
KETAHANAN PANGAN
DI TENGAH EL NIÑO
Peran Pemerintah, Petani, dan Teknologi
EL NIÑO: SINYAL RISIKO, BUKAN DAMPAK YANG SERAGAM
Pola hujan dapat bergeser dan kemarau menguat di sebagian wilayah. Dampak pada pangan bergantung pada lokasi, ketersediaan air, kalender tanam, pasar, dan kesiapan masyarakat.
EMPAT DIMENSI KETAHANAN PANGAN
KETERSEDIAAN
produksi, stok, perdagangan
AKSES
harga, pendapatan, distribusi
PEMANFAATAN
gizi, keamanan pangan, air bersih
STABILITAS
keberlanjutan pasokan dan konsumsi
JALUR DAMPAK
Hujan berkurang / musim bergeser
kelembapan tanah dan debit air menurun
tanam tertunda atau hasil berisiko
pasokan dan harga tertekan
akses pangan rumah tangga rentan terganggu
TIGA PENGGERAK ADAPTASI
PEMERINTAH
Prakiraan iklim yang mudah ditindaklanjuti
Irigasi, waduk, dan alokasi air yang terencana
Cadangan, distribusi, perlindungan sosial, dan asuransi
PETANI
Sesuaikan kalender tanam dan pilihan varietas
Hemat air, konservasi tanah, diversifikasi tanaman
Gunakan informasi iklim bersama pengalaman lokal
TEKNOLOGI
Satelit, sensor, dan pemantauan kelembapan
Analitik dan AI untuk peta risiko dan peringatan dini
Informasi harga, penyuluhan, dan pascapanen
PRIORITAS BERSAMA
Air
Benih
Informasi
Pasar
Gizi
Perlindungan petani
PESAN KUNCI
Ketahanan pangan dibangun sebelum krisis:
kelola risiko secara lokal, inklusif, dan terpadu.
Oleh: Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD
Guru Besar Manajemen dan AI Data Analyst
IBM-ASMI • RudyCT Academic Series
www.rudyct.com/cv.pdf

Ketahanan Pangan di Tengah El Niño: Peran Pemerintah, Petani, dan Teknologi

Prof Ir Rudy C Tarumingkeng, PhD

Guru Besar Manajemen dan AI Data Analyst

www.rudyct.com/cv.pdf

IBM-ASMI • **RudyCT Academic Series**

Abstract

Artikel ini menganalisis bagaimana El Niño memengaruhi ketahanan pangan Indonesia melalui perubahan curah hujan, ketersediaan air,

ketika tanam, hasil panen, tenaga kerja, harga, dan akses rumah tangga terhadap pangan. El Niño bukan penyebab ketika krisis pangan: dampaknya bergantung pada etika, intensitas dan durasi

ketika , fase Indian Ocean Dipole, kondisi irigasi, kualitas tanah, pilihan komoditas, kemampuan adaptasi, serta tata niaga. Dengan memakai kerangka empat dimensi ketahanan pangan—ketersediaan, akses, pemanfaatan, dan stabilitas—artikel menguraikan respons yang saling melengkapi dari pemerintah, petani, ketika riset, dunia usaha, dan komunitas. Prioritas kebijakan mencakup prakiraan musiman yang dapat ditindaklanjuti, pengelolaan air dan bendungan yang adil, perlindungan pendapatan petani, etika dan distribusi pangan yang transparan, diversifikasi pangan, serta etika peringatan dini yang menghubungkan data iklim, pertanian, dan harga.

Teknologi seperti satelit, sensor, model tanaman, kecerdasan buatan, dan platform informasi berpotensi memperbaiki etika n, tetapi hanya apabila datanya dapat dipercaya, mudah diakses, dan disertai pendampingan serta perlindungan kelompok rentan. Ketahanan pangan yang etika tidak diukur semata-mata dari produksi agregat, melainkan dari kemampuan semua rumah tangga memperoleh pangan bergizi secara berkelanjutan, bahkan etika musim menyimpang dari pola normal.

Kata kunci: El Niño; ENSO; ketahanan pangan; pertanian Indonesia; kekeringan; adaptasi iklim; irigasi; petani kecil; teknologi pertanian; tata kelola pangan

Pendahuluan dan Ikhtisar

Naskah ini membahas ketahanan pangan Indonesia dalam menghadapi El Niño sebagai risiko iklim yang berinteraksi dengan kondisi hidrologis, produksi, pasar, dan kerentanan rumah tangga. Uraian memadukan bukti ilmiah dengan kerangka kebijakan adaptif. Nama artikel, identitas penulis, serta seri akademik dicantumkan untuk keperluan publikasi dan pembelajaran. Analisis menekankan bahwa prakiraan hanya bernilai jika diterjemahkan menjadi keputusan yang tepat waktu, dapat dijalankan, dan melindungi kelompok paling rentan.

1. Pendahuluan: ketahanan pangan dalam iklim yang berubah-ubah

Ketahanan pangan Indonesia semakin diuji oleh pertemuan antara pertumbuhan penduduk, perubahan tata guna lahan, ketimpangan akses sumber daya, gejolak pasar, dan variabilitas iklim. Dalam konteks itu, El Niño menjadi salah satu pemicu penting yang dapat mengubah peluang dan risiko produksi pangan. Dampaknya tidak selalu langsung terlihat sebagai “gagal panen nasional”. Pada sebagian wilayah, hujan yang datang lebih lambat dapat

menunda tanam; di wilayah lain, waduk yang surut membatasi layanan irigasi; sementara daerah yang memiliki sumber air lokal atau pola tanam berbeda mungkin mengalami dampak yang lebih ringan. Karena itu, pembahasan yang baik harus menjelaskan rantai pengaruh, perbedaan wilayah, dan faktor sosial-ekonomi yang menentukan siapa yang paling rentan.

Ketahanan pangan tidak identik dengan swasembada satu komoditas. Kerangka yang banyak dipakai mencakup empat dimensi yang saling berhubungan: ketersediaan pangan, akses ekonomi dan fisik, pemanfaatan pangan yang aman dan bergizi, serta stabilitas ketiga dimensi tersebut dari waktu ke waktu. Ketersediaan dapat terganggu ketika produksi lokal turun atau pasokan antardaerah terlambat. Akses memburuk ketika harga naik sementara pendapatan buruh tani, nelayan, atau rumah tangga miskin stagnan. Pemanfaatan terkait mutu diet, air bersih, sanitasi, kesehatan, dan praktik pengolahan. Stabilitas menunjukkan apakah keluarga dapat mempertahankan konsumsi layak sepanjang musim, bukan hanya saat panen atau ketika bantuan datang. El Niño dapat memengaruhi semuanya melalui jalur yang berbeda-beda.

Artikel ini menggunakan pendekatan sintesis naratif terhadap literatur iklim, agronomi, kebijakan, dan pembangunan. Fokus utamanya adalah Indonesia, tetapi beberapa temuan regional dan global digunakan untuk memahami mekanisme yang lebih luas. Pembahasan tidak menganggap El Niño sebagai ramalan pasti tentang penurunan produksi di seluruh negeri. ENSO adalah sinyal probabilistik yang mengubah peluang kondisi iklim tertentu; dampaknya terhadap satu desa, musim, atau komoditas bergantung pada kalender lokal, ketersediaan air, jenis tanah, varietas, dan keputusan pengelolaan. Dengan demikian, pengetahuan tentang ENSO harus dipadukan dengan informasi hujan lokal, kondisi waduk, prakiraan BMKG, pengalaman petani, dan data pasar.

Tesis utama artikel ini ialah ketahanan pangan di tengah El Niño dibangun melalui kesiapsiagaan yang menghubungkan tiga pelaku besar: pemerintah sebagai pengelola risiko sistemik dan penyedia barang publik; petani sebagai pengambil keputusan budidaya yang paling dekat dengan lahan; dan teknologi sebagai sarana untuk memperbaiki pengamatan, prakiraan, koordinasi, dan pembelajaran. Ketiganya tidak dapat menggantikan satu sama lain. Aplikasi digital tidak dapat menggantikan irigasi yang rusak, bantuan benih tidak cukup jika datang setelah masa tanam, dan pengetahuan lokal tidak dapat sendiri mengatasi distribusi antarpulau atau pembiayaan. Ketahanan lahir dari koordinasi yang tepat waktu, adil, dan dapat dievaluasi.

2. El Niño, ENSO, dan kaitannya dengan iklim Indonesia

El Niño merupakan fase hangat dari El Niño–Southern Oscillation (ENSO), suatu pola interaksi laut-atmosfer di Pasifik tropis. Ketika suhu permukaan laut di bagian tengah dan timur Pasifik tropis lebih hangat dari kondisi normal secara persisten, sirkulasi atmosfer tropis dan pola konveksi dapat bergeser. Perubahan itu memengaruhi distribusi hujan di berbagai belahan dunia. Indonesia yang berada dekat wilayah maritim tropis sering mengalami penurunan peluang hujan atau keterlambatan awal musim hujan pada sebagian wilayah ketika El Niño berkembang, tetapi responsnya tidak seragam. Kekuatan sinyal dapat berbeda menurut bulan, pulau, dan lokasi, serta dipengaruhi oleh fenomena lain seperti Indian Ocean Dipole (IOD), Madden–Julian Oscillation, monsun, dan variabilitas lokal.

Perbedaan antara iklim dan cuaca penting bagi pengambilan keputusan. El Niño memberi informasi tentang kecenderungan statistik dan peluang, bukan kepastian bahwa satu wilayah akan mengalami kekeringan pada tanggal tertentu. Prakiraan musiman menyatakan kemungkinan kondisi di atas, sekitar, atau di bawah normal untuk periode dan wilayah tertentu. Seorang petani masih perlu mengetahui kapan hujan pertama yang cukup untuk menanam,

apakah jeda kering berpotensi muncul setelah tanam, dan apakah sumber air setempat mampu menopang fase pertumbuhan kritis. Karena itu, informasi global tentang ENSO perlu diterjemahkan melalui prakiraan nasional dan lokal, pengamatan lapangan, serta komunikasi yang dipahami pengguna.

Keterkaitan ENSO dengan hasil padi Indonesia telah diteliti sejak lama. Naylor, Falcon, Rochberg, dan Wada (2001) menunjukkan bahwa anomali suhu permukaan laut dapat memberi informasi pendahulu tentang variasi penanaman dan produksi padi, terutama di Jawa. Hasil itu memperlihatkan nilai prakiraan iklim untuk perencanaan pangan, tetapi tidak berarti bahwa telekoneksi yang sama akan menjelaskan seluruh variasi hasil di setiap provinsi. Naylor et al. (2007) juga menekankan bahwa risiko iklim pada pertanian padi perlu dinilai bersama tren iklim dan karakteristik sistem produksi. Studi baru pada tingkat kabupaten kembali menemukan heterogenitas spasial: wilayah dalam satu provinsi dapat menunjukkan kerentanan yang berbeda, sehingga kebijakan seragam berisiko tidak tepat sasaran (Mulyaqin et al., 2026).

El Niño juga tidak boleh dipisahkan dari IOD positif ketika menganalisis musim kering. Kombinasi tertentu dapat memperkuat defisit hujan di sebagian wilayah, termasuk melalui pengaruh pada pembentukan awan dan distribusi kelembapan. Studi Pan et al. (2018) tentang kekeringan dan kebakaran di Indonesia menunjukkan bahwa jenis El Niño dan fase IOD membantu membedakan tingkat risiko. Pesan praktisnya bukan bahwa petani harus memahami semua indeks samudra, tetapi bahwa sistem peringatan harus menggabungkan beberapa sumber informasi dan menjelaskan tingkat ketidakpastian. Peringatan yang menyatakan “risiko kekeringan meningkat di wilayah X selama jendela waktu Y” jauh lebih berguna daripada label “tahun El Niño” tanpa konsekuensi operasional.

3. Jalur dampak El Niño terhadap sistem pangan

Rantai dampak pertama berjalan melalui air. Penurunan curah hujan dan peningkatan panjang jeda tanpa hujan dapat mengurangi kelembapan tanah, aliran sungai, pengisian waduk, dan ketersediaan air tanah dangkal. Tanaman mengalami stres ketika kebutuhan air pada fase tertentu tidak terpenuhi. Pada padi, kekurangan air saat pembentukan malai dan pengisian gabah dapat menurunkan jumlah dan bobot gabah; pada jagung, sorgum, kacang-kacangan, sayuran, dan tanaman tahunan, responsnya berbeda menurut fase fenologi dan sifat varietas. Namun, defisit hujan tidak serta-merta menjadi defisit produksi jika irigasi berfungsi, jadwal tanam dapat disesuaikan, atau petani memiliki pilihan komoditas dan varietas yang tepat.

Jalur kedua adalah kalender tanam dan luas panen. Bila awal musim hujan terlambat, sebagian petani menunda persemaian atau tanam. Penundaan dapat menggeser fase pertumbuhan ke periode yang lebih kering, menciptakan kompetisi air antarpengguna, atau mengurangi kesempatan menanam lebih dari satu kali. Jika keputusan tanam dilakukan berdasarkan hujan awal yang kemudian diikuti jeda kering, benih dan tenaga kerja dapat terbuang. Naylor et al. (2001) menemukan bahwa pengaruh iklim terhadap penanaman dan produksi dapat terakumulasi sepanjang musim; defisit pada musim utama tidak selalu sepenuhnya terkompensasi oleh panen berikutnya. Ini mengingatkan bahwa penilaian ketahanan pangan harus melihat kalender produksi setahun penuh.

Jalur ketiga menyentuh produktivitas dan biaya. Kekeringan dapat menurunkan hasil per hektare, tetapi juga memaksa pengeluaran tambahan untuk pompa, bahan bakar, tenaga kerja, pengendalian hama, atau pengadaan air. Bila sumur dan pompa digunakan lebih intensif, biaya energi serta risiko penurunan muka air tanah dapat meningkat. Rumah tangga petani yang memiliki modal mungkin mampu menyesuaikan input, sedangkan petani kecil yang berutang atau menyewa lahan dapat menghadapi kerugian ganda. Mereka mungkin

mengurangi pemupukan, menjual aset produktif, atau mengambil pinjaman mahal. Dengan demikian, dampak pada pendapatan dan konsumsi rumah tangga dapat lebih besar daripada perubahan hasil rata-rata yang tercatat secara statistik.

Jalur keempat bergerak melalui pasar dan distribusi. Produksi yang turun di satu kawasan dapat meningkatkan kebutuhan pasokan dari daerah lain atau dari impor. Dampak harga dipengaruhi oleh stok, biaya logistik, struktur pasar, kebijakan perdagangan, ekspektasi, dan kemampuan pemerintah menyalurkan cadangan. Karena itu, perubahan harga tidak dapat diprediksi hanya dari curah hujan. Fluktuasi harga juga menimbulkan pemenang dan pihak yang dirugikan: produsen surplus mungkin memperoleh harga lebih baik, tetapi konsumen miskin dan petani yang membeli beras lebih banyak daripada menjual hasil panennya dapat kehilangan daya beli. Kebijakan perlu membaca posisi bersih rumah tangga dalam rantai pangan, bukan menganggap setiap petani otomatis diuntungkan oleh kenaikan harga.

Jalur kelima menyangkut mutu diet dan kesehatan. Kekeringan dan kenaikan harga dapat membuat keluarga mengganti pangan bergizi dengan pilihan yang lebih murah dan kurang beragam. Produksi sayuran, buah, pakan ternak, dan komoditas lokal juga dapat terganggu, sehingga dampaknya tidak terbatas pada beras. Rumah tangga dengan anak kecil, ibu hamil, lansia, penyandang disabilitas, dan anggota keluarga dengan penyakit kronis memiliki kebutuhan gizi dan layanan yang lebih khusus. Jika kekurangan air bersih terjadi bersamaan dengan tekanan pangan, risiko penyakit berbasis air dan masalah sanitasi dapat naik. Maka, ketahanan pangan perlu dipadukan dengan perlindungan kesehatan, gizi, air minum, dan sanitasi.

4. Makna ketahanan pangan bagi Indonesia

Empat dimensi ketahanan pangan berguna untuk menjelaskan mengapa produksi nasional yang cukup tidak selalu menjamin akses yang aman. Dimensi

ketersediaan mencakup produksi domestik, stok, perdagangan, dan pasokan dari wilayah lain. Akses mencakup pendapatan, harga, transportasi, serta keberadaan pasar. Pemanfaatan mencakup kandungan gizi, keamanan pangan, air minum, sanitasi, dan pengetahuan konsumsi. Stabilitas mencakup kemampuan mempertahankan ketiga dimensi dalam jangka panjang dan selama guncangan. El Niño terutama tampak pada produksi dan air, tetapi dampak akhirnya bergantung pada bagaimana pasar, perlindungan sosial, dan layanan publik menahan rambatan guncangan.

Ketahanan pangan juga harus dinilai pada beberapa skala. Pada tingkat nasional, indikator dapat mencakup produksi, stok, harga, dan kapasitas logistik. Pada tingkat daerah, perhatian perlu diberikan pada ketergantungan terhadap komoditas tertentu, jaringan irigasi, ketahanan lumbung, akses antarpulau, dan kelompok rentan. Pada tingkat rumah tangga, ukuran penting adalah kecukupan konsumsi, keragaman pangan, stabilitas pendapatan, dan kemampuan menghadapi kejutan tanpa menjual aset atau mengurangi kebutuhan dasar lain. Pada tingkat individu, kualitas asupan dan status gizi harus diperhatikan. Data agregat nasional dapat menyamarkan krisis lokal yang akut, sedangkan cerita kasus tunggal tidak selalu mewakili keseluruhan sistem; keduanya perlu dibaca bersama.

Konsep kedaulatan pangan dan ketahanan pangan dapat saling melengkapi apabila dibahas secara cermat. Ketahanan menekankan hasil: masyarakat memperoleh pangan yang cukup, aman, dan bergizi secara stabil. Kedaulatan menyoroti hak komunitas dan negara untuk menentukan sistem pangan yang sesuai, menjaga sumber daya, serta mengembangkan produksi lokal. Dalam situasi El Niño, pilihan kebijakan perlu menyeimbangkan cadangan nasional, perdagangan, dan kemandirian lokal. Mengutamakan satu tujuan secara mutlak dapat menimbulkan kerentanan lain. Misalnya, menutup perdagangan tanpa stok memadai dapat memperberat harga; sementara ketergantungan berlebihan pada satu jalur impor membuat sistem rentan terhadap gangguan

global. Diversifikasi sumber pasokan dan produksi memberi ruang untuk mengelola risiko.

Ketahanan pangan yang berkeadilan bertanya siapa yang menanggung biaya adaptasi. Jika petani diminta beralih komoditas tanpa pasar, kredit, atau pendampingan, risiko kebijakan dipindahkan kepada produsen. Jika tarif air dinaikkan untuk menekan konsumsi tanpa perlindungan rumah tangga miskin, biaya penyesuaian jatuh kepada kelompok paling rentan. Jika teknologi digital hanya tersedia dalam bahasa, perangkat, atau jaringan yang tidak mudah dijangkau, manfaatnya terkonsentrasi pada pelaku yang sudah kuat. Oleh sebab itu, kebijakan El Niño harus menggabungkan efisiensi dengan pemerataan. Prinsip ini bukan tambahan etis semata; ketidakadilan dapat mengurangi kepatuhan, memperburuk konflik air, dan melemahkan efektivitas adaptasi.

5. Risiko utama bagi produksi pertanian

Padi menjadi perhatian besar karena perannya dalam konsumsi, pendapatan petani, dan stabilitas harga. Namun, kerentanannya berbeda menurut sumber air. Sawah beririgasi teknis dapat lebih terlindungi jika waduk, saluran primer, sekunder, dan tersier berfungsi serta pembagian air dikelola baik. Sawah tadah hujan sangat bergantung pada ketepatan hujan awal dan distribusi hujan selama musim tanam. Sawah rawa, lahan pasang surut, dan sistem pertanian di kawasan kering memiliki kendala serta peluang yang berbeda. Kekeringan juga dapat memperburuk kualitas air, meningkatkan salinitas lokal, dan membuat petani berebut alokasi. Kebijakan yang membagi wilayah hanya berdasarkan batas administratif sering melewatkan hubungan hidrologis antardaerah aliran sungai.

Padi bukan satu-satunya komponen pangan yang rentan. Jagung dan kedelai memiliki respons yang berbeda terhadap kekeringan dan panas; hortikultura dapat mengalami kehilangan hasil serta penurunan mutu; perkebunan dan

peternakan terdampak oleh ketersediaan air, pakan, dan kesehatan ternak. Tanaman pangan lokal seperti sagu, umbi-umbian, sorgum, dan berbagai kacang-kacangan dapat berfungsi sebagai penyangga, tetapi dukungan riset, pasar, pengolahan, dan konsumsi belum selalu seimbang. Diversifikasi tidak berarti memaksa satu komoditas menggantikan beras dalam semua situasi. Ia berarti menambah pilihan produksi dan konsumsi agar rumah tangga tidak bertumpu pada satu tanaman, satu musim, atau satu jalur pasokan.

Kekeringan dapat berinteraksi dengan hama dan penyakit tanaman. Tanaman yang stres air sering menjadi lebih rentan terhadap gangguan tertentu, sementara cuaca panas dapat memengaruhi siklus hidup organisme pengganggu. Responsnya tidak universal: sebagian hama berkembang lebih cepat pada kondisi hangat, sebagian lain dibatasi oleh kekeringan atau perubahan habitat. Sistem pengendalian harus menggunakan pengamatan dan diagnosis lokal, bukan sekadar meningkatkan pestisida. Pengendalian hama terpadu, benih sehat, rotasi, sanitasi, dan pemantauan populasi dapat menekan kerugian tanpa memperbesar risiko kesehatan dan resistensi. Ketika petani menerima informasi yang terlambat atau terlalu umum, keputusan input dapat menjadi mahal sekaligus tidak efektif.

Dampak ekonomi produksi perlu dilihat melalui nilai tambah dan distribusi risiko. Penurunan hasil menurunkan penerimaan, tetapi harga jual yang meningkat kadang mengimbangi sebagian kerugian bagi petani yang masih memiliki surplus. Sebaliknya, petani penyewa, buruh tani, penggarap bagi hasil, dan pekerja pascapanen dapat kehilangan pendapatan tanpa memperoleh kompensasi dari kenaikan harga. Keterlambatan tanam juga mengurangi hari kerja. Studi adaptabilitas petani padi skala kecil di Jawa Tengah menyoroti keterbatasan informasi iklim dan beban biaya yang ditanggung rumah tangga, termasuk ketergantungan pada pinjaman ketika menghadapi tekanan produksi (Boling et al., 2016). Kebijakan harus mempertimbangkan perbedaan status penguasaan lahan, pekerjaan, gender, dan aset.

Penelitian dan prakiraan produksi sebaiknya membedakan variabilitas, tren, dan perubahan struktural. El Niño adalah variabilitas antartahun; perubahan iklim jangka panjang menggeser kondisi dasar; sedangkan perubahan irigasi, varietas, penggunaan lahan, dan kebijakan merupakan faktor sosial-teknis. Ketiganya dapat berinteraksi. Memasukkan semua perubahan ke dalam satu label "dampak El Niño" dapat mengaburkan sebab dan menyebabkan intervensi salah sasaran. Analisis yang baik menguji kapan dan di mana hubungan ENSO kuat, menggunakan data hasil panen dan luas tanam, serta mengakui keterbatasan statistik. Model membantu menyusun skenario, namun keputusan tetap perlu divalidasi oleh petugas lapangan dan petani.

6. Peran pemerintah: dari prakiraan menuju perlindungan

Pemerintah berperan membangun sistem kesiapsiagaan sebelum kekeringan terlihat jelas. Badan meteorologi dan lembaga riset menghasilkan prakiraan; kementerian dan dinas pertanian menerjemahkannya menjadi rekomendasi; pengelola sumber daya air mengatur waduk dan jaringan; lembaga pangan menjaga stok dan distribusi; pemerintah daerah mengidentifikasi rumah tangga berisiko; layanan sosial serta kesehatan melindungi konsumsi dan gizi. Rantai kerja tersebut perlu memiliki protokol yang jelas: indikator pemicu, otoritas yang mengambil keputusan, tindakan yang dilakukan, anggaran, dan cara menyampaikan hasil kepada publik. Tanpa protokol, informasi dapat berlimpah tetapi tidak menggerakkan tindakan, atau keputusan datang setelah jendela tanam dan peluang pencegahan terlewat.

Prakiraan iklim perlu diterjemahkan menjadi layanan yang relevan bagi keputusan. Petani tidak hanya membutuhkan indeks ENSO, tetapi juga prakiraan awal musim, peluang jeda kering, perkiraan curah hujan dasarian, kondisi bendungan, rekomendasi varietas dan umur tanaman, serta kontak penyuluh. Pemerintah daerah dapat menyusun kalender tanam dinamis yang diperbarui ketika pengamatan baru tersedia. Pengalaman kebijakan di

Indonesia menunjukkan bahwa informasi kalender tanam dan asuransi pertanian dapat berkontribusi positif terhadap produksi padi, dan perlu dipadukan dengan penyuluhan yang lebih kuat (Massagony et al., 2023). Kualitas layanan bergantung pada ketepatan, kejelasan, keterjangkauan bahasa, dan konsistensi pembaruan, bukan hanya kecanggihan model prakiraan.

Pengelolaan air merupakan tanggung jawab publik yang sangat penting. Pemerintah perlu mengaudit kondisi bendungan, waduk, embung, jaringan primer-sekunder, pintu air, pompa, sumur, dan daerah resapan. Prioritas rehabilitasi semestinya berdasarkan risiko dan manfaat sosial, bukan semata kemudahan konstruksi. Operasi waduk perlu mengintegrasikan prakiraan inflow, kebutuhan air baku, pertanian, energi, dan ekosistem. Pembagian air pada masa defisit memerlukan aturan transparan, jadwal yang diumumkan, mekanisme pengaduan, serta perlindungan bagi petani di hilir. Pemompaan air tanah harus dipantau agar solusi jangka pendek tidak mempercepat penurunan muka air, intrusi salin, atau konflik antarpengguna.

Pengadaan dan distribusi sarana produksi harus disesuaikan dengan kebutuhan dan waktu lokal. Benih tahan kekeringan tidak berguna jika tidak tersedia sebelum penanaman; pompa tanpa bahan bakar, suku cadang, atau operator terlatih juga tidak menghasilkan layanan. Bantuan pupuk, benih, pakan, dan peralatan perlu memiliki sistem penargetan yang menjangkau petani kecil, perempuan tani, penggarap, dan kawasan terpencil. Pemerintah dapat memfasilitasi kontrak layanan pompa, bank benih komunitas, dan perawatan bersama. Transparansi data penerima dan stok membantu mengurangi duplikasi serta memperkuat kepercayaan, tetapi perlindungan privasi dan mekanisme koreksi tetap dibutuhkan.

Perlindungan sosial dan asuransi pertanian perlu dirancang agar responsif terhadap guncangan, bukan hanya berbasis kalender administratif. Bantuan tunai atau pangan dapat diperluas ketika indikator harga, hasil, atau konsumsi

melewati ambang yang disepakati. Pembayaran klaim asuransi sebaiknya mudah dipahami, cepat, dan berdasarkan desain indeks yang cocok dengan risiko lokal. Asuransi indeks hujan mengurangi biaya verifikasi individual, tetapi dapat menimbulkan basis risk ketika indeks tidak mencerminkan kehilangan aktual di petak. Karena itu, asuransi tidak menggantikan investasi pencegahan, kredit yang sehat, penyuluhan, maupun mekanisme penyelesaian sengketa. Paket perlindungan perlu mempertahankan kemampuan petani untuk menanam kembali pada musim berikutnya.

Pemerintah juga harus mengelola stok dan pasar secara kredibel. Keputusan pelepasan cadangan, impor, operasi pasar, dan distribusi bantuan harus didasarkan pada data produksi, stok, harga, dan kebutuhan wilayah yang diperbarui. Komunikasi publik yang konsisten dapat meredam kepanikan dan spekulasi, sedangkan perubahan kebijakan yang tidak terduga dapat memperbesar ketidakpastian. Cadangan pangan perlu disimpan dan diputar dengan tata kelola mutu, lokasi, serta biaya logistik yang transparan. Distribusi antarpulau, infrastruktur jalan dan pelabuhan, serta akses pasar desa menjadi bagian integral dari ketahanan pangan, sama pentingnya dengan jumlah produksi di tingkat nasional.

7. Peran petani: keputusan adaptasi di tingkat usaha tani

Petani bukan penerima pasif kebijakan; mereka menggabungkan pengamatan mikro, pengetahuan musim, kondisi lahan, ketersediaan tenaga kerja, sumber air, dan informasi pasar. Keputusan mereka mencakup kapan menanam, komoditas apa yang dipilih, varietas yang digunakan, bagaimana mengatur persemaian, pemupukan, pengairan, dan kapan panen. Saat prakiraan menunjukkan risiko kering, petani dapat menunda tanam sampai hujan lebih stabil, memilih varietas berumur lebih pendek, mengubah luas tanam, menanam tanaman yang lebih toleran, atau mengatur air secara bergilir. Pilihan tersebut memiliki biaya dan konsekuensi: menunda dapat menghindari

kehilangan benih, tetapi juga dapat mengurangi masa tumbuh atau berbenturan dengan jadwal tanam berikutnya.

Informasi harus diterima cukup dini dan dalam format yang dapat dibandingkan dengan pengalaman petani. Prakiraan probabilistik kadang sulit dipahami apabila disampaikan sebagai angka tanpa penjelasan. Penyuluh dapat menerjemahkannya menjadi skenario: jika hujan awal datang sesuai perkiraan, lakukan tindakan A; jika tertunda, gunakan opsi B; jika waduk tidak mencapai ambang, kurangi luas tanam atau pilih tanaman berumur singkat. Diskusi kelompok tani memungkinkan petani membandingkan pengalaman, menyepakati pembagian air, dan memperkuat jaringan benih. Pendekatan partisipatif tidak berarti mengabaikan ilmu iklim; justru ia menggabungkan data ilmiah dengan pengamatan setempat dan membantu mengidentifikasi kesalahan prakiraan.

Praktik hemat air dapat meningkatkan produktivitas air tanpa selalu mengurangi hasil. Pada sawah tertentu, pengairan berselang atau alternate wetting and drying dapat mengurangi genangan terus-menerus, tetapi penerapannya harus memperhatikan jenis tanah, ketersediaan air, varietas, fase pertumbuhan, dan kemampuan mengontrol pintu masuk air. Di lahan tadah hujan, konservasi kelembapan melalui mulsa, pengelolaan bahan organik, olah tanah konservasi, guludan, teras, dan penutup tanah dapat menekan penguapan dan limpasan. Embung kecil, pemanenan air hujan, dan pemeliharaan daerah resapan dapat menjadi solusi lokal bila dirancang dengan analisis hidrologi dan tata kelola yang jelas. Tidak ada satu teknik yang cocok untuk semua lahan.

Pilihan benih dan diversifikasi merupakan strategi penting, tetapi tidak boleh dipersempit menjadi label “tahan kering”. Karakter yang dibutuhkan dapat meliputi toleransi terhadap kekeringan pada fase tertentu, umur genjah, ketahanan terhadap panas, mutu hasil, kesesuaian dengan preferensi konsumen, dan ketersediaan benih. Varietas yang unggul secara agronomis

mungkin tidak diterima jika rasa, harga, atau cara pengolahannya tidak sesuai. Petani sebaiknya memiliki akses pada beberapa pilihan dan uji adaptasi lokal. Diversifikasi dapat berlangsung antarpetak, antarmusim, maupun pada sumber pendapatan, dengan mempertimbangkan risiko pasar. Kerja sama dengan penyuluh dan lembaga penelitian memungkinkan varietas baru diuji sebelum diperluas.

Adaptasi di tingkat usaha tani membutuhkan pembiayaan yang tidak memperbesar jebakan utang. Kredit musiman dengan jadwal pembayaran yang sesuai panen, tabungan kelompok, koperasi, asuransi yang mudah diakses, dan kemitraan pembelian hasil dapat membantu petani menanggung biaya perubahan. Namun, pembiayaan digital yang tidak disertai literasi dapat memicu pinjaman berbiaya tinggi. Pemerintah dan lembaga keuangan perlu menyediakan informasi biaya yang transparan dan mekanisme restrukturisasi ketika terjadi bencana yang diakui. Petani perempuan sering mengelola sebagian kegiatan produksi dan pascapanen tetapi tidak selalu tercatat sebagai pemilik lahan atau penerima bantuan. Sistem administrasi harus mengakui kontribusi dan kebutuhan mereka agar akses adaptasi tidak bias.

8. Peran teknologi: dari pengamatan hingga keputusan

Teknologi penginderaan jauh dan satelit dapat memantau tutupan awan, hujan, suhu permukaan, indeks vegetasi, kelembapan tanah, genangan, dan perubahan lahan. Data tersebut membantu mendeteksi anomali sebelum laporan lapangan terkumpul, terutama di wilayah luas atau terpencil. Akan tetapi, pengukuran satelit memiliki resolusi, jeda, dan ketidakpastian; awan tebal dapat membatasi observasi optik, sementara indikator vegetasi bukan pengukuran langsung hasil panen. Validasi melalui stasiun cuaca, sensor lapangan, survei petani, dan statistik pertanian tetap diperlukan. Pemerintah sebaiknya mempublikasikan metadata, definisi, waktu pembaruan, dan batas penggunaan agar angka tidak disalahartikan sebagai kepastian.

Sensor tanah dan stasiun cuaca otomatis dapat memperbaiki pemantauan lokal jika pemeliharaan dan konektivitas diperhatikan. Pengukuran kelembapan tanah, debit, tinggi muka air, dan curah hujan dapat memberi sinyal bagi jadwal irigasi dan keputusan tanam. Tantangan utamanya bukan hanya membeli perangkat, melainkan memastikan kalibrasi, pasokan energi, penggantian komponen, kepemilikan data, dan orang yang menindaklanjuti alarm. Sistem berteknologi tinggi yang berhenti setelah proyek percontohan justru meninggalkan biaya dan ketidakpercayaan. Model yang lebih berkelanjutan dapat menggabungkan sensor sederhana, pengamat desa, stasiun penyuluhan, dan prosedur manual sebagai cadangan ketika jaringan internet terputus.

Kecerdasan buatan dan analitik data dapat menggabungkan prakiraan iklim, catatan tanam, kondisi tanah, citra satelit, harga, serta laporan lapangan untuk membuat peta risiko dan rekomendasi. Model dapat membantu memperkirakan peluang kekeringan, potensi hasil, kebutuhan irigasi, dan wilayah yang perlu didatangi lebih dahulu oleh penyuluh. Namun, kualitas hasil bergantung pada data yang representatif. Jika daerah terpencil atau petani tanpa telepon pintar tidak tercatat, rekomendasi dapat mengabaikan kelompok tersebut. Model juga dapat mewarisi bias data historis, menghasilkan prediksi yang sulit dijelaskan, dan mendorong otomatisasi keputusan yang seharusnya melibatkan pertimbangan sosial. Penggunaan AI dalam kebijakan pangan perlu disertai tata kelola data, audit, transparansi, dan pengawasan manusia.

Aplikasi telepon seluler, pesan singkat, radio komunitas, dan layanan penyuluhan digital dapat menyebarkan prakiraan serta harga lebih cepat. Agar inklusif, informasi harus tersedia melalui banyak kanal, menggunakan bahasa yang dipahami, menyediakan format suara atau visual bagi pengguna dengan literasi terbatas, dan memungkinkan umpan balik dua arah. Tidak setiap petani memiliki perangkat, jaringan, listrik, atau paket data yang memadai. Penyuluh tetap penting sebagai penghubung dan penerjemah informasi, bukan sekadar operator aplikasi. Platform yang baik menghubungkan petani ke layanan nyata:

prakiraan, penyuluhan, benih, akses air, kredit, asuransi, dan pasar. Tanpa tindak lanjut, notifikasi risiko hanya memindahkan tanggung jawab kepada pengguna.

Teknologi penyimpanan, pengolahan, transportasi, dan manajemen rantai dingin dapat mengurangi kehilangan pangan setelah panen. Pengeringan yang tepat membantu menjaga mutu gabah saat kondisi cuaca tidak menentu; gudang dan silo yang dikelola baik menahan pasokan antarperiode; fasilitas pengolahan lokal dapat menambah nilai pada tanaman alternatif. Investasi pascapanen harus disesuaikan dengan skala usaha, akses energi, biaya pemeliharaan, dan volume produksi. Koperasi dapat menjadi pengelola bersama untuk mesin pengering atau gudang, sementara pemerintah menyediakan standar mutu dan pembiayaan awal. Teknologi pascapanen membantu meredam guncangan, tetapi tidak menggantikan perbaikan distribusi dan tata niaga.

9. Diversifikasi pangan, gizi, dan perubahan sistem pangan

Ketergantungan yang tinggi pada beras membuat guncangan produksi padi menjadi isu ekonomi dan politik yang besar. Diversifikasi pangan dapat meningkatkan ketahanan dengan memperluas sumber karbohidrat, protein, vitamin, dan mineral. Indonesia memiliki keragaman pangan lokal yang luas, tetapi pemanfaatannya dipengaruhi oleh preferensi konsumen, kebiasaan, status sosial, harga, ketersediaan, dan akses terhadap pengolahan. Kampanye konsumsi tidak cukup jika produk lokal sulit diperoleh, kualitasnya tidak konsisten, atau harganya kalah bersaing. Kebijakan perlu menghubungkan produksi, pengolahan, pengadaan publik, pendidikan gizi, dan pasar agar pilihan pangan beragam menjadi praktis dan terjangkau.

Diversifikasi produksi juga mengurangi paparan petani terhadap satu risiko iklim dan satu pasar, tetapi perubahan komoditas memerlukan kepastian pembeli, akses benih, keterampilan, penyimpanan, dan permodalan. Tanaman yang toleran kekeringan tidak otomatis menguntungkan jika rantai pasoknya

belum terbentuk. Pemerintah daerah, koperasi, lembaga penelitian, pelaku usaha, dan konsumen dapat membangun pasar lokal melalui pengadaan untuk sekolah, rumah sakit, atau program bantuan pangan. Standar mutu dan kontrak yang adil membantu petani beralih tanpa menanggung risiko sendiri. Upaya ini perlu menghindari promosi yang mengubah pangan lokal menjadi komoditas mahal sehingga masyarakat setempat justru kehilangan akses.

Ketahanan pangan dalam kondisi El Niño juga memerlukan perlindungan gizi. Program bantuan pangan sebaiknya mempertimbangkan kecukupan energi dan mutu diet, bukan hanya volume bahan pokok. Pemantauan harga perlu mencakup komoditas sumber protein, sayur, buah, dan pangan lokal, selain beras. Layanan kesehatan ibu dan anak, posyandu, sekolah, dan fasilitas kesehatan dapat mendeteksi perubahan konsumsi serta risiko gizi lebih dini. Jika rumah tangga menggunakan strategi bertahan dengan mengurangi porsi atau frekuensi makan, intervensi harus hadir sebelum dampak menjadi kronis. Integrasi data pangan, kesehatan, dan perlindungan sosial perlu dilakukan dengan menjaga kerahasiaan serta martabat penerima bantuan.

10. Tata kelola lintas sektor dan tingkat pemerintahan

Risiko El Niño melintasi batas sektor dan administrasi. Daerah hulu menentukan aliran air bagi wilayah hilir; waduk digunakan untuk irigasi, air minum, dan energi; produksi di satu provinsi memengaruhi harga di provinsi lain; serta kebakaran dapat mengganggu kesehatan dan transportasi. Karena itu, tata kelola perlu berbasis daerah aliran sungai dan jaringan pangan sekaligus memanfaatkan kewenangan pemerintahan yang berlaku. Forum koordinasi harus mempunyai tujuan operasional, berbagi data, dan mekanisme penyelesaian konflik. Rapat koordinasi tanpa pembagian tugas, jadwal, dan anggaran tidak cukup untuk mengubah hasil di lapangan.

Perencanaan kontinjensi dapat menetapkan ambang tindakan bertahap. Misalnya, ketika prakiraan menunjukkan peluang musim lebih kering dari

normal, pemerintah memperkuat penyuluhan dan inspeksi saluran; ketika debit waduk turun melewati batas, jadwal distribusi air dan pilihan tanaman diperbarui; ketika harga dan indikator konsumsi memburuk, bantuan sosial diperluas. Ambang harus disesuaikan dengan kondisi lokal dan diperiksa secara berkala. Ambang yang terlalu rendah mengakibatkan biaya aktivasi berlebihan; ambang yang terlalu tinggi menyebabkan tindakan terlambat. Sistem yang baik mencatat dasar keputusan dan hasilnya, sehingga pembelajaran setelah musim dapat memperbaiki kebijakan berikutnya.

Partisipasi masyarakat merupakan unsur tata kelola, bukan formalitas. Kelompok tani, organisasi perempuan, lembaga adat, komunitas pengguna air, pedagang, dan pemerintah desa memiliki pengetahuan serta kepentingan yang berbeda. Mereka perlu dilibatkan sejak pemetaan risiko hingga penilaian bantuan. Dalam pembagian air, misalnya, pengguna hulu dan hilir dapat menyepakati rotasi, tetapi aturan perlu memuat prioritas kebutuhan dasar serta prosedur jika debit turun lebih jauh. Masyarakat juga dapat membantu pengamatan hujan, pemeliharaan embung, pelaporan hama, dan verifikasi penerima. Pemerintah perlu menyediakan ruang pengaduan yang aman serta menyampaikan alasan apabila usulan tidak diakomodasi.

Akuntabilitas membutuhkan indikator yang mengukur hasil dan pemerataan, bukan hanya penyerapan anggaran atau jumlah alat yang dibeli. Indikator dapat mencakup ketepatan waktu informasi, luas lahan yang menerima layanan air, keterjangkauan pangan bergizi, waktu pembayaran klaim, selisih harga antardaerah, kehilangan hasil, dan pemulihan pendapatan setelah musim kering. Data harus dipilah menurut jenis kelamin, usia, status lahan, skala usaha, dan wilayah apabila memungkinkan. Evaluasi perlu membedakan hasil yang disebabkan oleh intervensi dari pengaruh cuaca dan faktor pasar. Penggunaan indikator secara hati-hati membantu menghindari klaim keberhasilan yang tidak didukung bukti.

11. Pembiayaan, pasar, dan perlindungan ekonomi rumah tangga

Kesiapsiagaan membutuhkan pembiayaan sebelum bencana. Investasi pada rehabilitasi irigasi, embung, penyuluhan, stasiun cuaca, benih, dan sistem data sering kurang terlihat dibandingkan belanja darurat, padahal dapat mengurangi biaya kehilangan panen serta bantuan pascakejadian. Pemerintah pusat dan daerah dapat menggunakan analisis biaya-manfaat dan peta risiko untuk memprioritaskan lokasi. Pembiayaan adaptasi harus memperhitungkan biaya operasi, pemeliharaan, pelatihan, dan evaluasi, bukan hanya konstruksi. Jika aset dibangun tanpa organisasi pengelola dan sumber biaya rutin, kapasitas yang diharapkan akan menurun sebelum masa manfaat berakhir.

Pasar pangan perlu dipantau agar respons terhadap kekurangan pasokan tidak menciptakan gangguan tambahan. Informasi harga grosir dan eceran, volume pasokan, stok, biaya angkut, serta waktu pengiriman membantu mendeteksi wilayah yang mengalami tekanan. Intervensi harus disesuaikan: dukungan transportasi dapat membantu wilayah terpencil, operasi pasar dapat menahan lonjakan harga sementara, dan bantuan tunai dapat menjaga daya beli. Kebijakan yang terlalu luas berisiko menghabiskan anggaran untuk konsumen yang tidak membutuhkan, sedangkan program yang terlalu sempit dapat mengecualikan keluarga rentan. Desain adaptif menggunakan data dan mekanisme koreksi ketika keadaan berubah.

Asuransi pertanian, dana kontinjensi, dan perlindungan sosial menjalankan fungsi berbeda. Asuransi membantu mengalihkan sebagian risiko kerugian yang terukur; dana kontinjensi membiayai respons publik; bantuan sosial menjaga konsumsi rumah tangga. Ketiganya perlu dirangkai dengan kredit dan penyuluhan. Asuransi tidak semestinya menjadi syarat tunggal bagi akses bantuan, terutama ketika petani belum memahami produk atau indeks tidak sesuai kondisi lokal. Skema premi bersubsidi dapat memperluas jangkauan, tetapi harus disertai tata kelola klaim dan evaluasi ketepatan sasaran.

Pengalaman kerugian dan pembayaran harus dikomunikasikan secara transparan agar kepercayaan tidak hilang.

12. Strategi adaptasi menurut horizon waktu

Dalam jangka pendek—sebelum dan selama musim El Niño—prioritasnya adalah pemantauan, komunikasi risiko, penyesuaian kalender tanam, operasi air, perlindungan pendapatan, dan distribusi pangan. Pemerintah perlu mengaktifkan posko berbasis data, mengidentifikasi kantong kekeringan, dan memastikan bahwa petani mengetahui pilihan praktis yang masih dapat dilakukan. Petani dapat menyesuaikan luas tanam, varietas, dan kebutuhan air berdasarkan informasi lokal. Konsumen rentan perlu memperoleh dukungan tepat waktu. Selama fase ini, keputusan harus fleksibel dan ditinjau kembali ketika prakiraan atau kondisi lapangan berubah; rencana kaku dapat menimbulkan kerugian jika situasi berbeda dari skenario awal.

Dalam jangka menengah, investasi diarahkan pada rehabilitasi irigasi, penyimpanan air, konservasi tanah, penguatan penyuluhan, perbaikan akses benih, teknologi pascapanen, dan pengembangan pasar pangan lokal. Sistem data dapat diperkuat agar prakiraan, kondisi air, produksi, harga, dan konsumsi dapat dibandingkan pada satu kerangka waktu dan lokasi. Pendidikan dan pelatihan perlu membekali petani, petugas, dan pemimpin daerah dengan literasi iklim, analisis skenario, dan pengambilan keputusan di bawah ketidakpastian. Program demonstrasi harus dilanjutkan cukup lama untuk menilai hasil lintas musim, bukan dihentikan setelah satu kali panen.

Dalam jangka panjang, kebijakan perlu mengubah struktur yang membuat sistem pangan rentan. Ini termasuk memperbaiki tata ruang dan daerah resapan, melindungi lahan produktif, memulihkan ekosistem, memperkuat riset pemuliaan tanaman, mengembangkan varietas sesuai agroekologi, mengurangi kehilangan dan pemborosan pangan, serta memperluas diversifikasi produksi dan konsumsi. Perubahan iklim jangka panjang dapat

menggeser norma iklim, sehingga infrastruktur yang didesain berdasarkan catatan masa lalu mungkin tidak lagi memadai. Penilaian desain harus menggunakan rentang skenario, pembaruan berkala, dan prinsip tidak menyesali (no-regret) yang memberi manfaat di berbagai kemungkinan masa depan.

13. Mengelola ketidakpastian dan menghindari jebakan kebijakan

Ketidakpastian prakiraan bukan alasan untuk menunda semua tindakan, tetapi alasan untuk memilih tindakan yang proporsional dan dapat disesuaikan. Langkah tanpa penyesalan meliputi pemeliharaan saluran, penyuluhan, perbaikan akses informasi, perlindungan sumber air, dan pemantauan kelompok rentan. Untuk investasi yang mahal dan sulit dibalik, seperti bendungan besar atau perubahan pola tanam skala luas, analisis skenario dan konsultasi yang lebih mendalam diperlukan. Pengelolaan adaptif menetapkan keputusan awal, indikator pemicu, opsi lanjutan, dan titik evaluasi. Dengan cara itu, keputusan dapat diperbarui tanpa menganggap perubahan sebagai kegagalan perencanaan.

Beberapa jebakan kebijakan perlu dihindari. Pertama, menyamakan ENSO dengan kekeringan seragam di seluruh Indonesia, sehingga sumber daya salah dialokasikan. Kedua, menilai ketahanan hanya dari produksi beras nasional, sementara rumah tangga tertentu kehilangan akses pangan. Ketiga, memperluas pompa air tanah tanpa memeriksa daya dukung akuifer. Keempat, mendorong varietas atau komoditas baru tanpa pasar dan pendampingan. Kelima, mengandalkan aplikasi tanpa saluran komunikasi alternatif. Keenam, mengumumkan angka stok atau produksi tanpa metodologi yang jelas, sehingga kepercayaan publik melemah. Evaluasi terhadap kebijakan masa lalu dapat mengungkap jebakan ini dan membantu merancang respons lebih seimbang.

Klaim teknologi juga perlu dinilai dengan bukti. Akurasi model harus diuji untuk wilayah dan musim yang relevan, bukan hanya rata-rata nasional. Rekomendasi perlu dibandingkan dengan praktik yang sudah ada, biaya pengguna, kebutuhan pemeliharaan, dan kemungkinan efek samping. Sistem AI yang menandai "wilayah rawan" harus memberi penjelasan tentang data yang dipakai serta mekanisme koreksi oleh petugas dan masyarakat. Data rumah tangga pangan sensitif dan harus dilindungi. Teknologi yang baik bukan yang paling rumit, melainkan yang meningkatkan kualitas keputusan dengan biaya dan risiko yang dapat diterima, serta dapat dipakai oleh pihak yang membutuhkan.

14. Kerangka operasional: sistem ketahanan pangan adaptif

Kerangka operasional yang diusulkan memiliki lima lapisan yang tersambung. Lapisan pertama ialah pengamatan dan prakiraan: data ENSO, IOD, hujan, suhu, kelembapan tanah, debit, dan kondisi tanaman. Lapisan kedua ialah penerjemahan risiko: skenario per wilayah dan komoditas, peta kelompok rentan, serta perkiraan implikasi terhadap air, produksi, harga, dan gizi. Lapisan ketiga ialah pilihan tindakan: operasi irigasi, penyesuaian kalender, input dan layanan, stok serta distribusi, bantuan sosial, dan komunikasi publik. Lapisan keempat ialah pelaksanaan kolaboratif oleh lembaga pemerintah, penyuluh, kelompok petani, pelaku pasar, dan organisasi masyarakat. Lapisan kelima ialah evaluasi dan pembelajaran setelah musim, termasuk dokumentasi kesalahan prakiraan dan dampak yang tidak direncanakan.

Setiap lapisan perlu memiliki pengampu dan standar waktu. Informasi iklim harus dirilis sesuai kalender perencanaan tanam; data debit dan stok diperbarui cukup sering untuk menyesuaikan keputusan; peringatan harga disampaikan sebelum keluarga mengurangi konsumsi. Dinas dan lembaga nasional perlu menyepakati definisi indikator, geografi pelaporan, dan jadwal pembaruan. Di tingkat desa, informasi harus sampai melalui penyuluh, kelompok tani, radio

lokal, pesan telepon, dan pertemuan. Kerangka ini memungkinkan penggunaan teknologi digital tanpa mengabaikan institusi dan hubungan sosial yang menjadi infrastruktur sebenarnya bagi keputusan kolektif.

Hasil sistem perlu dievaluasi berdasarkan beberapa pertanyaan. Apakah waktu tanam dan alokasi air berubah dengan cara yang melindungi hasil serta sumber daya? Apakah petani memperoleh informasi sebelum keputusan penting? Apakah harga tetap terjangkau bagi kelompok miskin? Apakah program menjangkau wilayah tadah hujan dan pulau kecil, bukan hanya sentra produksi? Apakah teknologi dapat beroperasi setelah pendanaan proyek berakhir? Apakah pilihan adaptasi mengurangi ketergantungan pada air yang rentan atau justru memindahkan tekanan ke pengguna lain? Pertanyaan tersebut membantu mengukur kinerja substantif dan menghindari pengukuran yang berhenti pada jumlah rapat atau alat.

15. Agenda riset dan pembelajaran kebijakan

Agenda riset harus menghubungkan klimatologi dengan ilmu pertanian, ekonomi, kesehatan masyarakat, dan studi kelembagaan. Data produksi pada tingkat kabupaten dapat dipasangkan dengan anomali hujan, fase ENSO dan IOD, kondisi irigasi, perubahan harga, serta dukungan kebijakan. Analisis spasial membantu menemukan variasi kerentanan; metode kualitatif menjelaskan alasan petani memilih tindakan tertentu; evaluasi kebijakan menilai apakah layanan benar-benar meningkatkan hasil atau menurunkan kehilangan. Studi tidak boleh hanya mengukur adopsi teknologi, tetapi juga manfaat, biaya, distribusi, serta konsekuensi ekologisnya. Kolaborasi data dan metode meningkatkan peluang temuan diterapkan dalam kebijakan.

Riset tentang layanan iklim perlu menelaah siapa yang menerima informasi, kapan, melalui kanal apa, dan bagaimana informasi mengubah keputusan. Prakiraan yang akurat secara meteorologis dapat gagal memberikan manfaat jika petani tidak memahaminya, tidak memiliki input untuk bertindak, atau

menghadapi batasan kredit dan air. Sebaliknya, informasi yang tidak sempurna dapat bernilai jika disertai skenario dan dukungan fleksibel. Evaluasi layanan perlu mengukur ketepatan waktu dan kegunaan, bukan sekadar jumlah pengguna aplikasi. Pengetahuan petani dan data ilmiah dapat dibangun bersama melalui co-production, yang memperbaiki relevansi tanpa mengorbankan pemeriksaan metodologis.

Penelitian masa depan juga perlu menilai dampak kumulatif dan perubahan sistem. Kekeringan berulang dapat mengubah keputusan investasi, migrasi tenaga kerja, pola konsumsi, dan penggunaan lahan. Perubahan varietas atau komoditas dapat memberi manfaat jangka panjang tetapi menimbulkan biaya transisi. Penggunaan air tanah mungkin mempertahankan produksi pada satu musim namun menambah kerentanan pada musim berikutnya. Model iklim-pangan perlu memasukkan pasar, kebijakan, dan respons rumah tangga, bukan hanya hubungan hujan-hasil. Studi lintas wilayah dan lintas musim dapat mengungkap kapan adaptasi bersifat efektif, kapan tidak, dan kondisi kelembagaan apa yang menentukan keberhasilannya.

16. Sintesis: ketahanan pangan sebagai kapasitas kolektif

El Niño meningkatkan risiko kekeringan dan gangguan produksi pada sebagian wilayah Indonesia, tetapi tidak secara otomatis menghasilkan krisis pangan nasional. Dampak ditentukan oleh interaksi antara sinyal iklim, curah hujan dan aliran air setempat, sistem irigasi, jenis komoditas, waktu tanam, kondisi pasar, distribusi, pendapatan, dan kebijakan. Penelitian Indonesia menunjukkan adanya hubungan ENSO dengan produksi padi sekaligus variasi spasial dan temporal yang kuat (Naylor et al., 2001; Naylor et al., 2007; Mulyaqin et al., 2026). Karena itu, kebijakan harus bergerak dari respons seragam menuju strategi yang peka lokasi dan memiliki mekanisme untuk memperbarui tindakan ketika bukti baru tersedia.

Pemerintah perlu menyediakan prakiraan yang dapat ditindaklanjuti, infrastruktur dan aturan alokasi air, penyuluhan, perlindungan sosial, cadangan pangan, dan distribusi yang transparan. Petani perlu memperoleh pilihan yang nyata—benih, varietas, kalender, akses air, pembiayaan, dan pasar—serta ruang untuk menggabungkan informasi ilmiah dengan pengetahuan lokal. Teknologi dapat mempercepat pemantauan dan analisis, tetapi harus dirancang inklusif, diaudit, mudah dipelihara, dan terhubung dengan layanan manusia. Diversifikasi produksi dan konsumsi, pengurangan kehilangan pangan, serta perlindungan gizi memberi lapisan ketahanan tambahan ketika panen terganggu.

Ukuran paling bermakna dari kesiapsiagaan bukan banyaknya deklarasi atau perangkat yang diluncurkan, melainkan apakah rumah tangga mampu mempertahankan akses terhadap pangan yang cukup, aman, dan bergizi tanpa mengorbankan kesehatan, aset produktif, dan kelestarian sumber daya. Ketahanan pangan merupakan kapasitas kolektif yang dibangun sebelum krisis, diuji saat musim menyimpang, dan diperbaiki setelahnya melalui pembelajaran yang jujur. Dalam pengertian itu, El Niño bukan semata ancaman meteorologis, melainkan ujian terhadap mutu tata kelola, keadilan distribusi, dan kemampuan masyarakat Indonesia bekerja bersama menghadapi ketidakpastian.

17. Membaca pengalaman musim kering sebagai pembelajaran kebijakan

Pengalaman musim El Niño sebelumnya dapat menjadi bahan pembelajaran, tetapi tidak boleh disalin sebagai pola yang berulang persis. Setiap peristiwa berlangsung dengan kondisi sosial, ekonomi, infrastruktur, dan iklim latar yang berbeda. Perubahan luas sawah, kapasitas waduk, varietas yang ditanam, harga pupuk, konektivitas pasar, serta komposisi rumah tangga akan mengubah dampak. Catatan kejadian perlu menyertakan kapan hujan berhenti, berapa lama jeda kering, daerah mana yang kehilangan layanan air, tanaman apa yang terdampak, dan siapa yang menerima bantuan. Data historis yang

terdokumentasi dengan baik memungkinkan pemerintah menilai apakah kebijakan sekarang lebih tangguh daripada sebelumnya.

Evaluasi pascamusim sebaiknya dilakukan bersama petani dan petugas lapangan. Pertanyaan utamanya bukan hanya apakah prediksi benar, melainkan apakah informasi disampaikan pada waktu yang tepat dan apakah penerima mampu mengubah keputusan. Jika prakiraan menyebut risiko kering tetapi rekomendasi tidak menjelaskan pilihan, masalahnya ada pada desain layanan. Jika rekomendasi tersedia namun tidak ada benih, pompa, atau akses air, kegagalan bukan terletak pada petani. Evaluasi semacam ini menelusuri seluruh rantai dari pengamatan hingga hasil, sehingga perbaikan dapat diarahkan pada titik lemah yang sebenarnya.

Pencatatan keberhasilan dan kegagalan juga menolong petani menghindari bias ingatan. Kelompok tani dapat menyusun kalender musim lokal yang mencatat hujan, tinggi muka air, fase tanaman, serangan organisme pengganggu, biaya input, serta waktu panen. Catatan tidak harus rumit; buku kelompok dan pemetaan sederhana dapat menjadi awal. Apabila disandingkan dengan stasiun cuaca, data satelit, dan statistik dinas, catatan petani dapat memperkaya pemahaman tentang variasi mikro. Kegiatan ini meningkatkan kapasitas analitis masyarakat sekaligus memberikan umpan balik bagi lembaga yang menghasilkan prakiraan.

Pembelajaran harus bersifat dua arah antara pemerintah dan komunitas. Pemerintah dapat menjelaskan alasan alokasi air, ketidakpastian prakiraan, atau kriteria bantuan. Masyarakat dapat melaporkan saluran yang bocor, perubahan debit, gagal tumbuh, perubahan harga di pasar desa, dan hambatan penerimaan bantuan. Mekanisme komunikasi tersebut membantu mendeteksi kesenjangan data resmi dan realitas lapangan. Agar partisipasi bermakna, laporan warga harus ditanggapi, diverifikasi, dan diikuti tindakan atau penjelasan. Ketika masyarakat melihat umpan balik mereka memengaruhi keputusan, kepercayaan dan kesiapan untuk bekerja sama meningkat.

Pembelajaran juga perlu mengubah desain program, bukan berhenti pada laporan. Jika bantuan benih berulang kali terlambat, prosedur pengadaan perlu disesuaikan dengan kalender agroklimat. Jika klaim asuransi tidak berkorelasi dengan kerugian nyata, indeks atau mekanisme verifikasi harus ditinjau. Jika sumur bantuan meningkatkan perebutan air, perlu aturan batas pemompaan dan tata kelola bersama. Perubahan kebijakan dapat dipantau melalui indikator yang diumumkan sejak awal. Siklus belajar yang rutin menjadikan setiap musim sebagai kesempatan memperbaiki kapasitas kelembagaan, bukan sekadar episode darurat yang dilupakan setelah hujan kembali.

18. Air sebagai fondasi ketahanan produksi dan konsumsi

Ketersediaan air adalah penghubung utama antara iklim dan pangan, namun pengelolaannya sering terfragmentasi. Petani mengandalkan hujan, jaringan irigasi, embung, sumur, sungai, atau mata air dengan tingkat ketergantungan yang berbeda. Pada saat kering, air juga dibutuhkan untuk rumah tangga, sanitasi, industri, energi, dan ekosistem. Kebijakan alokasi harus membedakan kebutuhan dasar manusia, kebutuhan tanaman pada fase kritis, dan kebutuhan menjaga fungsi ekologis sungai. Tanpa prinsip prioritas dan aturan operasional, kompetisi meningkat dan pihak yang memiliki pompa, modal, atau posisi hulu sering lebih diuntungkan.

Perencanaan air perlu mengikuti satuan hidrologis seperti daerah aliran sungai, bukan hanya batas administrasi. Pengambilan air di hulu memengaruhi pengguna di hilir; perubahan tutupan lahan mengubah limpasan dan pengisian air tanah; sedimentasi mengurangi tampungan waduk; dan kerusakan daerah resapan dapat mempercepat aliran permukaan. Perbaikan ketahanan pangan oleh sebab itu bersinggungan dengan konservasi tanah, rehabilitasi hutan, perlindungan rawa, dan pengendalian pencemaran. Program pertanian tidak dapat berdiri sendiri ketika sumber airnya ditentukan oleh tata guna lahan di seluruh bentang alam.

Efisiensi irigasi harus diukur pada tingkat sistem. Mengurangi kebocoran atau memperbaiki saluran dapat meningkatkan air yang sampai ke petak, tetapi penghematan di satu bagian belum tentu menjadi penghematan total bila mendorong ekspansi lahan atau penggunaan air yang lebih besar. Modernisasi jaringan perlu disertai pengukuran debit, aturan pembagian, dan pengelolaan kelembagaan. Petani dan perkumpulan pengguna air perlu memiliki peran dalam menyepakati jadwal dan kontribusi pemeliharaan. Penggunaan teknologi pengairan berselang atau sensor kelembapan tanah akan efektif ketika pintu air dapat dikendalikan dan pengguna memahami prosedur bersama.

Penggunaan air tanah untuk menyelamatkan tanaman dapat menjadi pilihan saat darurat, tetapi perlu pagar pengaman. Pemompaan berlebih dapat menyebabkan sumur dangkal kering, biaya energi meningkat, muka air turun, dan intrusi air asin di kawasan pesisir. Pemerintah daerah perlu mencatat sumur, memantau muka air, dan mengatur pemompaan di wilayah yang rawan. Dukungan pompa harus disertai penilaian daya dukung dan prioritas kebutuhan. Pemanenan air hujan, pengisian ulang air tanah, embung, restorasi lahan basah, dan konservasi mata air merupakan bagian dari portofolio, bukan alternatif yang dapat dipilih satu saja.

Keadilan dalam alokasi air menuntut transparansi mengenai siapa mendapat berapa, kapan, dan untuk keperluan apa. Petani kecil di ujung jaringan sering menerima air setelah kebutuhan hulu terpenuhi. Mekanisme pengaduan, pengukuran sederhana, dan pencatatan jadwal distribusi dapat memperkuat akuntabilitas. Dalam kondisi darurat, aturan perlu menjelaskan prioritas dan bagaimana revisi dilakukan ketika debit menurun. Kesepakatan sosial yang dianggap adil lebih mungkin dipatuhi daripada aturan yang dibuat tanpa konsultasi. Dengan demikian, tata kelola air adalah infrastruktur sosial yang sama pentingnya dengan saluran fisik.

19. Wilayah, kelompok, dan paparan yang berbeda

Kepulauan Indonesia memiliki pola musim, kondisi hidrologi, akses pasar, dan basis produksi yang berbeda. Jawa dan Bali mempunyai jaringan irigasi dan konsentrasi produksi padi yang penting, tetapi juga menghadapi kepadatan penduduk serta kompetisi air. Sebagian kawasan Nusa Tenggara lebih sering menghadapi keterbatasan air dan memerlukan sistem pangan yang menyesuaikan agroekologi kering. Sumatra dan Kalimantan memiliki pertanian lahan kering, rawa, perkebunan, serta kawasan gambut yang menuntut pengelolaan air dan kebakaran secara terpadu. Papua, Maluku, dan pulau-pulau kecil dapat menghadapi tantangan logistik, jarak pasar, serta ketergantungan pada komoditas lokal. Kategori nasional yang luas harus diurai menjadi peta risiko yang relevan bagi keputusan setempat.

Perbedaan paparan juga terjadi di dalam satu daerah. Petani dengan akses irigasi teknis tidak menghadapi risiko yang sama dengan petani tadah hujan. Pemilik lahan dapat mengubah pola tanam dengan lebih leluasa dibandingkan penggarap yang terikat kontrak. Rumah tangga dengan tabungan, kendaraan, dan jaringan pasar memiliki kapasitas lebih besar untuk membeli air atau memindahkan hasil. Buruh tani mungkin kehilangan pekerjaan ketika tanam tertunda, sekalipun tidak memiliki tanaman yang gagal. Pemetaan kerentanan harus mencakup aset, pekerjaan, status tenurial, akses air, dan jaringan sosial, bukan hanya lokasi lahan.

Perempuan berkontribusi pada produksi, pengolahan, penyimpanan, dan pengelolaan konsumsi rumah tangga. Mereka sering menanggung tambahan beban ketika air bersih semakin jauh, harga pangan meningkat, atau anggota keluarga sakit. Namun, program bantuan dan pelatihan dapat mengabaikan mereka jika kepemilikan lahan atau administrasi kelompok tani hanya mencatat kepala keluarga laki-laki. Pelibatan perempuan dalam pengambilan keputusan tentang benih, air, dan bantuan bukan sekadar memenuhi representasi; pengetahuan mereka tentang konsumsi dan pengolahan dapat memperkuat

strategi pangan rumah tangga. Data program perlu mencatat penerima dan manfaat berdasarkan gender.

Masyarakat adat dan komunitas lokal dapat memiliki aturan, pengetahuan, serta benih yang beradaptasi dengan kondisi setempat. Pengakuan terhadap pengetahuan tersebut harus disertai penghormatan terhadap hak atas wilayah dan sumber daya, serta persetujuan yang bermakna dalam program yang memengaruhi kehidupan mereka. Pengetahuan lokal bukan pengganti pengukuran ilmiah; keduanya dapat saling memeriksa dan memperluas pemahaman. Sistem peringatan yang memanfaatkan kalender lokal atau indikator alam perlu diuji dengan data, tetapi tidak semestinya merendahkan praktik masyarakat. Kemitraan yang setara dapat membantu menjaga agrobiodiversitas dan memperluas pilihan adaptasi.

Kelompok rentan perkotaan juga perlu masuk dalam strategi. El Niño dapat memengaruhi pasokan pangan kota melalui harga, biaya transportasi, dan kompetisi penggunaan air. Rumah tangga informal dengan pendapatan harian memiliki ruang simpan dan kemampuan membeli dalam jumlah besar yang terbatas. Pasar tradisional, pedagang kecil, dapur umum, sekolah, dan program bantuan menjadi saluran penting untuk menjaga akses. Pemerintah kota dapat memantau harga dan keamanan air, menjaga operasi pasar, serta memastikan bantuan menjangkau pekerja informal dan penghuni kawasan padat. Ketahanan pangan bukan masalah desa saja; jaringan produksi-konsumsi menghubungkan desa, kota, dan pelabuhan.

20. Risiko iklim majemuk dan kesinambungan ekologi

El Niño berlangsung dalam konteks risiko iklim majemuk. Suhu tinggi dapat meningkatkan evapotranspirasi dan mempercepat kehilangan kelembapan tanah, sehingga curah hujan yang sedikit di bawah normal dapat menimbulkan tekanan lebih besar. Gelombang panas, kekeringan, kebakaran, dan pencemaran asap dapat terjadi berdekatan atau saling memperkuat. Kondisi di

pesisir juga dipengaruhi oleh intrusi salin dan perubahan debit sungai. Perencanaan pangan perlu mempertimbangkan kombinasi risiko, bukan hanya satu indikator. Skenario majemuk membantu menentukan kapan sistem air, kesehatan, pertanian, dan logistik perlu bergerak bersama.

Kebakaran lahan dan gambut dapat memperluas dampak kekeringan. Ketika lahan gambut mengering, risiko kebakaran dan kabut asap meningkat terutama jika pembukaan atau pembakaran dilakukan manusia. Asap mengganggu kesehatan, transportasi, sekolah, dan aktivitas ekonomi, serta dapat menghambat tenaga kerja panen. Hubungan ENSO dengan kekeringan dan kebakaran dipengaruhi fase IOD dan faktor penggunaan lahan; karena itu, atribusi tidak boleh menyalahkan iklim semata (Pan et al., 2018). Pencegahan membutuhkan pengelolaan muka air gambut, pengawasan, alternatif pembukaan tanpa bakar, penegakan hukum, dan keterlibatan masyarakat.

Adaptasi pertanian dapat menimbulkan konsekuensi ekologis apabila hanya mengutamakan produksi jangka pendek. Ekspansi sawah ke habitat penting, pengambilan air yang melampaui daya dukung, penggunaan pestisida berlebihan, atau penanaman varietas seragam dapat mengurangi jasa ekosistem dan agrobiodiversitas. Diversifikasi tanaman, koridor habitat, pengelolaan hama terpadu, perlindungan sempadan sungai, dan konservasi tanah memberi manfaat bagi produksi serta lingkungan. Penilaian keberhasilan harus memeriksa apakah risiko dialihkan ke ekosistem atau kelompok lain. Ketahanan pangan yang menghabiskan modal alam dapat tampak berhasil satu musim tetapi mengurangi kapasitas produksi masa depan.

Solusi berbasis alam dapat membantu mengatur air dan mengurangi risiko, tetapi harus disesuaikan kondisi lokal. Rehabilitasi lahan basah, vegetasi riparian, agroforestri, perlindungan hutan hulu, dan penutup tanah dapat memperbaiki infiltrasi, menahan erosi, serta mendukung biodiversitas. Hasilnya tidak selalu langsung terlihat dan tidak menggantikan infrastruktur yang diperlukan. Program restorasi harus memiliki dasar ilmiah, hak tenurial yang

jelas, pembiayaan pemeliharaan, dan indikator manfaat masyarakat. Menggabungkan infrastruktur abu-abu dan solusi berbasis alam dapat menghasilkan sistem yang lebih beragam dan tahan terhadap ketidakpastian.

Pertanian tangguh iklim tetap harus berorientasi pada keberlanjutan ekonomi dan emisi. Pompa diesel yang menambah irigasi dapat membantu panen, tetapi biaya bahan bakar dan emisi meningkat. Pompa tenaga surya mengurangi biaya operasi dalam konteks tertentu, namun memerlukan investasi, pengelolaan distribusi, dan aturan pemakaian air. Praktik yang meningkatkan bahan organik tanah dapat memperbaiki retensi kelembapan, tetapi manfaat dan waktu pencapaiannya bergantung pada kondisi. Kebijakan sebaiknya menguji keseluruhan daur hidup teknologi, bukan hanya biaya pembelian atau hasil musim pertama. Sinergi adaptasi-mitigasi penting, tetapi adaptasi untuk keselamatan pangan tetap harus menjadi tujuan utama.

21. Studi ilustratif: petani padi tadah hujan menghadapi musim yang mundur

Bayangkan sebuah kelompok tani padi tadah hujan di Jawa Tengah yang menerima prakiraan bahwa peluang musim hujan mundur meningkat. Hujan lokal belum cukup untuk menggenangi sawah dan para petani memiliki modal terbatas untuk mengulang tanam. Pilihan mereka bukan sekadar menanam atau tidak menanam. Mereka dapat membagi lahan menjadi petak percobaan dan petak utama, menunggu hujan efektif untuk bagian utama, memilih varietas dengan umur berbeda, menyiapkan persemaian bertahap, atau menanam palawija pada lahan yang lebih kering. Setiap opsi memerlukan informasi tentang tekstur tanah, akses benih, kebutuhan keluarga, dan harga pasar.

Penyuluh dan pemerintah desa dapat membantu kelompok menyusun keputusan berbasis skenario. Jika hujan efektif datang dalam rentang yang diperkirakan, jadwal persemaian dilaksanakan; jika hujan tertunda, luas tanam

disesuaikan dan pompa komunitas digunakan hanya untuk fase kritis; jika sumber air terlalu rendah, tanaman alternatif yang memiliki pasar lokal dipilih. Skenario perlu menghindari janji hasil, melainkan membantu petani memahami konsekuensi dan ambang untuk berpindah strategi. Penyuluh juga dapat memeriksa persediaan benih dan memastikan pemilik lahan serta penggarap sama-sama memahami pembagian biaya dan hasil.

Kelompok pengguna air dapat menetapkan jadwal rotasi dan memelihara embung kecil. Catatan hujan, kelembapan tanah, dan tinggi air embung ditempel di balai desa atau dibagikan melalui grup pesan. Petani yang memiliki telepon pintar dapat membantu memperbarui data, tetapi pengumuman juga disampaikan melalui pertemuan dan pengeras suara. Kredit mikro untuk benih atau pompa dirancang dengan jadwal pengembalian setelah panen dan opsi restrukturisasi ketika gagal panen terverifikasi. Program bantuan disalurkan sebelum batas waktu tanam, bukan sesudah tanaman rusak. Ini menggambarkan bagaimana beberapa intervensi sederhana menjadi lebih bernilai ketika dikombinasikan.

Di tingkat kecamatan, dinas pertanian menggabungkan laporan kelompok dengan data hujan dan prakiraan. Pengelola irigasi di wilayah sekitar menyesuaikan debit yang dilepas berdasarkan cadangan air, sementara pasar desa mencatat harga dan ketersediaan beras serta komoditas alternatif. Puskesmas dan posyandu mengawasi risiko konsumsi rumah tangga yang paling rentan. Jika semua informasi dikelola terpisah, setiap instansi mungkin melihat potongan masalah tetapi tidak mengenali kebutuhan koordinasi. Forum lintas sektor yang bertemu berdasarkan pemicu yang jelas dapat menyatukan keputusan dan mengarahkan bantuan ke lokasi yang benar-benar memerlukan.

Setelah musim berakhir, kelompok menilai hasil setiap opsi: berapa luas yang berhasil ditanam, berapa biaya pengairan, apakah pendapatan cukup, dan apakah akses air tetap berkelanjutan. Data dicatat untuk musim berikutnya,

termasuk keputusan yang tidak berhasil. Tidak ada satu teknik yang otomatis unggul. Keberhasilan bergantung pada kecocokan antara waktu, tanah, benih, air, tenaga, pasar, dan kemampuan berbagi risiko. Contoh ini menunjukkan bahwa ketahanan tidak berasal dari teknologi tunggal, melainkan dari kapasitas kolektif untuk memantau, membuat keputusan, dan menyesuaikan tindakan.

22. Informasi publik, komunikasi risiko, dan kepercayaan

Komunikasi risiko yang baik harus membedakan kepastian tentang fenomena dan ketidakpastian dampak lokal. Lembaga ilmiah dapat menyatakan bahwa ENSO berada pada fase tertentu dengan probabilitas yang terukur; namun dampak pada hujan lokal masih bergantung pada musim, lokasi, dan fenomena lain. Bahasa publik perlu menghindari istilah alarmis atau terlalu pasti. Warga perlu memahami apa yang mungkin terjadi, seberapa yakin prakiraan, kapan pembaruan berikutnya, dan tindakan apa yang tersedia. Penjelasan tersebut membangun kepercayaan karena pemerintah tidak menjanjikan kendali atas cuaca, tetapi menunjukkan kesiapan mengelola risiko.

Komunikasi perlu menyesuaikan kebutuhan pengguna. Kepala daerah memerlukan informasi tentang ambang tanggap dan kebutuhan anggaran; pengelola waduk memerlukan prakiraan inflow dan prioritas alokasi; penyuluh memerlukan rekomendasi tanam; pedagang membutuhkan informasi stok dan jalur logistik; keluarga memerlukan informasi harga, bantuan, dan layanan air. Satu buletin panjang tidak selalu cocok untuk semua kelompok. Produk informasi dapat berupa ringkasan visual, peta, pesan suara, kalender tanam, dashboard, dan panduan tindakan. Konsistensi istilah, simbol, serta format dari musim ke musim memudahkan pemahaman dan perbandingan.

Rumor mengenai stok, harga, atau distribusi dapat menyebar ketika informasi resmi terlambat atau tidak konsisten. Pemerintah perlu menyediakan data yang dapat diperiksa, menjelaskan perubahan kebijakan, dan merespons kesalahan faktual dengan cepat. Keterbukaan tidak berarti menyebarkan data mentah

tanpa konteks; statistik harus disertai definisi, waktu, cakupan, dan batasannya. Jika data stok hanya tersedia pada skala agregat, publik tidak dapat mengetahui apakah daerah tertentu mengalami kekurangan. Transparansi granular yang aman dapat menurunkan spekulasi dan memberi ruang bagi media serta akademisi untuk memeriksa klaim.

Kepercayaan juga ditentukan oleh konsistensi antara pesan dan pengalaman. Jika pemerintah meminta penghematan air namun institusi publik menggunakan air tanpa pengendalian, kredibilitas berkurang. Jika warga diminta melapor tetapi aduan tidak pernah dijawab, partisipasi akan turun. Jika daftar bantuan tidak jelas, konflik sosial dapat meningkat. Oleh karena itu, komunikasi harus disertai pelayanan, akuntabilitas, dan mekanisme koreksi. Ketika terjadi kesalahan, pengakuan dan revisi yang transparan lebih memperkuat kepercayaan daripada menutupi masalah.

Media massa dan organisasi masyarakat dapat menjadi mitra untuk menyampaikan prakiraan serta memeriksa dampak. Pelatihan jurnalisme data dan literasi iklim membantu mengurangi penyederhanaan seperti menyamakan setiap El Niño dengan bencana pangan. Universitas dapat menerjemahkan temuan riset, mengembangkan peta, dan mengevaluasi intervensi tanpa mengambil alih peran lembaga publik. Kerja sama ini efektif jika sumber data dan tanggung jawab jelas. Komunikasi risiko adalah bagian dari kesiapsiagaan; ia harus direncanakan sebelum krisis, bukan dirancang mendadak setelah harga melonjak atau sawah mengering.

23. Indikator kinerja dan peta jalan implementasi

Peta jalan implementasi dimulai dengan pemetaan sumber daya, risiko, dan kelompok rentan. Pemerintah daerah dapat mengidentifikasi sentra produksi, lahan tadah hujan, wilayah irigasi yang sering mengalami defisit, kapasitas tampungan, jalur distribusi, dan pusat konsumsi. Data tersebut dipadukan dengan prakiraan iklim dan konsultasi lokal untuk menentukan prioritas.

Pemetaan bukan dokumen sekali jadi; perubahan penggunaan lahan, jaringan, populasi, dan pola pasar perlu diperbarui. Ketika definisi wilayah dan indikator konsisten, analisis antartahun dapat lebih bermakna.

Tahap berikutnya menetapkan indikator dini dan protokol tindakan. Indikator dapat mencakup peluang hujan di bawah normal, panjang jeda kering, debit sungai, elevasi waduk, kelembapan tanah, luas tanam, harga komoditas, dan sinyal konsumsi rumah tangga. Ambang disepakati lintas sektor dan diuji melalui simulasi. Setiap indikator harus memiliki penanggung jawab, frekuensi pengukuran, dan tindakan yang diaktifkan. Jika indikator terlalu banyak, sistem menjadi sulit dikelola; jika terlalu sedikit, gambaran risiko tidak lengkap. Pilihan indikator perlu mengutamakan kemudahan pengukuran dan hubungan yang jelas dengan keputusan.

Indikator hasil perlu menangkap ketahanan, keadilan, dan keberlanjutan. Beberapa ukuran yang berguna ialah proporsi petani yang memperoleh prakiraan sebelum masa tanam, tingkat layanan air di ujung jaringan, kehilangan hasil, variasi harga antarpasar, keterjangkauan pangan bergizi, jangkauan perlindungan sosial, dan kondisi sumber air setelah musim kering. Ukuran ini perlu dibandingkan dengan kondisi dasar dan ditafsirkan bersama faktor luar. Misalnya, produksi dapat turun meskipun kebijakan berhasil mengurangi kerugian apabila intensitas kekeringan sangat tinggi. Penilaian harus melihat apa yang kemungkinan terjadi tanpa intervensi dan menggunakan metode yang transparan.

Pendanaan dapat disusun dalam tiga lapis: anggaran rutin untuk pemeliharaan dan layanan; dana siap pakai untuk pemicu risiko menengah; dan dana tanggap untuk keadaan darurat. Pemisahan membantu lembaga bertindak sebelum bencana tanpa menunggu proses anggaran yang terlalu panjang. Pengawasan publik perlu memastikan dana digunakan tepat sasaran, tetapi prosedur akuntabilitas tidak seharusnya menghambat bantuan yang mendesak. Audit pascakegiatan dapat mengidentifikasi risiko penyimpangan dan perbaikan

proses. Mekanisme pengadaan untuk benih, suku cadang, dan layanan perlu ditetapkan sebelum musim agar pasokan tidak terlambat.

Terakhir, peta jalan perlu memuat jadwal pembelajaran tahunan. Sebelum musim, lembaga menguji kesiapan data, infrastruktur, stok, dan saluran komunikasi. Selama musim, mereka memantau indikator dan memperbarui skenario. Setelah musim, evaluasi dilakukan dengan petani, masyarakat, dan pihak pasar. Temuan disusun dalam rekomendasi yang memiliki penanggung jawab dan tenggat waktu, bukan hanya daftar masalah. Jika rangkaian ini diterapkan berulang, ketahanan pangan akan berkembang sebagai kemampuan institusional yang terakumulasi. El Niño tetap menjadi guncangan, tetapi biaya sosial dan ekonomi dapat dikurangi melalui kesiapan yang teruji dan terus diperbaiki.

24. Prioritas tindakan yang dapat segera dijalankan

Dalam waktu dekat, pemerintah pusat dan daerah dapat menyusun satu matriks kesiapsiagaan yang menghubungkan prakiraan, indikator lapangan, tindakan, penanggung jawab, dan sumber anggaran. Matriks tersebut sebaiknya dibedakan menurut sistem produksi dan sumber air. Wilayah beririgasi dapat memerlukan prioritas pemeliharaan dan pengaturan debit, sedangkan wilayah tadah hujan membutuhkan informasi awal musim, pilihan varietas, benih tepat waktu, serta opsi komoditas alternatif. Daerah kepulauan memerlukan perhatian terhadap pasokan, transportasi, dan stok lokal. Pembagian ini mengurangi risiko bahwa satu kebijakan nasional diterapkan tanpa penyesuaian terhadap kebutuhan dan kemampuan daerah.

Lembaga teknis perlu membangun protokol pertukaran data yang sederhana dan rutin. Data prakiraan, curah hujan aktual, luas tanam, kondisi waduk, harga, dan distribusi pangan dapat dibagikan dengan definisi serta jadwal yang konsisten. Sistem tidak harus menunggu sebuah platform besar; katalog data dan dashboard bersama yang diperbarui secara berkala dapat menjadi langkah

awal. Namun data publik perlu memiliki penjelasan metode dan batas penggunaan. Bila informasi disampaikan dalam rentang probabilitas, petugas harus memahami maknanya agar tidak menerjemahkan peluang sebagai kepastian. Pelatihan komunikasi risiko bagi aparat dan penyuluh menjadi bagian dari investasi data.

Pemerintah daerah dapat memulai dialog musim dengan kelompok tani dan pengguna air sebelum kalender tanam utama. Pertemuan ini menguji prakiraan terhadap pengalaman lokal, memetakan potensi konflik, dan menetapkan alternatif yang dapat diaktifkan. Penyuluh membantu menjelaskan konsekuensi agronomis; pengelola air menyampaikan proyeksi ketersediaan; petani menerangkan keterbatasan modal dan tenaga; pedagang memberi informasi permintaan. Hasil dialog sebaiknya terdokumentasi sebagai keputusan yang dapat dievaluasi, bukan sekadar daftar kehadiran. Bila risiko berkembang, forum dapat dipanggil kembali tanpa harus membangun koordinasi dari awal.

Program perlindungan pangan perlu menetapkan kriteria pemicu yang dapat dipahami masyarakat. Kenaikan harga, berkurangnya ketersediaan di pasar lokal, gagal tanam, atau sinyal konsumsi dapat digunakan bersama untuk mengaktifkan bantuan. Verifikasi perlu menyediakan jalur bagi rumah tangga yang belum tercatat dalam basis data, termasuk pekerja informal, pendatang, penggarap, dan kelompok dengan dokumen terbatas. Bantuan pangan dan tunai dapat dipilih menurut fungsi pasar, akses logistik, dan kebutuhan penerima. Pengawasan lokal dan mekanisme banding mengurangi risiko kesalahan sasaran sekaligus memberi masyarakat kesempatan mengoreksi data.

Pada akhir setiap musim, pemerintah dan masyarakat perlu menilai apakah tindakan dini mencegah kerugian dan siapa yang memperoleh manfaat. Evaluasi hendaknya mencatat juga konsekuensi yang tidak diinginkan, misalnya pompa yang meningkatkan biaya energi, sumur yang mengurangi ketersediaan air bagi pengguna lain, atau program diversifikasi yang tidak memiliki pasar.

Pengalaman harus diterjemahkan menjadi revisi anggaran, prosedur, dan pelatihan. Bila tindakan yang sama terus diulang tanpa koreksi, sistem hanya tampak aktif tetapi tidak belajar. Ketahanan yang sesungguhnya tercermin pada kemampuan mengubah prosedur berdasarkan bukti dan pengalaman masyarakat.

25. Menghubungkan prakiraan dengan keputusan yang terukur

Prakiraan yang bernilai bagi ketahanan pangan perlu dinilai berdasarkan manfaat keputusan, bukan ketepatan statistik saja. Secara ilmiah, prakiraan musiman memiliki skill yang berbeda menurut lokasi, musim, dan variabel yang diprediksi. Pengguna perlu mengetahui apakah sinyal paling dapat dipercaya untuk curah hujan, suhu, atau awal musim, dan bagaimana kinerja historisnya. Penyampaian skor ketidakpastian membantu instansi memilih tindakan yang sepadan. Tindakan berbiaya rendah dapat dipicu pada tingkat peluang yang lebih kecil, sedangkan investasi mahal dapat menunggu bukti tambahan. Pengelolaan seperti ini mencegah dua ekstrem: mengabaikan peringatan karena tidak pasti, atau mengalokasikan sumber daya besar berdasarkan satu skenario tunggal.

Layanan iklim harus menghubungkan prediksi dengan pilihan yang benar-benar tersedia. Petani yang menerima peringatan kekeringan tetapi tidak memiliki varietas alternatif, akses kredit, atau jaringan air mungkin tidak dapat mengubah rencana. Oleh sebab itu, penyedia prakiraan perlu bekerja bersama penyuluh, lembaga pembiayaan, penyedia benih, dan pengelola pasar. Informasi yang menyatakan risiko tinggi dapat disertai daftar tindakan menurut biaya dan jangka waktu. Petani kemudian dapat memilih berdasarkan lahan dan sumber daya masing-masing. Pendekatan tersebut menghormati otonomi pengguna serta mengurangi kesan bahwa tanggung jawab menghadapi risiko sepenuhnya diletakkan pada petani.

Kesiapan institusi dapat diuji melalui latihan meja dan simulasi sebelum musim. Skenario dapat mencakup hujan awal mundur, debit waduk turun cepat, pompa mengalami kerusakan, harga naik, atau distribusi antarpulau terganggu. Peserta memeriksa siapa yang menerima informasi, siapa yang berwenang mengalihkan air, kapan stok dilepas, dan bagaimana warga diberi tahu. Simulasi mengungkap tumpang tindih kewenangan dan celah koordinasi tanpa menunggu kerugian nyata. Hasilnya digunakan memperbaiki daftar kontak, prosedur pembelian darurat, dan interoperabilitas data. Latihan perlu melibatkan pemerintah desa serta organisasi petani, bukan hanya pejabat tingkat pusat.

Keputusan produksi sebaiknya dinilai dengan fungsi tujuan yang lebih luas daripada hasil maksimum. Petani dapat memilih hasil sedikit lebih rendah namun stabil, kebutuhan air lebih kecil, biaya input lebih ringan, atau risiko kegagalan lebih rendah. Rumah tangga sering mempertimbangkan keamanan subsisten, kebutuhan sekolah dan kesehatan, kewajiban utang, serta peluang kerja nonpertanian. Analisis rekomendasi harus menjelaskan trade-off tersebut. Paket adaptasi yang optimal di tingkat sawah mungkin tidak optimal bagi daerah aliran sungai jika meningkatkan pengambilan air total. Dengan menggabungkan skala petak, usaha tani, pasar, dan hidrologi, pembuat kebijakan dapat menghindari solusi yang memindahkan risiko.

Dalam jangka panjang, pembelajaran prakiraan dan keputusan dapat membentuk arsip nasional ketahanan iklim pertanian. Arsip tersebut menghimpun data yang terstandardisasi, keputusan yang diambil, waktu aktivasi, bantuan yang disalurkan, hasil produksi, harga, konsumsi, dan evaluasi pengguna. Akses perlu diatur menurut tingkat sensitivitas, tetapi data agregat sebaiknya tersedia bagi peneliti dan masyarakat untuk memperkuat akuntabilitas. Arsip semacam ini memungkinkan perbandingan lintas peristiwa dan penilaian apakah investasi meningkatkan kapasitas adaptif. Ia juga menjadi

modal pengetahuan bagi generasi penyuluh dan pejabat berikutnya, sehingga pengalaman tidak hilang ketika personel berganti.

26. Penutup operasional

Ketahanan juga memerlukan kesinambungan kelembagaan ketika perhatian publik terhadap El Niño menurun. Unit yang bertanggung jawab perlu tetap memelihara data, jaringan stasiun, waduk, embung, dan saluran komunikasi pada tahun netral. Penyuluhan, riset varietas, dan penguatan organisasi pengguna air tidak dapat dimulai hanya saat kekeringan berlangsung. Anggaran rutin dan pengawasan publik menjaga kapasitas tersebut tetap hidup. Investasi kesiapsiagaan memberikan manfaat pada banyak keadaan, termasuk ketika hujan normal atau ketika risiko lain muncul, sehingga nilainya tidak bergantung pada terjadinya satu kejadian iklim tertentu.

Satu prinsip praktis ialah memastikan setiap peringatan disertai jawaban atas tiga pertanyaan: siapa yang perlu bertindak, tindakan apa yang layak dilakukan, dan dukungan apa yang membuat tindakan itu mungkin. Prinsip ini berlaku untuk kementerian, pemerintah daerah, pengelola air, penyuluh, petani, pedagang, dan rumah tangga. Tanpa pembagian tanggung jawab dan dukungan yang jelas, sistem peringatan hanya memindahkan kecemasan kepada masyarakat. Dengan protokol dan akses sumber daya, peringatan dapat berubah menjadi perlindungan nyata.

Pada akhirnya, kesiapan menghadapi El Niño merupakan bagian dari pengelolaan pembangunan Indonesia yang lebih luas. Sistem pangan yang adaptif dapat menjaga produksi sekaligus memperhatikan air, kesehatan, pendapatan, biodiversitas, dan martabat masyarakat. Kerja sama pemerintah, petani, akademisi, teknologi, dan dunia usaha perlu diukur melalui perbaikan yang dirasakan warga: informasi lebih berguna, distribusi lebih adil, keputusan lebih cepat, dan pilihan pangan lebih beragam. Itulah dasar agar risiko iklim tidak berkembang menjadi krisis sosial.

27. Kesimpulan akhir

Ketahanan pangan menghadapi El Niño tidak dibangun lewat satu program yang berdiri sendiri. Ia lahir dari hubungan yang berfungsi antara ilmu iklim, pengelolaan air, budidaya, pasar, perlindungan sosial, kesehatan, dan tata kelola. Kinerja sistem perlu ditinjau dari kemampuan mengurangi kehilangan, mempertahankan akses rumah tangga, menjaga mutu gizi, dan melindungi sumber daya yang menjadi dasar produksi. Dengan memadukan empat dimensi ketahanan pangan, pembuat kebijakan dapat menghindari fokus sempit pada tonase hasil atau stabilitas satu harga saja. Ukuran yang lebih lengkap menuntun pada intervensi yang menyentuh produksi sekaligus kemampuan keluarga memperoleh dan memanfaatkan pangan.

Pemerintah memegang tanggung jawab untuk mengorganisasikan respons kolektif, menyediakan layanan publik, serta menjamin perlindungan yang adil. Petani membutuhkan dukungan yang membuat adaptasi dapat dijalankan: informasi yang bisa dipakai, air, benih, pembiayaan, penyuluhan, dan pasar. Teknologi mempercepat pengamatan dan koordinasi, tetapi harus terhubung dengan lembaga yang memelihara infrastruktur serta menanggapi laporan warga. Ketiga unsur ini harus bergerak sebelum defisit air berubah menjadi kehilangan panen, kenaikan harga, dan tekanan konsumsi. Kecepatan tindakan dini sering menentukan apakah pilihan adaptasi masih terbuka.

Perbedaan Indonesia antarwilayah mengharuskan strategi yang berbasis tempat, terbuka pada pembaruan, dan didukung evaluasi. Sebagian petani memerlukan penyesuaian kalender dan alokasi air; sebagian lain perlu memperkuat sistem penyimpanan, konektivitas pasar, diversifikasi, atau perlindungan gizi. Perencanaan harus memasukkan ketidakpastian, menjaga keadilan akses, dan memperhitungkan dampak pada ekosistem. Jika pengetahuan ilmiah, pengalaman petani, dan akuntabilitas publik dipadukan, El Niño dapat dikelola sebagai risiko yang serius namun tidak tak terhindarkan menjadi krisis. Tujuannya ialah membangun sistem pangan yang mampu tetap

melayani manusia dan menjaga basis ekologis produksi ketika kondisi iklim menyimpang dari kebiasaan.

Glossarium

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

El Niño — Fase hangat ENSO yang ditandai anomali suhu permukaan laut di Pasifik tropis tengah-timur dan dapat mengubah pola sirkulasi serta hujan.

IOD (Indian Ocean Dipole) — Variabilitas suhu permukaan laut di Samudra Hindia yang dapat memengaruhi pembentukan hujan di Indonesia.

Ketahanan pangan — Keadaan ketika semua orang, setiap saat, memiliki akses fisik, sosial, dan ekonomi terhadap pangan yang cukup, aman, dan bergizi.

Ketersediaan pangan — Jumlah dan pasokan pangan yang berasal dari produksi, stok, perdagangan, dan distribusi.

Akses pangan — Kemampuan rumah tangga memperoleh pangan secara fisik dan ekonomi.

Pemanfaatan pangan — Cara pangan dikonsumsi dan dimanfaatkan tubuh, terkait gizi, keamanan pangan, kesehatan, air, dan sanitasi.

Stabilitas pangan — Keberlanjutan ketersediaan, akses, dan pemanfaatan pangan dari waktu ke waktu, termasuk ketika terjadi guncangan.

Kekeringan meteorologis — Kondisi curah hujan yang jauh di bawah normal untuk suatu wilayah dan periode.

Kekeringan pertanian — Defisit kelembapan tanah yang membatasi pertumbuhan dan hasil tanaman.

Kekeringan hidrologis — Penurunan aliran sungai, tampungan waduk, dan air tanah akibat defisit air yang berlangsung.

Kalender tanam dinamis — Rekomendasi waktu tanam yang diperbarui berdasarkan prakiraan iklim, kondisi air, dan pengamatan lapangan.

Layanan iklim — Informasi dan prakiraan iklim yang dikembangkan, dikomunikasikan, dan diterapkan untuk mendukung keputusan pengguna.

Risiko basis (basis risk) — Perbedaan antara kerugian aktual dan pembayaran asuransi berbasis indeks yang dipicu oleh indikator tertentu.

Pertanian cerdas iklim — Pendekatan untuk meningkatkan produktivitas dan pendapatan, memperkuat adaptasi, dan bila memungkinkan menurunkan emisi.

Pemanenan air hujan — Pengumpulan dan penyimpanan air hujan untuk digunakan kemudian, dengan desain sesuai kondisi hidrologi.

Irigasi berselang — Pengaturan sawah yang bergantian antara kondisi tergenang dan tidak tergenang sesuai kebutuhan tanaman dan kondisi lahan.

Ketahanan (resilience) — Kapasitas sistem untuk mengantisipasi, menyerap, pulih, beradaptasi, dan belajar dari guncangan.

Diversifikasi pangan — Perluasan ragam komoditas yang diproduksi, dipasarkan, dan dikonsumsi untuk mengurangi ketergantungan dan memperbaiki mutu diet.

Prakiraan probabilistik — Prakiraan yang menyatakan peluang beberapa kemungkinan kondisi, bukan satu hasil yang dianggap pasti.

Kecerdasan buatan (AI) — Teknik komputasi yang menemukan pola dari data dan membantu menghasilkan prediksi atau rekomendasi; hasilnya tetap memerlukan validasi dan pengawasan.

Daftar Pustaka

Boling, A. A., Hermawan, A., Komalawati, L., & Hayashi, K. (2016). An assessment of small-scale rice farmers' adaptability to climate change: Case study in Central Java, Indonesia. Asian Journal of Agricultural Extension, Economics & Sociology, 10(3), 1–13. https://doi.org/10.9734/AJAEES/2016/25246

Challinor, A. J., Watson, J., Lobell, D. B., Howden, S. M., Smith, D. R., & Chhetri, N. (2014). A meta-analysis of crop yield under climate change and adaptation. Nature Climate Change, 4, 287–291. https://doi.org/10.1038/nclimate2153

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2008). An introduction to the basic concepts of food security. FAO. https://www.fao.org/3/al936e/al936e00.pdf

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). Climate-smart agriculture sourcebook. FAO. https://www.fao.org/3/i3325e/i3325e.pdf

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

Lobell, D. B., Schlenker, W., & Costa-Roberts, J. (2011). Climate trends and global crop production since 1980. Science, 333(6042), 616–620. https://doi.org/10.1126/science.1204531

Massagony, A., Hod, T. T., & Shimada, K. (2023). Climate change impact and adaptation policy effectiveness on rice production in Indonesia.

International Journal of Environmental Studies, 80(5), 1373–1390. https://doi.org/10.1080/00207233.2022.2099110

Mulyaqin, T., Nurmalina, R., Kusnadi, N., & Trisasongko, B. H. (2026). Spatial heterogeneity of rice production responses to ENSO anomalies in Banten Province, Indonesia. Journal of Applied Agricultural Science and Technology, 10(1). https://doi.org/10.55043/jaast.v10i1.503

Naylor, R. L., Falcon, W. P., Rochberg, D., & Wada, N. (2001). Using El Niño/Southern Oscillation climate data to predict rice production in Indonesia. Climatic Change, 50, 255–265. https://doi.org/10.1023/A:1010662115348

Naylor, R. L., Battisti, D. S., Vimont, D. J., Falcon, W. P., & Burke, M. B. (2007). Assessing risks of climate variability and climate change for Indonesian rice agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 104(19), 7752–7757. https://doi.org/10.1073/pnas.0701825104

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

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), Article 019. https://doi.org/10.35762/AER.2024019

World Bank. (2009). Indonesia: Development policy review—A selective review of the agriculture sector. World Bank.

https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/366641468267312975

World Meteorological Organization. (2023). El Niño/La Niña update. WMO. https://wmo.int/activities/el-ninola-nina-update