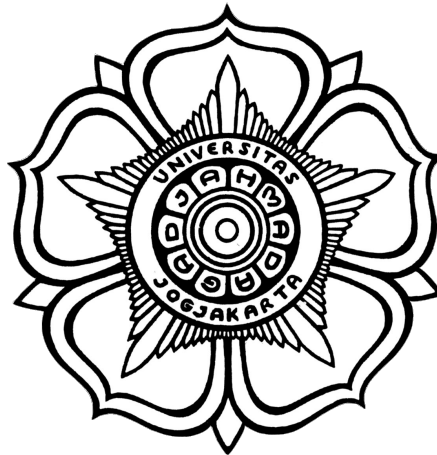


**PENGELOLAAN TANAH
MELALUI TEKNOLOGI EMISI NEGATIF
UNTUK KEBERLANJUTAN LINGKUNGAN**



UNIVERSITAS GADJAH MADA

**Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar
dalam Bidang Ilmu Kimia dan Pengelolaan Tanah
pada Fakultas Pertanian
Universitas Gadjah Mada**

**Disampaikan pada Pengukuhan Jabatan Guru Besar
Universitas Gadjah Mada
Tanggal 3 Agustus 2023**

**Oleh:
Prof. Dr. Ir. Benito Heru Purwanto, M.P., M.Agr.**

Bismillahirrahmanirrahiim

Yang saya hormati

Ketua, Sekretaris dan para Anggota Majelis Wali Amanat

Rektor dan para Wakil Rektor

Ketua, Sekretaris dan para Anggota Senat Akademik

Ketua, Sekretaris dan para Anggota Dewan Guru Besar

Para Dekan dan Wakil Dekan di lingkungan Universitas Gadjah Mada

Para Tamu Undangan, |Teman Sejawat, Dosen, Tenaga Kependidikan, Mahasiswa dan Hadirin yang saya muliakan, serta sanak keluarga yang saya cintai

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Bapak/Ibu para hadirin yang saya muliakan. Pertama-tama marilah kita panjatkan puji syukur kehadiran Allah SWT. Atas segala nikmat dan karunia-Nya, khususnya nikmat sehat dan kesempatan, sehingga pada hari ini dapat hadir pada acara pidato pengukuhan saya sebagai Guru Besar dalam bidang ilmu Kimia dan Pengelolaan Tanah, Departemen Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada dengan judul:

Pengelolaan Tanah Melalui Teknologi Emisi Negatif untuk Keberlanjutan Lingkungan

Pengantar

Pembangunan pertanian perlu berbenah dalam menyiapkan pemenuhan kebutuhan pangan untuk penduduk Indonesia pada tahun 2050 yang diperkirakan mencapai 328,9 juta jiwa, terbesar keenam di dunia setelah India, Tiongkok, Amerika Serikat, Nigeria, dan Pakistan. Di sisi lain, Indonesia juga menghadapi perubahan lingkungan yang dinamis secara global. Perubahan lingkungan global dipicu oleh peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) yang utamanya adalah CO₂, CH₄ dan N₂O, dan telah menjadi ancaman terbesar bagi pembangunan pertanian yang berkelanjutan. Dampaknya sangat dirasakan oleh negara berpenghasilan rendah dan menengah, sebagai wilayah yang masih bergantung pada pertanian dan rentan terhadap kerawanan pangan. Pada saat ini, konsentrasi GRK di atmosfer telah meningkat luar biasa yang didorong oleh peningkatan aktifitas antropogenik seperti pembakaran bahan bakar fosil dan biomassa (Rodrigues 2023). Emisi GRK telah meningkat pada level yang belum pernah terjadi sebelumnya dibandingkan dengan jaman pra-industri dan berdampak kepada pemanasan global dalam wujud cuaca ekstrem, peningkatan suhu permukaan bumi, dan perubahan pola curah hujan (Raza et al. 2019). Terjadi lonjakan suhu global sebesar 0,85°C pada lima dekade terakhir yang menyertai peningkatan rata-rata konsentrasi CO₂ (ppm yr⁻¹) di atmosfer sebesar 1,5 kali (IPCC, 2014). Konsentrasi N₂O di atmosfer telah meningkat 20 % dari era pra industri hingga menjadi lebih dari 324 ppbv pada saat ini, sedangkan konsentrasi CH₄ di atmosfer menjadi 1803 ppbv atau meningkat dua kali lipat lebih dibandingkan jaman pra industri (Joseph and Stephen, 2015). Konsentrasi CH₄ di atmosfer tumbuh lebih cepat sebesar 2,2 % selama tahun 2000-an dibandingkan tahun 1990-an yaitu 0,4 % (Tubiello et al. 2014). Peningkatan emisi GRK yang

berkepanjangan ini menimbulkan tantangan yang besar secara global untuk membatasi kenaikan suhu permukaan hingga $< 1.5 - 2 \text{ }^\circ\text{C}$ relatif terhadap era praindustri (Smith 2016). Dalam berbagai skenario, konsentrasi CO_2 di atmosfer pada abad berikutnya diperkirakan akan melebihi 1000 ppm dan kenaikan suhu global kemungkinan besar di atas 4°C (IPCC 2014). Jika hal itu terjadi maka diperkirakan akan terjadi kepunahan spesies yang substansial, dan kerawanan pangan global dan regional (IPCC 2014). Penurunan secara substansial dalam emisi GRK selama beberapa dekade mendatang dapat mengurangi risiko perubahan iklim di paruh kedua abad ke-21. Emisi bersih global CO_2 ditargetkan menjadi nol yang akan membatasi emisi tahunan selama beberapa dekade mendatang. Diperlukan upaya-upaya yang sistematis dan terintegrasi untuk mengatasi perubahan iklim baik yang bersifat mitigatif maupun adaptif.

Bapak-bapak dan Ibu-ibu hadirin yang saya muliakan,

Tanah Sebagai Penyimpan Cadangan C dan Sumber Emisi GRK

Pengelolaan tanah pertanian secara berkelanjutan memiliki peran sentral dalam mitigasi perubahan iklim (Hou 2021). Tanah memiliki peran ganda sebagai sumber emisi GRK dan sekaligus penyimpan cadangan karbon yang besar. Kandungan C tanah hingga jeluk 1 m dan vegetasi diperkirakan mencapai 2500 PgC (1 PgC = petagram karbon = 1 miliar metrik ton karbon) dan 620 PgC, secara berurutan, yang mengandung tiga kali lebih banyak kandungan C di atmosfer (880 PgC) (Lal et al. 2021; Shi et al. 2013). Oleh karena, cadangan SOC sangat rentan oleh perubahan suhu dan curah hujan, maka perubahan iklim akan memberikan dampak yang nyata terhadap kandungan cadangan SOC tersebut. Hal ini berarti bahwa pengelolaan tanah dapat berperan penting dalam mitigasi perubahan iklim, dengan cara meningkatkan sekuestrasi karbon dalam tanah, serta mengurangi emisi bersih N_2O , CO_2 dan CH_4 . Tingkat emisi karbon sangat diatur oleh jumlah dan jenis bahan organik yang ditambahkan ke dalam tanah dan kompleksnya interaksi antara fisik, kimia, dan biologi tanah, dan kondisi lingkungan seperti suhu, dan kelengasan tanah (Rahman 2013). Produksi CH_4 terjadi di semua lingkungan anoksik di mana C organik terdegradasi oleh Archaea metanogenik, misalnya di rawa, lahan gambut, endapan danau, sawah yang tergenang air, tempat pembuangan sampah dan di dalam usus hewan ruminansia atau larva Scarabaeidae (Ji et al. 2018). Proses denitrifikasi bukan sebagai satu-satunya proses biologis yang menghasilkan N_2O di tanah, sekarang sudah diketahui dengan baik, bahwa mikroorganisme nitrifikasi berkontribusi secara signifikan terhadap emisi N_2O dari tanah dan bahwa sebagian besar N_2O berevolusi dari tanah aerobik yang diolah dengan amonium atau pupuk yang menghasilkan amonium seperti urea (Ussiri and Lal 2012).

Pengembangan inisiatif global (*global initiative*) "4p1000" (four per mille), diluncurkan pada Konferensi Tingkat Tinggi Perubahan Iklim 2015 di Paris. '4 per mille' bertujuan untuk meningkatkan cadangan C bahan organik tanah global sebesar 4 per mille (atau 0,4 %) per tahun sebagai kompensasi emisi global GRK oleh sumber antropogenik. Emisi GRK tahunan dari karbon fosil diperkirakan sebesar 8,9 giga ton C ($8,9 \times 10^{15}$ g), dan estimasi cadangan C tanah global hingga kedalaman 2 m adalah 2400 giga ton (2400×10^{15} g) (Osaki et al. 2021). Mengambil rasio antropogenik global emisi C dan total stok SOC (8,9/2400), menghasilkan nilai 0,4% atau 4‰ (4 per mille) (Minasny et al. 2017). Sebagian besar penelitian berfokus

pada pengukuran kehilangan SOC (Minasny et al. 2017), sementara sekarang harus lebih fokus pada data yang baik tentang pengelolaan tanah yang dapat menyerap SOC di Indonesia. Total emisi GRK yang dihasilkan dari sektor pertanian di Indonesia adalah sebesar 98,39 juta ton CO₂e yang dihasilkan dari pembakaran biomassa, lahan sawah, pemberian kapur, pupuk urea, N₂O langsung dan tidak langsung dari pengelolaan lahan, dan dari peternakan (Suryani et al. 2020). Peningkatan biomassa dan pengembalian residu tanaman, kompos hijau dan aplikasi pupuk kandang sebagian besar bertanggung jawab atas peningkatan kandungan SOC di Pulau Jawa, dengan tingkat sekuestrasi 0,2–0,3 t C ha⁻¹ tahun⁻¹ (Minasny et al. 2017). Perlu data yang lebih menyeluruh di semua tempat di Indonesia

Dinamika SOC di daerah tropis sangat dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan tanah. Faktor iklim, terutama suhu dan curah hujan, menentukan keseimbangan antara input dan output C dari sistem tanah. Penurunan SOC terjadi pada lahan yang digunakan untuk kegiatan pertanian dalam jangka panjang tanpa pengelolaan lahan yang tepat, yang pada gilirannya menyebabkan penurunan kesuburan tanah, penurunan produksi tanaman, dan peningkatan kehilangan unsur hara melalui erosi dan pencucian air, serta emisi GRK. Berbagai tindakan manajemen dapat memulihkan SOC. Dengan demikian, tanah di daerah tropis yang mengalami penurunan SOM dan degradasi akibat perubahan penggunaan lahan dan pengelolaan yang buruk dapat pulih dengan cepat. Langkah-langkah mitigasi seperti pemanfaatan bahan organik dan sisa tanaman, rotasi tanaman dan perbaikan pola tanaman, pengolahan tanah dan pemupukan, serta menanam tanaman penutup dan mulsa sangat efektif dalam memerangi pengelolaan tanah yang buruk (Purwanto and Alam 2020). Pengelolaan tanah yang baik tidak hanya berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim dengan mengurangi emisi bersih GRK, tetapi juga berkontribusi terhadap adaptasi terhadap perubahan iklim dengan mengurangi dampak negatifnya (Lal et al. 2021).

Teknologi emisi negatif dalam perspektif tanah

Tanah dan vegetasi berfungsi menyerap sekitar sepertiga dari seluruh emisi antropogenik. Untuk meredakan pemanasan global lebih dari 2 °C dengan peluang >50%, skenario terbaru dari model penilaian terpadu (*integrated assessment model*) memerlukan penerapan teknologi emisi negatif, yaitu teknologi yang menghasilkan penghilangan bersih CO₂/GRK dari atmosfer. Teknologi emisi negatif (Negative Emission Technology/NETs) terdiri dari : (1) bioenergi dengan penangkapan dan penyimpanan karbon (Bioenergy with Carbon Capture and Storage/BECCS); (2) penangkapan langsung CO₂ dari udara melalui rekayasa reaksi kimia (Direct Air Capture/DAC); (3) manipulasi serapan karbon oleh laut, baik secara biologis (yaitu, dengan pemupukan secara terbatas) atau secara kimiawi (yaitu, dengan meningkatkan alkalinitas); (4) peningkatan laju pelapukan mineral (Enhance Weathering/EW), di mana pelapukan alami mineral dipercepat untuk menghilangkan CO₂ dari atmosfer dan produk disimpan di dalam tanah, atau terkubur di tanah atau laut dalam (atau *mineral carbonation*) ; (5) aforestasi dan reforestrasi (Aforestration Reforestration/AR) untuk menangkap karbon atmosfer dalam biomassa dan tanah; (6) peningkatan penyimpanan karbon di tanah; dan (7) pengubahan biomassa menjadi biochar, untuk digunakan sebagai pembenah tanah (Smith et al. 2015). Pengelolaan tanah dapat menjadi strategi teknologi emisi negatif,

dan dari ketujuh teknologi emisi negatif yang diajurkan di atas, empat rekomendasi teknologi berkaitan langsung dengan pengelolaan tanah.

Bapak-bapak dan Ibu-ibu hadirin yang saya muliakan,

Potensi Biochar sebagai bahan untuk mitigasi emisi GRK

Didalam IPCC (*The Intergovernmental Panel on Climate Change*) 2019: *Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 : Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)*, biochar dimasukkan sebagai salah satu bahan yang dapat dipakai untuk menurunkan emisi dari lahan pertanian, kehutanan dan penggunaan lahan lainnya. Biochar adalah produk pirolisis padat, yang dirancang untuk digunakan untuk pengelolaan lingkungan. *International Biochar Initiative (IBI)* mendefinisikan biochar sebagai: 'Bahan padat yang diperoleh dari konversi termokimia biomassa dalam lingkungan terbatas oksigen. Istilah biochar dibedakan dari arang (*charcoal*) diproduksi dengan konversi termokimia dari biomassa (terutama tetapi tidak hanya kayu) untuk pembangkit energi. Istilah ini terkadang digunakan dalam konteks kegunaan lain, misalnya obat-obatan, filtrasi, pemisahan, dll. Jika diproses lebih lanjut dengan segala bentuk aktivasi, disarankan untuk menggunakan istilah 'karbon aktif'. Sedangkan char adalah residu golongan bahan berkarbon pirogenik (*Pyrogenic Carbon Materials/PCM*) dari kebakaran alam. Ketiga bahan tersebut termasuk ke dalam golongan PCM didefinisikan di sini sebagai residu berkarbon dari pirolisis. Dengan demikian, PCM adalah istilah yang paling umum digunakan dalam deskripsi ilmiah dari produk pirolisis dan kebakaran baik dari biomassa atau bahan lainnya (Lehzann and Joseph, 2015).

Biochar dapat digunakan langsung atau sebagai bahan dalam produk campuran, dengan berbagai aplikasi sebagai bahan untuk perbaikan tanah, peningkatan efisiensi penggunaan sumber daya, remediasi dan/atau perlindungan terhadap pencemaran lingkungan tertentu dan untuk mitigasi GRK (Lehzann and Joseph, 2015). Bahan utama yang digunakan untuk membuat biochar meliputi biomassa, limbah kota, sisa tanaman, dan kotoran hewan. Proses tersebut menghasilkan sejumlah emisi karbon melalui pembakaran, namun biochar yang dihasilkannya 'mengunci' karbon menjadi bentuk yang stabil. Biochar kemudian dicampur dengan tanah untuk disimpan dalam waktu lama, secara efektif mengurangi konsentrasi karbon di atmosfer dengan memindahkannya ke tanah. Keunggulan kompetitif utama biochar dibandingkan teknologi emisi negatif lainnya adalah bahwa biochar dapat diintegrasikan dengan praktik pertanian yang ada.

Dalam beberapa kasus, sifat material biochar mungkin tumpang tindih dengan arang sebagai pembawa energi, tetapi kebanyakan biochar tidak mudah terbakar dan arang biasanya tidak dibuat untuk mengatasi masalah tanah. Pada kondisi oksigen rendah, jika jaringan tanaman dibakar, karbon tertinggal sebagai arang karena oksigen, nitrogen, dan hidrogen dikeluarkan dalam bentuk gas (Amalina et al. 2022). Sifat fisiokimia biochar diantaranya memiliki struktur karbon tetap yang stabil dengan porositas tinggi, luas permukaan spesifik yang tinggi, dan alkalinitas yang tinggi. Karakteristik tersebut memungkinkan biochar untuk meningkatkan kadar air tanah, menyerap zat pencemar dan meningkatkan pH tanah (Kocsis et al. 2022). Selain itu, biochar dianggap karbon negatif karena karbon di dalam strukturnya,

yang ditangkap dari atmosfer selama pembentukan biomassa, lebih bandel (*recalcitrant*) di lingkungan alami daripada karbon dalam biomassa yang belum terpirolisasi (Hou et al. 2020). Sejumlah penelitian telah mengeksplorasi penggunaan biochar di lahan pertanian.

Kualitas biochar bergantung pada tiga faktor, yaitu proses pembuatan, jenis biomassa dan teknologi pembuatan. Biochar dari kayu dengan kandungan lignin tinggi memiliki jumlah karbon lebih tinggi daripada bahan baku herba, tetapi kekurangan kandungan nitrogen (Amalina et al. 2022). Disimpulkan bahwa suhu 500°C merupakan suhu optimum untuk pirolisis cangkang kelapa sawit sehingga menghasilkan biochar dengan struktur C-aromatik tertinggi dan susunan pori-pori kuat, teratur dan seragam, serta stabilitas tinggi, namun kandungan nutrisinya rendah. (Mansyur et al. 2022). Biochar memiliki pengaruh variabel terhadap emisi GRK, mulai dari penurunan, peningkatan, hingga tidak ada perubahan. Di berbagai penelitian, biochar mengurangi emisi nitro oksida (N₂O) sebesar 18% dan metana (CH₄) sebesar 3% tetapi meningkatkan karbon dioksida (CO₂) sebesar 1,9% (Shrestha et al. 2023). Ketika dikombinasikan dengan pupuk N, maka biochar mengurangi emisi CO₂, CH₄, dan N₂O sebesar masing-masing 61%, 64%, dan 84 % (Shrestha et al. 2023). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan biochar tempurung kelapa pada tanaman padi sawah yang kombinasikan dengan pengairan penggenangan terus menerus memiliki nilai fluks CH₄ tertinggi sebesar $11,44 \times 10^{-4}$ (mg.m⁻².min⁻¹) pada 60 hari setelah tanam. Jumlah anakan dapat mempengaruhi nilai fluks CH₄ (Saputra et al. 2022). Biochar telah menunjukkan potensi untuk mengurangi emisi GRK dari tanah, tetapi studi jangka panjang diperlukan untuk mengatasi perbedaan emisi dan mengidentifikasi metode aplikasi biochar terbaik ke tanah pertanian.

Bagi para petani, maka yang diharapkan dari pemberian biochar adalah peningkatan pertumbuhan dan hasil tanaman. Sebagian besar hasil penelitian sampai saat ini telah mengkonfirmasi efek menguntungkan biochar untuk meningkatkan produktivitas tanah. Peningkatan hasil tanaman setelah diberi biochar yaitu antara 20% dan 220% sebanding dengan kuantitas dan kualitas biochar yang digunakan (Kocsis et al. 2022).

Seleksi tanaman yang rendah emisi GRK

Teknologi emisi negatif juga perlu melakukan mitigasi perubahan iklim di bidang pertanian dengan mencari teknologi produksi pangan yang kurang 'intensif GRK', yaitu melepaskan lebih sedikit emisi GRK per unit pangan. Nitrogen oksida dilepaskan melalui proses denitrifikasi-nitrifikasi di dalam tanah. Sifat-sifat tanah beserta pengelolaannya termasuk di dalamnya yaitu aplikasi pupuk nitrogen yang dimaksudkan untuk meningkatkan hasil tanaman, dapat berperan secara nyata terhadap jumlah emisi N₂O (Ding et al. 2022). Oleh karena itu, perbaikan peningkatan efisiensi pemupukan nitrogen merupakan salah satu faktor penting untuk menekan emisi N₂O tanpa menurunkan produktivitas tanaman

Karena tingkat efisien pemupukan nitrogen yang rendah selama produksi tanaman, sebagian besar nitrogen akan hilang dari dalam tanah dan berdampak buruk pada lingkungan. Mempertimbangkan meningkatkannya kebutuhan pangan masa depan dan perubahan iklim, seleksi varietas tanaman yang efisien nitrogen merupakan upaya yang strategis untuk meningkatkan produktivitas tanaman per satuan lahan mengurangi dampak negatif lingkungan. Pengembangan varietas padi yang rendah emisi CH₄ juga akan sangat membantu dalam pengurangan GRK antropogenik. Beberapa penelitian sudah menemukan adanya perbedaan

yang signifikan dalam emisi CH₄ antara kultivar padi di bawah kondisi ekologis yang sama (Zheng et al. 2018). (Kim et al. 2014) menemukan perbedaan yang signifikan besarnya emisi CH₄ antara kultivar padi yang berbeda dengan laju emisi CH₄ rata-rata dan fluks CH₄ total berkisar antara 0,10–0,25 mg m⁻² menit⁻¹ dan 13,9–34,7 g m⁻² menit⁻¹. (Gogoi et al. 2005) melaporkan bahwa kultivar padi tradisional dengan pertumbuhan vegetatif yang lebih banyak mencatat nilai fluks metana yang lebih tinggi dibandingkan dengan varietas unggul. Studi ini dengan jelas menunjukkan kemungkinan pengurangan emisi metana dari ekosistem sawah lahan basah melalui pemilihan kultivar padi yang tepat untuk mencapai mitigasi emisi metana.

Studi juga telah dilakukan oleh (Azizah, et al. 2023b) dalam rangka untuk mengevaluasi hasil dan emisi dinitrogen oksida (N₂O) dari 30 varietas jagung di bawah dua dosis N yang berbeda kemudian, varietas jagung yang diuji dikategorikan menjadi 4 kelompok berdasarkan hasil tanaman dan emisi N₂O kumulatif yang dihasilkan selama pertumbuhan tanaman. Dari 30 kultivar jagung yang diuji ada 40 % emisi N₂O rendah, dan 16 % merupakan hasil tinggi dan emisi N₂O rendah. Kelompok varietas jagung ini dapat menjadi bagian dari strategi yang positif untuk meningkatkan efisiensi pemupukan N tanpa mengurangi produksi jagung serta mengurangi dampak emisi N₂O dalam sistem pertanian jagung. Strategi yang sama dapat dikembangkan untuk tanaman lainnya dalam rangka mitigasi GRK.

Bapak-bapak dan Ibu-ibu hadirin yang saya muliakan,

Potensi pertanian organik dalam mitigasi emisi GRK

Pertanian organik dipandang mempunyai hasil pertanian yang lebih rendah dibandingkan dengan pertanian konvensional, sehingga hal ini menjadi bahan perdebatan tentang kontribusi pertanian organik bagi masa depan pertanian dunia adalah apakah pertanian organik dapat menjadi solusi untuk menyediakan pangan yang cukup. Pertanian organik juga dipandang sebagai salah satu sistem pertanian yang tepat untuk peningkatan karbon tersimpan dalam tanah. Ada banyak definisi pertanian organik tetapi semuanya menyatakan bahwa pertanian organik adalah sistem yang lebih mengandalkan pengelolaan ekosistem daripada input pertanian eksternal. Menurut The International Federation of Organic Agriculture Movement (IFOAM), pertanian organik adalah sistem manajemen produksi holistik yang mempromosikan dan meningkatkan kesehatan agroekosistem, termasuk keanekaragaman hayati, siklus biologis, dan aktivitas biologis tanah. Definisi yang lebih operasional dikemukakan FAO oleh yaitu pertanian organik merupakan sistem yang mempertimbangkan potensi dampak lingkungan dan sosial dengan menghilangkan penggunaan input sintetis, seperti pupuk dan pestisida sintetis, obat-obatan hewan, benih dan breed yang dimodifikasi secara genetik, pengawet, aditif dan iradiasi (Willer et al. 2021). Sebagai gantinya adalah pemanfaatan pengelolaan spesifik lokasi yang memelihara dan meningkatkan kesuburan tanah jangka panjang dan mencegah hama dan penyakit. Selain itu, di negara berkembang, sejumlah besar pertanian tidak bersertifikat menerapkan pertanian organik. Sistem dan produk pertanian organik tidak selalu bersertifikat dan disebut sebagai "pertanian atau produk organik non-sertifikasi". Untuk memenuhi tujuan tersebut, petani pertanian organik biasanya menerapkan pengelolaan lahan pertanian dengan memanfaatkan sumberdaya lokal seperti rotasi tanaman,

kombinasi ternak dan tanaman yang berbeda, menanam tanaman legum, aplikasi pupuk organik, dan pengendalian hama secara biologis.

Penelitian oleh (Maritasari et al. 2022) yang mempelajari proses adsorpsi dan desorpsi unsur hara fosfor pada tanah Andisol Merbabu, menunjukkan bahwa unsur hara fosfor yang diikat dengan kuat oleh tanah Andisol pada lahan sayuran organik dapat dilepaskan kembali dengan lebih cepat dibandingkan pada lahan sayuran konvensional. Hal ini mengindikasikan perbaikan dalam sifat-sifat tanah yang mendukung di dalam pencapaian hasil yang lebih tinggi pada pertanian organik. Pertanian organik padi sawah menunjukkan hasil gabah yang lebih tinggi dibandingkan dengan padi sawah pertanian konvensional (Hermanto et al. 2021). Akan tetapi hasil kajian yang dilakukan oleh Ponti et al 2012, hasil rata-rata tanaman pada pertanian organik adalah 80% dari hasil tanaman pada pertanian konvensional (De Ponti et al. 2012). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh keberagaman di dalam sistem budidaya dan pengelolaan tanah yang dilakukan. Penggunaan pupuk hijau dapat mempersempit perbedaan hasil antara pertanian organik dan pertanian konvensional (Knapp and van der Heijden 2018) Frekuensi penyiangian yang lebih tinggi memberikan manfaat penting dalam menekan gulma dan mendukung pertumbuhan padi pada pertanian organik, terutama dalam persaingan serapan N dengan gulma (Maimunah et al. 2021).

Pemanfaatan sumber-sumber karbon organik dapat meningkatkan sekuestrasi bersih CO₂ pada lahan padi sawah di wilayah tropika (Haque et al. 2021). Penelitian oleh (Hermanto et al. 2021) menunjukkan bahwa disamping hasil yang lebih tinggi, pertanian organik padi sawah juga mampu menurunkan emisi N₂O rata-rata hingga 20% dibandingkan dengan padi sawah pertanian konvensional. Studi ini menyiratkan bahwa pertanian organik padi sawah dapat menjadi sistem budidaya yang menjanjikan dalam upaya penurunan emisi N₂O dan peningkatan hasil yang lebih tinggi. Pertanian organik padi sawah yang dikombinasikan dengan drainase pertengahan musim (*mid-season drainage*) seminggu lebih awal dari praktik konvensional bisa menjadi cara yang bisa diterapkan untuk mempertahankan hasil beras merah dan meningkatkan sekuestrasi C tanah (Toma et al. 2021). Pengelolaan lahan sawah secara organik di Jawa Tengah, Indonesia, memiliki potensi yang menjanjikan untuk memitigasi emisi dinitrogen oksida dari pertanian. Dibandingkan dengan konvensional, pengelolaan organik menghasilkan 23% lebih sedikit emisi N₂O (Rahmawati et al. 2015). Walaupun demikian, sistem tanam organik mungkin bukan pilihan yang efektif untuk memitigasi dampak iklim gabungan dari CH₄ dan N₂O dalam produksi padi (Qin et al. 2010). Rasio C/N bahan organik disarankan untuk dipertimbangkan dalam upaya mitigasi emisi GRK ketika bahan organik dimasukkan dalam sistem pertanian padi organik.

Pemanfaatan asam humat

Asam humat adalah senyawa organik alami yang terbentuk dari dekomposisi dan transformasi residu tumbuhan, hewan, dan mikroba. Pemberian asam humat eksogen dapat membantu meningkatkan kesuburan tanah, terutama melalui kompleks kimiawinya yang memfasilitasi interaksi dengan berbagai komponen tanah organik mineral dan nonmineral. Beberapa manfaat amandemen tanah dengan asam humat meliputi perbaikan agregasi dan struktur tanah, peningkatan buffer pH dan kapasitas pertukaran kation, peningkatan kapasitas retensi air, peningkatan bioavailabilitas hara (seperti P, Fe, dan Zn), dan penurunan toksisitas

dari Al dan logam berat (Rose et al. 2014). Selain secara tidak langsung mempengaruhi produktivitas tanaman melalui modifikasi karakteristik tanah, asam humat juga dapat berdampak langsung pada proses fisik dan metabolisme tanaman (Purwanto et al. 2021). Penambahan asam humat pada pupuk secara signifikan dapat meningkatkan hasil panen, memperbaiki sifat fisik dan kimia tanah, meningkatkan kapasitas adsorpsi tanah untuk NH_4^+ , meningkatkan aktivitas mikroba, meningkatkan kandungan karbon organik tanah dan memperbaiki nitrogen anorganik menjadi nitrogen organik. Asam humat dapat digunakan untuk memperbaiki sifat tanah, yaitu memiliki kemampuan menutupi kompleks adsorpsi P pada Ultisol (Wibowo et al. 2018), sehingga memperbaiki ketersediaan P untuk tanaman. Disamping kemampuannya untuk memperbaiki sifat tanah dan hasil tanaman, asam humat menunjukkan pengaruh yang beragam terhadap emisi GRK. Dibandingkan dengan urea, urea dengan asam humat secara signifikan mengurangi emisi N_2O . Penambahan asam humat ke pupuk CRF dapat memberikan hasil yang lebih tinggi, meningkatkan efisiensi penggunaan nitrogen dan mengurangi emisi gas rumah kaca, yang memiliki hasil dan efek lingkungan yang lebih baik (Guo et al. 2018). Pemberian asam humat tidak meningkatkan volatilisasi NH_3 dan emisi CO_2 (Pang et al. 2021).

Bapak-bapak dan Ibu-ibu hadirin yang saya muliakan,

Emisi GRK dan *Controlled Release Fertilizer* (CRF)

CRF umumnya diproduksi dengan melapisi partikel urea dengan bahan tahan air (misalnya belerang, poliuretan, polietilen) yang berfungsi sebagai penghalang difusi yang mengatur tingkat pelepasan N agar sesuai dengan permintaan tanaman N selama seluruh periode pertumbuhan (Lu et al. 2022). Banyak penelitian telah mendokumentasikan bahwa CRF merupakan metode yang efektif untuk mengurangi pencemaran lingkungan sambil mempertahankan hasil panen yang tinggi. Emisi CH_4 adalah produk bersih dari produksi dan oksidasi CH_4 . Faktor penting yang mempengaruhi emisi CH_4 dari lahan sawah adalah potensial redoks tanah, rejim air, dan pemupukan. Urea dan CRF secara signifikan menurunkan emisi CH_4 sebesar 14,4% dan 15,6%, dan meningkatkan rata-rata hasil gabah masing-masing sebesar 25,8% dan 19,7% ($P < 0,05$), dibandingkan dengan perlakuan kontrol. Pertumbuhan tanaman dan serapan N yang optimal pada padi sawah tadah hujan diperoleh pada kombinasi perlakuan 5 t ha^{-1} biochar sekam padi dan 50% takaran CRF (Pratiwi et al. 2021). Dengan demikian, CRF adalah pilihan yang baik untuk mengurangi emisi NH_3 dan N_2O relatif terhadap Urea dalam produksi pertanian.

Upaya adaptasi dan pengurangan dampak perubahan iklim

Kultivar tanaman yang efisien terhadap penggunaan hara

Salah satu elemen terpenting yang mempengaruhi produktivitas tanaman adalah unsur hara tanah. Ketersediaan unsur hara di dalam tanah rentan terhadap perubahan iklim. Tanah akan terpengaruh oleh perubahan iklim melalui peningkatan laju pencucian unsur hara dan erosi tanah, sehingga meningkatkan penipisan unsur hara (Elbasiouny et al. 2022). Kultivar

padi unggul lebih efisiensi penggunaan N dengan cara mempertahankan indeks luas daun (LAI) yang lebih besar selama periode pengisian tanpa modifikasi dalam laju fotosintesis (Y. Zhang et al. 2021). Dalam penelitiannya terhadap yang membandingkan dua kultivar kedelai Jepang, (Azizah et al. 2023a) mendapati bahwa kultivar kedelai Satonohohoemi lebih toleran terhadap status K rendah dalam tanah yang dibuktikan dengan tidak adanya penurunan biomassa dan toleransi kalium rendah dua kali lipat dibandingkan dengan kultivar Tachinagaha. Kultivar kedelai berbeda kapasitasnya dalam melepaskan metabolit dengan mengubah eksudasi metabolit spesifik untuk adaptasi yang lebih baik dari kondisi K tinggi ke K rendah (Tantriani et al. 2020).

Adaptasi terhadap dampak peningkatan suhu dan cekaman kekeringan

Pertanian dan perubahan iklim berhubungan erat satu sama lain dalam berbagai aspek, karena perubahan iklim adalah penyebab utama cekaman biotik dan abiotik, yang berdampak buruk pada pertanian pada suatu wilayah (Oladosu et al. 2019). Tanah dan pertanian dipengaruhi oleh perubahan iklim melalui berbagai cara, misalnya variasi curah hujan tahunan, suhu rata-rata, gelombang panas, modifikasi gulma, hama atau mikroba, perubahan global CO₂ atmosfer, dan fluktuasi permukaan laut yang selanjutnya berdampak kepada penurunan produksi pertanian (Hassan et al. 2022). Hal ini akan menjadi ancaman utama bagi ketahanan pangan. Kehilangan hasil akibat cekaman kekeringan paling baik diatasi dengan pemuliaan varietas, seleksi varietas yang toleran kekeringan dan perbaikan sistem budidaya.

Studi pemodelan telah memperkirakan bahwa suhu tinggi akan mempersingkat periode pertumbuhan dan karenanya menurunkan hasil benih tanaman (Kumagai and Sameshima 2014). Studi terhadap tujuh kultivar tomat dataran rendah menyiratkan kultivar tomat yang toleran terhadap kekeringan memiliki sifat agronomis yang lebih baik (tinggi tanaman, luas daun, jumlah buah, berat buah) dan karakter fisiologis (kadar air lebih tinggi, kandungan klorofil, akumulasi prolin, dan kerusakan membran lebih rendah akibat kondisi kering (Sakya et al. 2020)

Perbaikan lahan terdegradasi

Kondisi iklim tropis yang lembab memungkinkan budidaya pertanian intensif dengan berbagai sistem tanam untuk memenuhi permintaan produk pertanian. Iklim yang demikian mempercepat laju dekomposisi bahan organik tanah sehingga sangat mempengaruhi dinamika karbon dan nitrogen tanah. Selain suhu dan curah hujan rata-rata tahunan yang tinggi, daerah tropis juga memiliki radiasi matahari tahunan yang tinggi. Kondisi tropis lembab ini memungkinkan budidaya pertanian intensif dengan berbagai sistem tanam untuk memenuhi kebutuhan pangan yang terus meningkat. Kehilangan karbon organik tanah akan dipercepat oleh proses dekomposisi dan proses erosi. Deforestasi, pengelolaan lahan yang buruk, dan penanaman berlebihan menurunkan kandungan C dan N tanah (Purwanto and Alam 2020). Namun, penanaman intensif dengan teknik pengelolaan yang tepat dapat membalikkan tren ini (Minasny et al. 2012). Monokultur ubi kayu yang ditanam selama 10-30 tahun atau lebih dari 30 tahun memiliki kesuburan tanah yang rendah sehingga hasil ubi kayu juga rendah, akan

tetapi hasil ubi kayu pada lahan yang sudah diperbaiki dengan pada sistem rotasi menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan pola tanam monokultur (Wijanarko and Purwanto 2018).

Bapak-bapak dan Ibu-ibu hadirin yang saya muliakan,

Tantangan pengelolaan tanah melalui teknologi emisi negatif untuk keberlanjutan lingkungan

Dari uraian tersebut diatas, pengelolaan tanah melalui teknologi emisi negatif dan strategi mitigasi dan adaptasi lainnya sangat menjanjikan untuk diterapkan sebagai langkah yang jitu di dalamantisipasi perubahan iklim dan keberlanjutan lingkungan. Namun demikian, masih banyak tantangan yang dihadapi dalam implementasinya. Tantangan pertama adalah ketersediaan data dan informasi yang terintegrasi tentang emisi GRK dan laju sequestrasi karbon. Hal ini dibutuhkan untuk memberikan solusi pengelolaan tanah yang tepat. Terlebih lagi, keberagaman jenis tanah di Indonesia dengan berbagai tingkat kualitas tanah. Pengelolaan tanah yang serampangan dapat menyebabkan tanah menjadi terdegradasi dan sebaliknya, pengelolaan tanah yang diharapkan dapat menjadi solusi untuk mengatasi perubahan iklim dan menjamin keberlanjutan lingkungan tidak terjadi.

Tantangan kedua adalah optimasi teknologi dan strategi tersebut dalam berbagai keadaan tanah dan belum dipahaminya mekanisme yang efektif di dalam menekan emisi GRK dan meningkatkan laju sequestrasi karbon. Pengaruh aplikasi biochar terhadap emisi GRK tanah sangat bervariasi, tergantung pada sifat biochar dan kondisi tanah (mis., pH, kelembaban, profil mikroba dasar, dll.), sehingga tingkat sequestrasi karbon yang dicapai oleh pengelolaan tanah berbasis biochar juga beragam (Tan 2019), dan keberadaan tanaman akan menambah keragaman laju sequestrasi karbon yang diperoleh. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut mengenai biochar yang efektif di dalam meningkatkan laju sequestrasi karbon dan menurunkan emisi GRK perlu dilanjutkan. Efektifitas tersebut akan sangat bergantung kepada bahan baku biochar (residu tanaman, limbah, pupuk kandang, dll), optimasi proses pembuatan biochar yang efisien, interaksi antara biochar dengan SOC, dampaknya terhadap hasil tanaman dan biodiversitas tanah, serta pengaruh residu (*residual effect*).

Tantangan ketiga adalah menghasilkan teknologi dan strategi yang paling efisien untuk menekan emisi GRK, dalam hal ini N_2O . Hal ini dapat dilakukan diantaranya dengan dekomposisi katalitik N_2O dengan oksida logam dan penghambatan proses nitrifikasi secara biologi. Dekomposisi katalitik N_2O adalah salah satu metode yang paling efisien untuk menghilangkan N_2O . Zeolit yang mengandung ion Fe tertukar dikenal sebagai katalis untuk dekomposisi N_2O . Biochar tampaknya memiliki sifat yang mirip dengan zeolit, dengan demikian, skema reaksi yang sama bisa jadi ikut bertanggung jawab dalam dekomposisi N_2O dari lingkungan (van Zweiten et al. 2009). Katalis oksida logam juga ditemukan dapat mendekomposisi N_2O (Liu et al. 2016). Pada saat ini, perlu studi mengenai efektifitas dan mekanisme biochar yang diperkaya dengan oksida logam dalam mendekomposisi N_2O di lingkungan, sehingga tidak berpotensi menyebabkan emisi GRK. Selain dengan dekomposisi N_2O , hambatan produksi N_2O bisa dilakukan dengan menghambat proses nitrifikasi oleh senyawa pengambat nitrifikasi. Strategi yang digunakan oleh beberapa tanaman untuk mengurangi kehilangan nitrogen dan nitrifikasi-denitrifikasi dikenal sebagai penghambatan

nitrifikasi biologis (*Biological Nitrification Inhibitor*/BNI), yaitu proses produksi dan pelepasan penghambat nitrifikasi dari akar (Subbarao et al. 2006). Rumput *Brachiaria humidicola* yang merupakan hijauan yang *palatable* untuk ternak mempunyai kemampuan penghambatan nitrifikasi yang tinggi (Subbarao et al. 2007). Beberapa peneliti kemudian juga menemukan bahwa tanaman pangan juga mempunyai kemampuan penghambatan nitrifikasi (Perlu dilakukan kajian terhadap mekanisme hambatan nitrifikasi tersebut pada tanaman pertanian lainnya dan efektifitasnya sehubungan dengan menekan emisi N₂O

Tantangan keempat adalah terkait dengan efektifitas sistem pertanian organik dalam menjawab isu perubahan iklim. Pertanian organik sudah diterima secara luas oleh masyarakat dan diyakini merupakan sistem pertanian yang sehat dan berkelanjutan. Sistem pertanian organik bergantung pada pengelolaan bahan organik tanah untuk meningkatkan sifat kimia, biologi, dan fisik tanah, guna mengoptimalkan produksi tanaman (Watson et al. 2002). Di bawah isu perubahan iklim saat ini, pertanian organik harus ditekankan untuk meminimalkan emisi GRK dan meningkatkan laju sekuestrasi tanah C tanah. Sejumlah literatur telah menunjukkan bahwa emisi GRK yang dipancarkan oleh sistem pertanian organik padi sawah bisa lebih rendah, sebanding maupun lebih tinggi dari sistem pertanian konvensional (Qin et al. 2010). Hal ini berarti sistem pertanian organik bisa berpotensi menjadi penyumbang emisi GRK yang lebih tinggi, jika tidak dikelola dengan hati-hati. Untuk itu perlu dilakukan *assessment* terhadap *Global Warming Potential* (GWP) dari pertanian organik. GWP adalah kategori dampak yang paling banyak digunakan dalam studi yang mengevaluasi besarnya emisi setara CO₂ dengan mempertimbangkan emisi CO₂, CH₄, dan N₂O (Rahman 2013). Dengan begitu, diketahui sistem budidaya padi organik yang mempunyai nilai GWP yang lebih rendah. Pada sisi lain, pertanian organik di Indonesia sangat bergantung kepada input pupuk organik eksogen, sehingga menambah peluang terjadinya emisi GRK. Untuk mengurangi ketergantungan tersebut, strategi pengelolaan tanah yang lebih ekologis perlu dikaji misalnya pengembangan kultivar tanaman padi sawah yang mampu memfiksasi N₂ secara biologi dari udara, serta studi pemanfaatan tanaman legum, pengelolaan residu tanaman dan gulma setempat sebagai sumber unsur hara untuk mengembalikan unsur hara ke dalam tanah untuk pertumbuhan tanaman. Dampak strategi tersebut terhadap besarnya laju emisi GRK, laju sekuestrasi karbon dan pertumbuhan tanaman juga perlu diteliti lebih lanjut.

Tantangan kelima adalah pemanfaatan teknologi pengelolaan tanah seperti pupuk nano dan pertanian presisi dalam mengurangi emisi GRK. Pupuk nano, terutama pupuk nano pelepasan lambat dan terkontrol, pada saat ini sudah mulai banyak diteliti dalam kemampuannya untuk meningkatkan efisiensi pemupukan, peningkatan pertumbuhan dan peningkatan hasil tanaman. Oleh karena pupuk nano mempebaharui keseimbangan hara di dalam tanah, maka dampak terhadap emisi GRK juga perlu dikaji (Saraiva et al. 2023). Lebih jauh lagi, penggunaan otomatisasi dan sistem kontrol, perangkat lunak pengolah data, aplikasi berbasis web, dan alat seluler dapat dimanfaatkan secara positif untuk mendukung mitigasi dan adaptasi terhadap perubahan iklim.

Tantangan keenam adalah efektifitas pola tanam dan ketersediaan kultivar tanaman yang mampu beradaptasi dengan perubahan iklim. Kajian strategis adaptasi terhadap perubahan iklim seperti kultivar-kultivar tanaman yang rendah emisi GRK, tanaman yang efisien unsur hara, kultivar yang toleran dengan panas (*heat tolerant cultivar*), kultivar yang

toleran terhadap cekaman kekeringan, pola tanam yang sesuai, dan pengelolaan tanah yang hemat air juga tidak ditinggalkan.

Tantangan ketujuh adalah keberadaan bahan-bahan polutan di lingkungan yang dapat menurunkan efektifitas mitigasi dan adaptasi perubahan iklim. Penelitian telah menunjukkan bahwa peningkatan suhu meningkatkan laju pertumbuhan bakteri dan laju penyebaran gen resisten antibiotik di antara mikroorganisme (Harring and Krockow 2021). Polusi gen resistensi antibiotik (*antibiotic resistant genes/ARG*) dianggap sebagai salah satu tantangan lingkungan dan kesehatan paling signifikan di abad ke-21, banyak upaya telah dilakukan untuk mengendalikan proliferasi dan penyebaran ARG di dalam lingkungan. Dalam beberapa studi, biochar memberikan efek positif dalam mengurangi kelimpahan ARG dalam lingkungan yang berbeda (Shao et al. 2022). Kemampuan biochar untuk remediasi tanah-tanah yang terkontaminasi logam berat juga banyak menarik perhatian peneliti. Kombinasi biochar jerami dan tanaman *Bidens pilosa* L hiperakumulator memiliki efek sinergis dalam melakukan remediasi tanah yang terkontaminasi Cd (X. Zhang et al. 2021). Efektifitas dan mekanisme biochar dalam mengurangi kelimpahan ARG dan kemampuannya untuk meremediasi tanah tercemar logam berat masih perlu banyak dikaji.

Pendekatan teknologi emisi negatif, dan strategi mitigasi dan adaptasi perubahan iklim sepatutnya juga memberikan empat manfaat lainnya, yaitu manfaat tanah dengan perbaikan sifat fisik, kimia dan biologi tanah itu sendiri, manfaat agronomi berupa peningkatan produktivitas tanaman dan kualitas hasil tanaman, manfaat biodiversitas berupa keberlanjutan keanekaragaman hayati, dan manfaat kesejahteraan sosial ekonomi dan kesehatan kepada manusia. Studi tentang persepsi sosial dan penerimaan publik tentang perubahan iklim juga perlu dilakukan. Serangkaian indikator yang handal diperlukan dalam rangka *assessment* dan evaluasi terhadap penerimaan dan umpan balik dari manfaat tersebut. Dengan demikian, perlu pendekatan yang holistik dari berbagai bidang dan dilakukan secara sistematis agar tujuan keberlanjutan lingkungan dapat tercapai.

Bapak-bapak dan ibu-ibu hadirin yang saya muliakan

Ucapan Terima Kasih

Sebagai penutup pidato pengukuhan ini, saya mengucapkan terima kasih kepada banyak pihak atas diraihnya jabatan Guru Besar ini. Saya mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Republik Indonesia, dalam hal ini Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi Republik Indonesia yang mengangkat saya sebagai Guru Besar dalam bidang Ilmu Kimia dan Pengelolaan Tanah di Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Saya menyampaikan terima kasih kepada kepada Rektor, Senat Akademik, Dewan Guru Besar, Dekan dan Wakil Dekan, Senat Fakultas, dan Departemen Tanah, Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada yang telah memberikan kesempatan, dukungan, bantuan dan persetujuannya untuk saya menjabat sebagai Guru Besar.

Ucapan terima kasih yang tidak terhingga saya sampaikan kepada Senat Fakultas Pertanian, Dekan dan Wakil Dekan Fakultas Pertanian periode 2016-2021 Prof. Dr. Jamhari, SP, MP, Prof Dr. Rudi Hari Murti, SP. MP., dan Prof. Dr. Ir. Sri Nuryani Hidayah Utami, MP.

MSc. Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya saya sampaikan kepada Dekan Fakultas Pertanian saat ini Ir. Jaka Widada, MP., PhD beserta Wakil Dekan Dr. Dyah Weny Respatie, S.P., M.Si., Prof Subejo S.P., M.Sc., Ph.D. Dr. R.A. Siti Ari Budhiyanti, S.T.P., M.P., para Ketua Departemen dan Ketua Program Studi atas fasilitasi, dukungan dan bantuannya terhadap pengajuan Guru Besar saya. Terima kasih yang banyak juga saya sampaikan kepada Prof.Dr.Ir. Azwar Maas, M.Sc, Prof.Dr. Bambang Hendro Sunarminto, S.U, Prof.Dr.Ir. Susanto Somowiyarjo, M.Sc, Prof.Dr. Junun Sartohadi, M.Sc, Prof Achmadi Priyatmojo, dan Prof. Dr.Ir. Triwibowo Yuwono, atas perhatian, dukungan dan bantuannya hingga saya bisa meraih jabatan ini.

Kepada Ibu dan Bapak Dosen yang sangat berperan bagi saya dalam meniti jenjang pendidikan dan karir, saya menghaturkan terima kasih yang tidak terhingga, khususnya kepada Dr. Ir. Dja'far Shiddieq, MSc. yang memberikan motivasi, bimbingan dan nasehat bagi saya untuk menjadi dosen dan membentuk karakter saya sebagai dosen. Kepada alm. Prof Dr.Ir. Tejoyuwono Notohadiprawiro dan alm. Dr. Ir. Suryanto, SU atas dukungannya kepada saya untuk melanjutkan studi, kepada Prof Dr Bostang Radjagukguk dan alm Ir Sambudi S Sudiby, MSc. yang banyak memberikan kepada saya kesempatan dan bimbingan untuk berinteraksi dengan international expert, kepada Prof. Dr. Ir. Azwar Ma'as dan Prof. Dr. Ir. Bambang Hendro Sunarminto, Prof. Dr.Ir. Bambang Djadmo Kertonegoro, dan Ir. Rosich Attaqy, Msc atas curahan ilmu, pengalaman yang tak ternilai harganya dan inspirasinya buat saya, kepada alm Ir. Shodiq Hidayat, S.U dan Dr.Ir. M Drajad, MSc yang memberikan pengalaman kerja pertama kepada saya sebelum menjadi dosen, kepada alm. Dr.Ir. Soeprapto Soekodarmodjo, M.Sc, dan alm Prof Dr Ir Rachman Sutanto, M.Sc, alm Dr. Ir Sri Hastuti, M.Sc, alm Ir Bambang Djoko Sergono, alm Ir. Afandi Roesmarkam, alm Prof.Dr.Ir. Soepriyanto Notohadisuwarno, M.Sc, alm Prof. Dr. Ir. Sukardi Wisnubroto, Dr. Ir. Abdul Syukur, SU, Dr.Ir. Syamsul Arifin S, MSc, alm Ir. Anjal Anie Asmara, Dr.Ir. Mulyono N, alm. Ir. Susilo dan senior-senior yang memberikan curahan pengetahuan dan ketrampilan baik di kelas, di laboratorium maupun di lapangan, saya mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya.

Terima kasih kami saya ucapkan dan hormat saya kepada Dosen Pembimbing Progam Sarjana di Universitas Gadjah Mada : alm Prof. Dr. Ir. Rachman Sutanto, MSc. dan Ir. Sambudhi Sudiby Suwandhi, MSc., kepada Dosen Pembimbing Program Magister di Universitas Gadjah Mada : Prof. Dr. Ir. Bambang Hendro Sunarminto, SU dan Dr. Ir. Dja'far Shiddieq, M.Sc., kepada Promotor dan Mentor Program Magister di Yamagata University dan Doktoral di The United Graduate School of Agricultural Sciences Iwate University, Jepang : Prof. Ho Ando, Prof. Tatsuaki Kasubuchi, Prof. Ken-ichi Kakuda yang telah membimbing dan mendidik saya saat studi lanjut di Yamagata University. Terima kasih dan segala hormat saya sampaikan kepada bapak ibu guru di SD Panjang Wetan I, Pekalongan, SMPN I Pekalongan, SMAN Pekalongan dan Bapak Ibu Dosen di Fakultas Pertanian UGM yang telah mendidik dan membekali dasar-dasar ilmu pengetahuan bagi saya.

Terima kasih saya sampaikan kepada Prof. Stefaan de Neve (Ghent University, Belgia) dan Prof Michael Boëhme (Humboldt Universität zu, Berlin) atas jalinan kerja sama dalam pertanian organik (2010-2015) dan biochar (2019-2022), kepada Prof Keitaro Tawaraya dan Prof Weiguog Cheng (Yamagata University) atas kerjasamanya dalam riset, *student exchange* selama ini (2012 – saat ini) dan publikasi, kepada Prof. Akira Watanabe dan Prof. Hiroshi Ehara (Nagoya University) dan Prof Yo Toma (Hokkaido University) atas kolaborasinya dalam

riset dan publikasi. Kepada Prof. Darusman (Universitas Syiah Kuala), Prof. Herviyanti (Universitas Andalas), Dr. Anak Agung Istri Kesumadewi (Universitas Udayana) beserta semua tim peneliti organik dan biochar baik Bapak Ibu dosen dan para mahasiswa semua baik S1, S2 dan S3 yang membantu dan kebersamai penelitian biochar yang pantang menyerah dan tidak menghiraukan hujan dan rasa dingin saat melakukan pengamatan dan mengukur gas rumah kaca di ketinggian 1300 m dpl di lereng Gunung Merbabu.

Terimakasih saya ucapkan kepada sahabat-sahabat alumni Fakultas Pertanian UGM angkatan 1984 (FUDE), dan alumni Fakultas Pertanian UGM dari berbagai angkatan, dan alumni Yamagata University, Ketua Umum Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI) Prof. Dr. Ir. Budi Mulyanto dan Sekjen HITI Dr. Husnain, MP., MSc., beserta rekan sejawat, khususnya di HITI Komda Jateng dan DIY, para sejawat di APSITI (Asosiasi Program Studi Ilmu Tanah Indonesia), mohon maaf tidak saya sebut satu persatu. Terima kasih kepada Bapak Ibu di Badan Litbang Kementerian Pertanian RI (sebagian sekarang bernaung di BRIN), kepada Dr. Husnain, MP, MSc. (Balai Besar Pengujian Standar Instrumen Sumberdaya Lahan, sekarang Kepala Pusat Standardisasi Instrumen Hortikultura), Dr. Ir. Ladiyani Retno Widowati, M.Sc, (BPSI Tanah dan Pupuk), dan Dr. Wahida Annisa, SP., MSc. (BPSI Lingtan) beserta jajarannya. Mohon maaf apabila tidak saya sebut semuanya. Terima kasih saya sampaikan kepada Marc Peeters dan jajarannya dari PT. Bambu Nusa Verde (BNV), VECO (sekarang Rikolto Indonesia/NGO Pertanian organik), PT. Petrokimia Gresik, PT Cheil Jedang Indonesia, Dr. Jong Foh Shoon (Malaysia), Prof. Dr. Ir., DAA., DEA., IPU., ASEAN. Eng., Brian Rodes Thorrington (*Honorary Consul of The Republic of Indonesia in Auckland*), South Star New Zealand, , dll atas jalinan kerjasamanya.

Kepada semua sejawat dan rekan-rekan saya di Departemen Tanah, Fakultas Pertanian UGM, Sekretaris Departemen Dr. Makruf Nurudin, SP., MP terimakasih atas segala saran, dukungan dan kerjasamanya dalam membangun dan mengembangkan departemen. Kepada Prof. Dr. Ir. Sri Nuryani Hidayah Utami, MP. MSc., Ir. Suci Handayani, M.P, Dr.Ir. Eko Hanudin, MP., Nasih Widya Yuwono, S.P, M.P., Prof. Dr. rer. nat. Junun Sartohadi, M.Sc, Dr. Ir. Rachmad Gunadi, MSi., Dr. Cahyo Wulandari, SP., MP., Nur Ainun Harlin Jenny Pulungan, Ssi, MSc, PhD., Andi Muttaqien, SSi., MSi., PhD., Imas Masithoh Devangsari, SP., MSc., Patria Novita Kusumawardani, SP., M.Sc., Tantriani, SP., MSc., Margi Asih Maimunah, SP., M.Sc., Fathi Alfinur Rizki, SP., M.Sc. dan Angga Prasetya, SP, M.Sc. terimakasih atas segala kebaikan, dukungan, bantuan dan kebersamaannya dalam mengembangkan departemen tanah dan saya mendoakan kepada sejawat departemen tanah yang saat ini sedang menempuh studi lanjut semoga segera berhasil dalam studinya. Kepada semua tenaga kependidikan dan civitas akademika di Fakultas Pertanian UGM khususnya di Departemen Tanah, saya juga mengucapkan terima kasih atas semua dukungan, bantuan dan kerjasamanya.

Terimakasih saya ucapkan kepada semua mahasiswa saya di Keluarga Mahasiswa Ilmu Tanah/KMIT (alumni dan mahasiswa dari berbagai angkatan), kepada mahasiswa pasca sarjana baik S2 maupun S3. Kepada para sahabat tani, bapak ibu petani yang mengikhlaskan lahan dan sumberdaya nya untuk penelitian saya dan para mahasiswa, yang memberi banyak pencerahan dan tambahan pengetahuan lapangan, saya ucapkan beribu-ribu terimakasih: Pak Blondo dan Pak Wartono (Petani Padi Organik Bantul dan Magelang), Pak Pitoyo, Pak Suratman, mbak Ratmi, dan Mbak Suni (Bapak Ibu petani sayuran Merbabu), Pak Rohmadi dan mas Miftahudin (Petani tomat dan kentang di Wonosobo), Pak Endro APPOLI (Asosiasi

Petani Organik Boyolali), dll. Kepada semua kerabat, kolega, teman, dan siapapun yang telah bekerjasama, membantu, dan berjasa kepada saya namun tidak disebut satu-persatu, saya ucapkan terima kasih, sekaligus mohon maaf karena tidak menyebut nama - namanya.

Terima kasih yang mendalam saya haturkan kepada Ibu dan Ayah saya, Ibu Wuryanti Sirinah dan alm. Bapak Achmad Roffal Effendy yang telah memberikan doa, mengasuh, mendidik dan membesarkan saya dengan penuh kasih dan sayang. Semoga menjadi amal sholih bagi kedua orang tua saya, dan Allah SWT membalasnya dengan yang lebih baik. Terima kasih juga kepada Ibu dan Bapak mertua saya Ibu Sutinah dan Bapak Gondo Suwarno atas doa, bimbingan dan nasehatnya. Terima kasih saya sampaikan kepada adik-adik saya Herumansyah Denny Dwiyono, SH., MKN, Hengki Heru Triyono, SH, Lucky Fridaningsih SP., Roy Rovalino Herudiansyah SH., MH., dan Yanuar Frediyanto, SE., beserta keluarga atas segala doa, kasih sayang, berbagi dan tumbuh bersama dalam suasana damai dan saling menyayangi. Terima kasih kepada kakak-kakak ipar saya, mas Sudarmadi, BA., mas Sudaryanto, BA., dan mas Ir. Sudarmanto dan keluarga atas segala bentuk kebaikan, kehangatan dan doa.

Kepada istri saya tercinta, Sugiyati, SP yang begitu banyak memberikan ketulusan, doa dan dukungan, berbagi cerita kebahagiaan, rasa syukur, dan kesabaran dalam rumah tangga, saya ucapkan terima kasih. Terima kasih kepada anak-anak saya dr Amalia Najma Millatina, Apt., Yurida Ni'ma Annisa, S.Farm., M.Pharm.Sci., dan Faiz Isai Rijal atas berjuta kehangatan, dukungan, cinta dan kasih sayang. Terima kasih kepada anak menantu saya Fauzi Mizan Prabowo Aji, S.Ars., M.Ars yang telah menjadi anggota baru dalam keluarga.

Terakhir, kepada para hadirin yang telah sudi meluangkan waktu dan bersabar mengikuti acara ini saya mengucapkan terima kasih banyak. Kepada Ketua dan Sekretaris Dewan Guru Besar beserta seluruh staf kantor DGB, Humas UGM, dan seluruh rekan dan panitia yang membantu penyelenggaraan acara ini saya mengucapkan terima kasih. Apabila ada kekurangan dan kesalahan mohon kiranya dapat dimaafkan. Semua ini tidak bisa berlangsung, kecuali atas limpahan rahmat dan karunia dari Allah SWT dan hanya kepada-Nya lah saya bersyukur.

Billahittaufik wal hidayah.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

DAFTAR PUSTAKA

- Amalina, Farah, Abdul Syukor Abd Razak, Santhana Krishnan, Haspina Sulaiman, A.W. Zularisam, and Mohd Nasrullah. 2022. "Biochar Production Techniques Utilizing Biomass Waste-Derived Materials and Environmental Applications – A Review." *Journal of Hazardous Materials Advances* 7 (June): 100134. doi:10.1016/j.hazadv.2022.100134.
- Azizah, Firdausi Nur, **Benito Heru Purwanto**, Akira Oikawa, Takuro Shinano, Weiguo Cheng, and Keitaro Tawaraya. 2023a. "Detection of Metabolites in Rhizosphere of Soybean under Different Status of Soil Potassium." *Soil Science and Plant Nutrition* 00 (00): 1–9. doi:10.1080/00380768.2023.2166775.
- Azizah, Firdausi Nur, **Benito Heru Purwanto**, Keitaro Tawaraya, and Diah Rachmawati. 2023b. "Characterization of Yield and Cumulative Nitrous Oxide Emission of Maize Varieties in Responses to Different Nitrogen Application Rates." *Heliyon* 9 (6): e17290. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e17290.
- Ding, Huina, Quanyi Hu, Mingli Cai, Cougui Cao, and Yang Jiang. 2022. "Effect of Dissolved Organic Matter (DOM) on Greenhouse Gas Emissions in Rice Varieties." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 330 (February): 107870. doi:10.1016/j.agee.2022.107870.
- Elbasiouny, Heba, Hassan El-Ramady, Fathy Elbehiry, Vishnu D. Rajput, Tatiana Minkina, and Saglara Mandzhieva. 2022. "Plant Nutrition under Climate Change and Soil Carbon Sequestration." *Sustainability (Switzerland)* 14 (2): 1–20. doi:10.3390/su14020914.
- Gogoi, Nirmali, K. K. Baruah, Boby Gogoi, and Prabhat K. Gupta. 2005. "Methane Emission Characteristics and Its Relations with Plant and Soil Parameters under Irrigated Rice Ecosystem of Northeast India." *Chemosphere* 59 (11): 1677–84. doi:10.1016/j.chemosphere.2004.11.047.
- Guo, Huiyuan, Jason C. White, Zhenyu Wang, and Baoshan Xing. 2018. "Nano-Enabled Fertilizers to Control the Release and Use Efficiency of Nutrients." *Current Opinion in Environmental Science and Health* 6: 77–83. doi:10.1016/j.coesh.2018.07.009.
- Haque, Md Mahamudul, Juel Datta, Tareq Ahmed, Md Ehsanullah, Md Neaul Karim, Mt Samima Akter, Muhammad Aamir Iqbal, Alaa Baazeem, Adel Hadifa, Sharif Ahmed, et al. 2021. "Organic Amendments Boost Soil Fertility and Rice Productivity and Reduce Methane Emissions from Paddy Fields under Sub-Tropical Conditions." *Sustainability (Switzerland)* 13 (6): 1–12. doi:10.3390/su13063103.
- Harring, Niklas, and Eva M Krockow. 2021. "The Social Dilemmas of Climate Change and Antibiotic Resistance: An Analytic Comparison and Discussion of Policy Implications." *Humanities and Social Sciences Communications*, 1–9. doi:10.1057/s41599-021-00800-2.
- Hassan, Muhammad Umair, Muhammad Aamer, Athar Mahmood, Masood Iqbal Awan, Lorenzo Barbanti, Mahmoud F. Seleiman, Ghous Bakhsh, Hiba M. Alkharabsheh, Emre Babur, Jinhua Shao, et al. 2022. "Management Strategies to Mitigate N₂O Emissions in Agriculture." *Life* 12 (3): 1–33. doi:10.3390/life12030439.
- Hermanto, F. W., **B. H. Purwanto**, A. Maas, and S. N.H. Utami. 2021. "N₂O Emission and Grain Yield of Rice from Organic and Conventional Farming in the Paddy Field." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 724 (1). doi:10.1088/1755-

1315/724/1/012065.

- Hou, Deyi. 2021. "Sustainable Soil Management and Climate Change Mitigation." *Soil Use and Management* 37 (2): 220–23. doi:10.1111/sum.12718.
- Hou, Deyi, Nanthi S. Bolan, Daniel C.W. Tsang, Mary B. Kirkham, and David O'Connor. 2020. "Sustainable Soil Use and Management: An Interdisciplinary and Systematic Approach." *Science of the Total Environment* 729: 138961. doi:10.1016/j.scitotenv.2020.138961.
- IPCC. 2014. "Climate Change 2014 Synthesis Report Summary for Policymakers." Accessed August 30, 2020. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf.
- Ji, Yang, Pengfei Liu, and Ralf Conrad. 2018. "Response of Fermenting Bacterial and Methanogenic Archaeal Communities in Paddy Soil to Progressing Rice Straw Degradation." *Soil Biology and Biochemistry* 124 (June): 70–80. doi:10.1016/j.soilbio.2018.05.029.
- Joseph, Johannes, and Lehmann and Stephen. n.d. *Biochar for Environmental Management: An Introduction*. *Biochar for Environmental Management Science, Technology and Implementation* Edited by J.
- Kim, Gun Yeob, Jessie Gutierrez, Hyun Cheol Jeong, Jong Sik Lee, M. D.Mozammel Haque, and Pil Joo Kim. 2014. "Effect of Intermittent Drainage on Methane and Nitrous Oxide Emissions under Different Fertilization in a Temperate Paddy Soil during Rice Cultivation." *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry* 57 (2): 229–36. doi:10.1007/s13765-013-4298-8.
- Knapp, Samuel, and Marcel G.A. van der Heijden. 2018. "A Global Meta-Analysis of Yield Stability in Organic and Conservation Agriculture." *Nature Communications* 9 (1): 1–9. doi:10.1038/s41467-018-05956-1.
- Kocsis, Tamás, Marianna Ringer, and Borbála Biró. 2022. "Characteristics and Applications of Biochar in Soil–Plant Systems: A Short Review of Benefits and Potential Drawbacks." *Applied Sciences (Switzerland)* 12 (8). doi:10.3390/app12084051.
- Kumagai, Etsushi, and Ryoji Sameshima. 2014. "Genotypic Differences in Soybean Yield Responses to Increasing Temperature in a Cool Climate Are Related to Maturity Group." *Agricultural and Forest Meteorology* 198: 265–72. doi:10.1016/j.agrformet.2014.08.016.
- Lal, Rattan, Curtis Monger, Luke Nave, and Pete Smith. 2021. "The Role of Soil in Regulation of Climate." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 376 (1834). doi:10.1098/rstb.2021.0084.
- Lehmann, Johannes, and Stephen Joseph. n.d. "Biochar for Environmental Management: An Introduction." In *Biochar for Environmental Management Science, Technology and Implementation*, edited by Johannes Lehmann and Stephen Joseph.
- Liu, Zhiming, Fang He, Lingling Ma, and Sha Peng. 2016. "Recent Advances in Catalytic Decomposition of N₂O on Noble Metal and Metal Oxide Catalysts." *Catalysis Surveys from Asia* 20 (3): 121–32. doi:10.1007/s10563-016-9213-y.
- Lu, Hao, Canping Dun, Hiral Jariwala, Rui Wang, Peiyuan Cui, Haipeng Zhang, Qigen Dai, Shuo Yang, and Hongcheng Zhang. 2022. "Improvement of Bio-Based Polyurethane and Its Optimal Application in Controlled Release Fertilizer." *Journal of Controlled Release* 350 (September): 748–60. doi:10.1016/j.jconrel.2022.08.039.

- Maimunah, Margi Asih, Valensi Kautsar, Putu Oki Bimantara, Samuel Munyaka Kimani, Ren Torita, Keitaro Tawaraya, Hideki Murayama, Sri Nuryani Hidayah Utami, **Benito Heru Purwanto**, and Weiguo Cheng. 2021. "Weeding Frequencies Decreased Rice–Weed Competition and Increased Rice n Uptake in Organic Paddy Field." *Agronomy* 11 (10). doi:10.3390/agronomy11101904.
- Mansyur, Nur Indah, Eko Hanudin, **Benito Heru Purwanto**, Sri Nuryani, and Hidayah Utami. 2022. "AGRIVITA Chemical Properties and Micromorphology of Biochars Resulted from Pyrolysis Of" 44 (3): 431–46.
- Maritasari, Aridinasty, **Benito Heru Purwanto**, and Sri Nuryani Hidayah Utami. 2022. "Adsorption and Release of Soil P in Andisols under Organic and Conventional Vegetable Farming System." *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 7 (2): 75. doi:10.22146/ipas.68740.
- Minasny, Budiman, Brendan P. Malone, Alex B. McBratney, Denis A. Angers, Dominique Arrouays, Adam Chambers, Vincent Chaplot, Zueng Sang Chen, Kun Cheng, Bhabani S. Das, et al. 2017. "Soil Carbon 4 per Mille." *Geoderma* 292: 59–86. doi:10.1016/j.geoderma.2017.01.002.
- Minasny, Budiman, Alex B. McBratney, Suk Young Hong, Yiyi Sulaeman, Myung Sook Kim, Yong Seon Zhang, Yi Hyun Kim, and Kyung Hwa Han. 2012. "Continuous Rice Cropping Has Been Sequestering Carbon in Soils in Java and South Korea for the Past 30 Years." *Global Biogeochemical Cycles* 26 (3): 1–8. doi:10.1029/2012GB004406.
- Oladosu, Yusuff, Mohd Y. Rafii, Chukwu Samuel, Arolu Fatai, Usman Magaji, Isiaka Kareem, Zarifh Shafika Kamarudin, Isma'ila Muhammad, and Kazeem Kolapo. 2019. "Drought Resistance in Rice from Conventional to Molecular Breeding: A Review." *International Journal of Molecular Sciences* 20 (14). doi:10.3390/ijms20143519.
- Osaki, Mitsuru, Nobuyuki Tsuji, Nazir Foad, and Jack Rieley. 2021. *Tropical Peatland Eco-Management. Tropical Peatland Eco-Management*. doi:10.1007/978-981-33-4654-3.
- Pang, Liuying, Fupeng Song, Xiliang Song, Xinsong Guo, Yanyan Lu, Shigeng Chen, Fujun Zhu, Naidan Zhang, Jiacheng Zou, and Penghui Zhang. 2021. "Effects of Different Types of Humic Acid Isolated from Coal on Soil NH₃ Volatilization and CO₂ Emissions." *Environmental Research* 194 (July 2020): 110711. doi:10.1016/j.envres.2021.110711.
- Ponti, Tomek De, Bert Rijk, and Martin K. Van Ittersum. 2012. "The Crop Yield Gap between Organic and Conventional Agriculture." *Agricultural Systems* 108: 1–9. doi:10.1016/j.agsy.2011.12.004.
- Pratiwi, G. R., E. Hanudin, **B. H. Purwanto**, E. Sulistyaningsih, and K. Hayashi. 2021. "Rice Growth Response to CRF Fertilizer and Biochar in Rainfed Land under Two Continuous Seasons." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 752 (1). doi:10.1088/1755-1315/752/1/012018.
- Purwanto, B.H.**, and S. Alam. 2020. "Impact of Intensive Agricultural Management on Carbon and Nitrogen Dynamics in the Humid Tropics." *Soil Science and Plant Nutrition* 66 (1). doi:10.1080/00380768.2019.1705182.
- Purwanto, B.H.**, Putri Wulandari, Endang Sulistyaningsih, Sri N.H. Utami, and Suci Handayani. 2021. "Improved Corn Yields When Humic Acid Extracted from Composted Manure Is Applied to Acid Soils with Phosphorus Fertilizer." *Applied and Environmental Soil Science* 2021. doi:10.1155/2021/8838420.

- Qin, Yanmei, Shuwei Liu, Yanqin Guo, Qiaohui Liu, and Jianwen Zou. 2010. "Methane and Nitrous Oxide Emissions from Organic and Conventional Rice Cropping Systems in Southeast China." *Biology and Fertility of Soils* 46 (8): 825–34. doi:10.1007/s00374-010-0493-5.
- Rahman, Mizanur. 2013. "Carbon Dioxide Emission from Soil" 2 (June): 132–39. doi:10.1007/s40003-013-0061-y.
- Rahmawati, Aulia, Stefaan De Neve, and **Benito Heru Purwanto**. 2015. "N₂O-N Emissions from Organic and Conventional Paddy Fields from Central Java, Indonesia." *Procedia Environmental Sciences* 28 (Sustain 2014): 606–12. doi:10.1016/j.proenv.2015.07.071.
- Raza, Ali, Ali Razzaq, Sundas Saher Mehmood, Xiling Zou, Xuekun Zhang, Yan Lv, and Jinsong Xu. 2019. "Impact of Climate Change on Crops Adaptation and Strategies to Tackle Its Outcome: A Review." *Plants* 8 (2). doi:10.3390/plants8020034.
- Rodrigues, Cristina I Dias. 2023. "Soil Carbon Sequestration in the Context of Climate Change Mitigation : A Review," 1–21.
- Rose, Michael T., Antonio F. Patti, Karen R. Little, Alicia L. Brown, W. Roy Jackson, and Timothy R. Cavagnaro. 2014. *A Meta-Analysis and Review of Plant-Growth Response to Humic Substances: Practical Implications for Agriculture. Advances in Agronomy*. 1st ed. Vol. 124. Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-12-800138-7.00002-4.
- Sakya, Amalia Tetrani, Endang Sulistyarningsih, **Benito Heru Purwanto**, and Didik Indradewa. 2020. "Drought Tolerant Indices of Lowland Tomato Cultivars." *Indonesian Journal of Agricultural Science* 21 (2): 59. doi:10.21082/ijas.v21n2.2020.p59-69.
- Saputra, Aditya Arief, Sri Nuryani Hidayah Utami, and **Benito Heru Purwanto**. 2022. "Effect of Biochar and Rice Irrigation Methods on Methane Gas Emissions." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 1005 (1). doi:10.1088/1755-1315/1005/1/012009.
- Saraiva, Raquel, Quirina Ferreira, and Gonçalo C Rodrigues. 2023. "Nanofertilizer Use for Adaptation and Mitigation of the Agriculture / Climate Change Dichotomy Effects," 1–21.
- Shao, Binbin, Zhifeng Liu, Lin Tang, Yang Liu, Qinghua Liang, Ting Wu, Yuan Pan, Xiansheng Zhang, Xiaofei Tan, and Jiangfang Yu. 2022. "The Effects of Biochar on Antibiotic Resistance Genes (ARGs) Removal during Different Environmental Governance Processes : A Review." *Journal of Hazardous Materials* 435 (March): 129067. doi:10.1016/j.jhazmat.2022.129067.
- Shi, Shengwei, Wen Zhang, Ping Zhang, Yongqiang Yu, and Fan Ding. 2013. "A Synthesis of Change in Deep Soil Organic Carbon Stores with Afforestation of Agricultural Soils." *Forest Ecology and Management* 296: 53–63. doi:10.1016/j.foreco.2013.01.026.
- Shrestha, Raj K, Pierre-Andre Jacinthe, Rattan Lal, Klaus Lorenz, Maninder P Singh, Scott M Demyan, Wei Ren, and Laura E Lindsey. 2023. "Biochar as a Negative Emission Technology: A Synthesis of Field Research on Greenhouse Gas Emissions." *Journal of Environmental Quality*, no. February. doi:10.1002/jeq2.20475.
- Smith, Laurence G., Adrian G. Williams, and Bruce D. Pearce. 2015. "The Energy Efficiency of Organic Agriculture: A Review." *Renewable Agriculture and Food Systems* 30 (3): 280–301. doi:10.1017/S1742170513000471.
- Smith, Pete. 2016. "Soil Carbon Sequestration and Biochar as Negative Emission

- Technologies.” *Global Change Biology* 22 (3): 1315–24. doi:10.1111/gcb.13178.
- Subbarao, G.V., IM Rondon, O Ito, K Nakahara, I. Ishikawa, Carlos Lascano, and Berry W. L. 2006. “Biological Nitrification Inhibition (BNI)— Is It a Widespread Phenomenon ?,” 5–18. doi:10.1007/s11104-006-9159-3.
- Subbarao, G V, O Ito, K L Sahrawat, W L Berry, K Nakahara, T Watanabe, K Suenaga, M Rondon, I M Rao, O Ito, et al. 2007. “Critical Reviews in Plant Sciences Scope and Strategies for Regulation of Nitrification in Agricultural Systems — Challenges and Opportunities Scope and Strategies for Regulation of Nitrification in Agricultural Systems — Challenges and Opportunities” 2689. doi:10.1080/07352680600794232.
- Suryani, Erna, Eman Sulaeman, Saefoel Bachri, and Widhya Adhy. 2020. “Laporan Tahunan BBSDLP 2019,” 29–31.
- Tan, Raymond R. 2019. “Data Challenges in Optimizing Biochar-Based Carbon Sequestration.” *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 104 (November 2018): 174–77. doi:10.1016/j.rser.2019.01.032.
- Tantriani, Takuro Shinano, Weiguo Cheng, Kazuki Saito, Akira Oikawa, **Benito Heru Purwanto**, and Keitaro Tawaraya. 2020. “Metabolomic Analysis of Night-Released Soybean Root Exudates under High- and Low-K Conditions.” *Plant and Soil* 456 (1–2): 259–76. doi:10.1007/s11104-020-04715-w.
- Toma, Yo, Yuuki Takechi, Ayano Inoue, Natsuko Nakaya, Kazuhiro Hosoya, Youichi Yamashita, Masataka Adachi, Takayuki Kono, and Ueno Hideto. 2021. “Early Mid-Season Drainage Can Mitigate Greenhouse Gas Emission from Organic Rice Farming with Green Manure Application.” *Soil Science and Plant Nutrition* 67 (4): 482–92. doi:10.1080/00380768.2021.1927832.
- Tubiello, F.N., M Salvatore, R.D. Córdor Golec, A. Ferrara, S. Rossi, R. Biancalani, S. Federici, H. Jacobs, and A. Flammini. 2014. “Agriculture , Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks.” *ESS Working Paper No.2* 2: 4–89. <http://www.fao.org/docrep/019/i3671e/i3671e.pdf>.
- Ussiri, David, and Rattan Lal. 2012. *Soil Emission of Nitrous Oxide and Its Mitigation. Soil Emission of Nitrous Oxide and Its Mitigation*. doi:10.1007/978-94-007-5364-8_1.
- Watson, C A, D Atkinson, P Gosling, L R Jackson, and F W Rayns. 2002. “Managing Soil Fertility in Organic Farming Systems.” doi:10.1079/SUM2002131.
- Wibowo, Heri, **Benito Heru Purwanto**, and Supriyanto Notohadisuwarno. 2018. “Effect of Humic Acid and Molybdate on Phosphate Adsorption in Typic Hapludult of Cigudeg, Bogor.” *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 2 (3): 119. doi:10.22146/ipas.31093.
- Wijanarko, Andy, and **Benito Heru Purwanto**. 2018. “JOURNAL OF DEGRADED AND MINING LANDS MANAGEMENT Effect of Long of Landuse and Cropping System on Soil Fertility and Cassava Yield” 5 (4): 1327–34. doi:10.15243/jdmlm.
- Willer, Helga, Jan Trávníček, Claudia Meier, and Bernhard Schlatter. 2021. *The World of Organic Agriculture Statistics and Emerging Trends 2021 [El Mundo de La Agricultura Orgánica Estadísticas y Tendencias Emergentes 2021]*. *The World of Organic Agriculture*. <https://shop.fibl.org/de/artikel/c/statistik/p/1663-organic-world-2015.html>.
- Zhang, Xinying, Panxue Gu, Xiaoyan Liu, Xun Huang, Jiayi Wang, Shenyu Zhang, and Jinghao Ji. 2021. “Effect of Crop Straw Biochars on the Remediation of Cd-Contaminated Farmland Soil by Hyperaccumulator *Bidens Pilosa* L.” *Ecotoxicology and Environmental*

- Safety* 219: 112332. doi:10.1016/j.ecoenv.2021.112332.
- Zhang, Yikai, Dan Zhu, Yuping Zhang, Jing Xiang, Yaliang Wang, Defeng Zhu, Lei Wang, and Huizhe Chen. 2021. “Effects of Climate Change on the Yield Potentials and Resource Use Efficiencies of Mid-Season Indica Rice Cultivars in Eastern China.” *Field Crops Research* 262 (November 2020): 108039. doi:10.1016/j.fcr.2020.108039.
- Zheng, Huabin, Zhiqiang Fu, Juan Zhong, and Wenfei Long. 2018. “Low Methane Emission in Rice Cultivars with High Radial Oxygen Loss.” *Plant and Soil* 431 (1–2): 119–28. doi:10.1007/s11104-018-3747-x.
- Zweiten, Lukas van, Bhupinderpal Singh, Stephen Joseph, Stephen Kimber, Annette Cowie, and K.Yin Chan. 2009. “Biochar for Environmental Management: Science and Technology.” In , edited by Johannes Lehmann and Stephen Joseph, 227–50. Sterling, USA: MPG Books.

BIODATA

A. DATA DIRI

- | | |
|--------------------------------|--|
| 1. Nama Lengkap | Prof. Dr. Ir. Benito Heru Purwanto, MP. M.Agr |
| 2. Tempat dan Tanggal Lahir | Pekalongan, 3 Agustus 1966 |
| 3. NIP | 19660803 199403 1 002 |
| 4. E-mail | benito@ugm.ac.id |
| 5. Nomor Telepon/HP | 081328009705 |
| 6. Nama Institusi Tempat Kerja | Fakultas Pertanian Universitas Gadjah Mada |
| 7. Program Studi | Ilmu Tanah |
| 8. Alamat Institusi | Fakultas Pertanian, Jl. Flora No 1, Bulaksumur,
Universitas Gadjah Mada |

B. KELUARGA

- | | |
|--|-----------|
| 1. Sugiyati, SP. | (Istri) |
| 2. dr. Amalia Najma Millatina | (Anak) |
| 3. Apt., Yurida Ni'ma Annisa, S.Farm., M.Pharm.Sci., | (Anak) |
| 4. Faiz Isai Rijal | (Anak) |
| 5. Fauzi Mizan Prabowo Aji, S.Ars., M.Ars | (Menantu) |

C. RIWAYAT PENDIDIKAN

- | | | |
|----|-------------|--|
| 1. | 1972 - 1978 | SDN Panjang Wetan I, Pekalongan |
| 2. | 1978 - 1981 | SMPN 1, Pekalongan |
| 3. | 1981 - 1984 | SMAN Pekalongan |
| 4. | 1984 - 1992 | S1 – Ilmu Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada
Judul Skripsi : Laksana Humus dan Kompleks Al-/Fe-humus di
Sepanjang Lereng Utara Gunung Slamet pada Beberapa Ketinggian
Tempat
Pembimbing : Dr. Ir. Rachman Sutanto, MSc. dan Ir. Sambudhi
Sudibyo Suwandhi, MSc. |
| 5. | 1996 - 1998 | S2 – Ilmu Tanah, Program Pasca Sarjana, Universitas Gadjah Mada
Judul Tesis : Muatan Terubahkan Oxisol dan Ultisol Berbahan Induk
Basalt, Malili (Sulawesi Selatan)
Pembimbing : Dr. Ir. Bambang Hendro Sunarminto, SU dan Dr. Ir.
Dja'far Shiddieq, MSc. |
| 6. | 1999 - 2001 | S2 – Bioresources, Faculty of Agriculture, Yamagata University,
Jepang |

Judul Tesis : Nutrient Status of Sago Palm (*Metroxylon sagu*) Grown in Tropical Peat Soils

Pembimbing : Prof. Ho Ando dan Dr. Ken-ichi Kakuda

7. 2001 - 2004 S3 – Plant Production, The United Graduate School of Agricultural Sciences, Iwate University, Jepang

Judul Disertasi : Kinetic Parameters of Gross N Mineralization and Nutrient Status of Peat Soils for Sago Palm (*Metroxylon sagu* Rottb.) Growth

Promotor : Prof. Ho Ando

Co Promotor : Prof. Aoyama dan Prof. Tatsuki Kasubuchi

D. RIWAYAT PEKERJAAN DAN JABATAN

1. 1994 - sekarang Dosen di Fakultas Pertanian UGM
2. 2007 - 2010 Sekretaris Departemen Tanah, Fakultas Pertanian UGM
3. 2011 - 2012 Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan, Kerjasama dan Pengabdian kepada Masyarakat, Fakultas Pertanian UGM
4. 2012 - 2016 Anggota Senat Fakultas Pertanian UGM
5. 2014 – 2017 Kaprodi Ilmu Tanah, Departemen Tanah Fakultas Pertanian UGM
6. 2016 - 2021 Ketua Departemen Tanah Fakultas Pertanian UGM
7. 2021 - 2026 Anggota Senat Fakultas Pertanian UGM
8. 2021 – 2026 Ketua Departemen Tanah Fakultas Pertanian UGM

E. PENGHARGAAN

1. Piagam Penghargaan Kesetiaan 25 Tahun UGM Tanggal 15 November 2021
2. Piagam Tanda Kehormatan Satyalencana Karya Sapta 20 Tahun Tanggal 3 April 2017

F. PENGALAMAN PENELITIAN DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No	Tahun	Judul	Sumber Dana/Kerjasama dengan:
1	2021-2023	Soil Availability and Plant Uptake of Selenium (Se) by Rice, Soybean and Maize	SouthStar, New Zealand
2	2019-2023	Biological Nitrification Inhibition (BNI) dan Biochar Sebagai Strategi Mitigasi Emisi N ₂ O pada Jagung	Dikti, Indonesia
5	2019-2023	Potensi dan Performa Biochar Kaya Fe Sebagai Katalis Untuk Konversi	Dikti, Indonesia

		N ₂ O Menjadi N ₂ Pada Tumpangsari Jagung-Kedelai Menggunakan Teknologi Isotop ¹⁵ N	
3	2022	Uji Efektifitas Pupuk Amiboost untuk Tomat, Kedelai dan Kubis	PT Cheil Jedang, Indonesia
4	2022	Uji Efektifitas Pupuk Anorganik Phonsgreen dan NPK Booster untuk Jagung, Bawang Merah, Kentang dan Padi Sawah	PT. Petrokimia Gresik, Indonesia
6	2021-2022	Study of Carbon Sequestration and Nitrogen Mineralization in Bamboo Plantation	University of Liege, Belgium dan Bambu Nusa Verde, Indonesia
7	2019-2022	Bamboo for biochar: an opportunity for scientific, societal and environmental change in Indonesia (BamBIndo)	VLIR-UOS, Belgium – berkolaborasi dengan Ghent University, Belgium, Universitas Syah Kuala, Universitas Andalas, Universitas Udayana
8	2021	Pengaruh Pelet Biochar yang Diperkaya P terhadap Pertumbuhan, Serapan P dan Hasil Edamame di Andisol	RTA - UGM Grant
9	2019-2020	Pengaruh Pupuk Controlled Release terhadap Pertumbuhan dan Hasil Padi dan Bawang Merah	Hibah Fakultas
10	2017-2018	Proyek Percontohan Restorasi Gambut Terpadu Dengan Model Pertanian Terpadu Tanaman-Ternak-Ikan Menggunakan Pendekatan Lanskap	Badan Restorasi Gambut (BRG)

G. PUBLIKASI DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

Purwanto, **Benito Heru**, Eko Hanudin, and Erin Destri. 2023. "Accumulation Levels of Available Cu and Cu Absorption in Corn in Ultisolss and Alfisolss After the Addition

- of Fly Ash and Organic Materials.” *Jurnal Lahan Suboptimal : Journal of Suboptimal Lands* 12 (1): 11–26. Doi:10.36706/jlso.12.1.2023.617.
- Azizah, Firdausi Nur, **Benito Heru Purwanto**, Keitaro Tawaraya, and Diah Rachmawati. 2023. “Characterization of Yield and Cumulative Nitrous Oxide Emission of Maize Varieties in Responses to Different Nitrogen Application Rates.” *Heliyon* 9 (6): e17290. Doi:10.1016/j.heliyon.2023.e17290.
- Azizah, Firdausi Nur, **Benito Heru Purwanto**, Akira Oikawa, Takuro Shinano, Weiguo Cheng, and Keitaro Tawaraya. 2023. “Detection of Metabolites in Rhizosphere of Soybean under Different Status of Soil Potassium.” *Soil Science and Plant Nutrition* 69 (2): 69–77. Doi:10.1080/00380768.2023.2166775.
- Hartati, Tri Mulya, Bambang Hendro Sunarminto, Sri Nuryani Hidayah Utami, **Benito Heru Purwanto**, Makruf Nurudin, and Krishna Aji. 2023. “Distribution of Soil Morphology and Physicochemical Properties to Assess the Evaluation of Soil Fertility Status Using Soil Fertility Capability Classification in North Galela, Indonesia.” *Journal of Degraded and Mining Lands Management* 10 (3): 4405–15. Doi:10.15243/jdmlm.2023.103.4405.
- Kusumawati, Anna, Eko Hanudin, **Benito Heru Purwanto**, and Makruf Nurudin. 2023. “Assessing Soil Quality Index Under Different Sugarcane Monoculture Periods and Soil Orders.” *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 54 (2): 225–42. Doi:10.1080/00103624.2022.2112213.
- Sri Dewi, Endang, Prapto Yudono, Eka Tarwaca, **Benito Heru Purwanto**, 2023. “Pengaruh Dosis Dan Jenis Aplikasi Boron Terhadap Tingkat Layu Pentil (Cherelle Wilt) Tanaman Kakao The Effect Of Doses And Methode Application Of Boron On Cherelle Wilth Of Cacao Plant 5 (1): 1–13
- Dimu-Heo, Yohannis Harry, Didik Indradewa, Eka Tarwaca Susilo Putra, And **Benito Heru Purwanto**. 2022. “Growth And Yield Of Maize In T’sen, A Local Wisdom Of Planting In One Planting Hole, Typical Cropping Pattern Of West Timor’s, Indonesia.” *Biodiversitas* 23 (5): 2502–11. Doi:10.13057/Biodiv/D230530.
- Hasnah, T. M., E. Windyarini, B. Leksono, K. Riyantika, **B. H. Purwanto**, H. A. Adinugraha, And L. Hakim. 2021. “Utilization Of Nyamplung Industrial Waste For Compost And The Response To Nyamplung Seedlings Growth And Nitrogen Uptake.” *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* 914 (1). Doi:10.1088/1755-1315/914/1/012055.
- Hermanto, F. W., **B. H. Purwanto**, A. Maas, And S. N.H. Utami. 2021. “N₂o Emission And Grain Yield Of Rice From Organic And Conventional Farming In The Paddy Field.” *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* 724 (1). Doi:10.1088/1755-1315/724/1/012065.
- Ardiantika, D. A., **B. H. Purwanto**, And S. N.H. Utami. 2018. “Effect Of Organic Fertilizer On Nitrogen Uptake And Yield Of Two Different Rice Varieties In Inceptisol, Kalitirto.” *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* 215 (1). Doi:10.1088/1755-1315/215/1/012027.
- Kusumawardani, Patria Novita, Putu Oki Bimantara, Julien Guigue, Chihiro Haga, Yuta Sasaki, Valensi Kautsar, Samuel Munyaka Kimani, Toan Nguyen-Sy, Shuirong Tang, **Benito Heru Purwanto**, Et Al. 2022. “Carbon And Nitrogen Dynamics As Affected By Land-

- Use And Management Change From Original Rice Paddies To Orchard, Wetland, Parking Area And Uplands In A Mountain Village Located In Shonai Region, Northeast Japan.” *Soil Science And Plant Nutrition* 68 (1): 114–23. Doi:10.1080/00380768.2021.2017235.
- Kusumawati, A., E. Hanudin, **B. H. Purwanto**, And M. Nurudin. 2022. “Root Traits Of Sugarcane Cultivated By Monoculture System In Three Orders Of Soil.” *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* 1005 (1). Doi:10.1088/1755-1315/1005/1/012002.
- Maimunah, Margi Asih, Valensi Kautsar, Putu Oki Bimantara, Samuel Munyaka Kimani, Asih Indah Utami, Riza Kurnia Sabri, Keitaro Tawaraya, Sri Nuryani Hidayah Utami, **Benito Heru Purwanto**, And Weiguo Cheng. 2022. “Weeding Frequencies Improve Soil Available Nitrogen In Organic Paddy Field.” *Planta Tropika: Jurnal Agrosains (Journal Of Agro Science)* 10 (1): 45–54. Doi:10.18196/Pt.V10i1.12707.
- Mansyur, Nur Indah, Eko Hanudin, **Benito Heru Purwanto**, Sri Nuryani, And Hidayah Utami. 2022. “Agrivita Chemical Properties And Micromorphology Of Biochars Resulted From Pyrolysis Of” 44 (3): 431–46.
- Maritasari, Aridinasty, **Benito Heru Purwanto**, And Sri Nuryani Hidayah Utami. 2022. “Adsorption And Release Of Soil P In Andisols Under Organic And Conventional Vegetable Farming System.” *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 7 (2): 75. Doi:10.22146/Ipas.68740.
- Palayukan, G. D., E. Hanudin, And **B. H. Purwanto**. 2022. “Stable And Unstable Carbon Fraction Under Different Vegetable Farming System On Mt. Merbabu’s Andisols, Central Java.” *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* 1005 (1). Doi:10.1088/1755-1315/1005/1/012014.
- Pertiwi, Miranti Dian, Endang Sulistyaningsih, Rudi Hari Murti, **Benito Heru Purwanto**, Balai Pengkajian, Teknologi Pertanian, Balitbangtan Jawa, Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Gadjah Mada, Et Al. 2022. “Identification Of High-Temperature Tolerance Of Some Potato Varieties Based On Stress Tolerance Indices And,” 79–88.
- Maimunah, Margi Asih, Valensi Kautsar, Putu Oki Bimantara, Samuel Munyaka Kimani, Ren Torita, Keitaro Tawaraya, Hideki Murayama, Sri Nuryani Hidayah Utami, **Benito Heru Purwanto**, And Weiguo Cheng. 2021. “Weeding Frequencies Decreased Rice–Weed Competition And Increased Rice N Uptake In Organic Paddy Field.” *Agronomy* 11 (10): 1–12. Doi:10.3390/Agronomy11101904.
- Purwanto, B.H.**, Putri Wulandari, Endang Sulistyaningsih, Sri N.H. Utami, And Suci Handayani. 2021. “Improved Corn Yields When Humic Acid Extracted From Composted Manure Is Applied To Acid Soils With Phosphorus Fertilizer.” *Applied And Environmental Soil Science* 2021. Doi:10.1155/2021/8838420.
- Putra, Eka Tarwaca Susila, **Benito Heru Purwanto**, Cahyo Wulandari, And Taufan Alam. 2021. “Metabolic Activities Of Eight Oil Palm Progenies Grown Under Aluminum Toxicity.” *Biodiversitas* 22 (8): 3146–55. Doi:10.13057/Biodiv/D220808.
- Sakya, A.T., E. Sulistyaningsih, **B.H. Purwanto**, And D. Indradewa. 2021. “Application Znso₄ On Tomato Growth Under Drought Stress Conditions.” In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*. Vol. 637. Doi:10.1088/1755-

1315/637/1/012077.

- Suprihatin, A., **B. H. Purwanto**, E. Hanudin, And M. Nurudin. 2021. "Effect Of Cropping Rotation **Patterns** On Rice Productivity In Irrigated Rice Fields." *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science* 752 (1). Doi:10.1088/1755-1315/752/1/012002.
- Wiratama, Ristiya Adi, Eko Hanudin, And **Benito Heru Purwanto**. 2021. "Intercalation And Calcination As Methods To Reduce Expansive Soil Properties." *Sains Tanah* 18 (1): 36–47. Doi:10.20961/Stjssa.V18i1.46735.
- Abduh, Andin Muhammad, Eko Hanudin, **Benito Heru Purwanto**, And Sri Nuryani Hidayah Utami. 2020. "Effect Of Plant Spacing And Organic Fertilizer Doses On Methane Emission In Organic Rice Fields." *Environment And Natural Resources Journal*. Doi:10.32526/Ennrj.18.1.2020.07.
- Adileksana, Cahyo, Prapto Yudono, **Benito Heru Purwanto**, And Rachmanto Bambang Wijoyo. 2020. "The Growth Performance Of Oil Palm Seedlings In Pre-Nursery And Main Nursery Stages As A Response To The Substitution Of Npk Compound Fertilizer And Organic Fertilizer." *Caraka Tani: Journal Of Sustainable Agriculture* 35 (1): 89. Doi:10.20961/Carakatani.V35i1.33884.
- Alam, Syamsu, **Benito Heru Purwanto**, Eko Hanudin, And Eka Tarwaca Susila Putra. 2020. "Soil Diversity Influences On Oil Palm Productivity In Ultramafic Ecosystems, Southeast Sulawesi, Indonesia." *Biodiversitas* 21 (11): 5521–30. Doi:10.13057/Biodiv/D211161.
- Dewi Hs, E.S., P. Yudono, E.T.S. Putra, And **B.H. Purwanto**. 2020. "Physiological And Biochemical Activities Of Cherelle Wilt On Three Cocoa Clones (*Theobroma Cacao*) Under Two Levels Of Soil Fertilities." *Biodiversitas* 21 (1). Doi:10.13057/Biodiv/D210124.
- Hidayanto, Fajar, **Benito Heru Purwanto**, And Sri Nuryani Hidayah Utami. 2020. "Relationship Between Allophane With Labile Carbon And Nitrogen Fractions Of Soil In Organic And Conventional Vegetable Farming Systems." *Polish Journal Of Soil Science* 53 (2): 273–91. Doi:10.17951/Pjss/2020.53.2.273.
- Kusumawati, Anna, Eko Hanudin, **Benito Heru Purwanto**, And Makruf Nurudin. 2020. "Composition Of Organic C Fractions In Soils Of Different Texture Affected By Sugarcane Monoculture." *Soil Science And Plant Nutrition* 66 (1): 206–13. Doi:10.1080/00380768.2019.1705740.
- Ompusunggu, Dian Syafitri, **Benito Heru Purwanto**, Cahyo Wulandari, Sri Nuryani, And Hidayah Utami. 2020. "Ilmu Pertanian (Agricultural Science) Lowland Rice On Peat Soil In Pelalawan Riau" 5 (1): 11–18.
- Pertiwiningrum, Ambar, Margaretha Arnita Wuri, Dina Setiyana, **Benito Heru Purwanto**, Andang Widi Harto, And Misri Gozan. 2020. "Evaluation Of Methane And Carbon Dioxide Emissions From Livestock Waste, Compost, And Biogas Sludge." *International Journal Of Geomate* 18 (68): 35–40. Doi:10.21660/2020.68.5592.
- Prakoso, Tangguh, Endang Sulistyaningsih, And **Benito Heru Purwanto**. 2020. "Effect Of Humic Acid On The Growth And Yield Of Two Maize (*Zea Mays* L.) Cultivars On Andisol." *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 5 (1): 25. Doi:10.22146/Ipas.36935.
- Purwanto, B.H.**, And S. Alam. 2020. "Impact Of Intensive Agricultural Management On

- Carbon And Nitrogen Dynamics In The Humid Tropics.” *Soil Science And Plant Nutrition* 66 (1). Doi:10.1080/00380768.2019.1705182.
- Noviyanto, Amir, Junun Sartohadi, And **Benito Heru Purwanto**. 2020. “The Distribution Of Soil Morphological Characteristics For Landslide-Impacted Sumbing Volcano , Central Java - Indonesia” 8.
- Utami, Sri Nuryani Hidayah, Andin Muhammad Abduh, Eko Hanudin, And **Benito Heru Purwanto**. 2020. “Study On The Npk Uptake And Growth Of Rice Under Two Different Cropping Systems With Different Doses Of Organic Fertilizer In The Imogiri Subdistrict, Yogyakarta Province, Indonesia.” *Sarhad Journal Of Agriculture* 36 (4): 1190–1202. Doi:10.17582/Journal.Sja/2020/36.4.1190.1202.
- Tantriani, Takuro Shinano, Weiguo Cheng, Kazuki Saito, Akira Oikawa, **Benito Heru Purwanto**, And Keitaro Tawaraya. 2020. “Metabolomic Analysis Of Night-Released Soybean Root Exudates Under High- And Low-K Conditions.” *Plant And Soil* 456 (1–2): 259–76. Doi:10.1007/S11104-020-04715-W.
- Dewi, Vira Kusuma, Nugroho Susetya Putra, **Benito Purwanto**, Santika Sari, Sri Hartati, And Lilian Rizkie. 2019. “Pengaruh Aplikasi Kompos Gulma Siam Chromolaena Odorata Terhadap Produksi Senyawa Metabolit Sekunder Sebagai Ketahanan Tanaman Pada Tanaman Cabai.” *Soilrens* 17 (1): 16–23. Doi:10.24198/Soilrens.V17i1.23215.
- Hukom, Zakarias F M, Didik Indradewa, **Benito H Purwanto**, And Eka T S Putra. 2019. “Effect Of Nitrogen Addition To Organic + Inorganic Liquid Fertilizers And Seasons On Productivity Of Tea Shoots.” *American-Eurasian Journal Of Sustainable Agriculture* 13 (4): 18–26. Doi:10.22587/Aejsa.2019.13.4.2.
- Kartikawati, Retno, Eko Hanudin, And **Benito Heru Purwanto**. 2019. “Physico-Chemical Properties Of Volcanic Soils Under Different Perennial Plants From Upland Area Of Mt. Merapi, Indonesia.” *Planta Tropika: Journal Of Agro Science* 7 (1): 93–102. Doi:10.18196/Pt.2019.098.93-102.
- Khaidir, A., **B.H. Purwanto**, M. Nurudin, And E. Hanudin. 2019. “Morphology And Physicochemical Properties Of Soils In Reclamation Of Ex-Coal Mining.” *Indian Journal Of Agricultural Research* 53 (2). Doi:10.18805/Ijare.A-332.
- Wulandari, Putri, Endang Sulistyarningsih, Suci Handayani, And **Benito Heru Purwanto**. 2019. “Growth And Yield Response Of Maize (*Zea Mays* L.) On Acid Soil To Different Rates Of Humic Acid And Npk Fertilizer.” *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 4 (2): 76. Doi:10.22146/Ipas.36680
- Nugroho, Bayu Dwi Apri, Sri Nuryani Hidayah Utami, And **Benito Heru Purwanto**. 2019. “Penerapan Sistem Monitoring Lahan Dan Analisa Neraca Air Klimatik Pertanian Di Lahan Gambut.” *Agritech* 39 (2): 108. Doi:10.22146/Agritech.43507.
- Mansyur, N.I., E. Hanudin, **B.H. Purwanto**, And S.N.H. Utami. 2019. “Morphological Characteristics And Classification Of Soils Formed From Acidic Sedimentary Rocks In North Kalimantan.” In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*. Vol. 393. Doi:10.1088/1755-1315/393/1/012083.
- Mawardi, M, Putu Sudira, Bambang Hendro Sunarminto, Totok Gunawan, And **Benito Heru Purwanto**. 2019. “Pengaruh Pasang Surut Terhadap Pengendapan Lumpur Di Lahan Sawah Rawa Kawasan Sungai Barito Kalimantan Selatan.” *Agritech* 38 (3): 273. Doi:10.22146/Agritech.33863.

- Nitisapto, Mulyono, Azwar Maas, **Benito Heru Purwanto**, And Putu Sudira. 2019. "Water Use Efficiency In Vertical Cropping System With Volcanic Ash Media By Using Biochar And Urban Waste Compost Fertilizer As Soil Amendement." *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 4 (1): 40. Doi:10.22146/Ipas.34304.
- Sasongko, S.R., S.N.H. Utami, And **B.H. Purwanto**. 2019. "Effects Of Npk And Mycorrhizae On The Growth, P Uptake Of Soybean, And Soil Chemist In Peatland, Pelalawan, Riau." In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*. Vol. 393. Doi:10.1088/1755-1315/393/1/012003.
- Toma, Y., N.N. Sari, K. Akamatsu, S. Oomori, O. Nagata, S. Nishimura, **B.H. Purwanto**, And H. Ueno. 2019. "Effects Of Green Manure Application And Prolonging Mid-Season Drainage On Greenhouse Gas Emission From Paddy Fields In Ehime, Southwestern Japan." *Agriculture (Switzerland)* 9 (2). Doi:10.3390/Agriculture9020029.
- Nitisapto, Mulyono, Azwar Maas, **Benito Heru Purwanto**, And Putu Sudira. 2018. "Short Communication: Volcanic Ash Utilization As Planting Medium Of Curly Lettuce With Charcoal Husk And Urban Waste Compost As Soil Amendment." *Asian Journal Of Agriculture* 2 (02): 39–43. Doi:10.13057/Asianjagric/G020201.
- Himawati, S., **B.H. Purwanto**, And S.N.H. Utami. 2018. "Effect Of Organic Fertilizer On Kinetics Of Potassium Release And Rice Uptake In Inceptisols Kalitirto, Sleman." In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*. Vol. 215. Doi:10.1088/1755-1315/215/1/012031.
- Juniarso, S., S.N.H. Utami, **B.H. Purwanto**, And I.M. Devangsari. 2018. "The Effect Of Cow Manure And Neem Compost Toward Npk Uptake, Soil Respiration, And Rice Production In Organic Paddy Field In Imogiri Bantul, Indonesia." In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*. Vol. 215. Doi:10.1088/1755-1315/215/1/012026.
- Nuryani Hidayah Utami, Sri, **Benito Heru Purwanto**, And Djaka Marwasta. 2018. "Land Management For Agriculture After The 2010 Merapi Eruption." *Planta Tropika: Journal Of Agro Science* 6 (1): 32–38. Doi:10.18196/Pt.2018.078.32-38.
- Purwanto, B.H.**, N.N. Sari, S.N.H. Utami, E. Hanudin, And B.H. Sunarminto. 2018. "Effect Of Flooding Duration On Nitrous Oxide Emission From Organic And Conventional Rice Cultivation System In Central Java, Indonesia." In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*. Vol. 215. Doi:10.1088/1755-1315/215/1/012033.
- Putra, R.C., S.N. Hidayah, And **B.H. Purwanto**. 2018. "Influence Of Goat Manure And Azolla On Soil Properties, Nitrogen Use Efficiency, Growth And Yield Of Organic Rice Farming In Indonesia." In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*. Vol. 215. Doi:10.1088/1755-1315/215/1/012010.
- Sakya, A.T., E. Sulistyanyingsih, D. Indradewa, And **B.H. Purwanto**. 2018. "Stomata Character And Chlorophyll Content Of Tomato In Response To Zn Application Under Drought Condition." In *Iop Conference Series: Earth And Environmental Science*. Vol. 142. Doi:10.1088/1755-1315/142/1/012033.
- Syahrawati, My, Edhi Martono, Nugroho Susetya Putra, And **Benito Heru Purwanto**. 2018. "Effects Of Fertilizer, Irrigation Level And Spider Presence On Abundance Of Herbivore And Carnivore In Rice Cultivation In Yogyakarta." *Asian Journal Of Agriculture And Biology* 6 (3): 385–95.

- Wibowo, Heri, **Benito Heru Purwanto**, And Supriyanto Notohadisuwarno. 2018. “Effect Of Humic Acid And Molybdate On Phosphate Adsorption In Typic Hapludult Of Cigudeg, Bogor.” *Ilmu Pertanian (Agricultural Science)* 2 (3): 119. Doi:10.22146/Ipas.31093.
- Wijanarko, Andy, And **Benito Heru Purwanto**. 2018. “J Ournal Of D Egraded And M Ining L Ands M Anagement Effect Of Long Of Landuse And Cropping System On Soil Fertility And Cassava Yield” 5 (4): 1327–34. Doi:10.15243/Jdmlm.

H. PUBLIKASI SEMINAR ILMIAH (ORAL PRESENTATION) DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

No.	Nama Temu ilmiah / Seminar	Judul Artikel Ilmiah	Waktu dan Tempat
1.	The 14th International Sago Symposium The Role of Sago in Achieving the Sustainable Development Goals. SAGO 2023	Expectation of Further Preferable Study Direction from Soil Science Point of View	7 Juli 2023, Tokyo, Japan (online)
2	The 15 International Conference on Climate Change	N ₂ O and Grain Yield Of Rice From Organic And Conventional Farming In Paddy Field Emissions	24 September 2020, Surakarta (Online)
3	International Seminar and Congress of Indonesian Soil Sciences Society (ISCO-ISS)	Emissions of CO ₂ , CH ₄ and N ₂ O From Paddy, Maize And Soybean Field in Imogiri, Yogyakarta	5-7 August 2019, Bandung, Indonesia
4	International Symposium on C and N Dynamic by Landuse and Management Changes in East and Southeast Asia	Effect of land use and soil management changes on the dynamic of soil carbon and nitrogen in Indonesia	10-13 September 2018, Tsuruoka, Japan.
5	National Seminar of Agriculture Research Result VIII Faculty of Agriculture, Universitas Gadjah Mada	Internet of Things Dalam Bidang Pertanian : Peluang Dan Tantangan	25 September, 2018, Yogyakarta, Indonesia

I. KARYA BUKU DALAM 5 TAHUN TERAKHIR

- 1 Benito Heru Purwanto, Sri Nuryani Hidayah Utami, Didik Indradewa, dan Edhi Martono .2020 Pertanian Organik, Solusi Pertanian Berkelanjutan Ramah Lingkungan. LILY Pub. Yogyakarta
- 2 Benito Heru Purwanto, Patria Novita Kusumawardani dan Margi Asih Maimunah. Komposisi Karbon Gambut Dalam Mempengaruhi Emisi Gas Rumah Kaca dan Subsistensi Gambut. Dalam Sri Nuryani Hidayah Utami dkk. 2021 Tantangan Pengembangan Sumberdaya Lahan Rawa dan Gambut. Dee Publisha. Yogyakarta
- 3 Tejoyuwono Notohadiprawiro, Sri Nuryani Hidayah Utami, Benito Heru Purwanto, Eko Hanudin, Makruf Nurudin, Nasih Widya Yuwono, Nur Ainun H. J. Pulungan, Fathi Alfinur Rizqi, Eka Tarwaca Susila Putra, Cahyo Wulandari, Patria Novita Kusumawardani, dan Margi Asih Maimunah. 2022. Peningkatan Produktivitas Tanah Pertanian dengan Teknologi Biochar dari Berbagai Bahan Baku. Dalam Pertanian setelah Revolusi Hijau. Dee Publisher. Yogyakarta

J. PEROLEHAN HKI DALAM 10 TAHUN TERAKHIR

No	Judul/Tema HKI	Tahun	Jenis	No P/ID
1	Pembuatan Pupuk Cair Organik+Anorganik Untuk Meningkatkan Produktivitas, Kadar Epigallocatechin Gallate (Egcg) Dan Kemampuan Aktivitas Antioksidan Pucuk Teh.	2020	Paten Biasa	2020/01575