

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*)

Tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan salah satu tanaman perkebunan yang memiliki nilai ekonomi yang tinggi di Indonesia. Tanaman ini banyak dibudidayakan karena mampu menghasilkan minyak nabati dalam jumlah besar dan memberikan keuntungan yang baik bagi petani maupun perusahaan. Seiring berkembangnya industri kelapa sawit, banyak lahan perkebunan karet yang kemudian dialihkan menjadi perkebunan kelapa sawit. Saat ini, kelapa sawit telah tersebar di berbagai wilayah Indonesia dan menjadi salah satu komoditas perkebunan utama (Suwanto, 2010).

Kelapa sawit berasal dari Afrika Barat, tepatnya Nigeria, dan termasuk ke dalam kelompok tanaman monokotil. Tanaman ini memiliki sistem perakaran serabut yang berfungsi menyerap air dan unsur hara dari dalam tanah, membantu proses respirasi akar, serta menopang tanaman agar tetap berdiri kokoh. Batang kelapa sawit berbentuk silinder dengan diameter sekitar 20–75 cm, tidak memiliki kambium, dan umumnya tidak bercabang. Pada tanaman yang masih muda, batang belum tampak jelas karena masih tertutup oleh pelepah daun. Daun kelapa sawit merupakan daun majemuk yang tersusun menyirip dengan tulang daun sejajar, menyerupai daun kelapa. Pelepah daun dapat mencapai panjang sekitar 7,5–9 meter. Kelapa sawit termasuk tanaman berumah satu (*monoecious*), yaitu bunga jantan dan bunga betina terdapat pada satu pohon, tetapi berada dalam tandan yang berbeda. Pembentukan bunga jantan dan bunga betina terjadi secara bergantian sehingga keduanya jarang muncul secara bersamaan. Tanaman mulai menghasilkan buah ketika berumur sekitar 3,5 tahun, sedangkan buah memerlukan waktu sekitar 5–6 bulan sejak penyerbukan hingga mencapai kematangan dan siap dipanen (Fauzi, 2002).

Di sisi lain, pengembangan perkebunan kelapa sawit juga menimbulkan berbagai tantangan, terutama terhadap lingkungan. Pembukaan lahan untuk

perkebunan sering dikaitkan dengan terjadinya deforestasi, berkurangnya habitat satwa liar, serta menurunnya keanekaragaman hayati. Selain dampak lingkungan, budidaya kelapa sawit juga dapat menimbulkan berbagai persoalan sosial, seperti konflik kepemilikan lahan dan kondisi kerja di sektor perkebunan. Oleh karena itu, penerapan budidaya kelapa sawit yang berkelanjutan menjadi sangat penting. Salah satu upaya yang dilakukan adalah melalui penerapan standar sertifikasi Roundtable on Sustainable Palm Oil (RSPO) yang bertujuan mendorong produksi minyak sawit secara bertanggung jawab, menjaga kelestarian lingkungan, serta menghormati hak-hak masyarakat lokal dan para pekerja (Thakur et al., 2024).

2.2 Morfologi Tanaman Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan tanaman yang memiliki bentuk tubuh atau morfologi yang sesuai untuk tumbuh di daerah beriklim tropis. Tanaman ini mempunyai batang tunggal yang kuat, tegak, dan dapat mencapai tinggi sekitar 20–30 meter. Daunnya berupa daun majemuk menyirip dengan warna hijau tua dan panjang sekitar 3–5 meter. Pada setiap pohon umumnya terdapat sekitar 40–60 helai daun yang tersusun mengelilingi batang secara spiral. Pelepah daun melekat kuat pada batang dan menjadi tempat munculnya tandan bunga. Bunga tersebut kemudian berkembang menjadi tandan buah kelapa sawit. Dalam satu tandan dapat terdapat ratusan buah yang berukuran kecil. Buah kelapa sawit berbentuk bulat hingga lonjong dan akan berubah menjadi warna merah jingga ketika telah matang. Buah kelapa sawit tersusun atas tiga bagian utama, yaitu eksokarp sebagai kulit luar, mesokarp sebagai daging buah yang mengandung minyak, dan endokarp berupa cangkang keras yang melindungi biji. Di dalam cangkang terdapat biji atau kernel yang juga menghasilkan minyak, yaitu minyak inti sawit. Minyak inti sawit memiliki karakteristik yang berbeda dengan minyak sawit yang diperoleh dari bagian mesokarp. Struktur morfologi yang dimiliki kelapa sawit membuat tanaman ini mampu menghasilkan minyak dalam jumlah yang tinggi, sehingga dikenal sebagai salah satu tanaman penghasil minyak nabati paling produktif di dunia (Febrianto & Gunawan, 2019).

2.2.1 Batang

Batang kelapa sawit merupakan batang tunggal yang tidak memiliki kambium, sehingga tanaman ini tidak mengalami pertumbuhan sekunder dan umumnya tidak menghasilkan cabang. Pada fase awal pertumbuhan, batang mengalami pembesaran terlebih dahulu, sedangkan pemanjangan ruas batang (internodia) terjadi secara bertahap setelah tanaman semakin dewasa. Batang kelapa sawit memiliki peran penting sebagai penopang seluruh bagian tanaman, seperti daun, bunga, dan buah. Selain itu, batang juga berfungsi sebagai jalur pengangkutan air, unsur hara, dan hasil fotosintesis ke seluruh bagian tanaman sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat berlangsung dengan baik. Dalam kondisi lingkungan yang mendukung, tinggi tanaman kelapa sawit dapat bertambah sekitar 35–75 cm setiap tahun. Laju pertambahan tinggi batang berpengaruh terhadap umur ekonomis tanaman. Semakin lambat pertumbuhan tinggi batang, maka umur produktif atau umur ekonomis kelapa sawit cenderung semakin panjang karena tanaman masih lebih mudah dipelihara dan dipanen (Sunarko, 2007).

2.2.2 Daun

Daun kelapa sawit merupakan daun majemuk yang tersusun menyirip. Daunnya berwarna hijau tua, sedangkan pelepah daun memiliki warna hijau yang sedikit lebih muda. Bentuk daun kelapa sawit hampir menyerupai daun tanaman salak, namun durinya tidak terlalu keras dan tidak terlalu tajam. Daun-daun tersebut tersusun membentuk roset pada bagian ujung batang, sehingga tajuk tanaman tampak rapi dan mendukung proses fotosintesis secara optimal (Hartono, 2002).

2.2.3 Pelepah

Pelepah daun kelapa sawit terdiri atas beberapa bagian, yaitu helai daun, tulang daun utama (*midrib*), rachis, tangkai daun (*petiol*), dan pangkal pelepah. Setiap helai daun memiliki panjang sekitar 55–65 cm dengan lebar sekitar 2,5–4 cm. Pada satu pelepah umumnya terdapat sekitar 100 pasang anak daun yang

tersusun rapi di sepanjang rachis. Jumlah pelepah daun akan bertambah seiring dengan pertumbuhan tanaman. Pada umur sekitar 3–4 tahun, tanaman dapat memiliki sekitar 30–40 pelepah. Setelah itu, jumlah pelepah cenderung menurun menjadi sekitar 18–25 pelepah pada tanaman yang lebih tua. Permukaan daun memiliki stomata yang berfungsi sebagai tempat pertukaran gas dan membantu proses fotosintesis. Pelepah yang telah matang dapat mencapai panjang sekitar 7,5 meter. Tangkai daun memiliki panjang sekitar seperempat dari keseluruhan pelepah dan dilengkapi dengan duri pada bagian tepinya (Hartono, 2002).

2.2.4 Bunga

Bunga kelapa sawit terdiri atas bunga jantan dan bunga betina yang tumbuh secara terpisah pada satu tanaman. Kedua jenis bunga tersebut memiliki waktu kematangan yang berbeda, sehingga penyerbukan sendiri sangat jarang terjadi. Bunga jantan berbentuk lebih ramping dan memanjang, sedangkan bunga betina berukuran lebih besar dan tampak lebih mekar ketika siap diserbuki. Pada kelapa sawit tipe cangkang *pisifera*, bunga betina umumnya bersifat steril sehingga tanaman jarang menghasilkan tandan buah. Oleh karena itu, tipe *pisifera* lebih sering dimanfaatkan sebagai tetua jantan dalam program pemuliaan untuk menghasilkan benih kelapa sawit unggul (Wibawa, 2008).

2.2.5 Buah

Buah kelapa sawit memiliki warna yang beragam, mulai dari hitam, ungu, hingga merah, tergantung pada jenis atau varietas bibit yang digunakan. Buah tumbuh secara bergerombol dalam bentuk tandan yang muncul di antara pelepah daun. Selama proses pematangan, kandungan minyak di dalam buah terus meningkat. Namun, apabila buah telah melewati tingkat kematangan optimal, kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid* atau FFA) akan meningkat dan buah mulai rontok secara alami. Secara umum, buah kelapa sawit terdiri atas sekitar 80% bagian perikarp dan sekitar 20% bagian biji. Daging buah (mesokarp) mengandung minyak yang menjadi bahan baku utama dalam produksi minyak sawit, dengan kadar minyak pada bagian perikarp berkisar antara 34–40% (Satyawibawa, 2008).

2.2.6 Akar

Tanaman kelapa sawit memiliki sistem perakaran serabut yang tumbuh ke arah bawah dan menyebar ke samping di dalam tanah. Selain itu, terdapat beberapa akar yang tumbuh mendekati permukaan tanah untuk membantu memperoleh oksigen sehingga mendukung proses respirasi akar. Sistem perakaran kelapa sawit terdiri atas akar primer yang tumbuh ke bawah dan menyebar secara horizontal. Akar primer kemudian membentuk cabang-cabang yang disebut akar sekunder, dan akar sekunder akan bercabang lagi menjadi akar tersier. Percabangan akar ini membantu tanaman menyerap air dan unsur hara dari dalam tanah dengan lebih efektif. Dalam kondisi yang baik, akar kelapa sawit dapat menembus tanah hingga kedalaman sekitar 8 meter dan menyebar ke arah samping mencapai sekitar 16 meter. Sistem perakaran yang luas ini membuat tanaman mampu menyerap air dan unsur hara secara optimal untuk mendukung pertumbuhan dan produksi (Lubis, 2006).

2.3 Syarat Tumbuh Kelapa Sawit

Kelapa sawit merupakan tanaman yang tumbuh dengan baik di daerah beriklim tropis, terutama pada wilayah yang berada di sekitar 15° Lintang Utara hingga 15° Lintang Selatan. Tanaman ini dapat tumbuh optimal pada ketinggian 0–500 meter di atas permukaan laut (mdpl). Curah hujan yang sesuai untuk pertumbuhannya berkisar antara 2.000–2.500 mm per tahun dengan suhu udara sekitar 29–30 °C. Selain itu, kelapa sawit membutuhkan penyinaran matahari sekitar 5–7 jam per hari dan kelembapan udara sekitar 80–90% agar dapat tumbuh dan berproduksi secara optimal (Arsyad, 2012).

Kelapa sawit dapat dibudidayakan pada berbagai jenis tanah, seperti Podsolik, Latosol, Hidromorfik Kelabu, Aluvial, dan Regosol. Tanaman ini tumbuh lebih baik pada tanah yang gembur, subur, memiliki drainase yang baik, serta lapisan tanah yang cukup dalam dan tidak memiliki lapisan padas. Derajat keasaman (pH) tanah yang sesuai untuk pertumbuhan kelapa sawit berkisar antara 5,0–5,5. Pertumbuhan dan hasil tanaman juga dipengaruhi oleh ketersediaan unsur

hara di dalam tanah. Semakin baik ketersediaan unsur hara, semakin besar kemampuan tanaman dalam menyerap hara sehingga pertumbuhan dan produksinya menjadi lebih optimal (Arsyad, 2012).

Selain dapat tumbuh pada tanah mineral, kelapa sawit juga mampu berkembang di lahan gambut maupun lahan pasang surut. Meskipun beberapa jenis tanah memiliki kandungan unsur hara yang rendah, tanaman kelapa sawit tetap dapat tumbuh dengan baik apabila ketersediaan air mencukupi. Hal ini menunjukkan bahwa kelapa sawit memiliki kemampuan adaptasi yang cukup tinggi terhadap berbagai kondisi lingkungan. Untuk memperoleh pertumbuhan yang optimal, lahan perkebunan sebaiknya memiliki kemiringan tidak lebih dari sekitar 15°. Ketersediaan unsur hara di dalam tanah dipengaruhi oleh jumlah hara yang ada, proses fiksasi dan mobilisasi hara, serta kemudahan unsur hara tersebut mencapai daerah perakaran sehingga dapat diserap oleh tanaman (Lubis & Agus, 2011).

2.4 Potensi Kelapa Sawit

Potensi kelapa sawit memiliki biologis yang sangat tinggi karena kemampuannya menghasilkan minyak nabati dalam jumlah besar dengan efisiensi lahan yang jauh lebih tinggi dibandingkan tanaman minyak lainnya. Tanaman ini memiliki Produktivitas yang didukung oleh kemampuan fotosintesis yang efektif, pertumbuhan biomassa yang cepat, serta struktur tandan buah yang mampu menghasilkan minyak dalam proporsi besar. Selain itu, kelapa sawit menjadi komoditas unggulan karena seluruh bagian tanamannya mulai dari tandan, cangkang, serabut, hingga pelepah dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku produk pangan, energi, dan industri berbasis biomassa. (Siregar, 2018)

Dari perspektif ekonomi, kelapa sawit berperan penting dalam memberikan kontribusi signifikan terhadap devisa negara, menyerap tenaga kerja dalam jumlah besar, dan mendorong pertumbuhan industri hilir nasional. Pengembangan produk turunan seperti biodiesel, oleokimia, dan produk rumah tangga meningkatkan nilai tambah dan memperkuat daya saing komoditas ini di pasar internasional. Lebih jauh, potensi kelapa sawit keberlanjutan tergantung pada penerapan praktik budidaya yang ramah lingkungan, termasuk pengelolaan limbah dan konservasi

tanah, sehingga produksi dapat berlangsung secara stabil dan berkelanjutan. (Nasution, 2021)

2.5 Mikroorganisme Tanah

Tanah merupakan tempat hidup berbagai jenis mikroorganisme. Mikroorganisme adalah makhluk hidup yang berukuran sangat kecil sehingga hanya dapat dilihat dengan menggunakan mikroskop. Jumlah mikroorganisme di dalam tanah umumnya lebih banyak dibandingkan dengan yang terdapat di udara maupun di air (Tahrin, 2010). Hal ini karena tanah mengandung bahan organik yang menjadi sumber makanan dan energi bagi mikroorganisme untuk tumbuh dan melakukan proses metabolisme (Brady & Weil, 2017).

Bahan organik di dalam tanah berasal dari sisa-sisa tumbuhan, hewan, maupun aktivitas manusia yang masuk ke dalam tanah. Seiring waktu, bahan-bahan tersebut akan diuraikan oleh mikroorganisme menjadi senyawa organik yang lebih sederhana. Proses penguraian ini berperan penting dalam pembentukan bahan organik tanah serta membantu menyediakan unsur hara yang dapat dimanfaatkan oleh tanaman (Paul, 2015).

Keanekaragaman mikroorganisme merupakan salah satu indikator penting dalam menentukan tingkat kesuburan tanah. Selain dipengaruhi oleh sifat kimia tanah, kesuburan tanah juga sangat bergantung pada aktivitas mikroorganisme yang hidup di dalamnya. Mikroorganisme tanah terdiri atas berbagai kelompok, seperti bakteri, aktinomisetes, jamur, alga, dan protozoa (Rao, 1994). Jumlah mikroorganisme tersebut dapat mencapai miliaran sel dalam setiap gram tanah, sehingga memiliki peranan yang sangat besar dalam menjaga keseimbangan ekosistem tanah. Di antara berbagai jenis mikroorganisme, bakteri merupakan kelompok yang paling banyak ditemukan di dalam tanah. Bakteri memiliki kemampuan beradaptasi pada berbagai kondisi lingkungan sehingga penyebarannya lebih luas dibandingkan mikroorganisme lainnya. Bakteri berperan penting dalam menguraikan bahan organik, seperti sisa tanaman dan senyawa yang dikeluarkan oleh akar (eksudat akar). Melalui proses tersebut, bakteri mengubah bahan organik menjadi bentuk yang lebih sederhana sehingga unsur

hara menjadi lebih mudah tersedia dan dapat dimanfaatkan oleh tanaman maupun organisme tanah lainnya (Nurmegawati et al., 2014).

2.5.1 Bakteri Tanah

Bakteri merupakan kelompok mikroorganisme dalam tanah yang paling dominan dan mungkin meliputi separuh dari biomassa mikroba dalam tanah. Bakteri yang terdapat dalam segala macam tipe tanah tetapi populasinya menurun dengan bertambahnya kedalaman tanah. Menurut Saraswati et al., (2007), bakteri adalah organisme prokariotik bersel tunggal dengan jumlah kelompok paling banyak dan dijumpai di tiap ekosistem terestrial. Walaupun ukurannya lebih kecil daripada aktinomisetes dan jamur, bakteri memiliki kemampuan metabolik lebih beragam dan memegang peranan penting dalam pembentukan tanah, dekomposisi bahan organik, remediasi tanah-tanah tercemar, transformasi unsur hara, berintegrasi secara mutualistik dengan tanaman dan juga sebagai penyebab penyakit tanaman.

Menurut Sari (2010) sel bakteri tergolong prokariot (perkembangan selnya belum sempurna), kondisi beroksigen maupun tidak beroksigen, sedangkan berdasarkan toleransi terhadap rentang temperatur yang berbeda - beda, maka bakteri dapat dikelompokkan menjadi mesofil (15 sampai 45⁰C), Psikofil (di bawah 20⁰C), dan termofil (45 sampai 65⁰C). dan demikian bakteri mesofil merupakan sebagian besar bakteri tanah. Selain temperatur, faktor lain yang mempengaruhi populasi mikroorganisme dalam tanah adalah pH, praktik pertanian, pemupukan dan pemakaian pestisida dan penambahan bahan organik. Berdasarkan kemampuan untuk dapat mensintesis sendiri kebutuhan makanannya, maka bakteri dapat dikelompokkan menjadi bakteri autotrof (dapat mensintesis sendiri makanannya) dan bakteri heterotrof (bergantung dari makanan yang sudah terbentuk sebelumnya) (Handayanto dan Hairiah, 2007).

2.5.1.1 Peran Bakteri

Peran bakteri memiliki peran fundamental dalam menjaga keseimbangan ekosistem tanah melalui aktivitas biologis yang mendukung siklus hara, dekomposisi bahan organik, serta pembentukan struktur tanah yang lebih stabil. Keberadaan bakteri tanah, seperti *Rhizobium*, *Azotobacter*, dan *Bacillus*, membantu meningkatkan ketersediaan nutrisi bagi tanaman melalui fiksasi

nitrogen, pelarutan fosfat, dan produksi hormon pertumbuhan. Aktivitas mikroorganisme ini bukan hanya mempertahankan kesuburan tanah, tetapi juga berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas tanaman secara berkelanjutan. (Haryanto, 2019)

Selain berfungsi dalam penyediaan nutrisi, peran bakteri penting dalam perlindungan tanaman terhadap patogen melalui mekanisme antagonisme, produksi antibiotik, serta kompetisi ruang dan nutrisi. Kelompok bakteri seperti *Pseudomonas fluorescens* dan *Bacillus subtilis* dikenal mampu menekan perkembangan penyakit tanaman sekaligus merangsang ketahanan sistemik tanaman. Pemanfaatan bakteri sebagai agen hayati menjadi salah satu strategi pertanian modern untuk mengurangi ketergantungan pada pestisida kimia dan mendukung sistem pertanian berkelanjutan. (Sutrisno, 2020).

2.5.1.2 Potensi Bakteri

Potensi mikroorganisme tanah, khususnya bakteri dan fungi, penting dalam meningkatkan kesuburan tanah melalui proses dekomposisi bahan organik, pembentukan humus, serta peningkatan ketersediaan unsur hara esensial bagi tanaman. Aktivitas mikroba seperti pelarutan fosfat, fiksasi nitrogen, dan produksi senyawa bioaktif membantu memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan efisiensi penyerapan nutrisi oleh tanaman. Dengan demikian, kehadiran mikroorganisme tanah berkontribusi langsung terhadap stabilitas ekosistem dan produktivitas lahan secara berkelanjutan. (Mahfudz, 2019)

Selain meningkatkan kesuburan tanah, dalam mikroorganisme berperan penting memperbaiki kualitas lingkungan melalui degradasi polutan, pengurangan senyawa toksik, dan peningkatan kapasitas tanah dalam menahan air. Selain itu, Keberadaan bakteri pengurai dan fungi saprofit membantu memecah residu pestisida serta mempercepat siklus hara sehingga tanah tetap sehat dan produktif dalam jangka panjang. Pemanfaatan mikroba sebagai agen hayati juga menjadi strategi penting dalam pertanian modern untuk mengurangi penggunaan bahan kimia sintetis dan mendukung sistem pertanian yang lebih ramah lingkungan. (Setiawan, 2021)

2.5.1.3 Bakteri NPK

Bakteri pelarut hara makro NPK merupakan kelompok mikroorganisme tanah yang berperan penting dalam meningkatkan ketersediaan nitrogen (N), fosfor (P), dan kalium (K) melalui mekanisme biologis. Pada siklus nitrogen, bakteri seperti *Azotobacter* dan *Azospirillum* melakukan fiksasi nitrogen bebas secara non-simbiotik dengan mengubah N_2 atmosfer menjadi amonium yang dapat diserap tanaman. Aktivitas ini dipengaruhi oleh kondisi tanah, ketersediaan karbon organik, dan keberadaan oksigen. Secara ekologis, kehadiran bakteri pemfiksasi nitrogen berfungsi mempertahankan suplai N pada agroekosistem sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap pupuk sintetis. (Herlambang, 2020).

Populasi mikroba penambat N di tanah umumnya berasal dari kelompok bakteri seperti *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Rhizobium*, dan beberapa cyanobacteria. Jumlah populasinya sangat dipengaruhi oleh ketersediaan bahan organik, aerasi, pH, dan kelembaban tanah. Bakteri pelarut fosfat, seperti *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Aspergillus*, dan *Penicillium*, berperan mengubah fosfat tidak larut menjadi bentuk tersedia melalui sekresi asam organik dan enzim fosfatase (Sarmah dan Sarma, 2022)

2.5.1.4 Bakteri Pelarut Fosfat

Mikroorganisme pelarut fosfat merupakan salah satu alternatif yang ramah lingkungan untuk meningkatkan efisiensi pemanfaatan fosfor di dalam tanah. Bakteri pelarut fosfat (BPF) merupakan kelompok mikroorganisme tanah yang memiliki kemampuan mengubah senyawa fosfat yang tidak larut menjadi bentuk fosfat yang tersedia bagi tanaman. Fosfor merupakan salah satu unsur hara makro esensial yang berperan dalam pembentukan akar, sintesis asam nukleat, transfer energi (ATP), pembelahan sel, serta pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Namun, sebagian besar fosfor di dalam tanah berada dalam bentuk terikat dengan kalsium (Ca), besi (Fe), dan aluminium (Al), sehingga sulit diserap oleh tanaman. Keberadaan bakteri pelarut fosfat menjadi sangat penting karena mampu meningkatkan ketersediaan fosfor melalui proses pelarutan fosfat yang tidak tersedia. Menurut (Sharma et al. 2013)

Menurut (Timofeeva, Galyamova, dan Sedykh 2022), bakteri pelarut fosfat berperan dalam meningkatkan ketersediaan fosfor bagi tanaman sekaligus

menghasilkan berbagai senyawa pemacu pertumbuhan, seperti fitohormon dan metabolit sekunder yang mendukung perkembangan sistem perakaran. Oleh karena itu, bakteri pelarut fosfat memiliki potensi besar sebagai pupuk hayati yang ramah lingkungan untuk meningkatkan produktivitas tanaman secara berkelanjutan.

2.5.1.5 Bakteri Penambat Nitrogen

Bakteri penambat nitrogen merupakan kelompok mikroorganisme yang memiliki kemampuan mengubah nitrogen bebas (N_2) di atmosfer menjadi amonia (NH_3) melalui proses fiksasi nitrogen biologis. Nitrogen merupakan unsur hara makro esensial yang diperlukan tanaman untuk pembentukan protein, asam amino, asam nukleat, klorofil, dan berbagai senyawa metabolisme lainnya. Meskipun sekitar 78% atmosfer tersusun atas nitrogen, unsur tersebut tidak dapat dimanfaatkan secara langsung oleh tanaman sehingga memerlukan bantuan mikroorganisme penambat nitrogen untuk mengubahnya menjadi bentuk yang tersedia. Menurut (Mahmud et al. 2020)

Bakteri penambat nitrogen dapat dibedakan menjadi bakteri yang hidup secara simbiotik dan non-simbiotik. Bakteri simbiotik, seperti *Rhizobium* dan *Bradyrhizobium*, membentuk bintil akar pada tanaman leguminosa dan melakukan fiksasi nitrogen melalui hubungan saling menguntungkan dengan tanaman inang. Sebaliknya, bakteri non-simbiotik atau hidup bebas, seperti *Azotobacter*, *Azospirillum*, *Beijerinckia*, *Clostridium*, dan beberapa spesies *Bacillus*, mampu memfiksasi nitrogen tanpa bergantung pada tanaman inang. Menurut (Bhattacharyya dan Jha 2012)

2.5.2 Jamur (fungi)

Jamur (*fungi*) merupakan mikroorganisme yang memerlukan bahan organik sebagai sumber karbon dan energi untuk memenuhi kebutuhan nutrisinya. Jamur tidak dapat membuat makanan sendiri sehingga memperoleh nutrisi dari lingkungan sekitarnya. Apabila sumber makanan berasal dari sisa-sisa makhluk hidup yang telah mati, maka jamur tersebut disebut sebagai jamur saprofit. Jamur saprofit berperan penting dalam menguraikan bahan organik sehingga membantu proses daur ulang unsur hara di dalam tanah. Selain itu, beberapa jenis jamur juga

bermanfaat sebagai bahan pangan, seperti jamur konsumsi (*mushroom*) (Pratiwi, 2008).

Di sisi lain, terdapat pula jamur yang bersifat parasit, yaitu mengambil nutrisi dari organisme yang masih hidup. Jamur jenis ini dapat menyebabkan berbagai penyakit pada manusia, hewan, maupun tanaman sehingga dapat menimbulkan kerugian. Jamur memiliki perbedaan dengan bakteri, terutama pada struktur selnya. Jamur termasuk organisme eukariotik karena memiliki inti sel yang dibungkus oleh membran inti. Sebaliknya, bakteri merupakan organisme prokariotik yang tidak memiliki membran inti sehingga inti selnya tidak terbentuk secara jelas. Perbedaan tersebut menyebabkan jamur dan bakteri memiliki karakteristik, cara hidup, serta proses pertumbuhan yang berbeda (James et al., 2008).

2.5.2.1 Peran jamur (fungi)

Jamur berperan penting sebagai dekomposer utama dalam ekosistem tanah, terutama dalam menguraikan bahan organik kompleks seperti lignin dan selulosa. Kemampuan enzimatisnya memungkinkan percepatan daur hara, sehingga unsur-unsur penting seperti nitrogen, fosfor, dan karbon dapat tersedia kembali bagi tanaman. Aktivitas dekomposisi yang dilakukan jamur juga memperbaiki struktur tanah melalui pembentukan agregat yang stabil, sehingga meningkatkan porositas dan kapasitas infiltrasi air. Peran ini menjadikan jamur salah satu komponen vital dalam menjaga keseimbangan biologis dan produktivitas tanah (Smith, 2020).

Selain sebagai dekomposer, sejumlah jamur bersimbiosis dengan akar tanaman dalam bentuk mikoriza, yang meningkatkan penyerapan air serta unsur hara seperti fosfat dan unsur mikro lainnya. Hubungan ini memperkuat ketahanan tanaman terhadap stres lingkungan, termasuk kekeringan dan serangan patogen. Mikoriza juga berkontribusi pada peningkatan biomassa tanaman dan efisiensi penggunaan nutrisi, sehingga sangat relevan dalam sistem pertanian berkelanjutan. Efek positif tersebut menjadikan jamur sebagai agen biologis yang mendukung kesehatan tanah dan produktivitas tanaman (Johnson, 2019).

2.5.2.2 Potensi Jamur (fungi)

Jamur memiliki kemampuan biologis yang penting dalam proses pembentukan kesuburan tanah melalui aktivitas dekomposisi bahan organik. Enzim yang dihasilkan jamur mampu menguraikan senyawa lignin, selulosa, serta komponen organik kompleks lainnya yang sulit dirombak oleh mikroorganisme lain. Proses ini menghasilkan fraksi humus yang berperan dalam memperbaiki struktur tanah, meningkatkan kapasitas memegang air, serta memperkaya kandungan unsur hara yang dibutuhkan tanaman. Dengan demikian, jamur merupakan komponen kunci dalam siklus hara dan pemeliharaan kualitas tanah secara berkelanjutan (Rahmawati, 2020.)

Jamur mikoriza turut memberikan kontribusi besar terhadap kesuburan tanah melalui hubungan simbiosis dengan akar tanaman. Hifa mikoriza memperluas wilayah penyerapan akar sehingga meningkatkan efisiensi pengambilan fosfor, nitrogen, serta unsur mikro lainnya yang sering berada dalam bentuk tidak tersedia di tanah. Selain itu, keberadaan mikoriza meningkatkan stabilitas agregat tanah, memperkuat toleransi tanaman terhadap cekaman lingkungan, dan memperbaiki kesehatan ekosistem tanah secara keseluruhan. Peran ini menjadikan jamur sebagai salah satu agen hayati yang sangat potensial dalam pengelolaan tanah ramah lingkungan (Santoso, 2021).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai karakteristik biologi tanah pada areal kelapa sawit menunjukkan bahwa umur tegakan berpengaruh besar terhadap dinamika populasi mikroba dan aktivitas enzim tanah. Tegakan yang lebih tua umumnya memiliki serasah lebih tebal sehingga menyediakan sumber karbon yang meningkatkan biomassa mikroba serta memperkuat proses dekomposisi. Hal ini menegaskan bahwa ketersediaan bahan organik menjadi faktor utama yang menentukan kualitas biologi tanah pada ekosistem kelapa sawit. (Siregar, 2020).

Studi tentang pengembalian residu tanaman, terutama tandan kosong kelapa sawit (TKKS), menemukan bahwa pengayaan bahan organik mampu meningkatkan keragaman mikroba pengurai serta memperkuat aktivitas enzim lignoselulolitik. Analisis laboratorium menunjukkan bahwa penambahan TKKS mempercepat mineralisasi nutrisi yang selanjutnya meningkatkan aktivitas

biologis tanah. Temuan ini menegaskan pentingnya manajemen residu sebagai strategi pemulihan kesehatan tanah. (Purwoko, 2022).

Amandemen organik seperti kompos, pupuk hayati, dan biochar terbukti mampu meningkatkan indikator biologi tanah pada perkebunan kelapa sawit. Pemberian bahan organik tersebut tidak hanya meningkatkan populasi mikroba penambat nitrogen dan pelarut fosfor, namun juga meningkatkan aktivitas dehidrogenase dan fosfatase sebagai indikator metabolisme mikroba. Peningkatan ini menunjukkan bahwa amandemen organik efektif dalam memulihkan fungsi biologis tanah yang terdegradasi. (Boafo, 2020).

Penelitian isolasi mikroba lignoselulolitik dari limbah kelapa sawit melaporkan bahwa berbagai spesies bakteri dan fungi mampu menguraikan lignin dan selulosa dengan efisien. Aktivitas mikroba tersebut berkontribusi terhadap percepatan dekomposisi serasah di lantai kebun, sehingga mendukung peningkatan ketersediaan karbon tanah. Penelitian ini menunjukkan bahwa mikroba pengurai memiliki peran penting dalam mempertahankan proses biologis tanah. (Ariana, 2017).

Kajian aktivitas enzim tanah pada perkebunan kelapa sawit mengungkapkan bahwa enzim seperti dehidrogenase, urease, dan fosfatase sangat sensitif terhadap perubahan kondisi lingkungan, seperti pola pemupukan, kelembapan tanah, dan ketebalan serasah. Aktivitas enzim yang tinggi menunjukkan tingginya proses metabolisme mikroba yang berperan dalam siklus hara. Temuan ini menegaskan bahwa indikator enzimatik dapat digunakan sebagai penilaian cepat kesehatan biologi tanah. (Kumar, 2019).

Penelitian di beberapa perkebunan kelapa sawit di Indonesia menunjukkan bahwa kandungan bahan organik tanah yang rendah cenderung menurunkan populasi mikroba fungsional dan aktivitas biologi tanah secara keseluruhan. Kondisi ini berdampak pada terhambatnya siklus nutrisi terutama nitrogen dan fosfor yang sangat dibutuhkan tanaman. Oleh karena itu, pemantauan terpadu sifat fisik, kimia, dan biologi tanah menjadi pendekatan penting dalam pengelolaan kebun kelapa sawit berkelanjutan. (Harahap, 2021).