

BAB II

Kajian Dampak Perubahan Iklim pada Sektor Pertanian: Upaya Strategis Adaptasi untuk Mendukung Ketahanan Pangan

Woro Estiningtyas, Ai Dariah, Yayan Apriyana,
Elsa Rakhmi Dewi

A. Tantangan Perubahan Iklim

Sektor pertanian merupakan sektor penopang utama pemenuhan kebutuhan pangan rakyat Indonesia dan kebutuhan pangan ini berjalan seiring dengan peningkatan jumlah penduduk. Tahun 2022 jumlah penduduk Indonesia 276 juta jiwa (BPS, 2023), di mana makanan pokoknya sebagian besar adalah beras. Makin meningkatnya jumlah penduduk membawa konsekuensi makin terkurasnya sumber daya alam yang digunakan untuk pemenuhan kebutuhan pangan, energi, dan air. Pemenuhan kebutuhan pangan dan menjaga ketersediaannya secara berkelanjutan di tengah perubahan iklim menjadi tantangan yang harus diatasi oleh pemerintah Indonesia.

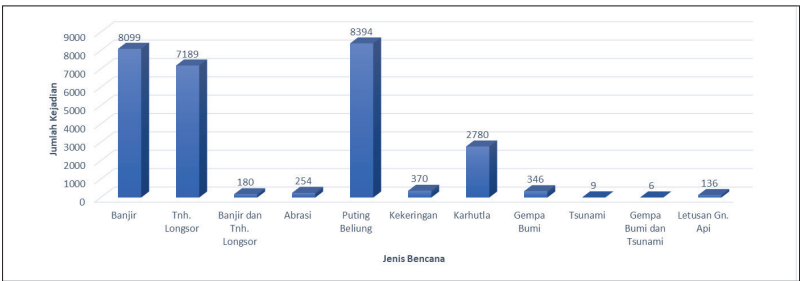
W. Estiningtyas*, A. Dariah, Y. Apriyana, & E. R. Dewi
Badan Riset dan Inovasi Nasional, *e-mail*: woro004@brin.go.id

© 2024 Editor & Penulis

Estiningtyas, W., Dariah A., Apriyana, Y. Dewi, E. R. (2024). Kajian dampak perubahan iklim pada sektor pertanian: Upaya strategis adaptasi untuk mendukung ketahanan pangan. Dalam D. E. Nuryanto & I. Fathrio (Ed.), *Prediksi iklim untuk ketahanan pangan* (15–58). Penerbit BRIN. DOI: 10.55981/brin.1244.c1386. E-ISBN: 978-602-6303-49-3.

Indonesia memiliki iklim yang sangat dinamis. Indonesia juga rentan terhadap kejadian El Niño dan La Niña serta fenomena pemanasan global yang diperkirakan akan terus terjadi dengan gejala yang makin menguat (Aldrian et al., 2023). Selama periode 2014–2023, bencana tanah longsor, banjir, puting beliung, serta kebakaran hutan dan lahan (karhutla) yang merupakan bencana hidrometeorologi dominan terjadi di Indonesia (Gambar 2.1). Pulau-pulau dengan jumlah bencana terbanyak adalah Jawa, Sumatra, Sulawesi, dan Kalimantan (Badan Nasional Penanggulangan Bencana [BNPB], 2023). Pulau-pulau ini sebagian besar merupakan sentra pangan di Indonesia.

Variabilitas iklim sangat memengaruhi pertumbuhan tanaman pangan seperti padi. Pada kondisi normal, semua sumber daya tersebut bersinergi untuk menghasilkan produksi yang optimal didukung dengan teknologi yang sesuai. Sebaliknya, ketika satu atau lebih dari sumber daya tersebut mengalami anomali maka akan berpengaruh terhadap hasil pertanian. Gambar 2.1 menunjukkan jumlah bencana selama periode 2014–2023, yang memberi gambaran bahwa bencana yang berkaitan dengan iklim dan cuaca (banjir, tanah longsor, puting beliung) memiliki proporsi terbesar dalam keseluruhan bencana yang terjadi di Indonesia. Hal ini menjadi tantangan bagi berbagai negara, khususnya Indonesia yang tengah berusaha meningkatkan ketahanan pangan.



Sumber: Dimodifikasi dari BNPB (2023)

Gambar 2.1 Jumlah Bencana Periode 2014–2023

Pertanian, khususnya tanaman pangan, sangat rentan terhadap kejadian iklim ekstrem (Estiningtyas et al., 2021). Berbagai fenomena ekstrem, seperti El Niño dan La Niña, telah mengakibatkan gangguan kegiatan pertanian di Indonesia. Selain itu, perubahan iklim telah memberi implikasi pada peningkatan frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrem, dengan dampaknya yang memiliki cakupan luas dan beragam. Selain dampak negatif, fenomena perubahan iklim juga memiliki sisi positif yang selama ini kurang banyak diungkap. Sisi positif perubahan iklim tersebut memiliki potensi dan nilai tambah untuk mendukung ketahanan pangan. Dengan adanya dampak positif dan dampak negatif dari perubahan iklim tersebut, dibutuhkan upaya dan strategi adaptasi untuk meminimalisasi kerusakan yang terjadi dan meraih secara maksimal sisi positif dari perubahan iklim yang terjadi di Indonesia.

Bab ini membahas berbagai dampak perubahan iklim pada pertanian, baik positif maupun negatif, khususnya pada tanaman pangan dan melihat keterkaitannya dengan strategi adaptasi serta implikasinya untuk mendukung ketahanan pangan. Bahasan ini diharapkan dapat menjadi rujukan dalam merumuskan strategi dan kebijakan terkait dampak perubahan iklim dan ketahanan pangan. Hal ini dibangun dari penelusuran berbagai literatur dan dialog dengan para pemangku kepentingan serta analisis data. Hasil penelusuran literatur yang dilakukan penulis disampaikan dalam bab ini untuk membangun pemahaman pembaca mengenai keterhubungan antara ketahanan pangan dan perubahan iklim. Selain itu, disampaikan pula bagaimana proyeksi iklim dalam beberapa periode mendatang dan dampaknya pada sumber daya air, sumber daya lahan, produktivitas tanaman pangan, serta dampak serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Dengan ditunjang juga oleh bahasan mengenai sisi positif dampak perubahan iklim, dikembangkan bagaimana peran strategis adaptasi dalam menjamin ketahanan pangan. Temuan utama dari hasil penggalan informasi dan analisis data, telah digunakan penulis sebagai dasar dalam penyusunan rekomendasi untuk dapat

merespons tantangan perubahan iklim yang terjadi terhadap upaya-upaya peningkatan ketahanan pangan di Indonesia.

B. Ketahanan Pangan

Konsep ketahanan pangan pertama kali muncul pada tahun 1943 sebagai hasil Konferensi Pangan dan Pertanian yang bertujuan untuk mencapai pasokan pangan yang aman, memadai, dan sesuai untuk semua orang. Sejak saat itu, definisi dan paradigma ketahanan pangan terus mengalami evolusi dan perubahan (Suharyanto, 2011). Definisi umum yang sering digunakan bersumber dari World Bank (1986) serta Maxwell dan Frankenberger (1992), yaitu akses yang aman setiap saat terhadap kecukupan pangan untuk hidup sehat. Definisi dari FAO (1996) menyebutkan ketahanan pangan sebagai situasi di mana semua rumah tangga mempunyai akses, baik fisik maupun ekonomi, untuk memperoleh pangan bagi seluruh anggota keluarganya, di mana rumah tangga tidak berisiko mengalami kehilangan kedua akses tersebut. Menurut Undang-Undang Pangan Nomor 7 Tahun 1996, ketahanan pangan didefinisikan sebagai “kondisi terpenuhinya kebutuhan pangan bagi rumah tangga yang tecermin dari tersedianya pangan secara cukup, baik dari jumlah maupun mutunya, aman, merata, dan terjangkau”.

Produksi pangan, khususnya padi yang tersedia secara cukup serta berkelanjutan, menjadi jaminan ketahanan pangan nasional. Data historis produksi padi yang bersumber dari FAO selama 30 tahun (1990–2020) di Indonesia menunjukkan bahwa produksi padi sangat dipengaruhi oleh kejadian iklim ekstrem El Niño dan La Niña (Gambar 2.2). Pada tahun di mana terjadi fenomena El Niño dan La Niña, terjadi penurunan produksi padi. Hal ini disebabkan munculnya kedua fenomena iklim ekstrem tersebut mengakibatkan banjir dan kekeringan sehingga luas tanam dan luas panen padi berkurang yang pada akhirnya akan mengurangi produksi.



Sumber: Aldrian et al. (2022)

Gambar 2.2 Anomali Produksi Padi di Indonesia Periode 1990–2020

Ketahanan pangan dalam konteks perubahan iklim dapat ditinjau dari sejauh mana usaha tani dapat dilakukan dengan risiko dan kerugian yang minimal. Informasi sebaran tingkat kerentanan usaha tani menjadi penting untuk mengetahui lokasi dan tingkat kerentanan agar dapat diidentifikasi faktor determinan yang berkontribusi besar terhadap tingkat kerentanan (Estiningtyas et al., 2024). Hasil penelitian Estiningtyas et al. (2016) menunjukkan bahwa Pulau Jawa sebagai sentra produksi padi memiliki kabupaten di mana usaha tani pangan-nya rentan terhadap kejadian iklim ekstrem. Terdapat 5 kabupaten yang memiliki tingkat kerentanan ekstrem tinggi, yaitu Kabupaten Pandeglang, Lebak, Tangerang, Serang, dan Situbondo. Sementara itu, ada sekitar 18 kabupaten dengan tingkat kerentanan sangat tinggi, dan 13 kabupaten dengan tingkat kerentanan tinggi (Gambar 2.3). Hasil tersebut memberi gambaran bahwa wilayah dengan kerentanan pangan tinggi, sangat tinggi, dan ekstrem tinggi menjadi prioritas dalam penanganan usaha taninya untuk keberlangsungan ketahanan pangan.



Sumber: Estiningtyas et al. (2016)

Gambar 2.3 Peta Kerentanan Usaha Tani Pangan serta Risiko Banjir dan Kekeringan Kabupaten di Pulau Jawa

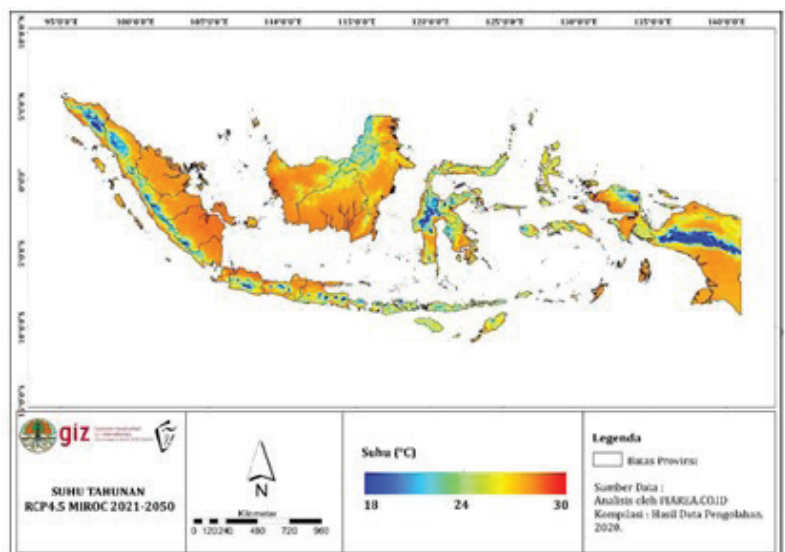
C. Proyeksi Perubahan Iklim dan Dampaknya

Pembahasan dalam subbab ini menyoroti fenomena perubahan iklim dari dua pendekatan, yaitu (1) proyeksi iklim berdasarkan skenario perubahan iklim Representative Concentration Pathway (RCP) 4.5. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan gambaran kondisi suhu dan curah hujan puluhan hingga ratusan tahun ke depan. Pilihan skenario RCP 4.5 didasarkan pada optimisme dan harapan bahwa skenario tersebut dapat mencerminkan penurunan *radiative forcing* pada masa depan melalui adaptasi perubahan iklim (Perdinan, 2019); (2) dampak perubahan iklim pada beberapa sumber daya yang terkait sektor pertanian, yaitu sumber daya air, sumber daya lahan, dan produktivitas tanaman pangan utama padi, jagung, dan kedelai (pajale).

1. Proyeksi Iklim

Salah satu indikator perubahan iklim hasil proyeksi adalah suhu udara dan curah hujan. Keduanya sangat penting dalam sistem pertanian. Suhu udara berperan dalam proses evapotranspirasi dan fisiologis tanaman, sedangkan curah hujan menjadi salah satu sumber air yang dibutuhkan tanaman untuk melakukan fotosintesis. Berdasarkan proyeksi RCP 4.5 menggunakan model The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO) dan The Model for Interdisciplinary Research on Climate (MIROC) untuk periode 2021–2050, terdapat proyeksi perubahan suhu yang ekstrem di beberapa wilayah di Indonesia. Wilayah-wilayah tersebut meliputi Jawa Barat, pesisir Utara Banten, Jawa Tengah, Jawa Timur, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Riau, Sumatra Selatan dan Lampung, serta Papua. Rentang suhu ekstrem yang diproyeksikan antara 28°C–30°C (Gambar 2.4) (KLHK, 2020). Berdasarkan studi yang dilakukan Susandi (2006) dengan menerapkan skenario A2/Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), diperkirakan terjadi peningkatan suhu sebesar 2,9°C di Indonesia hingga tahun 2100. Dampak dari perubahan tersebut akan dirasakan secara meluas di sebagian besar wilayah Nusa Tenggara Timur dan Kalimantan.

Berdasarkan proyeksi suhu RCP 4.5 untuk periode 2026–2050, suhu maksimum, suhu minimum, dan suhu rata-rata mengalami peningkatan di berbagai pulau di Indonesia. Pulau-pulau tersebut meliputi Pulau Sumatra, Jawa, Sulawesi, Kalimantan, Bali, Maluku, Nusa Tenggara, dan Papua (Tabel 2.1) (Perdinan, 2019). Sebagai perbandingan, hasil kajian Kementerian PPN/Bappenas (2021) menunjukkan bahwa proyeksi iklim di Indonesia berdasarkan skenario RCP 4.5 memperlihatkan kenaikan suhu mencapai 1,5°C pada tahun 2100.



Sumber: KLHK (2020)

Gambar 2.4 Proyeksi Rata-Rata Suhu Tahunan 2021–2050

Tabel 2.1 Proyeksi Suhu Udara 2026–2050 di Indonesia

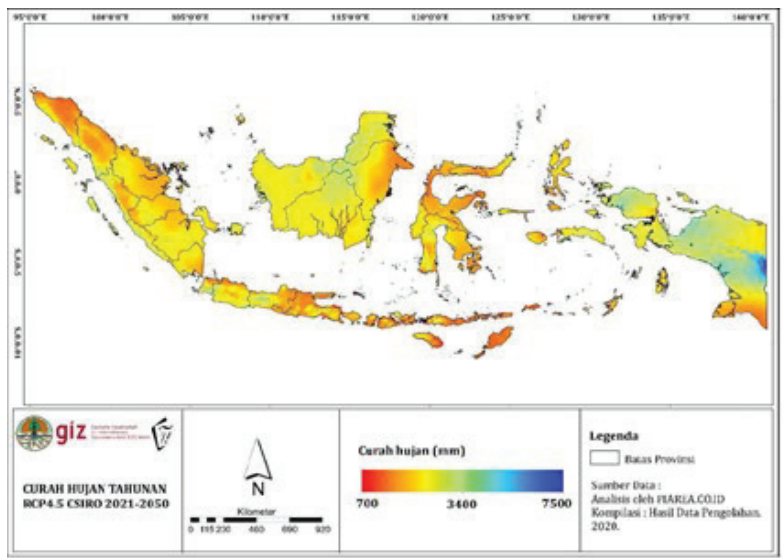
Lokasi	Kenaikan Suhu Udara		
	Suhu Rata-rata	Suhu Maksimum	Suhu Minimum
Sumatra dan Jawa	0,6–1°C	0,75–2,25°C	0,2–1,0°C
Kalimantan dan Sulawesi	0,2–0,9°C	0,5–2,25°C	0,2–1,0°C
Bali dan Nusa Tenggara	1,6–2°C	0,5–2,25°C	0,2–1,0°C
Maluku dan Papua	1,1°C	0,5–2,25°C	0,2–1,0°C

Sumber: Perdinan (2019)

Untuk proyeksi curah hujan berdasarkan RCP 4.5 CSIRO memperlihatkan adanya perubahan di beberapa wilayah Indonesia dan diperkirakan terjadi penurunan curah hujan di Sumatra Utara dan wilayah Aceh selama Desember–Januari–Februari (DJF), Jawa Barat, Banten, dan Jawa Tengah pada bulan Agustus, serta pada Juni–Juli–Agustus (JJA) di Selatan Papua. Namun, di beberapa wilayah lainnya terjadi peningkatan curah hujan ekstrem, yaitu di wilayah

Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, dan Papua. Selain itu, proyeksi juga menunjukkan bahwa peningkatan jumlah hari tanpa hujan akan lebih sering terjadi di wilayah Jawa Timur, Aceh, dan bagian selatan Papua (Gambar 2.5) (KLHK, 2020). Hasil penelitian Susandi (2006) juga mengindikasikan bahwa penurunan curah hujan yang paling ekstrem terjadi di bagian timur Pulau Sumatra, wilayah utara Pulau Jawa, bagian selatan Kalimantan, dan Sulawesi.

Hasil kajian Perdinan (2019) menunjukkan bahwa berdasarkan proyeksi curah hujan dengan skenario RCP 4.5 untuk periode 2026–2050, terdapat variasi peningkatan dan penurunan curah hujan di berbagai wilayah, baik secara tahunan maupun musiman. Peningkatan curah hujan tahunan berkisar 5%–10%, sedangkan penurunan curah hujan berkisar 5%. Untuk curah hujan musiman, terdapat peningkatan berkisar 10%–30%, sedangkan penurunan berkisar 4%–40%. Informasi lebih rinci untuk setiap lokasi dapat dilihat pada Tabel 2.2.



Sumber: KLHK (2020)

Gambar 2.5 Rataan Curah Hujan Tahunan Periode 2021–2050

Variabilitas curah hujan ekstrem diproyeksikan akan lebih tinggi dan hal ini dapat berarti bahwa peluang kejadian iklim ekstrem kering dan ekstrem basah di atas normal akan menjadi lebih besar. Proyeksi dengan skenario RCP 4.5 juga menunjukkan bahwa sebagian wilayah di Indonesia akan mengalami perpanjangan durasi musim kemarau dan penurunan intensitas curah hujan. Hal ini memiliki dampak pada peningkatan risiko kekeringan dan kemungkinan penurunan ketersediaan air. Perpanjangan musim kemarau berimplikasi pada perubahan fisiologis tanaman padi yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan risiko penurunan produksi padi. Pada bagian selanjutnya akan ditunjukkan penilaian dampak dipilih untuk bidang yang banyak terkait dengan pertanian, yaitu sumber daya air, lahan, dan produktivitas.

Tabel 2.2 Proyeksi Curah Hujan 2026–2050 di Indonesia

Lokasi	Tahunan	Musiman			
		DJF	MAM	JJA	SON
Sumatra	Meningkat hingga 5%	Turun 10%		Turun	
Jawa	Menurun hingga 5%	Turun 20%–40%	Turun 4%	Turun	Turun 8%
Kalimantan	Meningkat hingga 5%	Naik 20%		Turun	Naik
Sulawesi	Menurun hingga 5%	Turun 8%–30%	Naik 11%–30%	Turun	-
Bali dan Nusa Tenggara	Menurun hingga 5%	Turun 20%	-	-	-
Maluku	Meningkat hingga 5%	Turun 10%	-	-	-
Papua	Meningkat hingga 10%	Naik 10%–20%	-	-	-

Sumber: Perdinan et al. (2019)

2. Dampak Perubahan Iklim terhadap Produktivitas Pertanian

Peningkatan produktivitas pertanian merupakan salah satu sasaran untuk mencapai ketahanan pangan nasional. Produktivitas pertanian

itu sendiri ditentukan oleh banyak faktor, antara lain faktor produksi, faktor bahan tanaman, faktor esensial (cahaya, air, dan unsur hara), faktor iklim, faktor gangguan (hama, penyakit, dan gulma), faktor lahan (luas lahan), penggunaan pupuk, dan biaya produksi. Dari faktor-faktor tersebut, sebagian sangat ditentukan oleh kondisi iklim. Bahasan dalam bab ini lebih ditekankan pada dampak perubahan iklim yang ditinjau dari perubahan curah hujan dan suhu udara sebagai parameter iklim yang erat hubungannya dengan pertanian terhadap sumber daya air, sumber daya lahan, produksi pangan (padi, jagung, kedelai) dan gangguan hama.

Kondisi sumber daya air pertanian, sangat dipengaruhi oleh kondisi cuaca dan iklim. Kejadian iklim ekstrem, seperti El Niño yang berdampak kekeringan dan La Niña yang berdampak berupa banjir, merupakan dua kejadian utama yang berpengaruh terhadap ketersediaan air. Intensitas, jumlah, dan pola curah hujan berdampak terhadap pola dan debit air (*water yield*) musiman di daerah aliran sungai (DAS) dan ketersediaan air di waduk (Rejekiningrum, 2014). Perubahan iklim akibat aktivitas manusia (antropogenik) juga berdampak pada ketersediaan dan kerentanan sumber daya air di Indonesia (Pawitan, 2011). Studi di DAS Brantas menunjukkan bahwa dalam rentang waktu 50 tahun, terjadi peningkatan jumlah bulan dengan curah hujan ekstrem, terutama di daerah yang berdekatan dengan pantai (Aldrian & Djamil, 2006). Perubahan pola curah hujan ini berpeluang pula terjadi di DAS lainnya di Indonesia dan memengaruhi kondisi sumber daya air yang ada. Irigasi pertanian merupakan pengguna sumber daya air yang terbesar (90,18%). Namun, berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (2015), sekitar 46% jaringan irigasi di Indonesia telah rusak sehingga gangguan akibat kejadian iklim ekstrem akan berdampak terhadap ketahanan pangan. Oleh karena itu, peranan sektor pertanian lebih diarahkan kepada peningkatan fungsi irigasi secara efisien untuk mendukung ketahanan pangan.

Faktor lain yang menentukan kinerja pertanian dan ketahanan pangan adalah kondisi lahan. Suhu dan curah hujan merupakan

indikator perubahan iklim yang memiliki pengaruh signifikan terhadap sumber daya lahan. Peningkatan suhu udara yang berlebihan dapat memicu kebakaran hutan dan lahan (karhutla). Pada periode Juni 1982 hingga Mei 1983, curah hujan hanya mencapai 30%–35% dari rata-rata normal dan suhu udara mencapai tingkat sangat tinggi (sekitar 3°C di atas normal) yang mengakibatkan terjadinya kebakaran lahan seluas 3,2 juta hektare dan kebakaran hutan seluas 2,7 juta hektare (Ridwan & Hendri, 2001). Selain itu, pada tahun 2015, El Niño yang kuat juga memicu karhutla yang signifikan, menghanguskan sekitar 2,5 juta hektare (ha) hutan dan lahan di Indonesia (Arif, 2023).

Dampak jangka panjang kebakaran hutan dan lahan terhadap tanah dapat memengaruhi interaksi antara tanah, vegetasi, serta lingkungan biotik dan abiotik. Menurut Sahardjo (2000), dalam siklus kebakaran yang berulang, terjadi perubahan yang signifikan pada sifat-sifat tanah, yang dapat mengubah hutan dataran rendah menjadi alang-alang dan merusak struktur tanah. Ketika terjadi hujan, tanah akan menerima dampak kuat karena tidak ada pepohonan yang dapat menahan energi hujan, menyebabkan hilangnya lapisan tanah serta bahan organik karena terbawa oleh aliran permukaan sehingga meningkatkan risiko erosi dan membuat tanah menjadi kritis (Schulze, 2000). Kehilangan nutrisi dari tanah diperkirakan sekitar 5%–50% dari total kandungan yang tersimpan dalam biomassa tanaman akibat kebakaran hutan (Schindele et al., 1989). Selain itu, nutrisi dalam tanah akan mengalami kehilangan melalui beberapa mekanisme saat terjadi kebakaran hutan (Sjarmidi & Aryantha, 1997). Menurunnya tingkat kesuburan tanah akan berpengaruh terhadap kualitas dan produksi tanaman. La Niña juga berpotensi meningkatkan erosi yang disebabkan oleh hujan yang lebih intensif seiring dengan peningkatan aliran permukaan. Akibatnya, risiko banjir meningkat dan bisa menyebabkan terendamnya lahan pertanian.

Ketersediaan dan keberlanjutan pangan di Indonesia juga ditopang melalui tanaman pangan yang ditanam di lahan gambut. Potensi kebakaran tertinggi akibat kejadian iklim ekstrem juga terjadi pada lahan gambut terutama lahan gambut yang telah dibuka dan

didrainase. Pada saat kekeringan di mana curah hujan rendah dapat menyebabkan material gambut, serasah, dan pohon-pohon menjadi kering, yang memicu potensi kebakaran hutan karena tersedianya banyak bahan bakar yang mudah terbakar (Barani et al., 2022). Tanah gambut terbentuk dari bahan organik, seperti sisa-sisa tanaman yang belum sepenuhnya terdekomposisi. Hal ini berbeda dengan karakteristik tanah mineral. Oleh karena itu, tanah gambut cenderung lebih rentan terbakar ketika mengalami kekeringan. Salah satu sifat khas tanah gambut adalah sulit untuk kembali basah setelah mengering, yang disebut sebagai *irreversible drying* sehingga membuatnya lebih rentan terhadap kebakaran. Tingkat kerawanan lahan gambut terhadap kebakaran pada kondisi curah hujan rendah ditunjukkan dari hasil studi Maswar et al. (2016) terhadap data sebaran *hotspot* (yang merupakan indikasi kejadian kebakaran hutan dan lahan) tahun 2015, di mana umumnya *hotspot* dominan terjadi pada provinsi dengan lahan gambut luas, yaitu Jambi, Riau, Sumatra Selatan, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Timur, dan Papua. Selain itu, kebakaran lahan gambut memiliki dampak yang signifikan terhadap pelepasan karbon yang tersimpan dalam tanah. Hal ini menyebabkan emisi gas rumah kaca (GRK) meningkat signifikan dan berkontribusi pada penurunan laju subsiden lahan gambut. Akibatnya, fungsi lahan gambut sebagai penyimpan dan penampung air serta fungsi-fungsi lainnya terganggu dan berdampak terhadap ketersediaan pangan.

Padi, jagung, dan kedelai (pajale) merupakan jenis produk pertanian andalan untuk meningkatkan stabilitas ketahanan dan keamanan pangan nasional. Seperti telah disampaikan pada bagian sebelumnya, sektor pertanian sangat terdampak oleh fenomena ekstrem, seperti La Niña dan El Niño (ENSO), dalam hal produktivitas tanaman pangan. El Niño dan La Niña serta serangan OPT dapat mengurangi luas tanam dan produksi, terutama pajale. Perubahan pola dan intensitas curah hujan serta peningkatan suhu udara memiliki dampak yang signifikan terhadap durasi musim, yaitu musim kemarau (MK) yang makin panjang dan musim hujan (MH) yang lebih pendek, atau sebaliknya.

Dampak perubahan iklim memberikan implikasi yang tidak sama pada produksi tanaman pangan di Indonesia karena variasi spasial di berbagai wilayah. Akibat perubahan iklim, produktivitas padi turun 0,5%–1,37%, (Perdinan et al., 2018a). Kenaikan suhu udara 1°C dan curah hujan yang meningkat 5% dapat mengakibatkan penurunan produktivitas padi sebesar 0,53 ton per hektare, sedangkan dengan kenaikan suhu udara sebesar 1,5°C dan curah hujan yang meningkat sebesar 35%, produktivitas padi mengalami penurunan sebesar 0,57 ton per hektare (Hosang et al., 2012). Peningkatan suhu udara akan mengganggu proses biologis tanaman yang meliputi fotosintesis, transpirasi, dan tingkat respirasi. Proses-proses ini memiliki peran krusial dalam menentukan tingkat produktivitas. Temuan dari studi yang dilakukan oleh Boer (2011) di DAS Brantas, Jawa Timur, menunjukkan bahwa banjir atau kekeringan pada lahan sawah dapat menyebabkan penurunan hasil panen hingga 5,2 ton/ha. Contoh kasus di Pulau Jawa dan Bali menunjukkan bahwa akibat perubahan musim dan peningkatan kejadian iklim ekstrem yang makin sering terjadi dengan awal musim hujan yang mengalami penundaan sekitar 30 hari (Naylor et al., 2007) menyebabkan gangguan ketersediaan pangan.

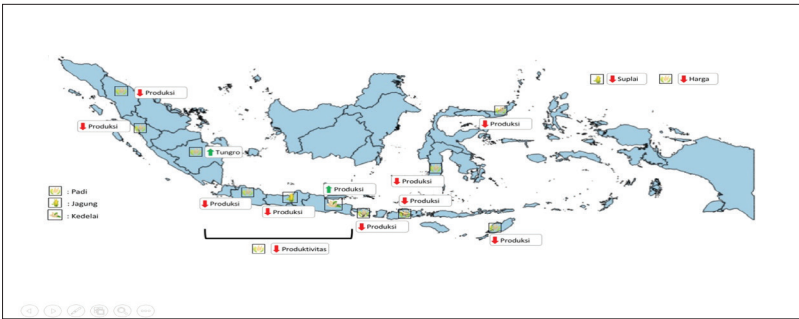
Ketersediaan pangan juga dipengaruhi oleh serangan OPT, di mana keberadaan OPT ini juga dipengaruhi oleh perubahan iklim berupa peningkatan suhu dan konsentrasi CO₂. Hal ini berimplikasi pada dinamika populasi serangga/hama tanaman, distribusi geografis, serta meningkatkan risiko serangan OPT yang lebih luas (Wiyono, 2007). Peningkatan suhu dan konsentrasi CO₂ juga menyebabkan peningkatan nafsu makan dan pertumbuhan serangga/hama tanaman yang menyebabkan ledakan populasi (Abrol, 2013). Peningkatan curah hujan pada musim kemarau menyebabkan pertumbuhan populasi wereng batang coklat (WBC) yang cepat. Berdasarkan data luas serangan WBC periode 1989–2019, peningkatan curah hujan pada tahun-tahun La Niña menyebabkan peningkatan area yang terkena serangan WBC tiga kali lipat dari tahun normal dan cenderung terjadi lebih sering pada musim hujan dalam kondisi normal. Perubahan iklim dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman dan

mengakibatkan penurunan produksi sebesar 12,6% akibat serangan penyakit dan 15,2% akibat serangan hama (Susanti et al., 2018). Hal yang sama, dinamika kerusakan padi akibat WBC yang sangat dipengaruhi oleh peningkatan suhu dan curah hujan pada musim kemarau pada kejadian La Niña juga telah diteliti oleh Surmaini et al. (2023).

Dampak perubahan iklim pada produksi tanaman pangan, dapat juga terjadi melalui perubahan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Kejadian iklim ekstrem yang dapat mengakibatkan kejadian banjir dan kekeringan juga cenderung lebih banyak terjadi pada tipe iklim monsun yang berada di wilayah Jawa, sebagian Kalimantan, dan Sumatra yang merupakan sentra pangan di Indonesia (Perdinan et al., 2014). Menurut Kementerian PPN/Bappenas (2021), penurunan produksi padi lebih dari 25% akan terjadi pada periode 2020–2045 di Provinsi Kalimantan Utara, Maluku, Gorontalo, dan Maluku Utara. Sentra produksi beras Pulau Jawa dan Sumatra diperkirakan juga akan mengalami penurunan produksi 10%–17,5%. Diperkirakan potensi kerugian ekonomi nasional pada sektor pertanian bisa mencapai 77,9 triliun rupiah.

Dampak perubahan iklim pada produksi tanaman pangan, dapat juga terjadi melalui perubahan pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Hoogenboom, 2000; Motha & Baier, 2005; Tubiello et al., 2007). Untuk aspek pangan, khususnya pajale, hasil proyeksi dampak perubahan iklim menunjukkan ada beberapa wilayah yang akan mengalami penurunan produksi dan peningkatan serangan OPT (tungro). Namun, ada juga beberapa wilayah yang mengalami peningkatan produksi (Gambar 2.6). Akibat anomali suhu dan curah hujan, diproyeksikan akan terjadi penurunan produksi padi hingga 50% ketika suhu naik 1°C–2,5°C dan curah hujan turun hingga 5%–25%. Untuk tanaman jagung, ketika terjadi peningkatan curah hujan 10%, diperkirakan akan terjadi penurunan suplai jagung hingga 0,98%. Sementara itu, untuk kedelai diproyeksikan akan terjadi peningkatan produktivitas mendekati 27,3% ketika curah hujan meningkat 50 mm/bulan (Tabel 2.3).

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh Apriyana et al. (2016), diproyeksikan hingga tahun 2050 akan terjadi penurunan produksi padi gogo di Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan, dan Nusa Tenggara Timur mencapai 20%–25%. Namun, dengan menerapkan strategi adaptasi, penurunan produksi dapat ditekan menjadi sekitar 7%–10%. Di ketiga provinsi tersebut juga terjadi penurunan produksi jagung 9%–15% hingga tahun 2050. Namun, dengan melakukan adaptasi, penurunan produksi jagung dapat ditekan menjadi 5%–8%. Dampak dan proyeksi dampak terhadap produksi pajale memberi gambaran bahwa risiko terhadap penurunan hasil masih akan terus terjadi bila tidak ada upaya antisipasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Risiko dan penurunan hasil pajale sebagai sumber pangan utama tentu berpengaruh terhadap ketahanan pangan.



Sumber: Perdinan et al. (2019)

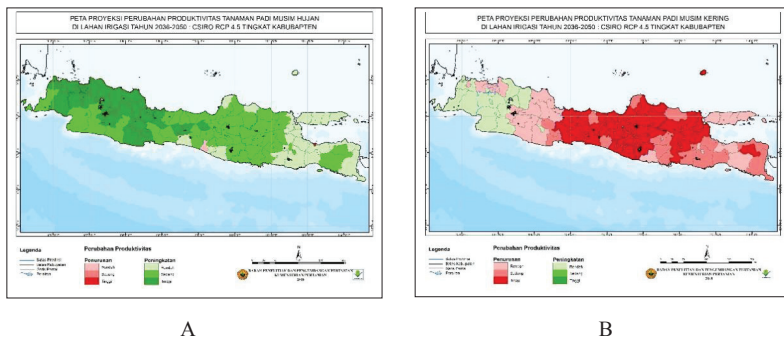
Gambar 2.6 Proyeksi Dampak Perubahan Iklim pada Subsektor Pangan

Tabel 2.3 Proyeksi Dampak Perubahan Iklim pada Padi, Jagung, dan Kedelai

Komoditas	Variabel Iklim	Nilai Ambang dan Dampak
Padi	Curah hujan Suhu	Penurunan produksi hingga 50% ketika suhu naik 1°C–2,5°C, dan curah hujan turun hingga 5%–25%
Jagung	Curah hujan	Penurunan suplai jagung hingga 0,98% ketika terjadi peningkatan curah hujan 10% (jagung membutuhkan curah hujan sekitar 85–200 mm/bulan)
Kedelai	Curah hujan	Peningkatan produktivitas mendekati 27,3% ketika curah hujan meningkat 50 mm/bulan

Sumber: Perdinan et al. (2019)

Hasil proyeksi pada musim hujan periode 2036–2050 di seluruh Pulau Jawa menunjukkan adanya peningkatan produktivitas padi berdasarkan skenario perubahan iklim. Peningkatan tertinggi akan terjadi di Provinsi Jawa Barat dan Banten, yaitu lebih besar dari 20%. Peningkatan produktivitas tersebut disebabkan oleh peningkatan curah hujan hingga 6 mm/hari dan peningkatan penyinaran matahari sebesar 0–5 MJ/m²/hari. Kondisi air yang cukup dengan penyinaran yang melimpah memungkinkan terjadinya proses fotosintesis yang maksimal. Peningkatan produktivitas padi sawah di Provinsi Jawa Tengah, DIY, dan Jawa Timur berkisar antara 10%–20% (Gambar 2.7 kiri). Pada MK 2036–2050, sebagian besar Jawa Barat dan Banten akan mengalami peningkatan kecil hingga 10%. Perubahan curah hujan antara dua musim (MH dan MK) sedikit kecil dan disertai dengan penurunan radiasi dan peningkatan suhu yang dapat menyebabkan penurunan produktivitas (Gambar 2.7B) (Susanti et al., 2021).



Sumber: Susanti et al. (2021)

Gambar 2.7 Proyeksi Perubahan Produktivitas Padi Irigasi MH (A) dan MK (B) Periode 2036–2050 untuk Skenario RCP 4.5 Menggunakan Model CSIROMK3.6

Untuk mengetahui secara detail kondisi sumber daya air, lahan, dan serangan OPT di Indonesia pada periode 2026–2050, diperlukan dukungan riset yang kuat, mengingat adanya variasi proyeksi curah hujan 2026–2050 di Indonesia (Tabel 2.2) dan respons lingkungan yang juga bervariasi karena perbedaan kondisi geologis dan topografi.

Dengan demikian, data prediksi iklim menjadi kebutuhan yang kritis. Akurasi prediksi kondisi sumber daya air untuk pertanian akan ditentukan oleh seberapa tinggi akurasi prediksi curah hujan yang menjadi input dalam aplikasi tersebut.

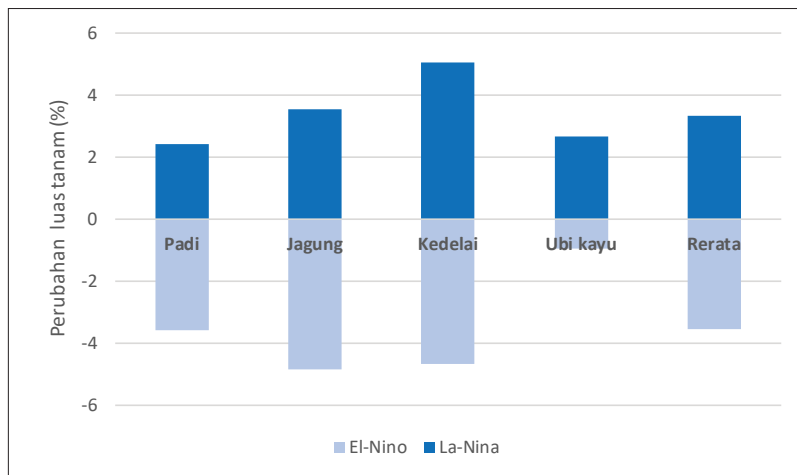
D. Sisi Positif Dampak Perubahan Iklim

Dampak negatif dari perubahan iklim merupakan permasalahan yang selama ini paling banyak dibahas (Reuter & Dariah, 2019; Dariah et al., 2022), padahal ada sisi positif dari perubahan iklim yang bisa dimanfaatkan dan memberi keuntungan pada sektor pertanian, terutama jika sudah mempunyai kemampuan untuk beradaptasi. Perubahan iklim dapat berdampak positif terhadap ketahanan pangan. Hasil penelitian Yang et al. (2015) menyimpulkan bahwa telah terjadi peningkatan sebesar 2,2% dalam produksi nasional tiga tanaman utama (jagung, gandum, dan beras) selama periode 1981–2010 yang berdampak positif pada ketahanan pangan Tiongkok yang diadaptasi secara bersamaan dalam berbagai sistem pertanian. Peningkatan tersebut diduga berkaitan dengan peningkatan CO₂ di atmosfer, perubahan suhu udara, dan perubahan curah hujan di Tiongkok.

Peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer pada batas tertentu berdampak positif terhadap metabolisme tanaman. Hasil panen diperkirakan akan meningkat dan perubahan perkembangan tanaman bergantung pada jenis tanaman. Namun, dampak menguntungkan dari peningkatan CO₂ ini kemungkinan besar akan diimbangi dengan peningkatan suhu dan perubahan curah hujan (DaMatta et al., 2010). Analisis sensitivitas menggunakan CERES (estimasi tanaman melalui sintesis sumber daya dan lingkungan) menunjukkan bahwa hasil gandum dan beras di barat laut India berpotensi meningkat masing-masing sebesar 28% dan 15%, dengan tingkat CO₂ dua kali lipat. Selain itu, akan ada peningkatan hasil panen padi dan gandum masing-masing sebesar 21% dan 4% jika penjadwalan irigasi yang diikuti saat ini dipraktikkan (Lal et al., 1998).

Fenomena La Niña merupakan peluang bagi sektor pertanian untuk meningkatkan produksi karena bertambahnya luas panen

akibat peningkatan curah hujan sehingga menambah ketersediaan air. Di Indonesia, sisi positif perubahan iklim ditunjukkan dari hasil studi Irawan (2013), khususnya pada La Niña periode 1970–2010 terhadap beberapa tanaman pangan utama, yaitu pajale dan ubi kayu (Gambar 2.8). Kejadian La Niña pada periode tersebut telah menyebabkan peningkatan persentase luas tanam pajale dan ubi kayu rata-rata sebesar 3,33%, tertinggi terjadi pada tanaman kedelai sebesar 5,07%, terendah terjadi pada tanaman padi, yaitu sebesar 2,43%. Berbeda dengan La Niña, pada kejadian El Niño, luas panen pajale dan ubi kayu tersebut mengalami penurunan. Rata-rata penurunan luas panen sekitar 3,55%. Penurunan luas panen terbesar terjadi pada tanaman jagung, yaitu sebesar 4,85%, sedangkan terkecil terjadi pada tanaman ubi kayu sebesar 0,95%.

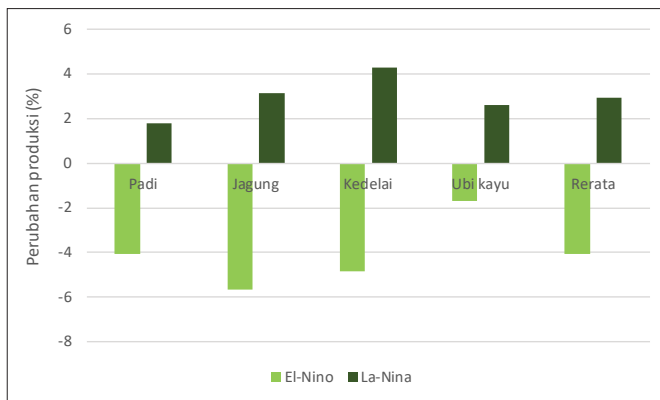


Sumber: Irawan et al. (2013)

Gambar 2.8 Dampak La Niña dan El Niño terhadap Perubahan Luas Panen Tanaman Padi, Jagung, Kedelai, dan Ubi Kayu Periode 1970–2010

Berdasarkan temuan yang dilaporkan oleh Irawan (2006), dampak positif dari La Niña lebih signifikan pada hasil tanaman di lahan kering yang sangat bergantung pada curah hujan, dibandingkan

tanaman yang ditanam di lahan sawah. Dampak positif La Niña berupa peningkatan produksi tanaman pajale dan ubi kayu, dengan rata-rata peningkatan produksi sekitar 2,95%. Peningkatan tertinggi terjadi pada tanaman kedelai, yaitu sekitar 4,29%, sedangkan terendah terjadi pada tanaman padi, yaitu rata-rata 1,78%. Sebaliknya pada kejadian El Niño, produksi pajale dan ubi kayu mengalami penurunan sebesar 4,07%. Tertinggi terjadi pada tanaman jagung, yaitu sebesar 5,67%, dan terendah terjadi pada ubi kayu sebesar 1,76% (Gambar 2.9).



Sumber: Irawan et al. (2013)

Gambar 2.9 Dampak El Niño dan La Niña terhadap Produksi Tanaman Padi, Jagung, Kedelai, dan Ubi Kayu Periode 1970–2010

Peningkatan produksi yang terjadi pada La Niña lebih disebabkan karena pertambahan luas panen bukan dampak dari perubahan produktivitas tanaman karena baik pada kejadian La Niña maupun El Niño, rata-rata produktivitas dari pajale dan ubi kayu mengalami penurunan. Pada saat kejadian El Niño, penurunan produktivitas tanaman padi dan palawija terjadi karena kurangnya suplai air, sedangkan pada kejadian La Niña penurunan produktivitas terjadi utamanya karena eksplosi serangan OPT dan atau kelebihan pasokan air termasuk kejadian banjir (Irawan, 2013).

Manfaat positif dari El Niño dapat diraih pada lahan pasang surut atau lebak, di mana pada saat MK dapat dilakukan penanaman pada area yang biasanya tergenang dengan menggunakan sistem surjan. Sistem surjan adalah bentuk penataan lahan pasang surut untukantisipasi perubahan iklim. Sistem ini memiliki perspektif ekonomi, ekologi, dan budaya yang memadukan inovasi teknologi terkini dengan kearifan lokal (Susilawati & Nursyamsi, 2014). Pada saat kondisi normal, sekitar 564.200 ha total luas lahan rawa lebak dapat dimanfaatkan. Surutnya air rawa pada saat El Niño menambah luas panen sebesar 237.700 ha sehingga pada MK total luas lahan rawa yang dapat dimanfaatkan adalah 801.900 ha. Pemanfaatan lahan rawa lebak memberikan potensi kontribusi sekitar 14% terhadap produksi beras nasional (atau 6–8 juta ton dengan tingkat produktivitas 4 ton/ha) gabah kering giling (GKG) (Purba, 2015). Produksi padi selama ini bertumpu pada lahan sawah irigasi dan lahan sawah tadah hujan. Ekosistem lahan rawa bisa menyelamatkan dan menyubstitusi dampak akibat tekanan kekurangan air saat kemarau yang menyebabkan produksi berkurang di lahan sawah irigasi. Bulan April–September yang merupakan musim kemarau di Indonesia pada umumnya menyebabkan terganggunya suplai beras pada Juli, Agustus, dan September. Lahan rawa lebak yang bisa dimanfaatkan pada saat kemarau bisa memberikan kompensasi kekurangan tersebut. Adapun sebaran lokasi lahan rawa lebak yang berpeluang untuk peningkatan luas tanam pada saat musim kemarau adalah di Provinsi Sumatra Selatan (368.700 ha), Riau (113.600 ha), Lampung (137.900 ha), dan Kalimantan Selatan (181.600 ha). Dampak positif perubahan iklim juga ditunjukkan dari berbagai hasil penelitian berupa peningkatan luas tanam, luas panen, dan produksi (Tabel 2.4).

Hasil studi ini menunjukkan peluang untuk memanfaatkan sisi positif dari perubahan iklim sangat terbuka jika kemampuan adaptasi dari sektor pertanian terus ditingkatkan. Misalnya, saat kejadian La Niña, peluang peningkatan produksi bisa menjadi lebih besar, tidak hanya karena penambahan luas panen, tetapi produktivitas juga tidak mengalami penurunan bahkan meningkat karena sudah dilakukan

antisipasi penanggulangan serangan OPT yang efektif atau dengan menggunakan jenis tanaman atau varietas yang lebih tahan terhadap serangan OPT. Antisipasi untuk menanggulangi kelebihan air di saat kejadian La Niña juga perlu terus ditingkatkan dengan melakukan perbaikan atau pembangunan infrastruktur untuk mengalirkan dan menampung kelebihan air dan menekan terjadinya degradasi lahan sehingga daya serap dan kemampuan menyimpan air menjadi lebih tinggi. Kemampuan untuk beradaptasi terhadap kekurangan air juga perlu terus ditingkatkan. Konsep panen dan hemat air merupakan pendekatan yang sesuai dalam melakukan antisipasi, yaitu memanen air ketika berlebih dan menampungnya untuk digunakan dengan efisien ketika terjadi kekurangan air. Dengan demikian, diharapkan dampak negatif kejadian iklim ekstrem, seperti El Niño atau La Niña, bisa berkurang karena berbagai antisipasi telah dilakukan dan bahkan bisa diambil manfaatnya untuk meningkatkan produksi dan ketahanan pangan.

Tabel 2.4 Dampak Positif Perubahan Iklim terhadap Sektor Pertanian

Lokasi	Tanaman	Indikator PI	Dampak Positif	Pustaka
Amerika	Gandum, jagung, kedelai	Peningkatan konsentrasi CO ₂	Persentase hasil meningkat; gandum (2%–20%), jagung (15%–20%), kedelai (15%–40%)	IPCC (1996)
Mexico	Jagung	Peningkatan konsentrasi CO ₂	Persentase hasil meningkat 6%–61%	IPCC (1996)
India	Gandum, padi	Konsentrasi CO ₂ dua kali lipat	Meningkatkan hasil gandum 28% dan padi 15%	Lal et al. (1998)
India	Padi, gandum	Konsentrasi CO ₂ dua kali lipat dan penjadwalan irigasi	Peningkatan hasil padi 21% dan gandum 4%	Lal, et al. (1998)

Lokasi	Tanaman	Indikator PI	Dampak Positif	Pustaka
Nepal	Padi	Peningkatan konsentrasi CO ₂ dan temperatur	Hasil panen padi meningkat antara 17%–27%	Agri Environment Unit Annual Report (2001)
Jepang	Padi	Peningkatan konsentrasi CO ₂	Produksi mengimbangi dampak negatif iklim	Aydinalp dan Cresser (2008)
Nepal	Padi dan gandum	Konsentrasi CO ₂ dua kali lipat dan peningkatan temperatur	Meningkat masing-masing sebesar 26,6% dan 18,4% (CO ₂); 17,1% dan 8,6% (Temperatur)	Mala (2008)
Indonesia	Padi, jagung, kedelai, ubi kayu	Curah hujan ekstrem Tinggi (La Niña)	Luas Panen meningkat: Padi 2,43% Jagung 3,55% Kedelai 5,07% Ubi Kayu 2,66%	Irawan (2013)
Indonesia	Padi, jagung, kedelai, ubi kayu	Curah hujan ekstrem Tinggi (La Niña)	Produksi meningkat Padi 1,78% Jagung 3,14% Kedelai 4,29% Ubi Kayu 2,59%	Irawan (2013)
Indonesia	Padi rawa	El Niño	Penambahan luas tanam 237,7 ribu Ha	Purba (2015)
Indonesia	Padi rawa	El Niño	Luas tanam meningkat 11,06% Luas panen meningkat 13,20% Peningkatan produksi padi sebesar 12,49% dibandingkan tahun normal	Hairani et al. (2024)

E. Peran Strategis Adaptasi dalam Menjamin Ketahanan Pangan

Untuk sektor pertanian, adaptasi merupakan prioritas dalam rangkaantisipasi dan menekan risiko akibat dampak perubahan iklim dengan *co-benefit* mitigasi. Hal ini sesuai dengan kebijakan pengurangan dampak perubahan iklim di sektor pertanian yang menegaskan bahwa adaptasi merupakan langkah yang diperlukan untuk melindungi dan menjaga pencapaian, pelestarian, dan keberlanjutan ketahanan pangan sebagai fokus utama dalam pembangunan pertanian. Sektor pertanian perlu beradaptasi karena sektor pertanian sangat rentan terhadap perubahan iklim dibandingkan sektor lainnya. Adaptasi dengan pendekatan *co-benefit* mitigasi diharapkan dapat memberikan manfaat bagi kesejahteraan petani dan harus disesuaikan dengan sistem usaha pertanian rakyat serta menerapkan teknologi yang sesuai dan spesifik lokasi dengan melibatkan kearifan lokal.

Hasil proyeksi iklim menunjukkan bahwa dalam jangka waktu 50 tahun ke depan, suhu udara diproyeksikan meningkat dan curah hujan diproyeksikan mengalami peningkatan dan penurunan. Sebagai sektor yang sangat rentan dan memiliki tanggung jawab dalam penyediaan dan keberlanjutan pangan, adaptasi memegang peranan strategis bagi sektor pertanian demi terjaminnya ketahanan pangan. Beradaptasi merupakan suatu pendekatan untuk mengurangi kerugian akibat dampak negatif perubahan iklim atau kejadian iklim ekstrem. Hasil penelitian di sub-Sahara Afrika menunjukkan bahwa hilangnya hasil panen paling rendah terjadi ketika para petani telah mengadopsi sistem tanam berurutan dan menyesuaikan waktu tanam dengan kondisi iklim (Verchot et al., 2007). Hasil kajian di Indonesia (Tabel 2.5) menunjukkan bahwa dengan menerapkan teknologi adaptasi terbukti dapat memberi manfaat positif berupa perbaikan varietas, serta peningkatan dalam berbagai aspek, yaitu produksi, efisiensi penggunaan air, pori tersedia, kemampuan tanah memegang air, keuntungan usaha tani atau pendapatan, ketersediaan air, penurunan emisi GRK, dan penurunan biaya yang semuanya memberikan nilai

tambah untuk meraih peluang sisi positif dampak perubahan iklim guna mendukung ketahanan pangan.

Tabel 2.5 Dampak Positif Tindakan Adaptasi pada Kondisi Iklim Ekstrem Mendukung Ketahanan Pangan

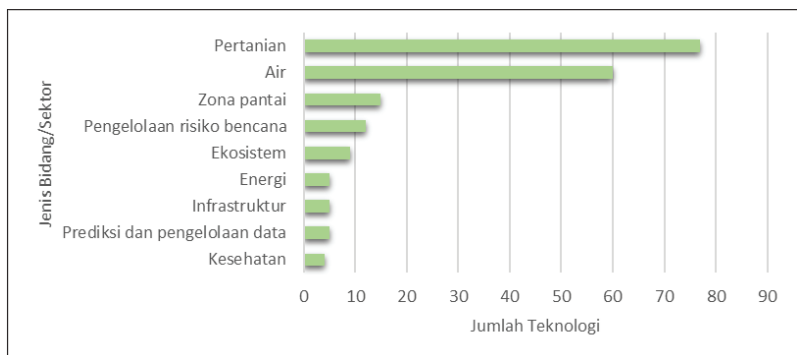
Lokasi	Upaya Adaptasi	Dampak Positif	Pustaka
Indonesia	DAM parit sebagai sumber air irigasi suplemen	Meningkatkan ketersediaan air dan produksi pipilan jagung sebesar 65%	Gatot et al. (2001).
Indonesia	Penggunaan varietas padi adaptif	Lebih Genjah dan tahan kekeringan	Munarso (2010).
Indonesia	Penggunaan mulsa	Peningkatan produksi cabai 9%–18%	Haryati et al. (2010).
Indonesia	Teknik irigasi bawah permukaan	Meningkatkan efisiensi penggunaan air 7%–30% dibandingkan irigasi gelontor, curah dan tetes	Haryati et al. (2010).
Indonesia	Penggunaan biochar	Meningkatkan pori air tersedia 11%–37%	Nurida & Rachman (2012).
Indonesia	Penggunaan biochar	Meningkatkan pori air tersedia	Dariah et al. (2013).
USA	Penggunaan biochar	Meningkatkan kemampuan tanah memegang air 47%–61%	Yu & Sam (2013).

Lokasi	Upaya Adaptasi	Dampak Positif	Pustaka
Tiongkok	Penerapan adaptasi	Meningkatkan produksi jagung, gandum dan beras 2,2%	Yang et al. (2015).
Indonesia	Implementasi teknologi Jajar Legowo (Jarwo) dengan varietas Ciherang, Inpari 32, Inpari 33	Meningkatkan keuntungan usaha tani 141,8% dari semua varietas	Kementerian Pertanian (2016).
Indonesia (Kabupaten Serdang Bedagai, Langkat, dan Jember)	CSA dengan tema The Better Rice Initiative Asia (BRIA) dengan teknologi yang diterapkan, antara lain: (1) teknologi pengolahan benih (menggunakan varietas unggul baru (VUB), (2) teknologi jarak tanam – Jajar Legowo (menggunakan mesin tanam), (3) pengelolaan tanah dan unsur hara berdasarkan alat uji tanah, dan (4) pengendalian hama terpadu (IPM).	Peningkatan hasil panen 13%, penurunan biaya 10%, dan peningkatan pendapatan 18%	Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (2017a).

Lokasi	Upaya Adaptasi	Dampak Positif	Pustaka
Indonesia (Kabupaten Banjarnegara, Purbalingga dan Banyumas)	Pertanian Cerdas Iklim (<i>Climate Smart Agriculture/ CSA</i>) dengan tema Green Economy and Locally-Appropriate Mitigation Actions in Indonesia (GE-LAMA- I), dengan teknologi CSA yang diterapkan, yaitu: (1) perencanaan tanaman (pe- manfaatan kalender tanaman dengan in- formasi iklim terkini); (2) penggunaan vari- etas unggul dan tahan iklim; (3) pengelolaan mutu benih sebelum tanam; (4) Teknologi Jajar Legowo (jarak baris); (5) teknologi hemat air (kajian lokal); (6) pengelolaan hama terpadu (PHT) (penggunaan biope- stisida, penanaman tanaman penghalang hama, pengurangan penggunaan pestisida dan musuh alami; dan (7) pengelolaan unsur hara spesifik lokasi (PUTS).	Peningkatan hasil panen 14%–42%, peningkatan penda- patan 44%–141%, penurunan emisi GRK 7%–22%, dan penu- runan penggunaan air 10%–15%	Deutsche Gesell- schaft für Inter- nationale Zusam- menarbeit GmbH. (2017b).

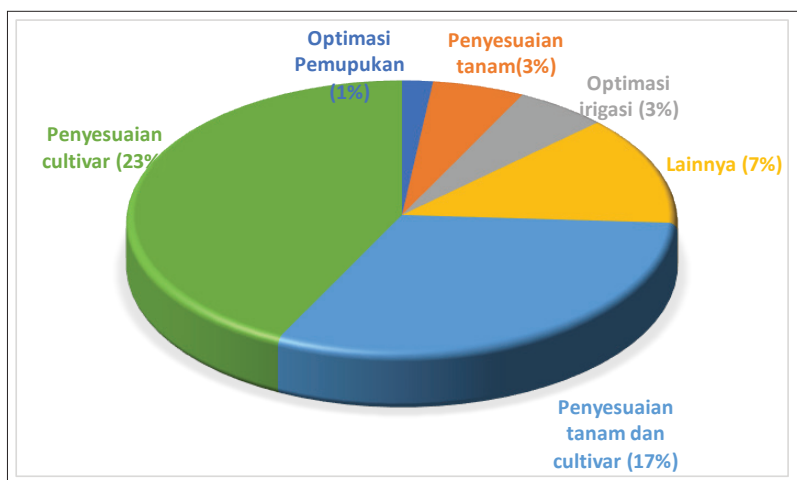
Lokasi	Upaya Adaptasi	Dampak Positif	Pustaka
Indonesia	Kalender Tanam (KATAM)	Petani yang menerapkan KATAM dapat mengurangi potensi dampak negatif anomali iklim hingga 80% lebih tinggi dibandingkan mereka yang tidak menerapkan KATAM.	Perdinan (2018b).
Indonesia	Sekolah Lapang Iklim (SLI) (BMKG)	Peningkatan hasil padi hingga 30%.	Perdinan (2018b).

Persepsi petani terhadap ancaman dan tingkat keparahan perubahan iklim merupakan motivasi paling penting dalam melakukan adaptasi secara sukarela, tetapi sangat tergantung pada ketersediaan informasi yang terkait (Semenza et al., 2011). Sebagai sektor yang paling rentan, pertanian membutuhkan teknologi yang lebih banyak dan beragam untuk beradaptasi terhadap perubahan iklim. Pentingnya adaptasi di sektor pertanian juga ditunjukkan oleh jumlah teknologi yang diperlukan. Hasil kajian UNEP (2014) memperlihatkan dari 192 teknologi prioritas adaptasi yang diidentifikasi berdasarkan 25 laporan *technology needs assesment* (TNA), 80 di antaranya adalah dari sektor pertanian, berikutnya sektor air, dan seterusnya (Gambar 2.10). Adopsi teknologi ini terbukti memberikan manfaat bagi sektor pertanian. Penyesuaian varietas mampu memberikan manfaat paling tinggi (23%), dilanjutkan dengan penyesuaian waktu tanam dan varietas (17%) (Gambar 2.11). Berdasarkan distribusinya, teknologi adaptasi yang paling banyak diperlukan di sektor pertanian adalah diversifikasi tanaman dan varietas (15%), berikutnya teknologi pemberian air irigasi melalui *sprinkler* dan *drip* (11%) (Gambar 2.12).



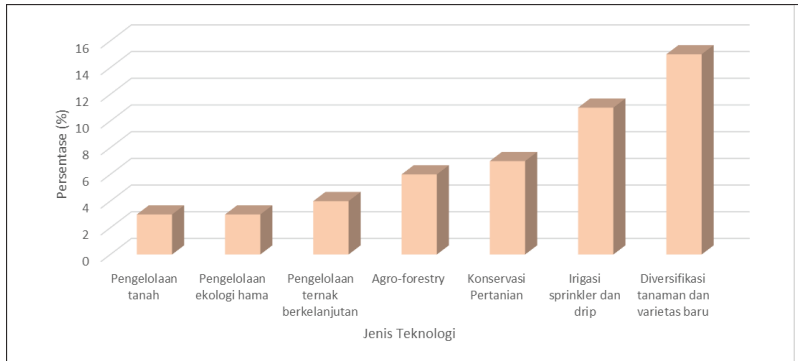
Sumber: Dimodifikasi dari UNEP (2014)

Gambar 2.10 Distribusi Sektor pada 192 Teknologi Adaptasi Prioritas yang Diidentifikasi dalam 25 Laporan TNA



Sumber: Dimodifikasi dari UNEP (2014)

Gambar 2.11 Manfaat Implementasi Teknologi Adaptasi di Sektor Pertanian



Sumber: Dimodifikasi dari UNEP (2014)

Gambar 2.12 Persentase Prioritas Teknologi Adaptasi yang Diperlukan di Sektor Pertanian

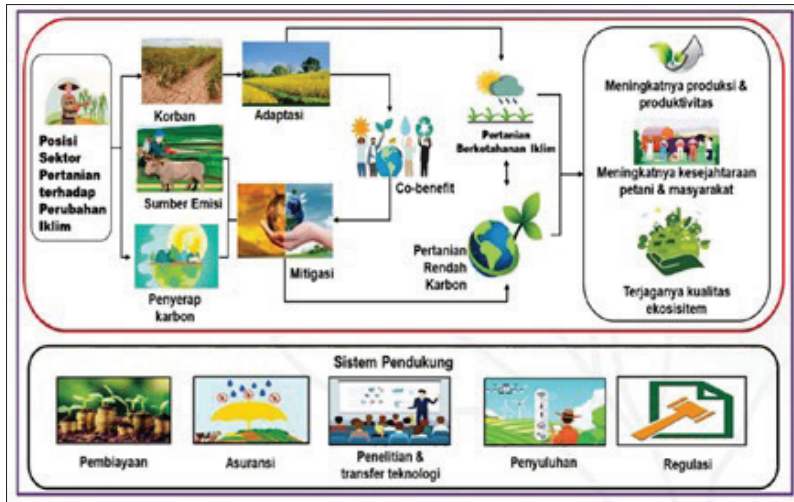
Strategi adaptasi perubahan iklim di Indonesia dimaksudkan untuk mengurangi risiko di semua sektor pembangunan, termasuk pertanian. Pencapaian tujuan ini dapat dilakukan melalui penguatan kemampuan lokal, pengurangan risiko bencana, pengembangan kebijakan yang menyeluruh dan peningkatan manajemen pengetahuan, serta penerapan teknologi adaptif (NDC, 2016).

Menurut Pawitan et al. (2003), untuk menjaga keberlanjutan sistem produksi serta mengurangi dampak negatif perubahan iklim terhadap sektor pertanian di Indonesia, upaya yang perlu dilakukan ialah (1) meningkatkan ketahanan sektor pertanian terhadap banjir dan kekeringan, (2) meningkatkan keakuratan pemantauan dan prediksi cuaca dan iklim serta distribusinya, (3) memantau perubahan penggunaan lahan yang berdampak pada perubahan iklim, (4) melakukan sosialisasi tentang berbagai aspek yang terkait dengan adaptasi perubahan iklim, dan (5) mengintegrasikan program dan aksi adaptasi dalam menghadapi perubahan iklim.

Teknologi adaptasi telah banyak tersedia dan terbukti memberi nilai tambah bagi sektor pertanian, tetapi dalam implementasinya perlu strategi adaptasi agar sesuai dengan perencanaan untuk mendukung ketahanan pangan. Peran strategis adaptasi dalam menjamin

ketahanan pangan dapat diwujudkan dengan mengimplementasikan Pembangunan Berketahanan Iklim (PBI) dan Pembangunan Rendah Karbon (PRK). Ketahanan iklim melibatkan tindakan yang direncanakan atau spontan untuk mengurangi dampak negatif yang dapat timbul dari ancaman, kerentanan, dan risiko perubahan iklim terhadap masyarakat di wilayah yang terkena dampak. Tujuan utamanya adalah mengurangi potensi kerugian yang terjadi. Pembangunan berkelanjutan yang berfokus pada ketahanan iklim dilakukan dengan tujuan mencapai keseimbangan antara aspek ekonomi, sosial, dan lingkungan (Kementerian PPN/Bappenas, 2021).

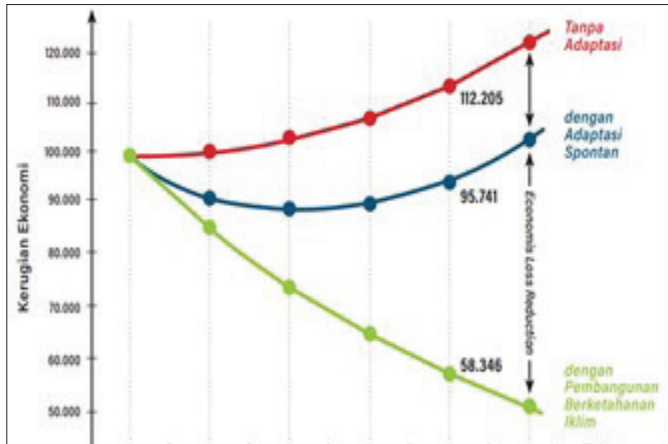
Untuk sektor pertanian, PBI dilakukan dengan pendekatan bahwa pertanian memiliki tiga posisi terhadap perubahan iklim, yaitu sebagai korban, sumber emisi, dan penyerap karbon. Adaptasi menjadi aksi yang harus dilakukan untuk menekan dampak dengan *co-benefit* mitigasi untuk mengurangi emisi dan meningkatkan serapan karbon. Implementasi PBI dan PRK menjadi pendekatan untuk pencapaian pembangunan di sektor pertanian dengan target utama peningkatan produksi dan produktivitas, kesejahteraan petani, dan tetap menjaga kualitas lingkungan. Dukungan pembiayaan, asuransi, riset, penyuluhan dan pendampingan, serta regulasi diperlukan dalam mempercepat tercapainya target tersebut (Gambar 2.13). Penerapan tindakan adaptasi di sektor pertanian telah dilakukan di lapangan, tetapi perlu ditingkatkan untuk memastikan implementasinya yang lebih efektif untuk meningkatkan ketangguhan sistem pertanian dan ketahanan pangan di Indonesia.



Sumber: Hermanto et al. (2022)

Gambar 2.13 Kerangka Pikir PBI dan PRK di Sektor Pertanian untuk Mendukung Ketahanan Pangan

Penerapan PBI dalam konteks ketahanan pangan dilakukan dengan mengimplementasikan teknologi sebagai upaya adaptasi untuk mengurangi dampak negatif dari kejadian iklim ekstrem. Selain itu, peran penting adaptasi dan implementasi PBI sangat signifikan dalam mengurangi kerugian ekonomi akibat perubahan iklim. Berdasarkan studi Kementerian PPN/Bappenas (2021), diperkirakan dampak perubahan iklim dapat menyebabkan kerugian ekonomi sebesar 112,2 triliun rupiah. Namun, dengan adanya tindakan adaptasi spontan melalui program adaptasi sektoral, kerugian tersebut dapat dikurangi menjadi sekitar 95,7 triliun rupiah atau terjadi penurunan sebesar 15%. Selain itu, melalui implementasi Pembangunan Ketahanan Iklim yang terencana, diharapkan kerugian yang dialami dapat ditekan hingga sekitar 58,3 triliun rupiah atau penurunan hampir 50% (Gambar 2.14).



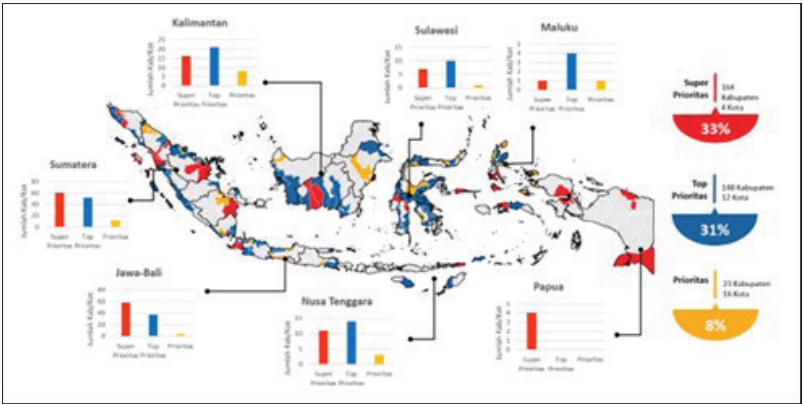
Sumber: Kementerian PPN/Bappenas (2021)

Gambar 2.14 Peran Adaptasi dan PBI dalam Menekan Kerugian Ekonomi

Implementasi PBI perlu didukung dengan data dan informasi lokasi adaptasi berdasarkan tingkat kerentanannya karena dampak perubahan iklim spesifik di setiap lokasi (Estiningtyas et al., 2021a). Kajian Kementerian PPN/Bappenas (2021) menghasilkan lokasi prioritas ketahanan iklim Sektor Pertanian. Lokasi dibagi berdasarkan prioritas, top prioritas, dan super prioritas. Prioritas berdasarkan potensi bahaya tinggi, top prioritas berdasarkan potensi bahaya tinggi + kerentanan tinggi/indeks risiko bencana iklim, sedangkan super prioritas berdasarkan potensi bahaya tinggi + kerentanan tinggi + indeks risiko bencana iklim (Gambar 2.15). Sebaran lokasi ini sangat membantu dalam menetapkan lokasi aksi adaptasi untuk meminimalkan dampak dan mendukung ketahanan pangan.

Aksi adaptasi perubahan iklim dilakukan berdasarkan gejala perubahan iklim yang ditimbulkan serta dampaknya terhadap pertanian. Oleh karena itu, penting untuk melakukan monitoring terhadap perkembangan indeks global termasuk El Niño dan La Niña di lokasi kunci (*key area*). *Key area* ini merupakan lokasi di mana curah hujan di lokasi tersebut berkorelasi kuat dan signifikan terhadap indeks

global, seperti suhu muka laut di Nino 3.4 (Estiningtyas et al., 2021b). Data informasi tentang prediksi dan proyeksi iklim telah tersedia di berbagai sumber, seperti <https://www.bmkg.go.id/> untuk mengetahui prediksi iklim dasarian dan bulanan di Indonesia, termasuk kapan awal musim hujan dan musim kemarau serta informasi lainnya. Untuk mengetahui perkembangan indeks ENSO bisa diakses melalui situs web https://iri.columbia.edu/our-expertise/climate/forecasts/enso/current/?enso_tab=enso-cpc_plume).



Sumber: Kementerian PPN/Bappenas (2021)

Gambar 2.15 Sebaran Lokasi Prioritas Kegiatan Ketahanan Iklim Sektor Pertanian

Implementasi dari hasil kajian ini dapat dijelaskan dari dua aspek. *Pertama*, meminimalkan dampak negatif melalui monitoring kejadian iklim ekstrem. Telah diketahui bahwa dampak perubahan iklim maupun kejadian iklim ekstrem yang telah teridentifikasi bersifat spesifik lokasi. Selanjutnya, perlu dilakukan pemantauan terhadap perkembangan indeks global terkait curah hujan, suhu, serta El Niño dan La Niña mengingat dampaknya yang signifikan terhadap pertanian. Apabila diketahui dari hasil pemantauan bahwa akan terjadi El Niño atau La Niña, dalam rentang waktu yang masih memungkinkan (minimal 1 musim) dapat dilakukan perencanaan dan strategi antisipasinya. Sebagai contoh, jika berdasarkan pemantauan

diperkirakan akan terjadi El Niño, upaya yang dilakukan, antara lain penggunaan varietas yang adaptif terhadap kondisi kekeringan, efisiensi penggunaan air, pompanisasi untuk akses air, pengaturan drainase, penggunaan biochar yang mampu menyerap air agar hemat, melakukan sistem tanam sesuai kondisi setempat (misal sistem culik, seperti di Kabupaten Indramayu), dan lain-lain. Sementara itu, jika hasil monitoring menunjukkan akan terjadi La Niña, upaya yang dapat dilakukan, yaitu penggunaan varietas tahan genangan, panen dan konservasi air, pompanisasi untuk pembuangan genangan air di lahan, perbaikan drainase, dan lain-lain. Upaya antisipasi ini perlu diperkuat dengan melakukan sosialisasi, bimbingan teknis, serta pendampingan secara berjenjang hingga ke tingkat petani. *Kedua*, meraih manfaat dari perubahan iklim dan iklim ekstrem. Iklim ekstrem La Niña dapat menambah luas tanam pada MK kedua pada lahan yang biasanya tidak tersedia air atau air terbatas dengan melakukan percepatan tanam. Sementara itu, pada saat El Niño, luas tanam dapat ditambah, khususnya dari lahan rawa lebak yang tadinya tergenang menjadi surut sehingga dapat dilakukan penanaman.

Selain pendekatan tersebut, mekanisme asuransi pertanian juga merupakan opsi adaptasi terhadap perubahan iklim. Gagal panen akibat kejadian iklim ekstrem banjir, kekeringan, dan serangan OPT dapat diminimalkan risikonya melalui mekanisme asuransi pertanian. Berbagai metode dalam penentuan klaim asuransi sudah dikembangkan, seperti Asuransi Indeks Iklim (*Weather Index Insurance*, WII) (Estiningtyas et al., 2023). Dalam WII, yang diasuransikan bukan tanaman, melainkan indeks iklim yang dapat diwakili oleh parameter iklim, yakni curah hujan, suhu, dan lain-lain. WII berpeluang diimplementasikan di Indonesia; hal ini terlihat dari hasil survei kesediaan membayar (*willingness to pay*, WTP) oleh petani yang cukup baik (Estiningtyas et al., 2012).

F. Penutup

Prediksi dan proyeksi iklim menunjukkan bahwa suhu akan terus meningkat dan pola serta intensitas curah hujan akan mengalami

perubahan. Fenomena iklim ekstrem El Niño dan La Niña juga akan makin sering terjadi. Hal ini mengindikasikan bahwa risiko dan kerugian terhadap sektor pertanian, khususnya usaha tani pangan yang terkait erat dengan ketahanan pangan, akan terus dihadapi oleh para petani dan pelaku kegiatan pertanian.

Dampak perubahan iklim, termasuk kejadian iklim ekstrem, secara jelas dapat mengurangi ketersediaan air, merusak sumber daya lahan, dan mengakibatkan penurunan luas tanaman, yang pada akhirnya mengurangi produktivitas tanaman pangan (pajale). Tantangan dalam meningkatkan produksi tanaman pangan akan terus ada mengingat potensi dampak perubahan iklim juga diproyeksikan terus meningkat. Hal ini akan mengganggu ketahanan pangan nasional.

Sisi positif dampak perubahan iklim yang selama ini belum banyak diungkap dan menjadi kebaruan dari tulisan ini menunjukkan adanya peningkatan luas panen dan produksi tanaman pangan. Pada kondisi La Niña, luas panen tanaman pangan pajale dan ubi kayu meningkat 2%–5% dan peningkatan produksi 2%–4%. Pada saat El Niño, dampak positif perubahan iklim diraih melalui penambahan luas panen sebesar 237.700 ha. Pemanfaatan lahan rawa lebak saat El Niño juga memberikan potensi kontribusi terhadap produksi beras nasional sekitar 14% atau 6–8 juta ton dengan tingkat produktivitas 4 ton/ha gabah kering giling. Potensi ini perlu terus dikaji dan dikembangkan untuk meningkatkan nilai tambah dan meraih manfaat dari dampak positif perubahan iklim.

Strategi adaptasi memegang peran penting dalam perencanaan dan implementasi aksi adaptasi dalam mendukung ketahanan pangan. Pendekatan pertanian berketahanan iklim dan rendah karbon memperkuat upaya adaptasi dengan tetap fokus pada target di sektor pertanian, yaitu peningkatan produksi dan produktivitas, kesejahteraan petani, dan tetap menjaga kualitas lingkungan. Berbagai teknologi adaptasi yang telah dihasilkan termasuk informasi iklim dalam implementasinya perlu disosialisasikan, serta dilakukan pendampingan di lapangan agar tepat sasaran. Pada gilirannya, dampak positif perubahan iklim yang didukung dengan teknologi inovasi serta

monitoring dampak merupakan potensi manfaat yang bisa diraih untuk mendukung ketahanan pangan.

Kondisi iklim penting dalam sistem produksi pertanian maka akurasi data prediksi iklim, terutama curah hujan dan suhu, akan menentukan ketepatan langkah strategi yang akan diterapkan di sektor pertanian dan menentukan tingkat ketahanan pangan nasional.

Referensi

- Abrol, D. B. (2013). *Integrated pest management: Current concepts and ecological process*. Academic Press.
- Aldrian, E. (2023, 16 Mei). Pergeseran musim akibat pemanasan global. *Republika*. <https://www.republika.id/posts/40789/pergeseran-musim-akibat-pemanasan-global>.
- Aldrian, E., & Djamil, S. D. (2006). Long term rainfall trend of the brantas catchment area, East Java. *Indonesian Journal of Geography*, 38(1), 27.
- Aldrian, E., Surmaini, E., Marwanto, S., Apriyana, Y., Maftu'ah, E., Pramudia, A., Fanggidae, Y. R., Supari, Syafrianno, A. A., Khoir, A. N., Chandrasa, G. T., Muharsyah, R., Suradi, Perdinan, Anggraeni, L., Adi, R. F., Tjahjono, R. E. P., Infrawan, D. Y. D., & Sulistyowati, D. (2022). *Dampak perubahan iklim terhadap sektor pertanian: Fokus komoditas padi dan kopi (arabika dan robusta)* [Laporan Akhir]. PI-AREA.
- Apriyana, Y, Susanti, E., Suciantini, Ramadhani, F. & Surmaini, E. (2016). *Analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan pada lahan kering dan rancang bangun sistem informasinya, Analysis of climate change impacts on food crops production in dry land and design of information system*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Arif, A. (2023, 10 Mei). Prediksi El Niño dan karhutla di Indonesia. *Kompas*. <https://www.kompas.id/baca/humaniora/2023/05/08/prediksi-El-Niño-dan-karhutla-di-indonesia-pada-2023>.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2023). *Data bencana Indonesia*. Geoportel Data Bencana Indonesia. Diakses pada 25 Mei, 2023, dari <https://dibi.bnpb.go.id/>.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Jumlah penduduk pertengahan tahun (ribu jiwa), 2020–2022*. <https://www.bps.go.id/indikator/12/1975/1/jumlah-penduduk-pertengahan-tahun.html>

- Barani, A. M., Dariah, A., Suryotomo, A. P., Mulyani, A., Apriyanto, A., Hidayat, A., Sumawinata B., Kertiwa, B., Taniwiryono, D., Sadono, D., Fahamsaya, E., Widiastuti, H., Hermantoro, Palunggono, H. B., Ismail, I., Safitri, L., Tambusai, M.N., Ernawan, R., Saptomo, S. K., Siswanto, Sabiham, S., Suratman, Anwar, S., & Adhi. Y. A. (2021). *Gambut, sawit, dan lingkungan* (S. Sabiham, A. Dariah, Hermantoro, & I. Ismail, Ed.). IPB PRESS.
- Boer, R. (2011, 9–10 November). *Ancaman perubahan iklim terhadap ketahanan pangan* [Presentasi makalah]. Workshop Nasional dan FGD: Adaptasi Perubahan Iklim. Balai Besar Sumber Daya Lahan Pertanian, Kementerian Pertanian, Bandung, Indonesia.
- DaMatta, F. M., Grandis, A., Arenque, B. C., & Buckeridge, M. S. (2010). Impacts of climate changes on crop physiology and food quality. *Food Research International*, 43(7), 1814–1823.
- Dariah, A., Nurida, N. L., Yustika, R. D., & Suryani, E. (2022). Annual upland agriculture as a vulnerable system to climate change. Dalam *Strengthening agricultural resilience against climate change through climate smart agriculture* (49–62). Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD). https://www.researchgate.net/publication/361809945_Annual_Upland_Agriculture_as_a_Vulnerable_System_to_Climate_Change
- Dariah, A., Nurida, N. L., & Sutono. (2013). The effect of biochar on soil quality and maize production in upland in dry climate region. Dalam *Proceeding 11th international conference the East and Southeast Asia federation of Soil Science Societies*.
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. (2017a). *Better rice initiative Asia*. Diakses dari <https://www.giz.de/en/worldwide/57047.html>
- Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH. (2017b). *Paket teknologi CSA di Jawa Tengah Kabupaten Purbalingga & Banyumas*. Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. (2015). *Irigasi faktor utama peningkatan pangan nasional*. Diakses dari https://sda.pu.go.id/berita/view/irigasi_faktor_utama_peningkatan_pangan_nasional.
- Estiningtyas, W., Boer, R., Las, I., & Buono, A. (2012). Analisis usahatani padi untuk mendukung pengembangan asuransi indeks iklim (Weather index insurance): Studi kasus di Kabupaten Indramayu. *Jurnal Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian*, 15(2), 158–170.

- Estiningtyas, W., Kartikasari, K., Perdinan, & Dermoredjo, S. K. (2022, November). Index-based insurance for climate risk management in Indonesia Agriculture. Dalam *International conference on radiosience, equatorial atmospheric science and environment* (621–629). Springer.
- Estiningtyas, W., Mulyani, A., & Kartiwa, B. (2021a, Februari). Assessing the vulnerability of food farming system to support climate change adaptation: A case study in Java, Indonesia. Dalam *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 648, No. 1, Artikel 012093). IOP Publishing..
- Estiningtyas, W., Surmaini, E., Suciantini, N., Susanti, E., Mulyani, A., Kartiwa, B., Sumaryanto, N., Perdinan, N., Apriyana, Y., & Alifia, A. D. (2024). Analysing food farming vulnerability in Kalimantan, Indonesia: Determinant factors and adaptation measures. *PloS One*, 19(1), Artikel e0296262. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0296262>.
- Estiningtyas, W., Syahbuddin, H., Harmanto, Sumaryanto, Mulyani, A., Setyorini, D., Kartiwa, B., Susanti, E., Surmaini, E., Sujono, R., Haryono, Rakhman, A., Suciantini, Apriyana, Y., Pramudia, A., Sarvina, Y., Nengsusmoyo, C., Kurniawan, H., Nugroho, A. A., ..., A. S. Hutami. (2016). *Analisis dan pemetaan tingkat kerentanan usaha tani pangan dan risiko iklim* [Laporan akhir]. Kementerian Pertanian.
- Estiningtyas, W., Syahbuddin, H., Pramudia, A., & Dermoredjo, S. K. (2021b, April). Analysis of key locations as indicators for extreme climate impacts in supporting climate change adaptation in Indonesia. Dalam *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 724, No. 1, Artikel 012042). IOP Publishing.
- Food and Agriculture Organization. (1996, 13–17 November). *Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit Plan of Action*. World Food Summit, Rome.
- Gatot, I. S., Duchesne, J., Forest, F., Perez, P., Cudennec, C., Prasetyo, T., & Karama, S. (1999, Mei). Rainfall-runoff harvesting for controlling erosion and sustaining upland agriculture development. Dalam *Sustaining the global farm: Selected papers from the 10th international soil conservation organization meeting held* (Vol. 24, 29).
- Hairani, A., Noor, M., Alwi, M., Saleh, M., Rina, Y., Khairullah, I., Sosiawan, H., Heryani, N., Mukhlis, M., & Lenin, I. (2024). Freshwater swampland as food buffer during El Niño: Case study in South Kalimantan, Indonesia. *Chilean journal of agricultural research*, 84(1), 132–143.

- Haryati, U., Abdurachman, A., & Subagyono, K. (2010). Efisiensi penggunaan air berbagai teknik irigasi untuk pertanaman cabai di lahan kering pada Typic Kanhapludutls Lampung. Dalam *Prosiding semnas sumber daya lahan pertanian* (25–45). BBSDLP.
- Hermanto, F., Agus, T., Alihamsyah, Surmaini, E., Dariah, A., Estiningtyas, W., Susilawati, H. L., Heryani, N., Susanti, E., Tiesnamurti, B., Ikhsan, M., Zuziana, Chaidirsyah, R. M., Waryanto, B., Adhie, S., Senoadji, T., & Salampessy, Y. N. (2022). *Grand design pembangunan berketahanan iklim dan rendah karbon di sektor pertanian*. Kementerian Pertanian.
- Hoogenboom, G. (2000). Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. *Agricultural and forest meteorology*, 103(1-2), 137–157.
- Hosang, P. R., Tatuh, J., & Rogi, J. E. (2012). Analisis dampak perubahan iklim terhadap produksi beras Provinsi Sulawesi Utara tahun 2013–2030. *Jurnal Eugenia*, 18(3).
- Irawan, B. (2006). Fenomena anomali iklim El Niño dan La Niña: Kecenderungan jangka panjang dan pengaruhnya terhadap produksi pangan. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 24(1), 28–45.
- Irawan, B. (2013). *Dampak El Niño dan La Niña terhadap produksi padi dan palawija*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). *Peta jalan Nationally Determined Contribution (NDC) aspek adaptasi*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kementerian Pertanian. (2016). *Petunjuk teknis budidaya padi jajar Legowo Super* (58).
- Kementerian PPN/Bappenas. (2021). Kebijakan pembangunan berketahanan iklim (*Climate resilient development policy 2020–2045*) [Ringkasan eksekutif]. Bappenas.
- Lal, M., Singh, K. K., Rathore, L. S., Srinivasan, G., & Saseendran, S. A. (1998). Vulnerability of rice and wheat yields in NW India to future changes in climate. *Agricultural and forest meteorology*, 89(2), 101–114.
- Lutz, F. (2014). *Exploring the potential of soil and water conservation as an adaptation strategy to climate change*.

- Maxwell, S., & Smith, M. (1992). Household food security: a conceptual review. *Household food security: Concepts, indicators, measurements*, 1, 1–72.
- Motha, R. P., & Baier, W. (2005). Impacts of present and future climate change and climate variability on agriculture in the temperate regions: North America. *Climatic Change*, 70(1–2), 137–164.
- Munarso, Y. P. (2010). Sifat kegenjahan dan toleran kekeringan beberapa galur padi sebagai calon tetua. *Agrovigor: Jurnal Agroekoteknologi*, 3(2), 125–130.
- 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. *Proceeding of the National Academic of Science*, 104(19), 7752–7757.
- NDC. (2016). *First nationally determined contribution Republic of Indonesia*. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/First%20NDC%20Indonesia_submitted%20to%20UNFCCC%20Set_November%20%202016.pdf
- Nurida, N. L., & Rachman, A. (2012, Juni). Alternatif pemulihan lahan kering masam terdegradasi dengan formula pembenah tanah biochar di Typic Kanhapludults Lampung. Dalam I. G. P. Wigena, N. L. Nurida, D. Setyorini, E. Husen, & E. Suryani (Ed.), *Prosiding seminar nasional teknologi pemupukan dan pemulihan lahan terdegradasi* (639–648). Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Pawitan, H., Kartiwa B., Amien I., Sosiawan H., Surmaini E., & A. Hamdani. (2010). *Analisis dampak perubahan iklim terhadap dinamika potensi sumberdaya air untuk pertanian: Konsorsium penelitian dan pengembangan perubahan iklim untuk mengurangi akibat dan resiko iklim pada sektor pertanian (KP3I)*. Badan Litbang Pertanian.
- Pawitan, H., Redjekiningrum, P., Kartiwa, B., Sosiawan, H., & Rahayu, B. (2011). *Analisis dampak perubahan iklim terhadap dinamika potensi sumberdaya air untuk pertanian: Konsorsium penelitian dan pengembangan perubahan iklim untuk mengurangi akibat dan resiko iklim pada sektor pertanian (KP3I)*. Badan Litbang Pertanian.
- Perdinan, Kartikasari, K., & Malahayati, M. (2014). *Climate resilience in rice and other crops national studies: Indonesia*. CCROM.

- Perdinan, P., Atmaja, T., Adi, R. F., & Estiningtyas, W. (2018a). Adaptasi perubahan iklim dan ketahanan pangan: Telaah inisiatif dan kebijakan. *Jurnal Hukum Lingkungan Indonesia*, 5(1), 60–87.
- Perdinan. (2018b). *Future of Food. Journal on Food, Agriculture and Society*. Research Paper.
- Perdinan. (2019). *Pandangan terhadap perubahan iklim di Indonesia* [Presentasi makalah]. Kerja sama KLHK dan GIZ.
- Purba, G. N. (2015, 23 September). Pemanfaatan rawa lebak solusi tingkatkan produktivitas padi saat El Niño. *medcom.id*. <https://www.medcom.id/ekonomi/mikro/8N0gJqYK-pemanfaatan-rawa-lebak-solusi-tingkatkan-produktivitas-padi-saat-El-Niño#:~:text=Dirinya%20menambahkan%2C%20total%20luas%20lahan,bertambah%20sekitar%20237%2C7%20ha>.
- Rejekiningrum, P. (2014). Dampak perubahan iklim terhadap sumberdaya air: Identifikasi, simulasi dan rencana aksi. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(1), 1–15.
- Reuter, T. & A. Dariah. (2019). Pertanian, ketahanan pangan, dan perubahan iklim. Dalam Siti Nurbaya (Ed.), *Trilogi Indonesia menghadapi perubahan iklim* (32–42). Penerbit Buku Kompas.
- Ridwan, M., & Hendri. (2001, 1 November). *Rancangan peraturan pemerintah (RPP) tentang perubahan iklim* [Makalah]. Seminar Climate Change Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia.
- Sahardjo, B. H. (2000). *Evaluasi kerusakan lingkungan akibat kebakaran hutan dan lahan*. Institut Pertanian Bogor.
- Schindele, W. W, Thoma, W., & Panzer, K. (1989). *the Forest Fire 1983/1988 in East Kalimantan, Part I. The Fire, The Effect, The Damage and Technical Solutions*. Investigation of the step needed to Rehabilitate the Area of East Kalimantan Seriously Affected by Fire. FR-Project ITTO, GTZ, BPPK, and DES.
- Schulze, R. E. (2000). Modelling hydrological responses to land use and climate change: A southern African perspective. *Ambio*, 12–22.
- Semenza, J. C., Ploubidis, G. B., & George, L. A. (2011). Climate change and climate variability: Personal motivation for adaptation and mitigation. *Environmental Health*, 10, 1–12.
- Sjarmidi, A., & Aryantha, N. P. (1997). *Komunitas mikroba pasca kebakaran hutan*. LIPI.

- Suharyanto, H. (2011). Ketahanan pangan. *Jurnal Sosial Humaniora (JSH)*, 4(2), 186–194.
- Surmaini, E., Sarvina, Y., Susanti, E., Widiarta, I. N., Misnawati, M., Suciantini, S., Fanggidae, Y. R., Rahmini, R., & Dewi, E. R. (2024). Climate change and the future distribution of Brown Planthopper in Indonesia: A projection study. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences (Online)*, 23(2), 130–141. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2023.10.002>
- Susandi, A. (2006). Bencana perubahan iklim global dan proyeksi perubahan iklim Indonesia. *Kelompok Keahlian Sains Atmosfer Fakultas Ilmu Kebumihan dan Teknologi Mineral ITB: Bandung*.
- Susanti, E., Dewi, E. R., Surmaini, E., Sopaheluwakan, A., Linarko, A., & Syahputra, M. R. (2021). The projection of rice production in Java Island to support Indonesia as the world food granary. *E3S Web of Conferences*, 306, 01011. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130601011>
- Susanti, E., Surmaini, E., & Estiningtyas, W. (2018). Parameter iklim sebagai indikator peringatan dini serangan hama penyakit tanaman. *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 12(1), 59–70.
- Susilawati, A., & Nursyamsi, D. (2014). Sistem surjan: kearifan lokal petani lahan pasang surut dalam mengantisipasi perubahan iklim. *Jurnal sumberdaya lahan*, 8(1), 3–42.
- Tubiello, F. N., Soussana, J. F., & Howden, S. M. (2007). Crop and pasture response to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(50), 19686–19690.
- United Nations Environment Programme. (2014). *The adaptation gap report*. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/9331/-Adaptation_gap_report_a_prel.pdf?sequence=2&isAllowed=y.
- Verchot, L. V., Van Noordwijk, M., Kandji, S., Tomich, T., Ong, C., Albrecht, A., Mackensen, J., Bantilan, C., Anupama, K. V., & Palm, C. (2007). Climate change: Linking adaptation and mitigation through agroforestry. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 12, 901–918.
- Wiyono, S. (2007). *Perubahan iklim dan ledakan hama penyakit tanaman, keanekaragaman hayati di tengah perubahan iklim: Tantangan masa depan Indonesia*. KEHATI.
- World Bank. (1986). *Poverty and hunger: Issues and options for food security in developing countries*.

- Yang, X., Chen, F., Lin, X., Liu, Z., Zhang, H., Zhao, J., Li, K., Ye, Q., Li, Y., Lv, S., Yang, P., Wenbin, W., Li, Z., Lal, R., & Tang, H. (2015). Potential benefits of climate change for crop productivity in China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 208, 76–84.
- Yu, O. Y., Raichle, B., & Sink, S. (2013). Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 4, 1–9. <http://www.journal.ijeee.com/content/4/1/44>.