KEKERINGAN AKIBAT EL NIÑO

Akses Masyarakat terhadap Air Bersih



1 DARI EL NIÑO KE KEKERINGAN



Perubahan sirkulasi laut–atmosfer



Peluang hujan menurun di sebagian wilayah



Debit sungai, waduk, mata air, dan imbuhan air tanah berkurang

Dampaknya berbeda menurut wilayah, musim, IOD, kondisi DAS, dan pengelolaan air.

2 DAMPAK PADA KEHIDUPAN



Pasokan air rumah tangga terganggu



Waktu dan biaya untuk memperoleh air meningkat



Risiko sanitasi dan kesehatan bertambah



Sekolah, layanan kesehatan, pertanian, dan usaha kecil ikut terdampak

3 SIAPA YANG LEBIH RENTAN?



Rumah tangga tanpa jaringan



Desa terpencil dan pulau kecil



Anak-anak, lansia, penyandang disabilitas



Perempuan dan keluarga berpenghasilan rendah

4 LANGKAH ADAPTASI

1



Pantau hujan, debit, waduk, sumur, dan mutu air

2



Lindungi sumber serta daerah resapan

3



Kurangi kebocoran dan hemat air untuk penggunaan nonprioritas

4



Siapkan tampungan, sumber cadangan, dan distribusi adil

Air aman harus cukup, terjangkau, dekat, dan tersedia saat dibutuhkan.



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

Kekeringan akibat El Niño dan Akses Masyarakat terhadap Air Bersih

Narasi ilmiah tentang risiko kekeringan, layanan air, dan pilihan adaptasi

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

IBM-ASMI | RudyCT Academic Series

Abstrak

El Niño dapat mengurangi peluang hujan dan memperpanjang kondisi kering di sebagian wilayah Indonesia. Namun, dampaknya terhadap akses air bersih ditentukan pula oleh keadaan waduk dan akuifer, kualitas ekosistem, infrastruktur layanan, pertumbuhan permintaan, serta ketimpangan sosial. Artikel ini menjelaskan jalur dari anomali iklim menuju kekeringan meteorologis, pertanian, hidrologis, dan sosioekonomi; menelaah dampaknya terhadap rumah tangga, kesehatan, pendidikan, serta penghidupan; dan menguraikan adaptasi pada tingkat keluarga, komunitas, penyedia layanan, dan pemerintah. Uraian menekankan bahwa akses air tidak cukup diukur dari keberadaan sumber: air perlu aman, cukup, terjangkau, dekat, dan tersedia ketika dibutuhkan. Strategi yang disarankan meliputi prakiraan dan peringatan dini yang dapat ditindaklanjuti, perlindungan daerah tangkapan, pemantauan air tanah, pengurangan kebocoran, diversifikasi sumber, rencana keamanan air, jaminan kebutuhan dasar, dan tata kelola alokasi yang adil. El Niño dipahami

sebagai pengganda tekanan, bukan penyebab tunggal krisis layanan. Ketahanan dibangun melalui kombinasi kesiapsiagaan darurat, infrastruktur yang dipelihara, solusi berbasis alam, pembiayaan berkelanjutan, data yang terbuka, dan partisipasi masyarakat.

Kata Kunci
El Niño; ENSO; kekeringan; air bersih; ketahanan air; Indonesia; layanan air minum; adaptasi iklim; keadilan air; peringatan dini

Daftar Isi

- 1. Pendahuluan: air bersih sebagai isu ketahanan masyarakat
- 2. El Niño dan dinamika iklim Indonesia
- 3. Dari anomali hujan menjadi kekeringan
- 4. Jalur dampak terhadap air permukaan dan air tanah
- 5. Akses air bersih: lebih dari tersedianya sumber
- 6. Siapa yang paling terdampak dan mengapa
- 7. Dampak kesehatan, sanitasi, pendidikan, dan penghidupan
- 8. Pemantauan, prakiraan, dan peringatan dini
- 9. Strategi rumah tangga dan komunitas
- 10. Peran pemerintah daerah dan nasional
- 11. Operator air minum dan ketahanan layanan
- 12. Infrastruktur berbasis alam dan perlindungan daerah tangkapan
- 13. Teknologi, data, dan analitik untuk keputusan
- 14. Pembiayaan, keadilan, dan tata kelola alokasi
- 15. Integrasi dengan kesehatan masyarakat dan kesiapsiagaan bencana
- 16. Peta jalan adaptasi jangka pendek hingga panjang
- 17. Tantangan implementasi dan pelajaran kebijakan
- 19. Keragaman risiko antarwilayah
- 20. Risiko di kawasan perkotaan
- 21. Sistem perdesaan dan komunitas terpencil

- 22. Standar mutu dan pengolahan air
- 23. Pemanenan air hujan dan tangki penyimpanan
- 24. Hubungan dengan pertanian dan pangan
- 25. Perlindungan sosial dan keterjangkauan
- 26. Kerja sama hulu dan hilir
- 27. Mengukur efektivitas adaptasi
- 28. Komunikasi dan kepercayaan publik
- 29. Adaptasi dalam kondisi iklim yang berubah
- 30. Sanitasi dan pengelolaan air limbah saat kemarau
- 31. Energi dan ketergantungan sistem air
- 32. Perlindungan daerah resapan dan pengendalian pencemaran
- 33. Pengadaan dan distribusi air darurat
- 34. Prinsip pelaksanaan adaptasi yang efektif
- 35. Ketidakpastian prakiraan dan keputusan yang tangguh
- 36. Pemulihan sumber air setelah musim kering
- 37. Peran pengetahuan lokal dan pemantauan partisipatif
- 38. Ketahanan rumah tangga terhadap gangguan layanan
- 39. Kesimpulan
- Glossarium
- Daftar Pustaka

Pendahuluan dan ruang lingkup

Naskah ini merupakan tinjauan naratif berbasis literatur dan kerangka layanan air. Bukti Indonesia yang dirujuk mencakup analisis hujan dan ENSO, studi sumber air pada DAS, serta kajian gambut. Data indikator nasional disajikan dengan tahun dan definisi sumber agar tidak disalahartikan sebagai ukuran tunggal ketahanan. Rekomendasi diuraikan sebagai kerangka adaptasi; penerapannya perlu disesuaikan dengan data hidrologi, standar teknis, tata kelola, dan kebutuhan lokal. DOI dicantumkan untuk publikasi ilmiah dan laporan yang memilikinya; rujukan resmi tanpa DOI menggunakan tautan penerbit atau repositori.

1. Pendahuluan: air bersih sebagai isu ketahanan masyarakat

Air bersih adalah prasyarat kesehatan, martabat, produktivitas, pendidikan, dan keberfungsian ekosistem. Ketika sumur mengering, debit mata air turun, atau aliran sungai menyusut, dampaknya tidak berhenti pada berkurangnya volume air. Rumah tangga harus mengubah rutinitas, mengeluarkan uang lebih besar, menunda kegiatan ekonomi, dan mengambil keputusan sulit tentang penggunaan air untuk minum, memasak, mandi, sanitasi, ternak, atau tanaman. Anak-anak dapat kehilangan waktu belajar karena membantu mengambil air; perempuan dan kelompok yang memikul kerja perawatan sering menanggung tambahan waktu dan risiko. Karena itu, kekeringan perlu dibaca sebagai peristiwa hidrologis sekaligus persoalan layanan publik dan keadilan sosial.

El Niño merupakan salah satu sumber variasi iklim antartahun yang dapat mengurangi peluang hujan di banyak wilayah Indonesia, terutama pada musim kemarau dan awal musim hujan. Pengaruhnya tidak seragam. Besarnya dampak bergantung pada kekuatan dan letak anomali suhu laut, fase Indian Ocean Dipole (IOD), monsun, topografi, tutupan lahan, keadaan waduk dan akuifer, serta pengelolaan sumber air. Kajian Indonesia menunjukkan respons hujan terhadap El Niño berbeda antarwilayah dan musim; sejumlah kawasan selatan Sumatra, Jawa, Bali, Nusa Tenggara, Kalimantan bagian tenggara, Sulawesi,

Maluku, dan Papua dapat mengalami kekeringan meteorologis yang lebih nyata pada peristiwa tertentu (Setiawan et al., 2017). Karena itu, istilah "dampak El Niño" tidak boleh dipakai untuk menganggap semua tempat akan mengalami kondisi yang sama.

Artikel ini menjelaskan jalur dari El Niño menuju tekanan pada sumber air dan akses rumah tangga, membedakan jenis kekeringan, menerangkan siapa yang paling rentan, dan menguraikan pilihan adaptasi dari tingkat keluarga hingga pemerintah. Fokusnya adalah akses terhadap air yang cukup, aman, terjangkau, dekat, dan tersedia saat diperlukan—bukan sekadar keberadaan sumber air. Definisi layanan "dikelola dengan aman" yang digunakan WHO/UNICEF mensyaratkan sumber yang layak, berada di lokasi rumah, tersedia saat dibutuhkan, dan bebas kontaminasi. Sebuah rumah tangga dapat berada dekat sungai namun tetap tidak memiliki akses air minum aman, atau memiliki sambungan perpipaan tetapi menerima aliran hanya beberapa jam dan tidak dapat diandalkan.

Argumen utamanya ialah bahwa El Niño bertindak sebagai pengganda tekanan pada sistem yang sudah rentan. Kekeringan memperlihatkan celah yang sebelumnya tertutup oleh hujan: jaringan yang bocor, kapasitas penyimpanan terbatas, sumber air yang tercemar, tata kelola yang tidak terkoordinasi, serta ketimpangan antara wilayah layanan dan permukiman. Respons yang efektif harus menggabungkan prakiraan dan peringatan dini, pengelolaan permintaan, perlindungan daerah imbuhan, diversifikasi sumber, standar kualitas, dukungan keuangan, serta mekanisme distribusi yang adil. Pengiriman tangki air tetap berguna untuk keadaan darurat, tetapi tidak dapat menggantikan infrastruktur dan kelembagaan yang tangguh.

2. El Niño dan dinamika iklim Indonesia

El Niño adalah fase hangat dari ENSO (El Niño–Southern Oscillation), pola interaksi laut-atmosfer yang berpusat di Samudra Pasifik tropis. Ketika permukaan laut di Pasifik tengah dan timur menghangat relatif terhadap rata-

rata, sirkulasi Walker dan pola konveksi tropis bergeser. Di sebagian kawasan maritim Indonesia, pembentukan awan hujan dapat melemah, terutama pada musim dan lokasi ketika hubungan telekoneksi ENSO paling kuat. Definisi operasional El Niño tidak sekadar menyatakan "air Pasifik panas": pemantauan menggunakan indeks suhu permukaan laut, kondisi atmosfer, dan konsistensi anomali selama beberapa bulan. Prediksi musiman merupakan probabilitas, bukan kepastian tentang hujan di satu desa.

Pengaruh El Niño pada curah hujan Indonesia bersifat musiman dan spasial. Analisis jangka panjang menunjukkan penurunan hujan akibat El Niño kanonik pada musim kering hingga awal musim hujan di bagian tengah dan timur Indonesia, sementara pola El Niño Modoki dapat memberikan respons berbeda, termasuk peningkatan di beberapa wilayah pada musim basah (Hidayat & Ando, 2014; Saji et al., 2020). Hasil penelitian bukan peta kepastian untuk setiap kejadian, tetapi menegaskan perlunya informasi yang terpilah menurut wilayah, musim, dan jenis sumber air. Stasiun hujan lokal, pengamatan debit, pemantauan waduk, dan komunikasi prakiraan BMKG perlu dipadukan dengan data masyarakat.

IOD positif—perbedaan suhu permukaan laut di Samudra Hindia bagian barat dan timur—dapat memperkuat pengurangan hujan di sejumlah wilayah Indonesia saat bertepatan dengan El Niño. Interaksi ini membantu menjelaskan mengapa beberapa musim kering menjadi lebih berat dibanding dugaan berdasarkan indeks ENSO saja. Namun, kontribusi relatif setiap penggerak iklim berubah menurut wilayah dan waktu. Bahkan di dalam satu provinsi, pantai, dataran tinggi, cekungan, dan pulau kecil dapat merespons secara berlainan. Penjelasan yang menyebut El Niño sebagai satu-satunya penyebab kekeringan mengabaikan variabilitas monsun, karakter hujan lokal, pengelolaan bendungan, perubahan penggunaan lahan, serta permintaan air.

Perubahan iklim akibat emisi gas rumah kaca berbeda dari ENSO, meski keduanya berinteraksi. Kajian kekeringan global menekankan bahwa kenaikan suhu dapat meningkatkan penguapan dan memperberat defisit air dalam

kondisi hujan yang sama (Dai, 2011). ENSO adalah variabilitas alami berulang; pemanasan global menggeser kondisi dasar suhu dan memengaruhi intensitas panas, evapotranspirasi, kelembapan tanah, serta karakter kejadian ekstrem. Tidak setiap kekeringan dapat diatribusikan langsung pada perubahan iklim, dan tidak setiap El Niño menjadi lebih kuat karenanya. Tetapi suhu yang lebih tinggi dapat membuat defisit hujan yang sama terasa lebih berat karena kehilangan air dari tanah dan permukaan meningkat. Perencanaan jangka panjang perlu mempertimbangkan tren iklim dan ketidakpastian, sedangkan respons musiman perlu memakai prakiraan ENSO dan indikator lokal.

3. Dari anomali hujan menjadi kekeringan

Kekeringan meteorologis terjadi ketika hujan lebih rendah daripada kondisi normal setempat dalam durasi tertentu. Pembedaan tipe kekeringan membantu menghubungkan indikator fisik dengan dampak sosial dan ekonomi, karena setiap tipe memiliki proses dan jeda waktu yang berbeda (Mishra & Singh, 2010). Kekeringan pertanian berkembang ketika kelembapan tanah tidak mencukupi kebutuhan tanaman. Kekeringan hidrologis tampak pada penyusutan debit sungai, danau, waduk, mata air, atau simpanan air tanah. Kekeringan sosioekonomi muncul ketika ketersediaan air tidak lagi memenuhi kebutuhan manusia dan kegiatan ekonomi. Urutan ini tidak selalu linear. Sistem irigasi dengan waduk besar dapat menunda kekeringan pertanian, tetapi waduk itu sendiri bisa kehilangan simpanan bila musim kering berlangsung lama. Sebaliknya, rumah tangga tanpa jaringan perpipaan dapat menghadapi krisis layanan jauh sebelum indeks kekeringan regional mencapai kategori ekstrem.

Indeks seperti Standardized Precipitation Index (SPI) membandingkan curah hujan pada suatu periode dengan distribusi klimatologis lokal. Indeks ini berguna untuk mendeteksi anomali hujan dalam berbagai rentang waktu, tetapi tidak langsung menyatakan berapa liter air yang dapat diambil warga. Indikator kelembapan tanah, debit, muka air waduk dan sumur, kualitas air, serta jam layanan harus melengkapinya. Penelitian Setiawan et al. (2017) menunjukkan

SPI dapat membantu memetakan kekeringan Indonesia yang terkait El Niño serta mendukung prakiraan musiman; pedoman WMO memberikan kerangka perhitungan dan interpretasi indeks ini (World Meteorological Organization, 2012). Sistem operasional perlu menerjemahkan angka teknis menjadi informasi keputusan: sumber mana yang menurun, kapan distribusi mungkin terganggu, siapa yang perlu menerima dukungan, dan tindakan apa yang aman dilakukan.

Jeda waktu antara hujan dan dampak pada pasokan air bergantung pada karakter daerah aliran sungai, jenis batuan, kedalaman tanah, tutupan vegetasi, dan infrastruktur. Sungai kecil dapat merespons cepat ketika hujan berhenti; mata air karst atau akuifer dangkal mungkin menyusut setelah beberapa minggu; akuifer dalam dapat memiliki respons lebih lambat tetapi pulih lebih lama. Tanah yang dipadatkan dan permukaan kedap mengurangi infiltrasi, sedangkan daerah imbuhan yang terjaga membantu pengisian air tanah. Karena itu, pengamatan satu kali terhadap permukaan waduk atau sumur tidak cukup untuk menilai risiko. Catatan berkala mengenai debit, kedalaman muka air, salinitas, kekeruhan, dan lama pengisian ulang memberi dasar lebih kuat untuk alokasi.

Penting pula membedakan kekurangan air fisik dengan kelangkaan yang tercipta oleh akses dan tata kelola. Sebuah daerah dapat memiliki air secara agregat, tetapi warga miskin, permukiman informal, pulau kecil, atau komunitas terpencil tidak terhubung ke layanan. Pada keadaan lain, volume air tersedia namun tidak aman karena limbah, intrusi air asin, atau kontaminan geogenik. Kekeringan menajamkan persoalan tersebut melalui persaingan antarpengguna dan naiknya biaya pemompaan maupun pengangkutan. Keputusan publik harus memeriksa ketersediaan, keterjangkauan, mutu, kontinuitas dan aksesibilitas sekaligus, bukan hanya menjumlahkan kapasitas produksi instalasi.

4. Jalur dampak terhadap air permukaan dan air tanah

Curah hujan yang berkurang menurunkan limpasan dan pengisian waduk, tetapi besarnya pengaruh bergantung pada kondisi awal tampungan, operasi pintu

air, sedimentasi, kehilangan akibat evaporasi, dan kebutuhan hilir. Dalam cekungan dengan banyak pengguna, penurunan inflow dapat memicu penjadwalan ulang pembagian air antara rumah tangga, irigasi, industri, dan kebutuhan ekologi. Waduk yang dirancang terutama untuk irigasi mungkin harus melayani kebutuhan air baku kota, atau sebaliknya. Aturan operasi yang adaptif perlu menetapkan prioritas dasar, ambang tindakan, dan transparansi data. Keputusan menahan air hari ini dapat melindungi pasokan masa depan, tetapi juga menimbulkan dampak sosial jika tidak melibatkan pengguna dan mempertimbangkan aliran minimum bagi ekosistem.

Air tanah sering menjadi penyangga saat air permukaan menyusut. Rumah tangga memperdalam sumur, perusahaan air meningkatkan pemompaan, dan petani memakai pompa lebih lama. Cadangan ini bukan sumber tak terbatas. Pengambilan berlebihan dapat menurunkan muka air, meningkatkan biaya energi dan kedalaman sumur, mengeringkan sumur dangkal, serta memicu penurunan tanah di kawasan tertentu. Di pesisir, gradien hidraulik yang berubah dapat memperbesar risiko intrusi air laut, meskipun mekanismenya sangat bergantung pada geologi dan besaran pemompaan. Pemerintah daerah perlu mengukur ekstraksi dan imbuhan, melindungi daerah resapan, mengatur sumur produksi, dan memperluas pemantauan akuifer. Pemanfaatan darurat yang meningkat sebaiknya disertai rencana pemulihan dan perlindungan kualitas.

Studi di DAS Citarum mengilustrasikan bahwa dinamika air permukaan dan imbuhan air tanah berkaitan dengan musim, penggunaan waduk, dan variasi iklim; hasilnya juga memperlihatkan bahwa pola respons tidak selalu identik antara hulu, hilir, dan waduk (Susandi et al., 2024). Kajian ketersediaan air pertanian di sub-DAS Bompon, Magelang, menekankan perlunya menilai neraca air pada skala daerah tangkapan dan musim tanam, bukan hanya mengandalkan rerata tahunan (Rahma & Ludwig, 2024). Pelajaran untuk layanan domestik ialah bahwa keputusan sumber baku harus berbasis neraca air aktual. Statistik rata-rata tahunan dapat menyembunyikan defisit kritis pada bulan-bulan ketika rumah tangga paling membutuhkannya.

Di gambut tropis, penurunan muka air tanah selama kondisi kering dapat berdampak pada fungsi ekosistem, risiko kebakaran, dan kualitas air lokal. Hubungan antara ENSO, IOD, dan tinggi muka air gambut teramati dalam penelitian di Indonesia (Sulaiman et al., 2023). Hal itu tidak berarti setiap kejadian El Niño otomatis menyebabkan kebakaran atau pencemaran, tetapi memperlihatkan keterkaitan antara pengelolaan hidrologi lahan dan ketahanan air. Drainase, kanal, pembukaan lahan, serta pembakaran dapat mengubah simpanan dan aliran air. Perlindungan gambut dan daerah aliran sungai karenanya merupakan bagian dari kebijakan akses air, bukan agenda lingkungan yang terpisah.

5. Akses air bersih: lebih dari tersedianya sumber

Akses air bersih memiliki beberapa dimensi yang saling terkait: ketersediaan cukup, keamanan mikrobiologis dan kimiawi, kemudahan dijangkau, kontinuitas, keterjangkauan, serta kesesuaian dengan kebutuhan rumah tangga dan budaya. Kerangka WHO/UNICEF untuk layanan air minum "dikelola dengan aman" memasukkan sumber yang layak, berada di rumah atau pekarangan, tersedia ketika diperlukan, dan bebas kontaminasi. Data nasional perlu dibaca dengan definisi indikator yang tepat. Persentase rumah tangga yang menggunakan sumber "layak" tidak sama dengan proporsi yang menerima air perpipaan sepanjang hari atau memenuhi mutu aman di titik konsumsi. Perbedaan indikator ini penting ketika menilai ketahanan terhadap kekeringan.

Ketersediaan sesaat tidak menjamin kontinuitas. Sambungan rumah bisa memperoleh air hanya pada jam tertentu; tekanan jaringan turun saat banyak pelanggan mengambil air; kebocoran memperbesar kehilangan sebelum air mencapai konsumen. Ketika sumber baku menyusut, operator dapat melakukan penggiliran atau mengurangi tekanan. Rumah tangga yang mampu mungkin membeli tangki, memasang tandon besar, atau menggunakan sumur pribadi, sedangkan rumah tangga berpenghasilan rendah membeli air eceran dengan harga lebih tinggi per liter. Ketimpangan ini sering tidak terlihat dalam angka

kapasitas instalasi. Pemantauan layanan saat kekeringan harus mengukur jam pasokan, gangguan, harga alternatif, jarak pengambilan, waktu antre, dan kondisi mutu pada titik pemakaian.

Di wilayah perdesaan, sumber yang dominan dapat berupa sumur gali, mata air, jaringan berbasis komunitas, tampungan hujan, atau pengiriman dengan kendaraan. Pulau kecil menghadapi keterbatasan akuifer, intrusi air asin, dan biaya logistik tinggi. Kawasan perkotaan menghadapi kebutuhan padat, jaringan lama, dan ketergantungan pada sumber baku di luar batas kota. Komunitas adat dan terpencil mungkin memiliki pengetahuan lokal tentang mata air dan pola musim, tetapi akses mereka pada pendanaan dan layanan formal terbatas. Solusi yang dirancang seragam sering gagal karena tidak sesuai geologi, pola permukiman, kemampuan pemeliharaan, maupun tata nilai setempat. Pemetaan sosial-hidrologis menjadi langkah awal untuk menentukan pilihan yang benar-benar dapat berfungsi.

Kualitas air dapat berubah selama kekeringan. Volume sungai yang lebih kecil dapat meningkatkan konsentrasi pencemar jika beban limbah tetap sama, suhu air yang meningkat dapat memengaruhi proses biologis, dan penggunaan sumber alternatif tanpa perlindungan dapat menaikkan risiko kontaminasi. Sumur yang dangkal rentan terhadap rembesan dari septic tank atau limpasan saat hujan pertama setelah periode kering. Intrusi salin dapat mengubah rasa sekaligus kegunaan air. Ini adalah risiko yang harus diuji, bukan diasumsikan pada setiap tempat. Pengawasan kualitas perlu mencakup parameter mikrobiologi, kimia yang relevan setempat, salinitas, serta pemeriksaan sanitasi sumber dan wadah penyimpanan.

6. Siapa yang paling terdampak dan mengapa

Kerentanan dibentuk oleh paparan, sensitivitas, dan kapasitas adaptasi. Rumah tangga yang tinggal jauh dari sumber, tidak memiliki sambungan, bergantung pada sumur dangkal, atau bekerja di sektor yang membutuhkan banyak air lebih terpapar. Anak-anak, lansia, ibu hamil, penyandang disabilitas, dan orang

dengan penyakit kronis lebih sensitif terhadap kekurangan air dan masalah kebersihan. Kemampuan beradaptasi dipengaruhi pendapatan, kepemilikan aset, jaringan sosial, akses informasi, dokumen kependudukan, serta kemampuan ikut dalam keputusan layanan. Tidak semua kelompok dalam kategori yang sama mengalami risiko identik. Analisis berbasis lokasi dan kebutuhan individu lebih berguna daripada label rentan yang terlalu umum.

Beban mengambil air sering tidak terbagi secara merata. Dalam banyak rumah tangga, perempuan dan anak perempuan bertanggung jawab atas pengumpulan air dan kerja domestik. Ketika sumber menjauh atau antrean bertambah, waktu untuk belajar, bekerja, beristirahat, dan berpartisipasi dalam kegiatan sosial berkurang. Perjalanan membawa beban fisik dan dapat meningkatkan risiko keselamatan, terutama bila dilakukan pada malam hari atau melalui jalur yang tidak aman. Intervensi tangki air yang ditempatkan tanpa konsultasi mungkin mudah dijangkau sebagian warga, tetapi menyulitkan penyandang disabilitas atau kelompok yang tinggal jauh dari jalan. Desain layanan harus menggunakan konsultasi inklusif, lokasi yang aman, jam yang sesuai, dan mekanisme umpan balik yang dapat diakses.

Kemiskinan dapat memperbesar kerugian meskipun konsumsi air rumah tangga tidak tinggi. Saat pasokan jaringan terputus, keluarga berpendapatan kecil mungkin mengurangi mandi, mencuci, atau membeli air aman; penghematan ini dapat menambah risiko kesehatan dan memperberat kerja perawatan. Pedagang kecil, pengolah makanan, laundry, peternak, dan pekerja informal dapat kehilangan pendapatan ketika air tidak tersedia. Biaya air alternatif bersaing dengan belanja pangan, transportasi, obat, dan sekolah. Oleh sebab itu, bantuan tunai atau subsidi tarif pada keadaan darurat perlu dirancang agar tepat sasaran, cepat, dan tidak mendorong penggunaan yang boros. Dukungan juga dapat berupa layanan air minimum gratis, voucher, atau pengiriman terjadwal, dengan perlindungan terhadap penyalahgunaan dan diskriminasi.

Kesenjangan perkotaan-perdesaan bukan satu-satunya perbedaan penting. Wilayah hulu dapat mengalami perubahan sumber air yang berdampak bagi

pengguna hilir; desa yang menyediakan kawasan tangkapan air belum tentu memperoleh layanan layak; dan kota yang mengandalkan waduk antardaerah perlu memastikan manfaat serta kompensasi yang adil. Distribusi risiko melintasi batas administrasi dan kelas sosial. Pengelolaan DAS harus mengakui hubungan antara konservasi di hulu, kebutuhan rumah tangga, pertanian, industri, serta aliran ekologis. Perjanjian pembagian manfaat dan tanggung jawab yang jelas mengurangi konflik ketika air langka, sedangkan keputusan sepihak dapat memindahkan beban dari satu komunitas ke komunitas lain.

7. Dampak kesehatan, sanitasi, pendidikan, dan penghidupan

Kekurangan air aman dapat meningkatkan paparan penyakit ketika orang terpaksa memakai sumber yang tercemar atau menyimpan air terlalu lama dalam wadah terbuka. Menurunnya ketersediaan air untuk mencuci tangan, membersihkan alat makan, dan menjaga fasilitas sanitasi dapat memperbesar risiko kesehatan, terutama di permukiman padat, sekolah, fasilitas kesehatan, dan tempat pengungsian. Hubungan antara kekeringan dan penyakit dipengaruhi kondisi sanitasi, perilaku, mutu sumber, kepadatan, dan kemampuan layanan kesehatan; kekeringan sendiri bukan diagnosis penyebab penyakit. Karena itu, respons kesehatan masyarakat perlu menggabungkan pemantauan air, promosi higiene yang realistis, pengolahan air rumah tangga yang benar, serta rujukan medis bila gejala muncul.

Fasilitas kesehatan memerlukan pasokan yang andal untuk sterilisasi, kebersihan, layanan persalinan, laboratorium, dan perawatan pasien. Sekolah membutuhkan air untuk minum, toilet, mencuci tangan, dan pengelolaan menstruasi. Jika pasokan putus, kegiatan belajar dapat dikurangi atau dihentikan, dan keluarga mungkin memilih menahan anak di rumah untuk membantu pengambilan air. Perencanaan darurat harus mengidentifikasi fasilitas kritis, mengukur kebutuhan minimum per hari, memeriksa sumber cadangan yang aman, serta menetapkan protokol pengisian dan pengujian kualitas. Pengiriman air darurat harus memprioritaskan fasilitas kesehatan,

sekolah, rumah perlindungan, dan titik komunitas yang melayani kelompok tanpa alternatif.

Penghidupan rumah tangga juga bergantung pada air. Petani dapat kehilangan hasil atau mengubah kalender tanam; peternak harus mencari sumber minum ternak; perikanan darat dan usaha kecil dapat menurun; dan pekerja harian menghadapi panas lebih berat ketika kesempatan memperoleh air minum dan istirahat terbatas. Persaingan antara kebutuhan domestik dan produksi dapat memicu konflik, khususnya jika alokasi tidak transparan. Respons yang berfokus hanya pada produksi pangan mungkin mengabaikan air minum dan sanitasi, sementara larangan penggunaan yang tidak mempertimbangkan mata pencaharian dapat menimbulkan dampak pendapatan. Mekanisme konsultasi, aturan prioritas yang diumumkan, jadwal distribusi, dan saluran keluhan membantu mengelola pertukaran kepentingan tersebut.

Kekeringan dapat pula mengubah kualitas hidup secara tidak langsung. Waktu yang dihabiskan untuk mengantre adalah biaya sosial; uang yang digunakan membeli air mengurangi konsumsi kebutuhan lain; dan ketidakpastian layanan menghambat investasi usaha atau perencanaan keluarga. Di beberapa tempat, tekanan sumber air dapat menambah migrasi sementara untuk mencari pekerjaan atau air, meskipun keputusan migrasi selalu dipengaruhi banyak faktor. Analisis dampak harus menggabungkan data hidrologis dengan survei rumah tangga, catatan pengeluaran, kondisi kesehatan, kehadiran sekolah, serta pengalaman warga. Kesaksian komunitas membantu mengungkap masalah yang tidak tertangkap oleh indikator agregat, sementara verifikasi kuantitatif memastikan kebijakan tidak didasarkan pada anekdot semata.

8. Pemantauan, prakiraan, dan peringatan dini

Sistem peringatan dini kekeringan yang berguna menghubungkan empat komponen: pengetahuan risiko, pemantauan dan prakiraan, komunikasi, serta kesiapsiagaan untuk bertindak. Prediksi iklim yang akurat tidak akan mengurangi kerugian jika tidak diterjemahkan menjadi tindakan dan sumber

daya. BMKG memantau kondisi ENSO dan prakiraan musim; lembaga pengelola sumber daya air memantau sungai, bendungan dan akuifer; operator air minum mengamati produksi, kehilangan jaringan dan gangguan; dinas kesehatan memeriksa risiko kualitas dan dampak kesehatan. Data tersebut harus dipertukarkan dengan pemerintah daerah dan komunitas secara rutin, bukan hanya setelah krisis diumumkan.

Indikator peringatan harus memicu keputusan yang sudah disepakati. Contohnya: prakiraan awal untuk meninjau rencana kontinjensi; penurunan debit untuk mengaktifkan penghematan kebocoran dan kampanye penggunaan; ambang tampungan untuk mengubah operasi waduk; dan gangguan kualitas untuk menyediakan sumber alternatif serta mengeluarkan nasihat kesehatan. Ambang harus ditetapkan sesuai kondisi setempat melalui analisis data historis, kemampuan infrastruktur, dan konsultasi pengguna. Bila ambang terlalu tinggi, alarm palsu dapat membuat warga kehilangan kepercayaan; bila terlalu rendah, persiapan terlambat. Sistem dapat menggunakan kategori probabilistik dan menyampaikan tingkat keyakinan, periode berlaku, wilayah cakupan, dan tindakan yang dianjurkan.

Pemantauan berbasis satelit dapat memperluas cakupan informasi hujan, kelembapan vegetasi, suhu permukaan, serta perubahan simpanan air skala luas. Data satelit perlu dikalibrasi dengan pengukuran lapangan; resolusi spasial dan temporalnya tidak selalu cocok untuk menjawab apakah sebuah sumur rumah tangga masih mengalir. Sensor muka air, pencatat debit, meter produksi, dan alat uji kualitas dapat memberi pembaruan lebih langsung, namun memerlukan perawatan, kalibrasi, konektivitas, dan tata kelola data. Teknologi tidak menggantikan institusi. Peta digital harus memiliki penanggung jawab, protokol validasi, akses yang jelas, dan format yang dapat dipakai oleh petugas lapangan serta warga.

Komunikasi risiko harus menggunakan bahasa yang mudah dipahami, kanal yang dipercaya, dan waktu yang memungkinkan tindakan. Pesan yang menyatakan “kemarau panjang mungkin terjadi” terlalu umum; pesan yang

berguna menjelaskan lokasi berpotensi terdampak, jangka waktu, sumber yang perlu dijaga, nomor kontak layanan, dan cara melaporkan gangguan. Informasi harus tersedia untuk warga tanpa ponsel pintar atau internet melalui radio, papan desa, pengeras suara, kader, dan pertemuan tatap muka. Penyampaian perlu mempertimbangkan bahasa lokal, kebutuhan aksesibilitas, dan risiko kepanikan atau informasi palsu. Sistem umpan balik membuat pemerintah memahami apakah peringatan diterima dan tindakan benar-benar dapat dilakukan.

9. Strategi rumah tangga dan komunitas

Pada tingkat rumah tangga, konservasi dimulai dari pemeriksaan kebocoran, penggunaan ulang air yang aman untuk keperluan nonminum, pemilihan peralatan hemat air, dan penjadwalan kebutuhan yang tidak mendesak. Penghematan tidak boleh mengurangi konsumsi minimum untuk minum, memasak, kebersihan dasar, dan sanitasi. Air hujan dapat ditampung untuk penggunaan tertentu apabila tersedia permukaan tangkapan dan wadah yang sesuai; air untuk diminum harus diolah dan disimpan secara higienis. Pemanenan hujan paling efektif bila dirancang sebelum musim kemarau, dilengkapi talang bersih, pembuangan aliran awal, penutup tangki, saringan, serta prosedur pemeliharaan. Hujan yang jarang tidak bisa dipanen dalam jumlah tak terbatas, sehingga perhitungan kebutuhan dan kapasitas harus realistis.

Komunitas dapat mengelola mata air, sumur bersama, sistem gravitasi, tampungan desa, atau jaringan pipa skala kecil melalui kelompok pengguna air. Keberlanjutan bergantung pada aturan iuran yang transparan, pembagian jadwal, dana operasi dan perawatan, pencatatan mutu, serta perwakilan perempuan dan kelompok miskin. Sumber bersama rentan dikuasai oleh pengguna yang lebih kuat jika tidak ada aturan distribusi. Kesepakatan perlu menetapkan batas pengambilan saat debit menurun, layanan prioritas untuk kebutuhan dasar, perlindungan daerah sekitar sumber, dan mekanisme

menyelesaikan keluhan. Pendampingan teknis tetap dibutuhkan agar pengelolaan berbasis masyarakat tidak menjadi pemindahan tanggung jawab pemerintah tanpa pendanaan.

Tampungan air hujan komunal dapat mengurangi ketergantungan pada sumber tunggal di wilayah dengan pola hujan musiman. Desain perlu menilai luas atap, koefisien limpasan, curah hujan, kebutuhan harian, lama periode kering, kehilangan, dan ruang penyimpanan. Air hujan dari atap atau permukaan lain dapat mengandung debu, kotoran hewan, logam dari material atap, atau mikroorganisme. Oleh karena itu, pemilihan bahan, first-flush diverter, penutup, desinfeksi dan pengujian harus mengikuti pedoman teknis. Di daerah dengan kekeringan panjang, tampungan harus dipandang sebagai satu unsur portofolio bersama mata air, jaringan, sumur yang dikelola, atau pasokan darurat—bukan satu-satunya solusi.

Rencana komunitas untuk musim kering dapat memetakan sumber, pengguna, kelompok berisiko, fasilitas penting, rute distribusi, dan titik layanan air. Warga dapat menetapkan tim pemantau yang mencatat debit sumur dan keluhan mingguan, dengan metode sederhana yang konsisten. Informasi lokal mengenai mata air yang pulih cepat, lokasi genangan, atau perubahan rasa dapat melengkapi sensor formal, tetapi hasilnya perlu diverifikasi bila terkait kualitas kesehatan. Simulasi distribusi sebelum krisis membantu menemukan antrean, konflik jadwal, dan hambatan akses bagi penyandang disabilitas. Ketika pemerintah menyediakan air dengan truk tangki, masyarakat sebaiknya dilibatkan dalam memilih titik dan jadwal, sedangkan volume, kualitas, dan penerima layanan dipublikasikan.

10. Peran pemerintah daerah dan nasional

Pemerintah daerah berada dekat dengan dampak, tetapi kerap terbatas oleh data, kapasitas teknis, dan anggaran. Rencana kontinjensi kekeringan perlu memetakan kebutuhan per desa dan fasilitas kritis, menentukan penanggung jawab, sumber anggaran, kriteria aktivasi, prosedur pengadaan, standar mutu,

dan mekanisme koordinasi lintas dinas. Dinas sumber daya air, kesehatan, pekerjaan umum, sosial, pertanian, pendidikan, lingkungan hidup, BPBD, BUMD air minum, dan pemerintah desa harus memiliki protokol yang saling kompatibel. Simulasi tahunan sebelum musim kemarau membantu memastikan daftar kontak, kendaraan, pompa, bahan bakar, laboratorium, dan titik distribusi benar-benar siap.

Pemerintah nasional menetapkan kerangka kebijakan, standar kualitas, dukungan fiskal, koordinasi antardaerah, dan investasi infrastruktur strategis. Pengelolaan kekeringan perlu terhubung dengan rencana pembangunan air minum dan sanitasi, konservasi DAS, adaptasi perubahan iklim, pengurangan risiko bencana, serta perlindungan sosial. Data indikator akses harus konsisten dan diperbarui dengan definisi yang jelas. Angka "akses sumber layak" tidak boleh disamakan dengan akses aman, terjangkau dan tersedia sepanjang waktu. Sebagai ilustrasi pentingnya definisi, WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme mengestimasi sekitar 30% penduduk Indonesia menggunakan layanan air minum yang dikelola dengan aman pada 2024; angka ini merujuk pada standar layanan yang spesifik, bukan semata kepemilikan sumber air (WHO/UNICEF JMP, 2025).

Pemerintah juga dapat menggunakan pengadaan darurat secara akuntabel. Pengiriman tangki air harus memiliki kontrak dan daftar volume, pemeriksaan kualitas sumber, pencatatan perjalanan, pengukuran yang diterima, dan kanal pengaduan. Pembelian air dari sumber yang tidak diketahui berisiko membawa kontaminan. Harga dan kuota perlu diawasi agar distribusi tidak menguntungkan perantara dengan mengorbankan warga. Di daerah terpencil, alternatif seperti pengolahan bergerak atau wadah rumah tangga mungkin lebih efisien, tetapi harus dinilai dari biaya sepanjang siklus hidup, ketersediaan suku cadang, energi, dan kompetensi operator. Audit pascakejadian membantu membedakan apa yang berhasil, siapa yang belum terlayani, dan perbaikan apa yang perlu dimasukkan ke anggaran berikutnya.

Penganggaran perlu bergeser dari pembiayaan respons semata menuju pencegahan dan kesiapsiagaan. Kebocoran jaringan dapat menghilangkan air yang telah diolah dan energi yang telah digunakan; rehabilitasi jaringan, meter yang akurat, pengelolaan tekanan, dan perlindungan sumber dapat memberi manfaat yang lebih konsisten daripada menambah kapasitas produksi saja. Program konservasi harus memiliki indikator hasil, seperti jam layanan, volume air tak berekening, proporsi sampel memenuhi standar, waktu tanggap gangguan, dan biaya rumah tangga untuk sumber alternatif. Anggaran berbasis risiko dapat memberi prioritas pada lokasi yang rentan berulang, bukan hanya wilayah yang memiliki daya tawar politik atau visibilitas media lebih besar.

11. Operator air minum dan ketahanan layanan

Perusahaan air minum dan penyedia layanan perlu menyusun rencana keamanan air dari daerah tangkapan sampai titik konsumsi. Pendekatan ini mengenali bahaya di sumber, proses pengolahan, penyimpanan, jaringan distribusi, dan rumah. Rencana tersebut menetapkan tindakan rutin dan tanggap insiden, termasuk ketika kekeruhan, salinitas, atau kontaminasi meningkat. Analisis skenario perlu menguji dampak penurunan debit pada kapasitas intake, biaya bahan kimia, energi pompa, kebutuhan cadangan, dan tekanan jaringan. Pengelola juga perlu membangun hubungan operasional dengan pemasok listrik, laboratorium, pemerintah daerah, serta komunitas di hulu.

Pengurangan air tak berekening harus menjadi prioritas strategis. Kebocoran fisik, sambungan ilegal, kesalahan meter, dan pencatatan yang tidak akurat dapat memperbesar kesenjangan pasokan pada saat sumber menurun. Program deteksi kebocoran, zonasi tekanan, penggantian pipa bertahap berdasarkan risiko, dan pemetaan aset digital dapat meningkatkan keandalan. Investasi teknologi harus dinilai terhadap kemampuan operator; sensor tanpa pemeliharaan dan sistem informasi yang tidak terintegrasi hanya menciptakan data yang tidak dipakai. Pada saat yang sama, efisiensi tidak boleh dilakukan

dengan memindahkan beban kepada pelanggan miskin melalui tarif yang tidak terjangkau atau pemutusan sepihak tanpa perlindungan minimum.

Diversifikasi sumber dapat mengurangi ketergantungan pada satu bendungan atau sungai. Pilihan meliputi perlindungan mata air, sumur produksi yang dikelola, interkoneksi antarsistem, pemanenan hujan, penggunaan kembali air olahan untuk kebutuhan nonminum, dan desalinasi pada lokasi tertentu. Setiap pilihan memiliki biaya dan dampak. Pemompaan air tanah dapat memperparah penurunan muka air; transfer antardaerah dapat memicu konflik dan kerusakan ekologis; desalinasi menggunakan energi dan menghasilkan air pekat; penggunaan ulang memerlukan pengolahan dan pengawasan yang tepat. Analisis portofolio perlu menghitung keandalan musim kering, biaya penuh, risiko mutu, emisi, dampak ekologi, dan penerimaan masyarakat.

Pengelolaan permintaan perlu dibedakan menurut jenis pengguna dan tahap kedaruratan. Kebocoran pelanggan, penggunaan air untuk aktivitas bernilai rendah, dan kebutuhan pokok tidak seharusnya diperlakukan sama. Tarif blok dapat memberi sinyal hemat sambil melindungi volume kebutuhan dasar, selama struktur tarif dirancang dengan data kemampuan bayar dan kondisi layanan. Industri dapat diwajibkan memiliki rencana pengurangan, daur ulang, atau sumber cadangan yang berkelanjutan. Namun, pembatasan tidak efektif tanpa pengawasan dan komunikasi yang jelas. Konsumen perlu mengetahui berapa lama kebijakan berlaku, pengecualian untuk kebutuhan penting, cara mengajukan keberatan, dan alasan teknis di balik alokasi.

12. Infrastruktur berbasis alam dan perlindungan daerah tangkapan

Hutan, lahan basah, sempadan sungai, tanah berpori, dan ruang terbuka dapat membantu mengatur aliran, menyaring sebagian kontaminan, mengurangi erosi, dan mendukung pengisian air tanah. Manfaat tersebut bergantung pada kondisi ekosistem, jenis tanah, intensitas hujan, dan skala bentang alam. Infrastruktur berbasis alam bukan pengganti jaringan pipa, waduk, atau pengolahan air, tetapi dapat mengurangi tekanan terhadap infrastruktur abu-

abu dan memperbaiki fungsi DAS. Perlindungan daerah tangkapan sebaiknya memiliki target hidrologis yang dapat diukur dan mekanisme pembiayaan yang memberi insentif kepada masyarakat penjaga hulu.

Restorasi lahan basah dan kawasan riparian perlu dirancang sesuai fungsi ekologis. Penanaman pohon saja tidak otomatis meningkatkan ketersediaan air pada semua musim; spesies, lokasi, tanah, serta konsumsi air tanaman perlu dipertimbangkan. Rehabilitasi sungai dapat melibatkan zona penyangga, pengendalian sedimentasi, pengelolaan limbah, dan pemulihan konektivitas. Di perkotaan, sumur resapan, taman hujan, permukaan berpori, dan kolam retensi membantu menahan limpasan dan mendukung infiltrasi, jika kondisi tanah dan kualitas limpasan sesuai. Sistem tersebut memerlukan pemeliharaan agar tidak tersumbat atau menjadi sumber vektor penyakit.

Prinsip "sumber ke keran" mengakui bahwa keamanan air ditentukan oleh kesehatan DAS sekaligus operasi instalasi. Perlindungan mata air dari pencemaran domestik dan peternakan, penataan zona resapan, pengendalian pengambilan air, serta pengelolaan limbah dapat mengurangi biaya pengolahan dan risiko gangguan. Untuk daerah dengan konflik penggunaan lahan, perlindungan sumber harus dijalankan melalui kesepakatan, pengawasan, kompensasi yang adil, dan penegakan hukum. Mengumumkan kawasan lindung tanpa dukungan penghidupan alternatif dapat membuat aturan tidak dipatuhi. Pendekatan kolaboratif menyatukan kepentingan produsen, warga hulu, pengguna hilir, dan pemerintah.

Pembayaran jasa lingkungan atau skema berbagi manfaat dapat menjadi instrumen, tetapi tidak boleh mengabaikan hak tenurial dan tata kelola lokal. Pembayaran perlu transparan mengenai siapa yang menerima, tindakan yang dibayar, indikator yang diverifikasi, serta cara menyelesaikan sengketa. Manfaat air bersih yang lebih andal perlu dibandingkan dengan biaya menjaga kawasan dan peluang ekonomi yang dikorbankan komunitas. Kesepakatan lintas wilayah dapat mendukung konservasi sekaligus investasi infrastruktur, misalnya pembiayaan monitoring mata air dan sanitasi desa. Evaluasi sosial-ekologis

secara berkala memastikan skema tidak sekadar menghasilkan transaksi administratif tanpa perbaikan nyata pada debit, kualitas, atau ketahanan layanan.

13. Teknologi, data, dan analitik untuk keputusan

Teknologi dapat membantu menjawab di mana sumber menurun, kapan pasokan perlu dialihkan, berapa banyak kebutuhan kritis, dan siapa yang belum menerima layanan. Sistem informasi geografis menggabungkan jaringan pipa, lokasi sumur, topografi, daerah rawan kekeringan, demografi, serta titik layanan. Analitik prakiraan dapat mengestimasi rentang kemungkinan inflow atau kebutuhan, sedangkan model hidrologi dapat menguji skenario operasi. Namun, hasil model harus disajikan dengan asumsi, kualitas data, batas resolusi, dan rentang ketidakpastian. Model yang memakai data historis tidak otomatis berlaku pada kondisi masa depan atau perubahan penggunaan lahan.

Pembelajaran mesin dapat membantu operator mendeteksi anomali konsumsi, memperkirakan gangguan, atau mengoptimalkan jadwal distribusi. Penggunaan yang bertanggung jawab memerlukan data yang representatif dan verifikasi oleh ahli lapangan. Bila sensor lebih banyak terpasang di kawasan formal, model dapat mengabaikan permukiman informal. Bila sistem mengutamakan efisiensi agregat, alokasi bisa merugikan kelompok kecil yang tidak tercatat. Karena itu, algoritma harus diaudit terhadap distribusi manfaat, data harus dilindungi dari penggunaan yang tidak berkaitan, dan keputusan penting harus dapat dijelaskan serta dikoreksi manusia. Teknologi berperan sebagai dukungan keputusan, bukan pengganti kewajiban layanan dan proses demokratis.

Keterbukaan data memperkuat kepercayaan dan koordinasi, tetapi perlu memperhatikan keamanan infrastruktur dan privasi. Pemerintah dapat memublikasikan status bendungan, indeks kekeringan, jadwal layanan, titik distribusi, hasil pengujian kualitas, serta mekanisme pengaduan dalam format yang mudah diakses. Data individual rumah tangga tidak perlu dibuka untuk

menyampaikan risiko publik. Standar data dan interoperabilitas memungkinkan dinas berbagi informasi tanpa harus memakai satu platform tunggal. Kapasitas petugas untuk membaca dan mengomunikasikan data sama pentingnya dengan ketersediaan dashboard.

Inovasi sederhana kadang lebih berdampak daripada sistem digital canggih. Papan status sumur di desa, alat ukur muka air yang mudah dibaca, meter mekanis yang terkalibrasi, prosedur pengambilan sampel, atau jadwal distribusi yang ditempel di lokasi dapat membantu tindakan cepat. Desain teknologi harus mempertimbangkan ketersediaan suku cadang, energi, keterampilan, bahasa, dan biaya operasi. Uji coba sebaiknya dilakukan bersama pengguna, dengan indikator keberhasilan layanan dan rencana pemeliharaan yang jelas. Teknologi yang dibeli tanpa strategi operasi berisiko menjadi aset menganggur setelah proyek berakhir.

14. Pembiayaan, keadilan, dan tata kelola alokasi

Pencegahan kekeringan dan penguatan layanan membutuhkan biaya modal, operasi, pemeliharaan, pengujian mutu, komunikasi, dan perlindungan sosial. Pendanaan yang hanya menutup pembangunan awal akan menghasilkan aset yang tidak berfungsi ketika kemarau tiba. Sumber pembiayaan dapat mencakup anggaran pemerintah, tarif layanan, dana desa, transfer fiskal, pembiayaan campuran, dan dukungan pembangunan. Setiap sumber perlu memiliki pembagian risiko yang jelas dan tidak menciptakan utang atau tarif yang tidak mampu dibayar. Perhitungan biaya siklus hidup membandingkan pilihan berdasarkan investasi, energi, bahan kimia, pemeliharaan, penggantian komponen, dan dampak lingkungan.

Prinsip keadilan air menuntut perhatian pada distribusi, pengakuan, dan prosedur. Distribusi berarti siapa memperoleh berapa banyak dan dengan biaya apa; pengakuan berarti kebutuhan, hak, dan pengetahuan kelompok berbeda dihormati; prosedur berarti warga dapat berpartisipasi, memperoleh informasi, mengajukan keluhan, dan memengaruhi keputusan. Pada saat krisis, urutan

prioritas perlu diumumkan secara terbuka. Kebutuhan minum, memasak, sanitasi dasar, fasilitas kesehatan, dan perlindungan keselamatan publik harus mendapatkan jaminan minimum. Setelah kebutuhan dasar, alokasi untuk pertanian, usaha, dan industri disusun dengan mempertimbangkan dampak terhadap pangan, pekerjaan, dan ekosistem.

Hak atas air tidak berarti sumber daya tanpa batas atau tanpa tata kelola; ia menuntut bahwa setiap orang memperoleh layanan esensial dengan cara yang aman dan bermartabat. Pengelolaan harus menyeimbangkan batas ekologis dengan kewajiban layanan publik. Kebijakan pembatasan dapat sah dan diperlukan, tetapi harus proporsional, tidak diskriminatif, berbasis informasi, dan memiliki mekanisme peninjauan. Pemutusan layanan dasar kepada rumah tangga yang tidak mampu membayar dapat memperburuk kesehatan dan biaya publik kemudian. Skema bantuan tarif, volume minimum, serta prosedur penagihan yang sensitif terhadap kemiskinan dapat mengurangi risiko tersebut tanpa menghapus kebutuhan menjaga keberlanjutan finansial penyedia.

Konflik air sering muncul ketika informasi alokasi tidak transparan atau manfaat dan beban terpisah. Forum DAS dan komite layanan dapat menjadi ruang untuk membahas data, skenario, dan prioritas sebelum keadaan darurat. Forum harus memiliki representasi yang bermakna, bukan hanya konsultasi formal setelah keputusan dibuat. Pengambilan keputusan perlu mencatat alasan, alternatif yang dipertimbangkan, dampak kelompok, serta mekanisme koreksi. Mediasi independen atau prosedur pengaduan membantu menyelesaikan perselisihan tentang sumur, saluran, kualitas, dan distribusi. Dengan aturan yang dikenal sebelumnya, pengurangan pasokan lebih mungkin dipahami sebagai tindakan kolektif yang diperlukan daripada perlakuan sewenang-wenang.

15. Integrasi dengan kesehatan masyarakat dan kesiapsiagaan bencana

Rencana kekeringan perlu dikaitkan dengan kesiapsiagaan kesehatan, bukan hanya pengelolaan hidrologi. Puskesmas dan dinas kesehatan dapat menilai kebutuhan air untuk layanan dasar, memantau diare dan penyakit terkait

lingkungan, memberi saran pengolahan air yang tepat, serta mengawasi kualitas titik distribusi. Pesan kesehatan harus menghindari prosedur yang berbahaya atau tidak praktis. Perebusan dapat membunuh banyak mikroorganisme tetapi tidak menghilangkan semua kontaminan kimia; penggunaan desinfektan harus mengikuti dosis dan petunjuk yang benar. Rumah tangga perlu memperoleh informasi mengenai wadah bersih, penutupan air, dan pencegahan kontaminasi silang.

Fasilitas pengungsian, panti, lembaga pemasyarakatan, sekolah berasrama, dan rumah sakit memerlukan rencana pasokan khusus karena penghuni sulit mencari alternatif. Kebutuhan minimum perlu dihitung berdasarkan fungsi fasilitas, jumlah orang, cuaca, dan layanan yang harus berjalan. Sumber cadangan harus diuji secara berkala; generator, pompa, tangki, filter, dan bahan desinfeksi perlu masuk dalam inventaris serta jadwal perawatan. Rencana harus memastikan akses bagi lansia, anak, ibu hamil, pasien, dan penyandang disabilitas. Latihan harus memeriksa apakah distribusi bisa berlangsung tanpa antrean panjang dan apakah petugas tahu bagaimana menangani mutu yang tidak memenuhi standar.

Kekeringan dapat terjadi bersamaan dengan panas ekstrem, kebakaran lahan, kabut asap, atau gangguan energi. Kondisi majemuk seperti itu memperberat kebutuhan air, menambah risiko kesehatan, dan mengganggu operasi pompa maupun pengolahan. Perencanaan skenario majemuk membantu mengidentifikasi ketergantungan: misalnya pompa membutuhkan listrik yang rentan padam; petugas lapangan terpapar panas; dan sumber air dekat kebakaran berpotensi menerima abu atau sedimen. Koordinasi lintas sektor membantu menentukan sumber alternatif dan rute logistik yang aman. Rencana tunggal untuk “kekeringan” perlu diuji terhadap kemungkinan beberapa bahaya berlangsung bersamaan.

Setelah krisis, evaluasi harus memeriksa waktu tanggap, jumlah rumah tangga yang terlayani, kontinuitas, mutu, biaya, keluhan, dan ketimpangan dampak. Data agregat sebaiknya dipilah menurut wilayah, pendapatan, jenis kelamin,

usia, disabilitas, dan status layanan bila memungkinkan dan etis. Penilaian pascakejadian tidak hanya mencari pihak yang salah; tujuannya menemukan titik kegagalan sistem serta tindakan korektif yang dapat dibiayai. Hasil evaluasi perlu dipublikasikan dalam ringkasan yang mudah dibaca dan dibawa ke rencana kerja tahunan. Tanpa umpan balik, kejadian berulang akan terus ditangani dengan cara ad hoc yang sama.

16. Peta jalan adaptasi jangka pendek hingga panjang

Dalam jangka pendek—sebelum atau saat prakiraan kemarau kering—pemerintah dan penyedia layanan perlu memeriksa sumber, memperbaiki kebocoran kritis, menyiapkan tangki dan pompa, menguji kualitas sumber cadangan, dan memastikan anggaran respons tersedia. Desa dapat memperbarui peta rumah tangga yang tidak memiliki alternatif, fasilitas umum, serta rute distribusi. Rumah tangga perlu diberi informasi yang konkret tentang penggunaan air aman dan jadwal layanan. Ketika gangguan berlangsung, pembatasan harus dimulai dari penggunaan nonprioritas, sementara kebutuhan dasar dan fasilitas esensial dilindungi. Pencatatan setiap pengiriman dan pemantauan mutu mencegah intervensi darurat berubah menjadi pasokan yang tidak aman.

Dalam jangka menengah, prioritas mencakup rehabilitasi jaringan, penambahan penyimpanan yang sesuai, penguatan sistem komunitas, pemantauan akuifer, diversifikasi sumber, dan konservasi daerah imbuhan. Perencanaan investasi sebaiknya menggunakan pendekatan portofolio dan mempertimbangkan skenario curah hujan serta permintaan, bukan mengandalkan satu prediksi. Rehabilitasi dapat mencakup perlindungan mata air, peningkatan kapasitas tampungan, sistem panen hujan, dan pengolahan air untuk sumber alternatif. Pengembangan kapasitas operator, laboratorium, kelompok pengguna, serta petugas komunikasi perlu berjalan bersama pembangunan fisik. Program pemeliharaan harus memiliki sumber dana yang stabil dan pembagian tanggung jawab yang disepakati.

Dalam jangka panjang, ketahanan air memerlukan pengelolaan terpadu pada skala DAS dan akuifer, penataan ruang yang melindungi daerah resapan, layanan air minum yang inklusif, sanitasi aman, serta pengendalian pencemaran. Rencana tata ruang, izin ekstraksi, konservasi, dan investasi harus menggunakan neraca air yang memperhitungkan musim kering, kebutuhan ekologi, dan perubahan iklim. Kota perlu menekan ketergantungan pada air tanah yang tidak terkendali; kawasan perdesaan perlu memperoleh standar layanan dan dukungan teknis yang setara. Adaptasi harus terintegrasi dalam rencana pembangunan, bukan proyek sementara yang berhenti saat anggaran atau perhatian publik berakhir.

Peta jalan harus memiliki indikator yang dapat dilacak. Indikator hasil meliputi proporsi rumah tangga yang menerima layanan aman, jumlah hari gangguan per tahun, waktu tempuh mengambil air, biaya air sebagai bagian dari pengeluaran, kejadian mutu gagal, cadangan hari pada sistem kritis, dan perubahan kondisi sumber. Indikator kelembagaan mencakup rencana kontinjensi yang diuji, keterwakilan kelompok rentan dalam forum, jumlah operator terlatih, dan keterbukaan data. Target harus ditetapkan dari data dasar lokal dan ditinjau secara berkala. Pengukuran yang baik menunjukkan bukan hanya apakah proyek selesai, tetapi apakah rumah tangga benar-benar lebih tahan saat kemarau.

17. Tantangan implementasi dan pelajaran kebijakan

Kesenjangan antara rencana dan pelaksanaan sering berasal dari fragmentasi kewenangan. Sumber air dapat dikelola oleh lembaga berbeda dari jaringan distribusi; data iklim dikelola terpisah dari data kesehatan dan kemiskinan; sedangkan batas daerah tangkapan tidak mengikuti batas administrasi. Mekanisme koordinasi harus memberi mandat, jadwal, pembagian data, dan kewenangan keputusan yang jelas. Rapat lintas dinas tanpa akses pada anggaran dan tanggung jawab tidak cukup. Satu unit dapat menjadi

koordinator, tetapi keputusan tetap perlu melibatkan pemilik sumber, operator, pemerintah lokal, dan pengguna.

Masalah kualitas dan kelengkapan data juga menghambat prioritas. Banyak sumber kecil tidak memiliki catatan muka air atau mutu yang rutin; peta jaringan bisa tidak mencerminkan kondisi aktual; dan statistik nasional tidak selalu menjelaskan jam layanan pada tingkat desa. Pengumpulan data bertahap dapat dimulai dari indikator minimal yang konsisten. Pemerintah dapat menggabungkan pengukuran formal dengan pemantauan komunitas dan audit teknis. Data yang tidak sempurna lebih baik daripada asumsi tak teruji, asalkan ketidakpastiannya dinyatakan dan keputusan diperbarui ketika informasi baru tersedia.

Kapasitas keuangan dan sumber daya manusia tidak merata. Daerah yang paling rentan dapat justru memiliki basis pajak rendah, jaringan yang buruk, dan akses teknis terbatas. Dukungan nasional perlu mempertimbangkan tingkat risiko dan kesenjangan layanan, dengan pendanaan untuk operasi serta pemeliharaan. Program pelatihan harus sesuai tugas dan berkelanjutan; pergantian pejabat tidak boleh menghapus pengetahuan kelembagaan. Kemitraan dengan universitas dan organisasi masyarakat dapat mengisi kesenjangan analisis, tetapi harus membangun kapasitas lokal dan menjaga kemandirian keputusan publik.

Pelajaran penting dari penelitian dan praktik ialah menghindari solusi tunggal. Sumur bor baru bisa memberi manfaat cepat namun menguras akuifer; waduk baru dapat mengubah ekosistem dan menimbulkan perpindahan; desalinasi dapat bekerja di pulau namun mahal energi; penampungan hujan sesuai di lokasi tertentu tetapi menghadapi variasi curah hujan. Keputusan perlu membandingkan manfaat, biaya, risiko kegagalan, dampak distribusi, serta pilihan yang dapat dipulihkan. Eksperimen skala kecil dengan evaluasi independen dapat mengurangi risiko investasi besar yang tidak sesuai konteks.

19. Keragaman risiko antarwilayah

Kepulauan Indonesia memiliki beragam kondisi sumber air. Pulau kecil dapat memiliki lensa air tawar yang tipis di atas air asin dan rentan ketika imbuhan turun atau pemompaan meningkat. Daerah karst memiliki aliran bawah tanah yang sukar dipetakan dari pengamatan permukaan. Pegunungan dan lereng vulkanik menyimpan mata air yang memasok banyak permukiman, tetapi perubahan tutupan lahan dapat mengubah limpasan dan kekeruhan. Dataran rendah perkotaan menghadapi kontaminasi dan kebocoran, sedangkan gambut memiliki dinamika muka air yang berbeda dari akuifer mineral. Maka peta nasional kekeringan hanya titik awal. Rencana perlu memuat geologi, waktu tempuh, sumber dominan, ketergantungan musiman, dan alternatif lokal.

Pilihan teknologi harus disesuaikan pada skala dan keadaan setempat. Desalinasi bisa membantu pulau dengan sumber terbatas tetapi membutuhkan energi, operator terlatih, suku cadang, dan pengelolaan air pekat. Sumur bor bisa memperluas pasokan namun harus didahului kajian akuifer serta pengaturan ekstraksi. Tampungan hujan efektif ketika hujan musiman cukup besar dan kapasitas penyimpanan dirancang untuk periode kering. Perlindungan mata air menjadi penting di dataran tinggi, sementara interkoneksi jaringan dapat memperkuat kota yang memiliki beberapa sumber. Kebijakan yang menyalin satu solusi dari wilayah lain sering gagal karena mengabaikan biaya operasi, akses, dan kemungkinan pemulihan sumber.

20. Risiko di kawasan perkotaan

Kota bisa mengalami tekanan air meskipun masih menerima hujan lokal karena sumber bakunya berada di DAS yang jauh. Ketergantungan pada satu waduk atau sungai meningkatkan risiko ketika inflow berkurang. Jaringan tua dengan kebocoran tinggi mengurangi jumlah air sampai ke pelanggan, sementara permukiman informal tidak selalu tercatat dalam perencanaan. Rumah tangga yang mampu dapat membeli air tangki atau membuat sumur, tetapi warga berpenghasilan rendah menanggung harga eceran yang lebih tinggi dan mutu

yang kurang terjamin. Rencana kota harus menggabungkan neraca sumber, pertumbuhan penduduk, kebutuhan industri, perubahan tata guna lahan, serta kondisi jaringan distribusi.

Ketahanan perkotaan dapat diperkuat dengan pembagian zona layanan, pemantauan tekanan, pengurangan kehilangan fisik, perbaikan kebocoran, dan interkoneksi antarsistem. Operator dapat menyediakan penyimpanan pelayanan dan sumber cadangan yang telah diuji, serta menggunakan air olahan untuk kebutuhan nonminum jika standar dan pemisahan jaringan dijaga. Pemanenan hujan pada gedung publik dan ruang resapan dapat mengurangi limpasan dan kebutuhan air bermutu tinggi, tetapi harus dirawat. Pemerintah perlu memasukkan sambungan legal dan layanan komunitas untuk lingkungan miskin dalam target adaptasi. Keberhasilan tidak hanya dinilai dari kapasitas instalasi, melainkan kontinuitas, mutu, keterjangkauan, dan pengurangan ketergantungan pada sumber yang rapuh.

21. Sistem perdesaan dan komunitas terpencil

Sistem air skala desa sering dikelola oleh kelompok pengguna dengan anggaran, teknisi, dan kemampuan pengujian terbatas. Sistem dapat berhenti lama ketika pompa rusak atau operator utama tidak tersedia. Sebelum musim kering, kelompok perlu menyusun inventaris sumber dan aset, jadwal inspeksi, catatan muka air, rencana pembelian suku cadang, dana pemeliharaan, dan daftar kontak teknis. Iuran harus transparan dan mempertimbangkan kemampuan bayar; kebutuhan dasar tidak boleh hilang karena rumah tangga tidak mampu membayar. Pemerintah daerah tetap bertanggung jawab memberi dukungan teknis, pengujian mutu, serta pemulihan layanan, sehingga pengelolaan berbasis masyarakat tidak berubah menjadi pemindahan beban negara.

Buku log sederhana dapat mencatat jumlah jam layanan, volume produksi, kondisi pompa, hasil uji air, keluhan, dan perbaikan yang telah dilakukan. Pelatihan sebaiknya menjangkau beberapa operator dan warga, bukan hanya

satu orang, agar pengetahuan tidak ikut hilang ketika seseorang pindah. Kelompok pengguna memerlukan aturan untuk membagi air saat debit turun, membatasi pengambilan nonprioritas, dan mengumumkan jadwal layanan. Warga perempuan, penyandang disabilitas, keluarga miskin, dan kelompok adat harus dilibatkan dalam menentukan lokasi titik air dan aturan antre. Pendamping kabupaten dapat melakukan kunjungan berkala sebelum situasi darurat, bukan hanya setelah sumber berhenti mengalir.

22. Standar mutu dan pengolahan air

Air yang bening belum tentu bebas kontaminasi, dan perubahan rasa atau warna perlu diperiksa berdasarkan karakter sumber. Pengawasan harus menjangkau sumber baku, instalasi, jaringan, dan wadah di rumah. Parameter mikrobiologi penting untuk mengetahui kontaminasi tinja; parameter kimia ditentukan oleh kondisi geologi, kegiatan di sekitar sumber, dan penggunaan lahan. Sampel perlu dicatat lokasinya, waktu pengambilannya, metode dan hasilnya, kemudian diterjemahkan menjadi nasihat yang mudah dipahami. Bila air hanya aman setelah pengolahan, instruksi perlu menyebut cara dan batas penggunaannya. Rencana kualitas yang baik juga menetapkan siapa mengambil sampel, siapa membayar laboratorium, dan kapan hasil diumumkan.

Pengolahan rumah tangga dapat menjadi perlindungan ketika layanan terganggu, tetapi metode harus sesuai jenis kontaminan. Perebusan dapat menonaktifkan banyak patogen, namun tidak menghilangkan seluruh bahan kimia terlarut dan membutuhkan bahan bakar. Klorinasi perlu dosis dan waktu kontak yang sesuai; filter harus dipilih berdasarkan kualitas air dan diganti sesuai petunjuk. Air berlumpur perlu ditangani sebelum desinfeksi. Wadah penyimpanan sebaiknya tertutup, dibersihkan, dan tidak dicelupkan alat yang kotor. Edukasi perlu diberikan bersama akses pada bahan pengolahan, wadah aman, dan pengujian bila diperlukan. Nasihat yang tidak mempertimbangkan biaya dan ketersediaan alat sulit diterapkan oleh keluarga miskin.

23. Pemanenan air hujan dan tangki penyimpanan

Pemanenan hujan dapat melengkapi pasokan dari jaringan atau sumur, khususnya ketika hujan terkonsentrasi pada musim tertentu. Rancangan harus memperhitungkan luas bidang tangkapan, hujan efektif, koefisien limpasan, periode tanpa hujan, kebutuhan harian, evaporasi, dan kapasitas tangki. Rata-rata hujan historis tidak menjamin ketersediaan pada setiap tahun. Tangki harus memiliki alas stabil, penutup, limpasan yang aman, akses pembersihan, dan perlindungan dari hewan. Untuk sekolah atau puskesmas, petugas yang bertanggung jawab dan biaya pemeliharaan perlu ditetapkan sebelum pemasangan. Pemanenan hujan bukan solusi tunggal bagi daerah dengan musim kering panjang.

Kualitas air hujan dipengaruhi bahan atap, debu, kotoran burung, talang, dan lama penyimpanan. Sistem pembuangan aliran awal dapat mengurangi sebagian kontaminan dari permukaan, tetapi air untuk diminum tetap memerlukan penilaian dan perlakuan yang sesuai. Tangki tertutup mengurangi masuknya serangga dan kotoran; pengambilan air harus dilakukan tanpa mencemari isi tangki. Pemerintah dapat menyusun panduan teknis untuk rumah dan fasilitas umum, melakukan pelatihan, serta memberikan dukungan yang mencakup pemeliharaan. Tanpa itu, banyak tangki berisiko rusak, tidak digunakan, atau dipakai dengan cara yang tidak aman.

24. Hubungan dengan pertanian dan pangan

Kebutuhan air domestik harus dikelola bersama kebutuhan pertanian yang menopang pangan dan penghidupan. Informasi prakiraan musim dapat membantu petani menggeser kalender tanam, memilih varietas yang sesuai, atau mengubah luas tanam sebelum kekurangan air memburuk. Pengelolaan kelembapan tanah dan jadwal irigasi dapat mengurangi kehilangan, tetapi penghematan di tingkat petak tidak otomatis menurunkan pengambilan total bila luas dan intensitas tanam bertambah. Neraca air DAS perlu memperhitungkan pengambilan serta aliran kembali. Petani juga memerlukan

informasi mengenai tampungan waduk dan kepastian jadwal distribusi supaya keputusan tanam tidak bertumpu pada rumor.

Aturan alokasi dapat mempertimbangkan tahap pertumbuhan tanaman yang paling sensitif, kebutuhan rumah tangga, fasilitas kesehatan, serta aliran ekologis. Pengurangan jatah irigasi tanpa pemberitahuan dapat menyebabkan kerugian berat dan mengganggu pasokan pangan. Bila petani diminta mengurangi tanam demi kebutuhan yang lebih prioritas, dukungan atau kompensasi perlu dibahas secara terbuka. Penggunaan air industri juga perlu dilaporkan dan diawasi agar beban tidak hanya ditanggung rumah tangga dan petani kecil. Forum lintas pengguna dapat menilai skenario alokasi sebelum kemarau dan menyepakati pemicu untuk mengubah jadwal.

25. Perlindungan sosial dan keterjangkauan

Biaya air saat darurat meliputi bukan hanya harga per jeriken, tetapi juga ongkos transportasi, waktu mengantre, penyimpanan, dan bahan untuk pengolahan. Beban ini dapat bersaing dengan pangan, obat, sekolah, dan transportasi kerja. Rumah tangga miskin mungkin mengurangi pembelian air aman atau mengambil air dari sumber yang tidak terlindungi. Pemantauan perlu mengukur pengeluaran sebagai bagian dari pendapatan, frekuensi gangguan, waktu yang digunakan, serta harga layanan alternatif. Daftar penerima bantuan harus diperbarui karena kekeringan dapat memengaruhi kelompok yang sebelumnya tidak tercatat sebagai miskin. Mekanisme pengajuan yang sederhana penting untuk warga tanpa dokumen lengkap.

Bantuan dapat berupa layanan minimum bersubsidi, voucher, transfer tunai, pengantaran, atau titik air komunal. Pilihan tergantung apakah pasar masih berfungsi, sumber aman tersedia, dan kelompok sasaran bisa mengakses layanan. Voucher tidak bermanfaat bila tidak ada pemasok; transfer tunai tidak menjamin ada air secara fisik. Skema harus diumumkan, diawasi, dan memiliki kanal pengaduan. Prioritas diberikan pada kebutuhan minum, memasak, kebersihan dasar, serta fasilitas kritis, dengan memperhatikan perempuan, anak,

lansia, dan penyandang disabilitas. Bantuan air juga harus menghindari antrean yang tidak aman dan mencegah pungutan tidak resmi.

26. Kerja sama hulu dan hilir

Kekeringan memperlihatkan hubungan saling ketergantungan di sepanjang DAS. Pengambilan air di hulu dapat memengaruhi pengguna hilir, perubahan tutupan lahan menambah erosi, dan operasi bendungan mengubah waktu aliran. Sebaliknya, kota, industri, dan lahan pertanian di hilir mendapat manfaat dari konservasi mata air dan hutan di wilayah tangkapan. Forum DAS dapat menyatukan informasi, membahas pembagian manfaat, serta merencanakan langkah pengurangan pencemaran. Kesepakatan perlu mencakup perwakilan warga hulu, bukan hanya lembaga pemerintah dan pengguna besar. Perlindungan sumber harus disertai pengakuan hak dan dukungan penghidupan yang sesuai.

Aturan pembagian air sebaiknya menetapkan data yang dipakai, prioritas dasar, ambang pengurangan, masa berlaku, tanggung jawab komunikasi, dan cara menangani keberatan. Ketika jadwal waduk atau distribusi berubah, pengguna perlu menerima pemberitahuan tepat waktu dan alasan yang jelas. Pengambilan keputusan harus mempertimbangkan dampak terhadap mata pencaharian, kebutuhan kota, dan fungsi ekosistem. Mekanisme mediasi mencegah perselisihan berkembang menjadi konflik terbuka. Aturan yang telah dibahas sebelum masa krisis cenderung lebih mudah diterima dan dapat diuji melalui latihan bersama.

27. Mengukur efektivitas adaptasi

Proyek adaptasi perlu dinilai dari perubahan layanan, bukan semata jumlah sumur atau tangki yang dibangun. Hasil penting meliputi berkurangnya hari tanpa air, peningkatan jam layanan, turunnya biaya rumah tangga untuk sumber alternatif, mutu yang konsisten, dan kemampuan pulih lebih cepat setelah musim kering. Evaluasi perlu memeriksa siapa yang menerima manfaat dan

siapa yang masih tertinggal. Data sebelum dan sesudah proyek dapat dipadukan dengan wawancara, survei rumah tangga, catatan operator, dan pengukuran hidrologi. Pembandingan harus memperhatikan variasi hujan agar perubahan iklim jangka pendek tidak salah dianggap sebagai hasil program.

Indikator dapat mencakup gangguan per pelanggan, persentase sampel yang memenuhi standar, waktu tempuh mengambil air, pengeluaran rumah tangga, kehilangan jaringan, muka air sumber, dan waktu dari peringatan ke tindakan. Data sebaiknya dipilah menurut lokasi, pendapatan, usia, jenis kelamin, disabilitas, dan jenis layanan dengan perlindungan privasi. Evaluasi rutin membantu menemukan apakah sumur baru memperburuk akuifer atau apakah tampungan komunal benar-benar mengurangi antrean. Hasilnya perlu memengaruhi perbaikan program, penganggaran, dan pemilihan teknologi pada tahun berikutnya, bukan hanya menjadi dokumen pelaporan.

28. Komunikasi dan kepercayaan publik

Kepercayaan menentukan apakah masyarakat mengikuti pembatasan dan menggunakan sumber alternatif secara aman. Pesan publik sebaiknya membedakan pengamatan, prakiraan, dan rekomendasi; menyebut wilayah serta periode berlaku; menerangkan tingkat kepastian; dan menunjukkan kapan pembaruan akan diberikan. Jika kualitas air terganggu, pengumuman harus menyatakan lokasi sampel, hasil, tindakan yang perlu dilakukan, dan kontak untuk bertanya. Informasi yang berubah perlu dijelaskan dengan alasan, bukan dihapus diam-diam. Komunikasi jujur membantu warga menyiapkan diri sekalipun prakiraan belum pasti, sedangkan klaim yang terlalu pasti dapat merusak kepercayaan saat kondisi berbeda.

Saluran komunikasi perlu dua arah dan dapat diakses tanpa internet. Radio, papan desa, pengeras suara, kader, nomor telepon, dan pertemuan tatap muka dapat melengkapi aplikasi. Warga membutuhkan cara melaporkan sumur kering, air berubah rasa, kebocoran, distribusi yang tidak adil, atau harga yang melonjak. Setiap laporan perlu ditanggapi dengan tenggat dan jalur eskalasi.

Data keluhan dapat menunjukkan lokasi yang luput dari pemantauan resmi. Perlindungan pelapor dan privasi rumah tangga harus dijaga agar kanal tidak menjadi sumber stigma atau konflik.

29. Adaptasi dalam kondisi iklim yang berubah

Ketahanan bukan berarti mempertahankan pola penggunaan air tanpa perubahan, melainkan memastikan kebutuhan dasar terpenuhi dalam kondisi iklim, penduduk, dan penggunaan lahan yang bergeser. Infrastruktur sebaiknya memiliki fleksibilitas untuk diperluas atau diubah: tampungan dapat ditambah bertahap, jaringan dapat dibuat modular, dan sumber cadangan diaktifkan berdasarkan indikator. Perencanaan memakai berbagai skenario curah hujan dan permintaan mengurangi risiko investasi yang hanya bekerja jika satu proyeksi tepat. Pilihan tetap perlu ditimbang dengan dampak ekologis dan sosial. Keputusan investasi perlu mengungkap asumsi, biaya sepanjang umur aset, dan risiko yang tersisa.

Tata kelola adaptif menggabungkan pemantauan, evaluasi, dan koreksi kebijakan secara berkala. Data keputusan dan dampak perlu disimpan agar pembelajaran bertahan meski pejabat berganti. Kemitraan dengan perguruan tinggi dapat memperbaiki model, tetapi warga harus memahami penggunaan data yang mereka sumbangkan. Rencana adaptasi air perlu terhubung dengan pengendalian pencemaran, sanitasi, perlindungan ekosistem, pengurangan risiko panas, serta pembangunan rendah emisi. Akses air aman memberi manfaat sehari-hari sekaligus menjadi perlindungan saat El Niño, sehingga investasi peningkatan layanan memiliki nilai sosial dan ekonomi yang luas.

30. Sanitasi dan pengelolaan air limbah saat kemarau

Air bersih dan sanitasi saling bergantung. Saat pasokan rumah tangga menurun, air untuk menyiram toilet, membersihkan permukaan, dan mencuci tangan ikut berkurang. Sebaliknya, sistem pembuangan limbah yang tidak aman dapat mencemari sumur dan sungai yang menjadi sumber alternatif. Rencana

kekeringan perlu mengidentifikasi fasilitas sanitasi yang bergantung pada air, memastikan toilet sekolah dan fasilitas kesehatan tetap berfungsi, serta menyediakan cara mencuci tangan yang hemat air tetapi aman. Pengelolaan lumpur tinja dan limbah cair juga perlu dipertahankan agar beban pencemaran tidak meningkat ketika debit sungai rendah.

Fasilitas umum dapat memakai perlengkapan hemat air, sistem pencucian tangan dengan aliran terkendali, dan penggunaan kembali air abu-abu untuk kebutuhan nonminum bila risiko kesehatan dinilai dan pengolahan sesuai. Penggunaan ulang tidak boleh menghubungkan pipa air limbah dengan pipa minum. Petugas perlu dilatih mengenali sambungan silang, menguji mutu, serta memberi label jelas pada air nonpotabel. Masyarakat perlu diberi informasi mengenai penyimpanan air limbah dan praktik pembuangan yang aman. Langkah tersebut mengurangi permintaan air minum untuk kegiatan yang tidak memerlukan kualitas setinggi air konsumsi.

31. Energi dan ketergantungan sistem air

Pengambilan, pengolahan, pemompaan, dan distribusi air membutuhkan energi. Ketika muka air turun, sumur lebih dalam dapat meningkatkan kebutuhan energi dan biaya operasi. Jika listrik padam pada saat kemarau, pompa berhenti sementara permintaan justru meningkat. Rencana ketahanan perlu menilai ketergantungan energi, menyediakan sumber listrik cadangan untuk fasilitas kritis, dan menguji apakah bahan bakar tersedia dalam keadaan darurat. Efisiensi pompa dan pengurangan kebocoran dapat mengurangi energi per unit air tersalurkan. Namun, pembangkit cadangan tidak boleh dipasang tanpa rencana bahan bakar, pemeliharaan, keselamatan, dan dampak emisi.

Sumber energi terbarukan dapat membantu sistem terpencil, terutama bila jaringan listrik tidak andal, tetapi pompa surya perlu dirancang agar pengambilan tidak berlangsung tanpa kendali. Sistem pengendalian dapat membatasi volume pemompaan, mengisi tangki pada jam tertentu, serta mencatat muka air. Baterai memiliki biaya dan kebutuhan penggantian; tangki

elevasi terkadang menjadi cara penyimpanan energi yang lebih sederhana. Keputusan teknologi harus membandingkan keandalan, biaya total, ketersediaan teknisi, dan risiko akuifer. Intervensi energi dan air perlu direncanakan bersama, bukan oleh program yang tidak berbagi data.

32. Perlindungan daerah resapan dan pengendalian pencemaran

Menjaga sumber air selama kemarau dimulai dengan mengurangi pencemaran dan mempertahankan daerah imbuhan. Limbah rumah tangga, peternakan, pertanian, dan industri dapat membatasi sumber yang bisa digunakan ketika pilihan lain mengering. Zona perlindungan mata air, inspeksi sanitasi, pengolahan limbah, dan pengendalian kegiatan berisiko membantu mempertahankan kualitas. Pengawasan harus berbasis risiko: lokasi yang dekat dengan sumur dangkal atau sungai air baku memerlukan perhatian khusus. Sanksi perlu berjalan bersama bantuan teknis agar rumah tangga dan usaha kecil dapat memperbaiki praktik tanpa menanggung beban yang tidak proporsional.

Daerah resapan sering berhadapan dengan tekanan pembangunan dan perubahan lahan. Tata ruang harus mengidentifikasi kawasan yang berperan penting bagi pengisian akuifer, lalu menyesuaikan izin dan infrastruktur. Di kawasan terbangun, sumur resapan dan permukaan berpori dapat membantu infiltrasi apabila tanah dan kualitas air limpasan sesuai. Di lahan pertanian, pengelolaan tanah dan vegetasi dapat mengurangi erosi serta mempertahankan struktur tanah. Pengukuran hasil perlu menilai perubahan aliran dasar, kualitas, dan tingkat pengisian, bukan hanya jumlah pohon yang ditanam. Perlindungan hulu adalah investasi layanan, sehingga biaya dan manfaatnya patut dibagi antara pengguna hulu dan hilir.

33. Pengadaan dan distribusi air darurat

Distribusi air darurat efektif bila direncanakan sebelum kebutuhan memuncak. Rencana perlu menentukan sumber yang memenuhi syarat, kapasitas armada,

titik pengisian, rute, waktu distribusi, jumlah per rumah tangga, pengujian kualitas, dan urutan prioritas. Truk tangki harus dibersihkan dan digunakan untuk air minum, bukan bergantian dengan bahan yang dapat mencemari. Setiap kiriman dicatat dalam satuan volume yang dapat diverifikasi dan warga mengetahui jadwalnya. Papan informasi di titik pembagian membantu mencegah kebingungan. Fasilitas kesehatan, sekolah, kelompok yang tidak dapat mencapai titik umum, dan rumah tangga tanpa alternatif perlu mendapat layanan khusus.

Biaya darurat dapat melonjak bila pengadaan dilakukan secara mendadak dan tidak transparan. Kerangka kontrak pra-musim, daftar pemasok yang telah diverifikasi, tarif satuan yang diumumkan, serta audit acak dapat mempercepat respons dan mengurangi risiko harga tidak wajar. Titik distribusi perlu memiliki pengelola, antrean aman, wadah bersih, serta prosedur untuk penyandang disabilitas dan lansia. Pengiriman tidak menggantikan jaringan atau sumber lokal; setelah krisis, pemerintah perlu mengevaluasi dampak logistik, kualitas, biaya per liter, dan kelompok yang belum terlayani. Pengalaman tersebut digunakan untuk memperbaiki kapasitas tangki komunal, armada, dan tata kelola respons.

34. Prinsip pelaksanaan adaptasi yang efektif

Adaptasi air yang efektif mengikuti urutan yang menghubungkan bukti dengan tindakan: pahami sumber dan pengguna; tentukan layanan minimum; ukur risiko iklim dan hidrologi; identifikasi pilihan; periksa dampak sosial serta lingkungan; sepakati pembiayaan dan operasi; lalu pantau hasilnya. Urutan ini mencegah keputusan dimulai dari teknologi yang sedang populer tanpa memeriksa masalah yang sebenarnya. Penyaringan awal dapat menolak pilihan yang jelas tidak sesuai, misalnya sumber dengan mutu buruk tanpa kemampuan pengolahan, atau pompa yang tidak memiliki operator dan pasokan energi. Kajian perlu cukup cepat untuk mendukung keputusan tetapi tetap menyatakan ketidakpastian.

Rencana yang adaptif juga menetapkan kondisi untuk mengubah arah. Jika muka air tanah turun lebih cepat daripada perkiraan, pengambilan perlu dibatasi dan sumber lain diaktifkan; jika tangki hujan berulang kali kosong, kapasitas dan strategi pasokan harus ditinjau. Pemerintah sebaiknya menentukan tanggal peninjauan, indikator pemicu, pejabat yang berwenang, dan cara melibatkan warga. Proses tersebut menjaga kebijakan tetap bertanggung jawab ketika kondisi berubah. Adaptasi bukan dokumen statis, melainkan rangkaian keputusan yang diperbarui berdasarkan bukti dan hasil nyata.

35. Ketidakpastian prakiraan dan keputusan yang tangguh

Prakiraan ENSO dan musim menyampaikan peluang, bukan kepastian harian untuk satu mata air atau satu desa. Keputusan layanan perlu mempertimbangkan prakiraan bersama kondisi sumber saat ini, pola historis lokal, dan konsekuensi jika prakiraan meleset. Pendekatan yang tangguh menyiapkan tindakan berbiaya rendah lebih awal, misalnya memperbaiki kebocoran dan menguji sumber cadangan, lalu mengaktifkan investasi atau pembatasan yang lebih besar ketika indikator mengonfirmasi penurunan. Penggunaan rentang skenario membantu pemerintah menghindari pilihan yang hanya berhasil pada satu kondisi. Ketidakpastian sebaiknya dikomunikasikan secara terbuka agar warga memahami dasar keputusan dan kapan keputusan akan diperbarui.

Rencana kontinjensi dapat memakai pemicu bertingkat. Pada tingkat kesiagaan, instansi memperbarui data, meninjau stok bahan, dan memberi informasi kepada publik. Pada tingkat waspada, operator meningkatkan pemantauan, mengurangi kehilangan, serta menyiapkan jadwal alternatif. Pada tingkat darurat, distribusi air, dukungan sosial, dan prioritas fasilitas kritis diaktifkan. Ambang setiap tingkat perlu disesuaikan dengan karakter waduk, akuifer, dan kemampuan layanan. Sistem bertingkat mencegah tindakan drastis terlalu dini sekaligus menghindari keterlambatan respons. Setelah kondisi pulih, penurunan

status harus mengikuti bukti pemulihan sumber agar penggunaan berlebih tidak menghabiskan cadangan yang baru terbentuk.

36. Pemulihan sumber air setelah musim kering

Berakhirnya fase El Niño atau turunnya hujan pertama tidak berarti sumber air langsung pulih. Limpasan awal dapat membawa sedimen dan kontaminan, sementara imbuhan ke akuifer memerlukan waktu dan bergantung pada permeabilitas tanah. Waduk memerlukan aliran masuk berkelanjutan untuk mengisi tampungan; sumur dalam dapat menunjukkan respons tertunda. Pengelola perlu memantau mutu, debit, tinggi muka air, serta tingkat pemulihan sebelum mencabut pembatasan. Pengambilan yang kembali meningkat terlalu cepat dapat menghambat pemulihan dan memicu krisis berulang. Komunikasi perlu menjelaskan bahwa pemulihan adalah proses bertahap, bukan satu tanggal yang ditentukan hanya oleh hujan.

Evaluasi pascakemarau dapat menilai berapa lama sistem pulih, bagian jaringan yang paling sering gagal, kelompok yang belum memperoleh layanan, serta biaya yang ditanggung masyarakat. Dana cadangan dan kontrak darurat perlu diperiksa untuk melihat apakah respons dapat diperbesar tanpa penundaan. Jika sumber lokal terus menurun meskipun hujan kembali, penyebab struktural seperti ekstraksi berlebih, sedimentasi, perubahan lahan, dan pencemaran perlu dikaji. Penanganan pemulihan meliputi pengisian kembali stok, perbaikan aset, pengujian kualitas, dan pembaruan rencana. Pembelajaran ini menjadikan setiap musim kering sebagai siklus peningkatan, bukan sekadar keadaan darurat yang kemudian dilupakan.

37. Peran pengetahuan lokal dan pemantauan partisipatif

Warga sering mengetahui perubahan sumber dari tanda yang tidak tercatat dalam pengukuran resmi: waktu sumur mulai surut, mata air mana yang pulih lebih cepat, perubahan rasa, atau perilaku tanaman di sekitar sumber. Pengetahuan ini berguna untuk menentukan lokasi pemantauan dan

memahami sejarah kekeringan. Agar dapat dibandingkan, pengamatan komunitas perlu menggunakan metode yang konsisten, seperti titik ukur tetap, jadwal pencatatan, satuan yang jelas, dan dokumentasi foto bila sesuai. Pelatihan sederhana membantu membedakan pengamatan dari kesimpulan tentang penyebab. Data komunitas tidak menggantikan pengujian laboratorium, tetapi dapat memperluas cakupan peringatan dan mengarahkan verifikasi teknis.

Pemantauan partisipatif perlu dibangun dengan persetujuan, transparansi, dan manfaat yang kembali kepada warga. Komunitas harus mengetahui data apa yang dikumpulkan, siapa yang menyimpan, bagaimana informasi akan digunakan, dan cara memperbaiki catatan yang keliru. Relawan tidak boleh dijadikan pengganti petugas profesional untuk pekerjaan yang memerlukan keahlian atau paparan risiko. Dukungan berupa alat, pelatihan, biaya komunikasi, dan pengakuan waktu kerja diperlukan agar pemantauan berkelanjutan. Hasil dapat dipakai dalam forum desa dan DAS untuk memutuskan giliran air atau perawatan sumber. Keterlibatan tersebut meningkatkan kepemilikan lokal dan mengurangi jarak antara data teknis dengan keputusan sehari-hari.

38. Ketahanan rumah tangga terhadap gangguan layanan

Rumah tangga dapat meningkatkan ketahanan melalui penyimpanan air yang aman, rencana cadangan, dan informasi tentang cara melaporkan gangguan. Kapasitas penyimpanan perlu cukup untuk kebutuhan wajar selama jeda layanan, tetapi tidak mendorong penimbunan berlebihan yang mengurangi pasokan bagi tetangga. Wadah harus tertutup, terlindung dari panas dan kontaminasi, serta mudah dibersihkan. Keluarga perlu tahu apakah sumber alternatif aman untuk minum atau hanya untuk keperluan lain. Rumah dengan bayi, anggota yang sakit, lansia, atau penyandang disabilitas dapat memerlukan penyesuaian, misalnya wadah lebih kecil dan titik pengiriman dekat.

Ketahanan rumah tangga tidak boleh dipahami sebagai kewajiban keluarga menyelesaikan kegagalan layanan sendirian. Kemampuan menyimpan air bergantung pada ruang rumah, pendapatan, dan akses fisik; sebagian keluarga tidak mampu membeli tangki atau filter. Pemerintah dan operator tetap harus menjamin layanan minimum dan komunikasi yang dapat diandalkan. Edukasi rumah tangga sebaiknya disertai dukungan peralatan bagi keluarga berisiko, panduan mutu yang sederhana, dan mekanisme bantuan cepat. Program yang membebankan seluruh biaya adaptasi kepada konsumen akan memperlebar kesenjangan, sehingga perlindungan dan investasi jaringan merupakan bagian dari adaptasi yang adil.

39. Kesimpulan

El Niño dapat mengurangi hujan dan memperpanjang kondisi kering di banyak wilayah Indonesia, tetapi dampak terhadap akses air bersih dibentuk oleh gabungan iklim, hidrologi, kualitas lingkungan, infrastruktur, permintaan, dan tata kelola. Variasi spasial serta musiman membuat prakiraan harus diterjemahkan ke skala lokal. Kekeringan meteorologis dapat berkembang menjadi kekeringan hidrologis dan sosioekonomi, namun urutan dan intensitasnya bergantung pada kapasitas penyimpanan, keadaan akuifer, pengelolaan, dan ketimpangan layanan. Dengan demikian, menyalahkan ENSO saja tidak menjelaskan mengapa sebagian masyarakat tetap memperoleh air sementara kelompok lain harus berjalan jauh atau membayar mahal.

Ketahanan akses air menuntut sistem yang mampu menjaga layanan dasar secara aman, terjangkau, dekat, dan berkesinambungan saat sumber mengalami tekanan. Hal itu memerlukan prakiraan dan peringatan dini yang dapat ditindaklanjuti; perlindungan serta pemantauan sumber; pengurangan kebocoran; diversifikasi yang sesuai kondisi; standar mutu dan rencana keamanan air; dukungan untuk rumah tangga berisiko; serta aturan alokasi yang adil. Teknologi dan analitik dapat meningkatkan informasi dan efisiensi, tetapi

manfaatnya bergantung pada kapasitas operator, keterbukaan data, partisipasi warga, dan pengawasan terhadap dampak distribusi.

Kebijakan terbaik menggabungkan kesiapsiagaan darurat dengan investasi jangka panjang. Truk tangki dan bantuan air dapat menyelamatkan warga ketika sumber mengering, tetapi tidak mengatasi kerentanan struktural. Pipa, waduk, sumur, tampungan hujan, dan solusi berbasis alam sama-sama memiliki batas; kombinasi harus ditentukan melalui neraca air, analisis biaya siklus hidup, perlindungan ekosistem, dan konsultasi lokal. Pemerintah serta penyedia layanan perlu memastikan bahwa kebutuhan minum, memasak, sanitasi dasar, dan fasilitas kesehatan mendapat prioritas jelas, serta bahwa dampak kebijakan dapat diajukan dan diperbaiki.

Pada akhirnya, akses air selama El Niño adalah ukuran kesiapan sosial dan mutu tata kelola. Ketika data dipahami, tanggung jawab jelas, investasi dirawat, dan suara warga menjadi bagian dari keputusan, risiko iklim lebih mungkin dikelola tanpa mengorbankan kelompok yang paling sedikit berkontribusi pada masalah. Ketahanan dibangun sebelum peringatan berubah menjadi antrean panjang di mata air. Setiap musim kemarau memberi kesempatan untuk menguji sistem, memperbaiki kelemahannya, dan mengubah pengalaman menjadi layanan yang lebih andal bagi semua.

Glossarium

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

Aliran ekologis — Aliran air yang perlu dipertahankan untuk menopang fungsi ekosistem sungai dan perairan.

Air baku — Air dari sumber alam yang akan diolah sebelum digunakan sebagai air minum atau kebutuhan layanan.

Air minum dikelola dengan aman — Layanan dari sumber layak yang berada di rumah, tersedia saat dibutuhkan, dan bebas kontaminasi.

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

Evapotranspirasi — Gabungan kehilangan air ke atmosfer melalui penguapan dari permukaan dan transpirasi tanaman.

IOD — Indian Ocean Dipole, pola anomali suhu permukaan laut di Samudra Hindia bagian barat dan timur.

Infiltrasi — Proses masuknya air dari permukaan ke dalam tanah.

Intrusi air laut — Pergerakan air asin ke akuifer pesisir ketika keseimbangan air tawar dan air asin terganggu.

Kekeringan hidrologis — Defisit pada debit sungai, waduk, danau, mata air, atau simpanan air tanah.

Kekeringan meteorologis — Kondisi curah hujan di bawah normal selama periode tertentu.

Kekeringan pertanian — Kondisi kelembapan tanah tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan tanaman.

Kekeringan sosioekonomi — Kondisi ketika ketersediaan air tidak mampu memenuhi kebutuhan manusia dan kegiatan ekonomi.

Neraca air — Perbandingan masukan, keluaran, dan perubahan simpanan air dalam wilayah atau sistem tertentu.

SPI — Standardized Precipitation Index, indeks statistik untuk menyatakan anomali curah hujan terhadap klimatologi.

Tampungan air hujan — Sistem penangkapan dan penyimpanan air hujan untuk penggunaan kemudian.

WASH — Water, sanitation and hygiene; pendekatan layanan air, sanitasi, dan higiene.

Air tak berekening — Air yang masuk ke jaringan tetapi tidak tercatat sebagai konsumsi tertagih karena kebocoran, kesalahan meter, atau sebab lain.

Daftar Pustaka

Asian Development Bank. (2020). Asian water development outlook 2020: Advancing water security across Asia and the Pacific. https://doi.org/10.22617/SGP200412-2

Dai, A. (2011). Drought under global warming: A review. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2(1), 45–65. https://doi.org/10.1002/wcc.81

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

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2023). Climate change 2023: Synthesis report. https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647

Kogan, F. N. (1995). Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. Advances in Space Research, 15(11), 91–100. https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T

Mishra, A. K., & Singh, V. P. (2010). A review of drought concepts. Journal of Hydrology, 391(1–2), 202–216. https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2010.07.012

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

Saji, N. H., Dairaku, K., & Xie, S.-P. (2020). Relations between interannual variability of regional-scale Indonesian precipitation and large-scale climate modes during 1960–2007. Journal of Climate, 33(12), 5271–5291. https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0811.1

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

Susandi, A., Darmawan, A., Sulaiman, A., Dewantoro, M. D. R., Wijaya, A. R., Riyadi, A., Salim, A., Darmawan, R. R., & Pratama, A. F. (2024). Spatiotemporal evaluation of water resources in Citarum watershed during weak La Niña and weak El Niño. Hydrology, 11(6), 73. https://doi.org/10.3390/hydrology11060073

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, 939. https://doi.org/10.1038/s41598-023-27393-x

United Nations. (2010). Resolution adopted by the General Assembly on 28 July 2010: The human right to water and sanitation (A/RES/64/292). https://digitallibrary.un.org/record/687002

United Nations Children's Fund, & World Health Organization. (2025). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2024: Special focus on inequalities. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme. https://washdata.org/reports/jmp-2025-wash-households

World Health Organization. (2017). Guidelines for drinking-water quality: Fourth edition incorporating the first addendum. World Health Organization. https://www.who.int/publications/i/item/9789241549950

World Health Organization. (2022, June 2). Financing and implementing district and city water safety plans. WHO Indonesia. https://www.who.int/indonesia/news/detail/02-06-2022-financing-and-implementing-district-and-city-water-safety-plans

World Meteorological Organization. (2012). Standardized precipitation index user guide (WMO-No. 1090). https://library.wmo.int/idurl/4/396

World Meteorological Organization. (2021). WMO atlas of mortality and economic losses from weather, climate and water extremes (1970–2019). https://doi.org/10.4060/cb5048en

World Bank. (2025). People using safely managed drinking water services (% of population)—Indonesia. World Development Indicators. Retrieved October 26, 2026, from https://data.worldbank.org/indicator/SH.H2O.SMDW.ZS?locations=ID

World Health Organization, & United Nations Children's Fund. (2017). Safely managed drinking water: Thematic report on drinking water 2017. WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme. https://washdata.org/reports/safely-managed-drinking-water-2017