



Infrastruktur Panen Air Pertanian: Solusi Berkelanjutan untuk Ketahanan Air di Sektor Pertanian

Farida Oktavia, Annisa Noyara Rahmasary, Kharmila Sari Hariyanti

Balai Pengujian Standar Instrumen Agroklimat dan Hidrologi Pertanian, Bogor

RINGKASAN

Infrastruktur Panen Air Pertanian (IPAP) dibangun sebagai upaya untuk mendorong dan mendukung program pertanian berkelanjutan khususnya sebagai bagian dari adaptasi terhadap perubahan iklim. Beberapa jenis IPAP yang dibangun dapat berupa embung, dam parit, *long storage*, irigasi pompa, sumur dangkal dan sumur bor. Hal ini agar dapat mengantisipasi situasi kelangkaan air dan juga meningkatkan Indeks Pertanaman (IP) tanaman pangan di lahan tadah hujan. Tulisan ini disusun melalui pendekatan (i) studi literatur yang komprehensif dan (ii) analisis studi kasus di beberapa daerah lahan kering di Indonesia. Ruang lingkup dalam makalah ini memuat konsep panen air pertanian, komponen infrastruktur panen air pertanian, tantangan dan solusi implementasinya.

I. PENDAHULUAN

Air merupakan sumber daya yang penting bagi kehidupan. Ketahanan air menjadi kunci bagi keberlangsungan program pertanian berkelanjutan.

Kelangkaan air akibat perubahan iklim dan kerusakan lingkungan sudah dirasakan dampaknya oleh petani di berbagai wilayah di Indonesia. Namun di sisi lain, pemanfaatan air untuk pertanian juga belum optimal. Pengelolaan air hujan yang belum tepat mengakibatkan air mengalir dengan sia-sia melalui sungai-sungai hingga ke laut tanpa dimanfaatkan untuk upaya optimalisasi lahan dan peningkatan produksi tanaman pangan. Karena itu, upaya panen air menjadi sangat penting agar air hujan tersebut dapat ditampung untuk dimanfaatkan pada musim kemarau.

Pada saat kondisi el nino ekstrim tahun 2015, Pemerintah melakukan refocusing anggaran dengan menyediakan tambahan 10.883 pompa air pada lokasi kekeringan, pengembangan embung sebanyak 1.000 Unit yang dapat dikembangkan menjadi embung/dam parit/long storage. Pemerintah juga menyediakan DAK Tambahan tahun 2015 pada 259 Kabupten / Kota sebanyak Rp. 4 Triliun (Rp. 1,88 T khusus untuk kegiatan embung/dam parit/long storage dan sumur air tanah dangkal, serta rehabilitasi jaringan irigasi tersier pada areal sawah tadah hujan sehingga gangguan terhadap produksi pangan tidak terjadi.

Ilustrasi di atas menunjukkan bahwa IPAP sangat penting dan strategis dalam mengantisipasi situasi kelangkaan air. Keberhasilan ini diikuti dengan adanya direktif pembangunan embung kecil dan bangunan air lainnya sebanyak 30 ribu unit yang diresmikan oleh Presiden Joko Widodo pada acara Rakernas Pembangunan Pertanian 5 Januari 2017 dan Pekan Nasional Petani Nelayan ke-15 di Banda Aceh pada 6 Mei 2017. Direktif ini mengintruksikan kementerian-kementerian terkait, pemerintah daerah, dan instansi terkait lainnya untuk bekerjasama dalam pelaksanaan

DAFTAR ISI

Infrastruktur Panen Air Pertanian Solusi Berkelanjutan untuk Ketahanan Air di Sektor Pertanian	1
SNI NPK Padat Menjamin Mutu Pupuk NPK	5
Status dan Capaian Penurunan Emisi GRK Sektor Pertanian	10
Sistem Informasi Geografis (SIG) dan Pertanian dalam Pengelolaan Sumberdaya Lahan: Sebuah Perspektif USA, Jepang, Brasil, India dan Indonesia	17
Biochar, Ungkit Produktivitas Lahan Rawa	24

pembangunan embung, serta memastikan pengelolaan dan pemanfaatannya dilakukan secara optimal.

Makalah ini disusun dengan pendekatan studi literatur yang komprehensif dan analisis studi kasus di beberapa daerah lahan kering di Indonesia. Sedangkan cakupan bahasan dalam makalah ini memuat konsep panen air pertanian, komponen infrastruktur panen air pertanian, tantangan dan solusi implementasinya.

II. KONSEP PANEN AIR PERTANIAN

Panen air pertanian dimaksudkan untuk menampung kelebihan air dari berbagai sumber air untuk mencukupi kebutuhan air tanaman pada saat air hujan semakin langka di musim kemarau. Konsep panen air telah diterapkan sejak peradaban kuno di seluruh dunia, misalnya di Mesir Kuno dalam memanfaatkan Sungai Nil untuk mengaliri lahan pertanian serta menggunakan cekungan alami dan bendungan sederhana untuk menangkap air hujan, peradaban Harappa di Lembah Indus yang mengembangkan sistem penyimpanan air hujan melalui sumur dan tangki, adanya sistem qanat yang digunakan untuk mengalirkan air bawah tanah ke permukaan untuk keperluan irigasi di wilayah Iran dan negara-negara sekitarnya. Selanjutnya pada masa pertengahan mulai dikenalkan sistem irigasi terasering di Asia terutama Cina dan Filipina dengan tujuan untuk menangkap air hujan dan mengurangi laju erosi tanah di lahan miring, serta pemanfaatan kolam dan waduk di India.

Di era modern awal dikenal sebagai zaman revolusi industri mulai dikenalkan mesin pompa air dan pembangunan kanal irigasi skala besar di Eropa dan Amerika Utara. Memasuki abad 20 teknologi irigasi modern mengenalkan penggunaan sistem irigasi *sprinkler* dan *drip* untuk penggunaan air yang lebih efektif di lahan pertanian. Pengembangan sistem pengumpulan air hujan yang lebih canggih dikembangkan dengan penggunaan tangki dan sistem filtrasi. Konsep pengelolaan sumber daya air dengan pendekatan holistik terhadap pengelolaan daerah aliran sungai dan sumber daya air, termasuk praktik konservasi dan rehabilitasi tanah. Kini di abad 21, pemanfaatan teknologi IoT (*Internet of Things*) dan sensor untuk memonitor kelembaban

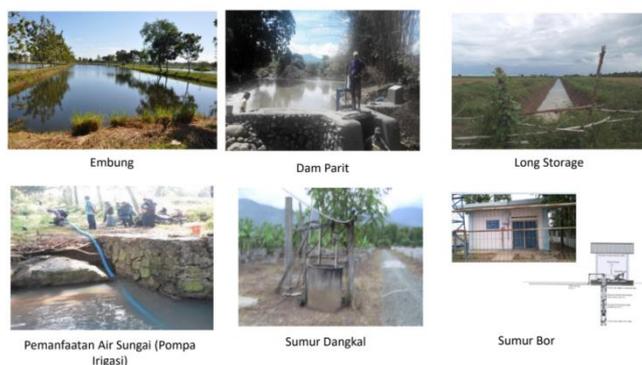
tanah, tingkat air dan kondisi cuaca untuk mengoptimalkan irigasi. Penerapan sistem irigasi otomatis berbasis data dan analitik untuk efisiensi air yang lebih baik.

Salah satu jenis infrastruktur penampung air dari berbagai sumber air untuk berbagai kebutuhan termasuk pertanian yaitu embung atau kolam besar. Selain itu ada *water long storage* yang berupa bangunan penahan dan penyimpan limpasan air permukaan yang biasanya terletak pada lahan yang relatif datar. Merujuk pada Petunjuk Teknis Program 1000 Embung Pertanian (PSP, 2022), standar teknis bangunan embung dan jenis tampungan air lainnya harus mampu menampung air minimal dengan volume 500 m³ dan debit minimal dam parit 5 liter/detik sehingga lahan yang dapat dialiri minimal seluas 25 hektar.

III. KOMPONEN INFRASTRUKTUR PANEN AIR PERTANIAN

Infrastruktur panen air pertanian menyediakan irigasi tambahan untuk lahan pertanian sehingga indeks pertanaman (IP) dapat ditingkatkan dan produktivitas lahan menjadi optimal. Irigasi adalah upaya untuk menyediakan dan mengatur air untuk menunjang budidaya pertanian. Sistem irigasi yang perlu diperhatikan mencakup jenis irigasi dan kualitas airnya. Jenis irigasi yang telah banyak diterapkan oleh petani diantaranya:

- a. Irigasi permukaan
Teknik irigasi ini dilakukan dengan memanfaatkan air dari sungai. Pendistribusian air hingga ke lahan menggunakan pipa atau selang sehingga tanah yang lebih tinggi akan terlebih dahulu mendapat asupan air.
- b. Irigasi bawah permukaan
Jenis irigasi ini menekankan pada sistem pengairan bawah lapisan tanah untuk meresapkan air ke dalam tanah di bawah daerah akar menggunakan pipa bawah tanah atau saluran terbuka.
- c. Irigasi dengan pancaran
Teknik kerja irigasi dengan pancaran umumnya dilakukan dengan menyalurkan air dari sumbernya ke daerah sasaran menggunakan pipa. Ujung pipa disumbat menggunakan tekanan khusus dari alat pencurah sehingga muncul pancaran air layaknya hujan di lahan yang menjadi sasaran,
- d. Irigasi pompa air
Irigasi pompa air dilakukan dengan menggunakan bantuan mesin untuk mengalirkan berbagai jenis air dari sumber air (umumnya sumur pantek) ke lahan pertanian menggunakan pipa atau saluran.
- e. Irigasi lokal
Irigasi lokal mendistribusikan air menggunakan pipa yang dipasang di suatu area tertentu yang mengandalkan gaya



Gambar 1. Beberapa jenis infratraktur panen air pertanian

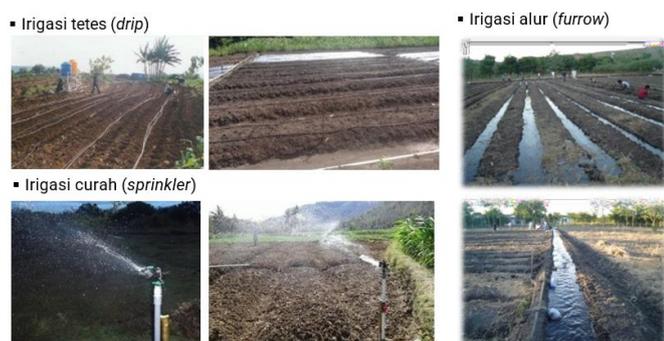
gravitasi sehingga air hanya akan mengalir di area tersebut saja.

f. Irigasi dengan ember atau timba

Irigasi jenis ini dilakukan dengan tenaga manusia, yakni para petani yang mengairi lahannya dengan menggunakan ember atau timba.

g. Irigasi tetes

Jenis irigasi tetes mendistribusikan air ke lahan pertanian menggunakan selang atau pipa yang berlubang dan diatur dengan tekanan tertentu. Pengaturan yang demikian mengakibatkan air akan muncul dari pipa berbentuk tetesan dan langsung pada bagian akar tanaman.



Gambar 2. Teknologi irigasi hemat air sebagai komponen infrastruktur panen air pertanian

IV. TANTANGAN DAN SOLUSI IMPLEMENTASI

Undang-Undang Nomor 18 tahun 2012 tentang pangan mengamanatkan kepada pemerintah untuk menjamin penyediaan pangan yang cukup dan berkualitas bagi seluruh warga negara. Pemerintah terus berupaya mengatasi fluktuasi jumlah produksi tanaman pangan di Indonesia, yang disebabkan adanya perubahan iklim, infrastruktur, sarana prasarana, lahan dan air (Alimusa, 2019). Proses produksi 94% padi nasional dilakukan dengan sistem budidaya padi sawah secara konvensional yang sangat boros dalam pemakaian air irigasi. Sebagian besar air terbuang melalui evaporasi,

rembesan, dan perkolasi. Perubahan iklim global yang secara nyata akan berakibat pada kelangkaan air irigasi memerlukan inovasi teknologi budidaya yang hemat air sehingga dapat mendukung ketahanan air nasional. Adaptasi perubahan iklim dari kelangkaan air irigasi di sektor pertanian melalui pengembangan embung, merupakan upaya konservasi air yang tepat guna, murah, dan spesifik lokasi serta dapat mengatur ketersediaan air untuk memenuhi kebutuhan air pada tingkat usaha tani. Tingkat kerentanan lahan pertanian terhadap kekeringan bervariasi antar wilayah. Di pulau Sumatera dan Jawa, dari 5,14 juta ha lahan sawah, sekitar 74 ribu ha tergolong sangat rentan dan 1 juta ha rentan terhadap kekeringan. Ancaman banjir yang intensif secara tidak langsung akan menimbulkan dampak pada produksi. Maksudnya, sawah yang mengalami banjir di musim tanam sebelumnya berpotensi besar terserang hama wereng coklat.

Infrastruktur panen air di lahan kering berpotensi meningkatkan Indeks Pertanaman (IP) yang umumnya hanya satu kali panen (IP100) menjadi dua kali panen (IP200) di lahan sawah tadah hujan. Pengelolaan sumber daya air mulai eksplorasi, eksploitasi, dan cara distribusi harus diperhatikan. Penetapan infrastruktur panen air yang tepat berdasarkan pengamatan kondisi wilayah setempat dari hasil Survei, Investigasi dan Desain (SID) akan meningkatkan fungsi panen air yang diharapkan. Teknologi panen hujan yang telah banyak diterapkan adalah embung, *long storage* atau dam parit yang tidak memerlukan lahan luas dan dapat dibangun di sekitar lahan usaha tani dengan menyesuaikan sumber air yang ada. *Long storage* memanfaatkan kapasitas saluran memanjang sungai dimana terdapat alokasi volume untuk pengendalian banjir dan menjamin ketersediaan air (Cahyaningsih, et. al 2016).

Penetapan zona pengembangan infrastruktur panen air pertanian dilakukan dengan memperhatikan jarak lahan < 1,5 km dari sungai orde 1-3 atau <500 m dari sungai orde >4 atau danau berpotensi untuk digunakan sebagai zona pengembangan irigasi perpompaan dan dam parit. Instalasi perpompaan memanfaatkan sumber air permukaan yang memiliki elevasi lebih rendah dari lahan dan mendistribusikan melalui saluran irigasi secara gravitasi. Dam parit dibuat dengan membendung aliran parit atau sungai kecil serta



Gambar 3. Uji implementasi metode penentuan infrastruktur panen air pertanian



Gambar 4. Pengembangan infrastruktur panen air pertanian di Humbang Hasundutan, Sumatera Utara

mendistribusikan air untuk memenuhi kebutuhan irigasi lahan di sekitarnya.

Lahan pertanian yang memiliki potensi hidrogeologi dapat menjadi pengembangan zona pengembangan infratraktur panen air pertanian berupa sumur dangkal maupun air dalam. Potensi hidrogeologi menggambarkan penyebaran dan pergerakan air tanah dalam kerak bumi, umumnya pada akuifer. Sumur gali berdiameter 1 m dengan kedalaman <30 m atau sumur pantek berdiameter 2-3 inci dengan kedalaman <30 m.

Lahan yang berada di lokasi terlalu jauh dari sumber air permukaan maupun produksi akuifernya tidak berpotensi, dapat dikembangkan sebagai lokasi pengembangan infrastruktur panen air berupa *long storage* dan embung yang memanfaatkan air hujan. Standar teknis bangunan embung dan *long storage* yang termuat pada Petunjuk Teknis Program 1000 Embung Pertanian (PSP, 2022) minimal mampu menampung 500 m³, sedangkan bangunan dam parit diupayakan lebar penampung kurang lebih 5 m dan tinggi minimal 50 cm. Kriteria lokasi bangunan infrastruktur panen air pertanian harus relatif dekat dengan lahan usaha tani yang membutuhkan tambahan air irigasi atau daerah endemik kekeringan dan banjir. Di daerah tersebut terdapat cekungan, terdapat parit-parit alamiah, sungai-sungai kecil, atau drainase yang dapat ditampung dengan debit air yang memadai untuk dibendung dan dialirkan bagi keperluan irigasi. Sebaiknya lokasi pembangunan pada tanah berpasir dan *porous* yang mudah meresap air. Bila terpaksa dibangun di tempat yang *porous*, maka embung harus dilapisi material *geomembrane*.

Jumlah bangunan penampung air berupa embung/dam parit/*long storage* terus dibangun di seluruh wilayah Indonesia sejak tahun 2014. Nardi dan Aminuddin (2021) melaporkan bahwa jumlah bangunan penampung air yang telah ada di tahun 2016 sebanyak 1.793 unit, ditambah 487 unit di tahun 2017 dan 487 unit di tahun 2018, serta 400 unit di tahun 2019. Upaya meningkatkan kualitas hasil identifikasi dalam penentuan zona indikatif pengembangan infrastruktur panen air pertanian, Badan Standardisasi Nasional (BSN) telah menetapkan SNI 9230:2023 yang merupakan usulan dari BPSI Agroklimat dan Hidrologi Pertanian dan dirumuskan melalui Komite Teknis 07-01 Informasi Geografi/Geomatika. Persyaratan dan prosedur penyusunan peta indikatif sebaran lokasi lahan potensial pengembangan Indeks Pertanaman (IP) berdasarkan pada enam jenis infrastruktur panen air yaitu dam parit, perpompaan, embung, *long storage*, sumur dangkal, dan sumur dalam. Sumber air pada enam

infrastruktur panen air dapat berasal dari air permukaan, air tanah, dan air hujan. Lahan yang menjadi target peningkatan IP adalah sawah tadah hujan, lahan kering, dan lahan tegalan. Tingkat kedetailan Informasi Geografi (IG) yang ditetapkan dalam standar ini adalah skala ekuivalen 1:250.000 untuk dapat digunakan sebagai arahan pembangunan Infrastruktur Panen Air Pertanian (IPAP) Nasional.

V. PENUTUP

Infrastruktur Panen Air Pertanian (IPAP) mencakup berbagai sistem dan teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan, menyimpan, dan mendistribusikan air hujan atau air permukaan untuk keperluan pertanian. Sejak tahun 2014, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) berkolaborasi dengan Kementerian Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal dan Transmigrasi serta Kementerian Pertanian telah membangun 9.410 unit embung/dam parit/*long storage* untuk mengantisipasi dampak perubahan iklim. Jumlah IPAP akan terus bertambah seiring dengan komitmen untuk meningkatkan Indeks Pertanaman (IP) dan optimalisasi lahan tadah hujan. Strategi peningkatan kualitas hasil identifikasi dalam penentuan jenis IPAP sesuai dengan kondisi lahan dapat merujuk pada SNI 9230:2023 Spesifikasi informasi geospasial – Zona indikatif pengembangan infrastruktur panen air pertanian.

DAFTAR PUSTAKA

- Alimusa, S. 2019. Fokus Menyambut Target Tinggi Produksi Padi. *Agrina*. 14(296):12-27.
- BSN. 2023. SNI 9230:2023 Spesifikasi informasi geospasial – Zona indikatif pengembangan infrastruktur panen air pertanian. Jakarta. 20 hal.
- Cahyaningsih W., Cahyaning, R. R., Kurniani, D., Budienny, H. 2016. Perencanaan Long Storage Jetis Kecamatan Blora Kabupaten Blora. *Jurnal Karya Teknik Sipil*. 5(1):49058.
- Nardi, N. A. T., Aminuddin, I. 2021. Peran Embung Terhadap Indeks Pertanaman Padi dan Faktor yang Mempengaruhi Produksi Padi (Studi Kasus Lokasi Embung Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Buana Sains*. 21(1):39-50.
- Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian. 2022. Petunjuk Teknis Pengembangan Embung Pertanian. Kementerian Pertanian. 21 hal.
- Saputro, S. F., Waspodo, R., Setiawan, B. 2016. Perhitungan Potensi Air tanah di Kecamatan Gabus Wetan. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 1(3):147-158.

SNI NPK Padat Menjamin Mutu Pupuk NPK

Adha Fatmah Siregar, Dinihari Indah K., Vina Agustin

Balai Pengujian Standard Instrumen Tanah dan Pupuk, Bogor

RINGKASAN

Penggunaan pupuk harus memperhatikan dampak cemaran terhadap lingkungan. Salah satu, inovasi teknologi Kementerian Pertanian yang bersifat berkelanjutan dan aman bagi lingkungan yakni melalui teknologi pemupukan berimbang. Mengingat pentingnya peranan unsur hara seperti N, P dan K bagi pertumbuhan tanaman, maka diperlukan suatu standar untuk menjamin kualitas pupuk NPK yang beredar di pasaran. Standar pupuk NPK telah diatur dalam SNI 2803:2024 Pupuk NPK Padat yang menetapkan persyaratan mutu dan metode uji pupuk NPK padat yang digunakan pada budidaya pertanian. SNI Pupuk NPK padat ini merupakan salah satu SNI yang bersifat wajib dan harus diterapkan oleh stakeholder terkait apabila akan memasarkan produk pupuk NPK ke pasaran.

I. PENDAHULUAN

Sektor pertanian di Indonesia memiliki kontribusi besar dan peran strategis terhadap perekonomian nasional. Hal tersebut ditandai dengan penyerapan tenaga kerja di sektor pertanian mencapai 28,21% dari total tenaga kerja pada tahun 2023 (Pusdatin Ketenagakerjaan, 2024). Selanjutnya kontribusi sektor pertanian (tanpa kehutanan dan perikanan) terhadap total Produk Domestik Bruto (PDB) Indonesia mencapai 9,38% dengan total nilai ekspor mencapai USD 44,44 milyar yang didominasi komoditas perkebunan dan produk olahan pada tahun 2022 (Pusdatin Pertanian, 2023). Pandemi Covid-19 telah menimbulkan dampak multisektoral dan tekanan terhadap pertumbuhan ekonomi domestik di Indonesia, sehingga perekonomian nasional mengalami pertumbuhan negatif pada tahun 2020 dibanding tahun sebelumnya (Dahiri dan Risandi, 2021). Namun hal tersebut tidak berdampak pada sektor pertanian dimana pertumbuhan positif pada tahun 2020 menunjukkan bahwa sektor pertanian dapat bertahan dalam kondisi krisis multisektoral.

Peran strategis sektor pertanian tidak hanya berkontribusi terhadap perekonomian nasional, tetapi juga pembangunan nasional dan ketahanan pangan terutama bagi Indonesia yang memiliki jumlah penduduk mencapai 282 juta jiwa pada tahun 2024 (BPS, 2024). Pengembangan lumbung pangan nasional atau *food estate* merupakan solusi pemerintah untuk mengantisipasi ancaman pangan dan dalam rangka memenuhi kebutuhan pangan nasional. Program lumbung pangan nasional (*food estate*) merupakan bagian dari Program Strategis Nasional (PSN) tahun 2020-2024 yang dicanangkan sebagai suatu sistem penanaman

tanaman pangan terpadu pada suatu kawasan dengan mengembangkan sentra produksi, tempat penyimpanan dan distribusi pangan terutama dalam situasi darurat serta untuk memenuhi kebutuhan dan ketahanan pangan nasional (Hamdiah *et al.*, 2023; Wulandari dan Anggraini, 2020).

Kedaulatan dan ketahanan pangan melalui program lumbung pangan nasional dilakukan dengan sistem pembangunan berkelanjutan melalui sistem budidaya pertanian berkelanjutan dengan memperhatikan daya dukung ekosistem, mitigasi, dan adaptasi perubahan iklim untuk mewujudkan sistem pertanian yang maju, efisien, tangguh dan berkelanjutan. Guna mencapai ketahanan pangan maka sarana produksi pertanian yang digunakan harus memiliki standar mutu, salah satunya adalah pupuk. Pupuk memiliki peranan penting dan strategis dalam sistem budidaya pertanian dimana pupuk yang beredar di pasaran wajib terdaftar dan memiliki ijin edar yang merepresentasikan jaminan mutu dan efektivitas pupuk. Mengingat besarnya pengaruh pupuk dalam peningkatan produksi maka pemerintah dalam hal ini Kementerian Pertanian telah mengeluarkan rekomendasi terkait penggunaan pupuk baik pupuk anorganik maupun organik.

Jenis pupuk yang digunakan sebagai sarana produksi pertanian diantaranya pupuk anorganik NPK majemuk merupakan pupuk yang secara luas digunakan oleh petani sebagai sumber hara N, P, dan K. Menurut Sihombing *et al.* (2021), pupuk NPK majemuk memiliki beberapa kelebihan dibanding pupuk N, P, dan K tunggal diantaranya memiliki merek dan kandungan hara beragam di pasaran, kandungan hara lebih lengkap, dan memiliki efisiensi tenaga kerja lebih tinggi. Lebih lanjut Hartatik dan Widowati (2015) menyatakan bahwa kelebihan pupuk NPK majemuk dibanding pupuk N, P, dan K tunggal diantaranya ditinjau dari segi distribusi, penyimpanan dan aplikasi pupuk karena hara N, P, dan K terdapat dalam satu produk pupuk lebih efisien.

Sebagai salah satu sarana produksi untuk budidaya pertanian yang banyak digunakan oleh petani, pupuk NPK majemuk memiliki standar yang diatur dalam SNI 2803: 2024 tentang Pupuk NPK Padat. Standar tersebut menetapkan persyaratan mutu dan metode uji pupuk NPK padat.

II. KONSEP PEMUPUKAN BERIMBANG

Berdasarkan UU No 22 Tahun 2019, pupuk adalah bahan kimia atau organisme yang berperan dalam penyediaan unsur hara bagi keperluan tanaman secara langsung atau tidak langsung. Sedangkan pemupukan adalah penambahan zat hara tanaman ke dalam tanah yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan unsur hara bagi

tanaman serta mengatasi kurangnya unsur hara akibat erosi dan pencucian (Lukas, *et al.*, 2018). Jenis pemupukan terbagi menjadi dua yakni pertama, pemupukan lengkap dengan menggunakan pupuk anorganik, pupuk organik, pupuk hayati dan enzim/vitamin/*elicitor* serta yang kedua, pemupukan tidak lengkap dimana hanya sebagian komponen pemupukan lengkap yang ditambahkan. Selain untuk meningkatkan produktivitas tanaman, penggunaan pupuk juga harus memperhatikan dampak cemaran terhadap lingkungan. Salah satu, inovasi teknologi Kementerian Pertanian yang bersifat berkelanjutan dan aman bagi lingkungan yakni melalui teknologi pemupukan berimbang.

Teknologi pemupukan berimbang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan tanaman secara seimbang dan optimal untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, kesuburan tanah serta menghindari pencemaran lingkungan (Hulyatussyamsiah, *et al.*, 2019). Pertumbuhan tanaman dipengaruhi dan ditentukan oleh unsur yang jumlahnya paling rendah, untuk mencapai produksi optimum hal ini dapat ditingkatkan dengan memperbaiki faktor yang menjadi

pembatas minimum. Konsep ini dikenal dengan istilah Hukum Minimum Liebig's tersaji pada Gambar 1.

Tanaman membutuhkan unsur hara dalam siklus pertumbuhannya. Unsur hara yang dibutuhkan tanaman terdiri atas unsur hara esensial, non esensial dan *beneficial*. N, P, dan K termasuk bagian dari unsur hara esensial. Suatu unsur hara dapat termasuk dalam kategori esensial jika 1) unsur tersebut secara langsung terlibat dalam siklus pertumbuhan tanaman; 2) unsur tersebut harus spesifik dan tidak dapat digantikan oleh unsur yang lain; dan 3) unsur tersebut memberikan efek langsung pada pertumbuhan dan metabolisme tanaman.

III. SNI PUPUK MAJEMUK PADAT

Tanah memiliki kandungan hara yang bervariasi. Untuk memenuhi kebutuhan tanaman terhadap unsur N, P dan K maka perlu penambahan unsur hara melalui pemupukan dengan pupuk N, P, dan K tunggal atau NPK majemuk. Jenis produk pupuk baik N, P, K tunggal dan NPK majemuk telah banyak beredar di pasaran seperti yang tersaji pada Tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Daftar contoh jenis pupuk N, P, K tunggal

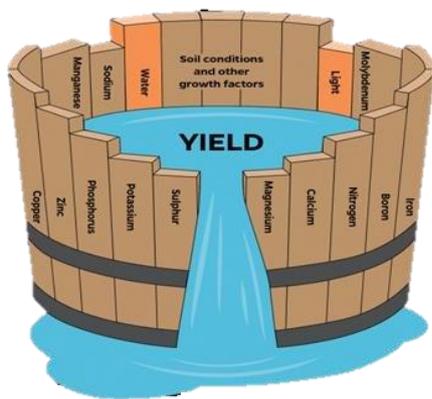
No.	Nama Pupuk	Formula	Bentuk	Produsen
1	Petro	Urea	Butiran	PT. Petrokimia Gresik
2	Lukisan Burung	Urea	Butiran	PT. Maroke Tetap Jaya
3	Mahkota	Urea	Butiran	PT. Wilmar Chemical Indonesia
4	Nitrolite	Urea+Humat	Prill	PT. Triasindo Subur Prima
5	Pak Tani	Urea	Butiran	CV. Saprotan Utama
6	Nitria	Urea	Prill	PT. Pupuk Kujang
7	Pusri	Urea	Prill	PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang
8	Daun buah	Urea	Granul	PT. Pupuk Kalimantan Timur
9	Pupuk Indonesia Holding Company	Urea	Prill	PT. Pupuk Indonesia
10	Kancil Emas	TSP	Butiran	PT. Sanlex Malindo
11	DGW	TSP	Butiran	PT. Hextar Fertilizer Indonesia
12	Cap Daun	TSP	Butiran	PT. Agro Tradisi
13	Meroke TSP	TSP	Butiran	PT. Maroke Tetap Jaya
14	Pak Tani	KCl	Flake	CV. Saprotan Utama
15	PG	KCl	Kristal	PT. Petrokimia Gresik

Sumber: Dirltjen PSP, Kementerian Pertanian (2023)

Tabel 2. Daftar contoh jenis pupuk NPK majemuk

No	Nama Pupuk	Formula	Bentuk	Produsen
1	Bananas	NPK 15-15-15	Butiran	CV. Makmur Jaya Abadi
2	Supertonik Green	NPK 11-4-6	Cair	CV. Anantri Jaya
3	Cropfast	NPK 13-26-26+TE	Serbuk	PT. Hextar Fertilizer Indonesia
4	Enku	NPK 25-10-10	Tablet	PT. Bumi Subur Sentosa
5	Kancil Emas	NPK 10-6-26+4MgO	Butiran	PT. Sanlex Malindo
6	Phonska	NPK 15-15-15	Butiran	PT. Pupuk Indonesia
7	Kebomas	NK 20-30	Butiran	PT. Petrokimia Gresik
8	Petro Niphos	NP 20-20+13S	Butiran	PT. Petrokimia Gresik
9	Nitroska	NPK 15-9-20+1,5MgO+3S	Butiran	PT. Pupuk Kujang
10	Pusri	NPK 16-16-16	Butiran	PT. Pupuk Sriwidjaja Palembang
11	Pamafert	NPK 11-13-22	Tablet	PT. Sri Rejeki Fertilizer
12	Mutiara Grower	NPK 15-9-20+TE	Prill	PT. Maroke Tetap Jaya
13	Mutiara	NPK 16-16-16	Prill	PT. Maroke Tetap Jaya
14	Palmo	NPK 14-6-29	Briket	PT. Saraswanti Anugerah Makmur
15	Mahkota	NPK 16-16-16	Butiran	PT. Wilmar Chemical Indonesia
16	NPK PIM	NPK 13-8-27-4+TE	Butiran	PT. Pupuk Iskandar Muda
17	Neo Kristalon Pak Tani	NPK 30-10-10+3MgO+TE	Kristal	CV. Saprotan Utama
18	Among Tani	NP 16-20+12S	Butiran	PT. Sari Kresna Kimia
19	MPS Multidaya	NPK 17-17-17	Butiran	PT. Multidaya Putra Sejahtera
20	Petrogres	NK 20-30	Kristal	PT. Petro Bumi Hijau

Sumber: Dirltjen PSP, Kementerian Pertanian (2023)



Gambar 1. Pertumbuhan tanaman dipengaruhi oleh faktor pembatas sesuai dengan hukum minimum Liebig's. (Sumber : Sathyanarayana, *et al.*, 2022)

Setiap unsur hara N, P, K memiliki peranan masing-masing untuk mendukung pertumbuhan tanaman. Nitrogen berfungsi sebagai bahan fotosintesis, protein dan asam amino dalam pembentukan sel, jaringan, dan organ tanaman. Pada fase pertumbuhan vegetatif kebutuhan tanaman akan N sangat tinggi. Sedangkan, Fosfor (P) berfungsi memacu perkembangan jaringan, merangsang pembentukan bunga dan pematangan buah. Fosfor berperan pada pertumbuhan benih, akar, bunga dan buah. Struktur perakaran yg sempurna memberikan daya serap nutrisi yang lebih baik. K yang berpartisipasi dalam proses metabolisme tanaman mengatur proses fisiologis tanaman seperti fotosintesis, translokasi, transportasi karbohidrat, mengatur buka tutup stomata serta mengatur distribusi air dalam sel dan jaringan.

Mengingat pentingnya peranan N, P dan K bagi pertumbuhan tanaman maka diperlukan suatu standar untuk menjamin kualitas pupuk NPK yang beredar di pasaran (Gambar 2). Standar pupuk NPK telah diatur dalam SNI 2803:2024 Pupuk NPK Padat yang menetapkan persyaratan mutu dan metode uji pupuk NPK padat yang digunakan pada budidaya pertanian. Syarat mutu yang tercantum dalam SNI 2803:2024 tersaji pada Tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi syarat mutu SNI 2803:2024 Pupuk NPK Padat

No	Uraian	Satuan	Persyaratan
1.	Nitrogen Total*	%	Min. 6
2.	Fosfor total sebagai P ₂ O ₅ *	%	Min. 6
3.	Kalium sebagai K ₂ O*	%	Min. 6
4.	Jumlah kadar N, P ₂ O ₅ , K ₂ O*	%	Min. 30
5.	Kadar air (b/b)	%	Maks. 3
6.	Cemaran logam berat *:		
	- Merkuri (Hg)	mg/kg	Maks. 10
	- Kadmium (Cd)	mg/kg	Maks. 100
	- Timbal (Pb)	mg/kg	Maks. 500
	- Arsen (As)	mg/kg	Maks. 100

Keterangan:

* adbk (atas dasar berat kering).

Catatan: Toleransi hasil uji laboratorium masing-masing unsur hara N, P₂O₅ dan K₂O maksimal 8% di bawah formula.



Gambar 2. Salah satu pupuk NPK Majemuk yang ada di pasaran. (Sumber: Agustin, 2024)

Berdasarkan data Asosiasi Pengusaha Pupuk Indonesia (APPI), konsumsi pupuk NPK berkisar 1,4 juta ton pada Januari - Juni 2023. Data konsumsi sepanjang tahun 2017 hingga semester I 2023 dapat dilihat pada Tabel 4 dan Gambar 3.

Tabel 4. Data konsumsi pupuk NPK di Indonesia

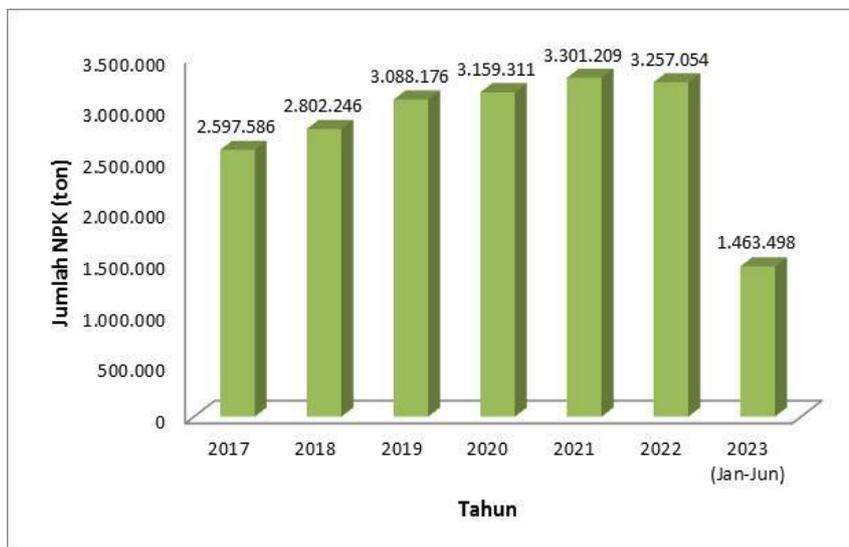
No.	Tahun	Konsumsi pupuk NPK (ton)
1	2017	2.597.586
2	2018	2.802.246
3	2019	3.088.176
4	2020	3.159.311
5	2021	3.301.209
6	2022	3.257.054
7	2023 (Jan-Jun)	1.463.498

Sumber : APPI (2023)

IV. REKOMENDASI PEMUPUKAN UNTUK TANAMAN

Kualitas mutu pupuk yang beredar di masyarakat harus selalu dijaga. Oleh karena itu, selain melalui SNI 2803:2024 pemerintah, dalam hal ini Kementerian Pertanian, telah mengeluarkan beberapa rekomendasi pemupukan dalam mendukung pelaksanaan pemupukan berimbang. Penyusunan rekomendasi diprakarsai oleh BPSI Tanah dan Pupuk. Adapun rekomendasi yang telah diterbitkan sebagai berikut:

1. Dosis Pupuk N, P, K untuk Tanaman Padi pada Lahan Sawah (per Kecamatan).
2. Dosis Pupuk N, P, K untuk Tanaman Jagung pada Lahan Sawah (per Kecamatan).
3. Dosis Pupuk N, P, K untuk Tanaman Kedelai pada Lahan Sawah (per Kecamatan).
4. Rekomendasi Dosis Pupuk N, P, K untuk Tanaman Ubi Kayu (per Kabupaten).
5. Rekomendasi Dosis Pupuk N, P, K untuk Tanaman Pakan Ternak (per Kabupaten).
6. Rekomendasi N, P, dan K Spesifik Lokasi untuk Tanaman Perkebunan (per Kabupaten).
7. Rekomendasi N, P, dan K Spesifik Lokasi untuk Tanaman Hortikultura (per Kabupaten).



Gambar 3. Data Konsumsi Pupuk NPK



Gambar 4. Buku Rekomendasi Pemupukan Tanaman
(Sumber : BPSI Tanah dan Pupuk, 2024)

V. PENUTUP

Guna mendukung pertanian berkelanjutan maka jaminan mutu terhadap sarana produksi pertanian yang salah satunya adalah pupuk sangat penting untuk melindungi konsumen terutama petani. Unsur hara makro N, P, dan K bersifat esensial dan memberikan peranan penting dalam pertumbuhan tanaman dimana standar mutu untuk pupuk NPK padat tercantum dalam SNI 2803: 2024. SNI Pupuk NPK padat ini merupakan salah satu SNI yang bersifat wajib dan harus diterapkan oleh *stakeholder* terkait apabila akan memasarkan produk pupuk NPK ke pasaran. Selain melalui SNI, pemerintah juga menerbitkan rekomendasi pupuk untuk beberapa komoditas dan spesifik lokasi untuk mendukung inovasi teknologi pemupukan berimbang yang diprakarsai oleh BPSI Tanah dan Pupuk

DAFTAR PUSTAKA

- APPI. 2023. Fertilizer Consumption on Domestic Market and Export Market, year 2017 – 2023. Diakses pada 11 Mei 2023 dari <https://www.appi.or.id/consumption-report/fertilizer-consumption-64cb720acae98> .
- Dahiri dan Risandi, L.S. 2021. Pandemi Covid-19 dan Sektor Pertanian: Peningkatan NTP Tidak Sebanding Dengan PDB Sektor Pertanian. Budget Issue Brief: Industri dan Pembangunan. 01 (1): 1-2.
- Diana, N.E., Sujak, dan Djumali. 2017. Efektivitas Aplikasi Pupuk Majemuk NPK Terhadap Produktivitas dan Pendapatan Petani tebu. Buletin Tanaman Tembakau, Serat dan Minyak Industri. 9(2): 43-52. **Error! Hyperlink reference not valid..**
- Dirtjen PSP, Kementerian Pertanian. 2023. Data Pendaftaran Pupuk Anorganik. Diakses pada 12 Mei 2023 dari https://pestisida.id/pupuk_app/.
- Sathyanarayana, E, Jurukuntla, B, Shantos, Manchala, S, K., Sudhakanthi, S. 2022. Overview of Soil Fertility from Past To Present. Ecosystem Services: Types, Management and Benefits. Diakses pada 13 Agustus 2024 dari https://www.researchgate.net/publication/358770083_Overview_of_Soil_Fertility_from_Past_To_Present.
- Hamdiah, A.N., Tjahjana, M.C., dan Aliansyah, A.B. 2023. Analisis Ekonomi Politik: Studi Kasus Proyek Food Estate Menuju Ketahanan Pangan di Indonesia. Jurnal Suara Politik. 2(2): 1-7.
- Hartatik, W. dan Widowati, L.R. 2015. Pengaruh Pupuk Majemuk NPKS dan NPK Terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi Sawah pada Inceptisol. Penelitian Pertanian Tanaman Pangan. 34(3): 175-185.
- Hulyatussyamsiah, S.N., Hartono, R. and Anwarudin, O., 2019. Adopsi pemupukan berimbang padi sawah melalui penggunaan urea berlapis arang aktif di Majalengka. *Jurnal Penyuluhan Pertanian*, 14(2).
- Lukas, R.G., Kaligis, D.A. and Najoan, M., 2018. Karakter morfologi dan kandungan nutrisi rumput gajah dwarf (*Pennisetum purpureum cv. mott*) pada naungan dan pemupukan nitrogen. *Jurnal LPPM Bidang Sains dan Teknologi*, 4(2), pp.33-43.
- Pusat Data dan Teknologi Informasi Ketenagakerjaan. 2024. Ketenagakerjaan Dalam Data Ed. 1 Tahun 2024. Pusat Data dan Teknologi Informasi Ketenagakerjaan, Kementerian Ketenagakerjaan.
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. 2023. Statistik Makro Sektor Pertanian 2023. Sekretariat Jenderal, Kementerian Pertanian.
- Sihombing, D., Hermanto, C., Asnita, R., Handayani, W., Sa'adah, S.Z., Sigiono, dan Abubakar. 2021. Effectiveness of NPK compound (10-30-20) to improve growth and yield of hybrid maize on vertisol soil. E3S Web of Conference 306, 1st ICADAI 2021, 01046. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202130601046>
- Wulandari, B.R.D. dan Anggraini, W. 2020. Food Estate Sebagai Ketahanan Pangan di Tengah Pandemi COVID-19 di Desa Wanasaba. SELAPARANG: Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan. 4(1): 386-390.

STATUS DAN CAPAIAN PENURUNAN EMISI GRK SEKTOR PERTANIAN

Miranti Ariani, Titi Sopiawati

Balai Pengujian Standar Instrumen Lingkungan Pertanian, Pati

RINGKASAN

Perubahan iklim disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) antropogenik ke atmosfer dalam jumlah yang besar. Penghitungan status emisi GRK dalam kegiatan inventarisasi dilaksanakan berdasarkan pedoman dari metodologi International Panel on Climate Change (IPCC) dengan tingkat ketelitian penghitungan baik pada data aktivitas maupun faktor emisi sesuai dengan ketersediaan data dan tingkat kemajuan ilmu pengetahuan serta teknologi. Sektor pertanian merupakan salah satu penyumbang emisi GRK di Indonesia. Pada tahun 2022, total emisi GRK dari sektor pertanian adalah sebesar 114,56 juta ton CO₂e yang dihasilkan dari pembakaran biomassa, lahan sawah, pemberian kapur, pupuk urea, N₂O langsung dan tidak langsung dari pengelolaan lahan dan kotoran, serta dari fermentasi enterik ternak. Pada tahun 2022, capaian penurunan emisi sektor pertanian di Indonesia adalah sebesar 15,6 juta ton CO₂e. Banyak opsi kegiatan berupa inovasi teknologi yang tidak hanya mampu menurunkan emisi GRK tetapi juga mampu mendukung peningkatan produksi dan ketahanan pangan. Makalah ini membahas inventarisasi dan emisi GRK dari budidaya padi serta opsi-opsi inovasi teknologi yang ditawarkan untuk menurunkan emisi GRK.

I. PENDAHULUAN

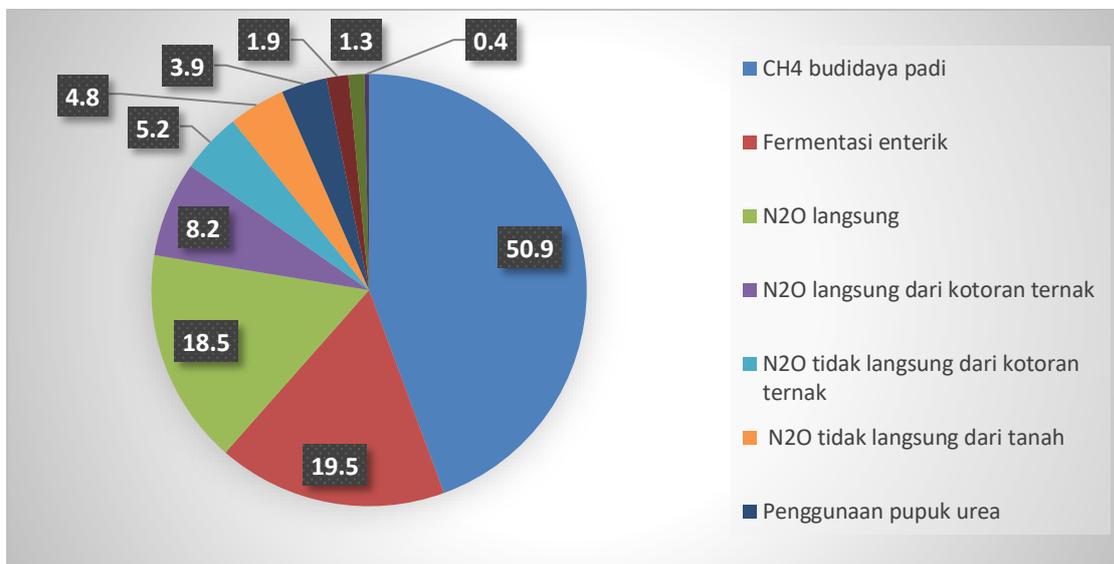
Perubahan iklim disebabkan oleh peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) antropogenik ke atmosfer dalam jumlah yang besar. Emisi GRK antropogenik diperkirakan sekitar 59±6,6 Gt CO₂e pada tahun 2019 (Pudcha *et al.*, 2022). Pertanian merupakan sumber penting dua gas rumah kaca: metana (CH₄) dan dinitrogen oksida (N₂O). Secara khusus, pertanian menyumbang 39% emisi CH₄ dan 78% N₂O, atau setara dengan 12% (6,2 ± 3,4 GtCO₂/tahun) dari emisi GRK antropogenik global (Jia *et al.*, 2019). Metana merupakan GRK yang berumur pendek dengan masa hidup 11,8 tahun, dan potensi pemanasan global (*Global Warming Potential/GWP*) lebih dari 100 tahun adalah 27 kali lipat karbon dioksida (CO₂) (Forster *et al.*, 2021). Konsentrasi CH₄ di atmosfer telah meningkat dari 729 ppb pada tahun 1750 menjadi 1866 ppb pada tahun 2019 (Forster *et al.*, 2021). Pakta Metana Global (*Global Methane Pledges*) yang ditandatangani oleh lebih dari 100 negara pada KTT iklim COP26 tahun 2021 sepakat untuk mengurangi emisi CH₄ dari sumber antropogenik sebesar 30% pada tahun 2030. Pakta tersebut menyatakan bahwa ini adalah strategi paling efektif untuk mencapai target peningkatan suhu dibawah 1,5°C sesuai Perjanjian Paris, karena CH₄ mempunyai masa tinggal paling pendek di atmosfer (*Global Methane Pledge*, 2023). Budidaya padi sawah merupakan sumber CH₄ yang signifikan,

menyumbang sekitar 9% emisi CH₄ antropogenik di tingkat global (Canadell *et al.*, 2021).

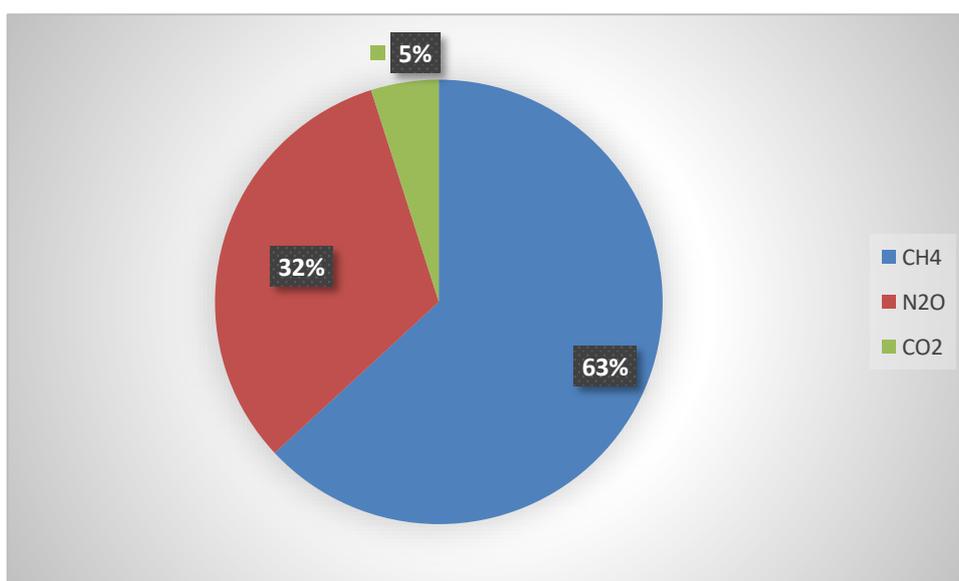
Pertemuan Negara Pihak Konvensi Perubahan Iklim di Paris tahun 2015 (COP 21 UNFCCC) menyepakati Persetujuan Paris (*Paris Agreement*) sebagai kesepakatan penerus Protokol Kyoto yang berakhir pada tahun 2020. Persetujuan Paris mempunyai tujuan sesuai pada Pasal 2 ayat (a), yaitu menahan kenaikan suhu global dari tingkat suhu era pra-industri di bawah 2°C dan terus berupaya untuk membatasi kenaikan suhu sampai 1,5°C (UN, 2015). Pemerintah Indonesia sebagai salah satu Negara Pihak dari UNFCCC telah meratifikasi *Paris Agreement* melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016. Untuk menjalankan amanah dari peraturan tersebut, Indonesia telah menyampaikan komitmen nasional untuk berkontribusi dalam penanganan perubahan iklim melalui *First NDC (Nationally Determined Contribution)* pada Bulan November 2016, dan diperbarui dengan *Enhanced NDC* pada tahun 2021. Komitmen tersebut merupakan wujud kepedulian Indonesia terhadap masalah pemanasan global dan perubahan iklim yang akan mengancam keberlanjutan kehidupan manusia.

Untuk mewujudkan target dalam NDC, Pemerintah Indonesia mengesahkan Peraturan Presiden No 98 tahun 2021 tentang penyelenggaraan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) untuk pencapaian target kontribusi yang ditetapkan secara nasional dan pengendalian emisi gas rumah kaca dalam pembangunan nasional. Kebijakan mengenai NEK atau *carbon pricing* ini sesuai dengan amanat keputusan Perjanjian Paris terutama Artikel 5 dan 6. Di dalam Perpres No 98/2021 ini, upaya pencapaian target NDC dilakukan melalui penyelenggaraan mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Masing-masing melalui tahapan perencanaan, pelaksanaan serta pemantauan dan evaluasi. Selain komitmen penurunan emisi, setiap Negara Pihak peratifikasi UNFCCC juga berkewajiban melaporkan status emisinya setiap 4 (empat) tahun sekali dalam bentuk Laporan Komunikasi Nasional (*National Communication/NC*) dan menyusun laporan *update* setiap 2 (dua) tahun sekali dalam bentuk *Biennial Update Report (BUR)* yang mulai tahun 2024 ini berganti menjadi *Biennial Transparency Report (BTR)* sebagai komitmen terhadap transparansi diantara Negara Para Pihak. Kedua laporan tersebut berisi tentang kondisi nasional, status emisi dalam inventarisasi gas rumah kaca, kegiatan mitigasi, adaptasi dan kerentanan, serta kerjasama internasional. Sampai saat ini Indonesia telah mengirimkan Laporan Komunikasi Nasional dan BUR yang ke-3 dan bersiap untuk menyusun laporan Komunikasi Nasional ke-4 serta BTR yang ke-1. Sektor yang masuk dalam pelaporan tersebut adalah kehutanan, pertanian, energi dan sumberdaya mineral, industri, serta limbah. Tulisan ini bertujuan untuk

Warta Sumber Daya Lahan Pertanian



Gambar 1. Inventarisasi Emisi GRK Sektor Pertanian Tahun 2022 (juta ton CO₂e) (Kementerian Pertanian 2023)



Gambar 2. Emisi GRK Sektor Pertanian Berdasarkan Jenis Gas (diolah dari Kementerian Pertanian, 2023)

memberikan informasi kepada pembaca mengenai status emisi dan juga capaian penurunan emisi GRK Sektor Pertanian pada tahun 2022, serta membahas mengenai sumber emisi terbesar dan opsi penurunan emisinya.

II. INVENTARISASI EMISI GAS RUMAH KACA PERTANIAN

Penghitungan status emisi GRK dalam kegiatan inventarisasi dilaksanakan berdasarkan pedoman dari metodologi IPCC dengan tingkat ketelitian penghitungan, baik pada data aktivitas maupun faktor emisi sesuai dengan ketersediaan data dan tingkat kemajuan ilmu pengetahuan serta teknologi. Penghitungan emisi GRK berdasarkan metodologi dalam pedoman IPCC merupakan hasil perkalian antara data aktivitas dan faktor emisi. Tingkat ketelitian faktor emisi untuk masing-masing negara didapatkan berdasarkan hasil-hasil penelitian yang telah terbit pada publikasi dengan proses *review* secara internasional. Apabila faktor emisi

nasional tidak tersedia, maka mengacu pada faktor emisi yang telah ada di dalam pedoman IPCC.

Berdasarkan pada pedoman metodologi dari IPCC (2006), kegiatan inventarisasi GRK harus disusun berdasarkan prinsip-prinsip transparan (*transparency*), konsisten (*consistency*), dapat diperbandingkan (*comparability*), lengkap (*completeness*) dan akurat (*accuracy*). Dengan adanya prinsip-prinsip tersebut, maka metodologi yang digunakan dalam penghitungan emisi GRK dari suatu wilayah maupun satu kegiatan haruslah memenuhi standar yang dipersyaratkan oleh IPCC dan UNFCCC.

Sektor pertanian merupakan salah satu penyumbang emisi GRK di Indonesia. Pada tahun 2022, total emisi GRK dari sektor pertanian adalah sebesar 114,56 juta ton CO₂e yang dihasilkan dari pembakaran biomassa, lahan sawah, pemberian kapur, pupuk urea, N₂O langsung dan tidak langsung dari pengelolaan lahan dan kotoran, serta dari fermentasi enterik ternak (Gambar 1). Emisi tertinggi

dihasilkan lahan sawah yaitu sebesar 50,9 juta ton CO₂-e atau sebesar 44% dari total emisi GRK yang dihasilkan sektor pertanian.

Berdasarkan jenis gas, penyumbang emisi terbesar dari Sektor Pertanian di Indonesia adalah gas CH₄ yang berasal dari budidaya padi sawah, fermentasi enterik ternak dan pengelolaan kotoran ternak.

III. EMISI CH₄ DARI BUDIDAYA PADI

Populasi penduduk dunia berkembang pesat hingga mencapai hampir 8 miliar orang, dimana lebih dari separuhnya bergantung pada beras sebagai makanan pokok mereka (Haque *et al.*, 2014). Untuk memenuhi permintaan seiring dengan pertumbuhan populasi, petani padi perlu meningkatkan produksi sebesar 114 Mt pada tahun 2035 ditengah berbagai ancaman, termasuk menurunnya lahan subur, berkurangnya tenaga kerja, terbatasnya air untuk pertanian, peningkatan biaya untuk semua input dan memburuknya dampak perubahan iklim (Redfern *et al.*, 2012). Secara global, sawah beririgasi, yang biasanya dipelihara dalam kondisi tergenang, menempati sekitar 60% dari total 158 Mha lahan persawahan dunia (Rao *et al.*, 2017). Dengan pengelolaan yang konvensional, sawah irigasi ini dianggap sebagai penyumbang utama emisi metana dari sektor pertanian. Oleh karena itu diperlukan input teknologi pengelolaan yang bisa mengurangi emisi dari budidaya padi sawah.

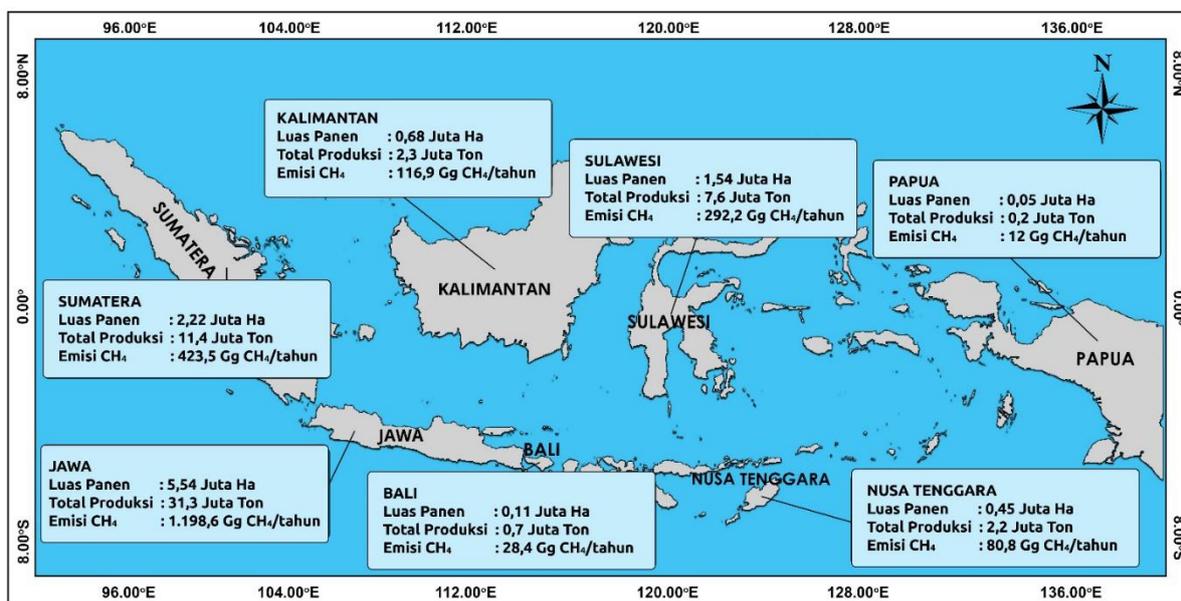
Menurut laporan Kementerian Pertanian dalam Gambar 1 terlihat bahwa kegiatan budidaya padi merupakan sumber emisi terbesar dari sektor pertanian di Indonesia berdasarkan kategori kunci yang ada dalam pedoman IPCC (2006). Pada tahun 2022, luas panen dilaporkan sebesar 10,6 juta ha (Gambar 3). Luas panen tertinggi terdapat di Pulau

Jawa, begitu pula dengan emisi CH₄ dari sawah. Rata-rata emisi lahan sawah di Indonesia menurut inventarisasi GRK nasional adalah 0,16 tCH₄/ha.

Pada budidaya padi sawah, CH₄ dihasilkan oleh *archaea* (metanogen) yang memproduksi CH₄ selama dekomposisi anaerobik bahan organik (seperti sisa tanaman) dan rhizodeposisi (Conrad 2020a, 2020b; Kimura, Murase, dan Lu, 2004). Metanogenesis adalah langkah terakhir dalam degradasi bahan organik secara anaerobik, dan terjadi hanya setelah akseptor elektron anorganik, seperti nitrat, besi besi, atau sulfat, telah habis (Conrad 2020a, 2020b). Sebagian CH₄ yang dihasilkan dioksidasi oleh bakteri pengoksidasi CH₄ (metanotrof) (Conrad 2020b; Hayashi *et al.*, 2015). Akumulasi CH₄ di tanah sawah diangkut ke atmosfer terutama melalui jaringan aerenkim tanaman padi dan pelepasan gelembung gas, sedangkan kontribusi difusi dianggap marginal (Kajiura dan Tokida, 2021). Lebih dari 90% CH₄ dikeluarkan melalui tanaman padi di sawah (Schutz, Seiler, dan Conrad, 1989). Namun, hasil studi baru-baru ini menunjukkan bahwa ebulisi hanya menyumbang 4% dari total emisi CH₄ pada tahap pembentukan malai, sedangkan ebulisi menyumbang 32% dan 60% dari total emisi pada tahap *booting* dan *heading* (Kajiura dan Tokida, 2021).

IV. OPSI MITIGASI EMISI GRK DARI BUDIDAYA PADI

Pengertian mitigasi menurut UU No. 24 tahun 2007 adalah serangkaian upaya untuk mengurangi risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun penyadaran dan peningkatan kemampuan menghadapi ancaman bencana. Mitigasi terhadap perubahan iklim menurut Perpres No. 98 tahun 2021 adalah usaha pengendalian untuk mengurangi risiko akibat perubahan iklim melalui kegiatan yang dapat



Gambar 3. Sebaran Luas Panen, Produksi Padi (BPS, 2022) dan Emisi CH₄ dari Budidaya Padi di Indonesia Tahun 2022 (diolah dari Kementerian Pertanian, 2023)

menurunkan emisi atau meningkatkan penyerapan GRK dan penyimpanan/penguatan cadangan karbon dari berbagai sumber emisi. Gas rumah kaca dapat dikurangi dari opsi mitigasi sisi penawaran (misalnya dengan mengurangi emisi gas rumah kaca per unit lahan/hewan, atau per unit produk), atau dari opsi sisi permintaan (misalnya, dengan mengubah permintaan makanan dan produk serat, mengurangi limbah) (IPCC, 2015). Khusus untuk kegiatan pertanian, opsi mitigasi terfokus pada opsi sisi penawaran saja (IPCC, 2007). Berikut adalah dua opsi mitigasi GRK dari budidaya padi sawah yang berdasarkan hasil-hasil penelitian merupakan input teknologi yang mampu mengurangi GRK terutama CH₄ dalam jumlah besar.

4.1. Pengelolaan Air

Praktek pengelolaan air dalam mempengaruhi emisi CH₄ dan N₂O dari sawah telah banyak diteliti (Yagi dan Minami 1990; Bouwman 1996; Sass *et al.*, 1992). Kondisi air dari lahan sawah penting untuk produksi CH₄ (Adhya *et al.*, 2000; Yan *et al.*, 2005; Ma *et al.*, 2010). Produksi CH₄ tidak terjadi seketika, tapi diperlukan waktu untuk berlangsungnya proses mengurangi molekul oksigen dan elektron akseptor yang terperangkap dalam pori-pori tanah. Metanogenesis akan terjadi setelah tanah cukup lembab untuk menciptakan kondisi anoksik (Jain *et al.*, 2004). Studi menunjukkan bahwa pengeringan dapat berdampak pada pengurangan produksi CH₄ dalam dua cara, yaitu melalui jumlah elektron akseptor yang ada didalam tanah, dan juga dampak toksik molekul oksigen pada bakteri metanogenik selama kondisi aerob (Xu *et al.*, 2003). Penggenangan penuh atau terus menerus dalam satu musim tanam padi menghasilkan emisi CH₄ tertinggi dibandingkan dengan penerapan beberapa periode pengeringan, seperti pengeringan tengah musim, pengairan intermiten, pengeringan awal musim dan pengairan basah-kering (AWD/*Alternate Wetting-drying*) (Yan *et al.*, 2000; Jain *et al.*, 2004; Oo *et al.*, 2018; Peyron *et al.*, 2016). Pengeringan pada pertengahan musim selama pertumbuhan padi akan mengurangi emisi CH₄ (Wang *et al.*, 1999), tetapi tidak sebanyak dua kali masa pengeringan (Yan *et al.*, 2000). Pengeringan di awal musim mengurangi emisi CH₄ sebesar 35,7% sementara penerapan pengairan basah-kering mengurangi 52,8% emisi (Oo *et al.*, 2018).

Praktek pengairan dengan alternatif pembasahan dan pengeringan yang aman (AWD) telah diusulkan oleh *The International Rice Research Institute* (IRRI) pada tahun 2013 sebagai teknik irigasi alternatif untuk mengurangi konsumsi air yang tinggi pada padi, yang juga diharapkan dapat mengurangi emisi CH₄ hingga 70% (FAO, 2017). Pengelolaan air ini merupakan faktor terbesar yang mempengaruhi emisi CH₄, di dalam Pedoman IPCC (2006) angka faktor skala untuk praktik pengelolaan air bahkan mencapai 50% pengurangan

dibandingkan praktik konvensional tergenang sepanjang musim.

4.2. Penggunaan Varietas Padi

Tanaman padi berperan penting dalam pelepasan metana dari tanah ke atmosfer. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa emisi CH₄ 20 kali lebih besar dari tanah yang ditanami padi dibandingkan dari tanah yang tidak ditanami padi (Brye *et al.*, 2017), yang menunjukkan peran penting tanaman padi terhadap emisi. Ada tiga mekanisme pelepasan CH₄ dari tanah ke atmosfer; yaitu difusi melalui penggenangan, ebulisi, dan difusi yang dimediasi tanaman (Smart *et al.* 2016). Banyak penelitian menyatakan bahwa sekitar 90% metana dari lahan padi sawah dilepaskan oleh sel padi melalui jaringan aerenkim yang berfungsi sebagai cerobong asap, 8-9% dilepaskan melalui ebulisi dan hanya 1-2% melalui difusi (Butterbach Ball *et al.* 1997; Le Mer & Roger 2001).

Ruang udara pada pembuluh aerenkima yang terdapat pada daun, batang dan akar yang berkembang dengan baik menyebabkan pertukaran gas pada tanah tergenang (anaerobik) berlangsung cepat. Pembuluh aerenkima bertindak sebagai cerobong (*chimney*) untuk lepasnya CH₄ ke atmosfer. Respirasi O₂ pada akar melalui pembuluh aerenkima secara langsung akan melepaskan CH₄ yang terbentuk di sekitar perakaran padi ke atmosfer. Proses ini terjadi pada tanaman padi yang berfungsi menjaga keseimbangan termodinamika (Bhattacharyya *et al.*, 2019). Mekanisme ini terjadi akibat perbedaan gradien konsentrasi antara air di sekitar akar dan ruang antar sel lisigenus pada akar sehingga CH₄ terlarut di sekitar perakaran terdifusi menuju dinding sel korteks akar. Pada dinding korteks akar, CH₄ terlarut akan berubah menjadi gas dan disalurkan ke batang melalui pembuluh aerenkima. Selanjutnya CH₄ akan dilepaskan melalui pori-pori mikro pada pelepah daun. Ada tiga penjelasan mengapa varietas padi menghasilkan emisi CH₄ yang berbeda, yaitu; i) *perbedaan varietas padi dalam memproduksi eksudat akar*, ii) *perbedaan dalam jumlah anakan padi*, dan iii) *perbedaan dalam kapasitas oksidasi akar (root oxidizing power)*. Tabel 1 menginformasikan besaran emisi dari berbagai varietas macam varietas padi yang umum ditanam di Indonesia. Angka tersebut diperoleh dari hasil-hasil pengujian yang dilakukan di Balai Pengujian Standar Instrumen Lingkungan Pertanian mulai tahun 2003-2020. Pengujian dilakukan pada kondisi budidaya yang optimum, yaitu kondisi air tergenang, pemberian pupuk sesuai rekomendasi dan tanpa input bahan organik. Hal ini dilakukan supaya yang terjadi adalah emisi karena perbedaan varietas itu sendiri bukan karena pengaruh faktor eksternal seperti pengairan. Penggunaan varietas padi yang memiliki emisi CH₄ rendah merupakan opsi mitigasi dari budidaya padi sawah

yang dianggap paling mudah dan murah untuk diterapkan karena tidak memerlukan tambahan biaya input.

Tabel 1. Emisi dari berbagai varietas padi di Indonesia

No.	Varietas	Rata-rata emisi (kg/ha/musim)
1	Gilirang	496
2	Fatmawati	365
3	Aromatic	273
4	Tukad Unda	244
5	IR 72	223
6	Cisadane	204
7	IR 64*	202
8	Margasari	187
9	Cisantana	186
10	Tukad Petanu	157
11	Batang Anai	153
12	IR 36	147
13	Memberamo	146
14	Dodokan	145
15	Way Apoburu	145
16	Muncul	127
17	Tukad Balian	115
18	Cisanggarung	115
19	Ciherang	114
20	Limboto	99
21	Wayrareme	91
22	Maros	73
23	Mendawak	255
24	Mekongga	195
25	Memberamo	286
26	IR42	269
27	Fatmawati	245
28	BP360	215
29	BP205	196
30	Hipa4	197
31	Hipa6	219
32	Rokan	308
33	Hipa 5 Ceva	323
34	Hipa 6 Jete	301
35	Inpari 1	271
36	Inpari 6 Jete	272
37	Inpari 9 Elo	359
38	IPB 3S	263
39	Inpari 13	246
40	Inpari 18	250
41	Inpari 31	290
42	Inpari 32	339
43	Inpari 33	264

diperoleh dari 8 kegiatan seperti tertera pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, kegiatan pengurangan emisi terbesar berasal dari pengelolaan Muka Air Tanah (MAT) lahan gambut yang didrainase yaitu sebesar 7,83 juta ton CO₂-e. Ini sejalan dengan program nasional perbaikan pengelolaan gambut yang salah satu aspek terpentingnya adalah menaikkan muka air tanah. Kontribusi aksi mitigasi berikutnya, sebesar 5,03 juta ton CO₂-e, berasal dari sebaran varietas yang ditanam di Indonesia. Kegiatan lain seperti tercantum pada Tabel 2, menyumbang relatif kecil untuk penurunan emisi GRK, namun mempunyai arti penting dalam upaya peningkatan ketangguhan (*resilience*) sektor pertanian terhadap perubahan iklim.

Tabel 2. Aksi mitigasi dan capaian penurunan emisi GRK sektor pertanian tahun 2022

Aksi/kegiatan	Penurunan emisi (Juta ton CO ₂ e)
Mitigasi emisi CH ₄ melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak (BATAMAS)	0,004
Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik	0,082
Desa organik	0,003
Penanaman padi varietas rendah emisi	5,030
Perbaikan kualitas pakan	0,112
Pemupukan Berimbang	0,492
Pengelolaan Muka Air Tanah (MAT) lahan gambut	7,831
Sekuestrasi Karbon pada Tanaman Buah Tahunan	
- Cadangan karbon buah tahunan metode <i>Gain and Loss</i> Tahun 2006-2021	2,059
- Cadangan karbon buah tahunan metode <i>Gain and Loss</i> Tahun 2022	0,004
Total	15,617

V. CAPAIAN MITIGASI PERTANIAN

Sebagai wujud dari komitmen penandatanganan Perjanjian Paris, setiap sektor penghasil emisi di Indonesia wajib untuk melaporkan status emisi dan capaian penurunan emisi setiap tahun. Kementerian Pertanian telah melakukan berbagai kegiatan aksi untuk mengatasi dampak perubahan iklim. Seiring dengan itu, tuntutan dari kesepakatan global dan arah kebijakan nasional harus dipastikan sejalan sehingga tidak merugikan kepentingan nasional. Terdapat beberapa kegiatan selain mampu mendukung peningkatan produksi dan ketahanan pangan juga dapat menurunkan emisi GRK. Pada tahun 2022, capaian penurunan emisi sektor pertanian di Indonesia adalah sebesar 15,6 juta ton CO₂e. Angka ini

PENUTUP

Penghitungan status emisi GRK dalam kegiatan inventarisasi dilaksanakan berdasarkan pedoman dari metodologi IPCC dengan tingkat ketelitian penghitungan baik pada data aktivitas maupun faktor emisi sesuai dengan ketersediaan data dan tingkat kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sektor pertanian merupakan salah satu penyumbang emisi GRK di Indonesia. Pada tahun 2022, total emisi GRK dari sektor pertanian adalah sebesar 114,56 juta ton CO₂-e yang dihasilkan dari pembakaran biomassa, lahan sawah, pemberian kapur, pupuk urea, N₂O langsung dan tidak langsung dari pengelolaan lahan dan kotoran, serta dari fermentasi enterik ternak. Emisi tertinggi dihasilkan lahan sawah yaitu sebesar 50,9 juta ton CO₂-e atau sebesar 44% dari

total emisi GRK yang dihasilkan sektor pertanian. Pada tahun 2022, capaian penurunan emisi sektor pertanian di Indonesia adalah sebesar 15,6 juta ton CO₂e. Angka ini diperoleh dari 8 kegiatan yaitu Mitigasi emisi CH₄ melalui pemanfaatan biogas kotoran ternak (BATAMAS), Peningkatan cadangan karbon tanah melalui penggunaan pupuk organik sebagai dampak penggunaan UPPO dan pengelolaan bahan organik, Desa organik, Penanaman padi varietas rendah emisi, Perbaikan kualitas pakan, Pemupukan Berimbang, Pengelolaan Muka Air Tanah (MAT) lahan gambut, Sekuestrasi Karbon pada Tanaman Buah Tahunan

DAFTAR PUSTAKA

- Bhattacharyya, P., Dash, P. K., Swain, C. K., Padhy, S. R., Roy, K. S., Neogi, S., Berliner, J., Adak, T., Pokhare, S. S., Baig, M. J., & Mohapatra, T. 2019. Mechanism of plant mediated methane emission in tropical lowland rice. *Science of the Total Environment*, 651, 84–92. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.141>.
- Brye, K. R., Rogers, C. W., Smartt, A. D., Norman, R. J., Hardke, J. T., & Gbur, E. E. 2017. Methane emissions as affected by crop rotation and rice cultivar in the Lower Mississippi River Valley, USA. *Geoderma Regional*, 11(June), 8–17. <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2017.08.004>.
- Bouwman, A. F. 1996. Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 46(1), 53–70. <https://doi.org/10.1007/BF00210224>.
- Butterbach-bahl, K., Baggs, E. M., Dannenmann, M., Kiese, R., & Zechmeister-boltenstern, S. 2013. Nitrous oxide emissions from soils : how well do we understand the processes and their controls? *Phil Trans R Soc B*, 368 (The global nitrogen cycle in the twenty-first century), 1–20. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2013.0122>.
- Canadell, J. G., P. M. S. Monteiro, M. H. Costa, L. Cotrim da Cunha, P.M. Cox, A.V. Eliseev, S. Henson. 2021. "The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity." In *Climate Change 2021: the Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, *et al.*, 673–816. Cambridge: United Kingdom and Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>.
- Conrad, R. 2020a. "Importance of Hydrogenotrophic, Aceticlastic and Methylotrophic Methanogenesis for Methane Production in Terrestrial, Aquatic and Other Anoxic Environments: A Mini Review." *Pedosphere* 30 (1): 25–39. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60052-9](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60052-9).
- Conrad, R. 2020b. "Methane Production in Soil Environments—Anaerobic Biogeochemistry and Microbial Life Between Flooding and Desiccation." *Microorganisms* 8 (6): 881. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8060881>.
- FAO. 2017. *Agroforestry in rice-production land-scapes in Southeast Asia: a practical manual*. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific World Agroforestry Centre (ICRAF).
- Forster, P., T. Storelvmo, K. Armour, W. Collins, J.-L. Dufresne, D. Frame, D. J. Lunt, *et al.* 2021. "The Earth's Energy Budget, Climate Feedbacks, and Climate Sensitivity." In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, *et al.*, 923–1054. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.009>.
- Hayashi, K., T. Tokida, M. Kajiuira, Y. Yanai, and M. Yano. 2015. "Cropland Soil-Plant Systems Control Production and Consumption of Methane and Nitrous Oxide and Their Emissions to the Atmosphere." *Soil Science and Plant Nutrition* 61 (1): 2–33. <https://doi.org/10.1080/00380768.2014.994469>.
- Haque, M.M., Kim, S.Y., Ali, M.A., Kim, P.J. 2014. Contribution of greenhouse gas emissions during cropping and fallow seasons on total global warming potential in mono-rice paddy soils. *Plant Soil* 387, 251–264. **Error! Hyperlink reference not valid.**
- [IPCC] Intergovernmental Panel on Climate Change. 2006. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Prepared by The National Greenhouse Gas Inventories Programme. Eggleton H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (eds.). Penerbit IGES Jepang.
- IPCC. 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing*. Intergovernmental Panel on Climate Change, Geneva.
- Jain, N., Pathak, H., Mitra, S., & Bhatia, A. 2004. Emission of methane from rice fields - A review. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 63(2), 101–115.
- Jia, G., E. Shevliakova, P. Artaxo, N. De Noblet-Ducoudré, R. Houghton, J. House, K. Kitajima, *et al.* "Land–Climate Interactions." In *Climate Change and Land: An IPCC Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems*, edited by P. R. Shukla, J. Skea, E. Calvo Buendia, V. Masson-Delmotte, H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, P. Zhai, *et al.* 2019. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157988.004>.
- Kementerian Pertanian. 2023. *Laporan Inventarisasi dan Mitigasi Gas Rumah Kaca Sektor Pertanian 2022*. Jakarta.
- Kimura, M., J. Murase, and Y. Lu. 2004. "Carbon Cycling in Rice Field Ecosystems in the Context of Input,

- Decomposition and Translocation of Organic Materials and the Fates of Their End Products (CO₂ and CH₄)." *Soil Biology and Biochemistry* 36 (9): 1399–1416. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2004.03.006>.
- Kajiura, M., and T. Tokida. 2021. "Quantifying Bubbling Emission (Ebullition) of Methane from a Rice Paddy Using High-Time-Resolution Concentration Data Obtained During a Closed-Chamber Measurement." *Journal of Agricultural Meteorology* 77 (4): 245–252. <https://doi.org/10.2480/agrmet.D-21-00022>.
- Le Mer, J., & Roger, P. 2001. Production, oxidation, emission and consumption of methane by soils: a review. *Eur J Soil Biol* 37: 25–50.
- Ma, K., Qiu, Q. F., and Lu, Y. H. 2010. Microbial mechanism for rice variety control on methane emission from rice field soil. *Global Change Biology* 16:3085-3095.
- Oo, A. Z., Sudo, S., Inubushi, K., Chellappan, U., Yamamoto, A., Ono, K., Venkatachalam, R. 2018. Mitigation potential and yield-scaled global warming potential of early-season drainage from a rice paddy in Tamil Nadu, India. *Agronomy* 2018, Vol. 8, Page 202, 8(10), 202. <https://doi.org/10.3390/AGRONOMY8100202>.
- Peyron, M., Bertora, C., Pelissetti, S., Said-Pullicino, D., Celi, L., Miniotti, E., Sacco, D. 2016. Greenhouse gas emissions as affected by different water management practices in temperate rice paddies. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 232, 17–28. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.07.021>.
- Pudcha, T., Phongphiphat, A., & Towprayoon, S. 2022. Greenhouse Gas Mitigation and Energy Production Potentials from Municipal Solid Waste Management in Thailand Through 2050. *Earth Systems and Environment*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s41748-022-00323-z>.
- Rao, A.N., Wani, S.P., Ramesha, M.S., Ladha, J.K. 2017. Rice Production Systems 185–206. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-47516-5>.
- Redfern, S.K., Azzu, N., Binamira, J.S., 2012. Rice in Southeast Asia : Facing Risks and Vulnerabilities to Respond to Climate Change.
- ass, R. L., Fisher, F. M., Wang, Y. B., Turner, F. T., & Jund, M. F. 1992. Methane emission from rice fields: The effect of floodwater management. *Global Biogeochemical Cycles*, 6(3), 249-262. doi:10.1029/92GB01674.
- Schutz, H., W. Seiler, and R. Conrad. 1989. "Processes Involved in Formation and Emission of Methane in Rice Paddies." *Biogeochemistry* 7 (1): 33–53. <https://doi.org/10.1007/BF00000896>.
- Smartt, A. D., Brye, K. R., & Norman, R. J. 2016. Methane Emissions from Rice Production in the United States — A Review of Controlling Factors and Summary of Research. In *Intech open* (Vol. 2, p. 64). <https://doi.org/10.5772/32009>.
- United Nation. 2015. Paris Agreement. Paris.
- Wang, B., Xu, Y., Wang, Z., Li, Z., Guo, Y., Shao, K., Chen, Z. 1999. Methane emissions from ricefields as affected by organic amendment, water regime, crop establishment, and rice cultivar. *Environ. Monit. Assess.* 57, 213–228.
- Xu, X.K., Wang, Y.S., Zheng, X.H., Wang, M., Wang, Z., Zhou, L., et al. 2000. Methane emission from a simulated rice field ecosystem as influenced by hydroquinone and dicyandiamide. *Sci. Total Environ.* 263, 243–253.
- Yan, X., Du, L., Shi, S., & Xing, G. 2000. Nitrous oxide emission from wetland rice soil as affected by the application of controlled-availability fertilizers and mid-season aeration. *Biol. Fertil. Soils.*, 32, 60-66.
- Yan, X., Yagi, K., Akiyama, H., and Akimoto, H. 2005. Statistical analysis of the major variables controlling methane emission from rice fields. *Global Change*.

SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS (SIG) DALAM PENGELOLAAN SUMBERDAYA LAHAN

Lady H.R. Kautsar, Setiyo Purwanto

Balai Besar Pengujian Standar Instrumen Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor

RINGKASAN

Sistem Informasi Geografis (SIG) telah menjadi alat penting dalam pengelolaan sumber daya lahan pertanian di berbagai negara. Teknologi ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih tepat berdasarkan analisis data spasial yang akurat. Artikel ini mengkomparasi kemajuan implementasi SIG di Indonesia dengan beberapa negara lain seperti Amerika Serikat, Jepang, India, dan Brasil. Indonesia telah mulai menerapkan SIG dalam sektor pertanian dengan berbagai tantangan seperti infrastruktur, pelatihan, dan akses data sehingga menghambat adopsi yang lebih luas. Artikel ini juga menyajikan tabel perbandingan yang menyoroti berbagai aspek kemajuan SIG, termasuk kebijakan, teknologi, pelatihan, dan dampaknya terhadap produktivitas pertanian. Melalui analisis ini, dapat diidentifikasi langkah-langkah strategis yang diperlukan untuk meningkatkan penggunaan SIG di Indonesia.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan teknologi di era pertanian modern dalam rangka meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sumber daya lahan menjadi hal yang sangat penting. Salah satu teknologi yang semakin banyak digunakan adalah Sistem Informasi Geografis (SIG). SIG memungkinkan pengelolaan data spasial yang kompleks dan menyediakan informasi penting bagi pengambilan keputusan dalam pengelolaan lahan pertanian. Di berbagai negara maju, SIG telah diterapkan secara luas dan menunjukkan hasil yang signifikan dalam meningkatkan produktivitas dan mengurangi dampak lingkungan.

Potensi penggunaan SIG di Indonesia sangat besar, tetapi penerapannya masih relatif terbatas. Artikel ini akan mengkomparasi kemajuan penggunaan SIG di Indonesia dengan negara-negara lain yang telah berhasil memanfaatkan teknologi ini untuk mengoptimalkan pengelolaan lahan pertanian. Perbandingan ini bertujuan untuk mengidentifikasi tantangan dan peluang dalam meningkatkan adopsi SIG di Indonesia, serta memberikan rekomendasi yang dapat diimplementasikan untuk mempercepat kemajuan tersebut.

II. PERAN SIG DALAM PERTANIAN DI BERBAGAI NEGARA

A. Amerika Serikat

Amerika Serikat (AS) telah menjadi pelopor dalam penerapan SIG di sektor pertanian. Penggunaannya tidak hanya terbatas pada pemetaan lahan, melainkan pada analisis prediktif yang membantu petani merencanakan rotasi tanaman dan manajemen irigasi dengan lebih efisien. Dukungan kebijakan pemerintah dan ketersediaan data spasial yang luas menjadi faktor utama kemajuan ini.

- **Penggunaan di Pertanian Presisi:** SIG dikombinasikan dengan data satelit, drone, dan sensor lapangan untuk menciptakan peta yang sangat rinci mengenai kondisi tanah, kelembaban, distribusi hama, dan kondisi tanaman. Petani dapat menggunakan informasi tersebut untuk membuat keputusan yang lebih akurat mengenai penggunaan input pertanian seperti pupuk, pestisida, dan air. Hal ini selanjutnya dikenal sebagai pertanian presisi (*precision agriculture*).
- **Pemetaan Kesesuaian Lahan:** SIG membantu dalam pemetaan kesesuaian lahan yang digunakan untuk menentukan komoditas tanaman yang paling sesuai untuk ditanam di suatu area berdasarkan berbagai faktor seperti kesuburan tanah, pola curah hujan, dan topografi.
- **Dukungan Kebijakan dan Infrastruktur:** Pemerintah AS mendukung penuh pengembangan SIG melalui lembaga seperti United States Department of Agriculture (USDA) dan National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). Tersedia juga akses luas data spasial melalui berbagai platform publik seperti *United States Geological Survey* (USGS), sehingga data tersebut mudah diakses oleh petani dan peneliti.
- **Penelitian dan Inovasi:** Lembaga pendidikan dan penelitian di AS, seperti Massachusetts Institute of Technology (MIT) dan Stanford University, secara aktif melakukan penelitian untuk meningkatkan teknologi dan penerapan SIG dalam sektor pertanian. Hal ini mencakup pengembangan algoritma baru untuk analisis data spasial dan integrasi teknologi kecerdasan buatan (AI) dengan SIG.

B. Jepang

SIG digunakan secara intensif di Jepang dalam rangka memaksimalkan penggunaan lahan yang terbatas. Penerapannya difokuskan pada pertanian presisi, di mana data spasial digunakan untuk mengoptimalkan input pertanian seperti pupuk dan pestisida, serta memantau kondisi tanaman secara real-time.

- **Pertanian Presisi di Lahan Terbatas:** Jepang telah mengembangkan teknik pertanian presisi yang sangat canggih dengan memanfaatkan SIG untuk mengoptimalkan penggunaan input pertanian di lahan yang relatif sempit. Petani dapat menyesuaikan penggunaan air, pupuk, dan pestisida secara tepat sesuai dengan kebutuhan tanaman di setiap lokasi mikro di ladang.
- **Pemetaan dan Pengelolaan Risiko Bencana:** Jepang sering menghadapi bencana alam seperti gempa bumi, tsunami, dan letusan gunung berapi. SIG digunakan secara ekstensif untuk pemetaan area berisiko tinggi dan perencanaan mitigasi risiko. SIG memetakan daerah rawan banjir dan tanah longsor, serta berperan penting untuk melindungi lahan pertanian dari kerusakan.
- **Dukungan Teknologi dan Inovasi:** Pemerintah Jepang dan perusahaan teknologi lokal, seperti Fujitsu dan NEC dan telah berkolaborasi dalam pengembangan teknologi SIG yang disesuaikan untuk kebutuhan pertanian lokal. Mendukung penelitian dan pengembangan untuk meningkatkan kapabilitas SIG, termasuk integrasi dengan teknologi IoT (*Internet of Things*).
- **Pelatihan dan Pendidikan:** Jepang juga berfokus pada pelatihan dan pendidikan untuk petani dalam penerapan SIG. Program tersebut sering diadakan oleh pemerintah dan organisasi non-pemerintah, sehingga petani dapat memanfaatkan sepenuhnya teknologi ini dalam praktik sehari-hari.

C. India

India merupakan negara dengan wilayah pertanian yang luas dan telah memanfaatkan SIG untuk perencanaan penggunaan lahan, terutama dalam pengelolaan sumber daya air dan pemantauan kondisi tanah. Infrastruktur dan pelatihan masih menjadi hambatan utama dalam penerapan SIG di seluruh negeri.

- **Pemetaan Kesesuaian Lahan dan Manajemen Sumber Daya Air:** Penerapan SIG di India banyak digunakan untuk pemetaan kesesuaian lahan di wilayah yang sangat luas dan beragam secara geografis. Bertujuan untuk menentukan wilayah yang paling sesuai untuk komoditas tanaman tertentu, serta untuk merencanakan dan

mengelola sumber daya air, terutama di berbagai daerah yang sering dilanda kekeringan.

- **Inisiatif Pemerintah:** Pemerintah India telah meluncurkan berbagai inisiatif untuk mendorong penggunaan SIG di sektor pertanian, seperti program *National Agriculture Market* (e-NAM) yang menggunakan data spasial untuk membantu petani dalam mendapatkan harga yang lebih baik untuk produk pertanian. Selain itu, proyek *Indian Space Research Organisation* (ISRO) seperti Bhuvan juga menyediakan data spasial yang dapat diakses secara bebas.
- **Tantangan Infrastruktur:** Meskipun potensinya besar, penerapan SIG di India masih menghadapi beberapa tantangan, terutama dalam hal infrastruktur teknologi di pedesaan, akses terhadap data spasial yang berkualitas, dan keterbatasan pelatihan untuk petani. Tantangan ini dapat diatasi secara bertahap dengan meningkatkan digitalisasi dan dukungan kebijakan.
- **Pelatihan dan Kesadaran:** Program pelatihan yang diinisiasi oleh pemerintah dan LSM bertujuan untuk meningkatkan kesadaran dan kemampuan petani dalam menggunakan SIG. Salah satu diantaranya adalah Program Digital India yang berfokus pada peningkatan literasi digital di kalangan petani.

D. Brasil

Brasil telah berhasil menggunakan SIG untuk meningkatkan produktivitas pertanian melalui pemetaan kesesuaian lahan yang detail, analisis risiko lingkungan, dan mendukung keberlanjutan pertanian dengan meminimalkan dampak deforestasi.

- **Pemetaan Kesesuaian Lahan dan Pemantauan Lingkungan:** Penerapan SIG di Brasil digunakan untuk memetakan kesesuaian lahan bagi komoditas utama, seperti kedelai, jagung, dan tebu. Selain itu, SIG juga digunakan untuk memantau dan mengelola dampak lingkungan dari kegiatan pertanian, termasuk deforestasi di Amazon.
- **Inovasi dalam Pemantauan Deforestasi:** SIG dan data satelit telah menjadi alat utama bagi Brasil dalam upaya memantau dan mengurangi deforestasi yang berkaitan erat dengan ekspansi lahan pertanian. Hal ini merupakan bagian dari komitmen Brasil dalam mempertahankan keseimbangan antara produksi pertanian dan pelestarian lingkungan.
- **Dukungan Kebijakan dan Kolaborasi Internasional:** Pemerintah Brasil telah menerapkan berbagai kebijakan untuk mendukung penggunaan SIG dalam pertanian, termasuk program yang didukung oleh Bank Dunia dan

berbagai organisasi internasional lainnya. Kolaborasi internasional ini juga membantu Brasil dalam memperoleh teknologi SIG yang lebih maju dan mengadopsi praktik terbaik dari negara lain.

- **Program Pelatihan dan Riset:** Berbagai universitas dan lembaga penelitian di Brasil, seperti Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), secara aktif terlibat dalam penelitian dan pengembangan SIG untuk pertanian. Mereka juga menyediakan program pelatihan bagi petani dan profesional pertanian untuk meningkatkan keterampilan dalam menggunakan teknologi ini.

III. PERBANDINGAN IMPLEMENTASI SIG ANTARA INDONESIA DAN NEGARA-NEGARA LAIN

Indonesia mempunyai potensi besar dalam penerapan SIG dengan keanekaragaman lahan dan tantangan lingkungan yang kompleks. Penerapan SIG di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala yang belum sepenuhnya teratasi. Tabel 1 menyajikan perbandingan kemajuan SIG di Indonesia dengan negara-negara lain yang telah disebutkan.

3.1 Analisis Tantangan dan Peluang di Indonesia

Meskipun Indonesia telah mulai mengadopsi SIG dalam

Tabel 1. Perbandingan kemajuan Sistem Informasi Geografis (SIG) di Indonesia dengan beberapa negara lain

Aspek	Indonesia	Amerika Serikat	Jepang	India	Brasil
Kebijakan	Kebijakan SIG masih dalam tahap pengembangan, dengan adopsi lambat di sektor pertanian.	Kebijakan SIG sangat maju dengan dukungan pemerintah yang kuat dan regulasi yang ketat.	Kebijakan nasional mendukung SIG dengan fokus pada pertanian presisi dan manajemen lahan.	Kebijakan ada tetapi implementasinya tidak merata dan sering kali lambat.	Kebijakan SIG berkembang dengan baik namun implementasinya bervariasi antar wilayah.
Infrastruktur	Infrastruktur SIG masih terbatas dan belum terintegrasi sepenuhnya di seluruh wilayah.	Infrastruktur teknologi canggih dengan jaringan data yang luas dan terintegrasi.	Infrastruktur SIG modern dan mendukung berbagai aplikasi, terutama di pertanian.	Infrastruktur SIG berkembang, tetapi ada kesenjangan antara wilayah perkotaan dan pedesaan.	Infrastruktur SIG relatif kuat di wilayah perkotaan, tetapi kurang di daerah pedalaman.
Akses Data	Data spasial masih tidak lengkap dan kurang terintegrasi antar sektor.	Akses data yang sangat luas, terbuka, dan terintegrasi untuk berbagai sektor.	Data sangat terintegrasi dan tersedia untuk publik dan sektor swasta.	Akses data berkembang tetapi masih terbatas terutama di daerah pedesaan.	Akses data yang baik di beberapa sektor, tetapi masih ada tantangan dalam integrasi data.
Pelatihan	Pelatihan dan pendidikan SIG masih terbatas dan memerlukan peningkatan.	Program pelatihan SIG sangat maju dengan banyak peluang untuk pengembangan profesional.	Pelatihan intensif untuk tenaga kerja, dengan dukungan pemerintah dan sektor swasta.	Program pelatihan berkembang tetapi masih ada kesenjangan kualitas antar wilayah.	Pelatihan tersedia tetapi sering kali tidak menjangkau wilayah terpencil.
Produktivitas	Produktivitas sektor pertanian belum optimal dengan penerapan SIG yang masih rendah.	SIG sangat meningkatkan produktivitas pertanian melalui pertanian presisi.	Produktivitas pertanian sangat tinggi berkat penerapan teknologi SIG dan AI.	SIG mulai meningkatkan produktivitas, tetapi skalanya masih terbatas.	SIG berkontribusi pada peningkatan produktivitas, terutama di wilayah agrikultur utama.
Tantangan Utama	Keterbatasan infrastruktur, keterampilan SDM, dan kurangnya data yang terintegrasi.	Tantangan utama adalah menjaga privasi data dan interoperabilitas antar sistem.	Tantangan dalam integrasi teknologi baru dan penyesuaian kebijakan lokal.	Tantangan dalam penyebaran teknologi dan pelatihan SDM, terutama di daerah pedesaan.	Tantangan dalam mengatasi deforestasi dan penyebaran teknologi di wilayah terpencil.

Pengelolaan lahan pertanian, berbagai tantangan masih menghambat adopsi yang lebih luas. Keterbatasan infrastruktur teknologi, kurangnya pelatihan untuk petani dan pemangku kepentingan, serta akses data yang terbatas adalah beberapa hambatan utama. Namun, peluang untuk meningkatkan penggunaan SIG sangat besar, terutama dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya digitalisasi dalam sektor pertanian. Dukungan kebijakan yang lebih kuat, investasi dalam infrastruktur, dan pelatihan dapat menjadi kunci dalam mempercepat kemajuan ini.

Selain itu, indikator SIG di Indonesia secara keilmuan terpublikasi masih terbatas. Pada Tabel 2 dapat dilihat hasil pencarian jurnal terstandar pada ScienceDirect melalui penelusuran dengan *keyword* "SIG" Pertanian + [Negara] dalam bahasa Inggris. Hasil penelusuran menunjukkan bahwa bidang penelitian—yang merupakan titik krusial untuk mengembangkan SIG di Indonesia—sangat jauh kuantitasnya (2.817 jurnal) dengan negara-negara, seperti Amerika Serikat (17.436 jurnal), menyusul India (9.372 jurnal), Jepang (6.413 jurnal), dan Brazil (5.363 jurnal). Bahkan, pada tahun di atas 2020, jurnal Amerika Serikat menempati urutan kuantitas tertinggi dan jurnal Indonesia menempati urutan kuantitas terendah. Jurnal tersebut meliputi jurnal ilmu murni (*pure science*) dan ilmu terapan (*applied science*).

Terlihat bahwa Tabel 1 Perbandingan Kemajuan Pertanian dengan SIG dan Tabel 2 Perbandingan jurnal terstandar ScienceDirect terkait GIS dan Pertanian memiliki keterkaitan. Keduanya menunjukkan bahwa Indonesia masih memerlukan perhatian khusus dari *stakeholder* dalam menggunakan SIG sebagai pendorong kemajuan pertanian. Hal ini terlihat dari segi perspektif ilmu murni dan ilmu terapan dalam penelitian-penelitian berkaitan pertanian dalam jurnal terstandar.

Pola-pola keilmuan, terapan geografi, dan lingkungan dapat diterapkan apabila ingin melihat SIG dan Pertanian menjadi suatu kesatuan, yang akhirnya dapat disolusikan perencanaannya melalui penelitian, kajian hingga suatu standardisasi lebih lanjut. Melalui sudut pandang itulah SIG

akan menjadi kunci dan penyambung kemajuan pertanian dari IoT, pertanian presisi hingga smart farming.

Studi kasus dengan adanya gap atau perbedaan unit cost cetak sawah antara Kementerian/Lembaga diantaranya Kementerian Pertanian dan Kementerian PUPR dalam program cetak sawah. Hal ini dapat disolusikan dengan dukungan perencanaan unit cost yang sama sehingga tidak terjadi kesalahan dalam perencanaan.

IV. CONTOH PENERAPAN SIG

Peta SIG berupa Variabel Kontinu pada Lingkungan di Area Asal serta Unit Pemetaan Tanah (kasus) di Kebun Anggur Referensi

Gambar 1 menunjukkan contoh peta-peta pada jurnal berjudul "SIG dan Logika Fuzzy dalam Menentukan Daerah Potensial Baru untuk Budidaya Anggur Musim Dingin (Syrah cv.) di Daerah Tropis di Brasil Tenggara" (Mariana, Luciana, dkk, 2022) yang diakses melalui ScienceDirect (Bahasa). Peta menunjukkan Variabel kontinu lingkungan di area asal serta unit pemetaan tanah (kasus) di kebun anggur referensi Cordislândia dan Três Corações.

Peta SIG Lokasi Hasil Model Penilaian Pabrik Biogas Optimal

Contoh peta pada ScienceDirect Jurnal (Bahasa) berjudul "Penilaian terperinci berbasis GIS atas lokasi pabrik bioenergi menggunakan algoritma alokasi lokasi" (Mehme, Omer, dkk. 2023) yang diakses melalui ScienceDirect (Bahasa) ditunjukkan pada Gambar 2. Peta menunjukkan hasil penilaian model yang digunakan untuk penilaian lokasi pabrik biogas yang optimal.

Peta SIG Jumlah total biomassa di Alberta dan lokasi potensial pabrik biorefinery

Gambar 3 menunjukkan contoh peta pada ScienceDirect Jurnal (Bahasa) "Potensi lokasi *biorefinery* etanol berbasis residu pertanian di Alberta, Kanada: Pendekatan GIS dengan variabilitas bahan baku" (Yanan, Claire, dkk. 2021) yang diakses melalui ScienceDirect (Bahasa). Peta menunjukkan jumlah total biomassa di Alberta dan lokasi potensial pabrik biorefineri dengan radius pasokan

Tabel 2. Perbandingan jurnal terstandar ScienceDirect terkait GIS dan Pertanian di Indonesia, Amerika Serikat, Jepang, India, Brasil (satuan jurnal)

No	Negara	Keyword	Total Jurnal ScienceDirect	Tahun			
				<2001	2001 s.d 2010	2011 s.d 2020	>2020
1	Indonesia	"GIS" agriculture Indonesia	2.817	185	366	1238	1028
2	Amerika Serikat	"GIS" agriculture USA	17.436	1.422	3.424	8.052	4.538
3	Jepang	"GIS" agriculture Japan	6.413	516	1.004	2.805	2.088
4	India	"GIS" agriculture India	9.372	422	964	3.686	4.300
5	Brasil	"GIS" agriculture Brazil	5.363	318	754	2.368	1.923

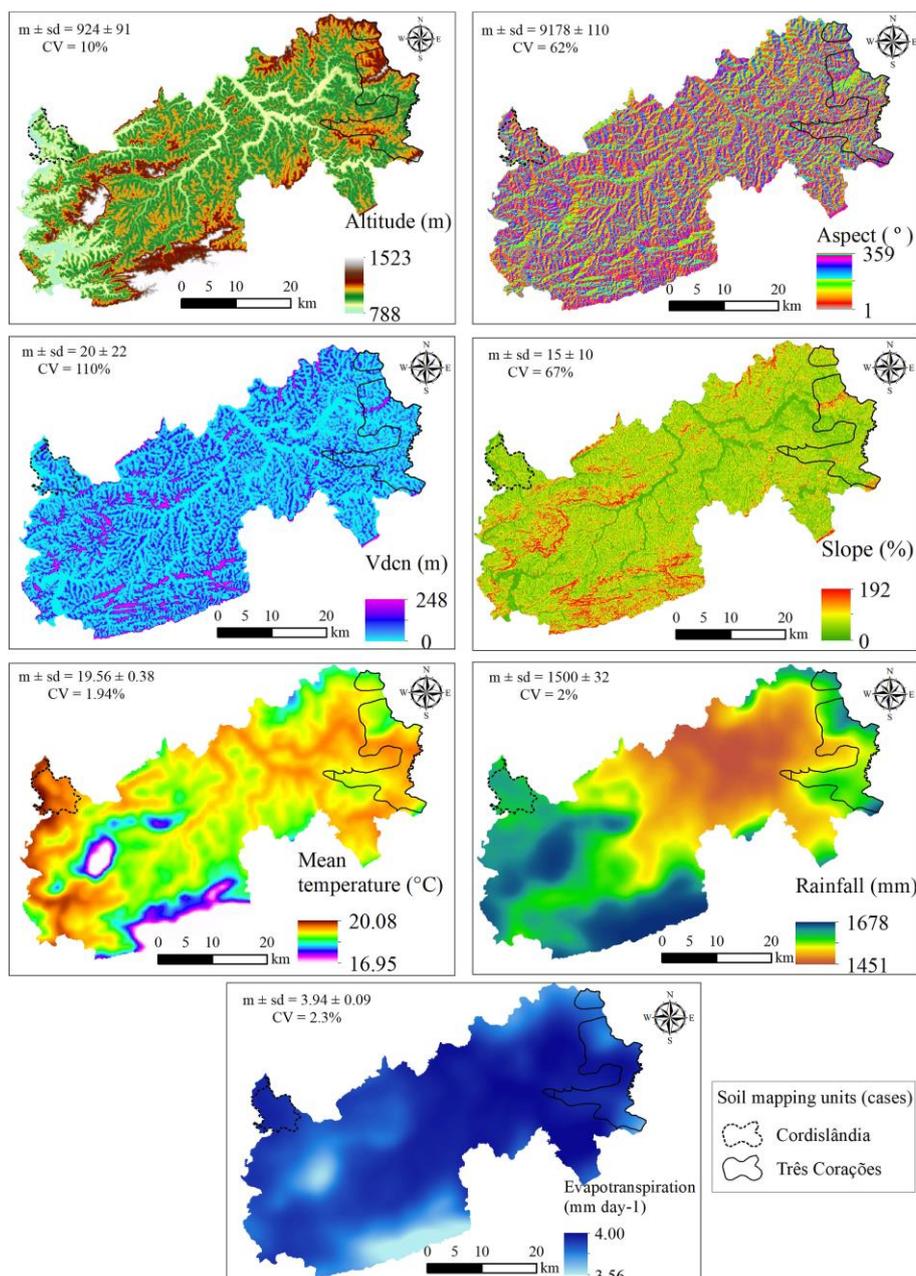
biomassa 80 km. Lokasi 1 hingga 5 masing-masing terletak di daerah Beaver, Kneehill, Vulcan, Sturgeon, dan Wainwright. Residu dari area yang tumpang tindih antara Lokasi 1 dan 4 serta Lokasi 1 dan 5 tidak dihitung dua kali, karena pasokan biomassa.

V. PENUTUP

Pengelolaan Pengelolaan sumber daya lahan pertanian yang efisien sangat penting untuk memenuhi kebutuhan pangan global yang terus meningkat. Sistem Informasi Geografis (SIG) telah terbukti sebagai alat yang efektif dalam mencapai tujuan ini di berbagai negara. Perbandingan antara

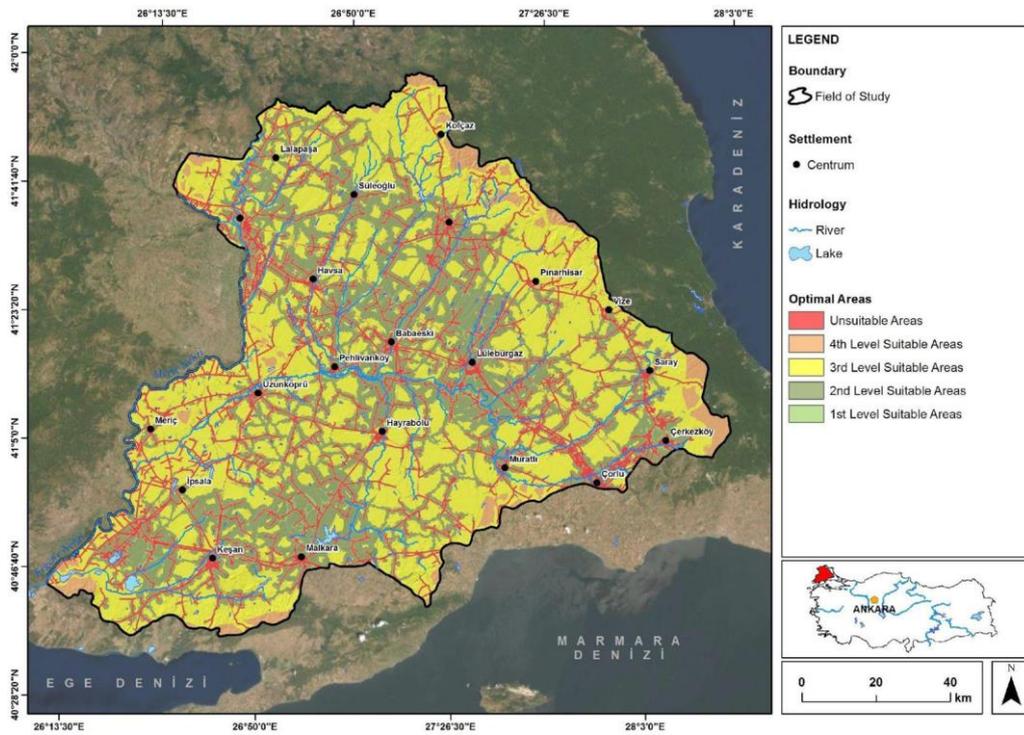
kemajuan SIG di Indonesia dengan negara-negara lain menunjukkan bahwa Indonesia berpotensi mengoptimalkan penggunaan teknologi ini. Dengan meningkatkan infrastruktur, akses data, dan pelatihan, Indonesia dapat memaksimalkan potensi SIG untuk meningkatkan produktivitas pertanian dan keberlanjutan lingkungan.

SIG menawarkan suatu sudut pandang pertanian yang tidak kita lihat sebelumnya—bahwa keilmuan pure science dan applied science melalui pola-pola geografi dan lingkungan memberikan suatu “melodi” holistik—yang pada akhirnya dalam tahapan perencanaan melalui penelitian, kajian hingga menjadi suatu standardisasi lebih lanjut.

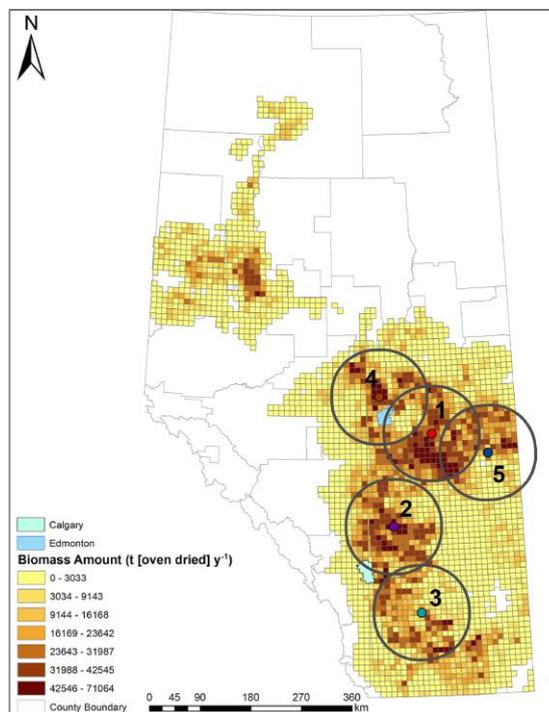


Gambar 1. Peta SIG berupa Variabel Kontinu pada Lingkungan di Area Asal serta Unit Pemetaan Tanah (kasus) di Kebun Anggur Referensi
Keterangan: Vdcn = jarak vertikal ke jaringan saluran; $m \pm sd$ = rata-rata \pm simpangan baku; CV = koefisien variasi

Warta Sumber Daya Lahan Pertanian



Gambar 2. Peta SIG Lokasi Hasil Model Penilaian Pabrik Biogas Optimal



Gambar 3. Peta SIG Jumlah total biomassa di Alberta dan lokasi potensial pabrik biorefineri

DAFTAR PUSTAKA

Bongiovanni, R., & Lowenberg-Deboer, J. (2004). *Precision Agriculture and Sustainability*. Precision Agriculture, 5(4), 359-387.

Burrough, P. A., & McDonnell, R. A. (2016). *Principles of Geographical Information Systems*. Oxford University Press. Third Edition

Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2015). *Geographical Information Science and Systems* (4th ed.). Wiley. ISBN: 978-1-119-12845-8

Mariana Gabriele Marcolino Gonçalves, Luciana Alves Caldeira Brant, Renata Vieira da Mota, Isabela Peregrino, Claudia Rita de Souza, Murillo de Albuquerque Regina, Alberto Vasconcelos Inda Junior, Tatiele Fruett dos Santos, Marcelo Henrique Procópio Pelegrino, Nilton Curi, Michele Duarte de Menezes. 2022. *GIS and fuzzy logics in establishing new potential areas for winter wines (Syrah cv.) cultivation in tropical conditions of southeastern Brazil*. Applied Geography, Volume 141, 2022, 102680, ISSN 0143-6228, <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2022.102680>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622822000510>)

Mehmet Sadik Akca, Omer Visali Sarikaya, Mehmet Fatih Doker, Fatih Ocak, Cem Kirlangicoglu, Yakup Karaaslan, Sule Itir Satoglu, Mahmut Altinbas. 2023. A detailed GIS based assessment of bioenergy plant locations using location-allocation algorithm, *Applied Energy*, Volume 352, 2023, 121932, ISSN 0306-2619, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121932>.

(<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261923012965>)

Rossiter, D. G. (1996). *A Theoretical Framework for Land Evaluation*. *Geoderma*, 72(3-4), 165-190. [https://doi.org/10.1016/0016-7061\(96\)00031-6](https://doi.org/10.1016/0016-7061(96)00031-6)

Prusty, A.K., Saha P. 2024. *Advances in Agricultural Research Methodology (Volume 2)*. ISBN-978-93-6039-841-5.

Yanan Zheng, Claire A. Doll, Feng Qiu, Jay A. Anderson, Grant Hauer, M.K. Luckert, 2021. *Potential ethanol biorefinery sites based on agricultural residues in Alberta, Canada: A GIS approach with feedstock variability*, *Biosystems Engineering*, Volume 204, 2021, Pages 223-234, ISSN 1537-5110, <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2021.01.010>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511021000118>)

<https://www.sciencedirect.com>

BIOCHAR: UNGKIT PRODUKTIVITAS LAHAN RAWA

Ani Susilawati ⁽¹⁾, Dedi Nursyamsi ⁽²⁾

⁽¹⁾ Balai Pengujian Standar Instrumen Pertanian Lahan Rawa, Banjarbaru

⁽²⁾ Pusat Penyuluhan Pertanian

RINGKASAN

Pemanfaatan limbah pertanian sebagai biochar merupakan salah satu upaya pengelolaan limbah pertanian yang prospektif untuk mendorong optimalisasi lahan-lahan suboptimal dan lahan terdegradasi. Lahan rawa merupakan salah satu agroekologi yang cukup luas di Indonesia dan memiliki potensi cukup besar untuk pengembangan pertanian di masa kini dan yang akan datang, serta diharapkan mampu mendukung ketahanan pangan di Indonesia. Limbah pertanian di Indonesia tersedia cukup banyak dan diperkirakan mencapai 10,7 juta t th⁻¹, diantaranya berupa sekam padi, kulit buah kakao, tempurung kelapa, tempurung kelapa sawit, dan tongkol jagung. Salah satu pengelolaan limbah pertanian yaitu dengan membuat biochar dari berbagai sumber bahan baku tersebut.

Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang pemanfaatan limbah pertanian sebagai biochar di bidang pertanian dalam upaya mengoptimalkan lahan rawa di Indonesia. Aplikasi biochar berfungsi sebagai pembenah tanah yang mampu memperbaiki sifat kimia dan fisik tanah. Perbaikan kualitas sifat kimia dan fisik tanah tersebut berdampak pada ketersediaan hara dan air melalui kemampuan biochar meretensi hara dan air. Penambahan biochar diharapkan berimplikasi pada peningkatan produktivitas tanaman pangan pada lahan rawa.

I. PENDAHULUAN

Lahan rawa merupakan salah satu agroekologi yang cukup luas di Indonesia dan memiliki potensi cukup besar untuk pengembangan pertanian masa kini dan yang akan datang. Pemanfaatannya belum dilakukan secara optimal karena pada umumnya merupakan lahan marginal dan kurang subur sehingga diperlukan pengelolaan yang tepat. Pengelolaan lahan rawa memerlukan teknologi spesifik antara lain perbaikan kondisi tanah melalui ameliorasi. Bahan amelioran yang umum digunakan petani di lahan rawa adalah kapur, pupuk kandang, dan abu (Maftu'ah, 2012). Pengelolaan lahan rawa yang tepat akan memberikan kontribusi nyata terhadap ketahanan pangan Indonesia. Namun seiring dengan menurunnya kualitas tanah dan lingkungan, diperlukan upaya pengelolaan lahan rawa secara bijak (*wise use*) yang berlandaskan keberlanjutan dan aman bagi lingkungan.

Produksi biochar merupakan salah satu pengelolaan limbah pertanian yang dapat dikembangkan mengingat sumber bahan bakunya cukup melimpah. Diharapkan optimalisasi lahan rawa dapat dilakukan dengan memanfaatkan limbah pertanian yang tersedia *in situ*. Tulisan ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang potensi pemanfaatan limbah pertanian sebagai biochar di bidang pertanian khususnya dalam upaya mengoptimalkan lahan rawa di Indonesia dan menguraikan peranan biochar dalam memperbaiki kualitas lahan rawa.

II. PERANAN BIOCHAR DI LAHAN RAWA

Biochar adalah produk dekomposisi termal bahan organik pada kondisi oksigen yang terbatas (*pyrolysis*) pada temperatur 250-500°C. Mirip dengan arang yang dihasilkan dari pembakaran alami, namun berbeda karena fungsinya sebagai amandemen tanah (Lehmann dan Joseph 2009, Sohi *et al.* 2009). Biochar dapat dihasilkan dari berbagai sumber biomas seperti residu tanaman, limbah tanaman ataupun limbah hewan. Karakteristik biochar tergantung pada bahan bakunya dan kondisi pirolisisnya seperti suhu, durasi waktu dan pasokan oksigen (Sohi *et al.* 2009).

Berbeda dengan bahan organik, biochar stabil selama ratusan hingga ribuan tahun bila dicampur ke dalam tanah dan mampu mensekuestrasi karbon dalam tanah (Lehmann 2007; Renner 2007, Fraser 2010). Biochar adalah residu pirolisis berbentuk arang yang mengandung karbon tinggi dan bermanfaat bagi pertanian terutama untuk perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah. Penambahan biochar dapat meningkatkan kesuburan tanah dan mampu memulihkan kualitas tanah yang telah terdegradasi (Atkinson *et al.* 2010, Glaser *et al.* 2002). Biochar mampu memperbaiki tanah melalui kemampuannya meningkatkan pH, meretensi air, meretensi hara, dan meningkatkan aktivitas biota dalam tanah serta mengurangi pencemaran (Laird *et al.* 2010). Pemberian biochar mampu meningkatkan ketersediaan P, pH tanah, K dan Ca-dd (Masulili *et al.* 2010).

Biochar dapat meningkatkan produktivitas tanaman secara langsung maupun tidak langsung. Pengaruh langsung biochar melalui sumbangan nutrisi yang dilepaskan, sedangkan tidak langsung melalui perbaikan daya sangga tanah dalam menahan hara (Laird *et al.* 2010, Schulz and Glaser 2012, Zhang *et al.* 2013), peningkatan Ph tanah (Li-li

He *et al.* 2016, Topoliantz *et al.* 2007, Yuan *et al.* 2011) dan peningkatan KTK, perbaikan sifat fisik tanah dan pengaruhnya terhadap fungsi dan populasi mikrobia. Biochar mampu mengurangi kehilangan hara melalui pelindian, sehingga efisiensi pemupukan dapat ditingkatkan (Novak *et al.* 2009, Yao *et al.* 2012). Kehilangan pemupukan N melalui pemupukan dapat dikurangi dengan penambahan biochar (Steiner *et al.* 2007, Clough *et al.* 2013, Knowles *et al.* 2011, Gao dan DeLuca 2016). Hal ini juga berlaku bagi unsur hara P yang tidak diretensi oleh bahan organik biasa. Biochar lebih dapat bertahan dalam tanah dibanding bahan organik lain (Lehmann 2007). Sehingga fungsi kerja biochar, menyerap dan mengikat air, menyuplai unsur kalsium dan magnesium ke tumbuhan.

Biochar mampu menyediakan kombinasi udara dan air yang baik untuk pertumbuhan mikroba yang berperan dalam tanah. Biochar juga dapat dijadikan bahan pembawa yang efektif bagi mikroba yang berperan penting dalam tanah, sehingga dapat berperan dalam pembuatan pupuk hayati (Santi dan Goenadi 2010). Fungi dapat bersporulasi di dalam pori mikro biochar karena di dalam pori tersebut kompetisi yang terjadi dengan saprofit lainnya cukup rendah (Saito dan Marumoto 2002). Nugraheni *et al.* (2013) menambahkan biochar dapat meningkatkan kesuburan tanah dan menyediakan habitat yang baik bagi mikroba tanah bahkan mampu menahan air dan nutrisi sehingga lebih tersedia bagi tanaman.

Penelitian Masulili *et al.* (2010) pemberian biochar pada tanah sulfat masam mampu menurunkan Al-dd, Fe terlarut, meningkatkan porositas, pH, ketersediaan P, KTK, Ca-dd dan K-dd. Perlakuan kombinasi Biochar dan pupuk kandang ayam, mampu meningkatkan hasil padi Inpara-3. Perbaikan sifat kimia tanah melalui pemberian biochar dan amelioran lainnya berdampak juga terhadap peningkatan hasil padi di tanah sulfat masam (Masulili *et al.* 2010).

Menurut Ferizal *et al.* (2011) penambahan biochar sebagai pembenah tanah yang berasal dari hasil pembakaran limbah pertanian dengan oksigen terbatas, ternyata memiliki kemampuan yang baik sebagai bahan perubahan dalam tanah, karena C organik masih bertahan di dalam karbon hitam. Arang hayati yang terbentuk dari pembakaran ini akan menghasilkan karbon aktif, yang mengandung mineral seperti

kalsium (Ca) atau magnesium (Mg) dan karbon anorganik, biochar banyak digunakan sebagai bahan amelioran untuk meningkatkan kualitas tanah, khususnya tanah marginal (Rondon *et al.*, 2007). Sehingga biochar dapat menjadi pengganti media tanam pada tanaman. Struktur biochar yang mempunyai pori mikro mampu meningkatkan kapasitas memegang air (Santi dan Goenadi 2010, Sutono and Nurida 2012, Yu *et al.* 2013).

Biochar mampu memperbaiki sifat kimia tanah lahan sub optimal, diantaranya lahan rawa pasang surut sulfat masam dan lahan gambut. Biochar mampu meningkatkan pH tanah, N total, P tersedia dan K-dd di lahan kering masam, lahan kering iklim kering, lahan rawa pasang surut dan lahan gambut (Tabel 1).

Adanya peningkatan produksi tanaman akibat aplikasi biochar pada lahan rawa. Aplikasi biochar sekam padi meningkatkan hasil padi di lahan pasang surut mencapai 4.35 – 5.36 t/ha (Barus and Santri 2016). Pada lahan gambut terjadi peningkatan hasil jagung akibat pemberian biochar sekam padi sampai 59% (Simatupang *et al.* 2017). Biochar juga memberikan peningkatan produksi tanaman kedelai di lahan sub optimal. Pemberian biochar sekam padi 10 t/ha meningkatkan bobot kering biji kedelai mencapai 2.5 – 2.9 t/ha (Endriani and Kurniawan 2018).

III. PENUTUP

Salah satu upaya pengelolaan limbah pertanian adalah dengan pembuatan biochar. Peluang pemanfaatan biochar di lahan pertanian sangat besar, baik ditinjau dari ketersediaan bahan baku maupun fungsinya. Aplikasi biochar dapat menjadi solusi dalam pemanfaatan dan optimalisasi lahan rawa. Peran biochar di lahan rawa adalah memperbaiki sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sehingga dapat meningkatkan produktivitas lahan. Produktivitas tanaman meningkat sejalan dengan terjadinya perbaikan kualitas lahan. Efektivitas biochar dalam memperbaiki sifat tanah tergantung pada jenis biochar, proses pembuatan biochar, dosis biochar, cara aplikasi biochar, ukuran biochar serta jenis tanah. Biochar merupakan bahan alternatif untuk perbaikan kesuburan tanah, sekaligus untuk perbaikan lingkungan yang murah, berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Tabel 1. Pengaruh biochar terhadap sifat kimia tanah di lahan rawa

Perlakuan	pH H ₂ O	N total	P tsd	K-dd	KTK	Jenis lahan	Referensi
		%	ppm	me/100 g			
Kontrol	4.84	0.11	26.55	0.37	6.29	Lahan rawa pasang surut	Barus and Santri, 2016
Biochar sekam padi, 5 t/ha	5.13	0.13	27.87	0.43	7.60		
Biochar sekam padi, 19 t/ha	5.22	0.14	30.15	0.48	8.34		
Kontrol	4.18	0.93	120.19	0.53	-	Lahan gambut	Maftuah and Nursyamsi, 2019
Galam stem biochar 8 t/ha	4.24	0.95	156.58	0.59	-		
Rice husk biochar 8 t/ha	4.19	0.95	262.14	0.96	-		
Palm midrib biochar 8 t/ha	4.20	0.95	263.09	0.95	-		
Coconut shell biochar 8 t/ha	4.29	1.26	175.59	0.94	-		

DAFTAR PUSTAKA

- APPI. 2023. Fertilizer Consumption on Domestic Market and Export Market, year 2017 – 2023. Diakses pada 11 Mei 2023 dari <https://www.appi.or.id/consumption-report/fertilizer-consumption-64cb720acae98>.
- Atkinson, C. J., J.D. Fitzgerald, N.A. Hips. 2010. Potential mechanisms for achieving agricultural benefits from biochar application to temperate soils: a review. *Plant Soil* 337:1–18.
- Barus J, Santri N. 2016. Perubahan sifat-sifat kimia tanah dan hasil padi pada lahan rawa pasang surut dengan aplikasi pembenah tanah. *Prosiding Seminar Nasional Asosiasi Biochar Indonesia, Pontianak Mei 2016*. ISBN 978-602-72935-2-6
- Clough TJ, Condrón LM, Kammann C, Müller C. 2013. A Review of Biochar and Soil Nitrogen Dynamics. *Agronomy* 3:275–293. doi:10.3390/agronomy3020275. ISSN 2073-395. www.mdpi.com/journal/agronom.
- Endriani, Kurniawan A. 2018. Konservasi tanah dan karbon melalui pemanfaatan biochar pada pertanaman kedelai. *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi* 2 (2):93–106
- Fraser B. 2010. High-tech Charcoal Fights Climate Change. *Environ. Sci. Technol.* 548.
- Ferizal, M., & Basri, A.B., 2011. Arang Hayati (Biochar) Sebagai Pembenah Tanah. *Balai Pengkajian Teknologi Pertanian (BPTP) Aceh*.
- Gao S, DeLuca TH. 2016. Influence of biochar on soil nutrient transformations, nutrient leaching, and crop yield. *Adv. Plants Agric. Res.* 4(5):1–16
- Glaser, B., J. Lehmann, and W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal: A review. *Biol. Fertil. Soils* 35:219-230.
- Knowles OA, Robinson BH, Contangelo A, Clucas L. 2011. Biochar for the mitigation of nitrate leaching from soil amended with biosolids. *Science of the Total Environment.* 409: 3206-3210
- Laird, D.A., P. Fleming, D.D. Davis, R. Horton, B.Q. Wang, B.Q. and D.L. Karlen. 2010. Impact of biochar amendment on quality of typical Midwestern Agricultural Soil. *Geoderma* 158 (3-4) 443-449
- Lehmann J. 2007. Bio-energy in the black. *Front Ecol Environ* 5(7): 381–387
- Lehmann J, Joseph S. 2009. Biochar for Environmental Management. First published by Earthscan in the UK and USA in 2009. p.416
- Li-li He, Zhe-ke Z, Hui-min Y. 2016. Effects on soil quality of biochar and straw amendment in conjunction with chemical fertilizers. *Journal of Integrative Agriculture* 15(0); 60345–7
- Maftuah E, Nursyamsi D. 2019. Effect of Biochar on Peat Soil Fertility and NPK Uptake by Corn. *AGRIVITA Journal of Agricultural Science* 41(1): 64–73
- Maftu'ah E. 2012. Ameliorasi Lahan Gambut Terdegradasi dan Pengaruhnya terhadap Produksi Tanaman Jagung Manis. [Disertasi]. Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Masulili A, Utomo, WH, Syechfani MS. 2010. Rice husk biochar for rice based cropping system in acid soil 1. The characteristics of rice husk biochar and its influence on the properties of acid sulfate soils and rice growth in West Kalimantan, Indonesia. *Journal of Agriculture Science* 2 (1); 39-47
- Novak JM, Busscher WJ, Laird DL, Ahmedna M, Watts DW, Niandou MAS. 2009. Impact of biochar amendment on fertility of a southeastern coastal plain soil. *Soil. Sci.* 174; 105–112
- Nugraheni, S.R., Prasetya, A., & Sihana. 2013. Processing Biochar from Solid Waste of Arenga Pinnata Flour Industry. *Jurnal Teknik Kimia*, 11(1):31-36.
- Renner R. 2007. Rethinking Biochar. *Environ. Sci. Technol*, 41;5932–5933
- Rondon, M. J., Renner, R. Lehmann, J. Ramírez, & M. Hurtado. 2007. Biological nitrogen fixation by common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) increases with biochar additions. *Biology and Fertility in Soils*, 63(6):699-708.
- Saito M, Marumoto T. 2002. 'Inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi: the status quo in Japan and the future prospects', *Plant and Soil* 244; 273–279
- Santi, L.P., D.H. Goenadi. 2010. Pemanfaatan bio-char sebagai pembawa mikroba untuk pemantap agregat tanah Ultisol dari Taman Bogo-Lampung. *Menara Perkebunan* 78(2): 11-22
- Schulz H, Glaser B. 2012. Effects of biochar compared to organic and inorganic fertilizers on soil quality and plant growth in a greenhouse experiment. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 175: 410–422
- Simatupang RS, Maftu'ah E, Subagio H. 2017. Pengaruh pemberian formula bahan amelioran terhadap pertumbuhan dan hasil jagung di lahan gambut. In Fahmuddin A.(Eds). *Prosiding Kongres Nasional Perkumpulan Masyarakat Gambut Indonesia (HGI) ke VII dan Seminar Pengelolaan Lahan Sub-Optimal Secara Berkelanjutan*. BBSDLP. ISBN: 978-602-459-049-9
- Sohi S, Lopez-Capel E, Krull E, Bol R. 2009. Biochar, climate change and soil: a review to guide future research. *CSIRO Land and Water Science Report* 05/09 February 2009.
- Steiner, C., W.G. Teixeira, J. Lehmann, T. Nehls, J.L.V. de Macêdo, W.E.H. Blum, W. Zech. 2007. Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil. *Plant soil* 291: 275-290

- Sutono S, Nurida NL. 2012. Kemampuan biochar memegang air pada tanah bertekstur pasir. *Buana Sains* 12 (1): 45–52
- Topoliantz S, Ponge JF, Ballof S. 2007. Manioc peel and charcoal: a potential organic amendment for sustainable soil fertility in the tropics. *Biol. Fert. Soils*, 41, 15–21. doi:10.1007/s00374-004-0804-9
- Yao Y, Gao B, Zhang M, Inyang M, Zimmerman AR. 2012. Effect of biochar amendment on sorption and leaching of nitrate, ammonium, and phosphate in a sandy soil. *Chemosphere* 89:1467–1471. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.06.002>
- Yuan, J.H., W.R.K. Quan, and R.H. Wang. 2011. Comparison of ameliorating effect on an acidic ultisol between four crop straw and their *biochars*. *Journal of soil and Sediment* 11(5);741-750
- Yu OK, R Brian YR, S Sam. 2013. Impact of biochar on the water holding capacity of loamy sand soil. *Internasional Journal of Energy and Environmental Engineering* 4:44
- Zhang T, Fang C, Li P, Jiang R, Nie H. 2013. Application of biochar for phosphate adsorption and recovery from wastewater. *Advanced Materials Research Vols. 750-752*. pp 1389–1392. Trans Tech Publications, Switzerland. doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.750-752.1389

TIM REDAKSI. Penanggungjawab : Asdianto, S.P., M.T ; **Ketua Redaksi :** Anggri Hervani, S.P. M.Sc; **Ketua Editor :** Drs. Widhya Adhy; **Editor :** Dr. Ir. Muhrizal Sarwani, Ir. Rudi Eko Subandiono, M.Sc, Laelatul Qodaryani, S.Kom, Mety Maryanti, S.P.; **Sekretariat :** Ferdiana Ayu Cahyaningtyas, A.Md

Petunjuk bagi Penulis

Ketentuan Umum

Warta Sumber Daya Lahan dan Perubahan Iklim Pertanian bertujuan untuk mempublikasikan tulisan semi ilmiah atau populer terkait sumberdaya lahan pertanian, perubahan iklim pertanian, informasi geospasial, serta hasil-hasil produk standar dan pengujian sumberdaya lahan pertanian.

Ruang lingkup

Warta ini menerima tulisan-tulisan dari topik sumberdaya lahan dan perubahan iklim, meliputi:

- Data dan Informasi Geospasial
- Pengelolaan Sumber Daya Lahan
- Ilmu Tanah dan Pemupukan
- Agroklimat dan Hidrologi Pertanian
- Lahan Rawa Pertanian
- Lingkungan Pertanian
- Perubahan Iklim Pertanian
- Rekomendasi kebijakan sumber daya lahan
- Pengelolaan lahan pertanian berkelanjutan
- Penyebarluasan dan penerapan standar instrumen sumber daya lahan dan perubahan iklim pertanian

Struktur

Naskah disusun dalam urutan: judul tulisan, nama penulis dengan alamat instansinya, alamat email penulis utama, ringkasan, pendahuluan, topik-topik yang dibahas, penutup, serta daftar pustaka (yang relevan dengan topik bahasan dan terbit 7 tahun terakhir).

Bentuk Naskah

Makalah harus diketik pada kertas ukuran A4 dengan spasi ganda dan pias atas, bawah, kiri, kanan 2.5 cm, dengan draft antara 6-12 halaman termasuk tabel dan gambar. Font harus menggunakan Times New Roman ukuran 12 pt dalam format MS Word. Tabel dan gambar dapat dipisahkan dari tubuh tulisan dan diletakan setelah daftar pustaka, namun lokasi tabel dan gambar harus ditandai di dalam tubuh tulisan.

Judul Naskah

Judul harus jelas, faktual, informatif dan terdiri dari maksimum 10 kata. Nama penulis harus ditulis di bawah judul, yang dilengkapi dengan alamat penulis.

Ringkasan

Merupakan inti sari dari seluruh tulisan, maksimal 250 kata. Abstrak harus menguraikan tulisan secara singkat.

Pendahuluan

Berisi poin-poin penting dari isi naskah, latar belakang, pengantar, tujuan tulisan dan ruang lingkup topik bahasan.

Topik bahasan

Berisi Informasi tentang topik yang dibahas sesuai dengan ruang lingkup warta sumber daya lahan pertanian dan disusun secara terstruktur.

Penutup

Berisi kesimpulan dari topik pembahasan.

Daftar Pustaka

Referensi yang relevan dengan topik bahasan dan terbit 7 tahun terakhir. Daftar pustaka harus dilist menurut urutan alfabet. Berikut ini adalah format dasar yang digunakan:

Artikel Jurnal

Akhter M, Sneller CH. 1996. Yield and yield components of early maturing soybean genotypes in the mid-south. *Crop Sci.* 36(1):877-882.

Buku

Bosc AN, Ghosh SN, Yang CT, Mitra A. 1991. *Coastal Aquaculture Engineering*. Oxford and IBH Pub. Co. Pvt. Ltd., New Delhi. 365 pp.