El Niño sebagai Pemicu Kekeringan:
Tantangan bagi Ketahanan Lingkungan Indonesia



EL NIÑO MEMICU KEKERINGAN

Pergeseran sirkulasi tropis menurunkan peluang hujan di sebagian Indonesia. Dampaknya berbeda menurut wilayah dan musim.

RISIKO LINGKUNGAN

- Air sungai dan tanah menyusut
- Stres hutan dan biodiversitas
- Gambut mengering; risiko karhutla naik
- Asap dan emisi mengganggu ekosistem

APA YANG MEMPERBESAR DAMPAK?

- El Niño + IOD dan monsun
- Tutupan lahan terdegradasi
- Drainase gambut dan tata kelola air lemah

STRATEGI MEMPERKUAT KETAHANAN

- Pantau hujian, debit, tanah, dan muka air gambut
- Lindungi DAS, mata air, dan lahan basah
- Pulihkan hidrologi gambut; cegah pembakaran
- Kelola tanah dan lanskap secara adaptif
- Libatkan pemerintah, peneliti, usaha, dan warga

PESAN UTAMA

El Niño adalah pemicu; kondisi lanskap dan keputusan manusia menentukan besarnya kerusakan.

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

El Niño sebagai Pemicu Kekeringan: Tantangan bagi Ketahanan Lingkungan Indonesia

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

IBM-ASMI | RudyCT Academic Series

RudyCT Academic Series

Abstrak

El Niño merupakan fase hangat El Niño–Southern Oscillation (ENSO) yang mengubah hubungan laut–atmosfer di Pasifik tropis dan meningkatkan peluang defisit hujan di sebagian wilayah Indonesia. Fenomena ini dapat memicu kekeringan meteorologis, yang selanjutnya berkembang menjadi kekeringan pertanian dan hidrologis apabila berlangsung lama. Akan tetapi, El Niño tidak bekerja sendiri dan bukan penyebab tunggal kerusakan lingkungan. Intensitas dampak ditentukan oleh fase Indian Ocean Dipole (IOD), monsun, kondisi lokal, perubahan tutupan lahan, kapasitas tampungan air, drainase gambut, tata kelola, serta paparan dan kerentanan masyarakat. Artikel ini membahas mekanisme kekeringan terkait El Niño dan implikasinya bagi siklus air, tanah, hutan, gambut, kebakaran, keanekaragaman hayati, karbon, pertanian, wilayah perkotaan, dan kesehatan ekosistem. Ketahanan lingkungan dipahami sebagai kemampuan ekosistem dan masyarakat untuk mempertahankan fungsi penting, menyerap gangguan, pulih, serta beradaptasi tanpa mengikis basis ekologisnya. Dengan menggunakan sintesis

literatur dan contoh Indonesia, artikel mengusulkan strategi yang memadukan pemantauan iklim dan hidrologi, perlindungan daerah tangkapan air, restorasi gambut, pencegahan api, pengelolaan tanah dan lanskap, sistem peringatan dini, pembiayaan adaptasi, dan tata kelola kolaboratif. Informasi BMKG yang tersedia pada Oktober 2026 menggambarkan episode El Niño sangat kuat serta potensi keterlambatan musim hujan 2026/2027 di banyak Zona Musim; keadaan operasional ini perlu diperbarui mengikuti pemantauan resmi. Kesimpulan utama ialah bahwa El Niño merupakan pemicu bahaya, sedangkan kualitas pengelolaan lanskap dan kelembagaan menentukan apakah kekeringan berubah menjadi krisis lingkungan yang luas.

Kata kunci: El Niño; ENSO; kekeringan; ketahanan lingkungan; Indonesia; gambut; kebakaran hutan dan lahan; sumber daya air; adaptasi ekosistem

1. Pendahuluan

Indonesia memiliki kekayaan ekosistem yang bergantung pada keteraturan siklus air: hutan hujan, lahan gambut, mangrove, sawah, danau, sungai, serta bentang alam savana dan pulau-pulau kering. Ketergantungan tersebut menjadikan perubahan distribusi hujan sebagai persoalan lingkungan dan pembangunan. Kekeringan bukan hanya ketiadaan hujan, melainkan proses yang mengubah kelembapan tanah, aliran sungai, muka air tanah, produktivitas tumbuhan, fungsi habitat, dan akses manusia terhadap air. Pada sistem tropis yang umumnya lembap, satu musim kering yang memanjang dapat menciptakan tekanan ekologis yang tidak biasa.

El Niño sering dipakai sebagai penjelasan ringkas bagi musim kering di Indonesia. Penjelasan itu berguna, tetapi tidak lengkap apabila mengabaikan interaksi dengan IOD, monsun Australia, dinamika laut sekitar kepulauan, dan kondisi lanskap. Pengalaman 1997–1998 dan 2015 memperlihatkan bagaimana kekeringan yang bertepatan dengan perubahan penggunaan

lahan dan pengeringan gambut dapat meningkatkan kebakaran dan kabut asap. Penelitian menunjukkan bahwa kekeringan dapat menjadi pemicu, sedangkan cara lahan dikelola menentukan besarnya kerusakan (Field et al., 2016; Tacconi, 2003).

Tulisan ini memusatkan perhatian pada ketahanan lingkungan Indonesia ketika El Niño meningkatkan risiko kekeringan. Pembahasan bergerak dari mekanisme iklim menuju konsekuensi ekologis dan pilihan respons. Fokusnya bukan meniadakan variabilitas alam, tetapi mengurangi kerentanan yang dibangun oleh keputusan manusia. Kerangka ini relevan bagi perencanaan tata ruang, pengelolaan air, konservasi biodiversitas, pengendalian karhutla, pendidikan, serta manajemen pemerintahan dan usaha.

2. El Niño dan mekanisme pengurangan hujan

ENSO adalah interaksi laut dan atmosfer di Pasifik tropis yang memiliki fase hangat (El Niño), fase dingin (La Niña), dan fase netral. Pada kondisi netral, angin pasat mendorong air hangat ke Pasifik barat, dekat Indonesia, sehingga konveksi dan pembentukan awan relatif aktif. Saat El Niño berkembang, anomali pemanasan di Pasifik tengah atau timur dan pelemahan angin pasat menggeser pusat hujan tropis. Sirkulasi Walker berubah: gerak naik udara dan hujan bergeser ke arah timur, sedangkan subsiden atau gerak turun udara cenderung lebih dominan di sebagian wilayah maritim Indonesia (NOAA, n.d.).

Pemantauan El Niño memakai anomali suhu muka laut dan respons atmosfer. Indeks Niño 3.4 merupakan salah satu indikator yang umum digunakan, tetapi interpretasi operasional dapat berbeda antar lembaga karena metode pembaruan indeks, periode acuan, dan kriteria atmosfer. Intensitas fenomena di Pasifik tidak identik dengan intensitas kekeringan pada suatu kabupaten. El Niño meningkatkan peluang pola tertentu; hujan yang benar-benar terjadi masih dipengaruhi kondisi regional dan lokal.

Pengurangan konveksi di sekitar Indonesia dapat mengurangi peluang hujan, menunda awal musim hujan, memanjangkan jeda kering, atau mengurangi jumlah hari hujan. Efek biasanya lebih terasa ketika El Niño terjadi bersamaan dengan musim kemarau. Perbedaan ini menjelaskan mengapa satu laporan nasional tidak cukup untuk mengambil keputusan lokal. Peta Zona Musim BMKG, pemantauan hari tanpa hujan, data stasiun, serta pengamatan masyarakat perlu dibaca bersama.

3. Dari defisit hujan menuju kekeringan lingkungan

Kekeringan berkembang melalui beberapa dimensi. Kekeringan meteorologis bermula ketika curah hujan berada di bawah kondisi normal. Jika defisit berlangsung, kadar air di tanah turun dan tanaman mengalami kekeringan pertanian. Pada waktu lebih panjang, debit sungai, danau, waduk, dan air tanah menurun sehingga muncul kekeringan hidrologis. Perubahan tersebut tidak berlangsung serentak; respons tanah, vegetasi, dan akuifer bergantung pada simpanan awal, jenis tanah, tutupan vegetasi, serta aliran masuk dan keluar.

Kekeringan ekologis terjadi ketika ketersediaan air tidak cukup untuk mempertahankan fungsi ekosistem dan layanan yang menopang kehidupan. Indikatornya dapat berupa stres vegetasi, perubahan habitat, penurunan reproduksi spesies, meningkatnya mortalitas pohon, atau terganggunya proses ekologis. Dimensi ini sering kurang tampak dalam statistik bencana karena kerusakan berkembang perlahan dan mungkin tidak segera menimbulkan korban manusia. Padahal, kehilangan fungsi ekologis dapat memperpanjang krisis dan mengurangi kemampuan lanskap menghadapi gangguan berikutnya.

Pengukuran kekeringan membutuhkan beberapa indikator. SPI menganalisis anomali presipitasi dalam rentang waktu tertentu; SPEI turut

mempertimbangkan kebutuhan evaporatif; indeks kelembapan tanah dan muka air tanah menunjukkan respons simpanan; indeks vegetasi satelit memperlihatkan perubahan kehijauan. Tidak ada satu angka yang dapat mewakili seluruh risiko. Penggunaan indikator gabungan membantu membedakan apakah masalah berasal dari defisit hujan singkat, kekeringan tanah, atau penurunan simpanan hidrologis yang lebih dalam.

4. Pola regional Indonesia

Pengaruh El Niño di Indonesia memiliki variasi ruang dan musim. Studi Setiawan, Lee, dan Rhee (2017) menemukan bahwa pada kejadian El Niño sedang dan kuat, kekeringan meteorologis lebih sering muncul di Sumatra bagian selatan, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Kalimantan tenggara, Sulawesi, Maluku, dan Papua. Temuan tersebut merupakan pola klimatologis, bukan prediksi deterministik bagi setiap tahun. Daerah lain dapat memiliki respons berbeda karena konveksi lokal, topografi, atau suhu laut di sekitar wilayahnya.

Wilayah dengan musim kering alami panjang menghadapi tantangan berbeda dari wilayah lembap dengan ekosistem gambut. Di Nusa Tenggara, defisit air dapat segera memengaruhi mata air, ternak, tanaman tadah hujan, dan kebutuhan rumah tangga. Di Jawa, kepadatan penduduk serta permintaan pertanian, industri, dan perkotaan menciptakan kompetisi atas sumber air. Di Sumatra dan Kalimantan, kekeringan dapat berinteraksi dengan drainase gambut dan pembukaan lahan, meningkatkan risiko api.

Variasi regional menuntut pendekatan berbasis bentang alam. Batas administratif berguna bagi tata kelola, tetapi air bergerak mengikuti DAS, sedangkan api dan asap melintasi kabupaten serta negara. Pemetaan risiko perlu menghubungkan wilayah hulu dan hilir, lahan mineral dan gambut, pusat permukiman, kawasan konservasi, serta jaringan transportasi dan

energi. Informasi lokal menjadi penting untuk menetapkan ambang tindakan, bukan hanya untuk memperindah peta nasional.

5. El Niño, IOD, dan monsun

Indian Ocean Dipole mengacu pada variasi gradien suhu permukaan laut di Samudra Hindia. Pada IOD positif, perairan barat Samudra Hindia relatif lebih hangat daripada bagian timur dekat Indonesia; kondisi ini dapat mengurangi suplai uap air ke sebagian Indonesia. ENSO dan IOD dapat muncul berdekatan, sehingga kontribusi masing-masing sulit dipisahkan. Kajian hujan ekstrem di Indonesia menunjukkan pengaruh ENSO dan IOD paling kuat pada musim kering JJA–SON, dengan kondisi yang lebih kering saat El Niño dan IOD positif (Kurniadi et al., 2021).

Monsun Australia membawa angin timuran yang umumnya mendukung musim kering di banyak bagian Indonesia. Ketika monsun bertemu kondisi El Niño dan IOD positif, dampak pengeringan dapat berlanjut atau lebih besar. Namun, hubungan antar faktor tidak selalu linear dan berbeda menurut pulau maupun waktu. Pengelola lingkungan perlu menghindari penyederhanaan bahwa satu indeks akan menjelaskan semua dinamika hujan. D'Arrigo et al. (2008) menunjukkan bahwa memasukkan kondisi Samudra Hindia bersama Niño 3.4 dapat meningkatkan kemampuan memperkirakan kekeringan di Jawa dibandingkan penggunaan Niño 3.4 saja.

Perencanaan yang baik menggabungkan prakiraan ENSO-IOD dengan prediksi musim, pemantauan lokal, serta informasi hidrologi. Pada tingkat ekosistem, muka air gambut dapat memberi sinyal kondisi risiko lebih dekat daripada indeks laut berskala global. Pada DAS, debit sungai dan kelembapan tanah dapat menjadi indikator respons. Informasi multi-skala membantu mengidentifikasi kapan ancaman global telah berubah menjadi tekanan ekologis lokal.

6. Ketahanan lingkungan: makna dan dimensi

Ketahanan lingkungan merujuk pada kemampuan ekosistem dan sistem sosial-ekologis untuk mempertahankan fungsi penting ketika menghadapi gangguan, menyerap perubahan, pulih, dan menyesuaikan diri. Ketahanan tidak berarti suatu ekosistem harus kembali persis seperti keadaan sebelumnya. Pada kondisi perubahan yang cepat, pemulihan yang terlalu berorientasi pada keadaan historis dapat mengabaikan perubahan iklim, kebutuhan penghidupan, atau struktur lanskap baru. Yang penting ialah fungsi dasar seperti penyimpanan air, perlindungan tanah, habitat, penyerapan karbon, dan akses masyarakat tetap terjaga.

Ketahanan memiliki dimensi ekologis, sosial, kelembagaan, dan ekonomi. Ekologis meliputi keragaman spesies, konektivitas habitat, serta kemampuan tanah dan vegetasi menahan air. Sosial mencakup pengetahuan, jaringan komunitas, dan akses terhadap sumber daya. Kelembagaan meliputi kewenangan, data, anggaran, dan koordinasi. Ekonomi berkaitan dengan kemampuan rumah tangga dan organisasi bertahan dari gangguan tanpa menghabiskan modal produktif.

Ketahanan perlu dibedakan dari ketangguhan jangka pendek yang diperoleh dengan mengalihkan biaya ke sistem lain. Misalnya, ekstraksi air tanah dapat mempertahankan pasokan saat kering, tetapi jika tidak dikendalikan akan menurunkan muka tanah atau merusak akuifer. Pengeringan gambut mungkin memudahkan produksi dalam jangka pendek, tetapi meningkatkan emisi, subsidensi, dan risiko api. Penilaian ketahanan perlu memperhitungkan dampak lintas waktu dan lintas kelompok.

7. Siklus air dan daerah tangkapan

Ekosistem mengatur air melalui infiltrasi, penyimpanan tanah, evapotranspirasi, limpasan, dan aliran dasar. Hutan dan vegetasi alami

membantu menjaga struktur tanah dan mengurangi erosi, walaupun pengaruhnya terhadap jumlah air yang tersedia bergantung pada jenis vegetasi, tanah, iklim, dan perubahan tutupan. Saat kekeringan, simpanan air pada tanah dan akuifer menjadi penyangga bagi sungai serta masyarakat. Jika daerah tangkapan telah terdegradasi, cadangan tersebut lebih cepat menyusut.

Perubahan hutan menjadi permukiman atau lahan produksi dapat mengubah limpasan dan infiltrasi. Kanal, jalan, pemadatan tanah, dan drainase mengarahkan air keluar lebih cepat, mengubah pola banjir dan kekeringan. Dampak tidak selalu searah untuk semua lokasi; faktor seperti kondisi tanah dan konfigurasi lanskap menentukan hasil. Karena itu, kebijakan DAS perlu berdasarkan data hidrologi dan kajian lokal, bukan asumsi bahwa satu jenis tutupan selalu memberi efek identik.

Pengelolaan DAS terpadu menyatukan perlindungan hulu, konservasi tanah, pemeliharaan sungai, pengendalian ekstraksi air tanah, dan tata kelola pemanfaatan di hilir. Pemerintah daerah, pengelola bendungan, petani, industri, dan masyarakat perlu berbagi informasi tentang kebutuhan dan ketersediaan air. Kesepakatan pembagian air sebaiknya dibuat sebelum simpanan mencapai kondisi kritis agar konflik tidak menjadi satu-satunya mekanisme penentuan prioritas.

8. Tanah dan produktivitas ekosistem

Kelembapan tanah memengaruhi pertumbuhan tumbuhan, aktivitas mikroba, pelapukan bahan organik, dan ketersediaan unsur hara. Kekeringan dapat menghambat fotosintesis, menutup stomata, memperlambat pertumbuhan, dan meningkatkan risiko kematian bibit. Di tanah yang mudah tererosi, vegetasi yang menipis membuat permukaan lebih rentan terhadap angin dan hujan lebat pertama setelah masa kering. Dampak tersebut dapat

menurunkan kualitas tanah secara bertahap, sekalipun curah hujan kembali normal.

Mikroorganisme tanah turut mengatur siklus karbon dan nutrien. Studi pada hutan dipterokarpa Indonesia menunjukkan bahwa kekeringan dapat memengaruhi dinamika biomassa mikroba dan ketersediaan fosfor yang berkaitan dengan reproduksi pohon tropis (Fujii et al. (2024)). Perubahan proses mikroba tidak selalu terlihat pada survei vegetasi jangka pendek. Riset lingkungan karena itu memerlukan pemantauan berulang yang menghubungkan tanah, air, dan respons tumbuhan.

Konservasi tanah mengurangi sensitivitas terhadap kekeringan. Penutup tanah, agroforestri, mulsa, teras kontur, vegetasi penyangga, dan praktik pengurangan pemadatan membantu mempertahankan kelembapan. Di lahan pertanian, praktik tersebut dapat meningkatkan ketahanan produksi, sementara di hutan dan kawasan restorasi fokusnya adalah menjaga regenerasi alami. Intervensi harus disesuaikan dengan jenis tanah dan tujuan pengelolaan, sebab teknik yang efektif pada satu ekosistem belum tentu tepat pada ekosistem lain.

9. Hutan tropis dan tekanan kekeringan

Hutan tropis umumnya tidak beradaptasi terhadap kekeringan panjang dengan cara yang sama seperti hutan kering. Defisit air dapat menekan fotosintesis, menghambat pembentukan daun dan buah, meningkatkan kerentanan terhadap hama, serta memicu kematian pohon. Respons berbeda berdasarkan spesies, umur, kedalaman akar, kondisi tajuk, dan sejarah gangguan. Hutan yang terfragmentasi atau mengalami penebangan selektif dapat lebih rentan karena tepi hutan lebih panas dan kering.

El Niño berpotensi mengubah dinamika kebakaran pada hutan yang telah terganggu. Api dapat merusak lapisan tanah, mengubah komposisi spesies,

mengurangi pohon besar, dan membuat vegetasi sekunder lebih mudah terbakar pada musim berikutnya. Terbentuklah umpan balik antara degradasi, bahan bakar kering, dan kebakaran berulang. Konservasi hutan utuh dan pencegahan degradasi menjadi strategi adaptasi, bukan sekadar program perlindungan biodiversitas.

Pemantauan hutan dapat menggabungkan data lapangan, citra satelit, inventarisasi spesies, dan indikator kelembapan. Citra satelit membantu mendeteksi perubahan luas, tetapi interpretasi perlu diverifikasi di lapangan untuk membedakan kekeringan sementara, kebakaran, penebangan, dan perubahan fenologi. Pelibatan komunitas sekitar hutan memperkuat pemantauan dan menjaga agar tindakan konservasi terkait dengan hak serta penghidupan masyarakat.

10. Gambut sebagai penyimpan air dan karbon

Gambut terbentuk dari akumulasi bahan organik dalam kondisi jenuh air. Struktur ini menyimpan karbon dalam jumlah besar dan berfungsi sebagai reservoir air lanskap. Ketika muka air turun akibat drainase, gambut mengering dan teroksidasi, mengalami subsidensi, serta menjadi lebih rentan terhadap api. El Niño dapat memperkuat defisit air melalui penurunan hujan dan penguapan yang berlangsung saat periode kering.

Pengamatan 27 tahun pada hutan gambut Kalimantan Tengah menunjukkan muka air tanah turun tajam pada kejadian super El Niño 1997/1998 dan 2015, serta kejadian IOD positif 2019. Studi tersebut juga menemukan bahwa penurunan muka air paling rendah dapat terjadi beberapa minggu sebelum puncak indikator El Niño atau IOD, sehingga pemantauan hidrologi gambut berpotensi menjadi sistem peringatan dini lokal (Sulaiman et al., 2023). Ini memperlihatkan nilai pengamatan ekosistem langsung.

Penelitian lapangan jangka panjang di tiga lokasi gambut Indonesia menemukan bahwa kekeringan, asap, drainase, dan degradasi mengubah neraca karbon ekosistem; dampak drainase pada emisi berlangsung lama dan dapat lebih besar daripada gangguan sementara akibat kekeringan (Hirano et al., 2024). Restorasi gambut karenanya harus menjawab penyebab struktural: sistem kanal, tata guna lahan, tata kelola konsesi, mata pencaharian, dan pemeliharaan. Penanaman kembali tanpa pemulihan hidrologi tidak cukup.

11. Kebakaran hutan dan lahan sebagai gangguan majemuk

Kekeringan membuat bahan bakar vegetasi dan gambut lebih mudah terbakar, tetapi sumber penyalaan sering terkait tindakan manusia. Kebakaran besar muncul ketika cuaca kering, praktik pembukaan lahan dengan api, lahan terdrainase, angin, dan keterbatasan pemadaman bertemu. Penelitian 2015 menunjukkan sensitivitas api dan polusi asap terhadap kekeringan tidak linear; setelah kondisi kering melewati ambang tertentu, dampak dapat meningkat cepat (Field et al., 2016).

El Niño karena itu lebih tepat dipahami sebagai pemicu dan penguat bahaya, bukan satu-satunya penyebab kebakaran. Cara ini penting untuk kebijakan: jika narasi hanya menyalahkan iklim, pencegahan berbasis penggunaan lahan dan penegakan aturan akan terabaikan. Studi hubungan ENSO-IOD dengan area terbakar menunjukkan bahwa luas terbakar meningkat pada fase El Niño atau IOD positif, dengan variasi antarwilayah dan dampak yang paling besar ketika kondisi ekstrem bertepatan (Nurdiati et al., 2022).

Pencegahan dimulai sebelum hotspot terdeteksi. Pengelolaan muka air gambut, patroli, pemantauan curah hujan, penyediaan alat, pelatihan masyarakat, dan penataan kegiatan usaha perlu diaktifkan berdasarkan indikator risiko. Respons pemadaman harus melindungi keselamatan petugas dan warga. Evaluasi perlu mengukur kejadian api berulang, lama gangguan

kualitas udara, luas gambut yang tetap basah, dan efektivitas mekanisme tanggung jawab pelaku.

12. Asap, karbon, dan umpan balik iklim

Kebakaran vegetasi dan gambut melepaskan karbon dioksida, karbon monoksida, partikulat, serta senyawa lain ke atmosfer. Asap mengurangi kualitas udara, mengganggu kesehatan, dan dapat mengurangi radiasi matahari yang diterima tumbuhan. Dalam jangka pendek, asap menghambat fotosintesis; dalam jangka panjang, pembakaran gambut dan dekomposisi meningkatkan emisi karbon. Pengeringan gambut akibat drainase juga dapat mengubah ekosistem penyerap karbon menjadi sumber emisi.

Hubungan ini membentuk umpan balik. Kekeringan dan drainase memperbesar peluang kebakaran; kebakaran melepaskan karbon dan merusak vegetasi; kehilangan tutupan dapat mengurangi perlindungan tanah dan air; lanskap yang lebih kering kemudian lebih mudah terbakar. Mengurangi kebakaran memberi manfaat iklim sekaligus ekologis dan kesehatan. Sebaliknya, mengukur keberhasilan hanya dari pengurangan emisi dapat melewatkan dampak pada biodiversitas, kualitas air, dan penghidupan.

Akuntansi karbon perlu memperhitungkan batas sistem dan waktu. Emisi kebakaran, oksidasi gambut, perubahan stok biomassa, dan pemulihan vegetasi berlangsung dalam skala waktu berbeda. Pengukuran lapangan, penginderaan jauh, dan model dapat saling melengkapi, tetapi ketidakpastian perlu dilaporkan. Pengetahuan ini penting untuk menilai apakah proyek restorasi benar-benar memulihkan fungsi ekosistem atau hanya mengganti tutupan vegetasi.

13. Biodiversitas, habitat, dan konektivitas

Kekeringan dapat mengubah ketersediaan pakan, tempat berlindung, dan lokasi reproduksi. Spesies yang memiliki rentang habitat sempit atau bergantung pada badan air tertentu lebih rentan. Kebakaran yang mengikuti musim kering dapat menghancurkan habitat secara langsung, membunuh satwa, dan mengganggu koridor pergerakan. Fragmentasi memperkecil peluang organisme berpindah ke tempat yang masih sesuai ketika kondisi lokal memburuk.

Ketahanan biodiversitas bergantung pada keragaman habitat dan konektivitas lanskap. Koridor ekologis, hutan riparian, sempadan danau, dan mosaik vegetasi alami dapat menyediakan ruang perlindungan serta jalur perpindahan. Pengelolaan kawasan lindung perlu mempertimbangkan ancaman kekeringan, bukan hanya tekanan perambahan atau perburuan. Pemantauan satwa dan vegetasi pada periode kering membantu mengenali tanda stres sebelum terjadi penurunan populasi yang besar.

Restorasi ekosistem sebaiknya menggunakan spesies lokal dan memperhatikan proses alami. Penanaman satu jenis secara luas dapat meningkatkan kerentanan terhadap hama, api, dan perubahan iklim. Di lahan gambut, jenis yang ditanam perlu sesuai dengan hidrologi; di daerah kering, regenerasi harus mempertimbangkan ketersediaan air dan tekanan penggembalaan. Keberhasilan restorasi diukur dari fungsi habitat dan kemampuan pulih, bukan sekadar jumlah bibit.

14. Lahan basah, danau, sungai, dan mata air

Lahan basah danau serta rawa menampung air, menyediakan habitat, dan menjaga kualitas air. Defisit hujan yang berkepanjangan dapat menurunkan muka air, meningkatkan suhu, mengubah konsentrasi zat terlarut, dan memperkecil habitat ikan. Sungai dengan aliran dasar rendah lebih rentan

terhadap pencemaran karena kapasitas pengencerannya menurun. Dampak ekologis kemudian berhubungan dengan perikanan, kebutuhan domestik, dan kegiatan ekonomi di sepanjang aliran.

Mata air dan daerah imbuhan merupakan infrastruktur alami yang tidak mudah digantikan ketika kering. Pembukaan lahan, pengambilan air berlebihan, dan pembangunan yang menutup tanah dapat mengurangi pengisian akuifer. Perlindungan lokasi imbuhan perlu didukung pengaturan tata ruang, konservasi vegetasi, serta kesepakatan dengan pemilik lahan dan masyarakat. Pemantauan debit dan kualitas air perlu dilakukan lintas musim, bukan hanya setelah krisis muncul.

Pengelolaan danau dan sungai memerlukan target ekologis, misalnya aliran minimum untuk menjaga habitat serta kualitas air. Target itu perlu diselaraskan dengan kebutuhan manusia dan kapasitas waduk. Ketika air terbatas, pengaturan pelepasan secara transparan dan berbasis data dapat mengurangi kerusakan ekosistem hilir. Kondisi darurat tidak menghapus kebutuhan menjaga aliran yang menopang biodiversitas dan mata pencaharian.

15. Pertanian dan lanskap produksi

Pertanian merupakan bagian dari lingkungan dan juga penggerak perubahan lanskap. Kekeringan menurunkan produktivitas tanaman, mengubah kalender tanam, meningkatkan kebutuhan pompa, dan dapat mendorong ekspansi ke kawasan baru. Tekanan ekonomi dapat membuat petani mengambil keputusan yang meningkatkan erosi atau penggunaan air. Kebijakan adaptasi perlu menghindari solusi yang memindahkan dampak, misalnya mengebor air tanah tanpa batas atau mengeringkan lahan basah untuk mempertahankan produksi jangka pendek.

Praktik agroekologi dan konservasi dapat membantu menyimpan kelembapan, menjaga struktur tanah, dan meningkatkan diversitas. Agroforestri, tanaman penutup tanah, rotasi, mulsa, varietas lokal, dan pengelolaan residu dapat diterapkan sesuai konteks. Penyuluh dan kelompok tani dapat menafsirkan prakiraan BMKG untuk memilih waktu tanam dan komoditas. Keputusan tersebut perlu memperhitungkan akses pasar, ketersediaan benih, risiko hama, tenaga kerja, dan kebutuhan pangan rumah tangga.

Rantai pasok pangan perlu memahami risiko asal bahan baku. Perusahaan dapat menghindari pemasok yang memperluas lahan melalui pembakaran, membantu petani menjaga tutupan dan air, serta menyiapkan sumber alternatif. Kebijakan pengadaan pemerintah dapat mendukung komoditas lokal yang lebih tahan terhadap variasi hujan. Dengan demikian, adaptasi produksi tidak dibatasi pada petak usaha tani, tetapi meliputi ekosistem dan institusi pasar.

16. Daerah perkotaan dan ketahanan air

Kota bergantung pada sumber air yang sering terletak di luar batas administrasinya. Kekeringan di hulu dapat mengurangi pasokan perkotaan, sementara pertumbuhan permukiman meningkatkan kebutuhan. Kebocoran jaringan, ekstraksi air tanah, dan hilangnya daerah resapan memperbesar kerentanan. Sistem distribusi tidak merata membuat warga berpenghasilan rendah lebih sulit menghadapi pembatasan dan harus membeli air dengan harga lebih tinggi.

Kota dapat memperkuat ketahanan melalui audit kehilangan air, perlindungan daerah tangkapan, pemanfaatan tampungan hujan, penggunaan kembali air untuk keperluan yang sesuai, dan pengendalian ekstraksi air tanah. Ruang terbuka hijau dan koridor biru membantu meredam panas serta memperbaiki

infiltrasi apabila dirancang dengan tepat. Infrastruktur perlu dievaluasi terhadap perubahan iklim, kebutuhan pemeliharaan, dan dampak terhadap komunitas di hulu.

Rencana kontinuitas layanan perlu mengidentifikasi rumah sakit, sekolah, pemadam kebakaran, sanitasi, dan kelompok yang memerlukan bantuan. Pembagian air pada masa kekeringan harus memiliki kriteria yang diumumkan, mekanisme pengaduan, dan prioritas yang berkeadilan. Pengelola kota dapat memantau waduk, debit, kualitas air, permintaan, serta kondisi daerah tangkapan dalam satu sistem koordinasi.

17. Pesisir, mangrove, dan perikanan

Kekeringan daratan dapat memengaruhi sistem pesisir melalui berkurangnya debit air tawar, perubahan salinitas muara, serta pasokan sedimen dan nutrien. Mangrove dan rawa pesisir bergantung pada keseimbangan air, pasang surut, dan konektivitas dengan sungai. Perubahan aliran air dapat memengaruhi habitat, sementara tekanan penggunaan lahan membuat sistem pesisir kurang mampu pulih dari gangguan.

Perikanan dapat dipengaruhi oleh perubahan suhu, sirkulasi laut, ketersediaan pakan, dan kondisi cuaca. Hubungan ini berbeda menurut spesies dan wilayah; kebijakan tidak boleh menyamaratakan respons. Nelayan memerlukan informasi cuaca dan laut, akses pasar, keselamatan pelayaran, dan opsi penghidupan ketika hasil tangkap menurun. Perlindungan habitat pesisir memberi manfaat bagi pembesaran ikan dan ketahanan terhadap berbagai tekanan.

Pengelolaan pesisir perlu mempertahankan konektivitas sungai–muara–laut serta menghindari pembangunan yang memotong aliran alami. Restorasi mangrove perlu didasarkan pada kesesuaian lokasi dan hidrologi, bukan semata penanaman bibit. Pengawasan dan pengelolaan kawasan perlu

melibatkan masyarakat pesisir karena penghidupan, pengetahuan, dan tata kelola ruang mereka merupakan bagian dari ketahanan ekosistem.

18. Kesehatan ekosistem dan masyarakat

Kekeringan memengaruhi kesehatan manusia melalui panas, berkurangnya air bersih, pangan, dan meningkatnya kebakaran. Asap dapat membawa partikulat halus yang berdampak pada sistem pernapasan dan kardiovaskular. Lingkungan yang kekurangan air juga dapat mengganggu sanitasi. Dampak kesehatan berinteraksi dengan kondisi kerja, kualitas hunian, akses layanan, dan kemampuan memperoleh informasi.

Kesehatan ekosistem dan kesehatan manusia tidak terpisah. Hutan dan lahan basah menyediakan jasa pengaturan air, penyangga iklim lokal, dan sumber penghidupan. Kerusakan ekosistem dapat meningkatkan paparan bencana serta mengurangi akses terhadap pangan dan bahan alam. Pendekatan One Health dan kesehatan planet menekankan pentingnya menghubungkan kesehatan manusia, hewan, dan ekosistem dalam perencanaan serta pemantauan.

Fasilitas kesehatan perlu menyiapkan cadangan air, listrik, obat, dan prosedur kerja saat asap atau panas meningkat. Pemerintah daerah dapat memantau kualitas udara, menyediakan pesan berbasis tingkat risiko, dan mengatur pekerjaan luar ruang. Kelompok rentan seperti anak, lansia, ibu hamil, pekerja informal, dan masyarakat yang tinggal dekat kebakaran memerlukan perhatian khusus. Pencegahan lingkungan tetap menjadi strategi kesehatan publik yang paling mendasar.

19. Masyarakat dan kerentanan sosial-ekologis

Ketahanan lingkungan dipengaruhi akses terhadap lahan, air, informasi, teknologi, dan layanan. Masyarakat adat dan komunitas lokal sering memiliki

pengetahuan tentang tanda musim, sumber air, dan pengelolaan vegetasi, tetapi akses terhadap keputusan formal tidak selalu setara. Kebijakan konservasi atau restorasi yang mengabaikan hak dan pengetahuan lokal dapat memicu konflik dan melemahkan kepatuhan.

Kerentanan sosial juga berkaitan dengan pendapatan, gender, kesehatan, usia, dan lokasi permukiman. Rumah tangga yang tidak memiliki tabungan lebih sulit membeli air atau mengganti kehilangan hasil. Perempuan dapat memikul tambahan beban memperoleh air; anak dapat kehilangan waktu sekolah. Adaptasi yang adil mengidentifikasi kelompok yang menanggung biaya dan memberi ruang untuk ikut menentukan pilihan.

Partisipasi bermakna bukan sekadar mengundang warga dalam sosialisasi. Komunitas perlu terlibat sejak penentuan masalah, pemilihan tindakan, tata kelola data, pelaksanaan, dan evaluasi. Mekanisme pengaduan dan pembagian manfaat yang transparan dapat mencegah elite capture. Ketika warga diperlakukan sebagai mitra, pengetahuan lokal dan pengamatan lapangan memperkaya data ilmiah.

20. Sistem peringatan dini dan pemantauan ekosistem

Sistem peringatan dini menyatukan pemantauan bahaya, prakiraan, penilaian risiko, komunikasi, dan kesiapan bertindak. Informasi ENSO memberi sinyal jauh, sedangkan hujan, kelembapan tanah, muka air gambut, debit, dan indeks vegetasi menunjukkan kondisi lokal. BMKG menyediakan prakiraan musim, pemantauan ENSO-IOD, analisis hujan, dan informasi hari tanpa hujan; data ini dapat dilengkapi oleh lembaga sektor dan masyarakat. Dalam pembaruan 22 September 2026, BMKG menyatakan El Niño sangat kuat sedang berlangsung dan memperkirakan awal musim hujan 2026/2027 mundur di 529 Zona Musim atau sekitar 61,08% wilayah. Informasi tersebut merupakan potret pada tanggal rilis dan perlu dibaca bersama pembaruan

operasional berikutnya (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika [BMKG], 2026).

Pemantauan gambut merupakan contoh bagaimana indikator ekosistem dapat berfungsi sebagai peringatan. Sulaiman et al. (2023) menyarankan muka air gambut sebagai petunjuk kemungkinan kekeringan ekstrem. Sistem kebakaran dapat menggabungkan muka air, hari tanpa hujan, suhu, angin, kondisi bahan bakar, serta aktivitas manusia. Ambang tindakan perlu dihubungkan dengan patroli, pembasahan, larangan kegiatan berisiko, dan kesiapan pemadaman.

Informasi harus diterjemahkan menjadi tindakan yang jelas. Petani membutuhkan advis kalender tanam; pengelola waduk memerlukan skenario operasi; pemerintah desa perlu mengetahui sumber air darurat; fasilitas kesehatan memerlukan protokol panas dan asap. Pesan publik sebaiknya menjelaskan wilayah, masa berlaku, probabilitas, dan langkah yang dapat dilakukan. Umpan balik warga membantu mengoreksi perbedaan antara model dan keadaan lapangan.

21. Adaptasi berbasis ekosistem

Adaptasi berbasis ekosistem menggunakan perlindungan, pengelolaan, dan pemulihan ekosistem untuk mengurangi risiko iklim sekaligus menjaga manfaat bagi manusia. Contohnya perlindungan daerah tangkapan, pemulihan gambut, hutan riparian, konservasi tanah, dan pemulihan lahan basah. Tindakan ini dapat memperkuat simpanan air, mengurangi erosi, menurunkan risiko kebakaran, serta menjaga biodiversitas.

Intervensi berbasis alam tidak otomatis berhasil. Restorasi yang salah lokasi dapat membuang sumber daya atau merusak habitat. Penanaman tanpa memulihkan hidrologi gambut memiliki peluang keberhasilan rendah. Pengelolaan harus memperhitungkan kondisi awal, spesies lokal, konektivitas,

hak masyarakat, dan pemeliharaan jangka panjang. Kombinasi solusi ekosistem dan infrastruktur abu-abu kadang dibutuhkan, dengan evaluasi dampak serta trade-off.

Keberhasilan dinilai dari fungsi ekosistem, bukan hanya jumlah aktivitas. Indikator dapat mencakup kelembapan tanah, muka air gambut, tutupan vegetasi, kualitas air, konektivitas habitat, keberadaan spesies indikator, dan kejadian api berulang. Manfaat sosial seperti ketersediaan air dan penghidupan lokal juga harus dipantau. Data jangka panjang menunjukkan apakah lanskap benar-benar menjadi lebih tahan terhadap kekeringan.

22. Restorasi gambut dan pencegahan api

Restorasi gambut mencakup pembasahan kembali, revegetasi, dan revitalisasi penghidupan. Pembasahan kembali berusaha mempertahankan muka air agar gambut tidak mudah terbakar dan teroksidasi. Revegetasi mendukung pemulihan vegetasi lokal, sementara revitalisasi penghidupan memberi peluang ekonomi yang sesuai dengan kondisi lahan. Ketiga unsur tersebut saling bergantung; tanpa pilihan usaha yang layak, tekanan untuk mengeringkan lahan dapat kembali muncul.

Pencegahan kebakaran memerlukan koordinasi antara pemerintah, perusahaan, kelompok masyarakat, dan aparat penegak hukum. Tanggung jawab pengelolaan lahan harus jelas. Sistem pemantauan perlu terbuka dan menindaklanjuti sinyal sebelum titik api berkembang. Alternatif tanpa bakar harus didukung peralatan, layanan teknis, pembiayaan, dan akses pasar, bukan hanya diwajibkan melalui larangan.

Pendanaan restorasi perlu memiliki horizon yang cukup panjang. Sekat kanal dan infrastruktur pembasahan memerlukan pemeliharaan; pemantauan hidrologi membutuhkan personel dan alat; masyarakat memerlukan manfaat ekonomi berkelanjutan. Evaluasi independen membantu menilai apakah

proyek memberi hasil di lapangan dan memastikan alokasi dana tidak berhenti pada keluaran administratif.

23. Pengelolaan air adaptif

Pengelolaan air adaptif menyusun keputusan berdasarkan neraca ketersediaan dan kebutuhan pada beberapa skenario. Pemerintah perlu memetakan penggunaan rumah tangga, pertanian, industri, layanan publik, dan kebutuhan ekologis. Saat simpanan turun, pengurangan konsumsi dapat dilakukan bertahap dengan perlindungan kebutuhan dasar. Kebijakan alokasi yang transparan menurunkan risiko konflik dan memastikan kelompok berpengaruh tidak menguasai sumber air.

Infrastruktur penyimpanan perlu melengkapi konservasi dan efisiensi. Waduk, embung, sumur resapan, dan tampungan rumah tangga memberikan fungsi berbeda dan memiliki konsekuensi ekologis. Pengelolaan harus menimbang sedimentasi, pengambilan air tanah, perubahan aliran, dan dampak bagi komunitas. Pemeliharaan jaringan yang sudah ada sering memberi manfaat lebih cepat dibanding membangun struktur baru tanpa rencana operasional.

Perlindungan ekosistem dan pengendalian polusi menjadi penting saat debit rendah. Limbah yang masuk ke sungai lebih terkonsentrasi, sehingga standar pengawasan perlu disesuaikan. Aliran ekologis minimum dapat menjaga habitat dan kualitas air. Kerja sama hulu-hilir memastikan keputusan satu daerah tidak memindahkan kekurangan air ke daerah lain.

24. Perubahan iklim jangka panjang dan ketidakpastian

El Niño merupakan variabilitas alami antar-tahunan, sedangkan perubahan iklim akibat gas rumah kaca mengubah kondisi dasar suhu dan hidrologi dalam jangka panjang. Pemanasan dapat meningkatkan kebutuhan evaporatif dan tekanan panas, sehingga defisit hujan yang sama berpotensi

menimbulkan dampak lebih besar. Perubahan penggunaan lahan juga dapat mengubah simpanan air serta risiko api. Analisis perlu memisahkan kedua pengaruh tersebut tanpa mengabaikan interaksinya.

Proyeksi masa depan mengenai intensitas ENSO, frekuensi kejadian kuat, dan perubahan telekoneksi memiliki rentang ketidakpastian. IPCC (2021, 2022) menilai bahwa risiko iklim meningkat melalui interaksi bahaya, paparan, dan kerentanan, sementara respons lokal sangat dipengaruhi kapasitas adaptasi. Ketidakpastian model bukan alasan untuk menunda tindakan yang memberi manfaat luas, seperti perlindungan DAS dan pengurangan drainase gambut.

Perencanaan tangguh dapat menggunakan strategi bertahap dan fleksibel. Pemerintah memilih langkah yang efektif di banyak skenario, menetapkan indikator ambang, dan meninjau ulang kebijakan saat data baru tersedia. Pendekatan ini lebih realistis daripada mengandalkan satu prediksi jangka panjang yang dianggap pasti. Proses belajar dari setiap musim kering harus menjadi bagian permanen tata kelola.

25. Tata kelola dan kebijakan lingkungan

Ketahanan lingkungan membutuhkan koordinasi lintas sektor dan lintas skala pemerintahan. Kebijakan air, kehutanan, pertanian, tata ruang, kesehatan, energi, serta perlindungan sosial saling memengaruhi. Rencana kontinjensi yang baik menetapkan indikator pemicu, penanggung jawab, sumber anggaran, dan mekanisme koordinasi. Kejelasan wewenang menghindari keterlambatan dan tumpang tindih saat kondisi memburuk.

Pengendalian kekeringan perlu dimasukkan ke dalam rencana pembangunan dan investasi. Perizinan lahan, pembangunan jalan, ekspansi perkebunan, dan permukiman baru perlu dinilai berdasarkan dampak terhadap hidrologi, konektivitas ekosistem, dan risiko kebakaran. Penegakan aturan harus berlaku konsisten dan mempertimbangkan akuntabilitas pelaku. Tanpa itu, program

restorasi lokal akan terus menghadapi tekanan dari keputusan struktural yang memperbesar kerentanan.

Pemerintah dapat membangun mekanisme pembiayaan antisipatif untuk konservasi air, patroli, dukungan petani, dan layanan kesehatan. Anggaran adaptasi harus dilacak sampai pada lokasi dan penerima manfaat. Indikator kinerja berfokus pada hasil seperti berkurangnya gangguan air, terjaganya fungsi habitat, menurunnya api berulang, dan cepatnya layanan merespons. Audit dan evaluasi pascakejadian memperkuat akuntabilitas.

26. Peran ilmu pengetahuan dan penelitian

Riset kekeringan terkait El Niño perlu menggabungkan data iklim, hidrologi, ekologi, dan sosial ekonomi. Analisis komposit membandingkan tahun ENSO yang berlainan, tetapi hubungan statistik tidak otomatis membuktikan sebab akibat. Penelitian perlu mengendalikan IOD, monsun, perubahan tutupan lahan, dan tren suhu. Penggunaan data satelit bersama pengukuran lapangan memperluas cakupan sekaligus memeriksa ketepatan klasifikasi.

Penelitian jangka panjang penting karena respons ekosistem sering tertunda dan pemulihan dapat berlangsung selama beberapa tahun. Plot vegetasi, pemantauan muka air tanah, kualitas air, karbon, dan biodiversitas perlu terus diukur melewati satu siklus ENSO. Data terbuka dan metadata yang lengkap memungkinkan perbandingan antarlokasi. Keterbatasan stasiun dan kontinuitas pendanaan perlu ditangani melalui kemitraan akademik, pemerintah, serta masyarakat.

Penelitian interdisipliner membantu menjawab bukan hanya apa yang terjadi, tetapi mengapa kebijakan berhasil atau gagal. Wawancara dan studi kasus dapat menjelaskan keputusan lahan, akses air, dan kepercayaan terhadap prakiraan. Analisis manajemen dapat menilai struktur koordinasi, kepemimpinan, pembiayaan, dan indikator kinerja. Temuan sebaiknya

disajikan dalam format yang dapat dipakai pengambil keputusan, selain artikel ilmiah.

27. Contoh kasus historis dan pelajaran

Kekeringan 1997–1998 menjadi salah satu episode lingkungan paling berat di Indonesia. Pengurangan hujan yang berkaitan dengan El Niño memperburuk kebakaran vegetasi dan gambut, menimbulkan asap lintas batas dan kerugian ekologis serta kesehatan. Literatur mengenai kebakaran tersebut menekankan bahwa kemarau merupakan prakondisi, sedangkan praktik penggunaan lahan dan pengelolaan memperbesar kemungkinan api menyebar (Page et al., 2011; Tacconi, 2003). Pelajaran utamanya adalah mengelola penyebab struktural, bukan hanya cuaca.

Pada 2015, kebakaran kembali meningkat pada kondisi El Niño kuat dan IOD positif. Analisis satelit dan pengamatan hujan menunjukkan episode asap sangat parah, dengan sensitivitas nonlinier antara kekeringan dan aktivitas api (Field et al., 2016). Penelitian lanjutan menegaskan perbedaan dampak menurut jenis El Niño, fase IOD, lokasi, dan karakteristik lahan (Pan et al., 2018; Nurdiati et al., 2022).

Perbandingan dua episode memperlihatkan pola berulang sekaligus perubahan pada tata guna lahan, kapasitas pemantauan, dan respons kebijakan. Peristiwa sebelumnya menjadi bahan pembelajaran, tetapi tidak menjamin kejadian berikutnya identik. Sistem perlu menguji apakah reformasi benar-benar mengurangi api, memulihkan hidrologi, dan melindungi masyarakat. Rekonstruksi sejarah memberi dasar evaluasi jangka panjang.

28. Strategi berbasis komunitas dan pengetahuan lokal

Pengetahuan lokal dapat membantu membaca perubahan mata air, perilaku tumbuhan, pola angin, atau tanda musim. Pengamatan tersebut memperkaya

data meteorologi dan dapat memberi peringatan mikro-lokal. Namun, perubahan iklim dan perubahan penggunaan lahan dapat menggeser pola historis. Dialog antara pengetahuan lokal dan prakiraan ilmiah membantu memperbarui pemahaman serta mencegah romantisasi masa lalu.

Kelompok masyarakat dapat menyusun peta sumber air, titik rawan api, jalur evakuasi, dan kelompok rentan. Mereka dapat mengelola tampungan komunal, patroli, persemaian lokal, atau aturan pemanfaatan air. Agar berkelanjutan, kegiatan memerlukan mandat, dukungan teknis, akses pendanaan, serta pengakuan hak. Beban tanggung jawab tidak boleh dipindahkan dari pemerintah atau perusahaan kepada relawan semata.

Perempuan, masyarakat adat, pemuda, dan kelompok rentan harus terlibat dalam desain karena pengalaman dan kebutuhan mereka berbeda. Partisipasi memperbaiki relevansi tindakan dan membangun legitimasi. Mekanisme pembagian manfaat, persetujuan, dan penyelesaian sengketa perlu dirancang sejak awal. Adaptasi yang memperkuat hubungan sosial meningkatkan kapasitas bersama ketika sumber daya menipis.

29. Pendidikan dan literasi lingkungan

Literasi iklim membantu masyarakat memahami perbedaan antara cuaca, iklim, dan prediksi probabilistik. Sekolah dapat menggunakan data hujan lokal, peta DAS, pengamatan vegetasi, dan riwayat kekeringan sebagai bahan belajar. Pembelajaran berbasis proyek menghubungkan konsep ilmiah dengan pengelolaan air dan biodiversitas di sekitar sekolah. Siswa dapat mengembangkan kebiasaan hemat air, tetapi tanggung jawab atas pasokan dan tata kelola tetap berada pada institusi berwenang.

Perguruan tinggi dapat berperan sebagai penghubung riset, kebijakan, dan masyarakat. Mahasiswa lintas disiplin dapat membantu inventarisasi mata air, pemetaan lahan, pemantauan kualitas air, serta evaluasi program. Kegiatan

harus mengikuti etika penelitian, melindungi data pribadi, dan menghindari pengumpulan informasi tanpa manfaat bagi komunitas. Hasil perlu dikembalikan dalam bentuk yang mudah digunakan.

Komunikasi publik menghindari bahasa yang menimbulkan kepastian semu. Pesan sebaiknya menyebut peluang, wilayah, periode, tingkat ketidakpastian, dan tindakan yang dianjurkan. Ketika prakiraan berubah, pembaruan harus dijelaskan. Media, penyuluh, dan pemimpin lokal dapat membantu menjangkau kelompok yang tidak terhubung secara digital.

30. Kerangka manajemen risiko organisasi

Organisasi pemerintah dan swasta dapat mengintegrasikan risiko El Niño ke dalam siklus manajemen: identifikasi bahaya, penilaian paparan, analisis kerentanan, penentuan kontrol, kesiapsiagaan, respons, pemulihan, dan pembelajaran. Rumah sakit menguji kontinuitas air dan listrik; perusahaan air minum menguji sumber alternatif; pengelola kawasan menguji rencana pemadaman; perusahaan pertanian menilai ketahanan pemasok dan praktik tanpa bakar.

Kinerja adaptasi diukur dengan indikator yang menggambarkan fungsi dan hasil. Indikator dapat mencakup lama gangguan air, tingkat kehilangan jaringan, perubahan muka air gambut, waktu respons kebakaran, keberhasilan regenerasi vegetasi, atau keterjangkauan informasi bagi komunitas. Jumlah pelatihan merupakan ukuran proses, tetapi tidak cukup untuk memastikan risiko berkurang. Evaluasi harus menyertakan data dasar dan pembanding yang relevan.

Ketahanan organisasi tergantung kepemimpinan, anggaran, kompetensi, dan koordinasi. Rencana perlu menetapkan wewenang, prosedur komunikasi, serta ambang tindakan yang dapat dievaluasi. Setelah musim kering, tinjauan pascakejadian mencatat pelajaran dan memperbarui SOP. Pengalaman harus

disimpan sebagai memori kelembagaan agar pergantian personel tidak menghapus kapasitas yang sudah dibangun.

31. Pembiayaan dan prioritas adaptasi

Adaptasi memerlukan pembiayaan sebelum kerusakan terjadi. Anggaran untuk pemeliharaan sekat kanal, pemulihan hutan riparian, perbaikan jaringan air, konservasi tanah, pemantauan biodiversitas, dan penyuluhan dapat mengurangi biaya tanggap darurat di masa depan. Pendanaan multiyear membantu menjaga proses ekologis yang berlangsung lebih lama daripada satu siklus anggaran. Pemerintah perlu memastikan biaya operasi serta pemeliharaan tidak diabaikan setelah proyek selesai.

Analisis biaya-manfaat dapat dilengkapi penilaian multi-kriteria karena manfaat ekologis, sosial, dan budaya tidak seluruhnya mudah dinilai dengan harga pasar. Keputusan perlu menguji risiko maladaptasi, misalnya bendungan yang mengurangi aliran ekologis, sumur yang mempercepat penurunan air tanah, atau restorasi yang membatasi penghidupan tanpa alternatif. Pembiayaan harus transparan dan mengutamakan lokasi serta kelompok yang paling rentan.

Perusahaan dapat berkontribusi melalui manajemen rantai pasok bebas deforestasi dan pembakaran, dukungan adaptasi bagi pemasok, efisiensi air, serta keterbukaan risiko. Namun pendanaan korporasi tidak menggantikan pengawasan publik dan perlindungan hak masyarakat. Standar kinerja dan audit independen membantu memastikan klaim keberlanjutan sejalan dengan praktik.

32. Agenda tindakan lintas waktu

Dalam jangka pendek, prioritasnya adalah memantau hujan, kelembapan tanah, muka air gambut, debit, dan kondisi vegetasi; memastikan informasi

sampai ke pengguna; serta menyiapkan air darurat, patroli, dan layanan kesehatan. Setiap kabupaten menetapkan indikator pemicu dan jalur komunikasi dengan BMKG, dinas teknis, desa, dan pelaku usaha. Pemeriksaan kesiapan sebelum puncak musim kering mengurangi keterlambatan respons.

Dalam jangka menengah, pemerintah dapat memperbaiki irigasi, mengendalikan ekstraksi air tanah, memulihkan daerah tangkapan, memperluas restorasi gambut, dan mengembangkan sistem pertanian yang menjaga kelembapan. Program disertai pendanaan operasi, penyuluhan, evaluasi dampak, dan mekanisme keluhan. Investasi perlu diprioritaskan berdasarkan kombinasi bahaya, nilai ekologis, kerentanan, dan kapasitas lokal.

Dalam jangka panjang, tata ruang, perizinan, dan investasi perlu menghindari pembangunan yang menambah paparan kekeringan dan kebakaran. Perlindungan hutan, gambut, mangrove, dan lahan basah menjadi bagian dari infrastruktur ketahanan. Kebijakan ditinjau saat indikator berubah, dan pembelajaran dari tiap musim kering dibagikan lintas daerah. Adaptasi dengan demikian menjadi proses pembangunan berkelanjutan, bukan proyek temporer.

33. Ambang ekologi dan titik kritis

Ekosistem tidak selalu merespons kekeringan secara bertahap. Sebagian fungsi dapat dipertahankan hingga kondisi melewati ambang tertentu, lalu menurun cepat. Ambang itu dapat berupa muka air gambut, kelembapan tanah, debit sungai, suhu air, atau lamanya periode tanpa hujan. Ketika ambang tercapai, kematian vegetasi, api bawah permukaan, gangguan reproduksi spesies, atau perubahan kualitas air dapat terjadi sekaligus. Pengelolaan perlu mengenali ambang yang relevan bagi ekosistem dan lokasi, bukan mengandalkan rata-rata tahunan.

Indikator titik kritis harus dirancang berdasarkan proses. Pada gambut, kedalaman muka air berkaitan dengan pengeringan dan kerentanan terbakar. Pada sungai, debit minimum dan suhu air memengaruhi habitat serta konsentrasi pencemar. Pada hutan, kelembapan tanah dan mortalitas pohon dapat menunjukkan tekanan yang terakumulasi. Indikator perlu diuji dengan data jangka panjang dan ditinjau secara berkala ketika tutupan lahan atau iklim berubah.

Ketika ambang sulit diperkirakan, prinsip kehati-hatian dapat digunakan dengan menetapkan batas aman dan tindakan bertahap. Misalnya, pembatasan pengambilan air dimulai sebelum debit mencapai titik kritis; kegiatan berisiko kebakaran dikurangi ketika muka air gambut turun; pemulihan vegetasi dilakukan sebelum erosi meluas. Pencegahan lebih murah dan lebih efektif daripada mengembalikan ekosistem yang telah berubah keadaan.

34. Hubungan antara air tawar dan biodiversitas

Organisme air tawar sangat sensitif terhadap perubahan debit, suhu, oksigen terlarut, dan konektivitas habitat. Saat aliran menyusut, ikan dan makroinvertebrata kehilangan ruang hidup, sementara konsentrasi polutan dapat naik. Kolam-kolam terisolasi dapat menjadi perangkap ekologis ketika suhu meningkat dan oksigen berkurang. Gangguan ini juga berpengaruh terhadap masyarakat yang mengandalkan perikanan sungai, danau, atau lahan basah.

Pengelolaan sungai perlu memperhitungkan kebutuhan ekologis bersama kebutuhan manusia. Aliran lingkungan membantu menjaga habitat, transportasi sedimen, konektivitas bagi migrasi organisme, dan kualitas air. Pengambilan air untuk irigasi atau industri dapat dijadwalkan berdasarkan

ketersediaan, namun harus memiliki batas yang melindungi fungsi sungai. Pengendalian pencemaran menjadi lebih penting ketika volume air turun.

Pemantauan biodiversitas air dapat memakai bioindikator, survei spesies, pengukuran fisik-kimia, dan pengetahuan nelayan lokal. Data harus diambil berulang pada musim hujan dan kering agar variasi alami tidak disalahartikan sebagai perubahan permanen. Danau Toba, misalnya, menjadi perhatian dalam riset yang mengaitkan variasi El Niño dan IOD dengan penurunan tinggi muka air ekstrem; studi tersebut juga mengingatkan bahwa manajemen aliran keluar dapat menjadi faktor yang ikut berperan (Rosid et al., 2026). Kasus ini menunjukkan perlunya menggabungkan pengendali iklim dan keputusan operasi.

35. Fungsi ekosistem sebagai modal pembangunan

Ekosistem menyediakan layanan yang sering dianggap gratis sampai mengalami gangguan. Hutan menyimpan air dan tanah, lahan basah meredam perubahan aliran, gambut menyimpan karbon, dan mangrove mendukung perikanan serta perlindungan pesisir. Kekeringan menurunkan kemampuan sistem ini, sementara degradasi sebelumnya dapat menghilangkan fungsi penyangga. Penilaian pembangunan perlu memasukkan kontribusi tersebut agar manfaat konversi lahan jangka pendek tidak menutupi biaya sosial-ekologis jangka panjang.

Ketahanan penghidupan komunitas berkaitan dengan akses atas jasa ekosistem. Hasil hutan bukan kayu, ikan, air bersih, dan kesuburan tanah membantu keluarga mengatasi tekanan iklim. Jika akses itu hilang, rumah tangga mungkin harus mencari penghasilan di lokasi lain atau mengambil keputusan yang menambah tekanan ekologis. Karena itu, konservasi dapat memperkuat kesejahteraan jika hak akses, distribusi manfaat, dan pilihan ekonomi lokal dirancang dengan adil.

Instrumen kebijakan seperti pembayaran jasa lingkungan, skema konservasi berbasis masyarakat, pengadaan produk berkelanjutan, dan pembiayaan restorasi dapat membantu menjaga modal alam. Namun, pengukuran manfaat dan pembagian kompensasi harus transparan. Program tidak boleh mengkomodifikasi air atau hutan dengan cara yang mengecualikan kelompok yang telah lama mengelolanya. Penilaian sosial perlu berjalan bersama penilaian biofisik.

36. Membedakan bahaya alam dari kerusakan yang dapat dicegah

Kekeringan meteorologis adalah bahaya alam; krisis lingkungan merupakan hasil interaksi bahaya dengan paparan dan kerentanan. Pemisahan ini penting secara ilmiah maupun etis. Menyebut kerusakan sebagai "akibat El Niño" tanpa mengkaji tata guna lahan dapat menghapus tanggung jawab terhadap drainase, pengambilan air, pembukaan lahan, atau kelalaian pengawasan. Sebaliknya, menyalahkan satu kelompok tanpa memperhitungkan defisit hujan dan keterbatasan kapasitas juga menghasilkan analisis yang tidak adil.

Atribusi dampak memerlukan data pembanding, analisis mekanisme, dan pemahaman mengenai kondisi awal. Peneliti dapat menguji apakah defisit hujan terjadi bersamaan dengan penurunan muka air, perubahan vegetasi, dan kebakaran. Data izin lahan, kanal, aktivitas manusia, serta pola angin membantu mengidentifikasi sumber risiko. Analisis kejadian historis menjelaskan faktor mana yang berulang dan mana yang berubah.

Kerangka ini membantu mengarahkan kebijakan ke penyebab yang dapat diubah. Pemerintah tidak dapat mengendalikan ENSO, tetapi dapat memperbaiki tata kelola air, menegakkan larangan pembakaran, melindungi daerah tangkapan, dan membangun peringatan dini. Ketika peran manusia dan institusi terlihat, masyarakat dapat menuntut tindakan pencegahan yang lebih akuntabel.

37. Umpan balik ekologis dan risiko berulang

Kekeringan dapat memulai rangkaian umpan balik yang meningkatkan risiko pada masa depan. Tanah kering dan vegetasi rusak meningkatkan erosi; sedimentasi kemudian menurunkan kapasitas waduk. Gambut yang terbakar kehilangan struktur dan vegetasi, sehingga mudah terdegradasi lebih lanjut. Hutan yang terbuka mengalami suhu lebih tinggi dan kelembapan lebih rendah. Akibatnya, gangguan berikutnya terjadi pada lanskap yang lebih rentan daripada kondisi awal.

Umpan balik tidak hanya bersifat negatif. Pemulihan tutupan vegetasi, perbaikan retensi air, dan pengelolaan api dapat menguatkan fungsi penyangga. Hutan riparian melindungi tepian sungai, agroforestri memberi naungan dan pendapatan beragam, sementara pembasahan gambut menurunkan peluang api. Strategi pengelolaan perlu mengidentifikasi titik intervensi yang dapat membalik lingkaran degradasi menjadi lingkaran pemulihan.

Pengukuran lintas musim membantu membedakan pemulihan sementara dari perubahan nyata. Jika hujan kembali tetapi sumber air, vegetasi, dan biodiversitas belum pulih, intervensi perlu diteruskan. Ukuran jangka panjang juga mencegah pemerintah mengakhiri program setelah indikator administratif tercapai, padahal fungsi ekologis belum kembali.

38. Kebijakan konservasi yang adaptif

Kawasan konservasi perlu memiliki rencana menghadapi defisit air dan kebakaran. Pengelola dapat memetakan tipe vegetasi yang sensitif, sumber air satwa, jalur patroli, dan lokasi yang berpotensi menjadi perlindungan mikroklimat. Pada kondisi kering, akses wisata dan kegiatan berisiko dapat diatur sementara. Rencana tersebut harus tetap melindungi hak masyarakat

yang memiliki ketergantungan terhadap sumber daya dan tinggal di sekitar kawasan.

Pengelolaan adaptif menerima bahwa tindakan dapat perlu diubah berdasarkan hasil pemantauan. Restorasi yang tidak menunjukkan regenerasi harus dievaluasi, dan pilihan spesies maupun teknik pemulihan disesuaikan. Indikator ekologis dapat dikombinasikan dengan catatan warga, data satelit, dan survei lapangan. Penerapan pendekatan ini membutuhkan anggaran rutin dan kapasitas staf, bukan sekadar dokumen rencana.

Koridor ekologis antara kawasan lindung penting bagi perpindahan spesies ketika kondisi habitat lokal memburuk. Perencanaan konektivitas perlu masuk ke tata ruang dan izin pembangunan. Adaptasi konservasi tidak hanya mengamankan titik-titik kawasan, tetapi juga menjaga jaringan lanskap yang membuat ekosistem mampu merespons perubahan.

39. Peran pemerintah daerah dan kelembagaan lokal

Pemerintah daerah mempunyai peran strategis karena memiliki kewenangan atas tata ruang, infrastruktur air, penyuluhan, dan respons bencana lokal. Rencana daerah perlu menghubungkan prediksi iklim dengan informasi sumber air, kebakaran, pertanian, kesehatan, dan biodiversitas. Forum koordinasi yang efektif menetapkan penanggung jawab, jadwal, anggaran, serta prosedur berbagi data. Tanpa hal itu, peringatan sering berhenti sebagai informasi umum.

Kelembagaan lokal seperti kelompok tani, kelompok pengelola hutan, dan lembaga adat dapat membantu memantau sumber daya serta menerapkan aturan bersama. Mereka memerlukan dukungan berupa akses data, pelatihan, alat, dan mekanisme resolusi konflik. Pemerintah dapat memfasilitasi perjanjian pengelolaan air dan api pada skala lanskap, termasuk koordinasi lintas desa dan lintas kabupaten.

Akuntabilitas dibangun melalui pelaporan publik mengenai penggunaan air, realisasi restorasi, penanganan kebakaran, dan distribusi bantuan. Masyarakat harus dapat menyampaikan keluhan dan memperoleh tanggapan. Evaluasi independen atau kolaboratif membantu memastikan bahwa klaim ketahanan sesuai dengan perubahan kondisi di lapangan.

40. Etika dan keadilan lingkungan

Keadilan lingkungan menanyakan siapa menerima manfaat dari penggunaan lahan dan siapa menanggung dampak kekeringan, asap, atau kehilangan akses air. Kelompok yang paling sedikit berkontribusi terhadap degradasi dapat menjadi pihak pertama yang mengalami kerugian. Kebijakan adaptasi harus mencegah beban terkonsentrasi pada warga miskin, masyarakat adat, petani kecil, dan pekerja informal.

Persetujuan, akses informasi, perlindungan hak, dan pembagian manfaat yang layak merupakan unsur penting proyek restorasi dan konservasi. Program yang membatasi akses tanpa konsultasi dapat memicu konflik serta menurunkan efektivitas. Pemetaan partisipatif perlu disertai prosedur menghormati data sensitif, sejarah klaim lahan, dan pengetahuan yang dimiliki masyarakat.

Keadilan antargenerasi juga relevan. Pengambilan air tanah berlebihan dan pengeringan gambut mungkin memberi keuntungan pada generasi sekarang, tetapi menyisakan kerusakan dan biaya bagi generasi berikutnya. Penilaian kebijakan perlu memasukkan keberlanjutan fungsi ekosistem serta kemampuan generasi mendatang untuk memenuhi kebutuhannya.

41. Indikator kinerja ketahanan lingkungan

Pengukuran ketahanan dapat mencakup indikator input, proses, keluaran, dan hasil. Input seperti anggaran restorasi atau alat pemantauan perlu dilacak,

tetapi tidak menunjukkan sendiri apakah risiko turun. Keluaran dapat berupa jumlah hektare yang dipulihkan atau petugas yang dilatih. Hasil perlu menilai muka air, kualitas air, luas kebakaran, regenerasi spesies, konektivitas habitat, dan akses masyarakat terhadap layanan.

Data dasar harus ditetapkan sebelum intervensi dan diperbarui pada musim berbeda. Pengukuran perlu memakai metode konsisten agar perubahan bukan sekadar akibat bergantinya cara pencatatan. Kombinasi data kuantitatif dan kualitatif menjelaskan baik arah perubahan maupun penyebabnya. Indikator juga perlu disesuaikan dengan tujuan dan ekosistem: satu ukuran tidak sesuai untuk seluruh lanskap.

Evaluasi harus melaporkan ketidakpastian dan dampak yang tidak diharapkan. Jika pemulihan vegetasi berhasil tetapi akses masyarakat terhadap air berkurang, program memerlukan koreksi. Jika kebakaran menurun hanya karena musim basah, efektivitas pencegahan belum dapat disimpulkan. Pembelajaran adaptif memerlukan keberanian untuk mengakui keterbatasan, memperbaiki desain, dan mengalokasikan ulang sumber daya.

42. Agenda riset Indonesia

Penelitian lanjutan perlu memperluas jaringan pemantauan iklim dan ekologi, khususnya di wilayah timur Indonesia, pulau kecil, dan lanskap gambut yang kurang terwakili. Pengamatan jangka panjang mengenai hujan, kelembapan tanah, muka air, biodiversitas, dan karbon memungkinkan penilaian apakah sistem mengalami perubahan ambang. Data perlu dihubungkan dengan tata guna lahan serta variabel sosial ekonomi.

Riset komparatif dapat menguji mengapa dua wilayah dengan kekeringan serupa menunjukkan tingkat kerusakan berbeda. Perbandingan antara daerah tangkapan terlindungi dan terdegradasi, atau gambut basah dan terdrainase, membantu mengidentifikasi faktor yang meningkatkan ketahanan. Evaluasi

program restorasi perlu mengukur hasil ekologis dan distribusional selama beberapa tahun, bukan hanya keluaran proyek.

Pemodelan risiko perlu menggabungkan skenario ENSO-IOD, perubahan iklim, dan penggunaan lahan. Proyeksi sebaiknya menyediakan rentang ketidakpastian serta menjelaskan kebutuhan keputusan yang dilayani. Kolaborasi BMKG, BRIN, perguruan tinggi, pemerintah daerah, dan komunitas dapat menghasilkan sistem informasi yang lebih dekat dengan kebutuhan pengelola ekosistem.

43. Penilaian dampak lingkungan dan keputusan pembangunan

Penilaian dampak lingkungan dapat mengantisipasi bagaimana suatu proyek mengubah kerentanan kekeringan. Kajian perlu memeriksa perubahan infiltrasi, aliran permukaan, kebutuhan air, konektivitas habitat, dan risiko api kumulatif. Proyek jalan atau kanal dapat membuka akses sekaligus mengubah hidrologi; perluasan permukiman dapat meningkatkan konsumsi air dan menutup daerah resapan. Dampak gabungan dari beberapa proyek kerap lebih besar daripada dampak satu kegiatan yang dinilai terpisah.

Analisis harus memeriksa variasi musim dan skenario iklim, bukan menggunakan rata-rata tahunan saja. Jika suatu lanskap mengalami dua atau tiga musim kering berturut-turut, kemampuan pemulihan berbeda dari kondisi satu tahun kering. Penilaian juga perlu mengkaji opsi lokasi dan desain alternatif, serta menetapkan tindakan pencegahan yang dapat diverifikasi. Pemantauan pascapersetujuan harus menguji apakah asumsi awal proyek masih sesuai dengan kenyataan.

Keputusan perizinan sebaiknya mempertimbangkan ambang lingkungan dan kapasitas daya dukung, terutama pada daerah tangkapan dan gambut. Kajian yang transparan dan partisipatif membantu menemukan risiko sebelum investasi terkunci. Peninjauan independen dan akses masyarakat terhadap

dokumen mendukung pengawasan publik. Dengan memasukkan risiko kekeringan ke dalam keputusan pembangunan, pemerintah dapat mencegah penciptaan bahaya yang mahal untuk dikoreksi.

44. Pertanian konservasi dan bentang alam tahan kekeringan

Pertanian konservasi bertujuan menjaga kondisi tanah dan air sambil mempertahankan produktivitas. Penutup tanah mengurangi penguapan, penambahan bahan organik meningkatkan kapasitas tanah menahan air, dan diversifikasi mengurangi ketergantungan pada satu musim atau komoditas. Agroforestri dapat menciptakan naungan, menyediakan hasil beragam, serta menjaga struktur lanskap. Efektivitas setiap praktik perlu dibuktikan sesuai jenis tanah, curah hujan, dan sistem usaha tani lokal.

Pada lahan yang rawan api, perencanaan lanskap perlu mengatur jalur akses, bahan bakar, sumber air, sekat vegetasi, serta lokasi penting bagi masyarakat dan biodiversitas. Pengelolaan residu tanaman tanpa pembakaran memerlukan alat dan pasar untuk biomassa, sementara patroli memerlukan insentif dan kapasitas. Penerapan larangan tanpa alternatif sering mendorong praktik berisiko menjadi tersembunyi.

Petani kecil perlu dukungan agar praktik adaptif tidak menambah beban biaya atau mengurangi pendapatan secara drastis. Pembiayaan mikro, bantuan alat, penyuluhan, akses pasar, dan asuransi yang sesuai dapat membantu transisi. Koperasi dan organisasi produsen dapat menggabungkan pembelian input, pengolahan hasil, dan penjualan. Perusahaan pembeli turut memiliki peran melalui kontrak yang menghargai produksi bebas bakar dan konservasi.

45. Layanan iklim bagi pengelola lingkungan

Layanan iklim yang efektif tidak berhenti pada publikasi data. Layanan tersebut menghubungkan penyedia informasi dengan keputusan pengguna melalui penafsiran, pemilihan skala, dan dukungan teknis. Pengelola taman nasional memerlukan prakiraan untuk menentukan kesiapan patroli; pengelola gambut membutuhkan data hujan dan muka air; dinas air perlu skenario debit; masyarakat memerlukan informasi praktis untuk menjaga sumber air.

Ko-produksi informasi dilakukan dengan melibatkan pengguna sejak perumusan kebutuhan. Diskusi bersama mengidentifikasi keputusan yang akan diambil, jangka waktu, tingkat ketelitian, format, dan saluran komunikasi. Pengguna juga memberi umpan balik tentang relevansi dan ketepatan. Pendekatan ini mencegah terciptanya dashboard canggih yang tidak digunakan karena tidak sesuai proses kerja atau tidak memiliki penanggung jawab.

Kualitas layanan dinilai dari ketepatan informasi, kemudahan akses, keterpahaman, kepercayaan, dan pengaruh terhadap keputusan. Pemerintah dapat menyediakan pelatihan untuk menafsirkan probabilitas dan menghindari salah tafsir. Sistem komunikasi perlu inklusif bagi pengguna tanpa internet, berbahasa lokal, atau memiliki keterbatasan literasi. Layanan yang baik memperkecil jarak antara sains iklim dan praktik pengelolaan.

46. Skenario kesiapsiagaan kekeringan ekstrem

Rencana kesiapsiagaan dapat menyusun skenario ringan, sedang, dan berat berdasarkan defisit hujan, lama hari kering, status sumber air, serta indikator ekologi. Pada skenario ringan, pemantauan dan efisiensi ditingkatkan. Pada skenario sedang, alokasi air disesuaikan, patroli ditambah, dan layanan kepada kelompok rentan diperluas. Pada skenario berat, mekanisme distribusi

darurat, pembatasan penggunaan, evakuasi area berisiko, dan koordinasi lintas daerah diaktifkan.

Skenario perlu memasukkan kejadian majemuk: El Niño yang bertepatan dengan IOD positif, gelombang panas, gangguan pasokan listrik, atau kebakaran yang mengganggu akses dan kualitas udara. Peristiwa simultan dapat memperlemah kapasitas lembaga yang sama-sama diperlukan. Simulasi meja dan latihan lapangan membantu menguji apakah komunikasi, logistik, peralatan, dan kewenangan bekerja di bawah tekanan.

Rencana tidak boleh hanya berfokus pada fase darurat. Pemulihan meliputi pemulihan mata pencaharian, rehabilitasi ekosistem, pengisian kembali cadangan air, penanganan dampak kesehatan, dan evaluasi keputusan. Dukungan pascakejadian perlu mencegah rumah tangga menjual aset produktif atau mengambil utang yang merusak kesejahteraan jangka panjang. Pelajaran kemudian dimasukkan dalam rencana dan anggaran musim berikutnya.

47. Mengukur keberhasilan adaptasi secara adil

Keberhasilan adaptasi memiliki dimensi ekologis dan sosial. Suatu program dapat mengurangi luas kebakaran tetapi mempersempit akses masyarakat terhadap sumber penghidupan; atau memperbaiki pasokan air kota dengan mengambil air dari daerah hulu. Karena itu, penilaian harus memeriksa siapa yang memperoleh manfaat, siapa menanggung biaya, dan apakah dampak berpindah ke lokasi lain. Perspektif keadilan mencegah indikator agregat menyembunyikan kerugian komunitas tertentu.

Pengukuran mencakup kondisi awal, target, metode pengumpulan data, jadwal, dan mekanisme verifikasi. Data lapangan sebaiknya dipadukan dengan citra satelit dan laporan masyarakat. Evaluasi menggunakan pendekatan komparatif jika memungkinkan, tetapi juga mempertimbangkan perubahan

cuaca yang terjadi selama program. Keterbatasan data dan atribusi harus dijelaskan agar klaim keberhasilan tidak lebih besar dari bukti.

Pembelajaran adaptif membutuhkan ruang untuk memperbaiki kebijakan tanpa stigma. Jika indikator menunjukkan kegagalan, pengelola menelusuri hambatan dan merevisi desain. Hasil evaluasi disampaikan kepada masyarakat dan pembuat anggaran. Keterbukaan membangun legitimasi, sementara pengukuran berulang mengubah adaptasi dari slogan menjadi perubahan nyata pada fungsi ekosistem dan kesejahteraan.

48. Jalur terpadu menuju ketahanan lingkungan

Jalur terpadu dimulai dengan memahami risiko secara spesifik menurut lanskap. Peta curah hujan perlu disandingkan dengan status air tanah, tutupan lahan, aset ekologis, kegiatan ekonomi, dan kelompok yang rentan. Analisis ini menghindari penggunaan solusi seragam dan menunjukkan apakah prioritasnya perlindungan hulu, pembasahan gambut, pemulihan sumber air, pengendalian ekstraksi, atau dukungan mata pencaharian. Penilaian risiko dilakukan bersama masyarakat agar pengalaman lokal masuk ke dalam data.

Tahap berikutnya ialah menahan degradasi dan mengurangi tekanan yang memperbesar dampak kekeringan. Perlindungan hutan, penghentian drainase baru di gambut, penegakan aturan pembakaran, dan pengendalian pencemaran mencegah kondisi awal menjadi lebih buruk. Upaya ini sering tidak terlihat dramatis dibanding pembangunan fisik, tetapi dapat menghindari biaya pemulihan yang jauh lebih besar. Pencegahan mengamankan fungsi lingkungan yang telah terbentuk selama puluhan atau ratusan tahun.

Pemulihan dilakukan berdasarkan proses ekologis, bukan sekadar target luasan. Gambut dibasahi dan dikelola bersama; hutan riparian

diregenerasikan; daerah tangkapan dipulihkan; tanah pertanian dilindungi dari erosi; dan habitat air dijaga dengan aliran ekologis yang memadai. Setiap tindakan disertai rencana pemeliharaan dan pemantauan. Jika kondisi tidak menunjukkan kemajuan, pendekatan harus ditinjau dengan bukti.

Perubahan kelembagaan memastikan tindakan bertahan melampaui masa proyek. Rencana adaptasi dimasukkan ke dalam tata ruang, anggaran, prosedur operasi, perizinan, dan pengadaan. Data iklim serta ekologi dihubungkan ke jalur keputusan yang jelas. Pemerintah, lembaga riset, komunitas, dan pelaku usaha menyepakati indikator dan cara berbagi tanggung jawab. Keberlanjutan kelembagaan merupakan syarat bagi kesinambungan pemulihan.

Jalur tersebut perlu bersifat inklusif dan dapat disesuaikan. Perubahan iklim, pergeseran mata pencaharian, serta hasil pemantauan dapat mengubah pilihan terbaik. Masyarakat yang terdampak dilibatkan dalam tinjauan, dan informasi disampaikan secara terbuka. Dengan menggabungkan pemahaman risiko, pencegahan degradasi, pemulihan fungsi, perubahan tata kelola, serta pembelajaran, Indonesia dapat memperkuat ketahanan tanpa menjanjikan bahwa kekeringan akan hilang.

49. Kesimpulan

El Niño dapat memicu kekeringan dengan mengubah sirkulasi laut–atmosfer dan mengurangi peluang hujan di banyak wilayah Indonesia. Dampaknya berbeda menurut musim, lokasi, fase IOD, monsun, kondisi tanah dan air, serta karakter lanskap. Kekeringan meteorologis dapat merambat menjadi tekanan pertanian, penurunan simpanan hidrologis, stres ekosistem, kebakaran, kehilangan biodiversitas, dan kerugian sosial-ekonomi.

El Niño bukan penyebab tunggal krisis lingkungan. Drainase gambut, degradasi hutan, tata ruang, ekstraksi air, pembakaran, ketimpangan akses,

serta kapasitas kelembagaan menentukan seberapa besar bahaya berkembang menjadi bencana. Karena itu, memperkuat ketahanan lingkungan berarti memperbaiki kondisi lanskap dan tata kelola yang dapat dikendalikan, sembari memantau faktor iklim yang tidak dapat dikendalikan.

Indonesia membutuhkan strategi terpadu: sistem peringatan dini yang menghubungkan indeks iklim dan pengamatan lokal; perlindungan DAS dan sumber air; konservasi tanah dan keanekaragaman hayati; pemulihan hidrologi gambut; pencegahan kebakaran; pertanian adaptif; serta pembiayaan, partisipasi, dan koordinasi lintas sektor. Keberhasilan dinilai dari terjaganya fungsi ekologis, berkurangnya kerugian, pulihnya penghidupan, dan distribusi manfaat yang lebih adil. Tujuan adaptasi bukan menghilangkan El Niño, tetapi memastikan bahwa variasi iklim tidak terus menerus berkembang menjadi kerusakan lingkungan yang dapat dicegah.

Glossarium

ENSO — Interaksi laut–atmosfer di Pasifik tropis dengan fase hangat, netral, dan dingin.

El Niño — Fase hangat ENSO yang menggeser pola konveksi dan sirkulasi tropis.

IOD — Indian Ocean Dipole; variasi gradien suhu permukaan laut di Samudra Hindia.

Kekeringan meteorologis — Defisit curah hujan dibandingkan kondisi klimatologis selama periode tertentu.

Kekeringan pertanian — Kekurangan air tanah yang membatasi pertumbuhan tanaman.

Kekeringan hidrologis — Penurunan debit, muka air tanah, dan simpanan waduk atau danau.

Kekeringan ekologis — Kekurangan air yang mengganggu fungsi dan layanan ekosistem.

Sirkulasi Walker — Sirkulasi timur–barat atmosfer tropis dengan gerak naik dan turun udara.

Telekoneksi — Hubungan iklim jarak jauh yang mengaitkan anomali di satu wilayah dengan wilayah lain.

Muka air gambut — Kedalaman air tanah pada lahan gambut yang mengindikasikan kondisi hidrologis dan risiko kekeringan.

SPI — Standardized Precipitation Index; indeks anomali curah hujan dalam skala waktu tertentu.

SPEI — Standardized Precipitation Evapotranspiration Index; indeks kekeringan yang mencakup presipitasi dan evapotranspirasi potensial.

Ketahanan lingkungan — Kemampuan sistem sosial-ekologis mempertahankan fungsi, menyerap gangguan, pulih, dan beradaptasi.

Adaptasi berbasis ekosistem — Pemanfaatan perlindungan, pengelolaan, dan pemulihan ekosistem untuk mengurangi risiko iklim.

ZOM — Zona Musim yang digunakan BMKG dalam analisis dan prediksi musim.

Daftar Pustaka

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (2026, September 22). BMKG: El Niño sangat kuat sedang terjadi, musim hujan 2026/2027 diprediksi datang lebih lambat. https://www.bmkg.go.id/berita/utama/bmkg-el-nino-sangat-kuat-sedang-terjadi-musim-hujan-2026-2027-diprediksi-datang-lebih-lambat

D'Arrigo, R., Wilson, R., & Tudhope, A. (2008). El Niño and Indian Ocean influences on Indonesian drought: Implications for forecasting rainfall and crop productivity. International Journal of Climatology, 28(5), 611–616. https://doi.org/10.1002/joc.1654

Field, R. D., van der Werf, G. R., & Fanin, T. (2016). Indonesian fire activity and smoke pollution in 2015 show persistent nonlinear sensitivity to El Niño-induced drought. Proceedings of the National Academy of Sciences, 113(33), 9204–9209. https://doi.org/10.1073/pnas.1524888113

Hirano, T., Ohkubo, S., Itoh, M., Tsuzuki, H., Sakabe, A., Takahashi, H., Kusin, K., & Osaki, M. (2024). Large variation in carbon dioxide emissions from tropical peat swamp forests due to disturbances. Communications Earth & Environment, 5, Article 221. https://doi.org/10.1038/s43247-024-01387-7

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009157896

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate change 2022: Impacts, adaptation and vulnerability. Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/9781009325844

Kurniadi, A., Weller, E., Min, S.-K., & Seong, M.-G. (2021). Independent ENSO and IOD impacts on rainfall extremes over Indonesia. International Journal of Climatology, 41(6), 3640–3656. https://doi.org/10.1002/joc.7040

National Oceanic and Atmospheric Administration. (n.d.). Understanding El Niño & ENSO. Retrieved October 21, 2026, from https://www.noaa.gov/understanding-el-nino

Nurdiati, S., Bukhari, F., Julianto, M. T., Sopaheluwakan, A., Aprilia, M., Fajar, I., Septiawan, P., & Najib, M. K. (2022). The impact of El Niño Southern Oscillation and Indian Ocean Dipole on the burned area in Indonesia. Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences, 33, Article 16. https://doi.org/10.1007/s44195-022-00016-0

Novitasari, N., Sujono, J., Harto, S., Maas, A., & Jayadi, R. (2019). Drought index for peatland wildfire management in Central Kalimantan, Indonesia during El Niño phenomenon. Journal of Disaster Research, 14(7), 939–948. https://doi.org/10.20965/jdr.2019.p0939

Page, S. E., Rieley, J. O., & Banks, C. J. (2011). Global and regional importance of the tropical peatland carbon pool. Global Change Biology, 17(2), 798–818. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02279.x

Pan, X., Chin, M., Ichoku, C. M., & Field, R. D. (2018). Connecting Indonesian fires and drought with the type of El Niño and phase of the Indian Ocean Dipole during 1979–2016. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 123(14), 7974–7988. https://doi.org/10.1029/2018JD028402

Setiawan, A. M., Lee, W.-S., & Rhee, J. (2017). Spatio-temporal characteristics of Indonesian drought related to El Niño events and its predictability using the multi-model ensemble. International Journal of Climatology, 37(13), 4700–4719. https://doi.org/10.1002/joc.5117

Sulaiman, A., Osaki, M., Takahashi, H., Yamanaka, M. D., Susanto, R. D., Shimada, S., Kimura, K., Hirano, T., Wetadewi, R. I., Sisva, S., Kato, T., Kozan, O., Kubo, H., Awaluddin, A., & Tsuji, N. (2023). Peatland groundwater level in the Indonesian maritime continent as an alert for El Niño and moderate positive Indian Ocean dipole events. Scientific Reports, 13, Article 939. https://doi.org/10.1038/s41598-023-27393-x

Tacconi, L. (2003). Fires in Indonesia: Causes, costs and policy implications. Center for International Forestry Research. https://doi.org/10.17528/cifor/001200

Fujii, K., Hayakawa, C., & Sukartiningsih. (2024). Drought-induced turnover of soil microbial biomass increases nutrient subsidies for the reproduction of tropical forest. Biogeochemistry, 167(5), 695–703. https://doi.org/10.1007/s10533-024-01137-z