



BAB 2

TEKNOLOGI AMELIORASI DAN PEMUPUKAN PADI DI LAHAN GAMBUT

Masganti^{1,3}, Khairil Anwar¹, dan Andin Muhammad Abduh²

¹Pusat Riset Tanaman Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional

²Jurusan Ilmu Tanah, Fak. Pertanian, Universitas Lambung Mangkurat

³Program Studi Peternakan, Fakultas Pertanian Uniska Muhammad Arsyad Al-Banjari

Email: masgambut59@yahoo.com

A. Ringkasan

Beras menjadi komoditas utama karena bersifat strategis, ekonomis, dan politis. Oleh karena itu, produksi padi harus terus digenjot di tengah meningkatnya jumlah penduduk dan kebutuhan energi individu serta tekad menjadi lumbung pangan dunia (LPD). Luas lahan gambut Indonesia diperkirakan mencapai 14,93 juta hektare, 10,27 juta hektare sesuai untuk pengembangan pertanian dan 5,90 juta hektare di antaranya sesuai untuk budi daya padi. Pengelolaan lahan gambut untuk budi daya padi harus memperhatikan karakteristik gambut terkait dengan: (a) sifat-sifat fisik seperti tingkat dekomposisi, ketebalan/kedalaman, *bulk density*, kering tak balik, laju subsidensi, daya retensi air, porositas, dan lapisan bawah/substratum; (b) sifat-sifat kimia meliputi kemasaman tanah, kejenuhan basa, kadar abu, kapasitas tukar kation, P-tersedia, C-organik, N-total, dan unsur mikro; dan (c) sifat biologis tanah gambut seperti flora dan fauna. Pemanfaatan lahan gambut untuk budi daya padi terkendala di antaranya oleh ketersediaan hara yang rendah, kemasaman tanah yang tinggi, efisiensi pemupukan yang rendah, dan risiko keracunan unsur hara tertentu. Oleh karena

itu, diperlukan teknologi ameliorasi dan pemupukan agar pertumbuhan dan produktivitas tanaman padi menjadi maksimum.

B. Pendahuluan

Multifungsi beras dalam kehidupan bangsa Indonesia semakin jelas. Bagi masyarakat Indonesia, komoditas ini tidak saja menjadi sumber karbohidrat, tetapi juga menjadi indikator tingkat kesejahteraan, keamanan, sosial, bahkan politik. Oleh karena itu, pemerintah harus mampu menyediakan beras dalam jumlah yang cukup dan harga yang terjangkau agar tidak terjadi gejolak dalam masyarakat.

Berdasarkan analisis diketahui, paling tidak ada tiga hal yang menjadi penyebab meningkatnya kebutuhan beras Indonesia, yakni (a) peningkatan jumlah penduduk sudah mencapai 270 jiwa; (b) peningkatan kebutuhan kalori individu, dari 2.750 kalori/orang/hari pada tahun 2012 menjadi 3.130 kalori/orang/hari pada tahun 2050 (Masganti dan Alwi, 2018); dan (c) keinginan pemerintah menjadi lumbung pangan dunia (LPD) pada tahun 2045.

Kemampuan Pulau Jawa sebagai pemasok beras di Indonesia sangat dominan. Tiga provinsi sentra produksi padi Pulau Jawa (Jawa Tengah, Jawa Timur, dan Jawa Barat) menyumbang sekitar 52% produksi padi nasional (Badan Pusat Statistik, 2020). Akibat perhatian pemerintah bertumpu ke Pulau Jawa dapat menyebabkan terancamnya pasokan beras nasional, jika ketiga provinsi tersebut mengalami "*force majeure*", sehingga kapasitas produksi padi menjadi berkurang. Hal ini dipertegas dengan meningkatnya laju alih fungsi lahan sawah kepentingan nonpertanian, meningkatnya kompetisi penggunaan lahan untuk sumber energi, meningkatnya serangan organisme pengganggu tanaman (OPT), menurunnya jumlah petani, menurunnya luas garapan, kesuburan tanah, minat taruna tani berusaha tani padi, dan luas lahan produktif akibat salinitas dan iklim ekstrem (Masganti, *et.al.*, 2020).

Pengembangan padi yang terfokus di Pulau Jawa menyebabkan lahan-lahan suboptimal di luar Pulau Jawa menjadi terabaikan. Selain itu, kebijakan ini juga menyebabkan "tidak meratanya" pengetahuan dan keterampilan petani, sehingga kapasitas produksi petani padi di luar Pulau Jawa menjadi tertinggal dan pengembangan ekonomi wilayah menjadi kurang berkembang (Masganti, *et.al.*, 2020a). Padahal diketahui bahwa

pola produksi padi di lahan rawa bersifat komplementer dengan produksi padi di Pulau Jawa, manakala Pulau Jawa tidak menghasilkan padi, justru lahan rawa berpotensi ditingkatkan kapasitas produksinya (Masganti, 2013). Oleh karena itu, perlu refocusing pengembangan sentra-sentra produksi padi di luar Pulau Jawa dengan memanfaatkan lahan gambut yang masih luas dan tidak atau sedikit mengalami alih fungsi lahan.

Menurut Ritung, *et.al.* (2015) dan BBSDLP (2018) luas lahan gambut di Indonesia diperkirakan mencapai 14,93 juta hektare yang tersebar di Pulau Sumatra, Kalimantan, Papua, dan Sulawesi. Pemanfaatan lahan ini sebagai penghasil padi dihadapkan pada masalah ketersediaan hara yang rendah, kemasaman tanah yang tinggi, efisiensi pemupukan yang rendah, dan risiko keracunan hara tertentu sehingga produktivitas padi masih tergolong rendah. Akan tetapi, hasil-hasil penelitian menunjukkan bahwa pengelolaan kesuburan tanah gambut melalui ameliorasi dan pemupukan mampu meningkatkan produktivitas padi. Tulisan ini menghimpun teknologi ameliorasi dan pemupukan untuk meningkatkan produktivitas padi di lahan gambut.

C. Potensi Lahan Gambut

Potensi lahan gambut sebagai media tanaman untuk pengembangan pertanian sangat besar. Data yang dikemukakan oleh BBSDLP (2018) dan Agus (2020), menunjukkan bahwa dari 14,93 juta hektare lahan gambut, 68,78% atau 10,27 juta hektare berpotensi dikembangkan untuk pertanian (Tabel 1) dengan persyaratan kedalaman 50–300 cm. Pulau Sumatra menempati urutan pertama luas lahan gambut, diikuti Pulau Kalimantan, Papua, dan Sulawesi. Potensi ini perlu dimanfaatkan secara bijaksana agar tidak menurunkan kapasitas produksi dan kualitas lingkungan. Lahan gambut telah lama dimanfaatkan petani sebagai penghasil bahan pangan dan sumber pendapatan keluarga. Saat ini telah dikembangkan secara lebih luas budi daya tanaman pangan, hortikultura, dan perkebunan, terutama karet dan kelapa sawit (Masganti, *et.al.*, 2014; 2017; Masganti dan Anwar, 2018).

Lahan gambut sangat potensial untuk dijadikan pendukung atau pemasok beras nasional. Apalagi pola produksi padi di lahan ini bersifat komplementer dengan produksi padi di Pulau Jawa (Masganti, 2013; Masganti, *et.al.* 2020). Tabel 1 menunjukkan bahwa lahan gambut yang

dapat dimanfaatkan untuk budi daya padi sebesar 5,90 juta hektare. Lahan gambut yang sesuai untuk budi daya padi mendominasi sekitar 57,48% luas lahan gambut yang sesuai untuk pertanian. Oleh karena itu, tidaklah berlebihan kalau petani menjadikan lahan gambut sebagai sumber pendapatan keluarga dan kehidupan masyarakat.

Tabel 1. Potensi Lahan Gambut Indonesia untuk Pertanian dan Budi Daya Padi

No.	Pulau	Potensi Pemanfaatan (ha)	
		Pertanian	Padi
1.	Sumatra	4.439.352	2.551.740
2.	Kalimantan	3.280.093	1.885.396
3.	Papua	2.533.817	1.456.438
4.	Sulawesi	16.099	9.409
Total		10.269.361	5.902.983

Sumber: Diolah dari BBSDLP (2018) dan Agus (2020)

Potensi gambut di Pulau Sumatra didominasi Provinsi Riau dan Sumatra Selatan, yang luasnya masing-masing 59,54% dan 19,44% dari total luas lahan gambut di pulau ini (Tabel 2). Oleh karena itu, jika memasuki musim kemarau, kedua provinsi ini biasanya menjadi penyumbang asap terbesar (Masganti, *et.al.*, 2015).

Tabel 2. Potensi Lahan Gambut Indonesia untuk Pertanian dan Budi Daya Padi di Pulau Sumatra

No.	Provinsi	Potensi Pemanfaatan (ha)	
		Pertanian	Padi
1.	Riau	2.643.230	1.519.328
2.	Sumsel	862.792	495.932
3.	Jambi	460.758	264.844
4.	Sumut	181.760	104.476
5.	Aceh	147.423	84.739
6.	Sumbar	68.881	39.593
7.	Lampung	33.848	19.456
8.	Babel	29.547	16.984
9.	Kepri	5.607	3.223
10.	Bengkulu	5.506	3.165
Total Pulau Sumatra		4.439.352	2.551.740

Sumber: Diolah dari BBSDLP (2018) dan Agus (2020)

Potensi lahan gambut terluas di Pulau Kalimantan terdapat di Provinsi Kalimantan Tengah, diikuti Kalimantan Barat, Kalimantan Timur, dan terendah di Kalimantan Selatan (Tabel 3). Kedua provinsi teratas lebih sering mengalami kebakaran gambut pada musim kemarau, sedangkan Kalimantan Selatan luas kebakaran lahan gambutnya sudah terbatas karena memang sudah berkurang luasnya atau sudah tidak termasuk kategori lahan gambut lagi, tetapi lahan bergambut, bahkan di lahan pasang surut sudah berubah menjadi lahan sulfat masam.

Tabel 3. Potensi Lahan Gambut Indonesia untuk Pertanian dan Budi Daya Padi di Pulau Kalimantan

No.	Provinsi	Potensi Pemanfaatan (ha)	
		Pertanian	Padi
1.	Kalteng	1.837.265	1.056.059
2.	Kalbar	1.143.292	657.164
3.	Kaltim	225.851	129.819
4.	Kalsel	73.685	42.354
Total Pulau Kalimantan		3.280.093	1.885.396

Sumber: Diolah dari BBSDLP (2018) dan Agus (2020)

Provinsi Papua mempunyai luas lahan gambut yang sesuai untuk pertanian dan budi daya padi terluas di Pulau Papua. Provinsi ini menempati 95% total lahan gambut yang sesuai untuk pertanian di pulau ini (Tabel 4). Oleh karena itu, pengembangan pertanian dan budi daya padi direkomendasikan melalui pemanfaatan lahan gambut yang ada di provinsi ini untuk mendukung produksi beras nasional.

Tabel 4. Potensi Lahan Gambut Indonesia untuk Pertanian dan Budi Daya Padi di Pulau Papua

No.	Provinsi	Potensi Pemanfaatan (ha)	
		Pertanian	Padi
1.	Papua	2.407.058	1.383.577
2.	Papua Barat	126.759	72.861
Total Pulau Papua		2.533.817	1.456.438

Sumber: Diolah dari BBSDLP (2018) dan Agus (2020)

D. Karakteristik dan Masalah Kesuburan Tanah Gambut

Pengelolaan lahan gambut membutuhkan pemahaman karakteristik lahan tersebut agar tidak mengalami degradasi secara drastis dan dapat dimanfaatkan berkelanjutan untuk kehidupan. Gambut sebagai salah satu jenis tanah, dalam proses pembentukannya dipengaruhi oleh banyak faktor pembentuk tanah seperti bahan induk, vegetasi, iklim, topografi, dan waktu (Andriess, 1988; Utami, *et.al.*, 2009; Noor dan Agus, 2014). Faktor bahan induk yang terpenting adalah jenis vegetasi dan komposisinya sebagai sumber bahan induk gambut yang nantinya mengalami pelapukan dan menjadi sumber bahan organik tanah. Faktor tersebut sangat berpengaruh terhadap tingkat kesuburan tanah. Perbedaan tersebut memunculkan istilah gambut subur (eutrofik), gambut kesuburan sedang (mesotrofik), dan gambut kurang subur (oligotrofik).

Faktor iklim yang sangat berpengaruh adalah aspek hidrologi dan curah hujan sehingga dikenal istilah gambut pantai (terbentuk di kawasan pantai) dan gambut pedalaman (terbentuk di kawasan yang jauh dari pantai), serta gambut transisi yang berada antara gambut pantai dan gambut pedalaman. Sementara itu, sumber air dalam proses pembentukan gambut memunculkan istilah gambut topogen (dipengaruhi gerakan air tanah/sungai) dan ombrogen (dipengaruhi curah hujan). Lamanya proses pembentukan gambut turut memengaruhi tingkat pelapukan bahan induk.

Resultan faktor pembentuk tanah tersebut di atas memengaruhi sifat fisik, kimia, dan biologi gambut. Beragamnya faktor tersebut memunculkan keragaman karakteristik gambut, namun parameter sifat fisik dan kimia umumnya berkorelasi satu sama lain.

1. Sifat Fisika Gambut

Sifat dan ciri fisik gambut saling berkaitan satu sama lain dan bersifat khas bahan organik. Sifat dan ciri fisik tanah gambut mencakup tingkat dekomposisi, *bulk density* (BD), kering tak balik, porositas, subsidensi, retensi air, kapasitas tanah dalam menyimpan air (*water holding capacity*), konduktivitas hidrolis, porositas, kemampuan mengembang dan mengerut, hilang akibat pemanasan, ketebalan lapisan gambut, dan lapisan bawah gambut.

a. Tingkat Dekomposisi

Tingkat dekomposisi menunjukkan tingkat pelapukan bahan gambut. Tingkat pelapukan gambut dipengaruhi oleh faktor pembentuk tanah. Sumber vegetasi yang memiliki kandungan lignin kecil, lebih mudah melapuk. Gambut yang sering berada pada kondisi oksidasi (kering) memiliki tingkat pelapukan lebih tinggi dibanding yang selalu tergenang. Gambut yang mengalami pengolahan tanah intensif (dan menggunakan mesin pertanian) memiliki tingkat pelapukan yang lebih tinggi dibanding gambut yang diolah secara tradisional.

Tingkat pelapukan dikelompokkan menjadi tiga, yaitu fibrik merupakan gambut yang kasar/mentah ($>2/3$ bahan kasar), hemik merupakan gambut yang sedang ($1/3-2/3$ bahan kasar), dan saprik merupakan gambut yang halus/masak ($<1/3$ bahan kasar). Umumnya semakin ke bawah dalam penampang tanah, bahan gambut semakin kasar (Dariah, *et.al.*, 2012; Sukarman, *et.al.*, 2012).

Tingkat dekomposisi gambut berkaitan erat dengan sifat gambut lainnya seperti BD tanah, daya pegang air, retensi hara, laju subsidensi, kadar air, dan porositas. Semakin besar tingkat pelapukan semakin tinggi nilai BD, daya pegang air, dan retensi hara, tetapi semakin rendah nilai laju subsidensi, kadar air, dan porositas (Hooijer, *et.al.*, 2012; Mulyani, *et.al.*, 2012).

b. Ketebalan/Kedalaman

Pemerintah melalui Permentan Nomor 14/Permentan/PL.110/02/2009 tentang kedalaman/ketebalan gambut yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pertanian hanya sampai 3,00 m. Artinya, pengembangan pertanian di lahan gambut tidak boleh merambah area yang kedalamannya melebihi 3,00 m.

Penetapan batas kedalaman/ketebalan lahan gambut yang dapat dimanfaatkan untuk pertanian didasarkan atas pertimbangan lingkungan, produktivitas, input, dan kelestarian usaha tani di lahan ini. Berdasarkan Permentan tersebut, maka luas lahan gambut yang potensial untuk pengembangan pertanian mencapai 10,27 juta hektare (Agus 2020).

Kedalaman gambut semakin bertambah dari tepi sungai ke arah dome sebagai daerah penyedia air. Oleh karena itu, gambut yang lebih dalam mempunyai kapasitas penyerapan dan penyediaan air yang lebih tinggi, sehingga tidak boleh diganggu agar pada saat musim kemarau tidak terjadi banjir dan pada musim kemarau tersedia air yang cukup dan tidak terjadi kebakaran (Masganti, *et.al.*, 2015). Kondisi ini tentunya menguntungkan bagi organisme yang hidup di lingkungan gambut seperti satwa, tumbuhan, manusia, dan mikroorganisme (Andersen, *et.al.*, 2013; Melling, *et.al.*, 2013).

Potensi budi daya tanaman di lahan gambut tecermin dari kedalaman gambut (Noor dan Agus, 2004). Pada tingkat dekomposisi yang sama, semakin dalam gambut yang digunakan potensi atau produktivitasnya semakin rendah, sehingga diperlukan input yang lebih tinggi. Jika nilai produktivitas yang dihasilkan jauh lebih rendah dari input yang diberikan, maka usaha tani tersebut akan tidak lestari (Masganti, *et.al.*, 2020b). Tabel 5 memperlihatkan klasifikasi gambut berdasarkan kedalaman.

Tabel 5. Klasifikasi Gambut Berdasarkan Kedalaman

No.	Kedalaman Gambut (cm)	Klasifikasi
1.	< 50	Bergambut
2.	50-100	Dangkal/Tipis
3.	101-200	Sedang
4.	201-400	Dalam
5.	401-800	Sangat Dalam
6.	801-1.200	Dalam Sekali

c. *Bulk Density* (BD)

Nilai BD merupakan berat suatu massa tanah per satuan volume tertentu. Nilai BD tanah gambut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tingkat dekomposisi, kadar bahan mineral, pemadatan tanah, dan komposisi botani. Nilai BD semakin tinggi jika faktor-faktor tersebut nilainya semakin tinggi (Maswar, 2012). Nilai BD gambut sangat penting untuk interpretasi tingkat kesuburan, terutama sebagai dasar perhitungan pemberian pupuk. Kondisi vegetasi yang berada di atas gambut memengaruhi nilai BD lapisan

permukaan 0–5 cm, di mana hutan terbakar memiliki BD dan kadar abu yang lebih tinggi dibanding BD hutan alami.

d. Kering Tak Balik

Karakteristik ini menunjukkan kondisi gambut yang telah mengering tidak dapat menyerap air kembali, kondisi ini menunjukkan sifat gambut telah mengalami kerusakan total, di mana sifat aslinya memiliki kemampuan menyerap air yang tinggi (*hidrofilik*) menjadi tidak mampu lagi menyerap air (*hidrofobik*). Kering tak balik terjadi bila penurunan kadar air melebihi titik kritis kadar air gambut, umumnya terjadi setelah lahan mengalami kekeringan yang intensif, misalnya adanya reklamasi yang disertai drainase atau kemarau panjang. Kekeringan mengakibatkan gugus-gugus yang bersifat hidrofilik rusak sehingga gambut tak bisa menyerap cairan, akibatnya gambut kering dan menjadi ringan, mudah tererosi dan terbakar, memunculkan subsidensi, dan hara mudah tercuci sehingga kesuburan tanahnya menjadi lebih rendah (Hartatik, 2007; Hartatik, *et.al.*, 2011; Utami, 2012; Masganti, *et.al.*, 2014).

e. Subsidensi

Proses penurunan permukaan gambut atau penyusutan volume gambut disebabkan oleh oksidasi disebut sebagai subsidensi. Subsidensi dapat disebabkan oleh berbagai proses atau peristiwa, antara lain: (1) oksidasi, seperti kebakaran, menyebabkan bahan kasar (ranting/akar) menjadi halus (abu) sehingga terjadi penyusutan volume; (2) dekomposisi, kondisi perubahan suasana lingkungan asli gambut yang biasa tergenang (anaerob) menjadi kondisi kering (aerob) akibat reklamasi/drainase atau kemarau panjang, mengakibatkan potensi aktivitas mikroba perombak bahan organik kasar menjadi halus meningkat sehingga potensi subsidensi menjadi lebih besar; (3) drainase, menyebabkan potensi gambut berada dalam kondisi aerob lebih besar sehingga potensi subsidensi menjadi lebih besar; (4) evaporasi, adanya evaporasi menyebabkan kondisi di daerah perakaran menjadi lebih kering sehingga potensi subsidensi menjadi lebih besar; (5) penyerapan air oleh akar tanaman, adanya penyerapan air oleh akar tanaman menyebabkan daerah perakaran semakin kering sehingga potensi subsidensi lebih besar; (6) pemadatan yang diakibatkan adanya

penggunaan alat berat mengakibatkan menyusutnya volume gambut, turut mempercepat terjadinya subsidensi; (7) erosi yang disebabkan angin dan air membawa larut butir-butir halus gambut mempercepat terjadinya subsidensi; dan (8) munculnya sifat kering tak baik menurunkan kemampuan gambut mengembang sehingga potensi volume gambut menurun. Semakin tebal lapisan gambut, semakin cepat laju subsidensi (Hooijer, *et.al.*, 2012; Hirano, *et.al.*, 2014).

Subsidensi dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain: (1) asal botani bahan organik tanah, bahan gambut yang berasal dari bahan yang banyak mengandung lignin (sukar melapuk), potensi subsidensinya lebih rendah; (2) tingkat pelapukan, bahan gambut yang matang (saprik) memiliki subsidensi yang lebih kecil dibanding gambut yang sedang (hemik) dan kasar (fibrik), demikian juga gambut hemik subsidensinya lebih kecil dari gambut fibrik; (3) tingkat drainase, semakin besar potensi drainase kawasan gambut semakin besar potensi terjadinya subsidensi; (4) ketebalan gambut, semakin tebal gambut potensi terjadinya subsidensi semakin besar, dan (5) aktivitas/sistem budi daya, semakin intensif kegiatan budi daya tanaman, semakin besar potensi subsidensi.

f. Daya Retensi Air

Daya retensi air menunjukkan kemampuan tanah menahan air pada sistem pori-pori tanah sebagai akibat adanya sifat adhesi dan kohesi tanah. Retensi air merupakan fungsi dari porositas dan konduktivitas tanah, dipengaruhi oleh: (a) tingkat dekomposisi, semakin matang semakin besar retensi airnya semakin luas permukaan gugus fungsional pengikat air; (b) bahan penyusun gambut, gambut yang terbentuk dari tumbuhan kecil seperti lumut, teki dan jenis rumput-rumputan lainnya memiliki retensi yang lebih besar dari tumbuhan besar seperti semak belukar atau hutan rawa; dan (c) tipe gambut, gambut pantai lebih besar kapasitas menyimpan air (Hartatik, *et.al.*, 2011; Utami, 2012; Masganti, *et.al.*, 2014).

g. Porositas

Porositas tanah merupakan persentase total pori dalam tanah yang dapat ditempati air dan udara, dibandingkan dengan volume

total tanah. Porositas ditentukan oleh besarnya total ruang pori (TRP), dan nilainya menentukan retensi air. Nilai porositas gambut berkaitan dengan sifat fisik gambut lainnya. Semakin mentah bahan gambut, maka semakin besar porositasnya sehingga hidrolis konduktivitas semakin tinggi. Konsekuensi kondisi ini, pada gambut mentah, air mudah hilang saat drainase.

h. Lapisan Bawah (*Substratum*)

Lapisan bawah gambut dapat berupa endapan marin, pasir, atau sedimen tua. Lapisan bawah memengaruhi hara yang dikandung vegetasi pembentuk gambut di atasnya. Endapan marin dapat memunculkan tanah sulfat masam, bila bahan gambut di atasnya sudah tipis, demikian juga lapisan bawahnya pasir akan membentuk hamparan pasir.

2. Sifat Kimia dan Kesuburan Gambut

Kesuburan gambut dipengaruhi oleh banyak faktor, antara lain: (a) bahan induk tanamannya, bahan induk yang berasal dari tumbuhan lumut lebih subur dibanding yang berasal dari kayu; (b) tingkat dekomposisi, gambut yang matang (saprik) lebih subur dari yang mentah (fibrik) (Noor dan Agus, 2004; Masganti, 2013; Könönen, *et.al.*, 2015); (c) sifat kimia lingkungan aslinya, gambut yang terbentuk pada lingkungan air asin lebih subur daripada lingkungan air payau, air tawar, dan air hujan. Urutan tingkat kesuburan dari aspek lingkungan air dalam proses pembentukan gambut adalah asin > payau > air tawar > air hujan. Air asin umumnya berada pada kawasan pantai, memiliki kadar garam dan hara yang lebih tinggi turut memperkaya gambut yang terbentuk, sedangkan air gambut pedalaman bersumber dari air hujan, miskin hara; (d) substratum, lapisan bawah berupa liat lebih subur dibanding bagian bawah berupa pasir. Liat lebih kaya kandungan hara dibanding pasir, gerakan air tanah akan membawa hara mineral ke lapisan atas gambut, dan; (e) gambut yang tipis lebih subur dibanding yang tebal, gerakan kapiler air tanah membawa hara mineral bagian bawah ke lapisan atas sehingga gambut tipis lebih mudah mendapat suplai hara dari bahan mineral bagian bawah gambut. Selain itu, hara yang bersumber dari pelapukan permukaan gambut akan mudah tercuci ke substratum, dan lebih mudah terangkut ke lapisan atas lagi pada gambut yang tipis.

Beberapa sifat kimia yang khas pada tanah gambut adalah kemasaman tanah (pH), kejenuhan basa (KB), kapasitas tukar kation (KTK), kadar abu, P-tersedia, rasio karbon dengan nitrogen total, dan kandungan unsur mikro.

a. Kemasaman Tanah (pH)

Tingkat kemasaman gambut menjadi kendala pengembangan sebagai penghasil padi (Wiratmoko, *et.al.*, 2008; Masganti, 2013; Masganti, *et.al.*, 2015). Beberapa peneliti melaporkan bahwa tingkat kemasaman tanah gambut tergolong sangat masam (Hartatik, *et.al.*, 2011; Sabiham dan Sukarman, 2012; Setioko, *et.al.*, 2015).

Tanah gambut umumnya sangat masam, pH berkisar antara 3,0–5,0. Kemasaman terjadi akibat konsentrasi asam-asam organik hasil dekomposisi bahan organik. Pada pH 4,0–5,0, kemasaman umumnya dominan karena pengaruh dari asam organik, sedangkan pada pH < 4,0 dapat terjadi karena adanya sumbangan ion H⁺ dari oksidasi pirit atau bahan gambutnya sangat miskin (substratum pasir kuarsa). Umumnya pH gambut pantai lebih tinggi dibanding gambut pedalaman, dan pH gambut sisi dome (kubah) lebih tinggi dari daerah dome. Umumnya pH menurun dengan kedalaman, namun pH lapisan bawah dapat lebih tinggi apabila mengandung banyak mineral (liat). Banyak faktor yang memengaruhi nilai pH gambut, karena itu membandingkan pengaruh satu faktor, membutuhkan kondisi faktor lain yang sama.

Nilai kemasaman gambut berbeda menurut tingkat kematangannya (Wiratmoko, *et.al.*, 2008; Agus, *et.al.*, 2012; Masganti, 2013). Gambut yang terdekomposisi lebih lanjut seperti saprik mempunyai pH lebih tinggi dari gambut hemik. Bahan gambut yang belum matang tersusun dari bahan-bahan yang relatif belum terurai dan mengandung asam-asam organik dalam konsentrasi yang lebih tinggi (Hikmatullah, *et.al.*, 2012; Sabiham dan Sukarman, 2012).

b. Kejenuhan Basa

Kejenuhan basa (KB) menunjukkan perbandingan jumlah kation-kation basa dengan jumlah semua kation yang terdapat pada kompleks jerapan tanah. Gambut Indonesia umumnya memiliki KB sangat rendah karena terbentuk di atas tanah miskin hara dan

ombrogen (sumber air dari curah hujan), porositas tinggi sehingga hara mudah tercuci dan tingginya KTK tanah gambut (Noor dan Agus, 2004; Utami, *et.al.*, 2009; Könönen, *et.al.*, 2015).

c. Kadar Abu

Kadar abu merupakan jumlah bahan mineral yang terkandung dalam bahan gambut. Kadar abu tanah gambut Indonesia umumnya rendah, dan umumnya menurun dengan kedalaman. Kadar abu dapat dijadikan petunjuk tingkat kesuburan tanah, di mana bila kadar abu < 2 % dikategorikan sebagai gambut yang tidak subur (oligotrofik); kadar abu 2%–10% termasuk kategori kesuburan sedang (mesotrofik); dan kadar abu > 10% dikategorikan sebagai gambut yang subur (eutotrofik).

Kadar abu dalam tanah gambut dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti tingkat dekomposisi, semakin matang gambut semakin tinggi kadar abunya. Kadar abu juga dipengaruhi oleh BD tanah, semakin tinggi BD tanah, semakin tinggi kadar abu (Mulyani, *et.al.*, 2012). Hubungan tingkat dekomposisi gambut terhadap C-organik, kadar abu, dan BD beberapa lokasi gambut Indonesia disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hubungan Tingkat Dekomposisi dengan C-Organik, BD Tanah, dan Kadar Abu Tanah Gambut

Sifat Gambut	Tingkat Dekomposisi dan Jumlah Sampel		
	Saprik (n=415)	Hemik (n=1.025)	Fabrik (n=790)
C-organik (%)	49	52	53
Bulk Density (t m ⁻³)	0,179	0,124	0,097
Kadar Abu (%)	12	10	7

Sumber: Mulyani, *et.al.* (2012)

d. Kapasitas Tukar Kation (KTK)

Nilai KTK merupakan gambaran kemampuan tanah dalam menyerap dan menukar/melepaskan kembali kation ke dalam larutan tanah. KTK tanah gambut berdasarkan berat termasuk kategori sangat tinggi, berdasarkan volume tanah tergolong kecil. Besarnya nilai KTK ini akibat peran gugus-gugus fungsional asam-asam organik yang tinggi. Beberapa faktor yang memengaruhi KTK antara lain asal botani, tingkat dekomposisi, dan kandungan mineral. Gambut berasal dari pelapukan bahan mengandung lignin tinggi

memiliki KTK yang lebih rendah dibanding gambut yang berasal dari bahan dengan kandungan lignin yang rendah; KTK pada gambut saprik lebih tinggi dari gambut hemik/fabrik. KTK gambut yang mengandung bahan mineral liat lebih tinggi daripada yang kandungan mineralnya rendah (Noor dan Agus, 2004; Masganti, 2013; Könönen, *et.al.*, 2015).

e. P-tersedia

Gambut umumnya mengandung P-tersedia yang tergolong rendah, hal ini karena P berada dalam bentuk P-organik yang tidak tersedia bagi tanaman. Tingginya porositas tanah mengakibatkan P-tersedia hasil dekomposisi mudah tercuci. Umumnya P-tersedia menurun dengan kedalaman/ketebalan gambut.

Variasi ketersediaan P dalam gambut juga tergantung dari tingkat dekomposisi, ketebalan, bahan pembentuk gambut, dan intensitas budi daya. Gambut tebal mempunyai kadar P sangat tinggi, sedang Suriadikarta (2012) melaporkan ketersediaan P dalam gambut di beberapa lokasi PLG Satu Juta Hektar berkisar dari rendah hingga tinggi. Peneliti lain menyebutkan bahwa kadar P-tersedia dalam gambut rawa pasang surut dan transisi termasuk kategori sedang, tetapi kadar P-tersedia dalam gambut pedalaman tergolong rendah (Salampak, 1999).

Masalah ketersediaan P di lahan gambut juga terkait dengan daya simpan P yang tergolong rendah, sehingga efisiensi pemupukan P menjadi rendah (Masganti, 2013). Kondisi ini disebabkan terbatasnya jumlah koloid gambut. Selain itu, terbatasnya kadar basa-basa dalam tanah gambut juga menjadi penyebab kemampuan menyerap P menjadi rendah, sehingga daya penyimpanan P juga rendah (Maftuah, *et.al.*, 2013; Masganti, 2013).

Ketersediaan P dalam gambut berkorelasi erat dengan tingkat dekomposisi seperti yang dilaporkan oleh Salampak (1999), Wiratmoko, *et.al.* (2008), dan Masganti (2013). Kadar P-tersedia yang tinggi diperoleh dari gambut saprik, diikuti gambut hemik, dan terendah gambut fibrik.

f. Kadar C dan N

Kandungan C gambut umumnya sangat tinggi (> 5,0%) (Hikmatullah, *et.al.*, 2012), demikian juga dengan kandungan N

termasuk tinggi ($> 0,51\%$), namun N-tersedia rendah, karena N yang terukur merupakan N-total, baik yang terlarut maupun dalam bentuk organik. Tingginya C dan N ini karena kedua unsur ini merupakan penyusun utama tanaman. Kadarnya dipengaruhi oleh asal botani dan tingkat dekomposisi. Kadar C meningkat dengan kedalaman, sedangkan kadar N menurun dengan kedalaman.

Kadar C/N rasio dalam gambut menggambarkan perbandingan antara total kandungan karbon dengan nitrogen tanah. C/N rasio gambut umumnya tinggi, minimal 20:1 dan meningkat dengan kedalaman. Nilai C/N yang tinggi mengakibatkan N tidak mudah tersedia, karena masih dalam bentuk N organik (Noor dan Agus, 2004; Masganti, 2013; Könönen, *et.al.*, 2015).

g. Unsur Mikro

Unsur mikro pada tanah gambut umumnya rendah. Kadang terjadi kekahatan Cu, Fe, Mn, Zn (tergantung jenis tanaman). Kondisi ini karena rendahnya kadar unsur tersebut dalam tanah mineral di bawahnya dan kuatnya ikatan kompleks logam-organik. Menurut Hartatik, *et.al.* (2011) ketersediaan hara mikro (Cu dan Zn) dalam gambut tergolong rendah. Hal ini disebabkan terbentuknya senyawa organik-metalik yang menyebabkan hara mikro menjadi tidak tersedia. Pada gambut yang terdekomposisi lanjut, karboksilat dan fenolat merupakan gugus fungsional penting yang mengikat logam (Masganti, 2013).

h. Keracunan Hara

Salah satu kendala yang dihadapi petani dalam budi daya padi di lahan gambut adalah keracunan besi (Khairullah, *et.al.*, 2011; Masganti, *et.al.*, 2019; Khairullah, *et.al.*, 2021). Kadar Fe^{2+} yang tinggi dalam tanah menjadi penyebab utama keracunan besi. Menurut Hartatik, *et.al.* (2007) dan Prasetyo (2007) lahan gambut rawa pasang surut mengandung bahan sulfidik (FeS_2). Jika bahan sulfidik mengalami oksidasi yang ditandai dengan adanya karatan berwarna kuning yang berasal dari pembentukan mineral jarosit ($KFe_3(SO_4)_2(OH)_6$) sehingga terjadi akumulasi Fe^{2+} (fero), pH dan air tanah menjadi sangat masam dan memicu terjadinya pelapukan mineral 2:1 smektit yang menjadi sumber fero (Prasetyo, 2007). Keracunan besi juga dipicu oleh kemasaman tanah dan air yang tinggi (Syafrudin, 2011).

Pengelolaan air yang menyebabkan drainase jelek juga berkontribusi terhadap peningkatan kadar Fe dalam jaringan tanaman (Khairullah, *et.al.*, 2011; Masganti, *et.al.*, 2019; Khairullah, *et.al.*, 2021). Keracunan besi juga dapat terjadi karena tingginya kadar C-organik yang belum matang, pH tanah, ada-tidaknya senyawa reduktan seperti Fe, nitrat, dan sulfat, kekurangan dan ketidakseimbangan hara dalam jaringan tanaman, daya oksidasi akar yang jelek karena akumulasi bahan penghambat respirasi (H_2S , FeS, asam organik), dan daya eksklusi Fe^{2+} lemah karena defisiensi P, Ca, Mg, atau K.

Unsur hara dengan konsentrasi tinggi di lahan gambut adalah Al, terutama gambut yang bahan stratumnya merupakan tanah sulfat masam. Menurut Creper, *et.al.* (2012) penyebab keracunan Al karena kadar hara dalam jaringan tanaman tergolong tinggi. Ketersediaan air di lahan gambut yang dipengaruhi oleh pergerakan air di sungai menyebabkan terjadinya proses oksidasi-reduksi. Proses ini menyebabkan bahan sulfidik dalam tanah mengalami oksidasi, sehingga pH tanah menjadi sangat rendah sehingga mineral seperti kaolinit, beidelit, dan alomino-silikat menjadi larut dan berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan konsentrasi Al^{3+} ke dalam larutan tanah dan meningkatkan kadar Al-dd (Ryan, 2010; Watanabe dan Osaki, 2012; Samac dan Tesfaye, 2013).

Kekeringan yang panjang dapat menjadi penyebab oksidasi pirit, sehingga tanah menjadi retak. Sisa-sisa akar tanaman dan drainase yang jelek menyebabkan oksigen dapat masuk sampai ke lapisan pirit. Kondisi ini menyebabkan lepasnya ion-ion Al^{3+} dan selanjutnya meningkatkan konsentrasi Al sampai 10 kali.

3. Sifat Biologi Tanah Gambut

Tanah gambut mempunyai ciri biologi khas vegetasi rawa. Terdapat berbagai macam flora dan fauna. Ada ribuan spesies pohon dan bervariasi dengan jarak dari aliran sungai/pantai. Hasil penelitian menunjukkan adanya variasi dominasi vegetasi dari satu lokasi, ke lokasi tanah gambut lainnya (Wibisono dan Noor, 2004) seperti yang diperlihatkan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Pohon yang Dominan Tumbuh pada Tanah Gambut di Beberapa Lokasi

Lokasi	Nama Latin	Nama Indonesia
Tanjung Putting, Kalimantan Tengah	<i>Glutta wallichii</i>	Rengas
	<i>Neoscortechinia philippinensis</i>	Rambai
	<i>Gonystylus bancanus</i>	Ramin
	<i>Shorea fallax</i>	Meranti
Sebangau, Kalimantan Tengah	<i>Palaquium leicorpum</i>	Hangkang
	<i>Syzqium densinervium</i>	
	<i>Hydnocarpus sp.</i>	Kapul?
Lahei, Kalimantan Tengah	<i>Semecarpus logifolius</i>	
	<i>Buchanania sessifolia</i>	Kandorin
	<i>Shorea balangeran</i>	Balangeran
Sambas, Kalimantan Barat	<i>Blumeodendron elatriospernum</i>	
	<i>Cyatocalyx biovulatus</i>	
	<i>Blumeodendron tokbrai</i>	
Plitung, Riau	<i>Callophylum soulattro</i>	Bintangur
	<i>Palaquium hexandrum</i>	Balum
	<i>Shorea uliginosa</i>	Meranti bako
Kalimantan Selatan	<i>Combretocarpus rotundatus</i>	Tumih
	<i>Camnosperma coriaceum</i>	Terantang
	<i>Shorea palembanica</i>	Meranti rawa

Sumber: Wibisono dan Noor (2004)

Mikrobiologi tanah yang banyak didapat adalah bakteri dan jamur. Hasil penelitian Hadi dan Inubushi (2012), pada lahan gambut Kalimantan Selatan, didapat makro fungi sebanyak 67 spesies terdiri atas 60 *basidiomycota*, 6 *ascomycota*, 1 *myxomycota*. Kondisi masam dan miskin hara, lahan gambut akan menghambat aktivitas mikroorganisme. Hasil penelitian, selain fungi juga didapat bakteri selulolitik, bakteri nitrifikasi, dan denitrifikasi (Hadi, *et.al.*, 2012).

E. Ameliorasi dan Pemupukan Tanah Gambut untuk Budi Daya Padi

Lahan gambut sangat potensial dikembangkan sebagai lumbung beras nasional. Akan tetapi, pemanfaatan lahan ini terkendala dengan tingkat kemasaman yang tinggi dan risiko keracunan hara tertentu, selain tingkat kesuburan yang rendah. Fakta tersebut memaksa untuk menerapkan

teknologi pengelolaan hara seperti ameliorasi dan pemupukan agar diperoleh produktivitas padi yang tinggi.

1. Ameliorasi

Beberapa peneliti menginformasikan bahwa budi daya padi di lahan gambut terkendala dengan sifat kimia tanah (Wiratmoko, *et.al.*, 2008; Hartatik, *et.al.*, 2011; Masganti, 2013). Untuk menjamin pertumbuhan dan produksi padi yang tinggi, diperlukan perbaikan kualitas lahan melalui ameliorasi atau bahan pembenah tanah (Hartatik dan Sarmah, 2013; Dariah, *et.al.*, 2015). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa ameliorasi efektif memperbaiki pertumbuhan dan hasil padi (Azman, *et.al.*, 2014).

Amelioran merupakan bahan yang ampuh untuk meningkatkan produktivitas padi karena bermanfaat untuk: (a) menurunkan risiko keracunan Fe dan Al; (b) memperbaiki lingkungan tumbuh tanaman; (c) meningkatkan efisiensi dan efektivitas pemupukan; (d) meningkatkan produktivitas; dan (e) meningkatkan kualitas hasil (Masganti, *et.al.*, 2020b). Amelioran memengaruhi produktivitas dengan dua cara, yakni secara langsung melalui suplai unsur hara yang terkandung dalam amelioran, dan secara tidak langsung melalui perbaikan sifat fisik dan biologi tanah (Dinesh, *et.al.*, 2010; Hartatik, *et.al.*, 2015). Suplai hara, terutama senyawa karbon menjadi sumber energi bagi aktivitas mikroorganisme dalam tanah. Peningkatan aktivitas mikroorganisme dalam tanah menyebabkan dinamika ketersediaan hara meningkat (Subowo, 2010; Andersen, *et.al.*, 2013; Melling, *et.al.*, 2013), sehingga tanaman dapat memanen hara lebih banyak untuk mendukung pertumbuhannya (Dinesh, *et.al.*, 2010; Maftu'ah, *et.al.*, 2013).

Ameliorasi tanah gambut biasanya dilakukan petani menggunakan kalsit (CaCO_3) dan dolomit $\{(\text{Ca};\text{Mg})(\text{CO}_3)_2\}$. Sebagian petani juga menggunakan pupuk kandang sebagai bahan amelioran untuk memperbaiki lingkungan tumbuh dan meningkatkan produktivitas. Tabel 8 memperlihatkan rekomendasi amelioran dari kalsit dan dolomit untuk tanah gambut di lahan rawa pasang surut berdasarkan tipe luapan.

Tabel 8. Rekomendasi Sumber dan Dosis Amelioran untuk Tanaman Padi di Lahan Gambut Rawa Pasang Surut

No.	Tipologi Luapan Lahan Pasang Surut	Sumber Amellorant dan Dosis (kg/ha)	
		Kalsit	Dolomit
1.	A	500–1.000	1.000–1.500
2.	B	1.000–1.500	1.500–2.000
3.	C	1.500–2.000	2.000–3.000

Sumber: Masganti, *et.al.* (2020b)

Tanaman padi di lahan gambut biasa juga diameliorasi menggunakan pupuk kandang dengan dosis 2.000–3.000 kg/ha (Subowo, *et.al.*, 2013; Hartatik, *et.al.*, 2015; Masganti, *et.al.*, 2020b) atau menggunakan jerami padi dengan dosis 2,0–3,0 ton/ha (Masganti, *et.al.*, 2016).

Ameliorasi berperan penting dalam menciptakan lingkungan tumbuh tanaman padi (Azman, *et.al.*, 2014; Setioko, *et.al.*, 2015; Masganti, *et.al.*, 2020b). Pengaruh ameliorasi terhadap pertumbuhan dan produksi padi berbeda menurut sumber ameliorant (Tabel 9). Khasiat pupuk kandang lebih baik dibandingkan dengan dolomit, jerami padi, dan kompos (Wihardjaka, *et.al.*, 2012; Pramono, *et.al.*, 2014; Wihardjaka, 2015). Bahkan amelioran tersebut mampu menurunkan gas rumah kaca (GRK) yang lebih besar.

Tabel 9. Pengaruh Jenis Amelioran dalam Ameliorasi Tanaman Padi terhadap Penurunan Emisi CH₄

No.	Jenis Amelioran	Penurunan Emisi (kg CH ₄ /ha/Musim Tanam)
1.	Pupuk kandang	22,97
2.	Dolomit	20,65
3.	Jerami	-3,32
4.	Kompos	-4,42

Sumber: Wihardjaka, *et.al.* (2012) dan Wihardjaka (2015)

Keracunan besi merupakan salah satu penghambat tanaman memproduksi padi yang maksimum. Beberapa peneliti melaporkan bahwa penggunaan kompos jerami padi dalam budi daya padi mampu mengurangi risiko keracunan besi, meningkatkan efisiensi pemupukan, dan meningkatkan produktivitas (Masganti, *et.al.*, 2019; Khairullah, *et.al.*, 2021) serta mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) seperti

yang dilaporkan oleh Wihardjaka, *et.al.* (2012), Pramono, *et.al.* (2014), dan Wihardjaka (2015).

Petani umumnya melakukan ameliorasi pada pertanaman padi di lahan gambut menggunakan kapur untuk memenuhi kebutuhan hara Ca. Menurut Azman, *et.al.* (2014) pengaruh kapur sebagai bahan amelioran ditentukan oleh jenis kapur dan dosisnya. Selain untuk menaikkan ketersediaan hara Ca dalam tanah gambut, pengapuran juga dilaporkan dapat menekan kebutuhan P tanaman (Masganti, 2013). Kebutuhan kapur untuk tanaman padi di lahan gambut rawa pasang surut juga ditentukan oleh tipe luapan airnya (Tabel 10).

Tabel 10. Kebutuhan Amelioran untuk Meningkatkan Produktivitas Padi di Lahan Pasang Surut Berdasarkan Tipe Luapan

No.	Tipe Luapan	Sumber Amelioran	
		CaCO ₃	(Ca, Mg)CO ₃
1.	Lahan pasang surut tipe A	500–1.000	1.000–1.500
2.	Lahan pasang surut tipe B	1.000–1.500	1.500–2.000
3.	Lahan pasang surut tipe C	1.500–2.000	2.000–3.000

Sumber: Masganti, *et.al.* (2020b)

2. Pemupukan

Hasil-hasil penelitian menyimpulkan bahwa ketersediaan hara di lahan gambut tergolong rendah sehingga perlu diambil langkah penting untuk memperbaiki lingkungan tumbuh tanaman padi melalui pemupukan. Pemupukan diperlukan untuk meningkatkan ketersediaan hara tanaman, menjaga keseimbangan hara, dan mendukung resistensi tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Beberapa peneliti melaporkan bahwa tanpa pemupukan, lahan gambut tidak mampu mendukung pertumbuhan dan produksi padi yang maksimal (Mohaddesi, *et.al.*, 2011; Masganti, 2013). Kondisi tersebut mengharuskan perlunya pemupukan unsur-unsur seperti N, P, dan K sangat diperlukan (Maftu'ah, *et.al.*, 2013; Masganti, *et.al.*, 2016).

Pertumbuhan dan produksi padi di lahan gambut rawa pasang surut tergantung dari jenis dan dosis pupuk yang diberikan (Masganti, 2013; Setioko, *et.al.*, 2015). Hasil penelitian Masganti (2013) menyebutkan bahwa dosis pupuk N, P, dan K yang diperlukan tergantung dari tipe luapan (Tabel 11). Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa

Tabel 8. Rekomendasi Sumber dan Dosis Amelioran untuk Tanaman Padi di Lahan Gambut Rawa Pasang Surut

No.	Tipologi Luapan Lahan Pasang Surut	Sumber Ameliorant dan Dosis (kg/ha)	
		Kalsit	Dolomit
1.	A	500–1.000	1.000–1.500
2.	B	1.000–1.500	1.500–2.000
3.	C	1.500–2.000	2.000–3.000

Sumber: Masganti, *et.al.* (2020b)

Tanaman padi di lahan gambut biasa juga diameliorasi menggunakan pupuk kandang dengan dosis 2.000–3.000 kg/ha (Subowo, *et.al.*, 2013; Hartatik, *et.al.*, 2015; Masganti, *et.al.*, 2020b) atau menggunakan jerami padi dengan dosis 2,0–3,0 ton/ha (Masganti, *et.al.*, 2016).

Ameliorasi berperan penting dalam menciptakan lingkungan tumbuh tanaman padi (Azman, *et.al.*, 2014; Setioko, *et.al.*, 2015; Masganti, *et.al.*, 2020b). Pengaruh ameliorasi terhadap pertumbuhan dan produksi padi berbeda menurut sumber ameliorant (Tabel 9). Khasiat pupuk kandang lebih baik dibandingkan dengan dolomit, jerami padi, dan kompos (Wihardjaka, *et.al.*, 2012; Pramono, *et.al.*, 2014; Wihardjaka, 2015). Bahkan amelioran tersebut mampu menurunkan gas rumah kaca (GRK) yang lebih besar.

Tabel 9. Pengaruh Jenis Amelioran dalam Ameliorasi Tanaman Padi terhadap Penurunan Emisi CH₄

No.	Jenis Amelioran	Penurunan Emisi (kg CH ₄ /ha/Musim Tanam)
1.	Pupuk kandang	22,97
2.	Dolomit	20,65
3.	Jerami	-3,32
4.	Kompos	-4,42

Sumber: Wihardjaka, *et.al.* (2012) dan Wihardjaka (2015)

Keracunan besi merupakan salah satu penghambat tanaman memproduksi padi yang maksimum. Beberapa peneliti melaporkan bahwa penggunaan kompos jerami padi dalam budi daya padi mampu mengurangi risiko keracunan besi, meningkatkan efisiensi pemupukan, dan meningkatkan produktivitas (Masganti, *et.al.*, 2019; Khairullah, *et.al.*, 2021) serta mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) seperti

yang dilaporkan oleh Wihardjaka, *et.al.* (2012), Pramono, *et.al.* (2014), dan Wihardjaka (2015).

Petani umumnya melakukan ameliorasi pada pertanaman padi di lahan gambut menggunakan kapur untuk memenuhi kebutuhan hara Ca. Menurut Azman, *et.al.* (2014) pengaruh kapur sebagai bahan amelioran ditentukan oleh jenis kapur dan dosisnya. Selain untuk menaikkan ketersediaan hara Ca dalam tanah gambut, pengapuran juga dilaporkan dapat menekan kebutuhan P tanaman (Masganti, 2013). Kebutuhan kapur untuk tanaman padi di lahan gambut rawa pasang surut juga ditentukan oleh tipe luapan airnya (Tabel 10).

Tabel 10. Kebutuhan Amelioran untuk Meningkatkan Produktivitas Padi di Lahan Pasang Surut Berdasarkan Tipe Luapan

No.	Tipe Luapan	Sumber Amelioran	
		CaCO ₃	(Ca, Mg)CO ₃
1.	Lahan pasang surut tipe A	500–1.000	1.000–1.500
2.	Lahan pasang surut tipe B	1.000–1.500	1.500–2.000
3.	Lahan pasang surut tipe C	1.500–2.000	2.000–3.000

Sumber: Masganti, *et.al.* (2020b)

2. Pemupukan

Hasil-hasil penelitian menyimpulkan bahwa ketersediaan hara di lahan gambut tergolong rendah sehingga perlu diambil langkah penting untuk memperbaiki lingkungan tumbuh tanaman padi melalui pemupukan. Pemupukan diperlukan untuk meningkatkan ketersediaan hara tanaman, menjaga keseimbangan hara, dan mendukung resistensi tanaman terhadap serangan hama dan penyakit. Beberapa peneliti melaporkan bahwa tanpa pemupukan, lahan gambut tidak mampu mendukung pertumbuhan dan produksi padi yang maksimal (Mohaddesi, *et.al.*, 2011; Masganti, 2013). Kondisi tersebut mengharuskan perlunya pemupukan unsur-unsur seperti N, P, dan K sangat diperlukan (Maftu'ah, *et.al.*, 2013; Masganti, *et.al.*, 2016).

Pertumbuhan dan produksi padi di lahan gambut rawa pasang surut tergantung dari jenis dan dosis pupuk yang diberikan (Masganti, 2013; Setioko, *et.al.*, 2015). Hasil penelitian Masganti (2013) menyebutkan bahwa dosis pupuk N, P, dan K yang diperlukan tergantung dari tipe luapan (Tabel 11). Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa

produksi tanaman pangan yang tidak dipupuk sesuai dengan dosis, jenis, dan waktu pemupukan yang tepat menyebabkan pertumbuhan tanaman tertekan dan tidak dapat berproduksi secara maksimal (Hartatik, *et.al.*, 2015; Masganti, *et.al.*, 2016).

Tabel 11. Rekomendasi Pemupukan Tanaman Padi di Lahan Gambut Rawa Pasang Surut Berdasarkan Tipe Luapan

No.	Tipe luapan	Rekomendasi Pemupukan (kg/ha)		
		Urea	SP-36	KCl
1.	A	133–200	167–200	75–100
2.	B	200–267	200–250	100–150
3.	C	267–300	250–333	150–200

Sumber: Masganti (2013)

Peneliti lain (Wihardjaka, 2015) menginformasikan bahwa pengaruh pemupukan terhadap pertumbuhan dan produktivitas padi di lahan gambut juga ditentukan oleh bentuk pupuk dan frekuensi pemberian pupuk. Pemupukan yang lebih sering menyebabkan efektivitas pemupukan menjadi lebih tinggi. Selain itu, bentuk dan frekuensi pemberian pupuk juga berpengaruh terhadap penurunan GRK.

Nitrogen merupakan unsur utama yang sangat diperlukan tanaman padi untuk mendukung pertumbuhan dan produksi yang maksimal. Unsur ini terutama diperlukan dalam mendukung fotosintesis, menjaga keseimbangan hara, dan kualitas hasil. Petani menggunakan sumber pupuk N dari pupuk tunggal (urea), dan pupuk majemuk seperti Ponska. Pemupukan N di lahan gambut rawa pasang surut harus memperhatikan tipe luapan (Masganti, 2012; 2013). Pupuk N harus diberikan secara bertahap karena unsur N mudah tercuci oleh pergerakan air sehingga lahan rawa pasang surut yang bertipe luapan A, disarankan untuk melakukan pemupukan 3–4 hari setelah pasang tunggal atau pada saat mendekati pasang ganda.

Tanaman padi yang mengalami kekurangan unsur P akan menghasilkan tanaman yang tumbuh tidak maksimum, jumlah anakan sedikit, tinggi tanaman rendah, dan bobot 1.000 biji ringan. Akibatnya kekurangan unsur P menyebabkan produktivitas rendah akibat pembentukan biji yang lebih sedikit atau karena biji yang terbentuk tidak sempurna, sehingga menjadi gabah hampa atau bobot biji rendah.

Seperti halnya dengan pupuk N, pertimbangan jumlah pupuk yang diperlukan dalam budi daya padi di lahan gambut harus memperhatikan tipe luapan (Masganti, 2012; 2013). Pemupukan P dapat dilakukan dengan menggunakan beberapa sumber seperti TSP, SP-36, maupun fosfat alam atau *rock-phosphate* (Masganti, 2013) dalam bentuk pupuk tunggal atau menggunakan pupuk majemuk seperti Ponska. Dosis pemupukan P juga bisa didasarkan atas status P-total. Tanah dengan kadar P-total tinggi (> 20 ppm P_2O_5), jumlah pupuk P yang diberikan cukup $22,5$ kg P_2O_5 /ha, tanah dengan kadar P-total sedang ($10-20$ ppm P_2O_5) jumlah pupuk P yang diberikan $45,0$ kg P_2O_5 /ha, dan tanah dengan status P-total rendah (<10 ppm P_2O_5) memerlukan jumlah pupuk P sebesar $67,5$ kg P_2O_5 /ha yang dikombinasikan dengan pengapuran.

Unsur ketiga yang paling diperlukan dalam budi daya padi di lahan gambut adalah kalium (K). Unsur ini diperlukan tanaman terkait dengan proses metabolisme dan berfungsi sebagai katalisator berbagai reaksi, meningkatkan ketahanan tanaman terhadap serangan OPT, dan meningkatkan bobot biji. Pupuk K yang sering digunakan petani di lahan gambut bersumber dari pupuk tunggal (KCl) atau pupuk majemuk (Ponska). Ketersediaan K dalam tanah gambut tergolong rendah, yang juga tecermin dari tipe luapan. Tanah gambut yang terdapat di lahan rawa pasang surut tipe A mempunyai kadar K yang lebih tinggi dari lahan bertipe luapan B dan C. Selain itu, jumlah pupuk K yang diperlukan juga dipengaruhi oleh kondisi drainase di sawah. Sawah dengan drainase jelek memerlukan pupuk K yang lebih banyak dibanding sawah yang drainasenya baik.

F. Penutup

Lahan gambut sangat potensial dimanfaatkan untuk mendukung produksi beras nasional yang terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, peningkatan kebutuhan energi individu, dan keinginan menjadi lumbung pangan dunia.

Lahan gambut Indonesia tersebar di Pulau Sumatra, Kalimantan, dan Papua. Luas lahan gambut Indonesia diperkirakan mencapai $14,93$ juta hektare, $10,27$ juta hektare sesuai untuk pengembangan pertanian dan $5,90$ juta hektare di antaranya sesuai untuk budi daya padi.

Pengelolaan lahan gambut untuk budi daya padi harus

memperhatikan karakteristik gambut terkait dengan: (a) sifat-sifat fisik seperti tingkat dekomposisi, ketebalan/ kedalaman, *bulk density*, kering tak balik, laju subsidensi daya retensi air, porositas, dan lapisan bawah/substratum; (b) sifat-sifat kimia meliputi kemasaman tanah, kejenuhan basa, kadar abu, kapasitas tukar kation, P-tersedia, C-organik, N-total, dan unsur mikro; dan (c) sifat biologis tanah gambut seperti flora dan fauna.

Pemanfaatan lahan gambut untuk budi daya padi terkendala di antaranya oleh ketersediaan hara yang rendah, kemasaman tanah yang tinggi, efisiensi pemupukan yang rendah, dan risiko keracunan unsur hara tertentu. Produktivitas padi di lahan gambut dapat ditingkatkan melalui ameliorasi dan pemupukan.

Daftar Pustaka

- Agus, F., A. Mulyani, A. Dariah, Wahyunto, Maswar, & E. Susanti. 2012. "Peat Maturity and Thickness for Carbon Stock Estimation". *Proceedings, 14th International Peat Congress, 3–8 June 2012, Stockholm, Sweden.*
- Agus, F. 2020. "Pemetaan Lahan Gambut dan Isu Lingkungan". Bahan Webinar Pemanfaatan Gambut Secara Berkelanjutan. Bogor, 28 Mei 2020. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan.
- Andersen, R., C. Wells, M. Macrae, & J. Price. 2013. "Nutrient Mineralisation and Microbial Functional Diversity in a Restored Bog Approach Natural Conditions 10 Years Post Restoration". *Soil Biology & Biochemistry*, 64: 37–47.
- Andriessse J. P. 1988. "Nature and Management of Tropical Peat Soils". *FAO Soil Bulletin 59*. Rome.
- Azman, E.A. S. Jusup, C.F. Ishak, & R. Ismail. 2014. "Increasing Rice Production Using Different Lime Source on Acid Sulphate Soil in Merbok, Malaya". *Pertanika J. Trop. Sci*, 37(2):223–247.
- BBSDLP. 2018. *Peta Arahan Penggunaan Lahan*. Bogor: Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. 116 halaman.
- Badan Pusat Statistik. 2020. "Luas Panen dan Produktivitas Padi di Indonesia". *Berita Resmi Statistik*, No. 16/02/XXIII 12 halaman, BPS Jakarta.

- Creeper, N. L., P. Shand, R. W. Fitzpatrick, & J. Hutson. 2012. "Behaviour of Iron, Aluminium and Other Selected Metals Following The Rewetting of Inland Acid Sulfate Soils Containing Sulfuric Material". In Österholm, P., Yli-Halla, M. & Edén, P. (eds.). "7th International Acid Sulfate Soils Conference in Vassa, Finland 2012: Towards Harmony between Land Use and the Environment". *Geological Survey of Finland*, Guide 56: 26–28.
- Dariah, A., E. Susanti E., A. Mulyani, & F. Agus. 2012. "Faktor Penduga Simpanan Karbon Pada Tanah Gambut". *Prosiding Seminar Nasional "Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan"*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Dariah, Ai., S. Sutono, N.L. Nurida, W. Hartatik, & E. Pratiwi. 2015. "Pembenah Tanah untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Pertanian". *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 9(2): 67–84.
- Dinesh, R., V. Srinivisan, S. Hamza, & A. Manjusha. 2010. "Short-term Incorporation of Organic Manures and Biofertilizers Influences Biochemical and Microbial Characteristics of Soil Under an Annual Crop Tumeric (*Curcuma longa*)". *Bioresource Technology*, 101:4697–4702.
- Hadi, A. & Inubushi K. 2012. "Mikrobiologi Gas Rumah Kaca Pada Lahan Gambut Tropika". *Prosiding Seminar Nasional "Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan"*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Hadi, A., D. N. Affandi, R. A. Bakar, & K. Inubushi. 2012. "Population and Genetic Diversities of Bacteria Related to Nitrous Oxide and Methane in Peat Soils of South Kalimantan, Indonesia". *Malaysian Journal of Soil Science*, 16:121–135.
- Hartatik, W., Sulaeman, & A. Kasno. 2007. "Perubahan Sifat Kimia Tanah dan Ameliorasi Sawah Bukaan Baru". Dalam Agus, dkk. (Eds.). *Tanah Sawah Bukaan Baru*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian.
- Hartatik, W., I. G. M. Subiksa, & Ai Dariah. 2011. "Sifat Kimia dan Fisika Lahan Gambut". Dalam Neneng L. Nurida, A. Mulyani, & F. Agus (Eds.). *Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Bogor: Balai Penelitian Tanah.

- Hartatik, W., & Sarmah. 2013. "Pengaruh Pemberian Pupuk Organik Terhadap Kadar Asam Humat dan Asam Fulvat Tanah". *Jurnal Tanah dan Iklim*, 38(2):79–86.
- Hartatik, W., Husnain, & L. R. Widowati. 2015. "Peranan Pupuk Organik dalam Peningkatan Produktivitas Tanah dan Tanaman". *J. Sumberdaya Lahan*, (2): 107– 120.
- Hikmatullah, H., Hidayat, & U. Suryana. 2012. "Pemetaan Detail Tanah Gambut di Demplot Jabiren Kalimantan Tengah Mendukung Penelitian Emisi Karbon". *Prosiding Seminar Nasional "Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan"*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Hirano, T., K. Kusin, S. Limin, & M. Osaki. 2014. "Carbon Dioxide Emissions Through Oxidative Peat Decomposition on a Burn Tropical Peatland". *Glob. Chang. Biol.*, 20:555–565.
- Hooijer, A., S. E. Page, J. Jauhiainen, W. Lee, Idris, & G. Anshari. 2012. "Subsidence and Carbon Loss in Drained Tropical Peatlands". *Biogeosciences*, 9:1053–1071.
- Khairullah, I. L. Indrayati, A. Hairani, & A. Susilawati. 2011. "Pengaturan Waktu Tanam dan Tata Air untuk Mengendalikan Keracunan Besi Pada Tanaman Padi di Lahan Rawa Pasang Surut Sulfat Masam Potensial Tipe B". *Jurnal Tanah dan Iklim*, Edisi Khusus Rawa, Juli 2011:13–24.
- Khairullah, I., M. Saleh, M. Alwi, & Masganti. 2021. "Increasing Productivity of Rice Through Iron Toxicity Control in Acid Sulphate Soils of Tidal Swampland". *1st International Conference on Sustainable Tropical Land Management*, pp. 1– 13.
- Könönen, M., J. Jauhiainen, R. Laiho, K. Kusin, & H. Vasander. 2015. "Physical and Chemical Properties of Tropical Peat Under Stabilised Land Uses". *Mires and Peat*, 16(8):1–13.
- Maftu'ah, E., A. Maas, A. Syukur, & B. H. Purwanto. 2013. "Efektivitas Amelioran Pada Lahan Gambut Terdegradasi untuk Meningkatkan Pertumbuhan dan Serapan NPK Tanaman Jagung Manis (*Zea mays* L. Var. *Saccharata*)". *Jurnal Agronomi Indonesia*, 41(1):16–23.

- Masganti. 2012. "Produktivitas Varietas Padi Unggul yang Dibudidayakan di Tipe Lahan Berbeda di Lahan Pasang Surut". Dalam Subaidi, dkk. (Eds.). *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Pertanian Spesifik Lokasi*. Buku 1.
- Masganti. 2013. "Teknologi Inovatif Pengelolaan Lahan Suboptimal Gambut dan Sulfat Masam untuk Peningkatan Produksi Tanaman Pangan". *Pengembangan Inovasi Pertanian*, 6(4):187-197.
- Masganti, Wahyunto, A. Dariah, Nurhayati, & Rachmiwati. 2014. "Karakteristik dan Potensi Pemanfaatan Lahan Gambut Terdegradasi di Provinsi Riau". *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 8(1):47-54.
- Masganti, Nurhayati, Rachmiwati Yusuf, & Hery Widyanto. 2015. "Teknologi Ramah Lingkungan dalam Budidaya Kelapa Sawit di Lahan Gambut Terdegradasi". *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 9(2): 99-108.
- Masganti, Nurhayati, & Nurmili. 2016. "Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Pasang Surut dengan Pupuk P dan Kompos Jerami". *Jurnal Tanah dan Iklim*, 40(1):17-24.
- Masganti, K. Anwar, & M. A. Susanti. 2017. "Potensi dan Pemanfaatan Lahan Gambut Dangkal untuk Pertanian". *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 11(1): 43-54.
- Masganti & M. Alwi. 2018. "Pintu Menuju Lumbung Pangan Dunia". Dalam Masganti, dkk. (Eds.). *Inovasi Teknologi Lahan Rawa Mendukung Kedaulatan Pangan*. Jakarta: IAARD Press.
- Masganti & Khairil Anwar. 2018. "Teknologi Peningkatan Produksi Tanaman Hortikultura di Lahan Gambut". Dalam Masganti, dkk. (Eds.). *Inovasi Teknologi Lahan Rawa Mendukung Kedaulatan Pangan*. Jakarta: IAARD Press.
- Masganti, A. Susilawati, I. Khairullah, & K. Anwar. 2019. "Pengendalian Keracunan Besi untuk Peningkatan Produktivitas Padi di Lahan Rawa Pasang Surut Bukan Baru". *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 13(2):103-113.
- Masganti, A. Susilawati, & N. Yuliani. 2020a. "Optimasi Pemanfaatan Lahan untuk Peningkatan Produksi Padi di Kalimantan Selatan". *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 14(2):101-113.

- Masganti, Anna Hairani, & Ani Susilawati. 2020b. "Teknologi Pengelolaan Kesuburan Tanah Gambut untuk Budidaya Padi di Lahan Rawa Pasang Surut". Dalam Masganti, dkk. (Eds.). *Optimasi Lahan Rawa: Akselerasi Menuju Lumbung Pangan Dunia 2045*. Jakarta: IAARD Press, Badan Litbang.
- Maswar. 2012. "Estimasi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) dari Kebakaran Lahan Gambut". *Prosiding Seminar Nasional "Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan"*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Melling, L., C. S. Yun Tan, K. J. Goh, & R. Hatano. 2013. "Soil Microbial and Root Respirations from Three Ecosystems in Tropical Peatland of Sarawak, Malaysia". *J. Oil Palm Res*, 25:44–57.
- Mohaddesi, A., A. Abbasian, S. Bhakshipour, & H. Aminpanah. 2011. "Effect of Different Level of Nitrogen and Plant Spacing on Yield, Yield Components and Physiological Indices In High Yield Rice". *Aqmer-Eur J. Agric. Environ*, 10:893–900.
- Mulyani, A., E. Susanti E, Ai Dariah, Maswar, Wahyunto, & F. Agus. 2012. "Basisdata Karakteristik Tanah Gambut di Indonesia". *Prosiding Seminar Nasional "Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan"*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Pramono, A., A. T. Ayu, H. C. Oktasari, & P. Setyanto. 2014. "Pengaruh Pukan Ayam Terhadap Emisi Gas Rumah Kaca dan Dinamika Populasi Mikroba Pada Lahan Gambut". *Jurnal Tanah dan Iklim*, Edisi Khusus: 41–49.
- Prasetyo, B. H. 2007. "Genesis Tanah Sawah Bukaan Baru". Dalam Agus, dkk. (Eds.). *Tanah Sawah Bukaan Baru*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian.
- Ritung, S., Wahyunto, K. Nugroho, Sukarman, Hikmatullah, Suparto, & C. Tafakresnanto. 2015. *Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia: Luas, Penyebaran dan Potensi Ketersediaan*. Indonesian Agency for Agricultural Research and Development (IAARD) Press.
- Ryan, O. R. 2010. "Aluminium Toxicity and Tolerance in Plant". *Plant Physiol*, 107:315–321.

- Sabiham, S. & Sukarman. 2012. "Pengelolaan Lahan Gambut untuk Pengembangan Kelapa Sawit". Dalam Husen, dkk. (Eds.). *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan*. Bogor: Badan Litbang Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Salampak, D. 1999. "Peningkatan Produktivitas Tanah Gambut yang Disawahkan dengan Pemberian Bahan Amelioran Tanah Mineral Berkadar Besi Tinggi". *Disertasi*. Bogor: Program Pascasarjana IPB.
- Samac, D. A., & M. Tesfaye. 2013. "Plant Improvement for Tolerance to Al in Acid Soil A Review". *J. Plant Cell Tissue Organ Cult*, 75:189–207.
- Setioko, P. H., Suwarno, & A. Hartono. 2015. "Pengaruh Residu Terak Baja Terhadap Sifat Kimia Tanah Gambut dan Hasil Padi Sawah". *Jurnal Tanah dan Iklim*, 39(2):127–136.
- Subowo. 2010. "Strategi Efisiensi Penggunaan Bahan Organik untuk Kesuburan dan Produktivitas Tanah Melalui Pemberdayaan Sumberdaya Hayati Tanah". *Jurnal Sumberdaya Lahan*, 4(1):12–25.
- Sukarman, Suparto, & H. S. Mamat. 2012. Karakteristik Tanah Gambut dan Hubungannya dengan Emisi Gas Rumah Kaca Pada Perkebunan Kelapa Sawit di Riau dan Jambi". *Prosiding Seminar Nasional "Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan"*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Suriadikarta, D. A. 2012. "Teknologi Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan". *Jurnal Sumberdaya Lahan Pertanian*, 6(2):197–211.
- Syafruddin. 2011. "Keracunan Besi Pada Tanaman Padi dan Upaya Penanggulangan Pada Lahan Sawah". *Jurnal Agribisnis dan Pengembangan Wilayah*, 3(1):35–45.
- Utami, S. N. H., A. Maas, B. Radjagukguk, & B. H. Purwanto. 2009. "Sifat Fisik, Kimia dan FTIR Spektrofotometri Gambut Hidrofobik Kalimantan Tengah". *Jurnal Tanah Tropika*, 12(2):159–166.
- Utami, S. N. H. 2012. "Lahan Gambut Terdegradasi". *Prosiding Seminar Nasional "Pengelolaan Lahan Gambut Berkelanjutan"*. Bogor: Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian.
- Watanabe, T., & M. Osaki. 2012. "Mechanisms of Adaptation to High Aluminum Condition in Native Plant Species Growing in Acid Soils". *Communication Soil Science Plant Analysis*, 33:1247–1260.

- Wibisono, I. T., & Y. R. Noor. 2004. "Gambaran Umum Vegetasi dan Hidupan Liar di Areal Bebas Terbakar Tanam Nasional Berbak, Jambi". *Warta Lahan Basah*, 12 (3):20-21.
- Wihardjaka, A., S. D. Tanjung, B. H. Sunarminto, & E. Sugiharto. 2012. "Methane Emission from Direct Seeded Rice Under the Influence of Rice Straw and Nitrification Inhibitor". *Indonesia J. Agric. Sci.*, 13(1):1-11.
- Wihardjaka, A. 2015. "Mitigasi Emisi Gas Metana Melalui Pengelolaan Lahan Sawah". *Jurnal Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, 34(3):95-104.
- Wiratmoko, D. Winarna, S. Rahutomo, & H. Santoso. 2008. "Karakteristik Gambut Topogen dan Ombrogen di Kabupaten Labuhan Batu Sumatera Utara untuk Budidaya Tanaman Kelapa Sawit". *Jurnal Penelitian Kelapa Sawit*, 16(3):119-126.