

Evaluasi Status Hara Makro Nitrogen, Fosfor dan Kalium di Lahan Sawah Irigasi Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara

Siti Fatimah Batubara¹, Evawaty Sri Ulina¹, Novia Chairuman^{1*}, Jeannette Maryanti Tobing¹,
Vivi Aryati¹, Erpina Delina Manurung¹, Hendri Ferianson Purba², dan Dorkas Parhusip³

¹Pusat Riset Tanaman Pangan, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km 46 Cibinong-Bogor, Cibinong 16911

²Pusat Riset Agroindustri, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Kawasan Puspiptek Serpong Tangerang Selatan, Banten 15314

³Pusat Riset Hortikultura, Organisasi Riset Pertanian dan Pangan, Badan Riset dan Inovasi Nasional, Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km 46 Cibinong-Bogor, Cibinong 16915

*Alamat korespondensi: novia.chairuman@brin.go.id

INFO ARTIKEL

Diterima: 31-10-2023

Direvisi: 15-02-2024

Dipublikasi: 30-04-2024

ABSTRACT/ABSTRAK

Evaluation of nitrogen, phosphorus and potassium macronutrient status in irrigated rice fields Deli Serdang Regency, North Sumatra

Keywords:

Fertilizer recommendation, Nutrient status, Rice field, RSTK, Soil fertility

It is important to evaluate and identify the rice field soil nutrients to determine the nutrient status both qualitatively and quantitatively. The identification process is expected to be easy, cheap, fast, and applicable for farmers. The Rice Soil Test Kit (RSTK) is a technology designed to identify soil nutrient status also provide fertilizer recommendations, especially for lowland rice. This study was carried out in two areas of irrigated rice fields in Deli Serdang Regency, North Sumatra Province, specifically in Pasar Miring Village, Pagar Merbau District and Kramat Gajah Village, Galang District. This study, which was carried out in May 2023, aimed to identify the primary macronutrient status, namely nitrogen, phosphorus and potassium in irrigated rice fields with several different planting patterns. This study used field survey method and direct soil tests in the field using RSTK. The results of the study showed that the soil fertility level in the two study areas was moderate. Generally, nitrogen status was low, while phosphorus and potassium were high. Referring to the comparison of fertilizer doses between RSTK recommendations and farmers' general application at the study areas, the fertilizer application doses by farmers were not appropriate. On land with low and medium N, 4-27 kg/ha of urea fertilizer needs to be added, while for land with high and very high N, a reduction of 40-90 kg/ha is needed. SP-36 fertilizer at low, medium, and high P needs to be added at 15-65 kg/ha while KCl fertilizer can be reduced or added at 25 kg/ha depending on the straw treatment from the previous planting season.

Kata Kunci:

Kesuburan tanah, Padi sawah, PUTS, Rekomendasi pemupukan, Status hara

Evaluasi dan identifikasi unsur hara tanah sawah untuk mengetahui status hara baik secara kualitatif maupun kuantitatif penting untuk dilakukan. Proses identifikasi diharapkan mudah, murah, cepat dan aplikatif bagi petani. Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS) merupakan suatu teknologi yang dirancang untuk mengidentifikasi status hara tanah dan juga memberikan rekomendasi pemupukan khususnya untuk padi sawah. Penelitian ini dilaksanakan pada dua wilayah lahan sawah irigasi di Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara tepatnya di Desa Pasar Miring, Kecamatan Pagar Merbau dan Desa Kramat Gajah, Kecamatan Galang. Penelitian yang dilaksanakan pada bulan

Mei 2023 ini bertujuan untuk mengidentifikasi status hara makro primer yaitu nitrogen, fosfor, dan kalium di lahan sawah irigasi dengan beberapa pola tanam berbeda. Penelitian ini menggunakan metode survei lapangan dan uji tanah langsung di lapangan dengan menggunakan PUTS. Hasil penelitian menunjukkan tingkat kesuburan tanah pada dua wilayah penelitian termasuk sedang. Secara umum, status hara nitrogen tergolong rendah sedangkan fosfor dan kalium tergolong tinggi. Merujuk pada perbandingan dosis pupuk antara rekomendasi PUTS dan aplikasi petani secara umum di lokasi penelitian diketahui bahwa dosis aplikasi pupuk oleh petani belum sesuai. Pada lahan berstatus N rendah dan sedang perlu penambahan pupuk urea sebanyak 4-27 kg/ha sedangkan untuk lahan berstatus N tinggi dan sangat tinggi perlu pengurangan 40-90 kg/ha. Pupuk SP-36 pada status P rendah, sedang, dan tinggi perlu penambahan 15-65 kg/ha sementara pupuk KCl dapat dikurangi atau ditambahkan 25 kg/ha tergantung perlakuan jerami dari musim tanam sebelumnya.

PENDAHULUAN

Beras merupakan salah satu bahan pokok hampir setengah dari populasi dunia. Oleh karena itu, produksi beras harus ditingkatkan secara signifikan untuk memenuhi kebutuhan penduduk dunia yang terus berkembang. Sumatera Utara mempunyai luas lahan sawah 348.204 ha, terdiri dari lahan sawah irigasi 165.760 ha dan tada hujan 182.444 ha (Dinas Pertanian Provinsi Sumatera Utara, 2022). Produksi padi Provinsi Sumatera Utara pada tahun 2021 adalah 2.074.856 ton gabah kering giling (GKG). Kabupaten Deli Serdang adalah daerah penghasil gabah terbanyak, yaitu 327.608 ton GKG (15,79% dari total daerah lainnya) (BPS Sumut, 2022).

Kebutuhan pangan nasional dapat terpenuhi dengan mengoptimalkan pemanfaatan lahan sawah. Tanah yang subur, drainase dan hara yang cukup, sangat menentukan keberhasilan untuk produksi optimal padi. Kualitas tanah adalah salah satu faktor penting untuk mendukung pertumbuhan dan produksi padi, selain air, varietas padi, pemupukan, serta pengendalian hama dan penyakit. Unsur hara makro Nitrogen (N), Fosfor (P) dan Kalium (K) adalah nutrisi yang paling penting untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Ye *et al.*, 2019; Wang *et al.*, 2021). Peningkatan pasokan N, P dan K dalam sistem produksi tanaman menjadi kontributor utama dalam peningkatan hasil. Sebagian besar jaringan tanaman mengandung sekitar 1,5% N, 0,2% P dan 1,0% K (Hawkesford *et al.*, 2012). Hal ini menunjukkan bahwa pertumbuhan tanaman membutuhkan unsur hara makro ini dalam jumlah besar (Bernstein *et al.*, 2019). Jika salah satu atau lebih unsur hara tersebut kurang, maka pertumbuhan tanaman tidak maksimal

dan hasil panen akan menurun. Tanaman yang mendapatkan nutrisi yang cukup lebih mampu menghadapi serangan hama dan penyakit dengan lebih baik. Unsur hara yang seimbang dapat meningkatkan daya tahan tanaman sehingga mengurangi risiko kerugian akibat serangan hama dan penyakit.

Nutrisi yang cukup dan seimbang dari unsur hara N, P, dan K penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi. Oleh sebab itu, evaluasi dan identifikasi unsur-unsur hara di tanah sawah penting dilakukan untuk mengetahui kandungan nutrisi tanah. Pemahaman tentang ketersediaan unsur hara di tanah juga membantu dalam pengelolaan sumber daya secara berkelanjutan. Informasi mengenai status hara tanah, akan memudahkan petani untuk melakukan pemupukan yang tepat dan sesuai kebutuhan tanaman. Petani dapat memastikan tanaman mendapatkan nutrisi yang dibutuhkan, menyesuaikan dosis dan jenis pupuk yang diberikan agar lebih efektif dan efisien untuk mencapai hasil yang optimal. Pemberian bahan organik dan penggunaan pupuk secara cerdas dan tepat sasaran akan menghindari pemborosan dan pencemaran lingkungan karena pemakaian pupuk yang berlebihan (Moe *et al.*, 2019; Ridwansyah dkk., 2020). Salah satu teknologi yang dapat digunakan dalam upaya realisasi penyebaran teknologi pemupukan berimbang adalah teknologi uji tanah termasuk perangkat uji tanah sawah (PUTS). Teknologi ini diyakini dapat secara cepat dan akurat menginformasikan status hara tanah yang penting untuk penetapan rekomendasi pemupukan (Al-Jabri, 2013). Selain akurat dan cepat, analisis hara tanah dengan PUTS ini juga mudah untuk dilakukan dan

ketika divalidasi dengan sistem uji lain untuk hara P misalnya ditemukan kesesuaian hasil sebesar 95% dari seluruh sampel uji (Yudhana *et al.*, 2023).

Pola tanam adalah salah satu faktor yang mempengaruhi tingkat kesuburan tanah (Suprihatin & Amirullah, 2018), selain penggunaan pupuk, pengelolaan lahan, irigasi, dan kondisi iklim. Pola tanam berkaitan pada cara tanam dan rotasi tanaman yang dilakukan petani dalam suatu lahan atau area pertanian. Rotasi tanaman membantu mengembalikan dan mempertahankan keseimbangan nutrisi tanah. Pola tanam yang baik berkaitan dengan penggunaan pupuk yang tepat dan pemanfaatan sisa tanaman sebagai pupuk organik. Dampak pola tanam terhadap kesuburan tanah tidak hanya berkaitan dengan serapan hara dari tanaman yang dibudidayakan tetapi juga dampak konservasi dari tanaman tersebut maupun serasahnya. Rotasi tanam jagung dengan tanaman legum yang memiliki kemampuan fiksasi N seperti dilaporkan Ahmad dan Khan (2018) secara umum memperlihatkan nilai karakteristik fisik dan kimia tanah terutama N dan C-organik yang lebih tinggi. Pupuk yang diberikan berimbang dapat membantu menjaga tingkat hara makro tanah dalam keadaan optimal. Melalui identifikasi dan evaluasi unsur hara nitrogen, fosfor, serta kalium di tanah sawah, petani dapat meningkatkan manajemen lahan dan pemupukan, memaksimalkan produktivitas tanaman, dan berkontribusi pada ketahanan pangan secara keseluruhan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi status hara makro nitrogen, fosfor, dan kalium di lahan sawah irigasi pada berbagai pola tanam. Kebaruan dari penelitian ini adalah mengevaluasi status hara N, P, dan K di lahan sawah irigasi di Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara dengan kondisi terkini sehingga dapat digunakan untuk penentuan rekomendasi pemupukan yang tepat guna mencapai produksi padi yang optimal. Penelitian dilakukan oleh tim peneliti dan dapat dipertanggungjawabkan kebenaran dan keaslian datanya.

BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di lahan sawah irigasi Kabupaten Deli Serdang, Provinsi Sumatera Utara pada bulan Mei 2023. Lokasi pengambilan sampel meliputi dua wilayah yaitu Desa Kramat Gajah, Kecamatan Galang yang secara astronomis terletak diantara $3^{\circ} 28'$ Lintang Utara dan $98^{\circ} 54'$

Bujur Timur serta Desa Pasar Miring, Kecamatan Pagar Merbau yang berada pada koordinat $3^{\circ} 48'$ Lintang Utara dan $98^{\circ} 60'$. Seluruh lokasi pengambilan sampel berada di ketinggian kurang dari 20 mdpl dengan jenis tanah secara umum Inceptisol. Bahan dan alat yang digunakan adalah Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS) untuk menganalisis sampel tanah, bor tanah, ember plastik, label, dan menggunakan software QGIS untuk mengolah data. Pengambilan sampel tanah sawah dilakukan di dua wilayah, yaitu Kecamatan Pagar Merbau Desa Keramat Gajah dan Kecamatan Galang Desa Pasar Miring, seperti disajikan pada Tabel 1.

Penelitian ini menggunakan metode survei lapangan dan uji tanah langsung di lapangan dengan menggunakan PANTS. Kegiatan diawali dengan koordinasi dengan ketua kelompok tani dan pihak terkait lainnya kemudian dilanjutkan dengan survei lapangan untuk menetapkan peta satuan unit lahan serta lokasi pengambilan titik-titik sampel tanah yang disajikan pada Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel terletak di 26 titik di Desa Pasar Miring Kecamatan Pagar Merbau dan 9 titik di Desa Galang Kecamatan Keramat Gajah. Waktu pengambilan sampel tanah dilakukan sebelum penanaman. Metode pemilihan sampel dilakukan secara *purposive random sampling* dengan kriteria lahan yaitu memiliki luasan lebih dari 2,5 rante (1000 m^2) dan menerapkan pola tanam yang berbeda. Titik pengambilan sampel individu dilakukan secara *zigzag*, terdiri dari 5 sub sampel. Pada masing-masing satuan unit lahan diambil sampel tanahnya menggunakan bor tanah pada kedalaman 0-20 cm. Sampel tanah diambil menggunakan bor tanah pada kedalaman 0-20 cm. Pada masing-masing satuan unit lahan, sampel tanah dari kelima titik pengambilan sampel diambil masing-masing sebanyak 1 kg kemudian dikompositkan dengan cara diaduk merata dalam ember plastik kemudian langsung dianalisis di lapangan dengan menggunakan PANTS.

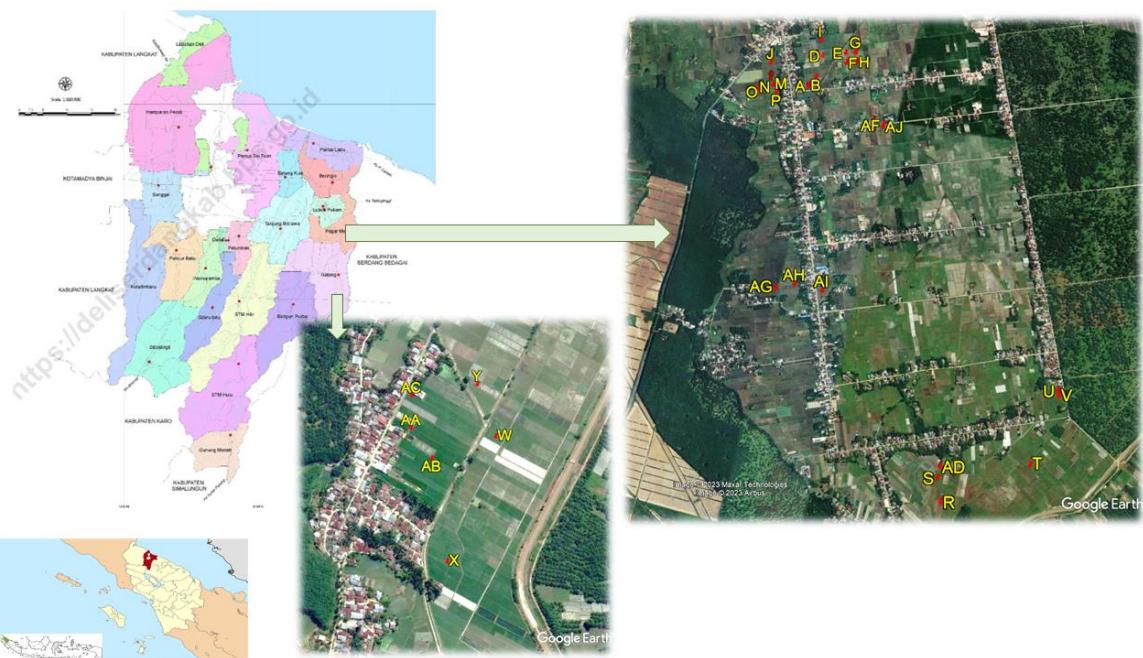
Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS) merupakan perangkat uji yang menunjukkan status hara tanah secara kualitatif. Perangkat ini terdiri dari beberapa alat seperti tabung reaksi volume 10 ml, sendok stainless, pengaduk dari kaca, rak tabung reaksi, kertas tissue pengering, syringe 2 ml, dan sikat pembersih tabung reaksi. Bahan di dalam perangkat yaitu pereaksi yang terdiri atas pereaksi N-1, N-2, N-3, dan N-4 untuk analisis Nitrogen (N); P-1 dan P-2 untuk Fosfor (P); K-1, K-2, dan K-3 untuk Kalium (K) serta pH-1 dan pH-2 (Gambar 2). Selain peralatan dan bahan tersebut, terdapat juga empat bagan warna

masing-masing untuk N, P, K, dan pH. Adapun prosedur kerja perangkat secara singkat adalah pertama-tama sampel tanah diambil dalam keadaan lembap, tidak terlalu basah atau kering, sebanyak ½ sendok spatula contoh tanah uji atau 0,5 cm yang diambil dengan *syringe* dimasukkan ke dalam tabung reaksi, ditambahkan pengekstrak kemudian diaduk dengan pengaduk kaca hingga tanah dan larutan menyatu. Tahapan selanjutnya adalah penambahan larutan pereaksi sesuai dengan unsur hara yang dianalisis. Setelah pencampuran berbagai pereaksi tersebut sesuai dengan prosedur yang tertera pada

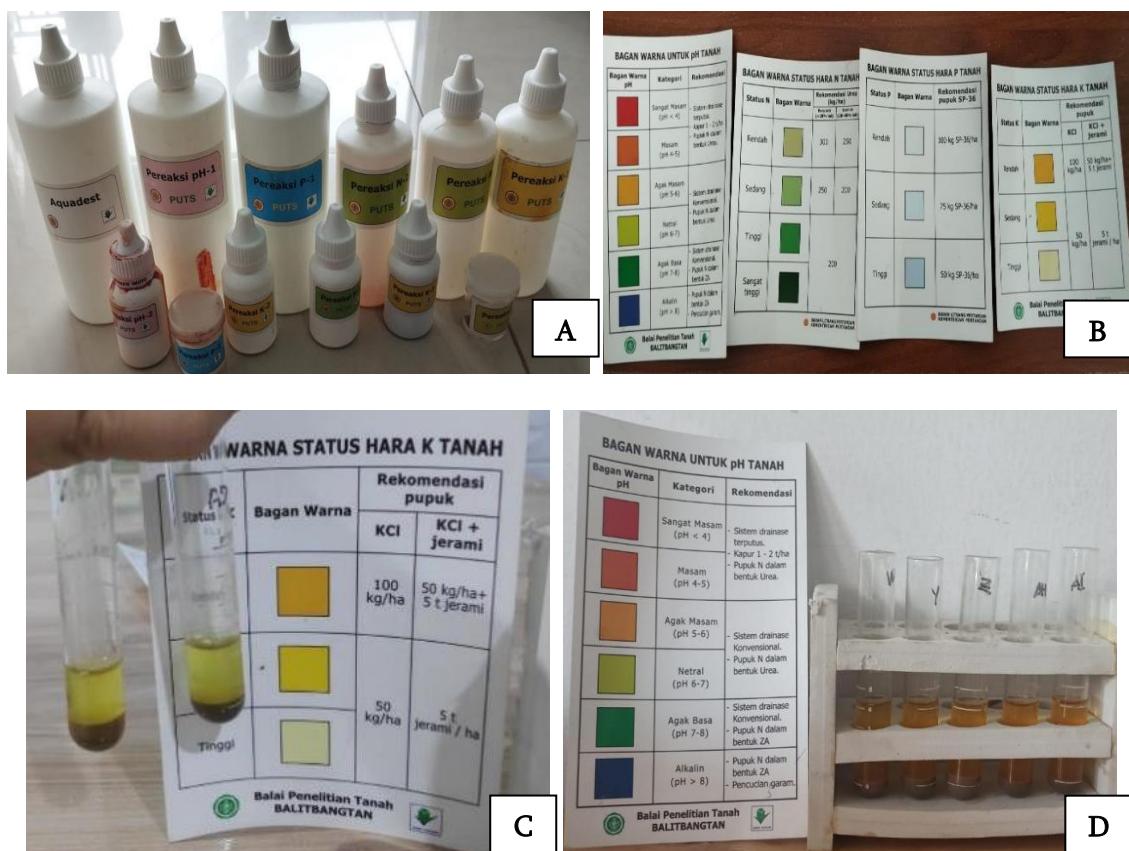
buku petunjuk, warna yang timbul pada larutan jernih setelah 10 menit dibaca atau dipadankan dengan bagan warna status hara yang disediakan (Setyorini dkk., 2006). Pada bagan warna status hara tersebut disertakan juga rekomendasi pemupukan yang dianjurkan. Parameter yang dianalisis meliputi nitrogen, fosfor dan kalium yang terbagi menjadi tiga kelas yaitu rendah, sedang dan tinggi. Selanjutnya pH tanah terbagi menjadi enam kelas yaitu sangat masam, masam, agak masam, netral, agak alkalis, serta alkalis. Pembagian kriteria hara dan pH tersebut mengacu kepada kriteria BSIP (2022).

Tabel 1. Lokasi pengambilan sampel dan pola tanam

No	Kecamatan/desa	Kode sampel	Pola tanam
1	Pagar Merbau/Pasar Miring	A	Kacang panjang – Padi – Padi
2		B	Kacang panjang – Padi – Padi
3		C	Semangka – Padi – Padi
4		D	Kacang hijau – Padi – Padi
5		E	Semangka – Padi – Padi
6		F	Mentimun – Padi – Padi
7		G	Semangka – Padi – Padi
8		H	Semangka – Padi – Padi
9		I	Semangka – Padi – Padi
10		J	Padi – Padi – Padi
11		K	Padi – Padi – Padi
12		L	Jagung – Padi – Padi
13		M	Kacang hijau – Padi – Padi
14		N	Kangkung – Padi – Padi
15		O	Kacang hijau – Padi – Padi
16		P	Semangka – Padi – Padi
17		Q	Jagung – Padi – Padi
18		R	Kacang hijau – Padi – Padi
19		S	Kacang hijau – Padi – Padi
20		T	Semangka – Padi – Padi
21		U	Semangka – Padi – Padi
22		V	Jagung – Padi – Padi
23		W	Semangka – Padi – Padi
24		X	Semangka – Padi – Padi
25		Y	Jagung – Padi – Padi
26		Z	Semangka – Padi – Padi
27	Keramat Gajah/Galang	AA	Bera – Padi – Padi
28		AB	Bera – Padi – Padi
29		AC	Bera – Padi – Padi
30		AD	Kacang hijau – Padi – Padi
31		AE	Semangka – Padi – Padi
32		AF	Semangka – Padi – Padi
33		AG	Bera – Padi – Padi
34		AH	Bera – Padi – Padi
35		AI	Bera – Padi – Padi



Gambar 1. Lokasi pengambilan sampel tanah.



Gambar 2. Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS), (A) Bahan pereaksi, (B) Bagan warna, (C) Bagan warna status hara tanah, (D) Bagan warna status pH tanah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengamatan terhadap status hara tanah N, P, K, dan pH dianalisis langsung di lapangan

dengan menggunakan PUTS (Tabel 2). Sementara itu, Tabel 3 menampilkan perhitungan kelebihan maupun kekurangan pupuk antara dosis pupuk rekomendasi Puts dan dosis aplikasi *eksisting* petani

secara umum di lokasi survei yang adalah 200-250 kg/ha urea dan 125 kg/ha NPK. Adapun pada proses penghitungannya, perbandingan persentase NPK disesuaikan dengan persentase pupuk NPK subsidi saat ini yaitu 15-10-12. Lahan yang diuji merupakan lahan dengan berbagai pola tanam, antara lain kacang panjang-padi-padi; semangka-padi-padi; kacang

hijau-padi-padi; mentimun-padi-padi; kangkung-padi-padi; jagung-padi-padi; serta bera-padi-padi. Dari 35 lokasi pengambilan sampel pada dua wilayah kecamatan, menunjukkan status hara nitrogen 88,5% tergolong rendah (31 lokasi), 8,5% tergolong tinggi (3 lokasi), dan 2,86% tergolong sangat tinggi (1 lokasi).

Tabel 2. Status hara N, P, K, pola tanam, dan rekomendasi pemupukan berdasarkan PUTS di Kecamatan Galang dan Pagar Merbau Kabupaten Deli Serdang

No	Kode sampel	Status hara				Pola tanam	Rekomendasi pemupukan berdasarkan analisis PUTS (kg/ha)			
		N	P	K	pH		Urea	SP-36	KCl (-jerami)	KCl (+jerami)
1	A	ST	T	T	AM	Kacang panjang – Padi – Padi	200	50	50	0
2	B	R	T	T	AM	Kacang panjang – Padi – Padi	300	50	50	0
3	C	R	S	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	75	50	0
4	D	R	T	T	AM	Kacang hijau – Padi – Padi	300	50	50	0
5	E	S	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	250	50	50	0
6	F	R	T	T	AM	Mentimun – Padi – Padi	300	50	50	0
7	G	T	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	200	50	50	0
8	H	R	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	50	50	0
9	I	R	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	50	50	0
10	J	T	T	T	AM	Padi – Padi – Padi	200	50	50	0
11	K	R	T	T	AM	Padi – Padi – Padi	300	50	50	0
12	L	R	S	T	AM	Jagung – Padi – Padi	300	75	50	0
13	M	R	S	T	AM	Kacang hijau – Padi – Padi	300	75	50	0
14	N	R	S	T	AM	Kangkung – Padi – Padi	300	75	50	0
15	O	R	S	T	AM	Kacang hijau – Padi – Padi	300	75	50	0
16	P	R	S	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	75	50	0
17	Q	R	T	T	AM	Jagung – Padi – Padi	300	50	50	0
18	R	R	S	T	AM	Kacang hijau – Padi – Padi	300	75	50	0
19	S	R	S	T	AM	Kacang hijau – Padi – Padi	300	75	50	0
20	T	R	S	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	75	50	0
21	U	R	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	50	50	0
22	V	R	T	T	AM	Jagung – Padi – Padi	300	50	50	0
23	W	R	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	50	50	0
24	X	R	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	50	50	0
25	Y	R	T	T	AM	Jagung – Padi – Padi	300	50	50	0
26	Z	R	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	50	50	0
27	AA	R	T	T	AM	Bera – Padi – Padi	300	50	50	0
28	AB	R	T	T	AM	Bera – Padi – Padi	300	50	50	0
29	AC	R	T	T	AM	Bera – Padi – Padi	300	50	50	0
30	AD	R	T	T	AM	Kacang hijau – Padi – Padi	300	50	50	0
31	AE	R	T	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	50	50	0
32	AF	R	R	T	AM	Semangka – Padi – Padi	300	100	50	0
33	AG	R	T	T	AM	Bera – Padi – Padi	300	50	50	0
34	AH	R	T	T	AM	Bera – Padi – Padi	300	50	50	0
35	AI	R	T	T	AM	Bera – Padi – Padi	300	50	50	0

Keterangan: R (rendah), S (sedang), T (tinggi), ST (sangat tinggi), AM (agak masam).

Tabel 3. Kekurangan/kelebihan pupuk berdasarkan dosis rekomendasi dan dosis aplikasi petani untuk setiap kriteria hara di Kecamatan Galang dan Pagar Merbau Kabupaten Deli Serdang

Kriteria hara	Nitrogen (urea)		Fosfor (SP-36) (kg/ha)	Kalium (KCl)	
	200	250		(-) Jerami	(+) Jerami
Rendah	(-) 27,25	(-) 4,25	(-) 65,28	-	-
Sedang	(-) 9,24	(+) 40,76	(-) 40,28	-	-
Tinggi	(+) 40,76	(+) 90,76	(-) 15,28	(-) 25	(+) 25
Sangat tinggi	(+) 40,76	(+) 90,76	-	-	-

Status Hara Nitrogen

Secara umum, status hara nitrogen di lahan sawah irigasi tergolong rendah mencapai 89% pada semua pola tanam. Rendahnya nitrogen pada lahan sawah yang diuji disebabkan oleh beberapa faktor yang salah satunya adalah pemupukan N yang belum sesuai rekomendasi. Data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa status hara nitrogen secara umum tergolong rendah dengan rekomendasi pemupukan adalah 300 kg/ha. Sementara itu, petani secara umum menggunakan pupuk urea 200-250 kg/ha, sehingga kebutuhan hara nitrogen belum terpenuhi untuk produksi padi secara maksimal. Faktor penyebab rendahnya nitrogen di tanah, selain diserap oleh tanaman juga disebabkan oleh sifat dari unsur nitrogen yang mudah menguap dan tercuci seperti yang dinyatakan oleh Patti dkk. (2013). Reaksi tanah juga mempengaruhi N tanah, dimana pada kondisi asam nitrogen dapat lebih mudah teroksidasi menjadi bentuk amonium (NH_4^+) yang lebih mudah diserap oleh tanaman. Rendahnya nitrogen juga disebabkan oleh proses penguapan dan pencucian, dimana nitrogen mudah menguap dan tercuci bersama air drainase. Pada lahan irigasi, nitrogen mudah hilang dalam bentuk limpasan permukaan dan pencucian ke lapisan tanah yang lebih dalam (Xiao *et al.*, 2019; Chen *et al.*, 2021). Rendahnya nitrogen, juga disebabkan kondisi anaerobik atau kurangnya oksigen di dalam tanah sawah dapat menyebabkan terjadinya proses denitrifikasi, di mana bakteri mengubah senyawa nitrat (NO_3^-) menjadi gas nitrogen (N_2) atau senyawa nitrogen oksida (N_2O). Keberadaan nitrogen sangat penting untuk pertumbuhan pada fase vegetatif tanaman sampai pada peningkatan hasil panen (Liu *et al.*, 2023), karena tanaman yang memiliki pasokan nitrogen yang cukup dapat menghasilkan hasil panen yang lebih besar dan berkualitas. Rendahnya kadar nitrogen pada semua pola tanam juga disebabkan tidak adanya pengembalian sisa-sisa panen atau penambahan bahan organik yang berkontribusi untuk

meningkatkan kadar nitrogen di tanah. Proses pelapukan dan pembusukan yang cepat dalam tanah sawah juga dapat mengakibatkan nitrogen terkandung dalam bahan organik cepat terurai, sehingga ketersediaannya dalam bentuk yang dapat diambil oleh tanaman menjadi terbatas. Di sisi lain, tanaman padi dan tanaman lainnya yang dirotasikan memerlukan jumlah nitrogen yang cukup tinggi untuk pertumbuhan yang optimal, sehingga mengurangi ketersediaan nitrogen bagi tanaman.

Status Hara Fosfor

Status hara fosfor menunjukkan bahwa dari 35 lokasi sampel, 3% tergolong rendah (1 lokasi), 26% tergolong sedang (9 lokasi) dan 71% tergolong tinggi (25 lokasi). Status hara fosfor secara umum tergolong tinggi pada semua pola tanam. Rekomendasi pemupukan berdasarkan PUTS untuk fosfor tinggi adalah 50 kg/ha pupuk SP-36 dan jika dibandingkan dengan dosis *eksisting* petani maka petani perlu menambahkan 5,5-14,5 kg P_2O_5 /ha atau sekitar 15-62 kg SP-36/ha. Diketahui bahwa fosfor adalah salah satu unsur hara makro yang berperan penting bagi pertumbuhan dan perkembangan tanaman termasuk merangsang pertumbuhan akar, tunas dan daun, pembentukan bunga dan buah serta mengatur respon fisiologis tanaman dalam kondisi tercekam (Uchida, 2000; Khan *et al.*, 2023). Tingginya status hara P di lahan sawah di lokasi penelitian merupakan hasil dari pemupukan yang selama ini dilakukan petani disertai sifat hara P yang kelarutannya rendah, tidak mudah tercuci, dan mudah terfiksasi. Fiksasi P yang berkaitan dengan ketersediaannya tersebut salah satunya dipengaruhi oleh pH tanah. P pada pH tanah yang terlalu rendah difiksasi oleh Al dan Fe sementara pada pH yang terlalu tinggi dapat difiksasi oleh Ca sehingga menjadi tidak tersedia bagi tanaman dan mempengaruhi efisiensi pemupukan P tersebut. Tanah dengan pH rendah (5,6-6,5) cenderung mengikat P dalam bentuk fosfat (H_2PO_4^- dan HPO_4^{2-}) yang membuat fosfor lebih tersedia untuk tanaman.

Namun, pH yang sangat rendah dapat mengikat fosfor berlebihan sehingga mengurangi ketersediaannya (Harjowigeno & Rayes, 2005). Hal ini tergambar pada plot fiksasi dan kelarutan P pada Penn dan Camberato (2019) dan Taisa dkk. (2021) bahwa fiksasi P oleh $\text{Fe} > \text{Al} > \text{Ca}$ yang masing-masing terjadi pada pH <4, 5-6, dan sekitar 8 sementara kelarutan P paling tinggi terjadi pada pH sekitar 6,5 dan 4,5. Jika dikaitkan dengan pH di lokasi penelitian, P lebih berpotensi terfiksasi oleh Al.

Status Hara Kalium

Hasil analisis kandungan kalium tanah di lokasi penelitian yang diamati pada dua wilayah kecamatan, menunjukkan 100% tergolong tinggi. Penelitian menunjukkan bahwa beberapa lahan sawah irigasi mempunyai kadar kalium tergolong tinggi, sedang, dan rendah (Agusdy dkk., 2019; Safiun dkk., 2023), biasanya bersumber dari air irigasi yang mengandung pupuk kalium yang larut dalam air dan terbawa bersama air irigasi (Mikkelsen & Roberts, 2021). Proses penguraian bahan organik dalam tanah juga dapat melepaskan kalium ke dalam tanah, sehingga kadar kalium tanah semakin meningkat (Bader *et al.*, 2021).

Terkait peran bahan organik sebagai sumber kalium, tingginya kandungan kalium pada seluruh lahan di kedua lokasi penelitian dipengaruhi oleh kebiasaan petani yang membiarkan dan mencampurkan kembali jerami ke tanah pada saat pengolahan lahan. Berbeda dengan hara N dan P yang lebih banyak terangkut ke biji, lebih dari 80% hara kalium yang diserap tanaman padi tertinggal di jerami sebagai organ vegetatif (Sarkar *et al.*, 2017). Potensi luar biasa tersebut diperjelas Shao *et al.* (2023) yang melaporkan bahwa pengembalian jerami ke lahan dalam semusim mampu menghemat penggunaan pupuk kimia sebesar 23% dengan sumbangan terbesar untuk hara kalium hampir mencapai 60%. Tingginya kalium tanah sawah, dapat meningkatkan efisiensi pemupukan kalium sampai batas tertentu. Sumbangan kalium dari jerami dapat meningkatkan kalium tanah sawah hingga taraf tinggi yang selanjutnya berkontribusi meningkatkan efisiensi pemupukan kalium sampai batas tertentu. Selain sebagai pemasok, peningkatan efisiensi tersebut berkaitan dengan perbaikan kesetimbangan kalium (K dapat ditukar dan K tidak dapat ditukar) di dalam tanah.

Pada rentang kriteria pH tanah yang sama dengan tanah-tanah di lokasi survei, Han *et al.* (2021) mengkonfirmasi bahwa aplikasi bahan organik

meningkatkan oksidasi Fe dan Al amorf serta khelat yang masing-masing berpengaruh penting dalam mengatur kandungan K dapat ditukar pada tanah permukaan dan K tidak dapat ditukar pada tanah di bawah permukaan. Peningkatan Fe amorf dan khelat akibat aplikasi jerami signifikan dan berkorelasi positif dengan peningkatan ketebalan agregat tanah yang berfungsi sebagai situs adsorpsi K⁺ (Xue *et al.*, 2022) sehingga laju pergantian K lebih cepat dan pemenuhan serapan K tercapai (Liu *et al.* 2019), berdasarkan keduanya ukuran agregat berkontribusi adalah 2-5 mm.

Status pH Tanah

Reaksi tanah di lahan sawah pada dua wilayah kecamatan yang diuji 100% tergolong agak masam (BSIP, 2022) dengan memiliki nilai pH 5,6-6,5. pH tanah merupakan salah satu indikator penting kesehatan dan keberlanjutan fungsi tanah karena pengaruhnya dalam sifat fisik, kimia dan biologi tanah (Dewangan *et al.*, 2023). pH tanah bersifat dinamis dan dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk praktik pertanian yang dilakukan petani. Petani di lokasi survei umumnya membiarkan sisasisa jeraminya di lahan yang ketika terdekomposisi akan menghasilkan senyawa asam organik. Senyawa asam organik tersebut membuat reaksi tanah menjadi masam yang ditandai dengan menurunnya pH tanah (Siregar, 2017). Saat pH tanah menjadi asam (di bawah 7), ion-ion hidrogen (H⁺) lebih dominan dalam larutan tanah dan dapat mengganggu ketersediaan hara bagi tanaman. Untuk kalium misalnya, ion-ion H⁺ menggeser ion-karena berikatan dengan ion-ion Aluminium (Al³⁺) dan besi (Fe³⁺) sehingga kalium menjadi kurang tersedia bagi tanaman.

Berbagai praktik pertanian lainnya yang berpotensi terhadap pemasaman tanah antara lain yaitu pemupukan intensif N, pengolahan tanah (Zhao *et al.*, 2022), budidaya intensif tanpa aplikasi bahan organik, tidak adanya bahan/pupuk yang mengandung kation-kation basa dan lain sebagainya. Penggunaan pupuk yang tidak seimbang atau pupuk bersifat masam seperti ammonium sulfat misalnya berpengaruh signifikan terhadap penurunan pH tanah karena menghasilkan asam sulfat saat terurai dalam tanah. Tanah sawah yang masam menghambat pertumbuhan tanaman karena banyak tanaman lebih suka tumbuh dalam kondisi pH netral hingga sedikit asam. Kondisi ini tidak menjadi masalah pada lahan sawah, karena bila tanah mineral dalam kondisi tergenang atau diberi irigasi, maka pH tanah akan meningkat mengarah ke netral (Muliana dkk., 2018).

Didukung oleh pengelolaan yang tepat, pH tanah dapat disesuaikan kondisinya dengan pertumbuhan tanaman yang diinginkan. Untuk mengatasi masalah pH tanah yang masam, biasanya dengan pemberian kapur pertanian yang berfungsi untuk meningkatkan pH tanah, sehingga ketersediaan hara meningkat (Nazir dkk., 2017).

Rekomendasi Pemupukan

Berdasarkan hasil analisis tanah dengan PUTS, rekomendasi urea untuk N rendah: 300 kg/ha, N sedang: 250 kg/ha, dan N tinggi 200 kg/ha. Rekomendasi SP-36 untuk P rendah: 100 kg/ha, P sedang: 75 kg/ha, dan P tinggi: 50 kg/ha. Rekomendasi KCl untuk K tinggi: 50 kg/ha tanpa penambahan jerami dan tanpa pupuk KCl apabila ditambahkan jerami 5 t/ha. Survei yang dilakukan melalui wawancara diperoleh informasi bahwa rata-rata petani di dua wilayah penelitian menggunakan pupuk urea 200-250 kg/ha dan pupuk majemuk NPK 125 kg/ha, tanpa menggunakan pupuk KCl dan penambahan bahan organik seperti kompos jerami atau pupuk kandang. Umumnya petani membiarkan batang-batang padi yang dibiarakan di sawah pada saat panen, selanjutnya dihancurkan bersamaan pada saat pengolahan lahan. Batang-batang padi ini merupakan sumber unsur hara penting seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang dapat meningkatkan kesuburan tanah setelah mengalami penguraian menjadi bahan organik. Di sisi lain, batang-batang padi yang membusuk juga sebagai penyebab peningkatan kemasaman tanah.

Berdasarkan dosis aplikasi petani 200-250 kg/ha urea dan 125 kg/ha NPK, dengan lahan kriteria N rendah memiliki kekurangan pupuk urea sebanyak 4,25-27,25 kg/ha sedangkan untuk lahan dengan N tinggi dan sangat tinggi terjadi kelebihan urea sebanyak 40,76-90,76 kg/ha. Pupuk fosfor yang dapat ditambahkan dalam bentuk pupuk tunggal SP-36 pada ketiga kriteria P yang ditemukan di lokasi survei seluruhnya kurang dan perlu ditambahkan sekitar 15, 40, dan 65 kg/ha. Kalium yang ditemukan tinggi di seluruh lokasi survei dianggap tidak perlu ditambahkan 25 kg/ha apabila jerami dikembalikan ke lahan dan sebaliknya.

Menanggapi kelebihan kalium dari dosis pupuk yang diaplikasikan petani pada Tabel 3, peniadaan pemberian pupuk kalium mungkin belum tepat untuk diterapkan mengingat jumlah pengembalian jerami yang dilakukan petani bervariasi. Selain itu, kesetimbangan K yang surplus mungkin lebih dapat dijadikan sebagai dasar untuk

rekomendasi dosis pemupukan K dibanding kandungannya di dalam tanah. Kesetimbangan K surplus sendiri bukan hal yang mudah dicapai. Hal ini terbukti di dalam penelitian Zhang *et al.* (2021) di mana pengembalian jerami secara konsisten 3-6 ton/ha serta dosis pupuk K lebih tinggi dibanding di lokasi survei yaitu 75 kg/ha selama 13 tahun dilaporkan belum cukup untuk membalikkan kesetimbangan K tanah menjadi surplus. Hal tersebut dapat dijadikan sebagai dasar sementara untuk tidak mengurangi/meniadakan aplikasi pupuk K seperti yang direkomendasikan PUTS.

Perhitungan perlu dilakukan secara cermat mengingat banyaknya faktor yang memengaruhi efisiensi pemupukan tersebut tidak terbatas pada komponen teknologi budidaya dan iklim, tetapi juga ketersediaan unsur hara lain. Peningkatan konsentrasi kalium saja tidak cukup jika nutrisi lainnya seperti nitrogen (N), fosfor (P), magnesium (Mg), dan mikronutrien lainnya tidak tersedia dalam jumlah yang cukup (Tan, 2010). Input bahan organik termasuk jerami perlu diperhitungkan dengan baik dan secara konsisten dilakukan oleh petani karena tidak hanya menyumbangkan hara makro N, P, dan K tetapi juga hara mikro berguna lainnya seperti Si misalnya yang rata-rata konsentrasinya 6,3% (Patel *et al.*, 2017). Hara Si ini tidak hanya berpotensi menghemat pasokan air hingga 40% (Ibrahim *et al.*, 2018) tetapi mengefisiensi penggunaan pupuk P melalui mekanisme produksi partikel berukuran lebih besar yang kaya Fe (II) oksida untuk mengkopresipitasi P termobilisasi dalam ikatan lebih mudah lepas dan tersedia bagi tanaman (Schaller *et al.*, 2022).

Berdasarkan hasil survei melalui wawancara diperoleh informasi bahwa produktivitas padi sawah pada seluruh pola tanam berkisar 5,2-6,6 ton/ha gabah kering panen (GKP). Hasil gabah ini dapat ditingkatkan lagi dengan cara pengelolaan lahan yang tepat. Berdasarkan status hara P dan K yang secara umum tergolong tinggi dengan N relatif rendah dan pH agak masam, kami menyimpulkan bahwa secara umum tingkat kesuburan tanah pada dua wilayah penelitian termasuk sedang. Pengelolaan dengan penambahan bahan organik baik berupa pupuk kandang maupun jerami yang berfungsi tidak hanya sebagai penambah hara N, P, K, melainkan membuat unsur-unsur hara tersebut menjadi tersedia bagi tanaman dan meningkatkan produktivitas padi (Chairuman *et al.*, 2023) perlu diterapkan secara konsisten dan berkelanjutan.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

- Secara umum di 35 lokasi, hara makro nitrogen tergolong rendah, fosfor dan kalium tergolong tinggi. Sementara itu, reaksi (pH) tanah di seluruh lokasi termasuk agak masam.
- Berdasarkan PANTS, rekomendasi pemupukan yang dianjurkan berdasarkan hasil status hara tanah tersebut adalah 200-300 kg urea/ha, 50-100 kg SP-36/ha, serta 0 dan 50 kg KCl/ha masing-masing untuk pengelolaan dengan dan tanpa input jerami.
- Secara umum dosis *eksisting* pupuk yang diaplikasikan oleh petani di lokasi penelitian belum memenuhi dosis pupuk yang direkomendasikan PANTS. Untuk hara makro N, pupuk urea yang diaplikasikan petani secara umum kurang dari rekomendasi PANTS sebesar 9-59 kg urea/ha sementara untuk hara P, terdapat selisih 15-40 kg SP-36/ha yang perlu ditambahkan. Terakhir untuk hara K, KCl perlu ditambahkan 0 dan 25 kg/ha masing-masing pada kondisi dengan dan tanpa adanya pengembalian jerami ke lahan.
- Penambahan bahan organik dari limbah pertanian seperti jerami dan pupuk kandang yang berfungsi meningkatkan kadar hara makro dan mikro serta perbaikan sifat fisik dan biologi lainnya dapat diterapkan sebagai salah satu pengelolaan lahan guna mendukung peningkatan produktivitas padi sawah yang berpotensi untuk ditingkatkan.

Saran

Pengujian dengan PANTS pada penelitian ini untuk unsur fosfor dan kalium adalah dalam bentuk P dan K total, sehingga perlu analisis lebih lanjut untuk mengetahui kadar P dan K tersedia yang langsung dapat diserap oleh tanaman. Pengurangan ataupun peniadaan aplikasi hara K sesuai rekomendasi PANTS tidak dapat diterapkan saat ini dan perlu dikaji dengan memperhitungkan aliran *input* termasuk total pengembalian jerami ke lahan dan *output* hara K di lokasi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Agoesdy, R, H Hanum, A Rauf dan FS Harahap. 2019. Status hara fosfor dan kalium di lahan sawah di Kecamatan Tanjung Morawa Kabupaten Deli Serdang. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan. 6(2): 1387–1390.

- Ahmad, W, and F Khan. 2018. Integrated nutrients and cropping patterns management on eroded soil for yield and fertility restoration. Sarhad Journal of Agriculture. 34: 533–542.
- Al-jabri, M, 2013. Teknologi Uji Tanah Untuk Penyusunan Rekomendasi Pemupukan Berimbang Tanaman Padi Sawah. Pengembangan Inovasi Pertanian. 6(1): 11–22.
- Bernstein, N, J Gorelick, R Zerahia, and S Koch. 2019. Impact of N, P, K, and humic acid supplementation on the chemical profile of medical cannabis (*Cannabis sativa* L). Frontiers in Plant Science. 10:736. DOI: 10.3389/fpls.2019.00736.
- [BPS Sumut]. Badan Pusat Statistik Sumatera Utara. 2022. Sumatera Utara dalam Angka 2022. Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Utara.
- Bader, BR, SK Taban, AH Fahmi, MA Abood, and GJ Hamdi. 2021. Potassium availability in soil amended with organic matter and phosphorous fertiliser under water stress during maize (*Zea mays* L) growth. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences. 20(6): 390–394.
- [BSIP] Balai Pengujian Standar Instrumen Tanah dan Pupuk. 2022. Juknis Analisis Kimia Edisi 3: Acuan Prosedur Analisis Tanah, Tanaman, Air dan Pupuk. Tersedia online pada <https://tanahpupuk.bsip.pertanian.go.id/berita/juknis-analisis-kimia-edisi-3-acuan-prosedur-analisis-tanah-tanaman-air-dan-pupuk> (diakses 20 Juni 2023)
- Chairuman, N, Rosmayati, H Hanum, and A Jamil. 2023. Potassium and phosphorus availability due to fertilization of potassium and organic matter for rice in rainfed rice fields. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 1241(1):012020. DOI: 10.1088/1755-1315/1241/1/012020.
- Chen, L, X Liu, Z Hua, H Xue, S Mei, P Wang, and S Wang. 2021. Comparison of nitrogen loss weight in ammonia volatilization, runoff, and leaching between common and slow-release fertilizer in paddy field. Water, Air and Soil Pollution. 232(4):132. DOI: 10.1007/s11270-021-05083-6.
- Dinas Pertanian Provinsi Sumatera Utara. 2022. Data statistik pertanian Provinsi Sumatera Utara 2021. Pemerintah Provinsi Sumatera Utara.
- Harjowigeno, S, dan L Rayes. 2005. Tanah Sawah, Karakteristik, Kondisi, dan Permasalahan

- Tanah Sawah di Indonesia. Bayumedia. Malang.
- Hawkesford, M, W Horst, T Kichey, H Lambers, J Schjoerring, IS Moller, and P White. 2012. Functions of macronutrients. In Pp. 135-189. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (P Marschner, Ed.). Academic Press. San Diego.
- Han, T, J Huang, K Liu, H Fan, X Shi, J Chen, and H Zhang. 2021. Soil potassium regulation by changes in potassium balance and iron and aluminum oxides in paddy soils subjected to long-term fertilization regimes. *Soil and Tillage Research.* 214:105168. DOI: 10.1016/j.still.2021.105168.
- Ibrahim, MA, ARM Merwad, and EA Elnaka. 2018. Rice (*Oryza sativa* L.) tolerance to drought can be improved by silicon application. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* 49(8): 945–957.
- Liu, K, T Han, J Huang, Q Huang, D Li, Z Hu, and X Yu. 2019. Response of soil aggregate-associated potassium to long-term fertilization in red soil. *Geoderma.* 352: 160–170.
- Liu, R, Y Wang, Y Hong, F Wang, X Mao, and J Yi. 2023. Controlled-release urea application and optimized nitrogen applied strategy reduced nitrogen leaching and maintained grain yield of paddy fields in Northwest China. *Frontiers in Plant Science.* 14:1033506. DOI: 10.3389/fpls.2023.1033506.
- Muliana, S Anwar, A Hartono, AD Susila, dan S Sabiham. 2018. Pengelolaan dan pemupukan fosfor dan kalium pada pertanian intensif bawang merah di empat desa di Brebes. *Jurnal Hortikultura Indonesia.* 9(1): 27–37.
- Mikkelsen, RL, and TL Roberts. 2021. Inputs: potassium sources for agricultural systems. In Pp. 47-74. Improving Potassium Recommendations for Agricultural Crops (TS Murrell, RL Mikkelsen, G Sulewski, R Norton, ML Thompson, Eds.). Springer. Cham.
- Moe, K, AZ Htwe, TTP Thu, Y Kajihara, and T Yamakawa. 2019. Effects on NPK status, growth, dry matter and yield of rice (*Oryza sativa*) by organic fertilizers applied in field condition. *Agriculture.* 9(5):109. DOI: 10.3390/agriculture9050109.
- Nazir, M, M Muyassir, and S Syakur. 2017. Pemetaan kemasaman tanah dan analisis kebutuhan kapur di Kecamatan Keumala Kabupaten Pidie. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian.* 2(1): 21–30.
- Patel, RA, KC Patel, and JK Malav. 2017. Status of silicon in rice (*Oryza sativa* L.) and its correlation with other nutrients under typic ustochrepts soil. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences.* 6(12): 2598–2611.
- Patti, PS, E Kaya, dan C Silahooy. 2013. Analisis status nitrogen tanah dalam kaitannya dengan serapan N oleh tanaman padi sawah di Desa Waimital, Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seramo Bagian Barat. *Agrologia.* 2(1): 51–58.
- Ridwansyah, B, TR Basoeki, PB Timotiwu, dan A Agustiansyah. 2020. Pengaruh dosis pupuk nitrogen, fosfor, dan kalium terhadap produksi benih padi varietas Mayang pada tiga lokasi di Lampung Utara. *Jurnal Agrotropika.* 15(2): 68–72.
- Sarkar, MIU, MN Islam, A Jahan, and A Islam. 2017. Rice straw as a source of potassium for wetland rice cultivation. *Geology, Ecology, and Landscapes.* 1(3): 184–189.
- Setyorini, D, LR Widowati, dan A Kasno. 2006. Petunjuk Penggunaan Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS). Balai Penelitian Tanah. Bogor.
- Siregar, P. 2017. Pengaruh pemberian beberapa sumber bahan organik dan masa inkubasi terhadap beberapa aspek kimia kesuburan tanah Ultisol. *Jurnal Online Agroteknologi.* 5(2): 256–264.
- Suprihatin, A, dan J Amirullah. 2018. Pengaruh pola rotasi tanaman terhadap perbaikan sifat tanah sawah irigasi. *Jurnal Sumberdaya Lahan.* 12(1): 49–57.
- Schaller, J, B Wu, W Amelung, Z Hu, M Stein, E Lehndorff, and M Obst. 2022. Silicon as a potential limiting factor for phosphorus availability in paddy soils. *Scientific Reports.* 12(1):16329. DOI: 10.1038/s41598-022-20805-4.
- Safiu, S, H Syaf, DN Yusuf, D Darwis, dan YB Pasolon. 2023. Pemetaan irigasi dan produktifitas tanah sawah di Desa Lawele Kecamatan Lasalimu Kabupaten Buton. *Agronu: Jurnal Agroteknologi.* 2(1): 32–41.
- Shao, J, C Gao, PA Seglah, J Xie, L Zhao, Y Bi, and Y Wang. 2023. Analysis of the available straw nutrient resources and substitution of chemical fertilizers with straw returned directly to the field in China. *Agriculture.*

- 13(6):1187. DOI: 10.3390/agriculture13061187.
- Tan, KH. 2010. Principles of Soil Chemistry. CRC Press. Boca Raton.
- Uchida, R. 2000. Essential nutrients for plant growth: nutrient functions and deficiency symptoms. In Pp. 31-55. Plant Nutrient Management in Hawaii's Soils, Approaches for Tropical and Subtropical Agriculture (JA Silva, R Uchida, Eds.). University of Hawaii at Manoa. Manoa.
- Wang, Y, YF Chen, and WH Wu. 2021. Potassium and phosphorus transport and signaling in plants. *Journal of Integrative Plant Biology*. 63(1): 34–52.
- Xiao, M, Y Li, J Wang, X Hu, L Wang, and Z Miao. 2019. Study on the law of nitrogen transfer and conversion and use of fertilizer nitrogen in paddy fields under water-saving irrigation mode. *Water*. 11(2): 218. DOI: 10.3390/w11020218.
- Xue, B, L Huang, X Li, J Lu, R Gao, and M Kamran. 2022. Straw residue incorporation and potassium fertilization enhances soil aggregate stability by altering soil content of iron oxide and organic carbon in a rice – rape cropping system. *Land Degradation and Development*. 33(14). DOI: 10.1002/lde.4333.
- Ye, T, Y Li, J Zhang, W Hou, W Zhou, J Lu, Y Xing, and X Li. 2019. Nitrogen, phosphorus, and potassium fertilization affects the flowering time of rice (*Oryza sativa* L.). *Global Ecology and Conservation*. 20:e00753. DOI: 10.1016/j.gecco.2019.e00753.
- Yudhana, A, AD Cahyo, LY Sabila, AC Subrata, and I Mufandi. 2023. Spatial distribution of soil nutrient content for sustainable rice agriculture using geographic information system and Naïve Bayes classifier. *International Journal on Smart Sensing and Intelligent System*. 16(1): 1–14.
- Zhang, Z, D Liu, M Wu, Y Xia, F Zhang, and X Fan. 2021. Long - term straw returning improve soil K balance and potassium supplying ability under rice and wheat cultivation. *Scientific Reports*. 11:22260. DOI: 10.1038/s41598-021-01594-8.
- Zhao, X, C He, WS Liu, WX Liu, QY Liu, W Bai, LJ Li, R Lal, and HL Zhang. 2022. Responses of soil pH to no-till and the factors affecting it: A global meta-analysis. *Global Change Biology*. 28(1): 154–166.
- Dewangan, SK, L Kumari, P Minj, J Kumari, R Sahu, SK Dewangan, L Kumari, P Minj, J Kumari, and R Sahu. 2023. The effects of soil pH on soil health and environmental sustainability: A review. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research*. 10(6): 611–616.
- Khan, F, AB Siddique, S Shabala, M Zhou, and C Zhao, 2023. Phosphorus Plays Key Roles in Regulating Plants' Physiological Responses to Abiotic Stresses. *Plants*. 12(15):2861. DOI: 10.3390/plants12152861.
- Penn, CJ, and JJ Camberato. 2019. A critical review on soil chemical processes that control how soil pH affects phosphorus availability to plants. *Agriculture*. 9(6):120. DOI: 10.3390/agriculture9060120.
- Taisa, R, T Purba, Sakiah, J Herawati, AS Junaedi, HS Hasibuan, Junairiah, dan R Firgiyanto. 2021. Ilmu Kesuburan Tanah dan Pemupukan. Yayasan Kita Menulis. Medan.