASAP DAN
DAMPAK LINTAS BATAS
Kerja Sama Regional dalam Mengatasi Kebakaran Hutan
Oleh: Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD
www.rudyct.com/cv.pdf
Guru Besar Manajemen dan AI Data Analyst
IBM-ASMI
RudyCT Academic Series

Kabut Asap dan Dampak Lintas Batas: Kerja Sama Regional dalam Mengatasi Kebakaran Hutan

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

IBM-ASMI | RudyCT Academic Series

2026

Abstrak

Kabut asap akibat kebakaran hutan dan lahan merupakan persoalan kesehatan, lingkungan, ekonomi, dan tata kelola yang melampaui batas negara. Partikel halus serta gas hasil pembakaran dapat dibawa angin dari wilayah sumber ke negara tetangga; besarnya paparan bergantung pada lokasi dan intensitas api, cuaca, bentuk lahan, serta kebijakan pengendalian. Artikel ini menelaah mekanisme terbentuk dan berpindahnya asap, dampak lintas negara, pengalaman episodik Asia Tenggara, dan perangkat kerja sama regional. Ulasan memadukan literatur ilmiah, kerangka ASEAN, serta prinsip manajemen risiko untuk merumuskan agenda yang menghubungkan pencegahan di lanskap sumber, pemantauan bersama, peringatan dini, perlindungan kesehatan, respons darurat, transparansi rantai pasok, dan pemulihan. ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution menyediakan dasar koordinasi, sedangkan pelaksanaan tetap bergantung pada kapasitas nasional, kepercayaan, pembagian data, pendanaan, serta keterlibatan masyarakat. Peta Jalan ASEAN menuju kawasan bebas asap 2030 memberi sasaran bersama; kemajuannya perlu diukur dengan indikator hasil yang dapat diverifikasi, bukan hanya jumlah rapat atau operasi pemadaman.

Kata Kunci
kabut asap lintas batas; kebakaran hutan dan lahan; ASEAN; kesehatan masyarakat; pencemaran udara; gambut; peringatan dini; diplomasi lingkungan; pencegahan kebakaran; tata kelola regional.

1. Pendahuluan: Asap sebagai persoalan regional

Kebakaran hutan dan lahan menimbulkan persoalan yang tidak berhenti di tempat api menyala. Asap membawa partikel halus dan gas yang dapat menurunkan kualitas udara jauh dari sumbernya, mengganggu kesehatan, sekolah, transportasi, kegiatan ekonomi, dan fungsi ekosistem. Di Asia Tenggara, episode kabut asap berulang memperlihatkan bahwa keputusan penggunaan lahan, kondisi gambut, cuaca, pemantauan udara, dan diplomasi regional saling berhubungan. Negara tetangga dapat menerima paparan meskipun sumber kebakaran berada di luar yurisdiksinya; pada saat yang sama, penduduk yang tinggal dekat api sering menanggung dampak lebih awal dan lebih berat. Karena itu, kabut asap perlu dibahas sebagai risiko bersama dengan asal-usul lokal dan konsekuensi lintas batas.

Arah serta tingkat keparahan paparan berubah dari satu musim ke musim lain. Curah hujan, ENSO, Dipole Mode Samudra Hindia, angin monsun, dan kondisi atmosfer dapat memperpanjang musim kering atau mengangkut asap, tetapi tidak dengan sendirinya menjelaskan penyalaan. Perubahan penggunaan lahan, kanal drainase, akses jalan, cara membuka lahan, tata kelola konsesi, insentif ekonomi, dan kapasitas pencegahan ikut menentukan apakah api muncul dan meluas. Mengaitkan satu episode dengan satu faktor—misalnya El Niño saja, atau satu negara saja—mengaburkan mekanisme yang perlu ditangani. Penjelasan yang baik menghubungkan faktor iklim, kondisi lanskap, perilaku, kebijakan, dan distribusi tanggung jawab.

Dimensi lintas batas membuat pengelolaan kabut asap bergantung pada kecepatan dan keterpercayaan informasi. Data hotspot, bekas terbakar,

kualitas udara, arah angin, dan kesehatan perlu dibaca bersama, dengan definisi dan batas ketidakpastian yang jelas. Perbedaan jaringan pemantauan dan skala indeks antarnegeri dapat menghambat perbandingan, sementara tuduhan publik yang tidak didukung atribusi ilmiah berisiko merusak kepercayaan. Pada sisi lain, ketidakpastian bukan alasan untuk menunda perlindungan kesehatan atau berbagi peringatan. Negara dapat bertindak dini berdasarkan risiko sambil memperbarui penilaian ketika data baru tersedia.

Artikel ini menguraikan pembentukan dan pergerakan asap; paparan dan dampaknya pada kesehatan, pendidikan, ekonomi, serta ekosistem; penyebab kebakaran di lanskap Indonesia; dan pengalaman regional dari episode besar. Pembahasan kemudian menelaah ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution, Peta Jalan ASEAN 2023–2030, peran pusat koordinasi dan focal point, serta kesenjangan antara komitmen dan pelaksanaan. Bagian akhir menyusun agenda praktis yang menghubungkan pencegahan sumber, pengelolaan gambut, pengawasan rantai pasok, pemantauan bersama, peringatan dini, bantuan darurat, dan evaluasi hasil. Pokok argumennya ialah bahwa diplomasi akan lebih efektif ketika ditopang tindakan pencegahan yang dapat diverifikasi di tingkat lokal dan mekanisme regional yang siap digunakan sebelum krisis.

2. Kerangka konseptual: Bahaya, paparan, kerentanan, dan risiko lintas batas

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. Ekologi kebakaran Indonesia dan kerentanan gambut

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. Kabut asap: komposisi, pembentukan, dan paparan

Kabut asap adalah campuran dinamis dari partikel tersuspensi dan gas hasil pembakaran biomassa, vegetasi, serasah, serta bahan organik tanah. Istilah ini menggambarkan keadaan atmosfer ketika partikel dan produk pembakaran menurunkan jarak pandang dan kualitas udara; ia bukan satu zat tunggal dengan komposisi tetap. PM2.5—partikel dengan diameter aerodinamis sampai 2,5 mikrometer—menjadi perhatian kesehatan karena dapat masuk jauh ke saluran pernapasan. Asap juga mengandung karbon monoksida, senyawa organik volatil, nitrogen oksida, dan senyawa lain yang kadarnya berubah mengikuti jenis bahan bakar, kadar air, suhu pembakaran, dan ketersediaan oksigen (Stockwell et al., 2016).

Pembakaran permukaan yang cepat berbeda dari pembakaran gambut yang membara perlahan di bawah tanah. Api gambut dapat terus menghasilkan asap meskipun nyala di permukaan telah padam; asapnya bisa berulang muncul dari titik yang tersembunyi, membuat pengawasan dan pemadaman lebih sulit. Kadar air gambut, kedalaman muka air, drainase, ketebalan bahan organik, dan cuaca menentukan jumlah bahan yang terbakar serta emisinya. Pada tingkat lanskap, kanal, jalan, bukaan, dan tepi konsesi dapat mengubah akses manusia sekaligus mengeringkan bahan bakar. Karena itu, pemadaman di satu titik tidak menyelesaikan sumber asap apabila kondisi hidrologi dan pola penggunaan lahan tetap rentan.

Asap lokal dapat bergerak jauh dari lokasi api. Angin lapisan bawah, arah monsun, sirkulasi harian, topografi, dan hujan memengaruhi lintasan serta

pengenceran plume. PM2.5 dapat bertahan dan berpindah selama berjam-jam sampai beberapa hari, sementara sebagian gas berubah secara kimia di atmosfer. Hujan membasuh partikel dari udara tetapi dapat memindahkan bahan pencemar ke tanah dan air. Akibatnya, peta titik panas tidak sama dengan peta paparan, dan batas administrasi tidak membatasi pergerakan polutan. Di wilayah kepulauan dan pesisir, laut, angin darat-laut, serta inversi suhu dapat menghasilkan pola konsentrasi yang berbeda antara siang dan malam.

Indeks kualitas udara membantu mengomunikasikan tingkat risiko, tetapi indeks setiap negara dapat menggunakan ambang, periode rata-rata, kategori warna, dan rumus agregasi yang berbeda. Angka indeks lintas negara sebaiknya tidak dibandingkan tanpa membaca definisi dan konsentrasi PM2.5 yang mendasarinya. Untuk analisis kesehatan, konsentrasi terukur dan lama paparan lebih informatif daripada satu angka indeks harian. Perlu pula membedakan pemantauan ambien dari sensor murah: sensor berbiaya rendah berguna memperluas jaringan, tetapi membutuhkan kalibrasi, pemeriksaan kelembapan, dan penjelasan ketidakpastian.

Sistem penilaian asap yang berguna bagi publik menggabungkan pengukuran di permukaan, penginderaan jauh, prakiraan cuaca, dan pemodelan transport kimia atmosfer. Satelit mengidentifikasi titik panas, bekas terbakar, atau kedalaman optik aerosol; alat permukaan mengukur kondisi yang benar-benar dialami penduduk; model memproyeksikan lintasan plume dan konsentrasi. Masing-masing memiliki batas: awan menutupi pengamatan satelit, titik panas tidak selalu menunjukkan kebakaran aktif besar, stasiun tidak tersebar merata, dan model sensitif pada asumsi emisi serta meteorologi. Pembacaan yang kuat menyatakan sumber data, waktu pembaruan, skala spasial, resolusi, dan tingkat keyakinannya.

Asap perlu dipandang sebagai jalur paparan yang menghubungkan lanskap sumber dengan kota, desa, sekolah, tempat kerja, dan layanan kesehatan di

dalam maupun di luar negara asal. Pengelolaan paparan meliputi pengurangan pembakaran di sumber, peringatan yang dapat ditindaklanjuti, ruang udara bersih, perlindungan pekerja, penyesuaian kegiatan luar ruang, dan kesiapan klinik. Tidak satu pun langkah perlindungan individu dapat menggantikan pengendalian sumber. Jika pencegahan gagal, negara terdampak memerlukan informasi cukup dini untuk memberi saran kesehatan tanpa memperbesar kepanikan atau menyederhanakan atribusi sumber yang masih belum pasti.

5. Transport atmosfer dan atribusi sumber–penerima

Dampak lintas batas muncul ketika emisi kebakaran di satu wilayah dibawa atmosfer dan berkontribusi pada peningkatan pencemaran di wilayah lain. Hubungan ini dapat melibatkan beberapa lokasi sumber, campuran dengan emisi perkotaan, dan perubahan kimia selama perjalanan. Oleh sebab itu, istilah sumber dan penerima menjelaskan relasi pada suatu episode, bukan label tetap untuk negara. Negara yang menerima asap pada satu musim dapat menjadi sumber atau jalur transport pada episode lain. Penilaian yang adil memisahkan lokasi api, wilayah pelepasan, lintasan transport, lokasi konsentrasi tinggi, dan populasi yang terpapar.

Atribusi memerlukan gabungan bukti: inventaris titik api dan bekas terbakar, pengukuran PM2.5 serta komposisi kimia, arah dan kecepatan angin, profil vertikal atmosfer, lintasan balik massa udara, model dispersi atau kimia, dan pengetahuan tentang bahan bakar dan kondisi lahan. Satu titik panas yang berdekatan dengan suatu batas negara tidak membuktikan bahwa titik itu menyebabkan seluruh asap di kota penerima. Sebaliknya, tidak adanya titik panas pada saat pengamatan tidak membuktikan tidak ada sumber, karena kebakaran gambut dapat tertutup vegetasi atau awan, dan satelit hanya menangkap lintasan waktu tertentu. Ketidakpastian harus ditampilkan, bukan dihilangkan demi narasi politik yang mudah.

Pemodelan paparan populasi dapat menghubungkan konsentrasi yang diukur atau diperkirakan dengan peta penduduk dan fungsi risiko kesehatan. Namun hasilnya bergantung pada resolusi, data dasar, asumsi tentang paparan dalam ruang, distribusi usia, dan fungsi respons konsentrasi. Estimasi dampak kesehatan merupakan ukuran beban yang diproyeksikan dari model, bukan pencatatan langsung setiap kematian atau penyakit. Sebagai contoh, studi atas episode 2015 memperkirakan sekitar 100.300 kematian berlebih di Indonesia, Malaysia, dan Singapura yang terkait paparan PM2.5 dari kebakaran; angka tersebut merupakan hasil pemodelan, bukan hitungan sertifikat kematian yang secara individual mencatat penyebab asap (Koplitz et al., 2016). Penjelasan ini penting agar angka dapat digunakan untuk perencanaan tanpa disalahartikan sebagai observasi langsung.

Konsep keadilan lintas batas memerlukan dua pertanyaan sekaligus: siapa yang memperoleh manfaat ekonomi dari penggunaan lahan dan siapa menanggung biaya asap? Kerugian kesehatan dan gangguan sekolah dapat terjadi jauh dari konsesi atau kebun yang menghasilkan nilai ekonomi. Akan tetapi, atribusi tanggung jawab hukum kepada pelaku tertentu mensyaratkan bukti yang lebih rinci daripada korelasi spasial, termasuk identitas pengendali lahan, waktu penyalaan, rantai keputusan, kewajiban pencegahan, dan hubungan kausal yang relevan menurut hukum yang berlaku. Dialog regional sebaiknya menjaga perbedaan antara atribusi ilmiah, tanggung jawab administratif, dan pembuktian pengadilan.

Data bersama dapat memperbaiki diagnosis tanpa menghapus kedaulatan negara. Standar minimum regional dapat mengatur format koordinat, waktu UTC, resolusi, sumber sensor, metode agregasi, riwayat koreksi, serta cara memberi tanda pada estimasi model. Portal yang menyediakan peta dan metadata terbuka mengurangi ruang bagi klaim yang tidak dapat dibandingkan; tim teknis lintas negara dapat meninjau episode tertentu secara bersama. Mekanisme ini mendukung keputusan kesehatan dan

bantuan darurat, serta mengurangi sengketa yang timbul karena tiap negara menggunakan peta, indeks, dan definisi yang berbeda.

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. Variabilitas iklim, El Niño, dan prakiraan bahaya kebakaran

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 pada masyarakat terdampak lintas negara

Asap kebakaran adalah campuran partikulat halus, gas, senyawa organik, dan bahan lain yang komposisinya berubah menurut jenis vegetasi, suhu pembakaran, kandungan air, serta kondisi atmosfer. Partikel halus PM2.5 dapat mencapai bagian terdalam paru-paru dan sebagian komponen berinteraksi dengan sistem peredaran darah. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO, 2021) menempatkan partikulat sebagai ancaman utama kesehatan masyarakat dari asap kebakaran. Gejala yang umum meliputi iritasi mata dan tenggorokan, batuk, sesak, sakit kepala, serta memburuknya asma. Paparan lebih berat dapat

memperburuk penyakit paru dan kardiovaskular, meningkatkan kebutuhan layanan kesehatan, dan dalam kondisi ekstrem berhubungan dengan kematian dini.

Bahaya kesehatan tidak terbatas pada hari dengan asap paling pekat. Paparan berulang dan berkepanjangan dapat menambah beban kumulatif, sedangkan kelompok yang sudah memiliki penyakit kronis mungkin mengalami dampak pada konsentrasi yang tidak dirasakan sama oleh orang sehat. Estimasi beban kesehatan bergantung pada data kualitas udara, model paparan, fungsi respons paparan, jumlah penduduk, struktur usia, dan asumsi mengenai hubungan sebab-akibat. Karena itu, angka kematian atau penyakit yang dimodelkan bukan jumlah pasien yang seluruhnya teridentifikasi secara klinis. Estimasi tetap berguna untuk memperlihatkan skala risiko, tetapi harus dijelaskan bersama ketidakpastiannya.

Kajian Uda et al. (2019) memodelkan dampak jangka panjang paparan PM2.5 dari kebakaran gambut di Sumatra dan Kalimantan. Kiely et al. (2022) juga memperkirakan beban kesehatan jangka panjang dengan menggabungkan konsentrasi PM2.5, data kebakaran, dan fungsi risiko. Studi-studi lain mengukur episode tertentu dengan sensor kualitas udara atau model atmosfer. Analisis Grosvenor et al. (2024) terhadap kebakaran 2019 di sekitar Palangka Raya menggabungkan jaringan sensor berbiaya rendah dengan model kualitas udara dan mengestimasi dampak mortalitas yang besar pada berbagai skala. Angka estimasi tersebut tidak boleh dibaca sebagai catatan kematian langsung yang telah diverifikasi satu per satu; nilainya adalah estimasi beban populasi berdasarkan metode epidemiologis. Perbedaan hasil antarkajian dapat muncul dari data emisi, model dispersi, periode paparan, dan asumsi risiko.

Anak-anak, bayi, ibu hamil, lansia, pekerja lapangan, petugas pemadam, dan orang dengan penyakit kardiopulmoner perlu mendapat perhatian khusus. Anak mungkin tidak mampu mengurangi paparan tanpa bantuan orang

dewasa. Ibu hamil memerlukan informasi kesehatan yang dapat dipercaya, pemeriksaan antenatal yang tetap berjalan, dan rencana evakuasi bila lingkungan tempat tinggal tidak aman. Pekerja informal sering tidak dapat berhenti bekerja tanpa kehilangan pendapatan; kebijakan kesehatan kerja perlu memasukkan ambang kualitas udara, perubahan jam kerja, perlengkapan yang sesuai, akses air bersih, dan perlindungan upah. Petugas pemadam menghadapi risiko luka bakar, dehidrasi, kelelahan, kecelakaan, dan inhalasi asap. Mereka membutuhkan pelatihan, alat pelindung, rotasi kerja, pemantauan kesehatan, dan prosedur komando keselamatan.

Paparan asap juga memengaruhi layanan kesehatan secara sistemik. Puskesmas dan rumah sakit dapat mengalami lonjakan kunjungan pada saat yang sama ketika petugas juga terpapar dan akses transportasi terganggu. Pasokan obat asma, oksigen, alat pelindung, dan bahan bakar ambulans harus dipetakan sebelum musim bahaya. Pencatatan diagnosis dan kunjungan perlu distandardisasi agar perubahan beban dapat dibedakan dari variasi musiman. Integrasi data kualitas udara dengan data klinis yang melindungi privasi dapat membantu memperkirakan lonjakan kasus dan mengarahkan sumber daya ke kabupaten yang paling membutuhkan.

Komunikasi kesehatan harus praktis dan tidak menimbulkan rasa aman palsu. Masker kain biasa tidak dirancang untuk menyaring partikel halus secara memadai; masker partikulat yang terpasang rapat lebih melindungi, tetapi ketersediaan, ukuran, kenyamanan, dan kemampuan anak memakai masker menjadi tantangan. Menutup jendela dapat mengurangi masuknya asap hanya jika bangunan cukup rapat dan udara dalam ruang dikelola dengan baik. Filter udara dapat membantu di ruang tertentu, tetapi tidak semua keluarga mampu membelinya. Pesan publik sebaiknya memuat kondisi kualitas udara, tindakan yang dapat dilakukan, lokasi ruang bersih, nomor layanan, gejala bahaya, dan anjuran untuk mencari pertolongan medis bila sesak berat atau nyeri dada terjadi.

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 kabut asap regional: 1997, 2015, 2019, dan perkembangan 2026

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 nasional dan kelembagaan regional

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. Integritas data, inventarisasi karbon, 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 sistem kesehatan dan perlindungan kelompok rentan

Kesiapan kesehatan harus dirancang sebagai bagian dari manajemen bencana, bukan sekadar respons tambahan setelah kunjungan pasien meningkat. Dinas kesehatan dapat menyusun peta kapasitas fasilitas, termasuk jumlah tempat tidur, ketersediaan oksigen, obat untuk asma dan penyakit kardiovaskular, alat pelindung, tenaga kesehatan, dan jalur rujukan. Peta kapasitas dapat dikaitkan dengan prakiraan cuaca dan kualitas udara agar tambahan tenaga atau stok

obat ditempatkan sebelum kondisi memburuk. Rencana juga perlu mengantisipasi gangguan listrik, komunikasi, transportasi, serta paparan yang dialami tenaga kesehatan itu sendiri.

Surveilans sindromik dapat membantu melihat pola gejala pernapasan sebelum laporan lengkap tersedia. Puskesmas dapat memantau batuk, sesak, iritasi mata, serangan asma, dan gejala kardiovaskular berdasarkan definisi yang seragam. Data tersebut kemudian dibandingkan dengan PM2.5, ISPU, cuaca, dan kejadian kebakaran. Sistem harus meminimalkan data pribadi dan menggunakan agregasi spasial yang cukup untuk menjaga kerahasiaan. Pelaporan tidak boleh menjadi beban administratif yang mengurangi waktu perawatan; formulir ringkas dan sistem elektronik yang dapat bekerja saat koneksi terbatas akan lebih berguna.

Kelompok rentan perlu didata melalui mekanisme yang etis dan sukarela. Puskesmas dapat bekerja dengan kader untuk memastikan keluarga dengan bayi, lansia, penyandang disabilitas, ibu hamil, atau pasien penyakit kronis mengetahui lokasi ruang bersih, nomor bantuan, dan jalur evakuasi. Data yang terkumpul hanya digunakan untuk perlindungan, tidak untuk pembatasan layanan atau pengawasan yang tidak relevan. Rencana evakuasi perlu menimbang obat rutin, alat bantu, pendamping, transportasi, dan kondisi keluarga yang memelihara ternak atau bergantung pada kerja harian.

Perlindungan di tempat kerja memerlukan standar yang bisa diterapkan oleh sektor formal dan informal. Perusahaan dapat mengubah jadwal kerja, menyediakan ruang istirahat berudara bersih, memasok masker partikulat yang sesuai, dan menghentikan pekerjaan berisiko ketika ambang bahaya terlampaui. Pemerintah daerah dapat memberikan panduan bagi pekerja konstruksi, pertanian, transportasi, dan perdagangan luar ruang. Bagi pekerja informal, perlindungan memerlukan dukungan pendapatan atau skema kerja sementara agar pengurangan paparan tidak berarti hilangnya nafkah. Upaya

pencegahan kesehatan gagal bila biaya perlindungan sepenuhnya dipindahkan ke pekerja.

Setelah episode asap, layanan perlu menyediakan pemeriksaan lanjutan untuk orang dengan gejala berkepanjangan dan mencatat kebutuhan dukungan psikososial. Ketidakpastian, kecemasan akan keselamatan anak, kehilangan pendapatan, dan konflik dengan pihak yang dianggap bertanggung jawab dapat menimbulkan tekanan mental. Puskesmas dapat menghubungkan warga dengan layanan konseling, dukungan sosial, dan informasi yang tervalidasi. Evaluasi kesehatan pascakebakaran sebaiknya berlangsung lebih lama daripada masa tanggap darurat, sebab sebagian dampak muncul atau berlanjut setelah langit kembali cerah.

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 ASEAN dan diplomasi asap lintas batas

Kerja sama regional diperlukan karena asap mengikuti atmosfer dan risiko kesehatan tidak berhenti pada perbatasan. Namun, kebakaran terjadi pada tapak tertentu dan pencegahan operasional terutama berlangsung di tingkat desa, kabupaten, provinsi, serta pengelola lahan. Arsitektur yang efektif menghubungkan kedua skala tersebut: ASEAN menetapkan tujuan, standar koordinasi, pertukaran informasi, dukungan teknis, dan prosedur bantuan; pemerintah nasional menjalankan hukum, perizinan, layanan kesehatan, dan penegakan; pemerintah lokal dan masyarakat mengelola kondisi lanskap serta mendeteksi api sedini mungkin. Diplomasi yang hanya aktif ketika asap sudah menyeberang akan selalu terlambat.

ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution (AATHP), ditandatangani pada 2002 dan berlaku sejak 2003, memberi kerangka regional bagi pemantauan, penilaian, pencegahan, kesiapsiagaan, tanggap

darurat, pertukaran informasi, dan kerja sama teknis. Indonesia meratifikasi perjanjian tersebut pada 2015. Perjanjian membayangkan koordinasi melalui Conference of the Parties, komite terkait, focal point nasional, dan ASEAN Coordinating Centre for Transboundary Haze Pollution Control (ASEAN, 2002). Kerangka ini penting sebagai dasar tindakan kolektif, tetapi keberadaan perjanjian tidak otomatis memastikan penegakan seragam, pembagian data tepat waktu, atau penurunan kebakaran. Hasil bergantung pada kesiapan domestik, dukungan anggaran, dan prosedur kerja yang benar-benar dipahami petugas.

Prinsip ASEAN tentang konsultasi, konsensus, dan penghormatan pada kedaulatan dapat menjaga hubungan politik dan membuka ruang dialog, tetapi juga dapat memperlambat keputusan ketika kepentingan nasional berbeda. Heilmann (2015) menilai bahwa ratifikasi Indonesia sendiri tidak serta-merta menjadi pengubah keadaan dan menyoroti keterbatasan mekanisme kepatuhan. Kritik akademik ini perlu dibaca sebagai analisis kelembagaan, bukan penolakan terhadap diplomasi. Konsensus dapat dipertahankan sambil memperkuat kewajiban transparansi yang telah disepakati, tenggat pertukaran informasi, prosedur verifikasi teknis sukarela, dan pelaporan kemajuan yang dapat diperiksa publik. Ketika risiko kesehatan meningkat, prinsip non-intervensi tidak seharusnya ditafsirkan sebagai alasan untuk menahan informasi yang dibutuhkan negara terdampak.

Perangkat kerja sama yang paling segera ialah peringatan dini berbasis risiko yang dibagikan secara serentak. Pusat pemantauan nasional dapat mengirim data titik panas terverifikasi, kondisi kekeringan dan muka air gambut, proyeksi arah angin, prakiraan kualitas udara, serta keyakinan model ke focal point regional. Penerima perlu mengetahui batas data dan tindakan yang direkomendasikan: meningkatkan patroli, memeriksa kanal, menyiagakan tim, menyiapkan klinik, atau memberi peringatan kepada sekolah. Protokol tidak boleh menunggu negosiasi politik setiap kali api terdeteksi. Prosedur respons yang telah disepakati sebelum musim kering mempercepat bantuan sekaligus

menjelaskan otoritas yang memberi persetujuan atas masuknya personel dan peralatan.

Bantuan lintas negara dapat berupa personel ahli, pesawat atau helikopter, peralatan pemadaman, citra satelit, laboratorium bergerak, dukungan logistik, atau tenaga medis. Permintaan dan penawaran bantuan perlu dicatat dalam format bersama yang mencakup kebutuhan, kapasitas, biaya, asuransi, komando operasi, standar keselamatan, dan aturan masuk wilayah. Negara penerima tetap memegang kendali operasi di wilayahnya; negara pemberi bantuan menghormati rantai komando serta hukum nasional. Latihan bersama sebelum krisis menguji kompatibilitas radio, bahasa operasi, ukuran konektor peralatan, prosedur penerbangan, izin personel, dan standar keselamatan. Kesepakatan sebelumnya mencegah bantuan simbolis yang tidak dapat dimobilisasi ketika jendela cuaca dan api singkat.

Pada 2023 ASEAN memperbarui visi kawasan bebas asap lintas batas pada 2030 melalui Second Roadmap for ASEAN Cooperation on Transboundary Haze Pollution Control with Means of Implementation (ASEAN Secretariat, 2023). Nilai roadmap terletak pada kaitan antara target kawasan, pengelolaan lahan dan gambut, pencegahan, kapasitas lokal, pemantauan, pembiayaan, serta keterlibatan multipihak. Pelaksanaan memerlukan indikator yang tidak hanya menghitung rapat dan kegiatan, tetapi mengukur hari dengan konsentrasi asap, luas lahan terbakar, kejadian kebakaran berulang, wilayah gambut dengan muka air terkelola, cakupan peringatan kesehatan, respons atas pengaduan, dan pemulihan mata pencaharian. Indikator harus dibedakan menurut subwilayah karena musim, ekologi, dan penyebab pembakaran di Mekong tidak identik dengan Sumatra atau Kalimantan.

Perjanjian pendirian ASEAN Coordinating Centre for Transboundary Haze Pollution Control ditandatangani pada 27 Mei 2025. Hingga 16 Oktober 2026, registri perjanjian ASEAN mencatat lebih dari enam instrumen ratifikasi atau persetujuan; perjanjian menetapkan mulai berlakunya enam puluh hari

setelah instrumen keenam disimpan (ASEAN Treaty Division, 2026). Pemerintah Indonesia sebelumnya meresmikan kantor sekretariat pusat koordinasi di Jakarta pada 22 April 2026 (Kementerian Lingkungan Hidup/BPLH, 2026). Karena itu, pembahasan perlu membedakan status hukum pusat koordinasi dari tahap penguatan organisasi, staf, pembiayaan, dan prosedur operasionalnya. Pusat koordinasi berpotensi menjadi simpul teknis yang menghubungkan focal point, tetapi efektivitasnya akan ditentukan oleh mandat yang jelas, akses data, tenaga ahli, kapasitas beroperasi sepanjang tahun, dan dukungan politik seluruh anggota.

Kesiapan regional tidak cukup diukur dari keberadaan pusat koordinasi. Pusat harus memiliki prosedur operasi standar untuk menggabungkan data, menyampaikan peringatan, meminta atau menawarkan bantuan, dan menerbitkan ringkasan situasi. Mekanisme regional juga perlu menjamin bahwa negara dan komunitas sumber menerima dukungan untuk pencegahan—misalnya restorasi hidrologi, patroli berbasis masyarakat, alternatif pembukaan lahan, dan pemulihan mata pencaharian—bukan hanya bantuan pemadaman setelah asap terbentuk. Agenda hulu ini menyeimbangkan dimensi keamanan manusia dengan kerja sama lingkungan dan mengurangi insentif politik untuk menempatkan beban sepenuhnya pada negara sumber.

Perusahaan dan pembeli lintas negara perlu masuk dalam tata kelola sebagai pihak dengan tanggung jawab yang dapat diaudit. Peta konsesi dan rantai pasok, sistem pengaduan, uji tuntas pemasok, pembukaan data asal bahan baku, dan penghentian hubungan bisnis dengan pemasok yang tidak melakukan perbaikan dapat mendukung upaya publik. Tanggung jawab tidak boleh digeneralisasi pada komoditas atau negara; penyelidikan perlu mengikuti bukti, proses hukum, dan hak jawab. Kerja sama regional dapat menyelaraskan harapan transparansi dan menghindari situasi ketika celah regulasi atau perbedaan standar antarpasar memberi keuntungan kepada praktik berisiko tinggi.

Kesehatan masyarakat adalah bidang kerja sama yang sering kurang menonjol dalam diplomasi asap. Negara terdampak dapat menyepakati ambang komunikasi risiko yang saling dipahami, berbagi tren kunjungan klinik secara anonim, mengembangkan protokol perlindungan pekerja luar ruang, serta menyiapkan pesan untuk anak, lansia, ibu hamil, dan penyandang penyakit jantung atau paru. Data kesehatan harus dilindungi dan tidak digunakan untuk saling menyalahkan. Cheong et al. (2019) merangkum hubungan antara paparan kabut asap dan dampak akut pada kesehatan pernapasan, kardiovaskular, neurologis, serta psikologis, sambil menekankan kebutuhan riset longitudinal. Informasi kesehatan yang kompatibel meningkatkan kesiapsiagaan dan membantu memperhitungkan biaya paparan pada negara penerima.

Pembiayaan pencegahan regional dapat memadukan anggaran nasional, kontribusi mitra pembangunan, pendanaan iklim dan biodiversitas, serta investasi perusahaan yang dapat ditelusuri manfaatnya. Dana seharusnya mengalir sebelum musim kering dan didasarkan pada rencana kerja yang melibatkan warga, pemerintah daerah, dan kelompok yang mengelola lahan. Dukungan lintas batas tidak berarti mengalihkan tanggung jawab domestik; sebaliknya, bantuan menutup kesenjangan kapasitas sembari tetap meminta negara mengambil langkah yang berada dalam kewenangannya. Pendanaan berbasis hasil perlu mengukur pengurangan risiko, bukan hanya penyerapan anggaran, dan harus menyediakan biaya pemeliharaan setelah proyek berakhir.

Kepercayaan dibangun melalui komunikasi yang dapat diperiksa. Dalam episode kabut, pemerintah perlu membedakan informasi terkonfirmasi dari estimasi awal, memperbarui data pada jadwal yang diumumkan, serta menjelaskan bila hasil berubah akibat data baru. Pihak terdampak berhak menyampaikan kekhawatiran dan mengajukan pertanyaan teknis; negara sumber berhak menjelaskan upaya yang dilakukan dan ketidakpastian atribusi. Forum ilmiah bersama dapat meninjau klaim sumber dan paparan

secara profesional sebelum isu berkembang menjadi tuduhan diplomatik. Proses ini tidak menghapus pertanggungjawaban, tetapi membuat penilaian lebih kokoh dan mengarahkan perhatian pada pencegahan serta pemulihan.

Kerja sama ASEAN dapat membuka ruang dengan mitra di luar kawasan untuk prakiraan cuaca, riset aerosol, teknologi pemantauan, dan pembiayaan restorasi. Namun kepemilikan data dan prioritas harus tetap disepakati negara serta masyarakat yang tinggal di lanskap terdampak. Pertukaran pengetahuan perlu menghormati hak masyarakat adat dan lokal atas pengetahuan tradisional, akses wilayah, dan partisipasi. Inovasi regional tidak akan berhasil bila alat digital menggantikan kehadiran petugas lokal atau bila peta konsesi menutupi batas tenurial yang belum terselesaikan. Teknologi memberi nilai ketika dipasangkan dengan lembaga yang dipercaya dan tindakan lapangan yang konsisten.

Untuk menilai kemajuan bersama, tiap negara dapat menerbitkan laporan tahunan seragam yang memuat kejadian, luas terbakar, kondisi udara, langkah pencegahan, penegakan, bantuan yang diminta atau diberikan, dan status tindak lanjut. Sekretariat regional dapat menyusun ringkasan komparatif, menyoroti keberhasilan yang dapat direplikasi, serta mengidentifikasi kesenjangan tanpa mengubah laporan menjadi peringkat yang mengabaikan konteks. Tinjauan sejawat berbasis data membantu mendorong pembelajaran dan akuntabilitas. Secara berkala, anggota dapat menilai apakah aturan bantuan, protokol komunikasi, dukungan pendanaan, dan indikator roadmap masih sesuai dengan perubahan iklim, teknologi, dan pola penggunaan lahan.

Diplomasi asap yang berkelanjutan bertolak dari pengakuan atas saling ketergantungan: negara sumber perlu mencegah api dan melindungi penduduknya sendiri; negara penerima perlu melindungi kesehatan warganya serta mendukung kerja sama yang konstruktif; seluruh pihak perlu menindaklanjuti rantai nilai yang menciptakan insentif pembakaran. Tujuan

kawasan bebas asap pada 2030 hanya mungkin tercapai bila komitmen politik diterjemahkan menjadi kerja harian yang terlihat sebelum kebakaran besar. Ukuran keberhasilan akhirnya bukan sekadar tidak adanya sengketa pada satu musim, melainkan penurunan paparan, kebakaran berulang, kerusakan ekosistem, dan biaya sosial di seluruh kawasan.

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. Pemanfaatan teknologi dan batas otomatisasi

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 pengelolaan kualitas udara

Asap bergerak mengikuti kondisi atmosfer dan dapat mencapai kawasan yang jauh dari titik api. Arah angin, tinggi lapisan pencampuran, stabilitas atmosfer, hujan, kelembapan, topografi, dan waktu pembakaran memengaruhi jalur transportasi polutan. Kota yang berjarak ratusan kilometer dapat mengalami penurunan kualitas udara, sementara lokasi yang lebih dekat belum tentu menjadi titik dengan konsentrasi tertinggi pada setiap jam. Sistem kesehatan dan pemerintah daerah perlu memahami bahwa peta titik api dan peta paparan adalah dua lapisan informasi yang berbeda.

Pemantauan kualitas udara idealnya menggabungkan stasiun referensi, sensor berbiaya lebih rendah, model atmosfer, citra satelit, dan pengamatan lapangan. Setiap jenis data mempunyai kelebihan dan batasan. Stasiun referensi memberikan pengukuran yang lebih terstandar tetapi jumlahnya mungkin terbatas. Sensor murah memberi kepadatan spasial, tetapi pembacaannya dipengaruhi kelembapan, suhu, lokasi pemasangan, dan kalibrasi. Model memberi gambaran kontinuitas dan prediksi, tetapi bergantung pada kualitas inventaris emisi serta asumsi atmosfer. Kombinasi tersebut lebih informatif daripada memperlakukan salah satu sumber sebagai gambaran sempurna.

Informasi kualitas udara harus diterjemahkan menjadi tindakan untuk kelompok pengguna yang berbeda. Petugas kesehatan memerlukan tren dan prediksi lonjakan kasus; sekolah membutuhkan ambang untuk membatasi kegiatan luar ruang; pekerja membutuhkan informasi jam dan lokasi kerja aman; warga memerlukan panduan sederhana mengenai gejala dan ruang perlindungan. Satu angka indeks tanpa penjelasan dapat membingungkan. Kanal informasi pemerintah perlu menyebutkan waktu pembaruan, wilayah, nilai yang diukur atau diperkirakan, serta anjuran praktis.

Ruang bersih atau clean air shelter dapat mengurangi paparan bila bangunan memiliki filtrasi yang sesuai, kapasitas ruang memadai, serta pengelolaan pintu dan ventilasi. Lokasinya perlu mudah dijangkau, termasuk oleh warga yang tidak memiliki kendaraan. Puskesmas, sekolah, balai desa, dan fasilitas umum dapat dipertimbangkan setelah penilaian teknis. Pengelola perlu memastikan listrik cadangan, pemeliharaan filter, air minum, dan prosedur bagi anak, lansia, serta penyandang disabilitas. Ruang bersih tidak boleh menggantikan upaya mengurangi emisi di sumbernya.

Pengendalian kualitas udara juga membutuhkan kebijakan emisi dari sumber lain. Ketika asap kebakaran bertemu dengan lalu lintas, industri, atau pembakaran sampah, beban total partikulat dapat meningkat. Pengukuran komposisi dan sumber membantu menentukan intervensi yang tepat. Pada masa krisis kebakaran, pengurangan sumber pencemaran lain dapat menjadi langkah tambahan untuk menurunkan paparan total, meskipun tidak menghilangkan kontribusi api. Perencanaan lintas sumber ini penting bagi kota yang mengalami pencemaran kronis sebelum musim kebakaran.

34. Perlindungan sekolah dan kesinambungan pembelajaran

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 dan perilaku perlindungan diri

Rumah tangga dapat mengurangi paparan dengan memantau informasi kualitas udara, mengurangi aktivitas berat di luar ruangan, menyiapkan obat rutin, dan mengenali gejala yang perlu mendapat pertolongan. Namun, kemampuan melakukan tindakan tersebut berbeda. Rumah yang tidak rapat, tidak memiliki kipas atau filter, dan berada dekat lokasi kerja luar ruang tidak dapat sepenuhnya melindungi penghuninya. Kebijakan publik perlu menjelaskan langkah yang realistis serta menyediakan fasilitas bersama ketika keluarga tidak mampu melindungi diri sendiri.

Rencana keluarga dapat mencatat anggota yang memiliki penyakit kronis, obat yang harus dibawa, nomor layanan kesehatan, tempat berkumpul, dan jalur evakuasi. Dokumen sederhana dalam bentuk cetak berguna ketika listrik atau jaringan terganggu. Keluarga yang merawat lansia atau penyandang disabilitas dapat menyusun rencana transportasi dan pendamping. Petugas desa dapat membantu memastikan rencana ini tidak hanya menjadi pekerjaan tambahan bagi perempuan atau pengasuh, tetapi didukung oleh layanan dan sumber daya publik.

Masker partikulat dapat mengurangi sebagian paparan bila dipilih dan dipakai dengan benar, tetapi perlindungan bergantung pada kecocokan dan kualitas produk. Warga perlu mendapat informasi yang membedakan masker medis, masker kain, dan respirator partikulat. Anak kecil atau orang dengan kondisi medis tertentu mungkin tidak dapat menggunakan respirator dalam waktu lama. Distribusi masker harus disertai panduan, ukuran yang sesuai, serta alternatif berupa ruang udara bersih dan pengurangan aktivitas di area tercemar.

Kesiapsiagaan rumah tangga bukan alasan untuk memindahkan tanggung jawab kepada individu. Ketika udara tercemar akibat kebakaran yang dapat dicegah, warga tidak seharusnya diperlakukan sebagai pihak yang harus menyelesaikan masalah dengan membeli alat sendiri. Pemerintah

bertanggung jawab menyediakan informasi, layanan, perlindungan, dan pengurangan bahaya di sumber. Rumah tangga dapat berperan dalam pelaporan dan tindakan sederhana, tetapi keselamatan dasar merupakan kepentingan publik.

Komunikasi rumah tangga sebaiknya mempertimbangkan lansia dan anak sebagai penerima informasi yang berbeda. Pesan dapat disampaikan melalui sekolah, posyandu, puskesmas, kelompok warga, pengeras suara, dan media sosial. Pesan harus konsisten mengenai lokasi ruang perlindungan, perubahan jam layanan, dan nomor darurat. Warga perlu tahu kanal resmi mana yang dapat dipercaya serta cara mengonfirmasi informasi yang beredar. Kesiapsiagaan yang inklusif membangun kemampuan komunitas dan mengurangi kepanikan ketika informasi berubah.

36. Keselamatan petugas dan etika operasi pemadaman

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. Manajemen komunikasi publik dan misinformasi

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 sosial dan dukungan bagi keluarga terdampak

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 asap, dampak, 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 daerah dapat dibagi menjadi pemantauan, pencegahan paparan, pelayanan klinis, rujukan, komunikasi, dan pemulihan. Setiap fungsi perlu memiliki indikator kesiapan. Pemantauan dapat menilai apakah data

kualitas udara dan kunjungan gejala tersedia; pencegahan memeriksa ketersediaan ruang aman dan masker; pelayanan klinis menilai obat serta tenaga; rujukan meninjau ambulans dan komunikasi; komunikasi memeriksa pesan dan juru bicara; pemulihan mencakup layanan lanjutan dan dukungan psikososial.

Ambang tindakan perlu dirumuskan bersama ahli kesehatan, pemerintah daerah, dan lembaga pemantau. Ambang tersebut dapat menentukan kapan aktivitas luar ruang dibatasi, kapan klinik membuka layanan tambahan, dan kapan kelompok risiko tinggi dihubungi. Karena nilai kualitas udara dapat berubah cepat, keputusan sebaiknya memanfaatkan rata-rata waktu dan tren, bukan hanya satu pembacaan sesaat. Peringatan harus menjelaskan bahwa tindakan bersifat protektif dan bahwa orang dengan gejala berat tetap memerlukan pemeriksaan medis.

Pelayanan klinis harus disesuaikan dengan gejala dan risiko. Puskesmas dapat menyiapkan alur triase untuk iritasi ringan, eksaserbasi asma, sesak berat, nyeri dada, dan gejala neurologis. Petugas perlu mengetahui kapan pasien dapat dirawat di tingkat primer dan kapan dirujuk. Pasokan obat pengontrol penyakit kronis penting, karena gangguan distribusi selama kabut dapat menyebabkan pasien berhenti terapi. Sistem telepon atau pesan dapat membantu pemantauan pasien tanpa mengharuskan mereka datang ketika udara sangat buruk.

Dukungan kesehatan ibu dan anak perlu dilindungi dari gangguan layanan. Jadwal imunisasi, pemeriksaan kehamilan, dan pelayanan bayi dapat disesuaikan dengan kondisi udara, tetapi tidak boleh dibatalkan tanpa alternatif. Petugas posyandu dan kader dapat menghubungi keluarga, menyediakan jadwal ulang, atau mengarahkan ke lokasi yang lebih aman. Informasi tentang kehamilan dan paparan harus disampaikan secara tenang, berbasis bukti, dan tidak menimbulkan rasa bersalah pada ibu.

Evaluasi kesiapsiagaan kesehatan dapat mengukur waktu respons, ketersediaan obat, jumlah ruang bersih yang berfungsi, kepatuhan pada protokol, dan perubahan gejala di masyarakat. Data kunjungan harus dibandingkan dengan kondisi musiman dan sumber pencemaran lain. Rumah sakit dapat mencatat kejadian sebagai bagian dari sistem surveilans yang aman dan agregat. Hasil evaluasi membantu memperbaiki rencana sebelum musim api berikutnya.

Perlindungan petugas kesehatan sama pentingnya dengan perlindungan pasien. Fasilitas perlu mengatur shift, menyediakan alat pelindung, menjaga ventilasi ruang pelayanan, serta memantau kondisi tenaga kerja. Jika puskesmas berada di area dengan paparan tinggi, relokasi sementara layanan atau penggunaan klinik bergerak dapat dipertimbangkan. Tenaga kesehatan yang sakit atau kelelahan tidak akan mampu mempertahankan layanan bagi masyarakat.

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 lanjutan untuk Indonesia

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 infrastruktur dan layanan 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 kerja sama regional

Kabut asap akibat kebakaran hutan dan lahan merupakan risiko bersama yang dihasilkan oleh proses setempat dan dapat menyebar melampaui batas negara. Kekeringan, kondisi hidrologi gambut, perubahan tutupan lahan, praktik pembukaan, serta tata kelola menentukan apakah api menyala dan bertahan; sirkulasi atmosfer kemudian menghubungkan emisi dengan paparan masyarakat di wilayah lain. Pemisahan antara sumber, lintasan, penerima, dan kelompok rentan membantu memahami sebab tanpa mengaburkan tanggung jawab. Kebakaran tidak dapat diselesaikan hanya melalui diplomasi ketika asap menyeberang, dan tidak pula cukup dengan menindak titik panas tanpa memperbaiki kondisi lanskap.

Kerja sama ASEAN menyediakan kerangka perjanjian, lembaga, dan roadmap untuk menyelaraskan informasi, peringatan, kesiapsiagaan, bantuan, dan langkah jangka panjang. Instrumen tersebut akan menghasilkan perubahan bila focal point dan pusat koordinasi memiliki sumber daya, data yang dapat dibandingkan, aturan operasi yang jelas, serta hubungan langsung dengan otoritas nasional dan lokal. Ketegangan antara konsensus dan kecepatan harus dikelola dengan prosedur yang disepakati terlebih dahulu. Transparansi ilmiah, verifikasi teknis, dan komunikasi yang mengakui ketidakpastian memperkuat kepercayaan tanpa menghilangkan kewajiban pemerintah maupun pelaku usaha.

Agenda utama ialah mencegah kebakaran di sumber, menjaga gambut tetap basah, mengurangi pembukaan dengan api melalui dukungan yang realistis, memperkuat patroli masyarakat, memastikan penegakan yang adil, serta memulihkan ekosistem dan mata pencaharian. Pada saat yang sama, jaringan pemantauan udara, prakiraan transport asap, dan data kesehatan harus mendukung perlindungan warga di seluruh kawasan. Bantuan darurat lintas negara perlu dapat digerakkan cepat di bawah komando yang disepakati, dan pendanaan perlu tersedia sebelum musim kering. Tanggung jawab rantai pasok, perlindungan pekerja, sekolah, fasilitas kesehatan, dan sistem komunikasi publik perlu dibangun sebagai bagian dari kesiapan tahunan.

Peta Jalan ASEAN menargetkan kawasan bebas kabut asap lintas batas pada 2030. Kemajuan menuju sasaran tersebut perlu dinilai dari berkurangnya hari dengan paparan berbahaya, lahan dan permukiman yang terbakar berulang, serta kelompok yang kehilangan layanan dan penghidupan; juga dari bertambahnya wilayah gambut yang terkelola baik, cakupan peringatan yang tepat waktu, tindak lanjut atas pengaduan, dan koordinasi bantuan yang terbukti berfungsi. Pendekatan regional yang adil mengakui keragaman subwilayah, membagikan beban pencegahan, dan melibatkan masyarakat yang hidup di sekitar lanskap rawan. Dengan ukuran hasil yang transparan dan komitmen yang konsisten, kerja sama dapat mengubah krisis musiman menjadi agenda perlindungan bersama yang nyata.

Glossarium

AATHP (ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution): Perjanjian ASEAN untuk kerja sama pengendalian pencemaran asap lintas batas.
ACC THPC: Pusat koordinasi ASEAN untuk pengendalian pencemaran asap lintas batas; simpul koordinasi dan fasilitasi kerja sama.
Atribusi sumber: Penilaian ilmiah mengenai kontribusi lokasi atau jenis sumber terhadap polutan yang terukur di suatu tempat.
Aerosol: Partikel padat atau tetesan cair yang tersuspensi di udara.

ASMC: ASEAN Specialised Meteorological Centre, pusat meteorologi khusus ASEAN yang mendukung pemantauan dan prakiraan terkait kabut asap.
ASEAN Haze-Free Roadmap 2023–2030: Peta jalan kerja sama ASEAN dengan visi kawasan bebas asap lintas batas pada 2030.
Bahaya: Potensi kebakaran dan asap menimbulkan dampak pada manusia, ekosistem, atau aset.
Dampak lintas batas: Dampak lingkungan atau kesehatan yang melintasi batas administratif atau negara.
Focal point nasional: Lembaga atau pejabat yang ditunjuk negara untuk komunikasi dan koordinasi regional.
Gambut: Akumulasi bahan organik yang terbentuk dalam kondisi jenuh air dan dapat menyimpan karbon dalam jumlah besar.
Hotspot/titik panas: Anomali termal yang terdeteksi satelit sebagai petunjuk kemungkinan adanya kebakaran; bukan ukuran langsung luas atau intensitas api.
Indeks kualitas udara: Skala komunikasi kondisi udara yang dapat berbeda metode dan ambangnya antarnegeri.
Kabut asap: Campuran partikel dan gas dari pembakaran yang menurunkan kualitas udara dan/atau jarak pandang.
Kesiapsiagaan: Kegiatan sebelum bencana untuk memastikan lembaga, warga, layanan, dan sumber daya siap bertindak.
Konsentrasi PM2.5: Massa partikel halus berdiameter aerodinamis hingga 2,5 mikrometer per volume udara.
Muka air gambut: Kedalaman permukaan air tanah yang menjadi indikator penting kelembapan dan risiko kebakaran gambut.
Paparan: Kontak manusia atau ekosistem dengan polutan pada konsentrasi dan durasi tertentu.
Penerima (receptor): Wilayah atau populasi yang mengalami konsentrasi asap akibat transport atmosfer dari satu atau beberapa sumber.
Plume: Kolom atau massa udara yang membawa emisi dari sumber dan

bergerak mengikuti atmosfer.
PM2.5: Particulate matter dengan diameter aerodinamis 2,5 mikrometer atau kurang.
Pencegahan: Tindakan untuk mengurangi peluang, luas, atau dampak kebakaran sebelum api terjadi.
Peringatan dini: Informasi bahaya yang cukup cepat, akurat, dan dapat ditindaklanjuti untuk mengurangi risiko.
Sumber (source): Lokasi, kegiatan, atau proses yang melepaskan polutan ke atmosfer.
Transport atmosfer: Pergerakan gas dan partikel oleh angin, turbulensi, konveksi, dan proses meteorologi lain.
Titik panas aktif: Deteksi termal pada waktu pengamatan yang mengindikasikan kemungkinan pembakaran aktif, dengan keterbatasan resolusi dan tutupan awan.
Variabilitas ENSO: Variasi iklim antarwaktu yang berkaitan dengan El Niño dan La Niña serta memengaruhi curah hujan dan risiko kebakaran.
Kerentanan: Keadaan sosial, kesehatan, ekonomi, atau ekologis yang membuat pihak tertentu lebih mudah terdampak dan lebih sulit pulih.
Masa tanggap: Periode respons terorganisasi setelah bahaya terdeteksi, termasuk komunikasi, bantuan, dan perlindungan publik.
Pemodelan paparan: Perkiraan konsentrasi polutan dan jumlah penduduk terpapar dengan menggabungkan pengukuran, model, dan data populasi.
Tinjauan sejawat regional: Proses pembelajaran antarnegara dengan menelaah data, kebijakan, dan hasil secara terstruktur.

Daftar Pustaka

ASEAN. (2002). ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution. https://hazeportal.asean.org/asean-agreement-on-transboundary-haze-pollution/

ASEAN Secretariat. (2023). The second roadmap for ASEAN cooperation on transboundary haze pollution control with means of implementation (ASEAN Haze-Free Roadmap 2023–2030). https://asean.org/book/the-second-roadmap-for-asean-cooperation-on-transboundary-haze-pollution-control-with-means-of-implementation/

ASEAN Treaty Division. (2026). Agreement on the Establishment of the ASEAN Co-ordinating Centre for Transboundary Haze Pollution Control: Instruments of ratification and agreement status. Retrieved October 16, 2026, from https://agreement.asean.org/agreement/detail/407.html

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

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

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

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

Heilmann, D. (2015). After Indonesia's ratification: The ASEAN Agreement on Transboundary Haze Pollution and its effectiveness as a regional environmental governance tool. Journal of Current Southeast Asian Affairs, 34(3), 95–121. https://doi.org/10.1177/186810341503400304

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

Kementerian Lingkungan Hidup/Badan Pengendalian Lingkungan Hidup. (2026, April 22). Menteri LH resmikan komando polusi asap lintas batas, perkuat diplomasi lingkungan Indonesia. https://kemenlh.go.id/news/detail/menteri-lh-resmikan-komando-polusi-asap-lintas-batas-perkuat-diplomasi-lingkungan-indonesia

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

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

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

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