

Kajian Potensi Kedelai (*Glycine Max* L.) Sebagai Tanaman Penutup Tanah Pengganti *Mucuna Bracteata* Terhadap Sifat Kimia dan Biologi Tanah Serta Pertumbuhan Kelapa Sawit Belum Menghasilkan

Potential of Soybean (Glycine Max L.) as an Alternative Legume Cover Crop to Mucuna Bracteata for Enhancing Soil Chemical and Biological Properties and Growth Performance of Immature Oil Palm

Eka Listia*, Lisnawita, Fadilla Sapalina, Rizki Desika Putri Pane dan Fandi hidayat

Abstrak Pemanfaatan tanaman penutup tanah berperan penting dalam menjaga kesuburan dan keberlanjutan lahan pada fase tanaman kelapa sawit belum menghasilkan (TBM). Penelitian ini bertujuan mengkaji potensi kedelai (*Glycine max* L.) sebagai pengganti *Mucuna bracteata* terhadap sifat kimia dan biologi tanah serta pertumbuhan kelapa sawit TBM. Penelitian dilaksanakan di Kebun Adolina PTPN IV, Sumatera Utara, menggunakan dua perlakuan, yaitu kelapa sawit dengan *M. bracteata* dan kelapa sawit dengan *intercropping* kedelai, masing-masing diulang tiga kali. Parameter yang diamati meliputi hara tanah dan daun, populasi mikroba fungsional, luas daun, biomassa, serta pertumbuhan vegetatif kelapa sawit. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *intercropping* kedelai memberikan pengaruh yang relatif setara dengan *M. bracteata* terhadap sifat kimia tanah, serta mendukung pertumbuhan vegetatif kelapa sawit yang cenderung lebih tinggi. Namun demikian, populasi mikroba penambat N, pelarut P, dan K lebih tinggi pada perlakuan *M. bracteata*. Secara keseluruhan, kedelai berpotensi digunakan sebagai alternatif tanaman penutup tanah yang mendukung produktivitas dan ekonomi sirkular perkebunan kelapa sawit TBM.

Kata kunci: intercropping, kedelai, kelapa sawit, *Mucuna bracteata*

Abstract The use of cover crops contributes significantly to maintaining soil fertility and land sustainability during the immature phase of oil palm plantations. This study aimed to evaluate the potential of soybean (*Glycine max* L.) as a substitute for *Mucuna bracteata* in relation to soil chemical and biological properties, as well as the growth of immature oil palm. The research was conducted at Adolina Estate, PTPN IV, North Sumatra, using two treatments: oil palm with *M. bracteata* and oil palm intercropped with soybean, each replicated three times. Observed parameters included soil and leaf nutrient contents, functional microbial populations, leaf area, biomass, and vegetative growth of oil palm. The results indicated that soybean intercropping exerted a relatively comparable effect to *M. bracteata* on soil chemical properties and supported slightly higher vegetative growth of oil palm. However, populations of nitrogen-fixing, phosphorus-solubilizing, and potassium-solubilizing microbes were higher under the *M. bracteata* treatment. Overall, soybean has potential as an alternative cover crop that supports productivity and circular economy practices in immature oil palm plantations.

Keywords: intercropping, soybean, oil palm, *Mucuna bracteata*

Penulis yang tidak disertai dengan catatan kaki instansi adalah peneliti pada Pusat Penelitian Kelapa Sawit

Eka Listia* (✉)

Pusat Penelitian Kelapa Sawit
Jl. Brigjen Katamso No. 51 Medan 20158 Indonesia

Email: ekalistia.iopri@gmail.com

PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu komoditas perkebunan terbesar di Indonesia. Komoditas ini telah tumbuh dengan pesat dan menyumbang pendapatan daerah maupun devisa

negara yang cukup tinggi pada sektor non migas (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2023). Kelapa sawit memiliki umur produktif sekitar 25 tahun, setelah itu produktivitasnya menurun dan tidak ekonomis lagi sehingga diperlukan kegiatan peremajaan (*replanting*) (Pusat Penelitian Kelapa Sawit, 2021). Teknik peremajaan yang digunakan saat ini cukup beragam seperti tumbang serempak, *underplanting*, dan tumbang bertahap, masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan (Sipayung *et al.*, 2022). Pada fase Tanaman Belum Menghasilkan (TBM) pasca peremajaan, terdapat potensi lahan kosong yang cukup luas dan dapat dimanfaatkan untuk menanam tanaman sela (Nkongho *et al.*, 2015).

Sistem *replanting* tumbang serempak yang dikombinasikan dengan sistem tumpang sari (*intercropping*) merupakan alternatif sistem peremajaan yang mampu memberikan keuntungan dari aspek ekonomis dan agronomis (Adawiah *et al.*, 2024). Sistem ini mendukung pertumbuhan tanaman kelapa sawit serta dapat menjadi sumber pendapatan alternatif selama masa TBM. Pada masa TBM (0-3 tahun), ukuran kanopi dan akar tanaman masih relatif belum berkembang, sebagian besar dari lahan tersebut terbuka dan mendapat cahaya matahari secara penuh, sehingga dapat digunakan untuk menanam tanaman sela (Nchanji *et al.*, 2016). Dalam penelitiannya, Subah & Tayeb (1999) mengatakan bahwa lahan yang tersedia untuk ditanami dengan tanaman sela-semusim pada umur tanaman kelapa sawit umur 0-1 tahun sebesar 50-80%, umur 1-2 tahun sebesar 35-50%, dan umur 2-3 tahun sebesar 15-35% dengan jarak tanam kelapa sawit umumnya, yaitu 9 m x 9 m x 9 m. Melalui penerapan beberapa metode kultur teknis dan manajemen tanaman yang tepat, beberapa jenis tanaman sela dapat ditumpang-sarikan dengan baik pada kebun kelapa sawit TBM. Nurjannah *et al.* (2021) menyampaikan bahwa *intercropping* cabai merah pada kebun kelapa sawit TBM dengan jarak tanam yang tepat akan menghasilkan produksi yang tinggi tanpa mengganggu pertumbuhan tanaman kelapa sawit. Selanjutnya menurut Harun *et al.* (2025), padi gogo berpotensi dikembangkan sebagai tanaman sela, hal ini menjadi dasar ilmiah bagi optimalisasi pemanfaatan lahan perkebunan kelapa sawit untuk mendukung diversifikasi pangan dan peningkatan pendapatan petani tanpa mengganggu produksi utama kelapa sawit.

Meskipun memiliki peluang dan dampak positif

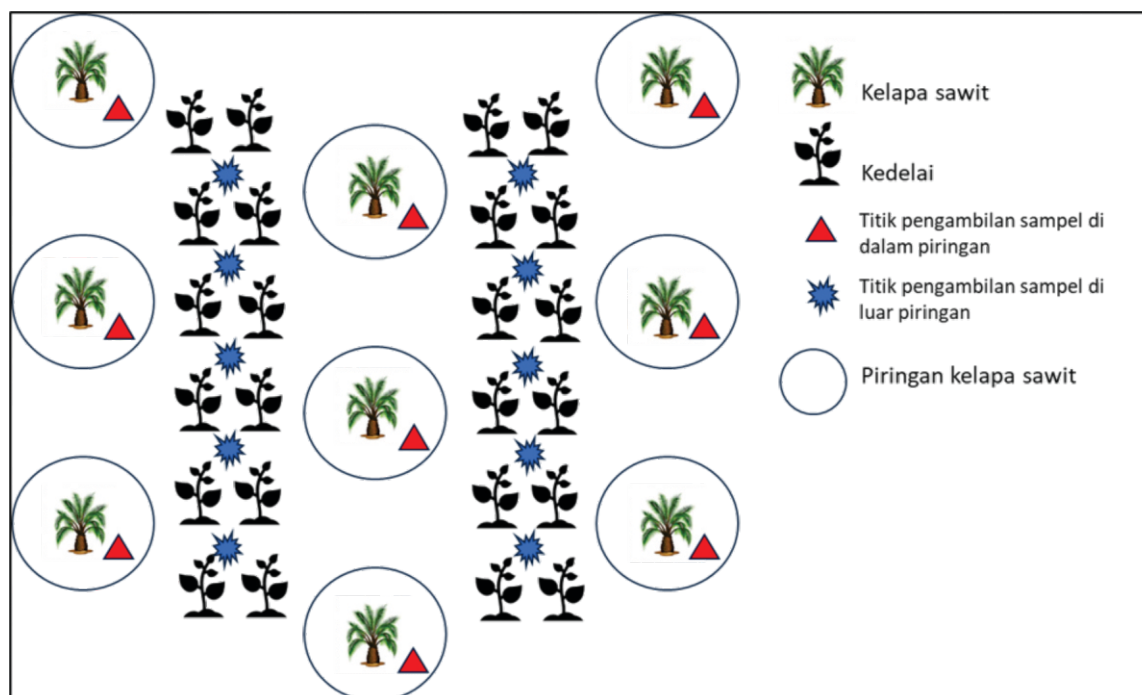
yang besar, terdapat banyak variabel dan teknologi yang harus dikaji lebih lanjut dalam penerapan sistem *intercropping* ini. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pemilihan tanaman, jarak tanam, serta kultur teknis yang tidak tepat akan berdampak pada performa tanaman kelapa sawit karena terjadinya kompetisi hara, air dan cahaya dengan tanaman sela (Wahyudin, *et al.*, 2026; Woittiez, *et al.*, 2025). Dalam penelitian ini, dilakukan kajian terhadap *intercropping* kelapa sawit dengan kedelai. Penelitian ini khususnya mengkaji pengaruh tanaman sela kedelai dalam meningkatkan hara tanah, populasi mikroba, serta tentunya pertumbuhan kelapa sawit. Lebih lanjut, juga dilakukan perbandingan tanaman penutup tanah konvensional pada perkebunan kelapa sawit yaitu *Mucuna bracteata*. Penelitian ini diharapkan dapat menyajikan informasi detail mengenai peran positif kedelai sebagai tanaman sela sekaligus tanaman penutup pengganti *M. bracteata*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi kedelai (*Glycine max* L.) sebagai tanaman penutup tanah pengganti *M. bracteata* dalam sistem tumpang-sari kelapa sawit belum menghasilkan, melalui evaluasi pengaruhnya terhadap sifat kimia dan biologi tanah, termasuk peningkatan hara dan populasi mikroba, serta dampaknya terhadap pertumbuhan kelapa sawit.

BAHAN DAN METODE

Penelitian dilakukan di Kebun Adolina PT Perkebunan Nusantara IV, Sumatera Utara dari Januari-Juni 2023. Uji ketersediaan hara tanah, hara daun dan populasi mikroba dilakukan di Laboratorium Pelayanan Jasa, Pusat Penelitian Kelapa Sawit (PPKS) Medan. Bahan yang digunakan adalah bahan tanaman *M. bracteata* dan kedelai varietas Anjasmoro, kantung serasah (*litter bag*), alat-alat analisis hara, tali, pengukur kuadrat, pancang, timbangan analitik, oven, gunting, dan peralatan lainnya.

Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) dengan dua perlakuan, yaitu *intercropping* kelapa sawit dengan *M. bracteata* dan *intercropping* kelapa sawit dengan kedelai. Masing-masing perlakuan diulang sebanyak tiga kali sehingga diperoleh enam plot percobaan. Setiap plot percobaan terdiri atas sembilan tanaman sampel, sehingga total terdapat 54 tanaman kelapa sawit yang diamati.



Gambar 1. Denah plot dan titik pengambilan sampel tanaman kelapa sawit dan tanah
Figure 1. Layout of plots and sampling points for oil palm and soil.

Penanaman Kelapa Sawit, Tanaman Penutup Tanah dan Kedelai

Bibit kelapa sawit yang ditanam merupakan bibit siap tanam berumur 12 bulan yang bersumber dari bahan tanaman Pusat Penelitian Kelapa Sawit. Penanaman menggunakan pola tanam segitiga sama sisi dengan populasi 143 pohon/ha, jarak tanam yang digunakan adalah 9 m jarak antar tanaman dan 7,8 m jarak antar barisan tanaman. Pembuatan lubang tanam dilakukan secara mekanis dengan ukuran 60 cm x 60 cm x 60 cm dan diberikan pupuk RP (*Rock Phosphate*) sebanyak 250 gr sebagai pupuk dasar pada lubang tanam.

Tanaman penutup tanah *M. bracteata* ditanam sebelum penanaman bibit kelapa sawit dilakukan. Secara teknis, bibit kelapa sawit bisa ditanam setelah minimal 40% areal sudah tertutup oleh *M. bracteata*. Hal tersebut bertujuan untuk menjaga kelembaban tanah, mengurangi erosi permukaan dan menambah bahan organik dan cadangan unsur hara dan menekan pertumbuhan gulma, serta meminimalkan serangan *Oryctes*.

Kedelai ditanam pada gawangan mati dengan

jarak tanam 40 cm x 15 cm (dua biji per lubang tanam). Pupuk dasar diaplikasikan seminggu sebelum penanaman benih kedelai, berupa pupuk organik sebanyak 10 ton/ha atau pupuk hayati sebanyak 500kg/ha. Pupuk organik maupun pupuk hayati yang digunakan sebagai pupuk dasar ditaburkan secara merata di atas permukaan tanah. Pemupukan NPK 16:16:16 dilakukan segera setelah penanaman benih kedelai dengan cara ditempatkan pada lubang di samping lubang tanam benih kedelai. Dosis pupuk NPK 16:16:16 yang digunakan yaitu 150 kg/ha tanaman kedelai.

Parameter yang diamati

Kadar Hara Tanah Tersedia

Sampel tanah awal diambil secara acak pada sembilan titik dengan kedalaman 0-10 cm kemudian dikompositkan. Sampel tanah tersebut kemudian dianalisis di Laboratorium Unit Layanan Jasa PPKS dengan parameter pengamatan adalah pH, C/N, P, K, Ca dan Mg. Sampel tanah selanjutnya diambil setelah tanaman kedelai selesai di panen.

Kerapatan Populasi Mikroba

Pengambilan sampel tanah dilakukan pada sembilan titik sampel pada masing-masing perlakuan pada kedalaman 0-10 cm. Selanjutnya mikroba diisolasi dengan media selektif yaitu Media N-free medium untuk bakteri penambat nitrogen, Media Pikovskaya untuk pelarut fosfat dan Media Alexandrov untuk penambat kalium. Selanjutnya kerapatan mikroba tersebut dihitung menggunakan Metode Planting Count.

W : bobot kering daun (kg)

P : luas petiola

Kadar Hara Daun

Pengambilan sampel daun kepala sawit dilakukan setelah kedelai selesai panen. Pengambilan sampel dilakukan di sembilan titik sampel. Analisis hara daun yang dilakukan adalah analisis kandungan N, P, K, Ca dan Mg.

Pertumbuhan Vegetatif Tanaman Kelapa Sawit

Parameter vegetatif yang diamati meliputi panjang rachis, tebal dan lebar petiola, panjang dan lebar anak daun, jumlah anak daun satu sisi dan jumlah pelepah. Pengukuran parameter vegetatif tersebut dilakukan pada pelepah ke-9 untuk mendapatkan nilai luas daun (*Leaf Area / LA*) dan indeks luas daun (*Leaf Area Index/LAI*). Selain itu juga dilakukan pengukuran estimasi biomassa. Pengamatan dilakukan setiap interval 4 bulan sebanyak 2 kali pengamatan di 60 tanaman sampel.

Perhitungan biomassa kelapa sawit dihitung dengan metode non-destruktif dengan formula sebagai berikut (Corley dan Tinker, 2016):

$$W = 0,102P + 0,21$$

Keterangan:

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kadar Hara Tanah Tersedia

Analisis kadar tanah pada Tabel 1. menunjukkan bahwa kadar C/N rasio pada *M. bracteata* dan sistem *intercropping* kedelai tidak berpengaruh nyata masing-masing sebesar 8.48 dan 8.26. Namun demikian, rasio C/N tersebut mengalami penurunan dibandingkan dengan rasio C/N sebelum tanam yaitu 9.70. Kadar N yaitu 0.1% pada areal dengan tutupan *M. bracteata* dan 0.08% pada *intercropping* kedelai. Sementara itu, kandungan P (72.82 ppm) pada tutupan kacang *Mucuna bracteata* lebih tinggi dibandingkan kondisi awal. Adapun pada tanaman sela kedelai mengalami penurunan nilai P tersedia. Kadar hara K pada kedua perlakuan menunjukkan penurunan nilai K. Demikian halnya dengan kadar hara Ca dan Mg, tetapi kadar hara Mg pada tanaman sela kedelai lebih tinggi dibandingkan tutupan kacang *M. Bracteata*.

Tabel 1. Kadar hara tersedia pada tanah dengan perlakuan *M. bracteata* dan *intercropping* kedelai.

Table 1. Soil available nutrient levels under *M. bracteata* cover crop and soybean *intercropping* treatments.

Perlakuan	C/N	N (%)	P (ppm)	K (m.e/100g)	Ca (m.e/100g)	Mg (m.e/100g)
Analisis awal	9,70a	0,09a	67,34a	0,51a	3,84a	1,49a
<i>M. bracteata</i>	8,48a	0,10a	72,82a	0,46a	1,66a	0,59a
<i>Intercropping</i>						
Kedelai	8,26a	0,08a	59,76a	0,42a	1,65a	0,60a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kelompok perlakuan yang berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%

Note: Values followed by different letters within different treatment groups indicate significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at the 5% significance level

Penurunan rasio C/N tersebut menunjukkan bahwa proses dekomposisi bahan organik berlangsung lebih cepat, yang berarti ketersediaan nitrogen relatif meningkat atau kandungan karbon organik menurun. Rasio C/N yang rendah umumnya mencerminkan tingginya aktivitas mikroorganisme dalam menguraikan bahan organik, sehingga nitrogen lebih cepat tersedia dalam bentuk mineral bagi tanaman. Namun demikian, rasio yang terlalu rendah dapat menyebabkan nitrogen mudah hilang melalui proses pelindian atau volatilisasi apabila tidak diimbangi dengan penambahan bahan organik baru (Dhandapani *et al.*, 2019) dan sejalan dengan Li *et al.* (2014) yang menemukan bahwa semakin rendah rasio C/N pada bahan organik, semakin cepat laju mineralisasi N yang dihasilkan.

Kadar hara N tanaman kelapa sawit pada perlakuan *M. bracteata* dan kedelai tidak berpengaruh nyata dengan analisis hara awal. Hal tersebut mungkin disebabkan oleh kompetisi nitrogen antara tanaman kedelai dengan tanaman utama atau imobilisasi nitrogen oleh mikroorganisme tanah (Zhang *et al.*, 2021). Dengan demikian, praktik pengelolaan tanah yang baik perlu mempertahankan keseimbangan antara karbon dan nitrogen melalui penambahan bahan organik seperti kompos, jerami, atau residu tanaman untuk menjaga kestabilan bahan organik tanah (Tang *et al.*, 2020).

Kadar fosfor (P) tersedia menunjukkan perbedaan yang menarik antar perlakuan. Pada *M. bracteata*, P meningkat menjadi 72,82 ppm dibandingkan hasil analisis tanah awal (67,34 ppm), sedangkan pada *intercropping* kedelai justru menurun menjadi 59,76 ppm (Tabel 1). Peningkatan P pada perlakuan *M. bracteata* kemungkinan disebabkan oleh kemampuan tanaman ini atau mikroorganisme asosiasinya dalam memobilisasi P melalui eksudat akar atau peningkatan aktivitas mikroba pelarut P. Hal ini sesuai dengan Tang *et al.* (2020) yang menyimpulkan bahwa sistem tanam campuran, khususnya yang melibatkan tanaman berakar dalam atau yang menghasilkan asam organik tertentu, dapat meningkatkan efisiensi penggunaan dan ketersediaan P dalam tanah. Sebaliknya, penurunan P pada *intercropping* kedelai menunjukkan bahwa tanaman kedelai mengambil P dalam jumlah yang cukup besar selama pertumbuhan, sehingga residu P yang tersisa dalam tanah setelah panen menjadi lebih rendah. Fenomena ini juga

sejalan dengan Pandey *et al.* (2014), yang menyatakan bahwa peningkatan efisiensi serapan hara oleh tanaman *intercropping* sering kali diikuti dengan penurunan kadar hara tersedia di tanah setelah panen. Rabbani, *et al.*, (2023) menyampaikan bahwa P berperan penting dalam pertumbuhan kedelai, pembentukan nodul, serta peningkatan produksi dengan peningkatan jumlah cabang per tanaman, panjang polong, jumlah polong per tanaman, jumlah biji per polong, serta kandungan protein dan minyak.

Kandungan kalium (K), kalsium (Ca), dan magnesium (Mg) menunjukkan tren yang menurun dibandingkan dengan hasil analisa tanah awal. Kadar K turun dari 0,51 me/100 g pada hasil analisis tanah awal menjadi 0,46 me/100 g pada *M. bracteata* dan 0,42 me/100 g pada *intercropping* kedelai (Tabel 1). Penurunan ini kemungkinan disebabkan oleh peningkatan pengambilan K oleh tanaman serta adanya pencucian (*leaching*) karena K merupakan unsur yang mudah larut. Kalsium (Ca) dan magnesium (Mg) juga mengalami penurunan signifikan dari hasil analisis tanah awal (Ca = 3,84 me/100 g dan Mg = 1,49 me/100 g) menjadi sekitar 1,65 me/100 g dan 0,60 me/100 g pada kedua perlakuan (Tabel 1). Menurunnya unsur-unsur basa ini dapat mengindikasikan bahwa aktivitas akar dan mikroba di bawah sistem tanaman berlapis menyebabkan perubahan kompleks kation di tanah yang memengaruhi keseimbangan hara (Zhang *et al.*, 2021). Selain itu, pengambilan hara oleh tanaman yang intens tanpa pengembalian residu atau penambahan pupuk dasar dapat mengurangi ketersediaan Ca dan Mg. Kondisi ini harus diantisipasi karena Ca dan Mg berperan penting dalam menjaga kestabilan struktur tanah, aktivitas enzim, dan pembentukan dinding sel tanaman.

Kerapatan Populasi Mikroba

Aktivitas mikroba tanah menunjukkan adanya perbedaan antara perlakuan *M. bracteata* dan *intercropping* kedelai. Populasi bakteri penambat N pada *M. bracteata* tercatat sebesar $6,0 \times 10^4$ cfu/g tanah, jauh lebih tinggi dibandingkan pada sistem *intercropping* kedelai yang hanya $6,2 \times 10^3$ cfu/g tanah. Demikian pula, populasi mikroba pelarut P pada *M. bracteata* mencapai $7,7 \times 10^4$ cfu/g tanah, sedangkan pada *intercropping* kedelai hanya $1,5 \times$

10^4 cfu/g tanah. Aktivitas mikroba pelarut K juga menunjukkan pola serupa, dengan nilai $3,6 \times 10^3$ cfu/g tanah pada *M. bracteata* dan $3,1 \times 10^2$ cfu/g tanah pada *intercropping* kedelai (Tabel 2).

Tabel 2. Populasi bakteri Penambat N, Pelarut P dan Pelarut K dengan perlakuan *M. bracteata* dan *intercropping* kedelai (cfu g⁻¹ tanah).

Table 2. Populations of nitrogen-fixing, phosphate-solubilizing, and potassium-solubilizing bacteria under *M. bracteata* cover crop and soybean intercropping treatments (cfu g⁻¹ soil).

Perlakuan	Penambat N	Pelarut P	Pelarut K
<i>M. bracteata</i>	$6,0 \times 10^4$ a	$7,7 \times 10^4$ a	$3,6 \times 10^3$ a
<i>Intercropping</i> Kedelai	$6,2 \times 10^3$ a	$1,5 \times 10^4$ a	$3,1 \times 10^2$ a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kelompok perlakuan yang berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%

Note: Values followed by different letters within different treatment groups indicate significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at the 5% significance level

Populasi bakteri penambat N pada *M. bracteata* lebih tinggi dibandingkan sistem *intercropping* kedelai disebabkan keberadaan *M. bracteata* sangat mendukung pertumbuhan dan aktivitas mikroorganisme penambat N di dalam tanah. Kondisi tersebut dapat disebabkan oleh pengaruh eksudat akar *M. bracteata* yang kaya senyawa karbon sederhana seperti asam amino dan gula, yang berperan sebagai sumber energi bagi mikroorganisme tanah (Barea *et al.*, 2017). Selain itu, sistem perakaran tanaman ini yang dalam dan lebat berpotensi meningkatkan mikrohabitat serta aerasi tanah, sehingga populasi mikroba penambat nitrogen seperti *Azotobacter* dan *Azospirillum* dapat berkembang optimal (..).

Tingginya populasi bakteri penambat N pada *M. bracteata* juga berkaitan dengan hasil analisis kimia tanah sebelumnya, di mana kadar nitrogen total tanah pada perlakuan ini sedikit lebih tinggi dibandingkan *intercropping* kedelai. Menurut Mishra *et al.* (2021), peningkatan populasi mikroba penambat nitrogen umumnya berbanding lurus dengan peningkatan mineralisasi N organik di tanah, karena mikroba tersebut berperan langsung dalam proses fiksasi nitrogen atmosfer menjadi bentuk amonium yang tersedia bagi tanaman. Sebaliknya, rendahnya populasi mikroba penambat N pada sistem *intercropping* kedelai kemungkinan disebabkan oleh adanya kompetisi antara tanaman dan mikroba dalam penggunaan karbon dan nitrogen tanah. Meskipun kedelai merupakan legum yang memiliki kemampuan

fiksasi biologis nitrogen melalui simbiosis dengan *Rhizobium*, aktivitas ini lebih terlokalisasi pada nodul akar tanaman, sehingga kontribusinya terhadap populasi bakteri bebas di tanah bisa lebih kecil dibanding sistem monokultur tanaman penutup tanah seperti *M. bracteata* (Bhattacharyya *et al.*, 2020).

Populasi mikroba pelarut fosfat juga menunjukkan perbedaan antar perlakuan. Pada perlakuan *M. bracteata*, jumlah bakteri pelarut P mencapai $7,7 \times 10^4$ cfu/g tanah, sedangkan pada *intercropping* kedelai hanya $1,5 \times 10^4$ cfu/g tanah. Hal ini mengindikasikan bahwa *M. bracteata* mampu menciptakan lingkungan rizosfer yang lebih kondusif bagi perkembangan mikroba pelarut fosfat seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, dan *Aspergillus*. Mikroba akan menghasilkan asam organik (misalnya asam sitrat, laktat, dan glukonat) yang dapat melarutkan senyawa fosfat tidak larut seperti $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ menjadi bentuk ortofosfat yang tersedia bagi tanaman (Khan *et al.*, 2014). Tingginya aktivitas mikroba pelarut P pada *M. bracteata* sejalan dengan temuan bahwa kadar P tersedia di tanah pada perlakuan tersebut juga lebih tinggi dibandingkan hasil analisis tanah awal maupun *intercropping* kedelai. Sebaliknya, populasi mikroba pelarut P yang lebih rendah pada *intercropping* kedelai mungkin berkaitan dengan intensitas penyerapan fosfat oleh akar tanaman legum, yang dapat mengurangi cadangan P tersedia dan menekan pertumbuhan mikroba pelarut karena keterbatasan substrat. Selain itu, interaksi kompetitif antara mikroba pelarut fosfat dengan *Rhizobium* pada akar kedelai juga bisa menghambat

aktivitas pelarutan fosfat (Chen *et al.*, 2021).

Sementara itu, aktivitas mikroba pelarut kalium (K) juga menunjukkan tren serupa. Populasi mikroba pelarut K pada *M. bracteata* mencapai $3,6 \times 10^3$ cfu/g tanah, sedangkan pada *intercropping* kedelai hanya sebesar $3,1 \times 10^2$ cfu/g tanah. Meskipun jumlahnya lebih rendah dibandingkan bakteri penambat N dan pelarut P, mikroba pelarut K berperan penting dalam mengubah bentuk mineral kalium bentuk batuan seperti feldspar menjadi ion K^+ yang dapat diserap oleh tanaman. Bakteri dari genus *Bacillus mucilaginosus* dan *Frateuria aurantia* diketahui memiliki kemampuan melarutkan kalium melalui sekresi asam organik dan pembentukan kompleks kelat (Basak & Biswas, 2020). Besarnya populasi mikroba pelarut K pada *M. bracteata* mengindikasikan aktivitas biologis tanah yang lebih dinamis dibanding sistem *intercropping* kedelai. Hal ini didukung pula oleh nilai K tersedia dalam tanah yang relatif lebih tinggi pada *M. bracteata* dibanding *intercropping*, sebagaimana dilaporkan pada analisis kimia tanah sebelumnya.

Perbedaan dalam populasi mikroba tanah antara *M. bracteata* dan *intercropping* kedelai menunjukkan bahwa kedua sistem tanam tersebut menciptakan lingkungan mikrobiologis yang berbeda. *M. bracteata* cenderung membentuk ekosistem tanah yang lebih aktif secara biologis dengan populasi mikroba yang tinggi, didorong oleh sistem akar yang ekstensif dan eksudat kaya karbon yang mendukung pertumbuhan mikroba heterotrofik. Sebaliknya, sistem *intercropping* kedelai menunjukkan populasi mikroba yang lebih rendah,

kemungkinan akibat kompetisi antarspesies tanaman terhadap hara dan ruang, serta intensitas penyerapan unsur hara oleh tanaman legum yang tinggi sehingga menurunkan substrat bagi mikroba tanah. Dalam jangka panjang, pengelolaan sistem tanam campuran yang melibatkan legum seperti kedelai tetap penting karena dapat menjaga keseimbangan ekosistem mikroba melalui variasi substrat organik dan interaksi akar yang kompleks (Singh *et al.*, 2018).

Pertumbuhan Vegetatif Kelapa Sawit

Pertumbuhan tanaman kelapa sawit menunjukkan peningkatan pada kedua perlakuan selama periode pengamatan. Pada Tabel 3 menunjukkan perlakuan *M. bracteata*, tinggi tanaman kelapa sawit meningkat dari 78,1 cm menjadi 118,4 cm. Lingkar batang juga bertambah dari 143,7 cm menjadi 232 cm. Jumlah pelepah meningkat dari 26,4 pelepah menjadi 38 pelepah, dan panjang rachis juga meningkat dari 177,4 cm menjadi 272 cm.

Pada sistem *intercropping* kedelai, pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit cenderung lebih tinggi dibandingkan pada perlakuan *M. bracteata*. Tinggi tanaman kelapa sawit meningkat dari 68,5 cm menjadi 131,5 cm. Lingkar batang bertambah dari 133,6 cm menjadi 248 cm, jumlah pelepah meningkat dari 23,6 pelepah menjadi 40,5 pelepah dan panjang rachis bertambah dari 170,6 cm menjadi 268 cm.

Tabel 3. Tinggi tanaman, lingkar batang, jumlah pelepah dan panjang rachis kelapa sawit pada dengan perlakuan *M. bracteata* dan *intercropping* kedelai.

Table 3. Plant height, stem circumference, number of fronds, and rachis length of oil palm under *M. bracteata* cover crop and soybean *intercropping* treatments.

	Perlakuan	Tinggi		Lingkar		Jumlah		Panjang	
		tanaman		batang		pelepah		rachis (cm)	
		(cm)		(cm)					
Awal	<i>M. bracteata</i>	78,1	a	143,7	a	26,4	a	177,4	a
	<i>Intercropping</i>	68,5	a	133,6	a	23,6	a	170,6	a
	Kedelai								

(continued)

Perlakuan		Tinggi tanaman (cm)		Lingkar batang (cm)		Jumlah pelepah		Panjang rachis (cm)	
Akhir	<i>M. bracteata</i>	118,4	a	232,0	a	38,0	a	272,0	a
	<i>Intercropping</i>	131,5	a	248,0	a	40,5	a	268,0	a
	Kedelai								

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kelompok perlakuan yang berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%

Note: Values followed by different letters within different treatment groups indicate significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at the 5% significance level

Pertumbuhan tanaman kelapa sawit pada kedua perlakuan tidak menunjukkan perbedaan yang nyata selama periode pengamatan, baik pada sistem dengan *M. bracteata* maupun pada *intercropping* kedelai (Tabel 3). Peningkatan pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit pada perlakuan *M. bracteata* ini menunjukkan bahwa keberadaan *M. Bracteata* sebagai tanaman penutup tanah tidak memberikan efek negatif terhadap pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit muda. Sebaliknya, sistem ini mampu menjaga kelembapan tanah, meningkatkan aktivitas mikroba, dan memperbaiki struktur tanah, sehingga mendukung penyerapan unsur hara oleh akar kelapa sawit (Rahman *et al.*, 2019). Penelitian sebelumnya Zakaria *et al.* (2020) menyebutkan bahwa penggunaan *M. bracteata* sebagai penutup tanah dapat meningkatkan ketersediaan unsur hara makro (N, P, K) melalui pelapukan biomassa daun yang cepat dan tingginya aktivitas mikroba pelarut hara di zona perakaran. Kondisi ini memperbaiki keseimbangan nutrisi serta meningkatkan efisiensi fisiologis tanaman kelapa sawit dalam proses fotosintesis dan pembentukan jaringan baru.

Sementara itu, pada sistem *intercropping* kedelai, pertumbuhan kelapa sawit menunjukkan hasil yang relatif lebih tinggi pada beberapa parameter dibandingkan perlakuan *M. bracteata*. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem *intercropping* kedelai memberikan pengaruh positif terhadap pertumbuhan vegetatif kelapa sawit muda, meskipun peningkatannya tidak berbeda nyata. Kelebihan sistem *intercropping* kedelai dapat dijelaskan melalui kemampuan tanaman legum untuk memperbaiki status nitrogen tanah melalui simbiosis dengan bakteri

Rhizobium, yang membentuk bintil akar dan mengikat nitrogen atmosfer (N_2) menjadi bentuk amonium (NH_4^+) yang tersedia bagi tanaman (Peoples *et al.*, 2019). Nitrogen merupakan unsur esensial bagi pertumbuhan vegetatif, karena berperan dalam pembentukan klorofil, protein struktural, dan asam amino. Oleh karena itu, peningkatan ketersediaan nitrogen akibat aktivitas biologis kedelai dapat secara langsung mendukung pertumbuhan tinggi tanaman dan pembentukan daun serta pelepah baru pada kelapa sawit muda. Selain itu, sistem *intercropping* kedelai juga dapat memperbaiki iklim mikro di sekitar tanaman utama melalui peningkatan kelembapan udara, pengurangan erosi tanah, dan perbaikan porositas tanah (Siregar *et al.*, 2021).

Meskipun demikian, peningkatan pertumbuhan yang lebih tinggi pada sistem *intercropping* kedelai perlu dianalisis lebih lanjut, karena potensi kompetisi antar spesies terhadap unsur hara dan cahaya tetap ada. Pada fase awal pertumbuhan, kedelai memiliki siklus hidup yang lebih cepat dibandingkan kelapa sawit, sehingga kompetisi terhadap cahaya dan air relatif kecil. Namun demikian, pada fase vegetatif akhir, keberadaan kedelai dapat menurunkan ketersediaan unsur P dan K di lapisan atas tanah akibat penyerapan intensif oleh akar legum (Utami *et al.*, 2018). Hal ini terlihat dari hasil analisis kimia tanah sebelumnya, di mana kadar P dan K pada perlakuan *intercropping* kedelai sedikit lebih rendah dibandingkan *M. bracteata*. Dengan demikian, meskipun pertumbuhan kelapa sawit pada *intercropping* kedelai terlihat lebih tinggi, keberlanjutan sistem ini perlu dievaluasi dalam jangka panjang, terutama untuk menjaga keseimbangan hara dan aktivitas mikroba tanah.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa baik *M. bracteata* maupun *intercropping* kedelai sama-sama mampu mendukung pertumbuhan vegetatif kelapa sawit muda tanpa menimbulkan efek negatif yang signifikan. *M. bracteata* unggul dalam menjaga kualitas tanah dan kestabilan ekosistem mikroba, sedangkan *intercropping* kedelai menunjukkan potensi peningkatan pertumbuhan melalui suplai nitrogen biologis. Kombinasi keduanya dalam sistem pengelolaan terpadu berpotensi menjadi strategi berkelanjutan dalam budidaya kelapa sawit ramah lingkungan, karena mampu mengoptimalkan fungsi

biologis tanah, efisiensi hara, dan produktivitas tanaman dalam jangka panjang (Yahya *et al.*, 2020).

Pada Tabel 4 menunjukkan luas daun kelapa sawit pada *intercropping* kedelai mencapai 2,29 m², sedangkan pada *M. bracteata* hanya 2,00 m². Nilai indeks luas daun juga menunjukkan tren serupa, yaitu 1,54 m² pada *intercropping* kedelai dan 1,30 m² pada *M. bracteata*. Estimasi biomassa tanaman memperlihatkan bahwa *intercropping* kedelai memiliki akumulasi biomassa yang lebih tinggi, yaitu 1,04 kg per pohon, dibandingkan *M. bracteata* yang hanya 0,87 kg per pohon.

Tabel 4. Luas daun (m²), indeks luas daun (LAI), dan estimasi biomassa (kg/pohon) kelapa sawit dengan perlakuan *M. bracteata* dan *intercropping* kedelai.

Table 4. Leaf area (m²), leaf area index (LAI), and estimated biomass (kg per tree) of oil palm under *M. bracteata* cover crop and soybean *intercropping* treatments.

Perlakuan	Leaf area (m ²)	LAI (m ²)	Estimasi Biomassa (kg/pohon)
<i>M. bracteata</i>	2,00 a	1,30 a	0,87 a
<i>Intercropping</i> kedelai	2,29 a	1,54 a	1,04 a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kelompok perlakuan yang berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%

Note: Values followed by different letters within different treatment groups indicate significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at the 5% significance level

Luas daun kelapa sawit pada sistem *intercropping* kedelai lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan *M. bracteata* menunjukkan bahwa keberadaan tanaman sela kedelai kemungkinan memberikan kondisi lingkungan yang lebih mendukung bagi pertumbuhan vegetatif tanaman kelapa sawit. Luas daun merupakan salah satu indikator penting dalam menilai kapasitas fotosintesis tanaman, karena semakin luas permukaan daun maka semakin besar pula kemampuan tanaman dalam menangkap radiasi matahari dan melakukan proses fotosintesis (Taiz *et al.*, 2015).

Nilai indeks luas daun (*Leaf Area Index/LAI*) juga menunjukkan pada sistem *intercropping* kedelai lebih tinggi dibandingkan perlakuan *M. bracteata*. LAI merupakan parameter penting yang menggambarkan tingkat penutupan tajuk tanaman terhadap permukaan tanah dan erat kaitannya dengan efisiensi pemanfaatan cahaya oleh tanaman. Nilai LAI yang lebih tinggi umumnya berkorelasi dengan peningkatan kemampuan fotosintesis kanopi tanaman serta potensi

pertumbuhan biomassa yang lebih besar (Hatfield *et al.*, 2016).

Perbedaan pertumbuhan ini juga tercermin pada estimasi biomassa tanaman. Tanaman kelapa sawit pada sistem *intercropping* kedelai memiliki estimasi biomassa sebesar 1,04 kg per pohon, lebih tinggi dibandingkan dengan perlakuan *M. bracteata* yang sebesar 0,87 kg per pohon. Biomassa tanaman pada dasarnya merupakan hasil akumulasi dari proses fotosintesis yang berlangsung selama pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, peningkatan luas daun dan LAI pada sistem *intercropping* kedelai kemungkinan turut berkontribusi terhadap peningkatan akumulasi biomassa tersebut. Keunggulan sistem *intercropping* kedelai dalam meningkatkan pertumbuhan vegetatif kelapa sawit juga dapat dikaitkan dengan karakteristik tanaman kedelai sebagai tanaman legum yang mampu melakukan fiksasi nitrogen biologis melalui simbiosis dengan bakteri *Rhizobium*. Proses ini dapat meningkatkan ketersediaan nitrogen di dalam tanah

yang kemudian dapat dimanfaatkan oleh tanaman utama. Selain itu, residu tanaman kedelai yang tertinggal setelah panen juga dapat menjadi sumber bahan organik dan unsur hara yang mendukung pertumbuhan tanaman (Inckot *et al.*, 2017).

Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa sistem *intercropping* pada perkebunan kelapa sawit muda dapat meningkatkan efisiensi pemanfaatan lahan sekaligus memperbaiki kondisi tanah melalui peningkatan aktivitas mikroba dan siklus hara. Kondisi ini pada akhirnya dapat memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan tanaman utama, terutama pada fase belum menghasilkan (Nelson *et al.*, 2011). Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *intercropping* kedelai berpotensi memberikan manfaat tambahan terhadap pertumbuhan vegetatif kelapa sawit dibandingkan dengan penggunaan *M. bracteata* sebagai tanaman

penutup tanah. Hal ini terutama terlihat dari peningkatan luas daun, nilai LAI, serta akumulasi biomassa tanaman.

Kadar Hara Daun

Analisis kandungan unsur hara jaringan tanaman kelapa sawit menunjukkan bahwa kadar N pada *M. bracteata* dan sistem *intercropping* kedelai, masing-masing sebesar 2.55% dan 2.58%. Kandungan P, yaitu 0,18 ppm pada *M. bracteata* dan 0,17 ppm pada *intercropping* kedelai. Unsur K ditemukan lebih tinggi pada *M. bracteata* (1,30 m.e/100g) dibandingkan *intercropping* kedelai (1,17 m.e/100g). Begitu halnya dengan kadar Ca yang lebih tinggi pada *M. bracteata*. Adapun kandungan Mg pada kedua perlakuan menunjukkan nilai yang relatif sama, yaitu 0,29 m.e/100g (Tabel 5).

Tabel 5. Kadar hara pada daun kelapa sawit dengan perlakuan *M. bracteata* dan *intercropping* kedelai.

Table 5. Leaf nutrient concentrations of oil palm under *M. bracteata* cover crop and soybean *intercropping* treatments.

Perlakuan	N (%)	P (ppm)	K (m.e/100g)	Ca (m.e/100g)	Mg (m.e/100g)
<i>M. bracteata</i>	2,55 a	0,18 a	1,30 a	0,79 a	0,29 a
<i>Intercropping</i> Kedelai	2,58 a	0,17 a	1,17 a	0,77 a	0,29 a

Keterangan : Angka-angka yang diikuti oleh huruf yang berbeda pada kelompok perlakuan yang berbeda menunjukkan berbeda nyata menurut Uji Jarak Berganda Duncan pada taraf 5%

Note: Values followed by different letters within different treatment groups indicate significant differences according to Duncan's Multiple Range Test at the 5% significance level

Kandungan nitrogen (N) daun menunjukkan bahwa kedua sistem penanaman mampu menyediakan nitrogen dalam jumlah yang memadai bagi tanaman kelapa sawit. Nitrogen merupakan unsur hara utama yang sangat berperan dalam pembentukan klorofil, sintesis protein, serta pertumbuhan vegetatif tanaman. Keberadaan tanaman legum seperti *M. bracteata* dan kedelai diduga turut berkontribusi dalam menjaga ketersediaan nitrogen di dalam tanah melalui proses fiksasi nitrogen biologis oleh bakteri simbiotik pada bintil akar. Proses ini dapat meningkatkan suplai nitrogen bagi tanaman utama maupun memperbaiki kesuburan tanah secara bertahap (Nelson *et al.*, 2011).

Kandungan fosfor (P) pada daun kelapa sawit juga menunjukkan nilai yang relatif serupa antara kedua

perlakuan. Pada tutupan *M. bracteata*, kandungan P tercatat sebesar 0,18 ppm, sedangkan pada sistem *intercropping* kedelai sebesar 0,17 ppm. Perbedaan yang sangat kecil ini menunjukkan bahwa kedua sistem masih mampu mempertahankan ketersediaan fosfor yang cukup bagi tanaman. Fosfor berperan penting dalam berbagai proses metabolisme tanaman, terutama dalam transfer energi, pembentukan ATP, serta perkembangan sistem perakaran. Tanaman penutup tanah dari kelompok legum diketahui dapat membantu meningkatkan ketersediaan fosfor melalui aktivitas mikroorganisme tanah serta eksudat akar yang mampu melarutkan fosfat yang terikat di dalam tanah (Inckot *et al.*, 2017).

Pada unsur kalium (K), perlakuan *M. bracteata* (1,30 m.e/100 g) lebih tinggi dibandingkan dengan sistem *intercropping* kedelai (1,17 m.e/100 g). Kalium merupakan unsur yang sangat penting dalam proses fisiologi tanaman, termasuk pengaturan keseimbangan air sel, aktivasi berbagai enzim, serta transportasi hasil fotosintesis dari daun ke organ lain. Nilai K yang sedikit lebih tinggi pada perlakuan *M. bracteata* kemungkinan berkaitan dengan kontribusi biomassa tanaman penutup tanah yang mengalami dekomposisi dan mengembalikan unsur hara ke dalam tanah. Serasah tanaman penutup tanah diketahui dapat berperan sebagai sumber hara tambahan yang secara bertahap meningkatkan ketersediaan unsur hara bagi tanaman utama (Corley & Tinker, 2016).

Hal yang hampir sama juga terlihat pada kandungan kalsium (Ca), di mana nilai Ca pada perlakuan *M. bracteata* sedikit lebih tinggi (0,79 m.e/100 g) dibandingkan dengan *intercropping* kedelai (0,77 m.e/100 g). Kalsium memiliki fungsi penting dalam pembentukan dinding sel serta menjaga stabilitas membran sel tanaman. Sementara itu, kandungan magnesium (Mg) pada kedua perlakuan menunjukkan nilai yang sama, yaitu 0,29 m.e/100 g. Magnesium merupakan unsur hara yang berperan sebagai komponen utama dalam molekul klorofil dan sangat penting dalam proses fotosintesis serta aktivitas berbagai enzim metabolisme tanaman (Taiz *et al.*, 2015).

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa baik penggunaan *M. bracteata* sebagai tanaman penutup tanah maupun sistem *intercropping* kedelai tidak menyebabkan perbedaan terhadap status hara daun kelapa sawit. Kondisi ini mengindikasikan bahwa kedua sistem mampu menjaga keseimbangan nutrisi tanaman melalui siklus hara yang berlangsung di dalam tanah, baik melalui kontribusi biomassa tanaman penutup tanah maupun aktivitas biologis yang terjadi di sekitar perakaran.

KESIMPULAN

Penggunaan tanaman kedelai sebagai tanaman sela pada fase TBM kelapa sawit menunjukkan potensi yang baik untuk diterapkan. Hal ini terlihat dari hasil analisis kadar hara tanah yang tidak menunjukkan perbedaan yang nyata dibandingkan dengan menggunakan *M. bracteata*. Selain itu,

kandungan unsur hara pada daun kelapa sawit seperti N, P, K, Ca, dan Mg juga relatif sama pada kedua perlakuan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa sistem *intercropping* kedelai tidak menimbulkan kompetisi hara yang berarti dengan tanaman kelapa sawit sehingga kebutuhan nutrisi tanaman utama tetap dapat terpenuhi.

Dari sisi pertumbuhan vegetatif, sistem *intercropping* kedelai bahkan menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan *M. bracteata*, yang ditunjukkan oleh nilai luas daun, indeks luas daun (ILD), dan estimasi biomassa tanaman yang lebih tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa keberadaan tanaman kedelai sebagai tanaman sela masih mampu mendukung pertumbuhan kelapa sawit pada fase belum menghasilkan. Dengan demikian, *intercropping* kedelai berpotensi menjadi alternatif pengelolaan lahan yang efektif untuk mengoptimalkan pemanfaatan ruang tumbuh sekaligus mendukung pertumbuhan tanaman kelapa sawit pada fase TBM.

DAFTAR PUSTAKA

- Adawiah, A. Z., Gumilar, A. H., Pangestu, C. F., & Simarmata, T. (2024). Advancing food security in Indonesia: Harnessing innovative intercropping methods within oil palm plantations for enhanced rice farming: A systematic review. *International Journal of Life Science and Agriculture Research*.
- Barea, J. M., Pozo, M. J., Azcón, R., & Azcón-Aguilar, C. (2017). Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 68(16), 4339–4353.
- Basak, B. B., & Biswas, D. R. (2020). Microbial solubilization of potassium-bearing minerals: A review. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4, 96.
- Bhattacharyya, P., Nayak, A. K., Shahid, M., Tripathi, R., & Mohanty, S. (2020). Impact of legume-based cropping systems on soil biological health: A review. *Agronomy*, 10(12), 1985.
- Cernansky, R. (2021). Farming for the circular economy. *Nature*, 592, 176–178.
- Chen, Y., Fan, P., Sun, S., & Zhang, Q. (2021). Effects of phosphate-solubilizing bacteria on

- phosphorus availability and microbial community in the rhizosphere of legumes. *Applied Soil Ecology*, 167, 104058.
- Cong, W. F., Hoffland, E., Li, L., Six, J., Sun, J. H., Bao, X. G., & van der Werf, W. (2015). Intercropping affects the rate of decomposition of soil organic matter and root litter. *Plant and Soil*, 391, 399–411.
- Corley, R. H., dan P. B. Tinker. 2016. *The Oil Palm*. 5 Ed. United Kingdom. Wiley Blackwell.
- Dhandapani, S., Ritz, K., Evers, S., & Sjögersten, S. (2019). Environmental impacts as affected by different oil palm cropping systems in tropical peatlands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 276, 8–20.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2023). *Statistik perkebunan Indonesia: Komoditas kelapa sawit 2022–2023*. Kementerian Pertanian Republik Indonesia.
- Harun, M. U., Yakup, Y., Seprila, M., Priatna, S. J., Sopiana, R., & Habibulloh, H. (2025). *Performance of intercropping corn on mature oil palm plantations on dry land*. *Jurnal Lahan Suboptimal: Journal of Suboptimal Lands*, 14 (1) , 3 8 – 4 3 . <https://doi.org/10.36706/JLSO.14.1.2025.718>
- Inckot, R. C., et al. (2017). The potential of legumes to improve soil fertility. *Agronomy*, 7(4), 94.
- Ismail, R., Setiawan, A., & Dewi, E. (2022). The profitability of soybean intercropping system in immature oil palm plantation in Indonesia. *Indonesian Journal of Agribusiness and Agroindustry*, 10(1), 33–42.
- Khan, M. S., Zaidi, A., & Wani, P. A. (2014). Role of phosphate-solubilizing microorganisms in sustainable agriculture. *Agronomy for Sustainable Development*, 27(1), 29–43.
- Lestari, D., Nugraha, R., & Prasetyo, B. (2022). Zero waste palm oil plantation model through circular bioeconomy. *Journal of Environmental Management*, 320, 115883.
- Li, L., Tilman, D., Lambers, H., & Zhang, F. (2014). Plant diversity and overyielding: Insights from belowground facilitation of intercropping in agriculture. *New Phytologist*, 203(1), 63–69.
- Mishra, S., Singh, R., & Tripathi, R. (2021). Role of free-living nitrogen-fixing bacteria in improving soil fertility: A review. *Plant and Soil*, 462(1–2), 1–25.
- Nchanji, Y. K., Nkongho, R. N., Mala, W. A., & Levang, P. (2016). Efficacy of oil palm intercropping by smallholders: Case study in South-West Cameroon. *Agroforestry Systems*, 90(3), 509–519.
- Nelson, P. N., Banabas, M., Scotter, D. R., & Webb, M. J. (2011). Nutrient cycling in oil palm plantations. *Plant and Soil*, 341, 1–24.
- Nkongho, R. N., Feintrenie, L., & Levang, P. (2015). Efficacy of oil palm intercropping by smallholders: Case study in South-West Cameroon. *Agroforestry Systems*, 89(3), 435–450.
- Nurjannah, H., Robiartini, L., & Susilawati, S. (2021). Chili pepper cultivation using several spacings intercropped with immature oil palm. *Jurnal Lahan Suboptimal: Journal of Suboptimal Lands*, 10(1), 27–36. <https://doi.org/10.36706/JLSO.10.1.2021.498>
- Pandey, A., Gaur, M., & Gupta, N. (2014). Influence of intercropping on soil chemical and biological properties. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 3, 46.
- Peoples, M. B., Brockwell, J., & Hunt, J. R. (2019). Nitrogen fixation by legumes in tropical and subtropical agriculture. *Soil Biology and Biochemistry*, 137, 107538.
- Pusat Penelitian Kelapa Sawit. (2021). *Pedoman teknis peremajaan kelapa sawit rakyat*. Medan: PPKS.
- Rabbani, M. G., Salam, M. A., Kheya, S. A., & Paul, S. K. (2023). Effect of phosphorus fertilization on nodulation, growth, yield and quality of soybean varieties. *Journal of Aridland Agriculture*, 9, 99–107. <https://doi.org/10.25081/jaa.2023.v9.8364>
- Rahman, A., Lubis, M., & Sitompul, R. (2019). Effect of ground cover crops on soil fertility and oil palm growth. *Journal of Tropical Soils*, 24(1), 45–52.
- Singh, A. K., Kumar, M., & Dubey, R. C. (2018). Rhizosphere microbial diversity and its role in

- plant growth promotion and soil health. *Advances in Agronomy*, 148, 1–45.
- Sipayung, T., Sinaga, A., & Sitompul, R. (2022). Analisis perbandingan teknik peremajaan kelapa sawit terhadap produktivitas dan biaya produksi. *Jurnal Teknologi Perkebunan*, 9(1), 25–34.
- Siregar, R. S., Ginting, J., & Sinaga, R. (2021). Growth response of oil palm under intercropping with soybean and corn. *Agroteknologi Tropika*, 10(2), 89–99.
- Subah, A., & Tayeb, M. (1999). Pengaruh tanaman penutup tanah terhadap konservasi tanah dan peningkatan kesuburan lahan di perkebunan kelapa sawit. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 5(2), 45–53.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. Sinauer Associates.
- Tang, X., Zhang, C., Yu, Y., Shen, J., van der Werf, W., & Zhang, F. (2020). Intercropping legumes and cereals increases phosphorus use efficiency: A meta-analysis. *Plant and Soil*, 457(1–2), 7–20.
- Utami, S. N. H., Wahyudi, I., & Hartatik, W. (2018). Phosphorus and potassium dynamics in soil under intercropping systems. *Journal of Soil and Environmental Science*, 20(4), 199–208.
- Wahyudin, C. I., Rannando, R., & Nasution, F. I. (2026). Optimization of intercropping corn in immature oil palm plantations (non-yielding stage). *Agrones: Journal of Agriculture, Agribusiness, Welfare, Technology, Humanity, Environment, Social, and Economy*, 1(4).
- Woittiez, L. S., Smit, M., Yanda, J. S. O., de Vos, R., & Slingerland, M. (2025). Intercropping immature oil palms with food crops: Effects on oil palm growth. In *Proceedings of Tropentag 2025 Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development*. University of Bonn.
- Yahya, Z., Suryanto, D., & Nasution, D. A. (2020). Sustainable management of young oil palm plantations through legume cover crops. *Journal of Sustainable Agriculture Research*, 9(4), 77–89.
- Yusuf, M., Santoso, B., & Rahman, A. (2016). Analisis dinamika pasar komoditas perkebunan di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Pertanian*, 12(3), 150–160.
- Zakaria, R., Basiron, Y., & Mohd, A. (2020). Role of *Muraya bracteata* in improving soil health and nutrient cycling under oil palm plantation. *Plantation Science Journal*, 15(3), 122–133.
- Zhang, X., Wang, Y., Xu, W., & Chen, F. (2021). Nitrogen distribution and soil microbial community characteristics in a legume–cereal intercropping system: A review. *Agronomy*, 12(8), 1900.

