El Niño dan Krisis Air

Pengelolaan Sumber Daya Air di Tengah Perubahan Iklim



1 Mengapa terjadi?

El Niño menggeser pola konveksi tropis dan meningkatkan peluang hujan di bawah normal, terutama pada sebagian wilayah dan musim kemarau.



2 Dari kemarau ke krisis air

Hujan berkurang → tanah mengering → debit dan imbuhan air tanah menurun → pasokan dan layanan air tertekan.



3 Siapa dan apa yang terdampak?

Rumah tangga • pertanian • kota dan industri • kesehatan → sungai dan ekosistem.





4 Strategi adaptasi



5 Prinsip kunci



Risiko berbeda antarwilayah. Kelola air berdasarkan kondisi DAS, data, keadilan akses, dan kerja sama lintas sektor.

Oleh: 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 dan Krisis Air: Pengelolaan Sumber Daya Air di Tengah Perubahan Iklim

Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD

www.rudyct.com/cv.pdf

IBM-ASMI | RudyCT Academic Series

Artikel tinjauan naratif

Abstrak

El Niño merupakan fase hangat El Niño–Southern Oscillation (ENSO) yang mengubah sirkulasi atmosfer dan distribusi hujan di kawasan tropis. Di Indonesia, pengaruhnya paling konsisten terlihat sebagai penurunan peluang hujan dan pemanjangan periode kering pada banyak wilayah, terutama pada musim kemarau, meskipun besaran dan waktunya berbeda antarpulau dan antardaerah aliran sungai (DAS). Artikel tinjauan naratif ini menjelaskan jalur dari anomali laut-atmosfer menuju defisit hujan, kelembapan tanah, aliran sungai, tampungan waduk, air tanah, dan layanan air rumah tangga. Uraian menempatkan El Niño sebagai penguat risiko yang berinteraksi dengan Indian Ocean Dipole, monsun, kondisi DAS, perubahan iklim jangka panjang, pertumbuhan permintaan, dan mutu tata kelola. Dampak krisis air dibahas dalam dimensi domestik, pertanian, perkotaan, industri, energi, kesehatan, ekosistem, serta kesetaraan sosial. Strategi yang disarankan mencakup prakiraan dan peringatan dini yang dapat ditindaklanjuti, pengelolaan permintaan, konservasi DAS, efisiensi irigasi, panen hujan, perlindungan air tanah, operasi waduk adaptif, penggunaan kembali air, pembiayaan kesiapsiagaan, serta tata kelola lintas sektor. Inti rekomendasi ialah mengelola

risiko air berdasarkan kondisi DAS dan layanan, bukan mengandalkan asumsi bahwa satu indeks iklim dapat mewakili seluruh Indonesia. Adaptasi yang efektif menggabungkan data, infrastruktur yang terpelihara, kelembagaan yang adil, dan pembelajaran dari setiap musim kering.

Kata kunci: El Niño; ENSO; kekeringan; ketahanan air; DAS; adaptasi iklim; Indonesia; tata kelola sumber daya air.

1 Pendahuluan

Air menopang kesehatan, produksi pangan, kegiatan ekonomi, energi, ekosistem, dan kehidupan sosial. Karena Indonesia berada di kawasan tropis maritim, kesan bahwa air selalu tersedia sering muncul dari curah hujan tahunan yang besar. Namun total hujan tahunan tidak menjamin air hadir pada tempat dan waktu yang dibutuhkan. Air dapat turun sebagai hujan lebat yang segera mengalir ke laut, sementara beberapa bulan kemudian sawah, sumur, dan waduk menghadapi defisit. Ketimpangan waktu, ruang, mutu, dan akses inilah yang membuat risiko air Indonesia bersifat kompleks.

El Niño menarik perhatian karena dapat menekan hujan di banyak bagian kepulauan ketika kebutuhan air tetap tinggi. Pada tahun dengan El Niño, pergeseran konveksi tropis ke Pasifik tengah dan timur, perubahan sirkulasi Walker, serta pengurangan pembentukan awan di sekitar Indonesia dapat memperpanjang hari tanpa hujan. BMKG menjelaskan bahwa fase El Niño meningkatkan risiko kekeringan di Indonesia, tetapi informasi prakiraan perlu dibaca bersama pembaruan lokal dan musimannya (BMKG, n.d.). Studi Hendon (2003) dan Hidayat dan Ando (2014) juga memperlihatkan bahwa hubungan ENSO dengan hujan Indonesia lebih kuat pada musim kering daripada puncak musim hujan.

Kekeringan menjadi krisis air ketika defisit iklim berujung pada berkurangnya layanan yang dibutuhkan masyarakat dan ekosistem. Oleh sebab itu, artikel ini tidak menyamakan El Niño dengan kekurangan air di semua daerah. Kondisi hujan dipengaruhi ENSO, Indian Ocean Dipole (IOD), monsun, gangguan

intramusiman, topografi, suhu muka laut sekitar kepulauan, serta faktor lokal. Hasil akhirnya ditentukan pula oleh tutupan lahan, kapasitas simpan tanah, jaringan distribusi, tampungan, kualitas air, perilaku pemakaian, dan kemampuan pemerintah mengatur prioritas.

Artikel disusun sebagai tinjauan naratif berbasis literatur ilmiah, pedoman lembaga, dan contoh kasus Indonesia. Tujuannya menjelaskan mekanisme risiko, memperlihatkan bagaimana kekeringan berkembang menjadi tekanan layanan air, lalu menguraikan strategi adaptasi yang dapat diterapkan pada tingkat rumah tangga, desa, kota, DAS, provinsi, dan nasional. Pembahasan menghindari klaim prediksi yang terlalu pasti. Setiap rekomendasi perlu disesuaikan dengan data hidrologi, kondisi sosial, dan kewenangan setempat.

2 El Niño dan sistem iklim Indonesia

2.1 Mekanisme dasar ENSO

ENSO adalah interaksi laut dan atmosfer di Samudra Pasifik tropis yang berfluktuasi antara fase El Niño, netral, dan La Niña. Dalam keadaan netral, angin pasat biasanya mendorong air permukaan hangat ke barat Pasifik sehingga wilayah Indonesia berada dekat kawasan perairan hangat dengan konveksi yang aktif. Ketika El Niño berkembang, angin pasat melemah, suhu permukaan laut di Pasifik tengah atau timur menghangat, dan pusat hujan tropis bergeser ke arah timur. Perubahan pemanasan tersebut mengubah sirkulasi Walker dan dapat mengurangi suplai uap air serta pembentukan awan di sekitar kepulauan Indonesia (BMKG, n.d.; McPhaden et al., 2006).

Indeks seperti Oceanic Niño Index (ONI) merangkum anomali suhu muka laut di kawasan Niño 3.4. Indeks ini berguna untuk mengidentifikasi fase ENSO berskala luas, tetapi tidak mengukur curah hujan di satu kabupaten, debit satu sungai, atau ketersediaan air pada suatu instalasi. Kategori intensitas El Niño juga tidak otomatis menghasilkan dampak yang sama pada dua musim atau

dua DAS. Pengguna kebijakan perlu menerjemahkan prakiraan global ke prakiraan hujan, neraca air, dan risiko layanan yang sesuai dengan lokasi.

2.2 Mengapa dampaknya tidak seragam

Indonesia membentang di sekitar khatulistiwa dan terdiri atas pulau besar, kepulauan kecil, pegunungan, dataran rendah, pesisir, serta kawasan dengan pola hujan yang berbeda. Sebagian wilayah memiliki pola monsunal dengan musim kering dan basah yang jelas; wilayah lain menerima hujan sepanjang tahun atau mempunyai dua puncak hujan. El Niño umumnya memperbesar peluang kemarau kering di selatan ekuator, tetapi pola spasialnya tidak seragam. Hujan di Sumatra bagian utara, Kalimantan, Sulawesi, Maluku, Papua, Jawa, Bali, dan Nusa Tenggara dapat merespons secara berlainan karena perbedaan topografi dan sistem sirkulasi lokal.

Hidayat dan Ando (2014) menemukan bahwa sinyal ENSO/IOD terhadap variasi hujan Indonesia tampak kuat pada musim kering, sedangkan kaitannya melemah pada musim hujan utama. Ini penting untuk komunikasi risiko: istilah "El Niño menyebabkan Indonesia kering" terlalu luas bila dipakai tanpa penjelasan musim dan wilayah. Pernyataan yang lebih berguna menyebut probabilitas hujan di bawah normal pada zona musim tertentu, rentang waktu, dan ketidakpastiannya. Dengan demikian petani, pengelola waduk, dan pemerintah daerah dapat memilih tindakan yang proporsional.

IOD positif dapat memperkuat defisit hujan di sebagian wilayah, terutama ketika anomali suhu Samudra Hindia membentuk gradien yang mendukung konveksi di sisi barat samudra dan mengurangi pembentukan awan di sekitar Indonesia. Studi kekeringan Bali oleh Pawitrama et al. menunjukkan bahwa episode El Niño dan IOD positif yang terjadi bersamaan dapat berkaitan dengan kekeringan lebih parah daripada pengaruh salah satunya saja. Kombinasi tersebut memberi alasan untuk memantau beberapa mode iklim sekaligus, tanpa menganggap bahwa korelasi indeks menjelaskan semua sebab lokal.

Monsun Australia, Madden–Julian Oscillation (MJO), gelombang atmosfer tropis, suhu laut lokal, dan anomali suhu daratan turut menentukan kapan hujan datang. Prakiraan musiman dapat memberi gambaran peluang, sedangkan prakiraan mingguan dan harian dibutuhkan untuk mengatur operasi bendung, penjadwalan tanam, dan distribusi air. Satu sinyal musiman tidak boleh diperlakukan sebagai kepastian bahwa hujan sama sekali tidak akan turun. Tata kelola yang baik menggunakan prakiraan berjenjang dan memperbaruinya ketika pengamatan baru tersedia.

3 Dari defisit hujan menuju kekeringan hidrologis

Kekeringan berkembang melalui beberapa kompartemen. Kekeringan meteorologis dimulai ketika curah hujan berada di bawah kondisi rujukan selama suatu periode. Kekeringan pertanian muncul saat air tanah yang tersedia tidak cukup bagi tanaman. Kekeringan hidrologis tercermin pada rendahnya debit sungai, mata air, dan tampungan danau atau waduk. Kekeringan sosial-ekonomi terjadi saat kekurangan tersebut menghambat layanan, produksi, pendapatan, atau akses kelompok masyarakat. Tahap-tahap ini berhubungan, tetapi tidak selalu terjadi bersamaan dan tidak selalu memiliki jeda waktu yang sama.

Hujan yang berkurang mula-mula menurunkan kelembapan lapisan tanah atas. Bila defisit berlanjut, tanaman dan vegetasi menggunakan cadangan air yang tersisa; aliran permukaan dan pengisian air tanah melambat; debit dasar sungai kemudian menurun. Respons DAS yang bertanah dalam, berhutan, dan memiliki zona imbuhan baik dapat berbeda dari DAS yang terdegradasi, terpadatkan, atau tertutup permukaan kedap. Karena proses ini memiliki jeda, debit sungai kadang tetap tampak memadai pada awal periode kering, lalu turun tajam setelah cadangan tanah dan akuifer terkuras.

Leemhuis dan Gerold (2006) memodelkan DAS Palu di Sulawesi Tengah dan melaporkan bahwa skenario anomali hujan El Niño menghasilkan penurunan aliran tahunan yang berat serta peningkatan variasi debit. Temuan ini

menunjukkan bahwa persoalan tidak semata-mata jumlah air setahun: fluktuasi debit yang makin besar juga menyulitkan jadwal pengambilan, pengoperasian bendung, dan perlindungan aliran ekologis. Di Magelang, Rahma dan Ludwig (2024) menggabungkan analisis iklim dan wawancara petani di Sub-DAS Bompon, dan menemukan bahwa El Niño ekstrem memperpanjang kekeringan serta mengurangi ketersediaan air bagi padi.

Perbedaan ukuran waktu menentukan apa yang dideteksi. Indeks Standardized Precipitation Index (SPI) dapat dihitung pada skala 1, 3, 6, atau 12 bulan. Skala pendek membantu menilai kekeringan meteorologis atau tekanan tanaman; skala lebih panjang lebih relevan untuk akumulasi defisit dan respons hidrologis. SPI tidak menggantikan pengamatan debit, kelembapan tanah, muka air tanah, mutu air, atau layanan. Indikator gabungan lebih bermanfaat untuk menetapkan kapan tindakan dilakukan dan kelompok mana yang perlu dilindungi.

Perubahan iklim jangka panjang menambah latar risiko melalui kenaikan suhu, perubahan evapotranspirasi, dan perubahan karakter hujan ekstrem. Pemanasan dapat meningkatkan kehilangan air dari tanah dan vegetasi, sehingga hujan yang sama belum tentu mengisi cadangan seperti sebelumnya. Namun atribusi perubahan kekeringan pada skala lokal memerlukan analisis tersendiri. ENSO adalah variabilitas alami antar-tahun; perubahan iklim antropogenik menggeser kondisi dasar dan dapat mengubah intensitas dampak. Keduanya berinteraksi, tetapi bukan konsep yang sama.

4 Krisis air sebagai persoalan layanan dan keadilan

Defisit air menjadi krisis ketika sistem penyediaan tidak mampu memenuhi kebutuhan dasar secara aman, cukup, terjangkau, dan berkelanjutan. Dalam jaringan perpipaan, tekanan dapat turun saat sumber baku surut atau permintaan puncak meningkat. Pada wilayah yang bergantung pada sumur dangkal, muka air dapat turun dan sebagian sumur mengering. Desa kepulauan kecil dapat mengalami intrusi air asin ketika pengambilan air tanah

berlebihan bertepatan dengan periode kering. Rumah tangga tanpa sambungan cenderung membeli air lebih mahal atau menempuh jarak yang lebih jauh.

Krisis air memiliki dimensi kuantitas dan kualitas. Volume rendah dapat menaikkan konsentrasi pencemar, mengurangi pengenceran limbah, memperburuk rasa dan bau, serta meningkatkan risiko kontaminasi apabila sumber alternatif tidak terlindungi. Intrusi air laut dan salinisasi dapat mengganggu sumber pesisir. Kualitas yang menurun menambah beban pengolahan dan membuat sumber yang secara fisik masih ada menjadi tidak layak digunakan. Karena itu, pemantauan kekeringan harus disertai pemeriksaan kualitas, bukan hanya tinggi muka air atau debit.

Dampak juga terdistribusi secara tidak adil. Masyarakat miskin, perempuan dan anak yang bertanggung jawab mengambil air, penyandang disabilitas, lansia, penghuni kawasan informal, petani kecil, masyarakat adat, serta pulau-pulau kecil biasanya memiliki lebih sedikit pilihan cadangan. Ketika pasokan harus dibeli dari penjual keliling, pengeluaran rumah tangga meningkat dan waktu untuk pendidikan, perawatan, serta kerja produktif berkurang. Kebijakan alokasi yang mengabaikan akses dan keterjangkauan dapat memindahkan beban krisis kepada orang yang paling sedikit berkontribusi pada keputusan penggunaan air.

Dalam keadaan kekurangan, prioritas alokasi sebaiknya melindungi kebutuhan dasar manusia dan layanan kesehatan, mempertahankan kebutuhan ekologis minimum, lalu mengatur penggunaan produktif berdasarkan dampak sosial-ekonomi dan ketersediaan aktual. Prinsip ini memerlukan aturan transparan dan mekanisme pengaduan. Pengaturan tidak boleh dibuat hanya melalui keputusan darurat ketika sumber telah kritis. Kesepakatan pembagian air pada musim normal perlu menetapkan pemicu, jadwal, hak, tanggung jawab, dan perlindungan bagi pengguna hilir.

5 Dampak pada sektor dan ekosistem

5.1 Rumah tangga dan kesehatan

Air yang tidak cukup mengganggu minum, memasak, kebersihan, sanitasi, dan pelayanan kesehatan. Fasilitas kesehatan membutuhkan pasokan stabil untuk sterilisasi, pencucian, pengendalian infeksi, dan kegiatan klinis. Sekolah membutuhkan air untuk toilet dan kebersihan murid. Ketika sumber rumah tangga terkontaminasi, risiko penyakit bawaan air dapat meningkat. Dalam masa kering panjang, debu dan asap kebakaran dapat memperburuk kesehatan pernapasan, sehingga keterbatasan air untuk kebersihan dan pertolongan menambah tekanan pada keluarga dan layanan publik.

Penyediaan darurat melalui tangki atau air kemasan berguna sebagai jembatan, tetapi tidak cukup sebagai strategi jangka panjang. Kualitas, frekuensi, volume per orang, akses bagi orang dengan mobilitas terbatas, dan biaya distribusi harus dipantau. Sistem respons juga perlu memprioritaskan sekolah, puskesmas, posyandu, rumah sakit, dan tempat pengungsian. Informasi sederhana mengenai lokasi distribusi, jadwal, mutu air, serta cara penyimpanan yang aman dapat mengurangi risiko penyakit.

5.2 Pertanian dan peternakan

Pertanian sangat terpapar karena fase pertumbuhan tanaman bertepatan dengan kebutuhan air yang kritis. Kekurangan pada fase pembentukan anakan, pembungaan, atau pengisian bulir padi dapat menurunkan hasil; pada tanaman hortikultura, stres air dapat mengurangi ukuran dan mutu produk. Jadwal tanam yang tertunda dapat mendorong panen serentak atau mempersempit jendela tanam berikutnya. Pertanian tadah hujan lebih rentan karena tidak memiliki akses ke sumber irigasi yang terjamin. Yasin dan Ma’shum (2006) menggambarkan korelasi variasi hujan tahunan Lombok dengan ENSO dan perlunya strategi tanam serta penyimpanan air yang disesuaikan kondisi lokal.

Dampak pada peternakan meliputi keterbatasan air minum, berkurangnya hijauan, dan meningkatnya biaya pakan. Konflik atas sumber air dapat muncul antara kebutuhan rumah tangga, irigasi, industri, dan ternak. Keputusan menanam komoditas yang membutuhkan banyak air pada periode berisiko dapat menimbulkan kerugian yang sebenarnya dapat dikurangi lewat kalender tanam berbasis prakiraan, varietas berumur genjah atau toleran cekaman, diversifikasi, dan perlindungan pembiayaan. Intervensi harus mempertimbangkan pasar dan preferensi pangan lokal agar petani tidak menanggung risiko pemasaran baru.

5.3 Kota, industri, dan energi

Kota menghadapi permintaan yang meningkat justru saat sumber baku menurun. Kehilangan air jaringan, kebocoran, konsumsi non-esensial, dan pembagian layanan yang tidak merata memperbesar tekanan. Industri dengan kebutuhan proses tinggi dapat mengurangi produksi atau bersaing dengan kebutuhan publik. Pembangkit listrik tenaga air menghadapi perubahan ketersediaan air dan kebutuhan pengaturan elevasi waduk; pembangkit lain juga menggunakan air untuk pendinginan. Operasi lintas sektor membutuhkan skenario yang mempertimbangkan kebutuhan air baku, energi, irigasi, keselamatan bendungan, dan aliran hilir.

Penggunaan air industri yang efisien, sirkulasi ulang, pengolahan untuk penggunaan kembali, audit kebocoran, dan rencana kontinjensi dapat menurunkan permintaan air baku. Perusahaan besar perlu mengukur ketergantungan pada DAS dan dampak kumulatif, bukan sekadar menghitung air di batas fasilitas. Jika perusahaan mengamankan air dengan sumur dalam saat masyarakat sekitar bergantung pada akuifer yang sama, tindakan itu dapat memindahkan risiko. Transparansi dan dialog DAS diperlukan agar efisiensi privat tidak berujung pada ketidakadilan publik.

5.4 Sungai, lahan basah, hutan, dan pesisir

Aliran minimum sungai mendukung habitat, migrasi ikan, kualitas air, sedimentasi, dan hubungan sungai dengan rawa serta estuari. Ketika debit turun, suhu air dapat meningkat dan konsentrasi polutan bertambah. Lahan basah, mata air, dan hutan riparian kehilangan kelembapan yang menopang fungsi ekologis. Di lahan gambut, penurunan muka air dapat meningkatkan kerentanan kebakaran. Pada pesisir, eksploitasi air tanah dan penurunan imbuhan dapat memudahkan intrusi asin. Pengelolaan air perlu memasukkan aliran ekologis sebagai syarat keberlanjutan, bukan sisa setelah seluruh permintaan manusia terpenuhi.

Pemulihan vegetasi daerah tangkapan air tidak selalu langsung menambah aliran pada semua musim; jenis tanah, jenis vegetasi, topografi, dan kondisi hidrologi menentukan hasilnya. Namun perlindungan sempadan sungai, pengendalian erosi, pemulihan lahan basah, dan pengurangan permukaan kedap dapat menjaga kualitas air, infiltrasi, dan fungsi penyangga. Penilaian harus menghindari klaim sederhana bahwa satu jenis penanaman otomatis meningkatkan debit. Yang diperlukan ialah perencanaan berbasis bukti pada skala DAS.

6 Membaca dan menggunakan informasi iklim

Informasi ENSO bernilai ketika diubah menjadi keputusan. Peringatan mengenai peluang El Niño perlu diterjemahkan menjadi prakiraan hujan zona musim, waktu awal dan akhir musim, probabilitas hujan di bawah normal, potensi hari kering berturut-turut, serta implikasinya terhadap sumber air. Pengguna memerlukan penjelasan mengenai rentang prakiraan dan ketidakpastian, bukan hanya label “lemah”, “moderat”, atau “kuat”. Prakiraan yang komunikatif menyebut apa yang diketahui, apa yang belum pasti, dan tindakan yang tetap berguna pada berbagai skenario.

BMKG menyediakan pembaruan informasi ENSO, musim, dan curah hujan, serta mengimbau panen hujan, penghematan air, penyiapan cadangan, dan

optimalisasi waduk, embung, kolam retensi, serta penyimpanan lainnya. Pemerintah daerah dan operator perlu menyandingkan informasi tersebut dengan data lokal: hujan stasiun, telemetri tinggi muka air, debit sungai, tampungan efektif, muka air tanah, permintaan pelanggan, dan laporan gangguan layanan. Data historis harus memiliki catatan mutu agar perubahan alat atau lokasi pengukuran tidak dibaca keliru sebagai perubahan iklim.

Sistem peringatan dini kekeringan idealnya memadukan indikator bahaya, paparan, dan kerentanan. Bahaya dapat ditandai oleh SPI, anomali hujan, suhu, dan hari tanpa hujan. Paparan meliputi penduduk, lahan pertanian, industri, fasilitas kesehatan, serta ekosistem yang bergantung pada sumber tertentu. Kerentanan mencakup kemiskinan, ketergantungan pada satu sumber, kebocoran jaringan, kapasitas simpan, dan keterbatasan alternatif. Indikator tersebut menjadi pemicu tindakan bertahap, bukan sekadar peta yang dipublikasikan tanpa penanggung jawab.

Setiap ambang pemicu perlu disepakati sebelum krisis. Sebagai contoh konseptual, ketika prakiraan menunjukkan peluang kuat defisit hujan, operator dapat memulai kampanye hemat air, pemeriksaan kebocoran, dan penyiapan pompa cadangan. Ketika debit turun melewati ambang layanan, jadwal distribusi dan dukungan kelompok rentan dapat diberlakukan. Bila kualitas air memburuk atau sumber kritis, pengolahan dan suplai alternatif diaktifkan. Angka ambang harus ditentukan melalui analisis lokal; nilai nasional tunggal tidak cocok untuk semua DAS.

7 Strategi pengelolaan sumber daya air

7.1 Pengelolaan permintaan dan efisiensi

Pengurangan permintaan sering menjadi tindakan tercepat dan termurah saat defisit mulai terdeteksi. Rumah tangga dapat memperbaiki kebocoran, menggunakan perangkat hemat air, mengatur ulang kegiatan yang tidak esensial, dan menyimpan air dengan aman. Pemerintah kota dan perusahaan

air minum perlu mengurangi kehilangan air fisik maupun komersial, memperbaiki tekanan jaringan, dan memetakan kawasan dengan pasokan tidak merata. Tarif dapat mendorong efisiensi, tetapi tarif dasar bagi kebutuhan pokok harus tetap terjangkau dan mekanisme subsidi tepat sasaran perlu tersedia.

Di pertanian, efisiensi tidak berarti selalu memasang teknologi berbiaya tinggi. Penjadwalan giliran air, perataan lahan, pemeliharaan saluran, pengendalian kebocoran, irigasi berselang untuk padi bila kondisi dan rekomendasi teknis mendukung, serta penyesuaian pola tanam dapat mengurangi pemborosan. Penghematan pada petak hulu perlu dikelola agar air yang dilepas benar-benar tersedia bagi petani hilir atau ekosistem, bukan digunakan untuk memperluas lahan berintensitas air tinggi tanpa kendali.

7.2 Tampungan, panen hujan, dan air tanah

Embung, kolam, waduk kecil, tandon rumah, sumur resapan, dan panen hujan atap dapat membantu memindahkan sebagian ketersediaan dari musim hujan ke musim kering. Manfaatnya bergantung pada lokasi, luas tangkapan, kualitas limpasan, laju penguapan, sedimentasi, dan akses pengguna. Desain perlu menjawab siapa yang memelihara, siapa yang berhak mengambil, bagaimana air dibagi, dan apakah struktur aman ketika hujan ekstrem. Tampungan yang dibiarkan tanpa operasi, pemeliharaan, atau kesepakatan hak guna cepat kehilangan manfaatnya.

Air tanah merupakan cadangan strategis, tetapi pengambilan berlebih dapat menurunkan muka air, merusak mata air, menyebabkan amblesan, dan membuka jalur intrusi air laut. Penggunaan sumur saat kekeringan seharusnya mengikuti neraca akuifer, perizinan, pemantauan, dan perlindungan sumur domestik. Sumur dangkal, sumur bor, dan mata air mempunyai karakter berbeda; pengisian buatan hanya layak bila kondisi hidrogeologi mendukung dan kualitas air terjamin. Penggunaan cadangan tanpa batas hanya menunda krisis dan memindahkan bebannya ke tahun berikutnya.

7.3 Waduk dan operasi adaptif

Pengoperasian waduk perlu menggunakan informasi prakiraan dan pengamatan secara berkala, dengan aturan yang mengakui ketidakpastian. Menahan air terlalu banyak dapat mengurangi ruang kendali banjir jika hujan ekstrem datang; melepas terlalu dini dapat mengurangi pasokan ketika kemarau memanjang. Keputusan harus memperhitungkan tampungan efektif, evaporasi, sedimentasi, kebutuhan irigasi, air baku, pembangkit, aliran lingkungan, serta keselamatan bendungan. Kurva operasi adaptif dapat menggabungkan prakiraan musiman sebagai informasi probabilistik dengan evaluasi harian berdasarkan inflow aktual.

Koordinasi waduk hulu dan hilir menjadi penting ketika satu sumber menopang banyak pengguna. Forum operasi dapat menyepakati jadwal, prioritas, pertukaran data, dan mekanisme penyelesaian sengketa. Kebijakan pelepasan perlu diumumkan secara terbuka agar petani, perusahaan air minum, dan pemerintah daerah dapat menyesuaikan rencana. Pengelola juga perlu menjelaskan mengapa alokasi berubah, sumber data yang digunakan, serta batas sistem yang sedang dihadapi.

7.4 Perlindungan DAS dan solusi berbasis alam

Perlindungan hutan, rehabilitasi lahan kritis, konservasi tanah, perlindungan mata air, restorasi rawa dan gambut, serta pemulihan sempadan sungai membantu mempertahankan fungsi DAS. Intervensi hulu perlu dirancang bersama penduduk yang tinggal dan mengelola lahan di sana. Pembayaran jasa lingkungan dapat menjadi instrumen bila hak, indikator manfaat, dan pembagian hasil jelas. Program yang hanya memindahkan biaya konservasi kepada komunitas hulu tanpa sumber penghidupan alternatif berisiko gagal atau menimbulkan konflik.

Infrastruktur hijau di kota meliputi ruang terbuka resapan, taman hujan, permukaan berpori, sumur resapan yang sesuai geologi, dan restorasi badan air. Tujuannya mencakup pengurangan limpasan, peningkatan infiltrasi lokal,

pengurangan panas, serta perbaikan kualitas ruang hidup. Efeknya terhadap pasokan air baku skala kota perlu dihitung secara realistis. Solusi berbasis alam melengkapi sistem teknis; ia tidak menggantikan pengolahan, jaringan distribusi, atau perlindungan sumber yang diperlukan.

7.5 Penggunaan kembali air dan sumber alternatif

Air limbah yang telah diolah dapat digunakan untuk penyiraman taman, proses industri tertentu, pembersihan, atau pengisian kembali akuifer jika standar kesehatan dan lingkungan dipenuhi. Penggunaan kembali membantu mengurangi pengambilan air tawar pada sektor yang tidak membutuhkan mutu air minum. Desalinasi dapat relevan bagi beberapa pulau kecil atau kawasan pesisir, tetapi membutuhkan energi, investasi, pemeliharaan, dan pengelolaan brine. Setiap pilihan harus dibandingkan berdasarkan biaya siklus hidup, emisi, dampak ekologi, penerimaan masyarakat, dan ketergantungan pasokan energi.

8 Tata kelola dan pembiayaan ketahanan air

Tata kelola air terfragmentasi ketika pengelolaan DAS, irigasi, air minum, air tanah, sanitasi, kehutanan, pertanian, energi, dan kebencanaan berjalan dalam rencana terpisah. Kekeringan melintasi batas administrasi dan sektoral, sehingga keputusan satu instansi dapat menambah risiko bagi pihak lain. Pengelolaan terpadu sumber daya air memerlukan koordinasi lintas kementerian, pemerintah daerah, balai wilayah sungai, operator, kelompok pengguna air, perguruan tinggi, dunia usaha, dan masyarakat sipil.

Rencana kontinjensi kekeringan perlu memuat indikator pemicu, skenario pasokan, prioritas layanan, daftar sumber alternatif, tanggung jawab instansi, anggaran, komunikasi publik, serta perlindungan kelompok rentan. Simulasi sebelum musim kering mengungkap ketergantungan yang sering luput, seperti satu pompa yang menjadi titik kegagalan atau satu jalan yang dibutuhkan untuk distribusi air. Setelah kejadian, evaluasi perlu menilai bukan

hanya volume yang disalurkan, melainkan waktu respons, mutu, pemerataan, biaya rumah tangga, serta dampak pada ekosistem.

Pembiayaan adaptasi dapat menggabungkan anggaran rutin pemeliharaan, investasi infrastruktur, dana penanggulangan bencana, transfer fiskal, skema pembiayaan daerah, dan kontribusi pengguna yang mampu. Investasi besar seperti bendungan atau jaringan baru harus didahului penilaian kebutuhan, alternatif, dampak sosial-lingkungan, dan biaya operasi jangka panjang. Kebocoran dan pemeliharaan tertunda sering mengurangi manfaat aset yang sudah ada. Anggaran pemeliharaan yang konsisten dapat menghasilkan layanan lebih andal daripada pembangunan aset baru tanpa rencana operasi.

Instrumen ekonomi air perlu dirancang dengan prinsip efisiensi dan keadilan. Harga dapat mengurangi penggunaan berlebihan, tetapi air minum dan sanitasi dasar merupakan kebutuhan esensial. Tarif progresif, subsidi terarah, perlindungan pelanggan miskin, dan pengaturan pengambilan air tanah dapat mencegah beban adaptasi jatuh kepada rumah tangga berpendapatan rendah. Transparansi penggunaan pendapatan dan mutu layanan meningkatkan kepercayaan serta kepatuhan.

Kelembagaan lokal juga berperan besar. Perkumpulan petani pemakai air, lembaga adat, kelompok pengelola mata air, dan organisasi perempuan sering memiliki pengetahuan mengenai perubahan sumber dan pola akses. Pengetahuan tersebut perlu dipadukan dengan pengukuran hidrologi dan prakiraan ilmiah. Partisipasi bermakna berarti warga terlibat dalam penentuan prioritas dan pemantauan, bukan hanya menerima sosialisasi setelah keputusan dibuat.

9 Strategi adaptasi menurut skala

9.1 Rumah tangga dan komunitas

Rumah tangga dapat memetakan sumber air, kebutuhan minimum, kapasitas penyimpanan, dan alternatif ketika layanan terhenti. Tandon harus tertutup

dan dibersihkan; penampungan hujan perlu dipisahkan dari air yang digunakan untuk minum kecuali telah diolah dengan benar. Komunitas dapat menetapkan kesepakatan penggunaan mata air dan sumur, membuat daftar warga yang memerlukan bantuan khusus, serta menyebarkan informasi tentang jadwal distribusi dan kualitas air. Kesiapsiagaan keluarga lebih efektif bila mendapat dukungan sarana, pengetahuan, dan jaringan layanan publik.

9.2 Desa, kabupaten, dan kota

Pemerintah daerah dapat menghubungkan peta zona rawan dengan sumber air baku, jaringan pipa, fasilitas publik, lahan pertanian, dan kelompok sosial rentan. Rencana musim kering memerlukan pemeliharaan sumur dan pompa, pemeriksaan kebocoran, penyiapan truk tangki, pengamanan kualitas, dan komunikasi satu pintu. Di perkotaan, rencana juga perlu melibatkan pengelola gedung, kawasan industri, pengembang, serta pengelola sanitasi untuk menekan permintaan dan mendorong penggunaan kembali air.

Perencanaan tata ruang dapat melindungi kawasan imbuhan, sempadan, mata air, dan lahan basah. Izin pembangunan perlu mempertimbangkan kapasitas sumber air dan dampak pada akuifer. Kota yang mengandalkan satu waduk atau satu sungai menghadapi risiko konsentrasi; diversifikasi sumber dan jaringan interkoneksi dapat meningkatkan keandalan jika risiko kualitas dan biaya juga dikendalikan. Pemerintah perlu menyampaikan rencana pembatasan penggunaan secara adil dan bertahap sebelum layanan terganggu berat.

9.3 Tingkat DAS dan nasional

Pada tingkat DAS, analisis perlu mengintegrasikan neraca air, kondisi hulu-hilir, kebutuhan ekologis, alokasi, kualitas, serta skenario iklim. Rencana alokasi tahunan bisa menyiapkan skenario normal, kering, dan sangat kering. Pengamatan bersama antarinstansi mengurangi ketidakcocokan data. Pada tingkat nasional, standar data, dukungan BMKG, penguatan kapasitas teknis

daerah, pembiayaan risiko, dan perlindungan hak dasar dapat menciptakan konsistensi tanpa memaksakan kebijakan seragam untuk semua pulau.

Kerangka adaptasi nasional juga perlu menghubungkan air dengan pangan, kesehatan, energi, tata ruang, dan perlindungan sosial. Subsidi air darurat, bantuan tunai, asuransi pertanian, dan cadangan pangan dapat mengurangi tekanan sosial ketika kekeringan terjadi. Namun kebijakan tersebut tidak menggantikan pengurangan risiko sumber. Integrasi lintas sektor memastikan bahwa keputusan menanam, mengoperasikan waduk, mengatur listrik, atau membangun kawasan baru mempertimbangkan kapasitas air jangka panjang.

10 Teknologi, data, dan kecerdasan buatan

Penginderaan jauh, stasiun otomatis, sensor muka air, pemantauan kualitas, citra satelit, model hidrologi, dan sistem informasi geografis dapat memperluas pengamatan terutama di wilayah yang minim stasiun. Data satelit membantu memperkirakan hujan, kelembapan tanah, luas genangan, perubahan tutupan lahan, serta kondisi vegetasi. Pengukuran lapangan tetap dibutuhkan untuk kalibrasi dan memastikan indikator sesuai dengan keadaan lokal. Sistem digital harus dirancang agar operator mampu menggunakannya, bukan hanya menjadi proyek perangkat keras.

Kecerdasan buatan dapat membantu menggabungkan data historis hujan, indeks ENSO/IOD, suhu, debit, dan permintaan untuk menghasilkan prakiraan atau klasifikasi risiko. Model harus diuji terhadap data independen, dinilai pada kejadian ekstrem, dan disertai interval ketidakpastian. Bias data dapat merugikan daerah yang catatan pengamatannya jarang. Keputusan pembatasan air atau alokasi kebutuhan dasar tidak boleh diserahkan kepada model tanpa pengawasan manusia, audit, dan mekanisme koreksi.

Dasbor operasional sebaiknya menampilkan indikator yang terkait langsung dengan keputusan: sisa hari tampungan, proyeksi pasokan, kualitas sumber, tingkat kehilangan jaringan, pengguna prioritas, dan status tindakan. Sistem perlu memiliki prosedur saat jaringan komunikasi atau sensor gagal.

Ketahanan digital mencakup keamanan data, cadangan manual, kepemilikan informasi, serta kemampuan staf untuk menafsirkan hasil. Teknologi berfungsi sebagai alat bantu tata kelola; ia tidak menggantikan kesepakatan hak air dan pertanggungjawaban publik.

11 Pelajaran dari kasus Indonesia

DAS Palu menunjukkan bahwa pemodelan hidrologi dapat menghubungkan anomali hujan ENSO dengan perubahan neraca dan variasi aliran pada skala tangkapan. Hasil studi Leemhuis dan Gerold (2006) mengingatkan bahwa karakter sub-DAS turut menentukan respons. Pengelola perlu menguji skenario pada unit yang cukup rinci, sebab angka agregat provinsi dapat menyembunyikan kantong kekurangan di hulu, hilir, atau wilayah dengan sumber tunggal.

Kasus Lombok memperlihatkan tantangan pertanian tadah hujan pada daerah dengan bulan surplus dan defisit yang kontras. Yasin dan Ma'shum (2006) menekankan bahwa variasi curah hujan antar-tahun berkaitan dengan ENSO dan strategi tanam perlu menyesuaikan karakter air setempat. Implikasinya, kalender tanam sebaiknya menggabungkan prakiraan musim, informasi kelembapan tanah, kapasitas embung, ketersediaan varietas, dan akses petani pada penyuluhan serta pembiayaan.

Kasus Sub-DAS Bompon di Magelang menghubungkan hasil analisis neraca air dengan persepsi petani. Rahma dan Ludwig (2024) melaporkan kesulitan memprediksi peralihan musim dan kekurangan air bagi produksi padi saat El Niño ekstrem. Nilai pendekatan campuran tersebut terletak pada pemahaman bahwa keputusan pertanian dipengaruhi pengalaman, akses informasi, modal, jaringan irigasi, serta kondisi sosial. Layanan iklim yang baik perlu menyampaikan prakiraan dalam format yang dapat diterapkan pada keputusan harian petani.

Studi Bali tentang ENSO dan IOD memberi contoh wilayah yang menilai kekeringan menggunakan beberapa stasiun hujan dan SPI-3. Pawitrama et al.

mengingatkan bahwa kombinasi mode iklim dapat berkaitan dengan kekeringan yang lebih berat. Bagi kebijakan, ini menunjukkan pentingnya pembacaan multi-indeks dan analisis lokal. Model hubungan statistik berguna sebagai informasi, tetapi keputusan air harus tetap mempertimbangkan aliran aktual, kebutuhan, dan keadaan sumber.

Pengalaman krisis air di wilayah perkotaan dan pulau kecil juga menekankan bahwa akses tidak selalu berbanding lurus dengan ketersediaan regional. Air mungkin tersedia di waduk, tetapi jaringan tidak menjangkau permukiman tertentu; air tanah mungkin ada, tetapi tidak layak karena salinitas atau pencemaran; distribusi tangki mungkin berlangsung, tetapi jumlah dan frekuensinya tidak cukup. Penilaian ketahanan air harus mengikuti perjalanan air dari sumber hingga pengguna, termasuk keterjangkauan dan kontinuitas layanan.

12 Prinsip pelaksanaan dan pemantauan

Pertama, rencana harus berbasis risiko dan dapat diperbarui. Setiap wilayah perlu memiliki peta sumber, pengguna, titik kerentanan, ambang pemicu, dan tindakan yang disepakati. Peta bahaya tanpa penanggung jawab tidak mengubah risiko. Kedua, pengukuran perlu menggabungkan kondisi iklim, hidrologi, mutu air, layanan, dan dampak sosial. Ketiga, tindakan harus dilakukan bertahap sehingga pembatasan yang lebih berat tidak diterapkan sebelum diperlukan, tetapi kesiapsiagaan tidak ditunda sampai kekurangan terlihat oleh seluruh pengguna.

Keempat, tindakan jangka pendek dan investasi jangka panjang perlu dijalankan bersama. Distribusi air dan penghematan membantu menghadapi episode kering, sementara konservasi DAS, pemeliharaan jaringan, pengurangan kebocoran, dan diversifikasi sumber mengurangi kerentanan berulang. Kelima, setiap intervensi memerlukan evaluasi manfaat dan dampak samping. Sumur baru dapat mengurangi tekanan sementara tetapi memperburuk akuifer; bendungan baru dapat meningkatkan tampungan

tetapi mengubah ekosistem dan hak lahan; tarif dapat menekan konsumsi berlebih tetapi membebani keluarga miskin jika desainnya buruk.

Indikator kinerja sebaiknya mengukur hasil layanan: kontinuitas pasokan dasar, persentase penduduk yang memperoleh air aman, waktu respons terhadap gangguan, tingkat kehilangan air, status muka air tanah, mutu sumber, kecukupan aliran lingkungan, dan beban biaya air rumah tangga. Pengukuran sebelum dan sesudah musim kering membantu mengetahui apakah adaptasi benar-benar mengurangi dampak. Data dan metodologi perlu dibuka agar warga dan peneliti dapat menilai capaian serta kekurangannya.

Pembelajaran pascakejadian perlu melibatkan operator, pemerintah, masyarakat terdampak, ilmuwan, dan sektor usaha. Evaluasi menanyakan apakah prakiraan datang tepat waktu, apakah pesan dipahami, apakah tindakan memiliki anggaran, apakah air sampai kepada kelompok sasaran, dan apakah alokasi menyebabkan dampak di hilir. Temuan harus mengubah prosedur, kontrak, desain infrastruktur, dan anggaran. Tanpa siklus belajar, setiap El Niño berikutnya akan kembali diperlakukan sebagai kejadian yang sama sekali tidak terduga.

13 Arah kebijakan bagi Indonesia

Indonesia dapat memperkuat ketahanan air dengan menyatukan informasi iklim dan keputusan pengelolaan. BMKG, pengelola sumber daya air, pemerintah daerah, perusahaan air minum, dinas pertanian, dan lembaga kebencanaan perlu menerjemahkan prakiraan ENSO dan IOD menjadi skenario layanan per DAS. Portal data bersama sebaiknya menyajikan sumber, waktu pembaruan, kualitas, dan batas penggunaan. Kapasitas analisis daerah perlu diperkuat sehingga prakiraan global tidak berhenti sebagai buletin nasional.

Prioritas investasi meliputi pemeliharaan jaringan dan waduk yang ada, pengurangan kebocoran, perlindungan kawasan imbuhan, peningkatan tampungan skala sesuai kebutuhan, sistem pemantauan, sanitasi yang mencegah pencemaran sumber, serta fasilitas penggunaan kembali. Proyek

baru dinilai melalui perbandingan alternatif, analisis biaya sepanjang umur, risiko iklim, dampak ekologis, dan distribusi manfaat. Satu pendekatan teknis tidak cocok bagi semua tempat: pulau kecil, kota besar, lahan kering, DAS pegunungan, dan rawa gambut membutuhkan kombinasi yang berbeda.

Kebijakan alokasi air perlu menjaga akses minimum rumah tangga dan kesehatan, melindungi ekosistem, serta memberi kepastian bagi kegiatan produktif yang bergantung pada air. Rencana harus mencantumkan prosedur saat sumber turun, proses konsultasi, mekanisme ganti rugi jika relevan, dan saluran pengaduan. Dengan keterbukaan, pengguna memahami bahwa pembagian didasarkan pada kondisi sumber dan prioritas yang disepakati, bukan negosiasi tertutup yang menguntungkan pihak berdaya tawar tinggi.

Pemerintah juga perlu memperlakukan ketahanan air sebagai bagian dari pembangunan ekonomi dan keamanan manusia. Gangguan pasokan dapat memengaruhi produksi, kesehatan, pendidikan, pendapatan, energi, dan stabilitas harga. Perlindungan sosial adaptif dapat bergerak mengikuti data dan menjangkau keluarga ketika guncangan terjadi. Dukungan bagi petani mencakup informasi, varietas dan pola tanam yang sesuai, perbaikan irigasi, akses pembiayaan, serta pasar. Pendekatan semacam itu mengurangi kerugian tanpa menjadikan masyarakat penerima bantuan pasif.

14 Kesimpulan

El Niño mengubah sirkulasi tropis dan meningkatkan peluang berkurangnya hujan di banyak wilayah Indonesia, terutama pada musim kemarau. Dampaknya berkembang melalui penurunan kelembapan tanah, aliran sungai, pengisian air tanah, dan tampungan, lalu memengaruhi air rumah tangga, pertanian, industri, energi, kesehatan, serta ekosistem. Jalur tersebut tidak berlangsung seragam. Waktu kejadian, IOD dan monsun, kondisi DAS, kapasitas infrastruktur, permintaan, serta tata kelola menentukan apakah kekeringan menjadi krisis air.

Ketahanan air memerlukan perpaduan antara prakiraan yang dapat ditindaklanjuti, pemantauan sumber, operasi waduk adaptif, pengelolaan permintaan, efisiensi irigasi, konservasi DAS, perlindungan akuifer, panen hujan, penggunaan kembali air, dan perlindungan sosial. Setiap langkah harus diuji terhadap kondisi lokal serta dampaknya pada kelompok rentan dan aliran ekologis. Ukuran keberhasilan bukan jumlah proyek atau volume air darurat semata, melainkan kemampuan menjaga layanan dasar dan fungsi ekosistem selama kondisi kering.

Karena El Niño adalah risiko yang berulang dan perubahan iklim mengubah kondisi latar, kesiapsiagaan perlu menjadi bagian dari tata kelola rutin. Indonesia perlu beralih dari respons yang baru bergerak setelah sumber mengering menuju sistem yang memantau risiko, menyepakati pemicu, membiayai tindakan, dan belajar dari setiap musim. Pengelolaan yang adil, adaptif, berbasis data, dan terkoordinasi akan menentukan apakah tekanan iklim berubah menjadi krisis berkepanjangan atau dapat dihadapi dengan gangguan yang lebih kecil.

15 Kerangka perencanaan risiko air berbasis DAS

Perencanaan yang tangguh dimulai dari neraca air yang dapat diperbarui. Neraca tersebut mencatat hujan, evapotranspirasi, limpasan, imbuhan, aliran masuk dan keluar waduk, pengambilan air, serta perubahan simpanan. Pada tingkat DAS, data harus diuraikan menurut musim dan subwilayah, karena surplus tahunan dapat menutupi defisit beberapa bulan. Catatan pengambilan aktual sering tidak lengkap; karenanya operator perlu menggabungkan pencatatan meter, survei pengguna, pengukuran debit, data satelit, dan estimasi model sambil menjelaskan rentang ketidakpastian. Neraca air bukan sekadar lampiran teknis. Ia menjadi dasar untuk menguji apakah rencana tanam, izin pengambilan, pasokan kota, dan kebutuhan ekologis dapat berlangsung serentak pada tahun kering.

Skenario perencanaan dapat dibagi menjadi kondisi normal, kering, dan sangat kering, dengan beberapa variasi waktu mulai kemarau dan durasi defisit. Skenario itu tidak perlu mengklaim mampu meramal setiap detail; kegunaannya adalah menguji apakah sistem masih memenuhi layanan ketika beberapa asumsi utama meleset. Pengelola dapat menilai seberapa lama waduk bertahan, kapan sumur cadangan diaktifkan, dan kelompok mana yang paling cepat terkena pengurangan pasokan. Pengujian perlu memperhitungkan kejadian berurutan, misalnya dua tahun dengan imbuhan rendah, karena kekeringan hidrologis dapat berlanjut setelah anomali hujan mereda.

Analisis stres air harus membedakan ketersediaan fisik dari akses yang dapat diandalkan. Sebuah kota mungkin memiliki air sungai yang cukup dalam perhitungan tahunan, tetapi intake-nya tidak dapat beroperasi ketika debit minimum tercapai atau kualitas sumber memburuk. Sebaliknya, wilayah yang tidak memiliki waduk besar dapat bertahan melalui banyak mata air dan tampungan lokal yang dikelola bersama. Pemetaan titik kritis mencakup satu sumber tunggal, satu pipa utama, satu gardu listrik, jembatan distribusi, serta lokasi yang tidak terjangkau kendaraan tangki. Ketergantungan yang terkonsentrasi perlu masuk ke dalam daftar risiko dan rencana kontinuitas layanan.

Analisis bahaya juga perlu memeriksa hubungan antarkejadian. Kekeringan yang meningkatkan kebakaran dapat merusak tutupan lahan dan memengaruhi kualitas air saat hujan kembali. Hujan ekstrem setelah kemarau dapat membawa sedimen, abu, dan pencemar ke sungai atau waduk, sehingga sumber baku membutuhkan pengolahan lebih mahal. Kekurangan air untuk pemadaman memperbesar risiko kebakaran, sedangkan kebakaran dapat merusak daerah tangkapan. Rencana pengelolaan air, kebakaran lahan, kesehatan, dan pertanian perlu bertukar informasi dan menetapkan prosedur bersama untuk kondisi semacam itu.

Keputusan adaptasi sebaiknya dievaluasi pada beberapa horizon. Tindakan operasional berlaku untuk hari hingga musim, seperti pengaturan giliran irigasi atau pengiriman air darurat. Investasi menengah memperbaiki kebocoran, menambah sambungan interkoneksi, atau membangun sistem panen hujan yang tepat lokasi. Perubahan jangka panjang meliputi pengendalian pemanfaatan ruang, perlindungan akuifer, rehabilitasi DAS, dan pengembangan pola ekonomi yang tidak tergantung pada pengambilan air berlebih. Memisahkan horizon membantu pemerintah agar tidak membelanjakan semua anggaran pada respons sesaat, sekaligus tetap menyediakan bantuan langsung ketika diperlukan.

16 Pertimbangan desain infrastruktur dan pilihan teknis

Setiap infrastruktur air memiliki tujuan layanan dan batas operasi. Bendungan menyimpan air, tetapi manfaatnya dipengaruhi sedimentasi, evaporasi, keamanan struktur, serta kebutuhan aliran hilir. Embung desa dapat dekat dengan pengguna dan mudah dikelola, tetapi kapasitasnya terbatas dan dapat cepat kehilangan volume karena penguapan atau sedimentasi. Pipa interkoneksi bisa memindahkan air dari sumber yang lebih andal, tetapi biaya energi dan risiko kegagalan jaringan meningkat bila tidak ada redundansi. Keputusan investasi karena itu harus membandingkan layanan yang dijanjikan dengan ketersediaan dana operasi, kemampuan teknis, hak atas lahan, dampak ekologis, dan risiko iklim sepanjang umur aset.

Desain tampungan perlu memakai data hujan ekstrem dan periode kering yang diperbarui. Deret historis masih penting, tetapi asumsi bahwa statistik masa lalu selalu mewakili masa depan dapat melemah ketika pola hujan dan suhu berubah. Perencana dapat menguji rentang kondisi dari beberapa model iklim, bukan bergantung pada satu angka proyeksi. Infrastruktur yang fleksibel, mudah ditingkatkan, dan dapat dioperasikan dalam beberapa skenario memberi nilai lebih ketika prakiraan tidak pasti. Proses perizinan dan studi

lingkungan perlu menyebut secara terbuka asumsi yang digunakan, termasuk besaran kebutuhan air yang diproyeksikan.

Kualitas sumber perlu menjadi bagian desain sejak awal. Pengambilan air dari waduk dengan stratifikasi suhu, salinitas, atau kandungan organik yang berubah dapat memerlukan intake bertingkat dan pengolahan yang berbeda. Di wilayah gambut, drainase yang mengeringkan lahan dapat meningkatkan kebakaran dan melepaskan air asam; pengelolaan muka air perlu memperhatikan fungsi ekologi dan masyarakat. Di pesisir, sumber alternatif perlu diuji risiko intrusi asin. Infrastruktur yang meningkatkan kuantitas tetapi menurunkan mutu atau merusak sumber lain tidak dapat dianggap menambah ketahanan secara keseluruhan.

Pengelolaan air hujan perkotaan dapat mengurangi limpasan cepat sekaligus menyediakan simpanan untuk penggunaan tertentu. Namun sumur resapan tidak boleh dipasang tanpa pemeriksaan kondisi tanah dan risiko pencemaran. Limpasan atap dapat menampung kontaminan dari bahan bangunan, sehingga air untuk minum membutuhkan penyaringan dan disinfeksi. Kolam retensi harus dirancang dengan jadwal pengerukan, pengendalian nyamuk, keselamatan anak, dan pembagian fungsi ruang. Manfaat tambahan ruang terbuka dan pengurangan panas dapat dipertimbangkan, tetapi tetap perlu mengukur seberapa banyak air yang benar-benar tersimpan atau meresap.

Sistem air limbah dan penggunaan kembali dapat mengurangi tekanan pada air baku, asalkan standar mutu disesuaikan dengan pemanfaatannya. Air untuk irigasi lanskap, pencucian, atau proses industri tidak selalu memerlukan mutu air minum, tetapi tetap perlu batas mikrobiologi dan kimia. Penggunaan kembali untuk pengisian akuifer membutuhkan perlindungan lebih ketat dan pemantauan jangka panjang. Komunikasi risiko kepada publik penting agar penerimaan tidak dibangun melalui janji bahwa semua air olahan aman untuk semua penggunaan. Kepercayaan mengikuti keterbukaan hasil uji dan kepatuhan operator pada standar.

17 Pembagian air dan penyelesaian konflik

Ketika pasokan menurun, persaingan antar pengguna menjadi lebih terlihat. Petani memerlukan air pada fase pertumbuhan tertentu, perusahaan air minum harus menjaga layanan sepanjang hari, industri ingin mempertahankan proses, dan ekosistem memerlukan aliran. Konflik muncul ketika aturan prioritas tidak jelas atau data alokasi tidak dibuka. Kesepakatan yang disusun sebelum kemarau dapat menetapkan volume atau jadwal indikatif, pemicu pengurangan, kebutuhan minimum, serta proses konsultasi. Kesepakatan semacam itu perlu mempunyai mekanisme penyesuaian karena kondisi aktual dan durasi El Niño dapat berbeda dari prakiraan awal.

Keadilan alokasi tidak cukup dinilai dari jumlah volume. Lokasi pengambilan, waktu distribusi, mutu, biaya, kemampuan menyimpan, dan posisi hulu-hilir menentukan siapa yang memperoleh manfaat. Petani kecil di hilir dapat kehilangan giliran walaupun secara administratif termasuk penerima irigasi. Rumah tangga berpenghasilan rendah lebih sulit membeli cadangan air. Indikator pemerataan perlu membandingkan layanan antarwilayah dan kelompok pendapatan. Mekanisme pengaduan yang mudah dijangkau dapat membantu mendeteksi praktik pengalihan, biaya informal, atau distribusi yang tidak sesuai jadwal.

Lembaga pengelola perlu membangun protokol mediasi yang menggabungkan data teknis dan pengetahuan pengguna. Forum pengguna air dapat mencatat perubahan debit, kualitas, dan pola akses, lalu membandingkannya dengan pemantauan resmi. Jika terjadi sengketa, pihak independen seperti perguruan tinggi atau mediator daerah dapat memfasilitasi pembacaan data dan mencari alternatif. Prinsipnya, keputusan harus mengungkap alasan, dampak, dan pilihan yang tersedia. Kerahasiaan informasi operasional yang memang perlu dilindungi tidak boleh menjadi alasan menutup data dasar tentang sumber publik dan pembagian air.

Pengakuan atas hak dan praktik adat perlu dimasukkan dalam pengelolaan sumber lokal. Banyak komunitas telah memiliki aturan pemeliharaan mata air, hutan, dan saluran yang berfungsi mengatur akses. Pemerintah perlu memahami aturan tersebut dan menyelaraskannya dengan kebijakan formal, terutama ketika proyek baru atau perubahan tata ruang memengaruhi wilayah kelola. Partisipasi perlu melibatkan perempuan dan kelompok yang biasanya tidak hadir dalam rapat teknis, sebab mereka dapat memikul beban pengumpulan air dan mengetahui pola kekurangan di tingkat rumah tangga.

18 Pembiayaan, insentif, dan perlindungan sosial

Biaya ketahanan air meliputi modal fisik, operasi, pemeliharaan, pemantauan, penguatan organisasi, dan komunikasi risiko. Dalam penganggaran, komponen operasi rutin sering tidak sebanding dengan pembangunan aset. Pompa yang tidak memiliki biaya listrik, laboratorium yang kekurangan reagen, atau embung yang tidak dikeruk akan gagal tepat saat dibutuhkan. Pemerintah daerah perlu menilai belanja berbasis biaya layanan sepanjang umur aset dan memublikasikan kewajiban pemeliharaan. Hibah pembangunan dapat disertai rencana operasi yang menunjukkan sumber dana, petugas, dan prosedur perawatan.

Asuransi dan pembiayaan berbasis risiko dapat membantu petani atau operator menghadapi kerugian, tetapi tidak menggantikan pengelolaan sumber. Produk asuransi parametrik yang dipicu indeks hujan dapat menyalurkan dana cepat, namun berisiko tidak sesuai dengan kerugian aktual jika stasiun pengukuran jauh atau dampak lokal tidak sejalan dengan indeks. Desainnya perlu menjelaskan pemicu, keterlambatan, basis data, dan mekanisme keberatan. Skema kredit untuk teknologi hemat air perlu memastikan bahwa petani mampu membayar dan bahwa penghematan air tidak mendorong perluasan penggunaan tanpa pengawasan.

Perlindungan sosial adaptif dapat menghubungkan data kekeringan dengan dukungan bagi rumah tangga rentan, termasuk bantuan air, subsidi

sementara, bantuan tunai, atau dukungan mata pencaharian. Daftar penerima perlu dapat diperbarui agar mencakup keluarga yang terdampak tetapi belum terdaftar. Bantuan air harus mengacu pada kebutuhan dasar dan mutu yang aman. Skema publik-swasta untuk distribusi darurat dapat dimanfaatkan jika harga, standar kualitas, wilayah layanan, dan kewajiban kontrak ditetapkan dengan jelas sebelum terjadi kelangkaan.

Insentif konservasi dapat mendorong pengguna besar mengurangi kebocoran dan mengambil air sesuai izin. Audit air perusahaan memberi gambaran input, konsumsi, pembuangan, dan peluang sirkulasi ulang. Pemerintah dapat mengaitkan perpanjangan izin atau insentif dengan kepatuhan pengukuran dan pengungkapan data tertentu. Untuk usaha kecil, dukungan teknis dan pembiayaan mungkin lebih efektif daripada sanksi semata, terutama jika teknologi penghematannya mahal. Penerapan harus memastikan bahwa efisiensi satu pengguna tidak hanya membebaskan volume untuk pemakai lain yang lebih besar tanpa mempertimbangkan batas ekologis.

19 Kapasitas kelembagaan dan budaya kesiapsiagaan

Ketahanan tidak dibentuk hanya oleh rencana tertulis. Petugas lapangan perlu memahami prosedur pengukuran, pemeliharaan pompa, pengambilan sampel, komunikasi dengan warga, dan eskalasi ketika indikator melewati ambang. Pelatihan lintas instansi membantu menyatukan istilah serta alur data. Rotasi pegawai dan pergantian kepala daerah dapat menghilangkan pengetahuan jika dokumentasi tidak baik. Karena itu, prosedur harus mudah diakses dan disertai catatan keputusan, simulasi, serta daftar kontak yang diperbarui.

Sekolah, perguruan tinggi, kelompok tani, organisasi perempuan, dan media lokal dapat menjadi mitra literasi air. Materi pendidikan sebaiknya mengaitkan ENSO dengan contoh lokal, menunjukkan bahwa prakiraan bersifat probabilistik, dan menjelaskan tindakan yang realistis. Literasi iklim yang baik mengurangi kepanikan serta membantu warga membedakan informasi resmi dan rumor. Komunikasi perlu dilakukan dalam bahasa yang sesuai, memakai

peta atau ilustrasi sederhana, dan menyediakan saluran umpan balik agar masyarakat dapat melaporkan perubahan sumber.

Simulasi kekeringan dapat menguji apakah koordinasi berjalan sebelum gangguan nyata. Skenario latihan misalnya penurunan debit, gangguan listrik pada instalasi pengolahan, kualitas air baku yang memburuk, dan jalan distribusi yang terputus. Latihan meja menguji pengambilan keputusan dan peran, sedangkan latihan lapangan dapat menguji logistik. Hasilnya harus mencatat keputusan yang tertunda, data yang tidak tersedia, konflik kewenangan, dan keterbatasan peralatan. Latihan tidak perlu menjadi seremoni tahunan; nilainya muncul ketika temuan benar-benar mengubah anggaran dan prosedur.

Budaya kesiapsiagaan mengharuskan pemerintah menyampaikan informasi dengan jujur. Ketika prediksi berubah, pembaruan perlu menjelaskan faktor yang menyebabkan perubahan dan konsekuensi bagi tindakan yang telah disiapkan. Kesalahan prakiraan tidak selalu berarti sistem gagal; pertanyaan penting ialah apakah lembaga menyampaikan ketidakpastian, memantau kondisi, dan memperbarui keputusan. Kepercayaan publik lebih terjaga ketika informasi tidak dilebih-lebihkan dan bantuan diberikan secara konsisten kepada kelompok yang telah dinyatakan prioritas.

20 Agenda penelitian dan kebutuhan data

Penelitian Indonesia masih memerlukan pengamatan jangka panjang yang menghubungkan hujan, debit, kelembapan tanah, muka air tanah, penggunaan air, mutu, dan dampak layanan pada skala DAS. Banyak wilayah mempunyai stasiun yang jarang atau catatan yang terputus. Program pemantauan perlu menjaga konsistensi alat dan metadata, serta menyediakan akses bagi pemerintah daerah dan peneliti. Data operasional perusahaan air, irigasi, dan industri dapat memperkaya pemodelan apabila anonimisasi dan tata kelola akses diterapkan dengan baik.

Kajian atribusi perlu memisahkan pengaruh ENSO, IOD, monsun, perubahan tutupan lahan, pengambilan air, serta pemanasan jangka panjang. Hubungan statistik antara ONI dan hujan tidak serta merta menjelaskan perubahan debit atau kekeringan sosial. Studi multi-tahun yang membandingkan wilayah dengan kondisi DAS berbeda dapat menunjukkan faktor mana yang mempercepat atau menghambat propagasi kekeringan. Hasilnya penting untuk merancang intervensi yang sesuai, bukan menganggap semua defisit dapat diselesaikan dengan menambah tampungan.

Riset dampak sosial perlu mengukur biaya waktu, pengeluaran air, kehilangan pendapatan, beban kerja perawatan, perpindahan sementara, kesehatan, dan gangguan pendidikan. Survei rumah tangga dapat dipadukan dengan wawancara dan data layanan agar perbedaan pengalaman terlihat. Pendekatan partisipatif membantu menentukan indikator yang bermakna bagi warga. Penelitian semacam ini dapat menunjukkan apakah bantuan darurat menutup kebutuhan dasar dan apakah investasi memberi manfaat kepada wilayah yang selama ini kurang terlayani.

Evaluasi intervensi juga perlu lebih kuat. Efektivitas sumur resapan, rehabilitasi hulu, perbaikan irigasi, kampanye penghematan, dan penggunaan ulang sebaiknya diukur dengan data dasar dan pembanding yang layak. Penelitian perlu mencatat biaya operasi, umur manfaat, pemeliharaan, perubahan perilaku, serta kemungkinan efek samping. Tanpa evaluasi, program mudah dinilai berhasil hanya berdasarkan jumlah struktur yang dibangun atau jumlah peserta sosialisasi, bukan hasil pada ketersediaan air dan ketahanan layanan.

Agenda riset berikutnya dapat mengembangkan sistem keputusan yang menggabungkan prakiraan probabilistik dengan aturan operasi lokal. Model perlu menguji kinerja pada episode El Niño historis, episode dengan IOD positif, dan kondisi netral yang tetap mengalami kekeringan karena sebab lokal. Hasil harus dibandingkan dengan keputusan yang dibuat pengelola tanpa model. Penelitian interdisipliner yang melibatkan hidrologi, klimatologi,

ekonomi, kesehatan, teknik, ilmu sosial, dan administrasi publik akan lebih mampu menjelaskan mengapa sinyal bahaya menjadi krisis pada sebagian tempat tetapi tidak pada tempat lain.

21 Adaptasi sesuai karakter wilayah Indonesia

Wilayah dengan pola hujan monsunal memerlukan fokus pada awal musim, durasi kemarau, dan penyimpanan air antar-musim. Di Jawa, Bali, dan sebagian Nusa Tenggara, beberapa minggu keterlambatan hujan dapat mengubah keberhasilan tanam dan kebutuhan irigasi secara nyata. Pemerintah daerah dapat memadukan prakiraan awal musim dengan pengukuran hujan dasarian dan keadaan waduk. Ketika awal musim diperkirakan mundur, penyesuaian kalender tanam sebaiknya diumumkan melalui penyuluh, kelompok tani, dan pengelola irigasi secara serempak. Sistem peringatan yang hanya menyampaikan prediksi tanpa opsi tanam, akses benih, atau pembiayaan tidak cukup membantu rumah tangga tani.

Di Sumatra dan Kalimantan, respons terhadap El Niño dipengaruhi variasi topografi, kedekatan dengan laut, lahan gambut, serta keberadaan sungai besar dan rawa. Sebagian wilayah dapat mengalami defisit sementara daerah lain menerima hujan lokal yang cukup. Pengelolaan gambut perlu mempertahankan muka air dan mencegah kanal mengeringkan lahan; tindakan pengelolaan air harus selaras dengan pencegahan kebakaran dan perlindungan penghidupan warga. Proyek restorasi perlu melibatkan pemilik dan pengelola lahan, memastikan kanal blocking dipelihara, dan memantau kondisi muka air serta risiko kebakaran sepanjang musim kering.

Di Nusa Tenggara dan pulau-pulau kecil, curah hujan tahunan yang lebih rendah serta musim kering yang panjang menjadikan tampungan lokal dan perlindungan sumber sangat penting. Pilihan dapat mencakup embung rumah tangga, panen hujan, sumur dangkal yang dilindungi, sistem gravitasi dari mata air, atau distribusi air terjadwal. Teknologi harus mudah diperbaiki dengan bahan dan tenaga lokal. Desalinasi dapat dipertimbangkan jika

sumber lain tidak memadai, tetapi kebutuhan energi, pengelolaan air garam pekat, biaya suku cadang, dan keterampilan operator perlu diperhitungkan sejak kajian kelayakan.

Di kawasan pegunungan dan hulu, mata air, hutan, dan tanah berperan penting menjaga aliran dasar. Perubahan tutupan lahan, jalan, kebun, dan permukiman dapat memengaruhi infiltrasi serta erosi. Konservasi tidak cukup berupa penanaman simbolis; ia perlu mengikuti karakter tanah dan vegetasi, melindungi zona resapan, dan melibatkan masyarakat yang menjaga sumber. Pemantauan mata air dan debit kecil perlu dilakukan sepanjang tahun agar perubahan dasar terdeteksi sebelum gangguan layanan dirasakan di kota atau desa hilir.

Di kota pesisir, pengambilan air tanah dapat menjadi pilihan saat pasokan perpipaan terbatas, tetapi penarikan berlebih berisiko mempercepat intrusi laut. Kebijakan perlu memperluas layanan perpipaan, mengurangi kebocoran, memantau sumur, serta menegakkan pengendalian pengambilan untuk pengguna besar. Pengisian akuifer buatan dapat menjadi salah satu opsi bila kondisi geologi sesuai dan kualitas air memenuhi syarat. Penataan ruang perlu melindungi kawasan imbuhan dan membatasi permukaan kedap di lokasi strategis. Adaptasi pesisir juga perlu memperhitungkan banjir rob dan risiko pencemaran sumber ketika air asin masuk ke sumur.

22 Indikator dan ambang tindakan yang operasional

Indikator kekeringan perlu ditautkan pada keputusan spesifik. Jika tujuan ialah melindungi tanaman, kelembapan tanah, hujan mingguan, dan fase pertumbuhan mungkin lebih relevan daripada anomali hujan tahunan. Untuk pengelolaan waduk, elevasi, volume tampungan efektif, inflow, prakiraan permintaan, dan proyeksi pelepasan menjadi perhatian. Perusahaan air minum memerlukan indikator kualitas air baku, kapasitas instalasi, jam layanan, tekanan jaringan, dan tingkat kehilangan. Pemilihan indikator yang sesuai

mencegah pengambil kebijakan mengandalkan angka yang mudah diperoleh tetapi tidak menjawab masalah operasional.

Ambang tindakan perlu ditentukan melalui riwayat kejadian, kapasitas sistem, dan tingkat layanan yang disepakati. Ambang muka waduk yang memicu pengurangan alokasi tidak dapat disalin langsung dari waduk lain karena bentuk waduk, sedimentasi, kebutuhan hilir, dan waktu tempuh berbeda. Analisis dapat menguji beberapa nilai pemicu dan mengukur seberapa sering tindakan diberlakukan, berapa layanan yang dapat dipertahankan, serta kerugian jika keputusan terlalu dini atau terlambat. Proses itu menghasilkan aturan yang dapat dipertanggungjawabkan kepada pengguna.

Indikator peringatan tidak harus selalu rumit. Jumlah hari tanpa hujan, kenaikan permintaan air tangki, laporan sumur rumah tangga yang mengering, atau penurunan debit mata air dapat menjadi sinyal komunitas. Catatan warga dapat dilengkapi foto bertanggal, lokasi, dan pengukuran sederhana. Pemerintah perlu menyusun prosedur verifikasi sehingga laporan lokal memperoleh respons yang cepat tanpa mengabaikan mutu data. Pengamatan komunitas juga meningkatkan keterwakilan di daerah yang jauh dari stasiun klimatologi.

Ketidakpastian dapat dikomunikasikan dengan skenario dan rentang. Misalnya, pengelola dapat menunjukkan bahwa pada skenario kering tampungan diperkirakan cukup sampai rentang bulan tertentu, sedangkan dalam skenario lebih kering perlu pembatasan lebih awal. Pesan semacam itu membantu pengguna merencanakan tanpa menyatakan satu tanggal sebagai kepastian. Pembaruan rutin perlu menjelaskan apakah peluang skenario berubah dan apakah tindakan yang sudah berjalan perlu disesuaikan. Komunikasi yang konsisten mengurangi kejutan dan rumor.

Kinerja peringatan dinilai dari ketepatan waktu, keterjangkauan pesan, pemahaman penerima, dan perubahan tindakan. Jumlah pesan yang dikirim bukan ukuran hasil. Jika petani menerima prakiraan tetapi tidak memiliki

pilihan benih atau akses saluran, peringatan belum menghasilkan adaptasi. Jika warga mengetahui jadwal distribusi namun tangki tidak datang, persoalannya terletak pada logistik dan akuntabilitas. Evaluasi perlu mencatat siapa yang menerima manfaat dan siapa yang tidak, serta mengidentifikasi hambatan yang berada di luar kendali penerima informasi.

23 Ketahanan air dan hubungan dengan ketahanan pangan energi serta kesehatan

Air menghubungkan sektor yang sering direncanakan secara terpisah. Produksi pangan memerlukan irigasi dan air untuk ternak, sementara listrik dibutuhkan untuk memompa serta mengolah air. Kekeringan dapat menekan pembangkit hidro, tetapi keputusan melepas air untuk energi dapat mengurangi pasokan irigasi atau air baku. Rencana bersama perlu menguji kalender kebutuhan tiap sektor dan menghitung konsekuensi ketika aliran berada di bawah nilai yang biasa. Dialog teknis antara operator waduk, perusahaan listrik, dinas pertanian, dan penyedia air dapat memperkecil konflik yang sebenarnya dapat diperkirakan.

Ketahanan pangan tidak hanya berkaitan dengan hasil panen nasional, tetapi juga akses rumah tangga pada pangan yang terjangkau dan bergizi. Kekurangan air dapat menurunkan pendapatan petani dan meningkatkan harga komoditas tertentu. Dampaknya bervariasi antara wilayah produsen, konsumen perkotaan, dan daerah kepulauan yang bergantung pada pasokan dari luar. Kebijakan air dapat mendukung diversifikasi tanaman yang lebih sesuai kondisi lokal, sistem penyimpanan pangan, penguatan pasar, dan perlindungan petani kecil. Penyesuaian komoditas perlu dilakukan melalui dialog dan informasi pasar, bukan sekadar keputusan teknis dari luar komunitas.

Kesehatan publik terkait erat dengan kontinuitas air aman dan sanitasi. Pada saat layanan terganggu, pengelolaan limbah domestik dapat memburuk dan risiko kontaminasi meningkat. Fasilitas kesehatan perlu mempunyai rencana

pasokan cadangan, kapasitas penyimpanan, pengujian kualitas, dan prosedur penghematan tanpa mengurangi standar kebersihan klinis. Puskesmas dapat menjadi pusat informasi mengenai cara menyimpan air, risiko penyakit, dan kelompok yang membutuhkan dukungan. Rencana tanggap kekeringan perlu memasukkan anggaran kesehatan, bukan hanya komponen teknik sumber air.

Kebakaran lahan dan kabut asap dapat berjalan bersamaan dengan kemarau yang dipengaruhi El Niño. Kebakaran mengancam habitat, aset, kesehatan, dan kualitas air. Air untuk pemadaman bersaing dengan kebutuhan lain, sehingga lokasi sumber dan tata cara pengambilan perlu diatur lebih dahulu. Pengelolaan lahan gambut berbasis hidrologi, pemantauan hotspot, patroli, larangan pembakaran, dan penyediaan mata air atau kolam yang tepat dapat memperkecil risiko. Strategi air dan strategi pencegahan kebakaran perlu menyatukan indikator serta pusat komando pada periode siaga.

Analisis keterkaitan sektor dapat menunjukkan titik ungkit yang memberi manfaat bersama. Perbaikan irigasi dapat mengurangi konsumsi energi pemompaan; penggunaan kembali air limbah dapat menyediakan air non-minum untuk industri dan taman kota; perlindungan hulu dapat menjaga mutu sehingga biaya pengolahan turun. Namun manfaat bersama perlu diverifikasi dengan pengukuran. Satu proyek dapat menghasilkan penghematan di satu sektor tetapi menambah konsumsi di tempat lain. Penilaian menyeluruh membantu menghindari klaim sinergi yang tidak didukung oleh neraca air dan indikator sosial.

24 Rencana kerja bertahap untuk menghadapi episode El Niño

Sebelum periode berisiko, pengelola dapat memperbarui peta sumber dan pelanggan, memeriksa pompa serta jaringan, menyelesaikan pemeliharaan waduk dan embung, menguji laboratorium, serta memastikan kontrak dan kendaraan distribusi tersedia. Petani perlu memperoleh informasi musim dan opsi tanam cukup awal untuk mengubah keputusan. Pemerintah daerah dapat menyepakati daftar fasilitas prioritas dan protokol permintaan bantuan.

Persiapan ini relatif rutin dan karena itu sebaiknya masuk ke kalender kerja tahunan, bukan menunggu rapat darurat saat kemarau telah mencapai puncaknya.

Ketika sinyal awal muncul, fase kesiapsiagaan dapat memulai penghematan sukarela, inspeksi kebocoran intensif, pengisian tandon yang aman, koordinasi lintas pengguna, dan komunikasi mingguan. Bila pengamatan menunjukkan penurunan sumber, tindakan pembatasan dilakukan menurut prioritas yang telah diumumkan. Operator perlu mencatat alasan perubahan jadwal, besaran pasokan, lokasi yang terdampak, dan kanal pengaduan. Data aktual memungkinkan pemerintah mengalihkan armada atau bantuan sebelum dampak menumpuk pada satu kecamatan.

Pada fase respons, distribusi air darurat perlu mengikuti standar mutu dan volume minimum yang jelas. Titik layanan harus mudah dicapai oleh warga lansia, penyandang disabilitas, dan keluarga tanpa kendaraan. Jadwal perlu konsisten serta diumumkan lewat lebih dari satu kanal. Pengendalian antrean dan pencatatan keluhan mencegah konflik dan distribusi ganda. Jika kebutuhan melebihi kapasitas, pemerintah dapat mengaktifkan sumber tambahan sesuai hasil penilaian risiko, sambil melindungi sumur dan badan air agar tidak dieksploitasi tanpa kendali.

Saat hujan kembali, pekerjaan belum selesai. Sumber mungkin membutuhkan waktu untuk pulih, sementara air hujan pertama dapat membawa sedimen atau kontaminan. Operasi harus dinaikkan bertahap setelah kualitas dan debit teruji. Penanaman kembali dapat dilakukan ketika kondisi lahan sesuai, dan aset darurat perlu dipelihara untuk musim berikutnya. Evaluasi pascakemarau mencatat biaya, kegagalan, layanan yang tidak tercapai, dan praktik yang efektif. Laporan hasil yang terbuka menunjukkan pertanggungjawaban serta membantu menetapkan prioritas anggaran tahun berikutnya.

Rencana kerja juga perlu menetapkan peran yang dapat dimintai pertanggungjawaban. Setiap tindakan memiliki instansi pemimpin, mitra

pelaksana, sumber anggaran, tenggat, indikator, dan jalur eskalasi. Daftar ini mengurangi kemungkinan setiap pihak mengira bahwa tugas berada pada instansi lain. Rencana yang baik tidak harus panjang, tetapi harus konsisten dengan kewenangan dan sumber daya. Simulasi dan pembaruan berkala menjaga dokumen tetap hidup ketika personel, kondisi iklim, atau jaringan layanan berubah.

25 Batas analisis dan prinsip kehati-hatian

Tinjauan naratif ini merangkum mekanisme dan pilihan kebijakan, tetapi tidak menggantikan analisis teknis suatu DAS. Data yang tersedia berbeda dalam panjang deret, resolusi, mutu, dan definisi kekeringan. Hasil satu studi kasus tidak dapat dipindahkan begitu saja ke pulau atau sistem layanan lain. Sebelum menetapkan proyek, pemerintah perlu melakukan kajian hidrologi, hidrogeologi, sosial, lingkungan, serta ekonomi yang sesuai dengan lokasi. Penilaian yang baik menjelaskan sumber data, periode pengamatan, asumsi, dan ketidakpastian sehingga keputusan dapat ditinjau kembali ketika bukti baru muncul.

Hubungan statistik antara indeks ENSO dan hujan tidak membuktikan bahwa ENSO adalah penyebab tunggal perubahan air pada lokasi tertentu. Perubahan lahan, pengambilan air, kebocoran infrastruktur, pertumbuhan penduduk, pencemaran, dan tata kelola dapat memperkuat atau mengurangi dampaknya. Karena itu, komunikasi publik sebaiknya menghindari kalimat deterministik seperti “El Niño pasti mengeringkan semua sumber”. Penjelasan berbasis probabilitas lebih akurat: El Niño dapat meningkatkan peluang hujan di bawah normal di sejumlah wilayah dan musim, sedangkan risiko pasokan ditentukan oleh kondisi sumber serta pengelolaannya.

Kebutuhan air juga tidak selalu dapat dijumlahkan sebagai angka tetap. Kebutuhan domestik berubah karena ukuran rumah tangga, suhu, pola layanan, dan jenis bangunan; kebutuhan irigasi dipengaruhi kalender dan teknik budidaya; kebutuhan ekologis berubah mengikuti habitat dan siklus

hidup. Proyeksi permintaan perlu menilai efisiensi sekaligus kemungkinan pertumbuhan, termasuk efek pantulan ketika teknologi hemat air membuat penggunaan menjadi lebih murah lalu konsumsi meningkat. Skenario harus menguji pilihan tata ruang dan pola produksi yang berbeda, bukan hanya mengalikan kebutuhan sekarang dengan proyeksi penduduk.

Ketahanan air tidak memiliki satu indikator ringkas yang menggambarkan semua aspek. Tampungan dapat penuh, tetapi layanan masih tidak adil; jaringan dapat berfungsi, tetapi sumber tercemar; kualitas air dapat memenuhi standar, tetapi biaya terlalu tinggi untuk sebagian keluarga. Pengukuran harus menggabungkan ketersediaan, akses, mutu, keterjangkauan, kontinuitas, ketahanan ekosistem, dan kapasitas kelembagaan. Indikator yang beragam memberi gambaran lebih jujur dan membantu menentukan apakah masalah memerlukan infrastruktur, perubahan aturan, bantuan sosial, atau perlindungan sumber.

Penilaian keberhasilan adaptasi harus memeriksa siapa yang mendapat manfaat dan siapa yang memikul biaya. Infrastruktur dapat meningkatkan pasokan kota tetapi memindahkan masyarakat dari lahan atau mengurangi aliran hilir. Pembatasan pengambilan dapat melindungi akuifer namun berdampak pada pekerja yang bergantung pada usaha kecil. Analisis distribusi dan konsultasi membantu mencari mitigasi serta kompensasi yang layak. Prinsip kehati-hatian tidak berarti menunda seluruh tindakan; ia berarti memilih tindakan berdasarkan bukti, memantau akibatnya, dan mengubahnya jika dampak yang tidak diinginkan muncul.

Terakhir, kebijakan perlu menjaga pilihan untuk masa depan. Proyek yang sangat besar dan mahal dapat mengunci pola konsumsi air selama puluhan tahun, sedangkan langkah modular dapat disesuaikan seiring bertambahnya data. Membandingkan pilihan no-regret seperti pengurangan kebocoran, perlindungan mata air, pemantauan, dan efisiensi dengan pilihan struktural memberi ruang bagi keputusan bertahap. Dalam keadaan ketidakpastian

tinggi, kombinasi tindakan yang dapat diperluas, dievaluasi, dan direvisi sering lebih aman bagi anggaran maupun lingkungan daripada bertumpu pada satu solusi tunggal.

Penilaian kebijakan juga perlu membedakan keluaran langsung dari perubahan ketahanan. Jumlah embung, panjang pipa, banyaknya pelatihan, atau jumlah pesan peringatan merupakan keluaran yang dapat dihitung, tetapi belum menunjukkan bahwa rumah tangga memperoleh air aman ketika sumber menurun. Evaluasi perlu menguji hasil pada musim kering: apakah jam layanan tetap terjaga, apakah petani mampu menyesuaikan pola tanam, apakah muka air tanah pulih setelah musim hujan, dan apakah aliran ekologis masih dipertahankan. Pengukuran sebaiknya dilakukan sebelum, selama, dan sesudah episode kering, lalu dibandingkan dengan kondisi dasar serta kelompok yang memiliki akses berbeda. Dengan cara itu, program dapat dikenali mana yang mengurangi paparan, mana yang hanya menggeser biaya, dan mana yang memberi manfaat sementara. Informasi ini mendukung revisi target, perbaikan desain, serta pemilihan investasi berikutnya. Evaluasi juga sebaiknya melacak efek lintas waktu; strategi yang terlihat berhasil pada satu kemarau mungkin tidak memadai ketika terjadi dua musim kering berurutan. Pemerintah dapat menetapkan tinjauan tahunan yang memeriksa data hasil, mendengar umpan balik warga, dan mencatat perubahan prosedur. Keterbukaan membuat capaian dapat diverifikasi dan mendorong pembelajaran antarwilayah, tanpa menganggap satu model pengelolaan dapat disalin langsung ke semua daerah.

Glossarium

Akuifer — Lapisan batuan atau sedimen yang dapat menyimpan dan mengalirkan air tanah.

Aliran ekologis — Pola dan jumlah aliran air yang diperlukan untuk mempertahankan fungsi ekosistem sungai dan kawasan terkait.

DAS — Daerah aliran sungai, yaitu wilayah daratan yang mengalirkan air menuju satu sungai utama atau badan air.

El Niño — Fase hangat ENSO yang ditandai pemanasan anomali di Pasifik ekuatorial tengah-timur dan perubahan sirkulasi atmosfer.

ENSO — El Niño–Southern Oscillation, interaksi laut-atmosfer di Pasifik tropis dengan fase El Niño, netral, dan La Niña.

Evapotranspirasi — Gabungan penguapan dari permukaan dan transpirasi tumbuhan ke atmosfer.

IOD — Indian Ocean Dipole, variasi gradien suhu muka laut Samudra Hindia yang memengaruhi pola hujan kawasan.

Kekeringan hidrologis — Defisit pada aliran sungai, mata air, danau, waduk, atau air tanah setelah periode kekurangan hujan.

Kekeringan meteorologis — Kondisi curah hujan yang berada di bawah nilai rujukan selama periode tertentu.

Kekeringan pertanian — Kekurangan air tanah yang tersedia bagi tanaman sehingga mengganggu pertumbuhan atau hasil.

Ketahanan air — Kemampuan masyarakat dan ekosistem memperoleh serta mengelola air yang cukup, aman, terjangkau, dan berkelanjutan saat menghadapi perubahan.

MJO — Madden–Julian Oscillation, gangguan intramusiman tropis yang bergerak dan memodulasi aktivitas hujan.

ONI — Oceanic Niño Index, indeks anomali suhu muka laut kawasan Niño 3.4 yang dipakai untuk memantau ENSO.

SPI — Standardized Precipitation Index, indeks statistik untuk menilai anomali curah hujan pada skala waktu tertentu.

Tampungan efektif — Bagian kapasitas waduk atau embung yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan operasi.

Walker circulation — Sirkulasi atmosfer timur-barat di kawasan tropis Pasifik yang berubah bersama ENSO.

Daftar Pustaka

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika. (n.d.). Informasi ENSO. https://iklim.bmkg.go.id/id/enso/

Hendon, H. H. (2003). Indonesian rainfall variability: Impacts of ENSO and local air–sea interaction. Journal of Climate, 16(11), 1775–1790. https://doi.org/10.1175/1520-0442(2003)016<1775:IRVIOE>2.0.CO;2

Hidayat, R., & Ando, K. (2014). Variabilitas curah hujan Indonesia dan hubungannya dengan ENSO/IOD: Estimasi menggunakan data JRA-25/JCDAS. Agromet, 28(1), 1–8. https://doi.org/10.29244/j.agromet.28.1.1-8

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

Leemhuis, C., & Gerold, G. (2006). The impact of the warm phase of ENSO (El Niño Southern Oscillation) events on water resource availability of tropical catchments in Central Sulawesi, Indonesia. Advances in Geosciences, 6, 217–220. https://doi.org/10.5194/adgeo-6-217-2006

McPhaden, M. J., Zebiak, S. E., & Glantz, M. H. (2006). ENSO as an integrating concept in Earth science. Science, 314(5806), 1740–1745. https://doi.org/10.1126/science.1132588

Pawitrama, N. I., Pratiwi, E. P. A., Karlina, K., Sujono, J., & Muharsyah, R. (2026). The causality relationship of El Niño Southern Oscillation (ENSO) and Indian Ocean Dipole (IOD) on meteorological drought in Bali. ASEAN Engineering Journal, 16. https://doi.org/10.11113/aej.v16.23443

Rahma, A. D., & Ludwig, F. (2024). El Nino effects on water availability for agriculture: Case study of Magelang, Central Java, Indonesia. Applied Environmental Research, 46(2), Article 019. https://doi.org/10.35762/AER.2024019

World Meteorological Organization. (2021). State of climate services 2021: Water. https://library.wmo.int/records/item/57630-state-of-climate-services-2021-water

Yasin, I., & Ma'shum, M. (2006). Dampak variabilitas iklim musiman pada produksi padi sawah tadah hujan di Pulau Lombok. Agromet, 20(2), 38–47. https://doi.org/10.29244/j.agromet.20.2.38-47