

## BAB XI

# Pertanian Cerdas Iklim Menuju *Zero Emission*

Tania June, Yeli Sarvina

---

### A. Urgensi Pertanian Cerdas Iklim

Perubahan iklim memberikan tantangan yang signifikan pada sektor pangan, termasuk terjadinya perubahan pola curah hujan, peningkatan frekuensi, dan tingkat keparahan kejadian cuaca ekstrem, dan perubahan suhu. Dalam bab sebelumnya telah dibahas model-model iklim dan perkembangannya, serta data-data iklim dikelola untuk dapat memberi dukungan pada berbagai kebijakan yang mengarah pada penguatan ketahanan pangan nasional. Dalam bab ini dibahas pertanian cerdas iklim sebagai salah satu upaya sektor pertanian untuk beradaptasi terhadap perubahan iklim yang terjadi, sekaligus menjadi strategi mitigasi perubahan iklim melalui penurunan emisi gas rumah kaca.

---

T. June, & Y. Sarvina

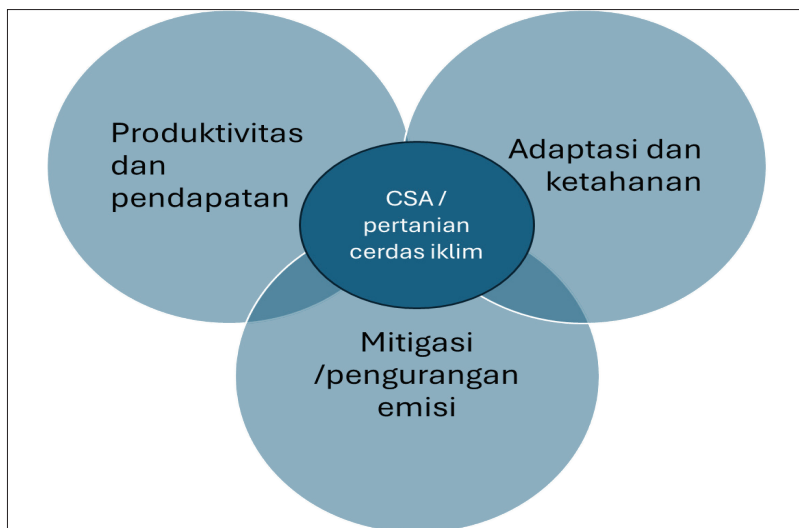
Institut Pertanian Bogor, *e-mail*: taniajune@apps.ipb.ac.id

© 2024 Editor & Penulis

June, T., & Sarvina, Y. (2024). Pertanian cerdas iklim menuju zero emission. Dalam D. E. Nuryanto & I. Fathrio (Ed.), *Prediksi iklim untuk ketahanan pangan* (321–352). Penerbit BRIN.  
DOI: 10.55981/brin.1244.c1395. E-ISBN: 978-602-6303-49-3.

Pertanian cerdas iklim atau *climate smart agriculture* (CSA) adalah sebuah pendekatan untuk mencapai pembangunan pertanian berkelanjutan yang bertujuan untuk mengatasi tantangan dalam mencapai dan mempertahankan ketahanan pangan dengan bertambahnya jumlah penduduk, dalam menghadapi dampak perubahan iklim pada produktivitas pertanian. CSA juga bertujuan untuk menyusun strategi adaptasi yang tepat, serta bagaimana aktivitas pertanian dapat berkontribusi dalam mengatasi permasalahan meningkatnya gas rumah kaca (GRK) di atmosfer dan menetapkan langkah mitigasi yang dapat menurunkan emisi GRK dari praktik sistem pertanian.

Konsep CSA pertama kali diperkenalkan pada tahun 2010 oleh Organisasi Pangan dan Pertanian Perserikatan Bangsa-Bangsa (Food and Agriculture Organization of the United Nations) menyusul meningkatnya kekhawatiran tentang dampak perubahan iklim terhadap pencapaian dan keberlanjutan ketahanan pangan. Implementasi CSA mencakup tiga tujuan utama, yaitu (1) meningkatkan produktivitas dan pendapatan pertanian secara berkelanjutan, mencapai, dan meningkatkan ketahanan pangan serta mengurangi kemiskinan; (2) beradaptasi dan membangun ketahanan terhadap dampak perubahan iklim, untuk mempertahankan, dan meningkatkan ketahanan pangan dalam menghadapi perubahan pola cuaca, hama dan penyakit, serta tekanan lingkungan lainnya; dan (3) mengurangi dan/atau menghilangkan emisi gas rumah kaca dari aktivitas pertanian, mengurangi intensitas perubahan iklim, dan dampak negatif yang ditimbulkan. Secara sederhana, dua hal tersebut dapat diilustrasikan seperti Gambar 11.1.



Sumber: FAO (2010)

**Gambar 11.1** Tiga Pilar CSA

Konsep CSA telah mendapatkan pengakuan yang makin meningkat selama dekade terakhir, karena dampak perubahan iklim terhadap pertanian makin besar. Pada tahun 2013, FAO menerbitkan panduan untuk CSA, yang memberikan kerangka kerja untuk implementasi praktik CSA di tingkat pertanian, lanskap, dan nasional. Sejak saat itu, FAO telah bekerja sama dengan negara-negara anggotanya dan para mitranya untuk mempromosikan penerapan praktik-praktik CSA di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Hal ini termasuk mendukung pengembangan kebijakan dan strategi yang mempromosikan CSA, serta memberikan bantuan teknis kepada petani dan pemangku kepentingan lainnya untuk menerapkan praktik CSA di lapangan. FAO juga telah mengembangkan sejumlah alat dan sumber daya untuk mendukung implementasi CSA, termasuk buku panduan CSA, yang menyediakan panduan komprehensif tentang berbagai praktik dan pendekatan CSA yang dapat digunakan untuk mencapai tiga tujuan CSA tersebut.

## **B. CSA Menghasilkan Praktik Pertanian yang Resilien terhadap Dampak Perubahan Iklim**

Menghadapi perubahan iklim dengan melakukan adaptasi merupakan hal yang sangat penting bagi sektor pertanian. Pertanian sangat bergantung pada kondisi iklim, termasuk suhu, pola curah hujan, dan panjang musim tanam. Perubahan iklim membawa perubahan yang signifikan pada faktor-faktor tersebut di atas, yang menyebabkan berbagai tantangan dan risiko bagi petani dan sistem produksi pangan. Dengan melakukan adaptasi praktik pertanian maka sektor pertanian memastikan dapat menjaga keberlanjutan dari ketahanan pangan nasional. Perubahan iklim dapat menyebabkan pergeseran hasil panen, perubahan pola hama dan penyakit, dan perubahan ketersediaan air. Dengan mengadaptasi teknik pertanian, varietas tanaman, dan sistem irigasi yang tepat, petani dapat mengatasi perubahan ini dengan lebih baik dan dapat mempertahankan produksi pangan dengan lebih stabil.

Pertanian merupakan sektor vital bagi Indonesia. Beradaptasi terhadap perubahan iklim membantu melindungi mata pencaharian petani dan menstabilkan ekonomi pedesaan, wilayah, dan negara. Dengan menerapkan praktik pertanian yang tangguh, melakukan diversifikasi tanaman, dan berinvestasi pada teknologi cerdas iklim, petani dapat mengurangi risiko ekonomi yang terkait dengan dampak perubahan iklim. Salah satu aspek yang sangat penting adalah pengelolaan air. Perubahan iklim memengaruhi ketersediaan air, yang menyebabkan perubahan pola curah hujan dan kelangkaan air di suatu wilayah. Pertanian adalah pengguna air yang utama, dan beradaptasi dengan perubahan iklim salah satunya melibatkan peningkatan praktik pengelolaan air. Hal ini mencakup penggunaan metode irigasi yang efisien, melakukan pemanenan air hujan terutama pada wilayah kering, dan infrastruktur penyimpanan air untuk mengurangi risiko kekurangan air dan kekeringan. June dan Sarvina (2023) menguraikan beberapa contoh dan penerapan CSA pada sistem pertanian Indonesia. Lebih lanjut, bagaimana evaluasi dampaknya pun disajikan baik secara kualitatif maupun kuantitatif.

Langkah-langkah adaptasi membantu mengurangi kerentanan sistem pertanian terhadap risiko terkait variabilitas iklim dan iklim ekstrem, seperti banjir, kekeringan, dan badai. Adaptasi terhadap perubahan iklim sejalan dengan prinsip-prinsip pembangunan berkelanjutan. Dengan mempromosikan praktik pertanian berkelanjutan, seperti pertanian organik, pertanian konservasi, dan agroekologi. Petani dapat mengurangi emisi gas rumah kaca, meningkatkan kesehatan tanah, dan mengurangi dampak lingkungan (sinergi antara adaptasi dan mitigasi). Pada dasarnya adaptasi terhadap perubahan iklim sangat penting bagi sektor pertanian untuk memastikan ketahanan pangan, stabilitas ekonomi, dan pembangunan berkelanjutan. Dengan memprioritaskan strategi adaptasi, pemerintah, petani, dan para pemangku kepentingan dapat bekerja sama untuk membangun sistem pertanian yang tangguh dan mampu menghadapi tantangan yang ditimbulkan oleh perubahan iklim.

Berikut adalah beberapa strategi adaptasi yang dapat digunakan untuk membantu sektor pangan beradaptasi dengan perubahan iklim.

### **1. Pembangunan dan Perbaikan Infrastruktur Pertanian dan Sistem Irigasi yang Baik**

Memperbaiki infrastruktur yang dibutuhkan sektor pertanian, seperti jalan (*transportation*), fasilitas penyimpanan (*storage*), dan pasar, yang berguna untuk pergerakan barang dan mengurangi kerugian pascapanen. Memperbaiki teknik pengelolaan air dan mempromosikan penggunaan sistem irigasi, termasuk koleksi, penyimpanan, dan distribusi untuk menjamin keberhasilan produksi tanaman dalam menghadapi perubahan pola curah hujan sertaantisipasi bencana baik kelebihan maupun kekurangan air.

### **2. Diversifikasi Tanaman**

Diversifikasi tanaman dipromosikan untuk meningkatkan ketahanan dan mengurangi ketergantungan pada satu jenis tanaman, mencakup pengenalan tanaman tahan terhadap kekeringan, rotasi tanaman, dan tumpang sari. Salah satu contoh program diversifikasi tanaman yang

sukses adalah program "Diversifikasi untuk Pertanian Berkelanjutan" yang dilaksanakan oleh International Rice Research Institute (IRRI) di wilayah Delta Mekong, Vietnam, dengan tujuan untuk diversifikasi sistem pertanian berbasis padi di wilayah tersebut untuk meningkatkan produktivitas dan keberlanjutan pertanian dalam menghadapi kondisi iklim yang berubah-ubah. Varietas tanaman baru dan teknik produksi diperkenalkan, termasuk penggunaan sayuran, buah-buahan, dan ternak, serta pengenalan tumpang sari dan rotasi tanaman serta dalam pelaksanaannya petani diberi pelatihan dan bantuan teknis untuk membantu mereka menerapkan praktik-praktik ini. Hasil yang didapat adalah peningkatan produktivitas pertanian, peningkatan kesehatan tanah, dan mengurangi ketergantungan pada monokultur padi.

### 3. Pengelolaan Tanah dan Lahan yang Berkelanjutan

Salah satu contoh sistem pertanian dengan pengelolaan tanah dan lahan berkelanjutan untuk adaptasi terhadap perubahan iklim adalah pertanian konservasi (*conservation agriculture*, CA). Pertanian konservasi (CA) dicirikan oleh praktik pertanian yang meminimalkan kerusakan terhadap tanah, menjaga tutupan tanah dengan menggunakan tanaman penutup (*cover crop*) atau menggunakan mulsa, serta menggalakkan sistem rotasi tanaman untuk meningkatkan kesehatan tanah dan mengurangi erosi, mengurangi degradasi tanah, dan lingkungan sambil mempertahankan produksi tanaman. CA melibatkan perubahan pada praktik pertanian konvensional serta pola pikir petani untuk mengatasi degradasi yang ditimbulkan dari penggunaan pengolahan tanah secara konvensional (Farooq & Siddique, 2015). Sistem CA membantu meningkatkan kesehatan tanah, meningkatkan kapasitas menahan air tanah, mengurangi erosi tanah, dan meningkatkan kesuburan tanah. Sistem ini diterapkan di banyak negara sebagai strategi adaptasi terhadap dampak variabilitas dan perubahan iklim (Uphoff, 2015; Govaerts et al., 2009; Derpsch et al. 2010; Hobbs et al., 2008; Verhulst et al., 2010).

Dercon et al. (2019) meneliti dampak dari CA terhadap penyerapan karbon tanah dan hasil panen di wilayah semiarid Andes Kolombia di Argentina. Studi ini menemukan bahwa CA meningkatkan penyimpanan karbon tanah sebesar 0,6–0,8 ton per hektare per tahun (40% peningkatan karbon organik tanah), meningkatkan kesuburan tanah, peningkatan hasil panen sebesar 30% dan membantu memitigasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi gas rumah kaca. Contoh lain dari pengelolaan tanah yang berkelanjutan adalah pendekatan pengelolaan kesuburan tanah terpadu (*integrated soil fertility management*, ISFM), yang melibatkan integrasi berbagai praktik pengelolaan tanah seperti penggunaan pupuk organik dan anorganik, rotasi tanaman, tumpang sari, dan menerapkan sistem agroforestri/wanatani. Pendekatan ISFM bertujuan untuk meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan produktivitas tanaman, dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim (Dercon et al., 2019). Contoh lainnya adalah penggunaan biochar untuk memperbaiki kondisi tanah. Biochar adalah sejenis arang yang dihasilkan dari biomassa yang dapat ditambahkan ke dalam tanah untuk meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah. Mary et al. (2016) mengevaluasi penggunaan biochar untuk memperbaiki kondisi tanah dalam budi daya pertanian dan menemukan bahwa biochar merupakan media yang efektif untuk meningkatkan karbon tanah, efektivitas irigasi, mitigasi limpasan air (banjir), dan mengurangi polusi pertanian (emisi GRK). Selain itu, pengurangan limbah biomassa yang sangat banyak untuk menghasilkan biochar melalui proses pirolitik memberikan cara yang memungkinkan untuk menyelesaikan pengelolaan dan pembuangan limbah biomassa dengan cara yang efisien.

Pengolahan tanah konservasi juga mencakup memanfaatkan sisa-sisa tanaman yang tertinggal di permukaan tanah serta mengurangi frekuensi pengolahannya. Praktik ini membantu mengurangi erosi tanah dan meningkatkan kapasitas menahan air tanah. Rotasi tanaman dan penggunaan tanaman penutup (*cover crop*) juga merupakan bagian dari pengelolaan lahan yang berkelanjutan. Rotasi tanaman melibatkan penanaman tanaman yang berbeda secara berurutan

selama beberapa tahun. Praktik ini membantu memutus siklus hama dan penyakit, mengurangi erosi tanah, dan meningkatkan kesehatan tanah. Rotasi tanaman meningkatkan kesehatan tanah dengan meningkatkan bahan organik tanah, respirasi tanah, dan jumlah mikroba, sedangkan penggunaan tanaman penutup (*cover crop*) melibatkan penanaman tanaman tanpa nilai ekonomi di antara tanaman komersial untuk melindungi permukaan tanah dari erosi dan meningkatkan kesehatan tanah. Tanaman penutup tanah juga membantu meningkatkan kapasitas penyimpanan air tanah dan mengurangi pencucian unsur hara. Perbaikan tanah juga perlu dilakukan dengan melibatkan penambahan bahan organik atau anorganik ke dalam tanah untuk meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah. Penambahan bahan organik, seperti kompos dan pupuk kandang membantu meningkatkan bahan organik tanah, memperbaiki struktur tanah, dan meningkatkan kapasitas menahan air tanah. Perbaikan secara anorganik seperti penambahan kapur dan gips membantu mengatur pH tanah dan memperbaiki struktur tanah.

#### **4. Membangun Sistem Peringatan Dini**

Mengembangkan sistem peringatan dini diperlukan untuk kejadian cuaca ekstrem agar petani dapat mengambil tindakan yang tepat untuk melindungi tanaman dan lahan mereka. Sistem ini diperlukan untuk dapat memberikan pemberitahuan lebih awal kepada petani mengenai potensi risiko terkait cuaca, seperti kekeringan, banjir, angin topan, perubahan suhu yang ekstrem, potensi kebakaran dan serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Sistem peringatan dini dapat membantu petani membuat keputusan tepat waktu dan mengambil tindakan yang tepat untuk melindungi sistem pertanian mereka, seperti menyesuaikan jadwal tanam, mengubah praktik irigasi, menyiapkan pengendalian potensi serangan OPT atau kejadian kebakaran serta kemungkinan harus memanen tanaman lebih awal. Tindakan-tindakan ini dapat membantu mengurangi dampak dari peristiwa cuaca dan kondisi ekstrem, mengurangi kehilangan hasil panen, dan meningkatkan ketahanan pangan (BMKG, 2015; Wardhana et al., 2019; Fitriani et al., 2018; Anggono et al., 2018).



Ada beberapa komponen yang termasuk dalam sistem peringatan dini yang efektif untuk menyiapkan petani kepada kejadian cuaca ekstrem, sebagai berikut.

1) Monitoring dan prakiraan

Hal ini termasuk pengumpulan data tentang pola cuaca, seperti suhu, curah hujan, dan kecepatan angin, serta menggunakan model untuk meramalkan kondisi cuaca pada masa depan, baik untuk jangka pendek, menengah, maupun panjang.

2) Komunikasi

Hal ini mencakup penyebaran informasi cuaca kepada petani secara tepat waktu dan mudah diakses, dapat dilakukan dengan menggunakan peringatan melalui telepon genggam, siaran radio, televisi, sosial media lainnya maupun melalui pertemuan komunitas untuk menjangkau petani.

3) Sistem pengambilan keputusan

Termasuk di dalamnya penyediaan informasi dan alat untuk membantu petani mengambil keputusan dalam menghadapi risiko cuaca buruk, mencakup penyediaan informasi mengenai varietas tanaman terbaik untuk ditanam di daerah yang rawan kekeringan atau potensi akan mengalami kelebihan air atau teknik irigasi yang paling efektif selama periode curah hujan yang tinggi.

Selain membantu petani melindungi tanaman mereka, sistem peringatan dini juga dapat membantu pemerintah dan organisasi bantuan untuk mempersiapkan dan merespons bencana yang berkaitan dengan cuaca. Dengan memberikan pemberitahuan lebih awal tentang potensi risiko, sistem ini dapat membantu meminimalkan dampak peristiwa cuaca ekstrem dan mengurangi kebutuhan akan penanganan darurat bencana yang mahal. Secara keseluruhan, mengembangkan sistem peringatan dini untuk kejadian cuaca ekstrem merupakan langkah penting untuk membangun ketahanan dalam sistem pertanian dan meningkatkan ketahanan pangan bagi masyarakat yang rentan terhadap risiko terkait iklim.

## 5. Pendidikan dan *Awareness*

Mendorong pendidikan dan kesadaran di kalangan petani dan pemangku kepentingan tentang dampak perubahan iklim dan strategi adaptasi yang perlu diterapkan. Mempromosikan pendidikan dan kesadaran di kalangan petani dan pemangku kepentingan tentang dampak perubahan iklim dan strategi adaptasi sangat penting untuk membangun ketahanan terhadap risiko kegagalan terkait iklim di sektor pertanian. Kegiatan yang dilakukan untuk meningkatkan kesadaran petani terhadap perubahan iklim dan bagaimana langkah adaptasinya adalah dengan sekolah lapang seperti sekolah lapangan iklim yang dikembangkan oleh BMKG melalui kerja sama dengan perguruan tinggi dan lembaga terkait. Di samping itu, Kementerian Pertanian juga telah mengembangkan Sekolah Lapangan Pengelolaan Tanaman Terpadu (SLPTT), Sekolah Lapang Pengendalian Hama Terpadu (SLPHTT), dan sekolah lapangan tematik lainnya.

Berikut adalah beberapa langkah untuk mempromosikan pendidikan dan *awareness*.

### 1) Mengidentifikasi masyarakat sasaran

Identifikasi target penerima manfaat dari program pendidikan dan penyadaran, seperti petani, penyuluh, pemasok input pertanian, pengolah lahan dan hasil panen, serta pembuat kebijakan. Tentukan kebutuhan dan preferensi informasi yang mereka perlukan.

### 2) Kembangkan materi pendidikan

Pengembangan materi edukasi yang disesuaikan dengan target penerima manfaat, seperti lembar fakta, brosur, video, panduan pelatihan, dan sumber daya daring (*online*). Materi tersebut harus mudah dipahami, sesuai dengan budaya, dan dapat diakses dengan mudah.

### 3) Melakukan pelatihan dan penyuluhan

Lakukan kegiatan pelatihan dan penyuluhan untuk menyebarluaskan materi edukasi dan meningkatkan kesadaran di antara khalayak sasaran. Kegiatan ini dapat berupa lokakarya, seminar, kunjungan lapangan, pertukaran petani dengan petani, dan kampanye melalui

media sosial. Berkolaborasi dengan mitra lokal, seperti penyuluh pertanian, LSM, dan lembaga penelitian untuk menjangkau masyarakat yang lebih luas.

#### 4) Memberikan bantuan teknis

Memberikan bantuan teknis kepada petani dan pemangku kepentingan untuk menerapkan strategi adaptasi, seperti diversifikasi tanaman, konservasi tanah, manajemen irigasi, dan praktik pertanian yang tahan terhadap perubahan iklim. Hal ini dapat mencakup demonstrasi di lahan pertanian, pelatihan, dan pendampingan.

#### 5) Memantau dan mengevaluasi

Pantau dan evaluasi efektivitas program pendidikan dan penyadaran untuk memastikan bahwa program tersebut memenuhi kebutuhan khalayak sasaran dan mencapai tujuannya. Gunakan umpan balik dari khalayak sasaran untuk menyempurnakan program dan melakukan perbaikan.

Poin-poin di atas memberikan wawasan tentang tantangan dan peluang untuk mempromosikan pendidikan dan *awareness* akan dampak perubahan iklim dan strategi adaptasi di kalangan petani dan pemangku kepentingan di Indonesia. Suryadi dan Marwati (2019), Pariwono et al. (2018), dan Badriyah et al. (2020) memberikan berbagai strategi adaptasi, yakni termasuk penggunaan informasi iklim, adopsi praktik pertanian yang tahan terhadap dampak perubahan iklim, serta peran jaringan sosial dalam penyebaran pengetahuan di Indonesia.

### 6. Pengurangan Risiko Bencana (*Disaster Risk Reduction*)

Mengembangkan rencana pengurangan risiko bencana untuk sektor pangan guna mengurangi dampak kejadian cuaca ekstrem, secara keseluruhan membutuhkan pendekatan multidisiplin dan kolaboratif yang melibatkan para pemangku kepentingan di seluruh rantai pasok pangan. Dengan menerapkan strategi yang efektif dan sistem peringatan dini, risiko dan kerentanan sektor pangan terhadap kejadian cuaca ekstrem dapat dikurangi dan ketahanan pangan bagi masyarakat dapat terjamin.

Mengembangkan rencana pengurangan risiko bencana untuk mengurangi dampak kejadian cuaca ekstrem pada sektor pangan, guna mengurangi dampak kejadian cuaca ekstrem, melibatkan beberapa langkah, sebagai berikut.

1) Menilai risiko

Identifikasi potensi kejadian cuaca ekstrem yang dapat berdampak pada sektor pangan di daerah pertanian, seperti banjir, kekeringan, angin kencang, dan badai. Kaji kerentanan sektor pangan terhadap risiko-risiko ini, termasuk jenis tanaman, praktik pertanian, dan infrastruktur yang paling rentan.

2) Tetapkan prioritas

Tentukan area yang paling kritis yang perlu ditangani dalam rencana pengurangan risiko bencana, seperti melindungi tanaman pangan pokok, memastikan tersedianya akses ke irigasi atau sumber air lainnya, atau mengamankan infrastruktur penyimpanan dan transportasi hasil panen.

3) Menyusun strategi

Kembangkan strategi untuk mengurangi risiko dan kerentanan yang telah diidentifikasi dalam asesmen. Hal ini dapat mencakup langkah-langkah, seperti diversifikasi tanaman, praktik konservasi tanah, pemanenan air hujan, atau investasi di bidang infrastruktur yang tahan iklim.

4) Identifikasi pemangku kepentingan

Identifikasi pemangku kepentingan yang terlibat dalam sektor pangan, termasuk petani, pabrik pengolahan, distributor, dan konsumen. Libatkan mereka dalam proses perencanaan untuk memastikan bahwa strategi yang dikembangkan praktis dan efektif.

5) Membangun sistem pemantauan dan peringatan dini

Membangun sistem pemantauan dan peringatan dini yang dapat memberikan informasi yang tepat waktu dan akurat tentang risiko terkait cuaca. Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan alat pemantau cuaca, seperti satelit atau stasiun cuaca, atau bekerja

sama dengan peneliti dan universitas untuk mengembangkan sistem peringatan dini berbasis masyarakat.

#### 6) Membangun kapasitas

Membangun kapasitas di antara para pemangku kepentingan untuk mengimplementasikan rencana pengurangan risiko bencana. Hal ini dapat dilakukan dengan memberikan pelatihan mengenai praktik-praktik pertanian yang tahan terhadap perubahan iklim, atau membangun kemitraan dengan organisasi-organisasi yang dapat memberikan bantuan dan dukungan teknis.

#### 7) Evaluasi dan perbaikan

Mengevaluasi efektivitas rencana pengurangan risiko bencana secara berkala dan merevisinya sesuai kebutuhan untuk memastikan bahwa rencana tersebut tetap relevan dan efektif.

Pengembangan rencana pengurangan risiko bencana (*disaster risk reduction*) di Indonesia, yang memberikan informasi mengenai strategi nasional dan rencana-rencana khusus sektoral, mencakup berbagai bencana, termasuk banjir, gempa bumi, tanah longsor, dan risiko-risiko lain yang berhubungan dengan iklim telah dibuat untuk memberikan wawasan tentang tantangan dan peluang untuk pengurangan risiko bencana di Indonesia, termasuk pendekatan berbasis masyarakat, peningkatan kapasitas, dan sistem peringatan dini (BNPB, 2018; Ministry of Agriculture, 2017; IFRC, 2019, UNDP, 2018).

### 7. Penelitian dan Inovasi

Penelitian dan inovasi perlu didukung untuk mengembangkan varietas tanaman baru, pengembangan teknologi praktis spesifik lokasi, model prakiraan cuaca, dan praktik-praktik yang lebih baik untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi iklim. Perlu dilakukan kerja sama terus-menerus antara universitas (khususnya yang terbaik di sektor pertanian) dengan BRIN, BMKG, serta kelembagaan penelitian lainnya baik di tingkat nasional maupun internasional, petani, penyuluh, pemerintah lokal dan nasional untuk membangun sistem pertanian yang tangguh dalam menghadapi perubahan iklim.

### C. Kearifan Lokal Indonesia untuk Adaptasi terhadap Perubahan Iklim

Praktik-praktik kearifan lokal Indonesia dalam adaptasi terhadap perubahan iklim merupakan sumber pengetahuan dan inspirasi yang berharga untuk pertanian berkelanjutan di era perubahan iklim. Indonesia memiliki warisan pertanian yang kaya dan sejarah panjang dalam beradaptasi dengan perubahan kondisi lingkungan. Kearifan lokal tersebut bila dikaji lebih mendalam merupakan bentuk praktik-praktik dari CSA, tetapi belum dilaksanakan secara serius karena berbagai keterbatasan, seperti permodalan dan kelembagaan karena itu diperlukan kajian dan penelitian bagaimana pengembangan praktik-praktik CSA tersebut yang menyesuaikan dengan kondisi lokal. Lipper et al. (2014) menyebutkan bahwa CSA bukanlah teknologi baru tapi merupakan sebuah pendekatan dalam memadukan teknologi yang ada dan memperhatikan semua indikator CSA. Bai et al. (2019) menyebutkan bahwa dalam implementasi CSA sangat penting untuk mempertimbangkan kondisi lokal seperti kondisi iklim, tanah, dan manajemen usaha tani serta kondisi sosial ekonomi dan budaya lokal. Praktik-praktik CSA yang digali dari kearifan lokal akan lebih mudah untuk diadopsi dan dikembangkan.

Adapun beberapa praktik kearifan lokal di Indonesia yang biasa dilakukan dan dapat dikategorikan dalam praktik CSA yang dapat digunakan untuk adaptasi perubahan iklim, antara lain

#### 1) Agroforestri/wanatani

Merupakan sistem pertanian yang melibatkan penanaman pohon dan tanaman pangan, atau melibatkan ternak secara bersamaan dengan cara yang saling menguntungkan. Praktik ini memberikan banyak manfaat, seperti penyerapan karbon yang lebih tinggi per satuan luas lahan dan meningkatkan kesuburan, memberikan naungan, konservasi tanah dan mengurangi erosi tanah, serta konservasi keanekaragaman hayati (Hairiah et al., 2010; Mardiasuti & Nurrochmat, 2019; Roshetko et al., 2014). Melalui praktik agroforestri, petani dapat mengurangi risiko gagal panen akibat cuaca ekstrem, seperti angin

kencang, kekeringan, atau banjir. Di Indonesia, sistem wanatani telah digunakan selama berabad-abad, dengan berbagai kombinasi pohon dan tanaman tergantung pada kondisi dan kebutuhan setempat. Salah satu sistem wanatani yang sukses di Indonesia adalah kebun campuran (*mixed garden*), yang melibatkan penanaman pohon buah-buahan, sayuran, dan rempah-rempah secara bersamaan di sebidang tanah yang sama. Sistem ini umum dilakukan di banyak daerah di Indonesia, terutama di Jawa, dan dikenal karena kemampuannya untuk menghasilkan volume panen yang lebih tinggi per satuan luas lahan dengan menggunakan sumber daya yang terbatas. Sistem kebun campuran telah terbukti memiliki beberapa manfaat, termasuk meningkatkan kesuburan tanah, meningkatkan keanekaragaman hayati, dan meningkatkan ketahanan pangan. Penelitian juga menunjukkan bahwa kebun campuran dapat menjadi sumber pendapatan yang signifikan bagi petani skala kecil, terutama jika digabungkan dengan kegiatan bernilai tambah seperti pengolahan dan pemasaran produk.

Sistem wanatani lain yang berhasil di Indonesia adalah sistem tumpang sari, yang melibatkan tumpang sari tanaman tahunan dengan tanaman keras seperti pohon buah-buahan atau pohon kayu. Sistem ini umumnya digunakan di perkebunan kopi di Sumatra dan telah terbukti meningkatkan kesuburan tanah, mengurangi serangan hama dan penyakit, dan meningkatkan hasil panen secara keseluruhan. Seperti yang dilaporkan Sarvina et al. (2022), petani kopi robusta di Lampung Barat telah secara turun-temurun melakukan praktik wanatani dengan beberapa varietas tanaman, seperti dengan tanaman pohon lindung, tanaman hortikultura (cabai dan pisang), dan tanaman perkebunan lainnya, seperti lada.

Selain manfaat bagi petani, sistem wanatani di Indonesia juga memiliki manfaat bagi lingkungan, seperti mitigasi perubahan iklim melalui penyerapan karbon dan mengurangi deforestasi dan degradasi lahan (sinergi adaptasi dengan mitigasi). Hal ini juga dibuktikan oleh penelitian Sarvina et al. (2022). Dari model simulasi dengan menggunakan model terbukti bahwa wanatani kopi dengan berbagai macam tanaman mampu meningkatkan produktivitas dan penda-

patan, efisiensi pemanfaatan air dan lahan serta mampu mengikat karbon paling tinggi.

#### 2) Budi daya padi-ikan (mina padi)

Mina padi-ikan adalah sistem pertanian tradisional di Indonesia yang melibatkan penanaman padi dan ikan di lahan yang sama. Praktik ini dapat membantu petani beradaptasi terhadap perubahan iklim dengan menyediakan sumber pendapatan tambahan dan mengurangi risiko gagal panen akibat banjir atau kekeringan. Ikan juga dapat membantu mengendalikan hama dan gulma, sehingga mengurangi kebutuhan pestisida dan herbisida.

#### 3) Pengelolaan air

Indonesia memiliki pengalaman sangat baik dalam praktik pengelolaan air yang dapat digunakan untuk beradaptasi dengan perubahan iklim. Sebagai contoh, petani di Bali menggunakan sistem saluran irigasi dan terasering untuk menghemat air dan mencegah erosi tanah (sistem subak). Dengan mengadopsi praktik-praktik ini, petani dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan mengurangi risiko gagal panen akibat kekeringan.

#### 4) Varietas tanaman tradisional

Indonesia memiliki keanekaragaman varietas tanaman tradisional yang beradaptasi dengan baik terhadap kondisi lingkungan setempat. Varietas tanaman ini telah berevolusi selama berabad-abad untuk mengatasi kondisi iklim setempat, seperti kekeringan, banjir, atau hama dan penyakit. Dengan melestarikan dan membudidayakan varietas tanaman tradisional, petani dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi iklim dan mempertahankan warisan pertanian mereka. Budi daya berbagai jenis tanaman tradisional di dalam satu lahan, diversifikasi tanaman, merupakan aktivitas pertanian yang biasa dilakukan di perdesaan di Indonesia yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas, mengurangi risiko hama dan penyakit, serta meningkatkan kesehatan tanah. Di Indonesia, diversifikasi tanaman telah digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada satu jenis tanaman dan meningkatkan ketahanan pangan (Gafur et al., 2017).



#### 5) Pengendalian hama terpadu (PHT)

PHT adalah sebuah pendekatan pengendalian hama yang menggabungkan metode biologi, budi daya, dan kimiawi untuk meminimalisasi penggunaan pestisida sekaligus mempertahankan produktivitas tanaman. Di Indonesia, PHT telah berhasil diterapkan pada budi daya padi, mengurangi penggunaan pestisida hingga 50% dan meningkatkan hasil panen 10%–30% (Settle et al., 1996). Secara tradisional petani di beberapa daerah juga telah mengaplikasi pestisida nabati yang dibuat sendiri.

#### 6) Pengelolaan sumber daya alam berbasis masyarakat

Di banyak komunitas perdesaan di Indonesia, sumber daya alam seperti hutan, sumber air, dan perikanan dikelola secara kolektif oleh masyarakat setempat. Praktik ini membantu melestarikan sumber daya alam dan mempertahankan mata pencaharian masyarakat setempat. Dengan mengadopsi praktik pengelolaan sumber daya alam berbasis masyarakat, petani dapat beradaptasi dengan perubahan kondisi iklim dan mengurangi risiko gagal panen akibat penipisan sumber daya alam.

### **D. CSA Merupakan Praktik Pertanian Menuju *Zero Emission***

Selain adaptasi, tujuan utama penerapan pertanian cerdas iklim adalah mengurangi atau menghilangkan emisi gas rumah kaca dari praktik pertanian untuk mitigasi perubahan iklim akibat meningkatnya GRK di atmosfer, dengan menggunakan teknologi yang tersedia, murah, dan mudah dilakukan. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mencapai target *zero emission* pada praktik pertanian, di antaranya sebagai berikut.

#### 1) Mengurangi pengolahan tanah (*minimum tillage*)

Sistem pengolahan tanah yang minimum dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dengan mengurangi jumlah gangguan pada tanah dan mengurangi kehilangan karbon dari permukaan

tanah. Pendekatan ini juga dapat meningkatkan kesehatan tanah, retensi air, dan ketersediaan nutrisi.

2) Pertanian presisi (*precision farming*)

Teknologi pertanian presisi dapat membantu mengoptimalkan input produksi tanaman, mengurangi limbah, dan meningkatkan hasil panen sehingga secara keseluruhan dapat mengurangi emisi GRK per unit makanan yang dihasilkan.

3) Wanatani/agroforestri

Wanatani melibatkan integrasi pohon dengan tanaman dan/atau ternak. Pendekatan ini dapat menyerap karbon di pohon dan tanah, mengurangi erosi, dan memberikan manfaat lingkungan lainnya.

4) Pengelolaan ternak

Ternak merupakan sumber emisi gas rumah kaca yang signifikan, terutama metana. Perbaikan dalam pengelolaan ternak, termasuk perubahan dalam praktik pemberian pakan dan pengembangbiakan, dapat membantu mengurangi emisi ini.

5) Penggunaan energi terbarukan

Penggunaan sumber energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, dan bioenergi dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca dari lahan dan wilayah pertanian.

6) Penggunaan lahan yang berkelanjutan

Praktik-praktik penggunaan lahan yang berkelanjutan seperti pertanian konservasi dan rotasi tanaman dapat membantu mengurangi erosi tanah, meningkatkan kesehatan tanah, dan menyerap karbon lebih besar.

Dengan mengadopsi praktik-praktik ini dan praktik-praktik pertanian cerdas iklim lainnya, kita dapat bergerak menuju pertanian tanpa emisi sambil mempertahankan ketahanan pangan dan mempromosikan pembangunan berkelanjutan.

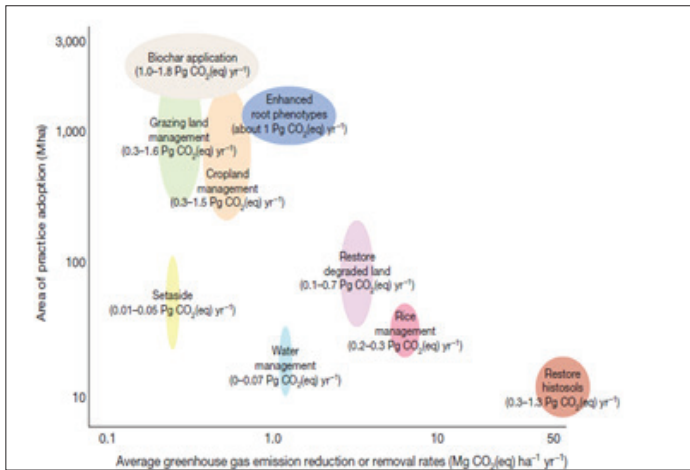
## E. Pengurangan Pengolahan Tanah (*Reduced Tillage*)

Pengurangan pengolahan tanah (*reduced tillage*) merupakan komponen kunci dari pertanian cerdas iklim (CSA) karena dapat membantu mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK), meningkatkan kesehatan tanah, dan meningkatkan ketahanan terhadap perubahan iklim. Pengolahan tanah adalah proses penyiapan tanah untuk penanaman dengan cara mengolah permukaan tanah dan mencampurkan bahan organik ke dalam lapisan tanah. Namun, pengolahan tanah yang berlebihan dapat menyebabkan degradasi tanah, erosi, dan hilangnya bahan organik, yang dapat mengurangi kesuburan dan produktivitas tanah. Sebaliknya, pengolahan tanah yang minimum dengan mengurangi jumlah gangguan tanah selama persiapan lahan dan penanaman, sambil mempertahankan tutupan tanah dan melestarikan bahan organik tanah. Hal ini dapat dicapai melalui berbagai metode, seperti menggunakan peralatan tanpa pengolahan tanah (*no-tillage*) atau pengolahan tanah minimum (*minimum tillage*), menggunakan tanaman penutup (*cover crop*), melakukan rotasi tanaman, dan tumpang sari.

Dengan mengurangi gangguan pada tanah, pengolahan tanah minimum dapat membantu melestarikan struktur tanah dan mengurangi hilangnya bahan organik, yang dapat meningkatkan kesehatan dan kesuburan tanah. Hal ini juga dapat mengurangi jumlah energi yang dibutuhkan untuk persiapan lahan, serta emisi gas rumah kaca seperti karbon dioksida dan nitrogen oksida, yang terkait dengan pengolahan tanah. Selain manfaat terhadap lingkungan, pengurangan pengolahan tanah juga dapat memberikan manfaat ekonomi bagi petani, seperti berkurangnya biaya tenaga kerja dan mesin, hasil panen yang lebih baik, dan peningkatan ketahanan terhadap variabilitas cuaca dan perubahan iklim.

FAO mempromosikan pengurangan pengolahan tanah sebagai praktik utama dalam CSA, dan memberikan bantuan teknis kepada petani dan pemangku kepentingan lainnya untuk menerapkan praktik pengolahan tanah yang lebih sedikit. FAO juga mendukung

pengembangan kebijakan dan strategi yang mempromosikan pengurangan pengolahan tanah dan praktik CSA lainnya, sebagai bagian dari mandatnya yang lebih luas untuk mempromosikan pertanian dan sistem pangan berkelanjutan. Beberapa praktik pengolahan tanah dan kemampuan dalam pengurangan emisi ditunjukkan oleh Gambar 11.2.



Sumber: Paustian et al. (2016)

**Gambar 11.2** Teknologi dan Potensi Rata-Rata Pengurangan Emisi

## F. Pertanian Presisi (*Precision Farming*)

Pertanian presisi adalah suatu bentuk pertanian yang menggunakan teknologi untuk mengoptimalkan produksi pertanian sekaligus mengurangi limbah dan meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan. Di sisi lain, pertanian cerdas iklim berfokus pada praktik pertanian berkelanjutan yang tahan terhadap perubahan iklim dan mengurangi emisi gas rumah kaca. Dengan menggabungkan pertanian presisi dengan pertanian cerdas iklim, petani dapat mencapai sistem pertanian tanpa emisi yang memaksimalkan hasil panen sekaligus meminimalkan dampak lingkungan. Beberapa praktik dan teknologi

utama yang dapat digunakan dalam pertanian presisi untuk mencapai nol emisi dalam pertanian cerdas iklim meliputi sebagai berikut.

- 1) Mengurangi pengolahan tanah: praktik pengolahan tanah konvensional dapat melepaskan karbon yang tersimpan di dalam tanah dan berkontribusi terhadap emisi GRK. Teknik pertanian presisi seperti tanpa pengolahan tanah atau mengurangi pengolahan tanah dapat meminimalkan gangguan pada tanah dan mengurangi emisi karbon.
- 2) Irigasi presisi: praktik irigasi tradisional bisa jadi boros air dan boros energi, yang menyebabkan emisi GRK dari penggunaan energi dan pemompaan air. Pertanian presisi dapat mengoptimalkan irigasi, menggunakan sensor dan data untuk menentukan kapan dan berapa banyak air yang dibutuhkan, sehingga mengurangi penggunaan energi dan emisi GRK. Dengan menggunakan sensor dan analisis data, petani dapat mengoptimalkan jumlah air yang digunakan dalam irigasi untuk mengurangi pemborosan air dan konsumsi energi.
- 3) Pemupukan presisi: penggunaan pupuk nitrogen yang berlebihan dapat menyebabkan emisi dinitrogen oksida, salah satu gas rumah kaca yang kuat. Pertanian presisi dapat membantu petani menerapkan jumlah nutrisi yang tepat berdasarkan kondisi tanah dan kebutuhan tanaman sehingga mengurangi penggunaan pupuk dan emisi terkait. Dengan menggunakan sensor tanah dan analitik data, petani dapat menentukan jumlah pupuk yang tepat yang dibutuhkan untuk setiap tanaman, mengurangi penggunaan pupuk yang berlebihan, dan meminimalkan limpasan hara ke saluran air.
- 4) Rotasi tanaman: dengan merotasi tanaman, petani dapat mengurangi erosi tanah, meningkatkan kesehatan tanah, dan mengurangi kebutuhan akan input kimia.
- 5) Tanaman penutup (*cover crop*): menanam tanaman penutup tanah dapat membantu mencegah erosi tanah, mengurangi limpasan hara, dan meningkatkan kesehatan tanah.

- 6) Pengelolaan hama terpadu: praktik pengelolaan hama tradisional, seperti penyemprotan pestisida, dapat berkontribusi terhadap emisi GRK. Pertanian presisi dapat membantu petani menggunakan kombinasi teknik, termasuk kontrol biologis dan rotasi tanaman, untuk mengurangi penggunaan pestisida dan emisi terkait. Dengan menggunakan kombinasi metode pengendalian hama, termasuk pengendalian biologis dan rotasi tanaman, petani dapat mengurangi penggunaan pestisida kimia, yang dapat berdampak negatif terhadap lingkungan.
- 7) Energi terbarukan: dengan menggunakan sumber energi terbarukan, seperti panel surya, tenaga air atau turbin angin untuk menjalankan operasi pertanian, petani dapat mengurangi emisi gas rumah kaca dari penggunaan bahan bakar fosil dan menghemat biaya energi.

Besarnya penurunan emisi dengan pengolahan tanah melalui praktik CSA disampaikan oleh Paustian et al. (2016). Irigasi presisi, misalnya dengan penerapan *intemitten* (irigasi terputus) pada budi daya padi di lahan irigasi, mampu menghemat penggunaan air dan mampu menurunkan emisi. Sistem irigasi terputus ini dapat menurunkan emisi CH<sub>4</sub> sebesar 33,18% dan potensi pengurangan GRK global 34,9% (Utaminingsih & Hidayah, 2012). Pemupukan yang presisi seperti dengan pendekatan *variable rate fertelizer* mampu menurunkan emisi dibandingkan sistem pemupukan konvensional (Jovarauskas et al., 2021). Rotasi pertanaman yang tepat dapat meningkatkan kandungan organik tanah dan menurunkan emisi (Yang et al., 2022). Namun, diperlukan berbagai kajian untuk menemukan pola rotasi pertanaman yang sesuai untuk setiap wilayah. Dampak pengurangan emisi pada penggunaan *cover crop* pada budi daya pertanian telah dilaporkan oleh berbagai penelitiannya (Quintarelli et al., 2022; Zhang et al., 2024).

Dengan menerapkan teknik pertanian presisi di atas, petani dapat mengoptimalkan praktik pertanian mereka, mengurangi limbah dan meningkatkan efisiensi, sekaligus mengurangi emisi gas rumah

kaca. Hal ini dapat berkontribusi pada sistem pertanian yang lebih berkelanjutan dan tahan terhadap perubahan iklim.

Pertanian presisi melibatkan penggunaan teknologi dan data (iklim, tanaman, tanah, input produksi, pertumbuhan dan perkembangan tanaman, tenaga kerja, dan pasar) untuk mengoptimalkan praktik pertanian dan meningkatkan efisiensi dan keuntungan petani. Berikut adalah beberapa langkah untuk mencapai pertanian presisi.

#### 1) Koleksi data

Petani dapat menggunakan sensor, *drone* (pesawat tanpa awak), satelit, kamera, dan pengamatan langsung untuk mengumpulkan data tentang kondisi tanah, pola cuaca, pertumbuhan tanaman, organisme pengganggu tanaman, produksi, termasuk data untuk informasi harga dan permintaan terhadap produk. Data ini dapat digunakan untuk membuat keputusan yang tepat tentang kapan dan bagaimana menanam, mengairi, memupuk, penanganan OPT, memanen tanaman, penyimpanan/*storage*, dan distribusi.

#### 2) Analisis data

Petani dapat menggunakan perangkat lunak dan alat analisis untuk menganalisis data yang mereka kumpulkan, mengidentifikasi pola dan tren yang dapat menginformasikan keputusan tentang praktik pertanian, pemanenan, penyimpanan, dan distribusi.

#### 3) Menciptakan zona manajemen

Petani dapat menggunakan data yang mereka kumpulkan untuk membuat zona pengelolaan, yang merupakan area pertanian dengan kondisi tanah, air, dan kondisi lainnya yang serupa. Zona-zona ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan penanaman, pemupukan, dan praktik-praktik lainnya, yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik setiap zona.

#### 4) Gunakan peralatan presisi

Pertanian presisi membutuhkan peralatan khusus, seperti traktor, penanam, dan penyemprot yang dipandu GPS untuk menerapkan

*input* dengan akurat dan efisien. Alat-alat ini dapat membantu petani mengurangi limbah, menghemat waktu dan tenaga kerja, serta meningkatkan hasil panen.

#### 5) Membuat keputusan yang tepat

Dengan menggunakan data dan alat analisis, petani dapat membuat keputusan yang tepat tentang praktik pertanian, mengoptimalkan input dan mengurangi limbah, serta pemasaran yang tepat sasaran. Hal ini dapat membantu meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya, dan meningkatkan hasil panen dan keuntungan.

#### 6) Monitoring dan penyesuaian secara terus-menerus

Pertanian presisi adalah proses berkelanjutan yang membutuhkan pemantauan dan penyesuaian terus menerus. Petani dapat menggunakan sensor (iklim, tanah, tanaman), drone, dan teknologi lainnya, termasuk *internet of thing* (IoT) untuk memantau pertumbuhan dan kondisi tanaman, menyesuaikan input yang diperlukan untuk mengoptimalkan hasil panen, penyimpanan, dan distribusi yang tepat serta mengurangi limbah.

### G. Penghitungan Emisi dari Aktivitas Pertanian

Menghitung apakah suatu kegiatan pertanian dapat menurunkan emisi atau menghasilkan emisi GRK nol dapat menjadi proses yang rumit karena memerlukan kuantifikasi dan pertimbangan semua input dan output yang terkait dengan kegiatan tersebut, atau dengan kata lain perlu dilakukan *life cycle assessment* (LCA) dari kegiatan sistem pertanian dari hulu-hilir sehingga memudahkan dalam pengambilan keputusan intervensi yang diperlukan. Berikut adalah beberapa langkah yang dapat dilakukan untuk kuantifikasi atau memperkirakan emisi GRK dari kegiatan pertanian.

#### 1) Mengidentifikasi semua *input*

Langkah pertama adalah mengidentifikasi semua input yang terkait dengan kegiatan pertanian, termasuk penggunaan energi, penggunaan pupuk, penggunaan air, transportasi, dan *input* lainnya.



2) Hitung emisi yang terkait dengan *input*

Setelah semua *input* diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah menghitung emisi yang terkait dengan setiap *input*. Sebagai contoh, emisi yang terkait dengan penggunaan energi dapat dihitung berdasarkan jenis dan jumlah energi yang digunakan serta faktor emisi untuk jenis energi tersebut.

3) Mengidentifikasi semua keluaran

Langkah selanjutnya adalah mengidentifikasi semua keluaran yang terkait dengan kegiatan pertanian, termasuk hasil panen, limbah, dan emisi yang dilepaskan dari tanah, air atau sumber lainnya.

4) Hitung emisi yang terkait dengan keluaran

Setelah semua keluaran diidentifikasi, langkah selanjutnya adalah menghitung emisi yang terkait dengan setiap keluaran. Sebagai contoh, emisi yang terkait dengan limbah dapat dihitung berdasarkan jenis dan jumlah limbah serta faktor emisi untuk jenis limbah tersebut.

5) Membandingkan *input* dan *output*

Langkah terakhir adalah membandingkan emisi yang terkait dengan *input* dan *output*. Jika emisi yang terkait dengan *input* sama dengan atau kurang dari emisi yang terkait dengan *output* maka kegiatan budi daya dapat dianggap menghasilkan emisi nol.

Penting untuk dicatat bahwa menghitung emisi yang terkait dengan kegiatan pertanian dapat menjadi rumit dan memerlukan keahlian khusus. Terdapat banyak faktor yang dapat memengaruhi emisi, termasuk pola cuaca, kondisi tanah, jenis, umur tanaman, dan pola pengelolaan lahan pertanian. Oleh karena itu, penting untuk berkonsultasi dengan para ahli dan menggunakan alat dan metodologi yang tepat untuk menghitung emisi secara akurat dan menentukan apakah suatu kegiatan pertanian berhasil mencapai *zero emission*.

## H. Contoh Praktik CSA: Sistem Produksi Kopi di Kabupaten Lampung Barat

Lampung Barat merupakan salah satu sentra kopi robusta nasional Indonesia. Secara ekonomi, perkebunan kopi berperan penting dalam pengembangan ekonomi wilayah Kabupaten Lampung Barat dengan PDRB 24,82% (Balitbangda Lampung Barat, 2018). Produktivitas kopi di wilayah ini sangat dipengaruhi variabilitas iklim (Sarvina et al., 2021) dan pada masa yang akan datang kesesuaian iklim untuk tanaman kopi diproyeksikan akan terus menurun sebagai dampak dari perubahan iklim (Sarvina et al., 2022b). Untuk keberlanjutan sistem produksi di Lampung Barat maka praktik-praktik CSA harus dikembangkan. Secara umum petani di Kabupaten Lampung Barat telah mempraktikkan teknologi CSA, tetapi belum dilaksanakan dengan manajemen yang baik dan belum pernah dilakukan kuantifikasi teknologi tersebut.

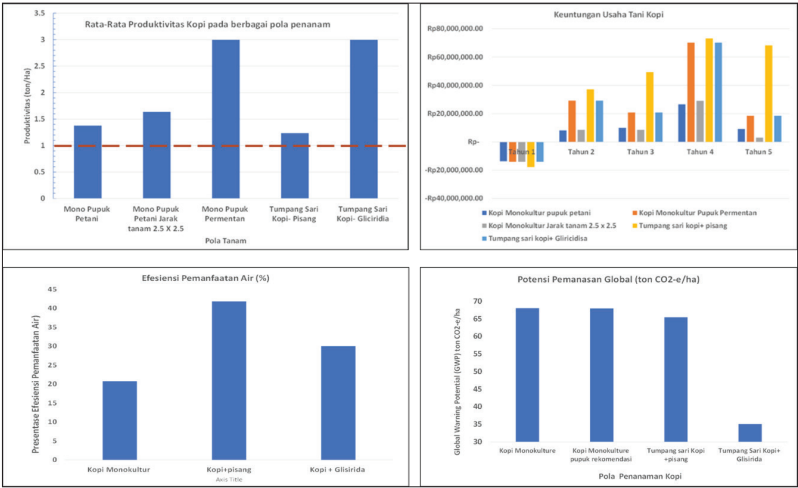


Foto: Tania June dan Yeli Sarvina (2022)

**Gambar 11.3** Sistem Tumpang Sari Kopi dan Pisang di Lampung Barat

Salah satu praktik CSA yang diangkat dalam studi kasus ini adalah sistem tumpang sari kopi dan pisang serta kopi dan tanaman pohon. Praktik ini telah banyak dilakukan petani kopi terutama semenjak La Niña 2010 di mana pada saat ini produksi kopi sangat anjlok sehingga untuk meningkatkan kapasitas petanian maka dilakukan tumpang sari kopi dan pisang. Dampak dari praktik ini dilihat dari tiga pilar CSA, yaitu pilar pertama produktivitas dilihat dari produksi dan keuntungan usaha tani, pilar adaptasi dan ketahanan dilihat dari efisiensi pemanfaatan air dan lahan, dan pada pilar mitigasi adalah net emisi.

Dari Gambar 11.4 terlihat bahwa sistem tumpang sari kopi dan pisang memberikan dampak lebih baik pada semua pilar CSA dibandingkan penanaman kopi dengan sistem konvensional (monokultur). Kajian ini menunjukkan bahwa CSA bukanlah teknologi baru. CSA dapat diangkat dari nilai lokal dan kearifan lokal, tetapi perlu diangkat dan dikembangkan dengan sistem manajemen yang lebih baik.



Sumber: Sarvina et al. (2022a)

**Gambar 11.4** Indikator CSA pada Setiap Pilar CSA

## I. Penutup

Indonesia telah menetapkan tujuan-tujuan yang ambisius untuk keberlanjutan yang berkaitan dengan produksi dan konsumsi makanan, air, dan energi. Tujuan-tujuan ini akan dicapai dengan mendukung pemberdayaan dan peningkatan kapasitas, peningkatan penyediaan layanan dasar di bidang kesehatan, serta mitigasi dan adaptasi yang komprehensif dan strategi pengurangan risiko bencana (UNFCCC, 2022). Adaptasi perubahan iklim di Indonesia sebagian besar akan berfokus pada pencegahan banjir dan kekeringan, serta ketahanan pangan dan sumber daya air. Beberapa strategi adaptasi yang akan sangat bermanfaat bagi Indonesia termasuk penguatan infrastruktur untuk meningkatkan ketahanan dan kekuatan ketika menghadapi banjir atau kekeringan, pembentukan sistem peringatan dini, praktik pertanian yang berkelanjutan dan adaptif, serta asuransi bencana. Strategi penting lainnya adalah pencegahan perubahan iklim, yang berfokus pada pentingnya mengurangi emisi, dan dengan demikian mengurangi tingkat keparahan perubahan iklim pada masa depan (UNEP, 2018). Beberapa strategi adaptasi yang akan sangat bermanfaat bagi Indonesia antara lain penguatan infrastruktur untuk meningkatkan ketahanan dan kekokohan saat menghadapi banjir atau kekeringan, pembentukan sistem peringatan dini, praktik pertanian yang berkelanjutan dan adaptif, serta asuransi bencana (UNEP, 2018).

Untuk memitigasi emisi gas rumah kaca dari sektor pertanian, Indonesia dapat mempromosikan penggunaan sumber energi terbarukan, seperti energi matahari dan angin, mengurangi penggunaan pupuk dan pestisida sintetis, dan mendorong adopsi praktik-praktik pertanian yang cerdas iklim, seperti wanatani/agroforestri, pertanian konservasi, dan rotasi tanaman (OECD, 2018).

Praktik pertanian berkelanjutan melalui pertanian cerdas iklim adalah praktik pertanian yang menjaga atau meningkatkan kesehatan tanah, melestarikan sumber daya alam, mengurangi (menuju *zero emission*) emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan keanekaragaman hayati sambil memastikan keberlangsungan ekonomi dan kesejahteraan sosial. Dengan menerapkan strategi-strategi tersebut, sektor

pangan dapat meningkatkan ketahanannya terhadap perubahan iklim dan terus menyediakan ketahanan pangan bagi masyarakat dan secara bersamaan memberikan kontribusi terhadap penurunan GRK dari sektor pertanian.

## Referensi

- Anggono, T., Kusumadewi, S., & Utomo, P. (2018). A review of disaster early warning system in Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1025(1), 012017.
- Badriyah, N., Ismoyo, H. W., & Nurhayati, A. (2020). Assessment of farmers' perception and adaptation to climate change in rice farming. *Journal of Physics: Conference Series*, 1463(1), 012039
- Bai, X., Huang, Y., Ren, W., Coyne, M., Jacinthe, P., Tao, B., Hui, D., Yang, J., & Matocha, C. (2019). Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 25(8), 2591–2606. <https://doi.org/10.1111/gcb.14658>
- Bai, X., Huang, Y., Ren, W., Coyne, M., Jacinthe, P. A., Tao, B., Hui, D., Yang, J., & Matocha, C. (2019). Responses of soil carbon sequestration to climate-smart agriculture practices: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 25(8), 2591–2606. <https://doi.org/10.1111/gcb.14658>.
- Balitbangda Lampung Barat. (2018). *Kajian komoditas unggulan kecamatan se Kabupaten Lampung Barat*. Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Lampung Barat.
- BMKG. (2015). *Early warning system: strategy and plan of action for disaster risk reduction in Indonesia*.
- BNPB. (2018). *National disaster risk reduction strategy*.
- Dercon, G., Titttonell, P., Wijk, M. T. V., Klapwijk, C. J., Baltenweck, I., & Zingore, S. (2019). Conservation agriculture in the Colombian Andes: Long-term effects on soil carbon stocks and crop yields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 279, 111–121. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2019.04.027>
- Derpsch, R., Friedrich, T., Kassam, A., & Li, H. (2010). Current status of adoption of no-till farming in the world and some of its main benefits. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 3(1), 1–25.

- Farooq, M., & Siddique, K. (2015). Conservation agriculture: Concepts, brief history, and impacts on agricultural systems. Dalam M. Farooq & K. Siddique (Ed.), *Conservation agriculture* (1–17). Springer.
- Fitriani, R. A., Putri, A. S., & Yusuf, M. (2018). Early warning system for flash flood in Indonesia. *Dalam IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 175, Artikel 012088). IOP Publishing.
- Govaerts, B., Verhulst, N., Castellanos-Navarrete, A., Sayre, K. D., Dixon, J., & Dendooven, L. (2009). Conservation agriculture and soil carbon sequestration: Between myth and farmer reality. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 28(2), 97–122.
- Hairiah, K., Dewi, S., Agus, F., Velarde, S. J., & Ekadinata, A. (2010). Agroforestry for sustainable land-use: Fundamental research and its implementation in Indonesia. *Agroforestry Systems*, 80(2), 259–268.
- Hobbs, P. R., Sayre, K., & Gupta, R. (2008). The role of conservation agriculture in sustainable agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 363(1491), 543–555.
- International Federation of Red Cross and Red Crescent Societies (IFRC). (2019). *Community-based disaster risk reduction in Indonesia*. IFRC.
- Jovarauskas, D., Steponavičius, D., Kemzūraitė, A., Zinkevičius, R., & Venslauskas, K. (2021). Comparative analysis of the environmental impact of conventional and precision spring wheat fertilization under various meteorological conditions. *Journal of Environmental Management*, 296, 113150.
- June, T., & Sarvina, Y. (2023). *Strategi mempertahankan produksi pertanian dalam menghadapi perubahan iklim pertanian cerdas iklim*. IPB Press.
- Lipper, L., Thornton, P., Campbell, B. M., Baedeker, T., Braimoh, A., Bwalya, M., Caron, P., Cattaneo, A., Garrity, D. P., Henry, K., Hottle, R., Jackson, L., Jarvis, A., Kossam, F., Mann, W., McCarthy, N., Meybeck, A., Neufeldt, H., Remington, T., . . . Torquebiau, E. (2014). Climate-smart agriculture for food security. *Nature Climate Change*, 4(12), 1068–1072. <https://doi.org/10.1038/nclimate2437>
- Mardiastuti, A., & Nurrochmat, D. R. (2019). Agroforestry systems in Indonesia: a review of current status and future prospects. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 20(3), 656–673.

- Mary, G. S., Sugumaran, P., Niveditha, S., Ramalakshmi, B., Ravichandran, P., & Seshadri, S. (2016). Production, characterization and evaluation of biochar from pod (*Pisum sativum*), leaf (*Brassica oleracea*) and peel (*Citrus sinensis*) wastes. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(1), 43–53. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0116-8>
- Ministry of Agriculture. (2017). *National agriculture disaster risk reduction and management plan*. Ministry of Agriculture.
- OECD. (2018). *Agriculture and climate change*. Diakses pada 28 Maret, 2023, dari <https://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/agriculture-and-climate-change.htm>
- Pariwono, E., Kusuma, A., & Kuntjoro, T. (2018). Raising awareness on climate change among rice farmers in Indonesia. Dalam *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 125, Artikel 012056). IOP Publishing.
- Paustian, K., Lehmann, J., Ogle, S., Reay, D., Robertson, G. P., & Smith, P. (2016). Climate-smart soils. *Nature*, 532(7597), 49–57. <https://doi.org/10.1038/nature17174>
- Quintarelli, V., Radicetti, E., Allevato, E., Stazi, S. R., Haider, G., Abideen, Z., Bibi, S., Jamal, A., & Mancinelli, R. (2022). Cover crops for sustainable cropping systems: A review. *Agriculture*, 12(12), 2076. <https://doi.org/10.3390/agriculture12122076>
- Roshetko, J. M., Purnomosidhi, P., & Pramono, A. A. (2014). Indonesian agroforestry: tree gardens for sustainable livelihoods. *Small-scale Forestry*, 13(3), 287–301.
- Sarvina, Y., June, T., Sutjahjo, S. H., Nurmalina, R., & Surmaini, E. (2022). *Pengembangan sistem pertanian berkelanjutan berbasis climate smart agriculture* [Disertasi]. Institut Pertanian Bogor.
- Sarvina, Y., June, T., Sutjahjo, S. H., Nurmalina, R., & Surmaini, E. (2022). Climatic suitability for robusta coffee in West Lampung under climate change. Dalam *IOP conference series: Earth and environmental science* (Vol. 950, Article 012015). IOP Publishing. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/950/1/012019>
- Sarvina, Y., June, T., Sutjahjo, S. H., Nurmalina, R., & Surmaini, E. (2021). The impacts of climate variability on coffee yield in five Indonesian coffee production centers. *Coffee Science*, 16. <https://doi.org/10.25186/v16i.1917>



- Settle, W. H., Ariawan, H., Astuti, E. T., Cahyana, W., Hakim, A. L., Hindayana, D., Lestari, A. S., & Pajarningsih. (1996). Managing tropical rice pests through conservation of generalist natural enemies and alternative prey. *Ecology*, 77(7), 1975–1988.
- Stella Mary, G., Sugumaran, P., Niveditha, S., Ramalakshmi, B., Ravichandran, P., & Seshadri, S. (2016). Production, characterization, and evaluation of biochar from pod (*Pisum sativum*), leaf (*Brassica oleracea*), and peel (*Citrus sinensis*) wastes. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5, 43–53. <https://doi.org/10.1007/s40093-016-0116-8>
- Suryadi, F. X., & Marwati, S. (2019). Adaptation strategies of agricultural sector towards climate change: Case study of paddy farming in Central Java, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1294(1), 012097.
- UNDP. (2018). *Building resilience to natural disasters in Indonesia*.
- UNEP. (2018). *New analysis outlines climate change adaptation strategies Indonesia*. Diakses pada 28 Maret, 2023, dari <https://www.unep.org/gan/news/editorial/new-analysis-outlines-climate-change-adaptation-strategies-indonesia>
- UNFCCC. (2022). *Enhanced nationally determined contribution Republic of Indonesia*. [https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022\\_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf](https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-09/23.09.2022_Enhanced%20NDC%20Indonesia.pdf)
- Uphoff, N. (Ed.). (2015). *Conservation agriculture in rice-based systems: Examples from practice in Southeast Asia*. World Scientific Publishing.
- Utaminingsih, W., & Hidayah, S. (2012). Mitigasi emisi gas rumah kaca melalui penerapan irigasi intermittent di lahan sawah beririgasi. *Jurnal Irigasi*, 7(2), 132–141.
- Verhulst, N., Govaerts, B., Verachtert, E., Castellanos-Navarrete, A., Mezzalama, M., Wall, P. C., Chocobar, A., Deckers, J., & Sayre, K. D. (2014). Conservation agriculture, improving soil quality for sustainable production systems. Dalam R. Lal & B. A. Stewart (Ed.), *Advances in soil science: Food security and soil quality* (137–208). CRC Press.
- Wardhana, M. G., Wijayanto, A., & Pujiyanto. (2019). Disaster early warning system in Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 36, 101078.
- Zhang, X., Sun, H., Xia, X., Yang, Z., & Zhu, S. (2024). Can a crop rotation and fallow system reduce the carbon emission intensity of agriculture? *Land*, 13(3), 293. <https://doi.org/10.3390/land13030293>.