
SINERGI DALAM PERTANIAN INDONESIA UNTUK MITIGASI DAN ADAPTASI PERUBAHAN IKLIM**Oleh****Hasanawi Masturi¹⁾, Asyrafinafilah Hasanawi²⁾ & Adib Hasanawi³⁾**¹Program Studi Agroteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Islam Nusantara²Pusat Inovasi Kota dan Komunitas Cerdas, Institut Teknologi Bandung³Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi BandungEmail: hasanawimasturi@gmail.com**Abstrak**

Mitigasi dan adaptasi dalam solusi pertanian ditargetkan terutama untuk meminimalkan polusi metana atau dinitrogen oksida atau menumbuhkan akumulasi energi tanah. Namun demikian, metode-metode tersebut berdampak pada karbon agroekosistem atau siklus nitrogen dengan mempengaruhi produksi gas rumah kaca (GRK) dan siklus mineral. Meskipun langkah-langkah mitigasi tertentu mungkin memiliki efek merugikan pada program-program adaptasi pertanian, jenis solusi adaptasi perubahan iklim lainnya memiliki proses efek mitigasi yang menguntungkan, seperti menyalurkan limbah tanaman ke tanah subur atau dengan fleksibilitas pada rotasi tanaman. Toleransi terhadap fluktuasi suhu dan curah hujan yang meningkat yang dapat membantu dalam memastikan proses produksi menjadi lebih tinggi. Hal itu dapat dilakukan dengan meningkatkan kemampuan air permukaan untuk mengangkut dan mendistribusikan unsur mineral dari tanah. Tujuan ini dapat dicapai dengan meningkatkan potensi penahan air tanah dengan menyalurkan limbah tanaman ke tanah subur atau dengan memperkenalkan fleksibilitas pada rotasi tanaman. Sinergi antara mitigasi dan adaptasi di sektor pertanian tampaknya memiliki peluang yang luas. Namun demikian, hubungan antara mitigasi dan adaptasi tidak sepenuhnya diketahui dan diharapkan kedepannya akan ada lebih banyak penelitian terkait pengukuran lebih lanjut terhadap dampak jangka pendek dan jangka panjang pada adaptasi dan mitigasi perubahan iklim pada sector pertanian. Sistem pertanian baru yang menggabungkan bioenergi dan sistem produksi pertanian perlu dibangun untuk memahami potensi maksimum pertanian dalam menghadapi perubahan iklim.

Kata Kunci: Mitigasi, Adaptasi, Pertanian & Inovasi**PENDAHULUAN**

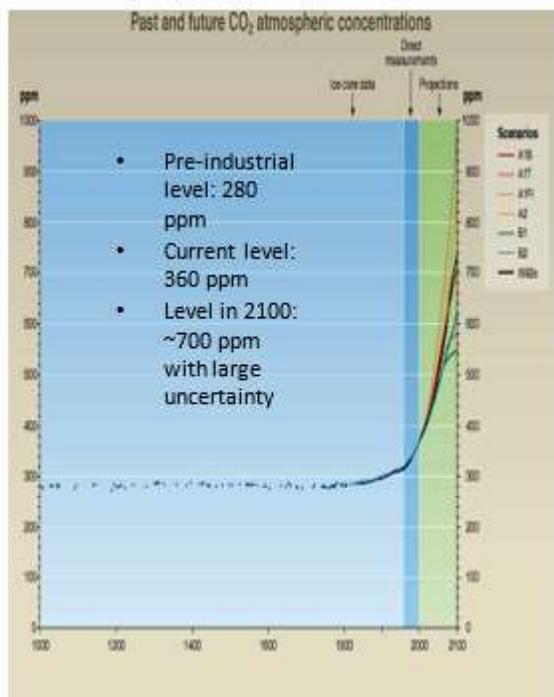
Selama satu abad terakhir, konsentrasi atmosfer dari gas rumah kaca dan pemancaran radiasi mereka terus meningkat karena aktivitas manusia. Suhu permukaan global rata-rata telah meningkat sekitar 0,6° C per tahun. Rata-rata permukaan laut global telah meningkat dan suhu pada permukaan dan di dalam laut pun meningkat. Proses keseimbangan alam menjadi bukti yang dapat menunjukkan pengaruh campur tangan manusia pada perubahan iklim global [1]. Kemudian, terdapat pula bukti baru dan lebih kuat bahwa sebagian besar pemanasan yang diamati selama 50 tahun

terakhir ini disebabkan oleh aktivitas manusia, revolusi industri, dan sebagainya [2].

Sektor pertanian mengeluarkan sejumlah besar karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan nitrous oksida (N₂O) ke atmosfer [3]. Sebagian besar CO₂ dihasilkan oleh pembusukan mikroba atau dari tanah pertanian dan pembakaran serasah tanaman. Metana dihasilkan ketika bahan organik, terutama dari hasil fermentasi pencernaan hewan ruminansia, kotoran, dan hasil pertanian yang terurai dalam kondisi anoksik. N₂O diproduksi oleh mikroba

nitrogen (N) bertransformasi di tanah dan udara terutama dalam kondisi basah ketika N yang tersedia melebihi kebutuhan tanaman. Gas rumah kaca pertanian (GRK) bersifat kompleks dan beragam, tetapi ada kemungkinan mitigasi dalam operasi intensif proses pertanian [4]. Banyak dari strategi pencegahan ini memanfaatkan teknologi canggih yang pada prinsipnya dapat diterapkan dengan cepat. Inisiatif yang signifikan diperlukan di beberapa tingkatan untuk mengatasi hambatan tersebut.

Gambar 1. Perubahan Komposisi Konsentrasi CO₂ di Atmosfer



Sumber: Hasil Analisis, 2021.

Tantangan menurunkan emisi GRK dari pertanian terkait dengan masalah lain dalam

pertanian berkelanjutan. Masalah terbesar pertanian selama abad ke-21 berhubungan dengan *supply* bahan pangan untuk bisa memberikan pangan kepada seluruh penduduk di bumi dan melestarikan tanah dan air mereka [5]. Populasi dunia diperkirakan tumbuh hingga 50% dari 6 hingga 9 miliar sejak tahun 2000 hingga 2050. Sementara itu, asupan bahan makanan per kapita terus meningkat. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan dua kali lipat asupan daging global dan asupan sereal di seluruh dunia sebesar 60 persen antara tahun 2000 dan 2050 [2]. Meskipun pertumbuhan produksi yang diharapkan ini mungkin dapat terjadi, namun akan merugikan lingkungan dan keanekaragaman hayati yang tinggi sehingga dibutuhkan tindakan guna menciptakan dan memperkenalkan sistem pertanian (dalam semua aspek) jauh lebih berkelanjutan daripada sistem saat ini.

Di masa depan, dengan memasok bioenergi sebagai pengganti bahan bakar fosil, sektor pertanian dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap mitigasi perubahan iklim, dan kenaikan harga minyak dunia yang meningkat secara drastis, termasuk industri *biofuel* pada **Tabel 1**. Karena intensifikasi penggunaan lahan pertanian yang saat ini membudidayakan tanaman bioenergi juga berpengaruh sebagai faktor yang dapat mengantisipasi meningkatkan emisi N₂O. Kemudian, terdapat urgensi terhadap keberlanjutan bioenergi yang berpotensi menjadi bahan bakar nabati [3], [4].

Tabel 1. Data Produksi Biofuel

| Negara/ Wilayah | Biodiesel | | Bioethanol | | Total Mtoe |
|-----------------|-----------|--------------------|------------|----------------|------------|
| | Mtoe | Bahan Baku | Mtoe | Feedstock | |
| Dunia | 7-56 | | 28-57 | | 36-13 |
| Indonesia | 0-30 | Kelapa Sawit | 0-00 | | 0-3 |
| Malaysia | 0-24 | Kelapa Sawit | 0-00 | | 0-2 |
| RRC | 0-08 | Minyak bekas pakai | 1-01 | Jagung, gandum | 1-1 |
| India | 0-03 | | 0-22 | Gula Tebu | 0-3 |
| Brazil | 0-25 | Kedelai | 10-44 | Gula Tebu | 15-8 |
| Canada | 0-07 | | 0-55 | Tepung | 0-6 |

| Negara/ Wilayah | Biodiesel | | Bioethanol | | Total Mtoe |
|-----------------|-----------|------------|------------|--------------------------|------------|
| | Mtoe | Bahan Baku | Mtoe | Feedstock | |
| EU | 4-52 | Rapeseed | 1-24 | Gandum, jagung, gula bit | 5-8 |
| USA | 1-25 | Kedelai | 14-55 | Jagung | 15.8 |

Sumber: Hasil Analisis, 2021.

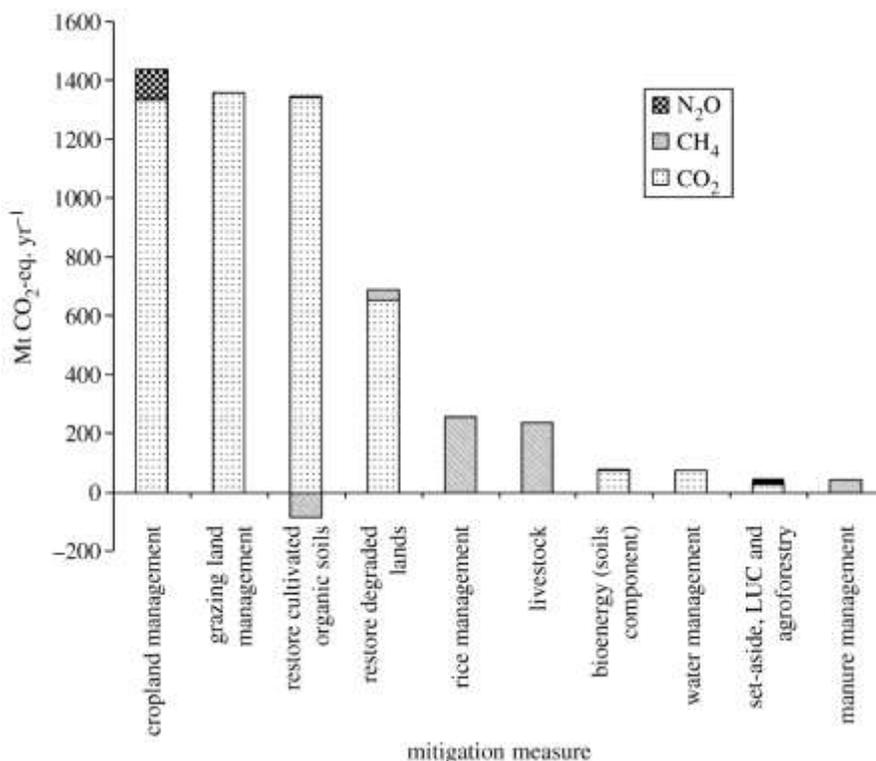
LANDASAN TEORI

Pengurangan Gas Rumah Kaca (GRK) pada Sektor Pertanian

Kegiatan pertanian dapat memberikan kontribusi yang signifikan pada peningkatan produksi karbon di dalam tanah, meminimalkan emisi GRK, dan menambah pasokan listrik biomassa **Gambar 2**. Potensi mitigasi pemanasan global (tidak termasuk kompensasi bahan bakar fosil bio-massa) untuk pertanian diharapkan dapat tercapai pada tahun 2030 atau setara CO₂/tahun antara 5500 dan 6000 Mt [6]. Pada harga karbon

hingga USD 20, USD 50, dan USD 100/t CO₂, potensi ekonomi yang diproyeksikan adalah setara 1500–1600, 2.500–2700, dan 4.000–4300 Mt CO₂ setiap tahun. Sekitar 0,70 kapasitas tersedia di negara-negara *non The Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD); 0,20 untuk negara-negara OECD; 0,10 untuk negara-negara *Economies in Transition* (EIT) atau *The Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), digambarkan sebagai perubahan ekonomi yang dikendalikan secara terpusat menjadi pasar bebas.

Gambar 2. Aktivitas Pengelolaan Pertanian Kapasitas Mitigasi Biofisik Global Pada Tahun 2030



Sumber: FAO diolah, 2020 [7]

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dan kualitatif terhadap data sekunder dari berbagai sumber terhadap kondisi di Indonesia sebagai lokasi studi terhadap mitigasi dan adaptasi bencana pertanian. Penelitian ini dilaksanakan pada bulan November 2020 hingga Januari 2021.

Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dengan didasarkan pada data sekunder tentang kondisi pertanian serta kebencanaan di Indonesia serta informasi yang dikumpulkan dalam wawancara dengan individu-individu kunci (*keyperson*) di Kementerian Pertanian, Jakarta.

Analisis Data

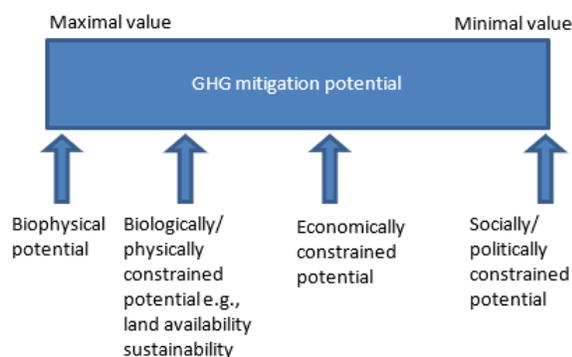
Thematic analysis merupakan salah satu cara untuk menganalisis data dengan tujuan untuk mengidentifikasi pola atau untuk menemukan tema melalui data yang telah dikumpulkan oleh peneliti [8]. Cara ini merupakan metode yang sangat efektif apabila sebuah penelitian bertujuan untuk membahas secara rinci data-data kualitatif yang mereka miliki guna menemukan keterkaitan pola-pola dalam sebuah fenomena dan menjelaskan sejauhmana sebuah fenomena terjadi melalui kacamata peneliti [9]. Bahkan *thematic analysis* ini merupakan dasar atau pondasi untuk kepentingan menganalisis dalam penelitian kualitatif [10]. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam penelitian kualitatif, dan *thematic analysis* ini sangat penting untuk dipelajari karena dianggap sebagai *core skills* atau pengetahuan dasar untuk melakukan analisa dalam penelitian-penelitian kualitatif. Bahkan lebih lanjut dapat dikatakan bahwa pengidentifikasian tema yang mejadi ciri khas *thematic analysis* ini merupakan salah satu *generic skills* bagi sebagian besar metode analisa kualitatif [11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengurangan Gas Rumah Kaca (GRK) Sektor Pertanian untuk Efektivitas Biaya

Pembuat kebijakan di tingkat nasional maupun global dapat memberikan pemahaman mengenai kebutuhan untuk menerapkan pengurangan polusi yang efektif secara komersial. Secara umum, ini melibatkan upaya untuk menyeimbangkan potensi biaya pemotongan melalui industri yang berbeda. Dengan kata lain, penting untuk terlebih dahulu menurunkan unit GRK yang termurah. Ini menunjukkan kriteria detail pada jadwal pengurangan atau kurva biaya pengurangan marjinal (*marginal abatement cost curves* (MACC)), yang menunjukkan biaya relatif untuk mitigasi gas rumah kaca (GRK) dengan pendekatan alternatif dan metode mitigasi.

Gambar 3. Dampak dari Berbagai Pembatasan pada Pengurangan Kapasitas Mitigasi GRK



Sumber: Hasil Analisis, 2021.

Banyak upaya dilakukan untuk mencapai tujuan pertanian [12], seperti pengelolaan tanah, yang menunjukkan peluang yang sangat signifikan untuk pengurangan polusi (hingga pengurangan GRK 15%) dengan kombinasi dengan harga karbon yang tidak bersahabat. Ini menggambarkan bahwa risiko dan hambatan adopsi tidak dapat ditetapkan dalam studi ekonomi ini. Risiko yang berlebihan akan terkait dengan 30% untuk konservasi tanah. Kapasitasnya semakin

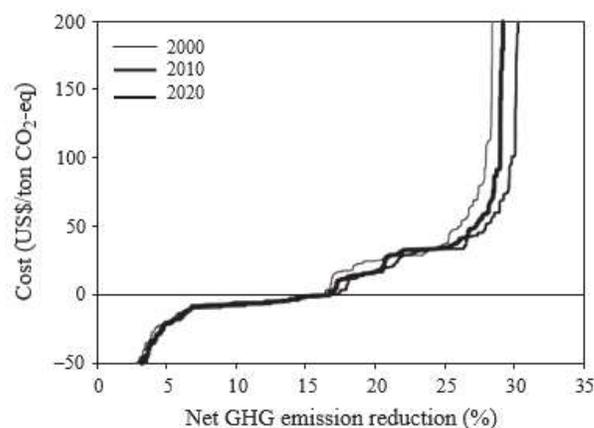
bervariasi dari waktu ke waktu sebagai fungsi dari dampak kompleks pengukuran karbon tanah.

Berdasarkan eksperimen dan estimasi terhadap MACC global yang telah dilakukan, dan eksperimen yang paling rinci adalah analisis Inggris terbaru [13]. Penelitian ini menetapkan beberapa proposal konkret untuk mengurangi kemungkinan pengurangan dari berbagai sumber yang diketahui dan tidak diungkapkan dan kemudian menyusun validitas dan penerapan pendapat ahli untuk menilai potensi penghapusan dan sejauh mana intervensi akan melengkapi bisnis seperti biasa. Informasi terkait biaya proyek juga terutama difokuskan pada masukan dari para ahli. Potensi pengurangan yang timbul dari langkah-langkah ini sangat dipengaruhi oleh tingkat intervensi yang diantisipasi. Di Inggris, penurunan signifikan dalam produksi tanaman dan tanah serta produksi ternak telah dilaporkan. Namun, MACC ini dapat sangat berbeda dari satu area dan area lainnya dalam hal pertanian dan tanah, lingkungan, dan mekanisme kerja peraturan yang ada.

Selain berbagai tingkat pengurangan yang terkait dengan adopsi, varian MACC dapat dikembangkan dengan gabungan biaya pribadi atau sosial. Karakteristik utama di sini adalah asumsi pengurangan yang berbeda dan apakah nilai pribadi atau sosial tercermin dalam analisis. Hasil dari sebagian besar MACC yang diterbitkan harus digarisbawahi dalam beberapa tindakan pencegahan. Pertama, produk sering gagal untuk memasukkan evaluasi kuantitatif dari manfaat dan biaya tambahan, yaitu efek eksternal positif dan negatif lainnya yang mungkin terjadi selama penerapan langkah-langkah pengurangan GRK. Contoh klasik adalah pengurangan polusi air yang terkait dengan penggunaan pupuk N. yang efisien. Kebutuhan untuk memperpanjang pertimbangan biaya untuk dampak pengukuran tertentu pada siklus hidup adalah tindakan pencegahan yang serupa.

Terdapat peluang ekonomi dan produksi yang besar untuk mitigasi GRK di sektor pertanian dalam tinjauan global terbaru dari potensi mitigasi pertanian [3], [4], [6], [12]. Pertanian diharapkan memiliki kapasitas mitigasi tahunan sebesar 4200, 2600, dan 1600 Mt setara CO₂/tahun pada tingkat C setara dengan 100, 50, dan 20 US \$/ton CO₂. Untuk harga C \$ 100, 50, dan \$ 20/ton CO₂, per tahun jumlah GRK yang dimitigasi sama besarnya dengan US \$ 420.000, 130.000, dan 32.000 juta [14].

Gambar 4. Prediksi MACC untuk Pengelolaan Tanah



Sumber: Smith, 2010.

Langkah-langkah Pencegahan dan Mitigasi terhadap Gas Rumah Kaca (GRK) pada Sektor Pertanian

Analisis alternatif untuk pengurangan GRK telah menunjukkan bahwa prospek substansial untuk meminimalkan pencemaran GRK dengan biaya yang kecil atau dalam beberapa kasus bahkan mendapat keuntungan bersih adalah mungkin. Oleh karena itu, berbagai kendala dan keterbatasan dalam implementasinya secara umum harus diidentifikasi dengan penjelasan bahwa metode mitigasi tersebut tidak segera dilaksanakan. Namun, beberapa percobaan telah dilakukan pada bentuk dan skala hambatan tersebut [6]. Hambatan seringkali mungkin, berdasarkan faktor biofisik lokal, sosial, dan ekonomi, menjadi sangat regional dan seringkali spesifik untuk pertanian. Dari sudut pandang kebijakan,

hambatan yang paling sering dikemukakan untuk sektor pertanian meliputi:

- Dampak jangka panjang. Penangkapan karbon tanah hanya menghilangkan C sampai keseimbangan baru, yang bergantung pada sistem iklim dan pengelolaan akan memakan waktu 2-4 dekade, tercapai. Setelah perubahan pengelolaan, manfaat akumulasi C tanah juga dapat dibatalkan.
- Fitur bonus. Dengan tidak adanya sektor C atau inisiatif strategis lainnya, penghapusan emisi GRK akan menjadi tambahan dari apa yang akan dicapai. Banyak solusi yang telah diketahui, beberapa di antaranya telah diperkenalkan sampai batas tertentu; dengan demikian, masalahnya adalah berapa banyak item tambahan yang akan dimasukkan.
- Ketidakpastian. Mekanisme biologis dan ekologi yang beragam yang melibatkan pelestarian C tanah dan gas sisa pertanian lainnya memiliki banyak kerumitan dan ini membuat calon pembeli berhati-hati terhadap solusi ini terkait dengan beberapa praktik mitigasi industri. Pemotongan emisi juga berbeda antar tahun, yang dapat mempersulit jika dimasukkan dalam perjanjian pengurangan.
- Rugi. Pilihan mitigasi seperti itu akan mengarah pada penurunan produktivitas di wilayah implementasi (misalnya, membatasi penggunaan pupuk atau menghilangkan lahan). Karena permintaan dapat selalu diperlakukan konstan, opsi ini dapat berkontribusi pada perluasan atau intensifikasi pertanian di tempat lain dan tidak memiliki efek bersih pada emisi. Dari sudut pandang global, dengan demikian, perhitungan mitigasi provinsi atau nasional untuk konsekuensi kebocoran ini harus ditangani di sektor pertanian.

Jenis hambatan dan larangan berikut untuk penggunaan teknologi yang muncul dan kemungkinan pengelolaan untuk mengurangi emisi GRK dapat dijelaskan dari perspektif pertanian:

- Kelangkaan aset. Setiap langkah untuk meningkatkan jumlah karbon tanah membutuhkan lebih banyak kandungan organik. Namun bahan organik tersebut merupakan komoditas langka di banyak daerah - khususnya negara maju - karena sering digunakan untuk keperluan lain, seperti pangan.
- Pendidikan dan persiapan tidak cukup. Banyak solusi mitigasi GRK serupa dengan langkah-langkah untuk mencapai hasil pertanian yang ditingkatkan dan berkelanjutan. Sebaliknya solusi semacam itu juga tidak diperkenalkan karena kurangnya keahlian dan keterampilan petani lokal. Penting juga untuk mendorong implementasi dan peningkatan program pendidikan dan penyuluhan yang ada, dan oleh karena itu pendidikan dan konsultasi harus berkonsentrasi pada mitigasi emisi GRK.
- Efek terhadap peraturan lainnya. Situasi apa pun dapat bertentangan dengan peraturan tambahan dalam penerapan opsi mitigasi. Contohnya adalah pembangunan instalasi biogas besar-besaran di mana bau tanaman ini dapat menimbulkan kekhawatiran dan menghalangi atau menghambat perkembangan masyarakat setempat. Contoh lain adalah penggunaan hormon pertumbuhan atau organisme hasil rekayasa genetika di negara-negara tertentu yang diatur secara ketat.
- Hukum kepemilikan. Baik hak milik dan hak guna lahan terpadu yang mapan di tempat-tempat tertentu dapat menghalangi penegakan reformasi pengelolaan lahan

- Batasan ekonomi. Beberapa solusi mitigasi memerlukan biaya investasi yang cukup besar (terutama kandang hewan baru dan sistem fumigasi) dan mungkin sulit untuk mendapatkan pembiayaan bagi mereka jika pemasarannya tidak pasti.

Bioenergi - Peluang dan Perdagangan

Bioenergi berasal dari biomassa dari tanaman energi pertanian; industri kehutanan dan berbasis kayu; limbah organik pertanian, kota dan industri; dan sumber laut (misalnya rumput laut). Biomassa dapat digunakan dalam pembangkitan listrik, panas dan biofuel. Penggunaan bioenergi dapat bermanfaat untuk mencapai tujuan lingkungan, mengurangi emisi CO₂ dibandingkan dengan bahan bakar fosil dan mendukung upaya pembangunan pedesaan, tetapi ada juga beberapa risiko dan dampak negatif terkait dengan penggunaan yang ekstensif.

Proses produksi saat ini untuk biofuel cair mengikuti teknologi konversi generasi pertama yang mengandalkan komponen tanaman dari gula, pati atau minyak nabati. Ini banyak digunakan di Brazil (tebu untuk bioetanol), Amerika Serikat (sereal, terutama jagung untuk bioetanol) dan Uni Eropa (minyak sayur, terutama lobak untuk biodiesel). Bahan baku yang digunakan untuk teknologi generasi pertama ini terutama adalah tanaman pangan, dan oleh karena itu terdapat persaingan langsung dengan lahan yang dibutuhkan untuk produksi pangan. Teknologi ini menghasilkan bahan bakar dan berbagai produk sampingan yang digunakan untuk pakan ternak atau industri.

Perluasan substansial produksi biofuel akan membutuhkan perluasan berbagai bahan baku dan pengenalan teknologi konversi yang canggih (disebut generasi kedua). Biofuel generasi kedua akan didasarkan pada biomassa lignoselulosa yang terdiri dari selulosa, hemiselulosa, dan lignin. Sumber bahan baku tersebut terdapat pada residu pertanian dan

kehutanan (jerami, persendian jagung dan kayu) dan tanaman energi khusus (misalnya miscanthus (*Miscanthus* spp.) Switchgrass (*Panicum virgatum*) dan willow (*Salix* spp.)). Tanaman energi abadi seperti itu berpotensi dapat ditanam di lahan yang tidak cocok untuk pertanian intensif, sehingga mengurangi persaingan dengan produksi pangan, dan dampak lingkungan serta intensitas input juga lebih rendah pada tanaman ini dibandingkan dengan bahan mentah generasi pertama.

Biomassa dari residu pertanian atau tanaman khusus dapat menjadi bahan baku biomassa yang penting, tetapi kontribusinya terhadap mitigasi bergantung pada permintaan bioenergi dari transportasi dan pasokan energi, ketersediaan air dan kebutuhan lahan untuk produksi pangan dan serat. Penggunaan luas lahan pertanian untuk produksi biomassa dapat bersaing dengan penggunaan lahan lainnya dan memiliki dampak lingkungan lainnya. Potensi mitigasi ekonomi untuk bioenergi pertanian pada tahun 2030 diperkirakan sebesar 70–1260, 560–2320 dan 2720 Mt CO₂ setara/tahun dengan harga masing-masing hingga 20, 50, dan di atas 100 US\$/ton CO₂. Potensi ini mewakili mitigasi 0,50-0,90 dari semua tindakan mitigasi pertanian lainnya yang digabungkan [6], [12].

Berdasarkan analisis terkini, yang memperhitungkan kriteria keberlanjutan utama, batas atas potensi sumber daya biomassa global pada tahun 2050 dapat berjumlah lebih dari 400 exajoule (1 EJ = 10¹⁸ joule) [2]. Permintaan energi primer global pada tahun 2050 diproyeksikan sebesar c. 600–1040 EJ/thn. Dengan demikian, biomassa memiliki potensi untuk memenuhi sebagian besar kebutuhan energi dunia. Sebagian besar dari basis sumber daya bio-massa potensial terkait dengan perbaikan dalam pengelolaan pertanian, investasi dalam infrastruktur, tata kelola penggunaan lahan yang baik dan pengenalan kerangka kerja keberlanjutan yang kuat.

Sebuah simulasi dari efek lingkungan dan penggunaan lahan gabungan dari produksi

bioenergi baru-baru ini telah dilakukan yang mencakup jenis pangan yang paling penting, ternak hidup dan jenis produksi bioenergi di 10 wilayah ekonomi di seluruh dunia. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan permintaan bioenergi hingga tahun 2055 meningkatkan emisi non-CO₂ global secara signifikan dibandingkan dengan kondisi baseline, karena peningkatan emisi N₂O dari tanah. Di sini, bagian terbesar dari tambahan emisi N₂O dari tanah terkait dengan pemupukan langsung tanaman bioenergi. Bagian yang lebih kecil mengacu pada peningkatan pemupukan tanaman pangan, karena intensifikasi produksi pertanian. Ini menunjukkan pentingnya memasukkan semua emisi GRK, termasuk N₂O dari tanah, dalam penilaian komprehensif untuk manfaat bersih bioenergi untuk mitigasi perubahan iklim.

Sebagian besar penelitian tentang penggantian bensin dengan biofuel menemukan bahwa hal ini akan mengurangi emisi GRK, karena biofuel menyerap karbon melalui pertumbuhan bahan baku. Namun, banyak analisis gagal menghitung emisi yang terjadi karena para petani di seluruh dunia menanggapi harga yang lebih tinggi dan mengubah hutan dan padang rumput menjadi lahan pertanian baru untuk menumbuhkan bahan baku biofuel generasi pertama. Simulasi dengan model pertanian global baru-baru ini menunjukkan bahwa etanol berbasis jagung di AS, alih-alih mengurangi emisi sebesar 20%, hampir menggandakan emisi GRK selama 30 tahun [15]. Biofuel dari switchgrass, jika ditanam di lahan jagung AS, meningkatkan emisi hingga 50%. Ini menyoroti nilai dari peningkatan penggunaan pertanian limbah untuk bioenergi, atau secara substansial meningkatkan produktivitas tanaman bioenergi untuk menghindari perubahan penggunaan lahan yang substansial.

Kehilangan karbon akibat perubahan penggunaan lahan terjadi pada saat konversi lahan, tetapi GRK dari biofuel yang menggantikan minyak fosil terakumulasi hanya

secara bertahap dari waktu ke waktu [16]. Akibatnya, penghematan GRK bersih, sebagai hasil dari ekspansi cepat bahan bakar nabati generasi pertama, hanya akan tercapai setelah beberapa dekade.

PENUTUP

Kesimpulan

Tantangan yang dihadapi pertanian ada tiga: meningkatkan produksi, mengurangi emisi, dan beradaptasi dengan iklim yang lebih hangat dan lebih bervariasi. Ada kebutuhan khusus untuk meningkatkan produktivitas pertanian, mengurangi emisi GRK dan beradaptasi dengan perubahan iklim di negara berkembang [17]. Tantangan ini membutuhkan peningkatan yang mendesak dan substansial dalam fokus penelitian, inovasi, transformasi pengetahuan dan pendidikan di semua tingkatan dan di semua sektor yang terkait dengan pertanian. Untuk melakukannya, dibutuhkan peningkatan kapasitas dalam banyak kasus, yang membutuhkan fokus tidak hanya dari pemerintah pusat dan daerah tetapi juga dari donor internasional dan komunitas penelitian internasional. Ada kebutuhan lebih lanjut secara internasional untuk mempromosikan pengembangan sistem dan teknologi tanam yang menghasilkan sistem yang sangat produktif untuk produksi pangan, pakan dan bioenergi gabungan [2]. Tindakan semacam itu membutuhkan upaya kolaboratif antar lembaga penelitian swasta dan publik, dan berbagai disiplin ilmu.

Karena ada potensi konflik antara lahan untuk pangan dan lahan untuk bahan bakar [15], tantangan dalam bidang bioenergi adalah untuk mengintegrasikan ke dalamnya konsep konversi biomassa, sehingga dapat berkontribusi pada upaya global untuk mengembangkan energi alternatif. Untuk mengganti seluruh spektrum produk yang saat ini diperoleh dari minyak dan gas alam. Konversi biomassa tidak hanya dapat menyediakan bioenergi tetapi juga menghasilkan biomaterial, biokimia, pupuk

hayati, bahan makanan, dll. Kerangka konseptual untuk pendekatan terintegrasi seperti teknologi untuk masyarakat bebas fosil adalah *biorefine*. Dua elemen dasar dalam biorefiner adalah *feed-stock* dan agen untuk mengubah polimer biomassa menjadi produk yang dibutuhkan. Sumber daya bahan baku yang berkelanjutan, terutama terdiri dari bahan lignoselulosa dari dinding sel tanaman, akan berasal dari sisa tanaman, dari produk sampingan dari agroindustri dan dari limbah kota. Agen yang membuat konversi biomassa menjadi produk berharga dan bernilai tambah adalah produk mikro-organisme dan mikroba, terutama enzim. Dengan pendekatan seperti itu, teknologi biorefinery dapat dikembangkan tanpa mengancam produksi pangan.

Dibandingkan dengan kebanyakan tanaman pangan atau pertanian saat ini, bahan baku untuk biorefine dapat diproduksi dalam sistem tanam tahunan yang memiliki intensitas masukan yang jauh lebih rendah dalam hal penggunaan energi, masukan pupuk dan pestisida. Karena tidak ada pengolahan tanah dan penutup tanaman permanen, sistem ini juga akan mengakumulasi karbon tanah dan melindungi dari erosi dan kebocoran unsur hara. Di banyak daerah, sistem seperti itu kemungkinan besar merupakan kandidat untuk sistem tanam di daerah sensitif lingkungan dan untuk mereklamasi lahan terdegradasi. Namun demikian, penggunaan dan kinerja produksi biomassa yang optimal bersifat spesifik per wilayah. Oleh karena itu, kebijakan perlu mempertimbangkan kondisi spesifik regional, dan perlu memasukkan sektor pertanian dan peternakan sebagai bagian dari tata kelola penggunaan lahan dan pembangunan pedesaan yang baik, yang terkait dengan pengembangan bioenergi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. D'Silva and J. Webster, *The Meat Crisis: Developing More Sustainable Production and Consumption*. London: Earthscan, 2010.
- [2] N. Alexandratos and J. Bruinsma, "WORLD AGRICULTURE TOWARDS 2030 / 2050," 2012. [Online]. Available: www.fao.org/economic/esa.
- [3] P. J. Crutzen, A. R. Mosier, K. A. Smith, and W. Winiwarter, "N₂O release from agro-biofuel production negates global warming reduction by replacing fossil fuels," *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 8, no. 2, pp. 389–395, 2008, doi: 10.5194/acp-8-389-2008.
- [4] G. Pan, P. Smith, and W. Pan, "The role of soil organic matter in maintaining the productivity and yield stability of cereals in China," *Agric. Ecosyst. Environ.*, vol. 129, no. 1–3, pp. 344–348, 2009, doi: 10.1016/j.agee.2008.10.008.
- [5] T. Koizumi, "Biofuels and Food Security: Implications of an accelerated biofuels productions," *SpringerBriefs Appl. Sci. Technol.*, vol. 38, no. 9783319056449, pp. 103–121, 2009, doi: 10.1007/978-3-319-05645-6_7.
- [6] P. Smith *et al.*, "Greenhouse Gas Mitigation in Agriculture," in *In Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, vol. 363, no. January, K. Rypdal and M. wa Githendu, Eds. Cambridge: Cambridge University Press, 2007, pp. 499–532.
- [7] J. Six, S. M. Ogle, F. J. Breidt, R. T. Conant, A. R. Mosiers, and K. Paustian, "The potential to mitigate global warming with no-tillage management is only realized when practised in the long term," *Glob. Chang. Biol.*, vol. 10, no. 2, pp. 155–160, 2004, doi: 10.1111/j.1529-8817.2003.00730.x.

- [8] J. W. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative and Mixed Approaches (3rd Edition)*. 2009.
- [9] J. Fereday and E. Muir-Cochrane, “Demonstrating Rigor Using Thematic Analysis: A Hybrid Approach of Inductive and Deductive Coding and Theme Development,” *Int. J. Qual. Methods*, vol. 5, no. 1, pp. 80–92, 2006, doi: 10.1177/160940690600500107.
- [10] I. Holloway and L. Todres, “The Status of Method: Flexibility, Consistency and Coherence,” *Qual. Res. Res.*, vol. 3, no. 3, pp. 345–357, 2003, doi: 10.1177/1468794103033004.
- [11] H. Heriyanto, “Thematic Analysis sebagai Metode Menganalisa Data untuk Penelitian Kualitatif,” *Anuva*, vol. 2, no. 3, p. 317, 2018, doi: 10.14710/anuva.2.3.317-324.
- [12] P. Smith *et al.*, “Greenhouse gas mitigation in agriculture,” *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.*, vol. 363, no. 1492, pp. 789–813, 2008, doi: 10.1098/rstb.2007.2184.
- [13] D. Moran *et al.*, “Marginal Abatement Cost Curves for UK Agricultural Greenhouse Gas Emissions,” *J. Agric. Econ.*, vol. 62, no. 1, pp. 93–118, 2011, doi: 10.1111/j.1477-9552.2010.00268.x.
- [14] P. Smith and J. E. Olesen, “Synergies between the mitigation of, and adaptation to, climate change in agriculture,” *J. Agric. Sci.*, vol. 148, no. 5, pp. 543–552, 2010, doi: 10.1017/S0021859610000341.
- [15] T. Searchinger *et al.*, “Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change,” *Science (80-.)*, vol. 319, no. 5867, pp. 1238–1240, 2008, doi: 10.1126/science.1151861.
- [16] J. Fargione, J. Hill, D. Tilman, S. Polasky, and P. Hawthorne, “Land Clearing and the Biofuel Carbon Debt,” *Science (80-.)*, vol. 319, no. 5867, pp. 1235–1238, 2016, doi: 10.1126/science.1153445.
- [17] O. Mertz, K. Halsnæs, J. E. Olesen, and K. Rasmussen, “Adaptation to climate change in developing countries,” *Environ. Manage.*, vol. 43, no. 5, pp. 743–752, 2009, doi: 10.1007/s00267-008-9259-3.