

Keseimbangan Hara Makro Tegakan Jati (*Tectona grandis* L.f.) dengan Metode DRIS

(*Macro Nutrient Balance of Teak Stands (Tectona grandis L.f.) Using DRIS*)

Mochamad Chanan, Febri Arif Cahyo Wibowo* dan/and Alisa Lila Nidha

Jurusan Kehutanan, Fakultas Pertanian-Peternakan, Universitas Muhammadiyah Malang Jalan Raya Tlogomas No. 246, Tlp: (0341) 464 318 (Hunting); Fax: (0341) 460 435 Tlogomas, Malang, Jawa Timur 65144

*E-mail: febriarif14@umm.ac.id

Tanggal diterima: 11 November 2021; Tanggal disetujui: 27 Januari 2022; Tanggal direvisi: 8 Februari 2022

ABSTRACT

The practice of land clearing by burning, which is often carried out by farmers or area managers, has a negative impact on soil health. Soil health assessment is needed to produce good plant growth. Indicators of soil health include soil properties and cropping systems in the area. Soil health can be maintained by environmental management, crop rotation and soil nutrient management. This study aims to determine the balance of macronutrients in teak plantations. Data collection was conducted using five plots with a size of 12 x 12 m each. In each plot, the plant height and diameter, the physical and chemical properties of the soil, and the plant tissue (N, P, K, Ca, and Mg), were observed. The test results for macronutrients of teak plant tissue were analyzed using DRIS method. The results showed that the balance of nutrients was indicated by the nutrients N (0.244%), P (2.199 ppm), Ca (0 ppm), and Mg (3.241 ppm), while the unbalanced results were indicated by the element K (-5.180 ppm). Therefore, improvement efforts that need to be undertaken to increase the teak plant growth are the addition of potassium fertilizer.

Key Words: Teak, macro-nutrients, DRIS method

ABSTRAK

Praktik pembukaan lahan dengan cara membakar yang seringkali dilakukan oleh petani atau pengelola kawasan berdampak negatif terhadap kesehatan tanah. Untuk menghasilkan pertumbuhan tanaman yang baik diperlukan pengkajian kesehatan tanah. Indikator kesehatan tanah diantaranya, yaitu sifat-sifat tanah dan sistem tanam pada kawasan. Kesehatan tanah dapat dijaga diantaranya dengan pengelolaan lingkungan, rotasi tanaman dan pengelolaan hara tanah. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui keseimbangan unsur hara makro di hutan tanaman jati. Pengumpulan data dilakukan dengan plot yang terbagi menjadi lima dengan ukuran masing-masing 12 x 12 m. Pada setiap plot, diamati tinggi dan diameter tanaman, kondisi sifat fisik dan kimia tanah serta jaringan tanaman (N, P, K, Mg, dan Ca). Data hasil sampel uji unsur hara makro jaringan tanaman jati dianalisis dengan metode DRIS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keseimbangan unsur hara terjadi untuk hara N (0,244%), P (2,199 ppm), Ca (0 ppm), dan Mg (3,241 ppm), sedangkan tidak

seimbang adalah unsur K (-5,180 ppm). Oleh karena itu, upaya perbaikan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan pertumbuhan tanaman jati tersebut, yaitu penambahan pupuk kalium.

Kata Kunci: Jati, hara makro, metode DRIS

1. Pendahuluan

Kesehatan tanah memiliki indikator komplek yang mencakup berbagai kondisi di dalam tanah. Kondisi tersebut, yakni sifat-sifat tanah dan sistem tanam (Amsili et al., 2021). Kegiatan dalam pengelolaan hasil produksi terbukti memiliki hubungan timbal balik yang baik, seperti dicontohkan di wilayah lahan Michigan, dimana praktik dalam pengelolaan kondisi lingkungan, rotasi tanaman dan intensitas pengelolaan tanah menjadi pendorong terwujudnya kesehatan tanah yang baik dan berdampak pada hasil panen (Tu et al., 2021). Usaha dalam memperbaiki kesehatan tanah, adalah upaya meningkatkan hasil produksi atau optimalisasi pertumbuhan tanaman kehutanan atau pertanian. Berbagai upaya yang telah dilakukan untuk memperbaiki kesehatan tanah, diantaranya penggunaan diversitas makro fauna (Domínguez et al., 2018), *biochar* (Yuan et al., 2017) dan mikoriza (Gujre et al., 2021).

Di Indonesia, banyak upaya yang dapat dilakukan untuk memelihara kesehatan tanah, agar keseimbangan hara dalam tanah terjamin dalam mendukung peningkatan produktivitas secara berkelanjutan. Upaya yang dilakukan tidak bisa lepas dari berbagai permasalahan yang terjadi. Salah satu kegiatan yang sering dilakukan oleh masyarakat Indonesia adalah pembukaan dan pembakaran lahan. Pembukaan hutan dan pembakaran biomassa memiliki hasil positif dalam menetralkan keasaman dan melepaskan nutrisi yang siap diserap oleh tanaman, namun berdampak pada menurunnya Bahan Organik (BO) dan nutrisi yang ada dengan cepat (Minasny et al., 2020), sehingga akan berdampak pada kesehatan ekosistem dan tanah. Selain itu, praktik pemupukan

anorganik berlebihan dapat meningkatkan nitrogen tanah namun terdapat efek samping, yaitu dapat menurunkan stabilitas ekosistem tanah dan keberlanjutan produksi (Zhang et al., 2021). Oleh karena itu, pengelolaan hutan melalui pemupukan anorganik berlebihan, pembukaan dan pembakaran lahan, menjadi faktor penyebab kerusakan kesehatan tanah.

Berdasarkan permasalahan di atas dalam pengelolaan lahan atau hutan, perlu dilakukan pendekatan yang dapat menganalisis kebutuhan unsur hara oleh tanaman dan ketersediaan hara di tanah. Salah satu metode untuk mendiagnosa keseimbangan unsur hara, yaitu melalui metode DRIS (*Diagnosis and Recommendation Integrated System*). Penelitian terkait ketersediaan unsur hara dan fisiologi tanaman telah dilakukan, diantaranya melalui pengembalian jerami (Huang et al., 2021) dan residu organik (Sukitprapanon et al., 2020) yang hasilnya ada hubungan positif dengan ketersediaan unsur hara. Selain itu, berdasarkan hasil penelitian terjadi peningkatan unsur hara, salah satunya adalah ketersediaan Mg yang dipengaruhi oleh keberadaan jamur endofit di tanah (Alves et al., 2021).

Beberapa hasil penelitian di atas hanya terfokus pada ketersediaan unsur hara saja, belum mengevaluasi pengaruhnya terhadap keseimbangan unsur hara. Dengan demikian, perlu diketahui informasi keseimbangan unsur hara tanah bertegakan agar dapat menentukan kegiatan-kegiatan yang harus dilakukan dalam pengelolaan hutan tanaman. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui keseimbangan unsur hara makro dengan metode DRIS pada kawasan hutan tanaman jati (*Tectona grandis* L.f).

2. Metodologi

2.1. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di Resort Pemangkuan Hutan (RPH) Rejosari pada petak 11b RPH Rejosari BKPH Sengguruh KPH Malang Perum Perhutani Jawa Timur dengan titik koordinat 8°12'33.2"S 112°33'03.6" E. Tanaman jati di lokasi penelitian dikategorikan Kelas Umur (KU) I dengan umur tanaman adalah tujuh tahun. Luas kawasan petak 11b, yaitu 5,8 ha. Pengambilan data di lapangan dilakukan pada bulan Juli-Agustus 2020.

2.2. Metode

2.2.1 Tahapan pengambilan sampel

Tahap awal pengambilan sampel dengan membuat plot yang dibagi menjadi lima bagian dengan ukuran masing-masing 12 x 12 m. Untuk setiap plot dilakukan pengukuran tinggi, diameter pohon jati, pengambilan sampel tanah dan sampel daun jati.

Pengambilan sampel tanah dilakukan untuk pengujian sifat kimia dan fisik tanah. Pengambilan sampel bahan uji sifat kimia tanah digunakan dengan membentuk garis diagonal yang tersebar lima titik. Pada setiap plot diberikan tanda dengan menggunakan tiang, dengan titik pengambilan sampel. Sampel tanah diambil pada kedalaman 30 cm (Balai Penelitian Tanah, 2016). Setiap titik diambil berdasarkan teknik dekomposit yang selanjutnya diambil sebanyak 1 kg. Pengambilan sampel uji sifat fisik tanah menggunakan ring sampel sebanyak 5 plot. Sampel sifat fisik dan kimia dianalisis di Laboratorium Tanah Universitas Brawijaya Malang.

Pengambilan sampel daun jati, sampel diambil sebanyak 10 sampel (5 sampel daun yang baik dan 5 sampel daun kurang baik). Setiap sampel daun diambil sebanyak 6 lembar dengan berat ≤ 200 g dan dianalisis kandungan unsur hara pada jaringan tanaman jati di laboratorium.

2.3. Analisa data

Hasil analisis jaringan tanaman, selanjutnya dianalisis dengan metode DRIS. Sebelum pembuatan diagram DRIS, terlebih dahulu disusun *norms* nisbah hara pada daun jati. *Norms* nisbah hara ditetapkan berdasarkan hasil analisis daun pada tumbuhan jati yang memiliki produktivitas tinggi. Tahap pertama dalam membuat diagram DRIS adalah menghitung *norms* nisbah hara, yaitu rasio hara tumbuhan jati berproduksi tinggi. *Norms* nisbah hara dinyatakan dengan perbandingan persen unsur hara N dan P (disimbolkan n/p); perbandingan persen unsur hara N dan K (disimbolkan n/k); perbandingan persen unsur hara K dan P (disimbolkan k/p). Masing-masing nisbah dihitung rata-rata, standar deviasi dan koefisien keragamannya. Selanjutnya, nilai *norms* dihitung dari hasil standar deviasi dan koefisien variasi. Diagnosis kualitatif menunjukkan bahwa variasi hara berimbang digambarkan dalam suatu lingkaran yang lebih dikenal dengan diagram DRIS. Titik pusat lingkaran merupakan nilai rata-rata nisbah hara (*Norms*) lingkaran dalam bergaris tengah (rata-rata $\pm 2/3$ standar deviasi) yang merupakan kisaran nilai batas kisaran nisbah hara seimbang. Lingkaran luar bergaris tengah (rata-rata $\pm 4/3$ standar deviasi), yaitu batas kisaran hara yang dinilai kurang seimbang atau mendekati seimbang terletak diantara lingkaran dalam dan lingkaran luar. Nilai rasio hara di lingkaran luar merupakan batas daerah nisbah hara tidak seimbang.

Penghitungan indeks DRIS (Walworth & Sumner, 1987), melalui persamaan sebagai berikut :

$$\text{Indeks N} = \frac{-f\left(\frac{N}{P}\right) + f\left(\frac{N}{K}\right) + f\left(\frac{N}{Ca}\right) + f\left(\frac{N}{Mg}\right)}{4} \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Indeks P} = \frac{-f\left(\frac{N}{P}\right) + f\left(\frac{P}{K}\right) + f\left(\frac{P}{Ca}\right) + f\left(\frac{P}{Mg}\right)}{4} \dots\dots\dots (2)$$

$$\text{Indeks K} = \frac{-f\left(\frac{N}{Ca}\right) - f\left(\frac{P}{Ca}\right) + f\left(\frac{K}{Ca}\right) + f\left(\frac{Ca}{Mg}\right)}{4} \dots\dots\dots (3)$$

$$\text{Indeks Ca} = \frac{-f\left(\frac{N}{P}\right) + f\left(\frac{P}{K}\right) + f\left(\frac{P}{Ca}\right) + f\left(\frac{P}{Mg}\right)}{4} \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Indeks Mg} = \frac{-f\left(\frac{N}{Mg}\right) - f\left(\frac{P}{Mg}\right) - f\left(\frac{K}{Mg}\right) - f\left(\frac{Ca}{Mg}\right)}{4} \dots\dots\dots (5)$$

$$\text{Bila } N/P > n/p, \text{ maka } f(N/P) = \left(\frac{\frac{N}{P}}{\frac{n}{p}} - 1\right) \times 1.000/CV$$

$$\text{Bila } N/P > n/p, \text{ maka } f(N/P) = \left(1 - \frac{\frac{N}{P}}{\frac{n}{p}}\right) \times \frac{1.000}{CV}$$

Untuk analisis statistik dengan pendekatan kuantitatif, maka penggalan data dilakukan melalui *coding* kuantitatif, perhitungan, pengukuran, dan statistik. Analisis ini menggunakan *software* minitab versi.17

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Hasil

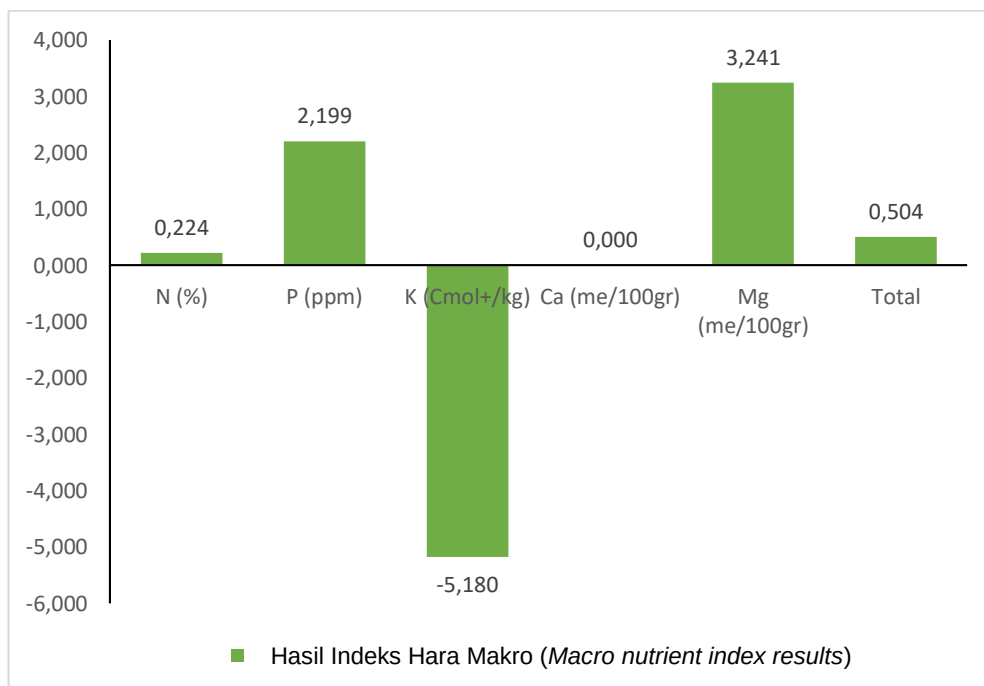
Penentuan rasio terpilih selanjutnya menjadi bahan untuk perhitungan indeks hara makro yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Berdasarkan hasil tersebut, indeks hara makro menunjukkan keseimbangan

unsur hara pada hara N (0,244), P (2,199), Ca (0), dan Mg (3,241). Namun indeks hara K memiliki nilai kekurangan unsur dengan nilai sebesar -5,180. Hasil tersebut memberikan informasi bahwa nilai positif menunjukkan kelebihan unsur hara, nilai 0 menunjukkan seimbang, sedangkan nilai negatif adalah kekurangan unsur hara. Indeks hara yang mendekati nol menunjukkan unsur hara tersebut seimbang (Sumner, 1976).

Selain hasil indeks hara makro, terdapat juga hasil sifat fisik tanah pada lokasi penelitian yang ditunjukkan pada Tabel 1. Di dalam Tabel 1 menunjukkan data berat jenis tanah, porositas, pasir, debu, liat dan tekstur tanah.

Sifat fisik tanah di lokasi penelitian memiliki porisitas antara 51,16-59,89% yang tergolong baik (Bintoro et al., 2017) dengan tekstur tanah, yaitu tanah liat (*clay*) dan tanah liat berlumpur (*silty clay*). Untuk sifat kimia tanah menunjukkan nilai unsur hara yang tersedia di tanah. Unsur hara yang tersedia diantaranya N (0,14%), P (3,15 ppm), K (0,59 Cmol+/kg), Ca (16,95 me/100 g), Mg (0,76 me/100 g) dan C-organik (1,32%).



Gambar (Figure) 1. Hasil indeks hara makro (*Macro nutrient index results*)

Tabel (Table) 1. Hasil sifat fisik tanah (*Results of soil physical properties*)

Nomor (Number)	Kode (Code)	Berat jenis (g/ cm ²) (Soil density)		Porositas (Porosity) (%)	Pasir (Sand) (%)	Debu (Dust) (%)	Liat (Clay) (%)	Kelas tekstur tanah (Soil texture class)
		Isi (Type)	Jenis (Content)					
1	Plot 1	1,06	2,64	59,89	13	34	53	Clay
2	Plot 2	0,94	2,25	58,06	5	47	47	Silty clay
3	Plot 3	1,1	2,5	56,05	11	22	67	Clay
4	Plot 4	1,08	2,7	59,94	7	33	60	Clay
5	Plot 5	1,22	2,5	51,16	6	47	47	Silty clay

3.2. Pembahasan

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa hasil indeks hara pada kawasan RPH Rejosari Malang menunjukkan unsur hara yang seimbang adalah N, P, Ca, dan Mg. Ketersediaan unsur hara pada jaringan tanaman memiliki hubungan dengan ketersediaan unsur hara di tapak hutan, sifat fisik tanah dan sistem perakaran tanaman. Kondisi keseimbangan unsur hara pada jaringan seperti nitrogen menunjukkan nilai seimbang, yaitu 0,244. Terjadinya keseimbangan nitrogen dikarenakan adanya ketersediaan unsur hara di tanah yang menjadi faktor ketersediaan nitrogen pada jaringan tanaman, dimana penyerapan nitrogen pada umumnya melalui akar (Mastur et al., 2016). Pada tanaman yang memiliki kemampuan merespon ketersediaan nitrogen di tanah, tanaman dapat merespon dengan cara menangkap nitrogen melalui intersepsi akar. Apabila nitrogen pada jaringan tanaman penuh, maka tanaman akan mengaktifkan sinyal sitokinin untuk menghambat nitrogen masuk secara berlebihan (Gu et al., 2018). Kelimpahan nitrogen di tanah dijaga dengan meningkatkan mikroorganisme tanah yang berfungsi menguraikan nitrogen (Oksana, Irfan, & Utiyah, 2012). Nitrogen harus dijaga ketersediaannya, misalkan dengan penanaman tanaman leguminosa, apabila tidak dijaga akan menyebabkan kehilangan nitrogen, karena sifat nitrogen di tanah yang mudah menguap (Achmad & Susetyo,

2014). Hal ini didukung juga oleh kondisi tanah di lokasi yang tergolong liat, dimana sifat tanah liat memiliki infiltrasi yang kecil, sehingga dapat mengurangi ketersediaan nitrogen pada jaringan tanaman (Wasis, 2016).

Ketersediaan fosfor (P) pada jaringan tergolong seimbang. Untuk mempertahankan keseimbangan unsur P dapat dilakukan dengan menjaga bakteri pelarut fosfat (Astuti et al., 2013). Peran mikroba tanah sejauh ini memberikan peluang besar ketersediaan unsur hara pada tanah. Kualitas dan kuantitas unsur hara diperlukan untuk kontrol optimalisasi pertumbuhan pohon. Kelemahan unsur P di tanah apabila tanah memiliki sifat asam (peluang ketersediaan Al) dan lempung (Iqbal, 2014). Tanah lempung/liat ditunjukkan oleh hasil analisis sifat fisik tanah pada kawasan. Tanah liat memiliki pori-pori tanah yang kecil, sehingga dapat menghambat penyerapan hara oleh tanaman. Namun kondisi keseimbangan unsur hara fosfor ini normal dan seimbang, sehingga tanaman dapat mengoptimalkan ketersediaan fosfor di tanah untuk diserap tanaman sebagai kebutuhan proses metabolisme.

Kalsium (Ca) tergolong hara yang seimbang berdasarkan perhitungan DRIS (Gambar 1). Kebutuhan Ca bagi tanaman berfungsi untuk pertumbuhan akar (Fajri & Saridan, 2012), menstabilkan membran dan memperkuat dinding sel (Tanari & Tinggogoy, 2014). Hasil diagnosa di lokasi

penelitian untuk unsur hara Ca menunjukkan seimbang. Ini menandakan bahwa tanaman jati di lokasi tidak kekurangan Ca. Keseimbangan unsur Ca ini dapat mendukung optimalisasi pertumbuhan jati. Namun keberadaan Ca yang terlalu tinggi akan mempengaruhi pH tanah dimana sifat Ca yang kation, sehingga ketersediaan Ca yang tinggi akan meningkatkan pH tanah menjadi basa. Untuk menjaga pH dapat dilakukan perlakuan penambahan *biochar* (Tambunan et al., 2014).

Tugas tanaman dalam memasok karbohidrat dari hasil fotosintesis untuk kebutuhan proses metabolisme, didukung oleh unsur hara yang tersedia. Salah satunya adalah Mg dibutuhkan untuk pembentukan klorofil (Sumenda et al., 2011). Walaupun ada unsur lain yang dibutuhkan seperti nitrogen (N) dan besi (Fe), namun ketersediaan Mg merupakan kebutuhan vital. Berdasarkan perhitungan DRIS ketersediaan Mg pada jaringan tanaman tergolong seimbang. Keseimbangan ini mengindikasikan bahwa kebutuhan Mg oleh tanaman tercukupi oleh ketersediaan Mg di tanah.

Salah satu unsur hara yang memiliki nilai negatif dan unsur tersebut tidak seimbang atau kekurangan unsur di dalam jaringan pohon jati tersebut adalah unsur K (kalium). Kehilangan K pada hutan dapat disebabkan oleh tercucinya unsur hara tersebut akibat hujan (Amin et al., 2021). Di sisi lain ketersediaan kalium dapat meningkatkan kualitas dan kuantitas hasil pertanian (Sardans & Peñuelas, 2015). Perlu perhatian khusus untuk meningkatkan ketersediaan K pada tanah. Pada negara Tiongkok atau RRC, untuk meningkatkan K di tanah, dilakukan dengan pemberian pupuk K dan memberikan hasil kecenderungan positif terhadap peningkatan ketersediaan unsur K (Song et al., 2020; Wang et al., 2021), sedangkan di Indonesia pemberian *biochar* dan K dapat meningkatkan serapan unsur K pada jagung (Widowati et al., 2012). Adapun cara lainnya yaitu melalui penggunaan

biochar dari jemari padi (Qayyum et al., 2020) yang terbukti dapat meningkatkan ketersediaan hara K. Selain itu, untuk optimalisasi pohon jati dapat dilakukan dengan pengaturan suhu dan kelembapan lingkungan yang berpengaruh pada proses fisiologi pohon (klorofil dan stomata) (Syarifuddin et al., 2019).

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Nilai keseimbangan hara jati berdasarkan perhitungan DRIS dengan nilai seimbang (nilai indeks hara DRIS > 0) adalah nitrogen, magnesium dan fosfor, sedangkan nilai negatif ditunjukkan oleh kalium yang menandakan ketidakseimbangan unsur hara yang diserap oleh jati. Sebagai bentuk upaya untuk perbaikan kesuburan tanah khususnya ketersediaan unsur hara K, maka perlu dilakukan pemupukan K dan penggunaan *biochar* jerami padi.

4.2. Saran

Upaya konservasi guna memenuhi ketersediaan hara K di bawah tegakan jati perlu didukung pengaplikasian *biochar* yang memiliki berbagai manfaat untuk perbaikan tanah.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih pada Fakultas Pertanian Peternakan Universitas Muhammadiyah Malang yang telah memberikan dana penelitian dalam bentuk penelitian pengembangan IPTEKS. Ucapkan terima kasih juga kepada pihak RPH Rejosari BKPH Sengguruh KPH Malang Perum Perhutani Jawa Timur.

Daftar Pustaka

Achmad, S.R., & Susetyo, I. (2014). Pengaruh proses pencampuran dan cara aplikasi pupuk terhadap kehilangan unsur N. *Warta Perkaratan*, 33(1), 29. <https://doi.org/>

- 10.22302/ppk.wp.v33i1.47
- Alves, G.S., Bertini, S.C.B., Barbosa, B.B., Pimentel, J.P., Junior, V.A.R., Mendes, G. de O., & Azevedo, L.C.B. (2021). Fungal endophytes inoculation improves soil nutrient availability, arbuscular mycorrhizal colonization and common bean growth. *Rhizosphere*, 18(February). <https://doi.org/10.1016/j.rhisph.2021.100330>
- Amin, M.G.M., Akter, A., Jahangir, M.M.R., & Ahmed, T. (2021). Leaching and runoff potential of nutrient and water losses in rice field as affected by alternate wetting and drying irrigation. *Journal of Environmental Management*, 297(July), 113402. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113402>
- Amsili, J.P., van Es, H.M., & Schindelbeck, R.R. (2021). Cropping system and soil texture shape soil health outcomes and scoring functions. *Soil Security*, 4, 100012. <https://doi.org/10.1016/j.soisec.2021.100012>
- Astuti, Y.W., Widodo, L.U., & Budisantosa, I. (2013). Pengaruh Bakteri pelarut fosfat dan bakteri penambat nitrogen terhadap pertumbuhan tanaman tomat pada tanah masam. *UNJ. Purwokerto*, 1(23), 1-9.
- Bintoro, A., Widjajanto, D., & Isrun, I. (2017). Karakteristik fisik tanah pada beberapa penggunaan lahan di Desa Beka Kecamatan Marawola Kabupaten Sigi. *E-J. Agrotekbis*, 5(4), 423-430.
- Domínguez, A., Jiménez, J. J., Ortíz, C.E., & Bedano, J.C. (2018). Soil macrofauna diversity as a key element for building sustainable agriculture in Argentine Pampas. *Acta Oecologica*, 92(November 2017), 102-116. <https://doi.org/10.1016/j.actao.2018.08.012>
- Fajri, M., & Saridan, A. (2012). Ecology study on *Parashorea malaanonan* (Blco) Merr. in Labanan Forest Research Berau Regency, East Kalimantan. *Jurnal Penelitian Dipterokarpa*, 6(2), 141-154.
- Gu, J., Li, Z., Mao, Y., Struik, P.C., Zhang, H., Liu, L., ... Yang, J. (2018). Roles of nitrogen and cytokinin signals in root and shoot communications in maximizing of plant productivity and their agronomic applications. *Plant Science*, 274(January), 320-331. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2018.06.010>
- Gujre, N., Soni, A., Rangan, L., Tsang, D.C.W., & Mitra, S. (2021). Sustainable improvement of soil health utilizing biochar and arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Environmental Pollution*, 268, 115549. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115549>
- Huang, T., Yang, N., Lu, C., Qin, X., & Siddique, K.H.M. (2021). Soil organic carbon, total nitrogen, available nutrients, and yield under different straw returning methods. *Soil and Tillage Research*, 214(July), 105171. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105171>
- Iqbal, M.T. (2014). Phosphorus Alleviates Aluminum Toxicity in Al-Sensitive Wheat Seedlings. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 45(4), 437-450. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.870189>
- Mastur, M., Syarifuddin, S., & Syakir, M. (2016). Peran dan pengelolaan hara nitrogen pada tanaman tebu untuk peningkatan produktivitas tebu. *Perspektif*, 14(2), 73. <https://doi.org/10.21082/p.v14n2.2015.73-86>
- Minasny, B., Akoeb, E.N., Sabrina, T., Wadoux, A.M.J.C., & Mc. Bratney, A.B. (2020). History and interpretation of early soil and organic matter investigations in Deli, Sumatra, Indonesia. *Catena*, 195(June), 104909. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2020.104909>
- Oksana, O., Irfan, M., & Utial, H.M (2012). Pengaruh alih fungsi lahan

- hutan menjadi perkebunan kelapa sawit terhadap sifat kimia tanah. *Jurnal Agroteknologi*, 3(1), 29-34. <http://ejournal.uin-suska.ac.id/index.php/agroteknologi/article/download/92/82>
- Qayyum, M.F., Haider, G., Raza, M.A., Mohamed, A.K.S.H., Rizwan, M., El-Sheikh, M.A., ... Ali, S. (2020). Straw-based biochar mediated potassium availability and increased growth and yield of cotton (*Gossypium hirsutum* L.). *Journal of Saudi Chemical Society*, 24(12), 963-973. <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2020.10.004>
- Sardans, J., & Peñuelas, J. (2015). Potassium: A neglected nutrient in global change. *Global Ecology and Biogeography*, 24(3), 261-275. <https://doi.org/10.1111/geb.12259>
- Song, X. D., Liu, F., Wu, H.Y., Cao, Q., Zhong, C., Yang, J.L., ... Zhang, G.L. (2020). Effects of long-term K fertilization on soil available potassium in East China. *Catena*, 188(December 2019), 104412. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2019.104412>
- Sukitprapanon, T.S., Jantamenchai, M., Tulaphitak, D., & Vityakon, P. (2020). Nutrient composition of diverse organic residues and their long-term effects on available nutrients in a tropical sandy soil. *Heliyon*, 6(11), e05601. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05601>
- Sumenda, L., Rampe, H. L., & Mantiri, F. R. (2011). Analisis kandungan klorofil daun mangga (*Mangifera indica* L.) pada tingkat perkembangan daun yang berbeda. *Jurnal Bios Logos*, 1(1). <https://doi.org/10.35799/jbl.1.1.2011.372>
- Syarifuddin, A., Wibowo, F.A.C., Yusuf, S. A., & Sulistyono, A.D. (2019). Hubungan faktor abiotik terhadap jumlah klorofil dan stomata (ekofisiologi) pada tanaman jati (*Tectona grandis* L.f.) di Kabupaten Malang. *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 3(2), 58-66. <http://www.tjyybjb.ac.cn/CN/article/downloadArticleFile.do?attachType=PDF&id=9987>
- Tambunan, S., Handayanto, E., & Siswanto, B. (2014). Pengaruh aplikasi bahan organik segar dan *biochar* terhadap ketersediaan p dalam tanah di lahan kering malang selatan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan*, 1(1), 89-98.
- Tanari, Y., & Tinggogoy, D.D. (2014). Pengendalian getah kuning manggis melalui pengaturan dosis sumber kalsium. *Jurnal AgroPet*, 11(1), 10-18.
- Tu, X., DeDecker, J., Viens, F., & Snapp, S. (2021). Environmental and management drivers of soil health indicators on Michigan field crop farms. *Soil and Tillage Research*, 213, 105146. <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105146>
- Wang, L., Sun, J., Kai, G., & Sui, N. (2021). Screening of the optimal potassium fertilization rate for maximizing bulb yield and potassium nutrient evaluation in *Fritillaria thunbergii* Miq. *Clinical Complementary Medicine and Pharmacology*, 1(1), 100003. <https://doi.org/10.1016/j.ccmp.2021.100003>
- Walworth, J.L., & Sumner, M.E. (1987). The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). *Soil Science*, 6, 149-188.
- Wasis, B. (2016). Dampak reklamasi pantai terhadap vegetasi dan sifat tanah di kawasan hutan mangrove, Kelurahan Batu Legong Kecamatan Bulang Kota Batam Provinsi Kepulauan Riau. *Departemen Silviculture Fakultas Kehutanan IPB Bogor*, May, 31-48.
- Widowati, W., Asnah, A., & Sutoyo, S. (2012). Pengaruh penggunaan *biochar* dan pupuk kalium terhadap pencucian dan serapan kalium pada tanaman jagung. *Buana Sains*, 12(1), 83-90.
- Yuan, Y., Chen, H., Yuan, W., Williams, D., Walker, J.T., & Shi, W. (2017). Is biochar-manure co-compost a better solution for soil health improvement and N₂O emissions mitigation? *Soil*

Biology and Biochemistry, 113, 14-25.
<https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2017.05.025>

Zhang, M., Zhang, X., Zhang, L., Zeng, L.,
Liu, Y., Wang, X., ... Ai, C. (2021).
The stronger impact of inorganic
nitrogen fertilization on soil bacterial
community than organic fertilization
in short-term condition. *Geoderma*,
382(12),114752. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114752>