II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Kelapa Sawit

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) merupakan tanaman perkebunan yang berasal dari daerah tropis di Afrika barat. Dua bibit kelapa sawit dari daerah Mauritius dan dua lainnya dari Hortus Botanicus dibawa oleh orang belanda ke Indonesia yang ditanam sebagai tanaman hias di Kebun Raya Bogor (Rahayu, 2022). Industri kelapa sawit di Indonesia mulai berkembang secara komersial sejak tahun 1911 dan hingga saat ini terus menunjukkan pertumbuhan yang signifikan, baik dari aspek luas areal, produksi, maupun kontribusinya terhadap ekspor nasional (Badan Pusat Statistik, 2023; Direktorat Jenderal Perkebunan, 2023). Indonesia saat ini tercatat sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia, dengan kontribusi yang signifikan terhadap ekspor dan devisa negara (FAO, 2022; Direktorat Jenderal Perkebunan, 2023). Tanaman ini dinilai sebagai tanaman yang menghasilkan minyak nabati paling efisien di dunia karena mampu menghasilkan produktivitas minyak per hektar 8-10 kali lipat lebih tinggi dibandingkan dengan kedelai atau minyak bunga matahari (PASPI, 2023). Hal ini menjadikan kelapa sawit sebagai komoditas strategis dalam sistem agribisnis modern yang berbasis efisiensi lahan. Selain sebagai penghasil *Crude Oalm Oil* (CPO), kelapa sawit juga menghasilkan *Palm Kernel Oil* (PKO) yang berasal dari inti biji. Kedua produk ini memiliki nilai ekonomi yang tinggi karena dimanfaatkan secara luas dalam industri pangan, kosmetik, oleokimia, dan bioenergi (Paminto *et al*., 2022). Dari aspek botani, kelapa sawit termasuk famili *Arecaceae* dan memiliki perekaran serabut yang kuat. Tanaman Kelapa Sawit diklasifikasikan sebagai berikut:

Divisi : *Embryophyta siphonogama*
Class : *Angiospermae*
Ordo : *Monocotyledonae*
Family : *Arecaceae*
Subfamily : *Cocoidae*
Genus : *Elaeis*
Spesies : 1. *Elaeis guinensis* Jacq.
2. *Elaeis oleifera* (H.B.K) Cortes

Tanaman kelapa sawit dapat beradaptasi pada berbagai kondisi lahan tropis. Menurut Abubakar *et al*. (2022) tanaman ini membutuhkan curah hujan antara 2.000-2.500 mm per tahun, dengan suhu optimal 24-32 derajat *Celcius,* serta penyinaran matahari yang cukup untuk mendukung proses fotositesis secara optimal. Produktivitas kelapa sawit tidak hanya ditentukan oleh faktor genetik, tetapi juga dipengaruhi oleh kondisi lahan dan pengelolaan kebun. Karakteristik lahan seperti jenis tanah, topografi, dan drainase memiliki pengaruh signifikan terhadap pertumbuhan akar dan penyerapan unsur hara (Woittiez *et al*., 2017; Rhebergen *et al*., 2016). Terkhususnya pada lahan gambut yang memerlukan pengelolaan yang khusus terutama dalam pengaturan tata air untuk menjaga stabilitas produksi.

2.2 Karakteristik Fisik Lahan

Karakter fisik lahan merupakan salah satu faktor utama yang menentukan keberhasilan budidaya tanaman kelapa sawit. Sifat fisik dan kimia tanah berperan sebagai salah satu indikator kualitas lingkungan tumbuh serta tingkat kesuburan yang memengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman (Afriansyah *et al*., 2020). Secara umum, karakteristik lahan terdiri dari tiga komponen utama, yaitu tanah, iklim, dan topografi. Ketiga komponen tersebut saling berkaitan dalam menentukan tingkat kesesuaian lahan untuk pengembangan lahan perkebunan kelapa sawit (Abubakar *et al*., 2022).

Karakteristik fisik tanah mencakup berbagai parameter, seperti tekstur tanah, struktur tanah, porositas, perbeabilitas, kedalaman efektif, drainase, serta kondisi tofografi. Paramete - parameter tersebut memengaruhi kemampuan tanah dalam menyimpan dan mengalirkan air, menyediakan ruang bagi perkembangan akar, serta mengatur ketersediaan unsur hara bagi tanaman. Oleh karena itu, penilaian terhadap karakteristik fisik tanah menjadi dasar dalam mengevaluasi potensi lahan dan mengidentifikasi faktor pembatas yang dapat memengaruhi pertumbuhan tanaman kelapa sawit (Setiawan *et al*., 2025).

Selain dipengaruhi oleh sifat alami tanah, karakteristik fisik lahan juga dapat mengalami perubahan akibat penggunaan lahan dan aktivitas budidaya. Variasi umur tanaman kelapa sawit, seperti berpengaruh terhadap perubahan sifat fisik tanah, seperti berat volume (*bulk density*) dan total ruang pori. Perubahan tersebut berdampak pada stabilitas agregat tanah, infiltrasi air, aerasi, serta kemampuan tanah dalam menyediakan air bagi tanaman (Ulfa *et al*., 2024; Patitis dan Mustika, 2025). Di sisi lain, perubahan penggunaan lahan, seperti konversi kawasan hutan menjadi perkebunan, juga dapat mengubah karakteristik fisik tanah, terutama kelas tekstur, kapasitas infiltrasi, dan sistem drainase yang berpengaruh terhadap produktivitas tanaman.

Pemahaman terhadap karakteristik fisik lahan sangatlah penting dalam mendukung pengelolaan perkebunan secara berkelanjutan. Informasi mengenai kondisi sifat fisik lahan dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan strategi pengelolaan tanah, perencanaan drainase, penyusunan rekomendasi pemupukan, serta upaya konservasi tanah untuk meminimalkan risiko degradasi lahan. Selain itu, identifikasi karakteristik fisik lahan juga membantu dalam mengenali faktor–faktor pembatas yang mempengaruhi ketersediaan air dan unsur hara sehingga tindakan pengelolaan dapat disesuaikan dengan kondisi setiap satuan lahan (Marpaung, 2016; Tarigan *et al*., 2025). Di antara berbagai karakteristik fisik lahan, jenis tanah merupakan salah satu faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap kemampuan lahan dalam mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman kelapa sawit.

2.3 Keragaman Jenis Tanah

Tanah dapat didefinisikan sebagai salah satu komponen alam yang menempati bagian permukaan bumi, terbentuk dari perpaduan antara bahan mineral hasil pelapukan batuan dan bahan organik yang berasal dari dekomposisi sisa – sisa organisme, baik tumbuhan maupun hewan. Tanah berfungsi sebagai media tumbuh bagi tanaman, dengan karakteristik yang khas dan berbeda – beda tergantung pada

interaksi sejumlah faktor pembentuknya, yaitu iklim, bahan induk, organisme hidup, relief atau topografi wilayah, serta rentang waktu proses pembentukannya (Sari *et al*., 2023).

Jenis tanah merupakan salah satu komponen utama karakteristik fisik lahan yang berperan penting dalam menentukan tingkat kesesuaian lahan bagi pertumbuhan tanaman. Setiap jenis tanah memiliki sifat fisik, kimia, dan biologi yang berbeda sehingga memengaruhi kemampuan tanah dalam menyediakan air, unsur hara, aerasi, serta ruang tumbuh bagi sistem perakaran tanaman *(*Sadono *et al*., 2019) Perbedaan karakteristik tersebut menjadi dasar dalam menentukan potensi lahan, produktivitas tanaman, dan strategi pengelolaan yang tepat pada suatu areal perkebunan (Putradinantyo *et al*., 2020)

Keragaman jenis tanah terbentuk melalui proses yang dipengaruhi oleh lima faktor utama, yaitu bahan induk, iklim, organisme, topografi, dan waktu (Dilahur *et al*., 2016). Interaksi kelima faktor tersebut menghasilkan berbagai jenis tanah dengan karakteristik yang berbeda, baik dari aspek tekstur, struktur, kedalaman efektif, kapasitas menahan air, maupun tingkat kesuburannya (Herdiansyah *et al*., 2021). Oleh karena itu, identifikasi jenis tanah menjadi langkah penting dalam evaluasi kesesuaian lahan karena setiap jenis tanah memiliki potensi dan faktor pembatas yang berbeda terhadap pertumbuhan tanaman (Killa, 2021). Disamping itu karakteristik fisik, kimia, dan biologi tanah saling berinteraksi secara kompleks dalam membentuk tingkat kesuburan dan produktivitas lahan secara keseluruhan (Sadono *et al*., 2019). Jenis tanah sangat mempengaruhi pertumbuhan vegetatif dan produktivitas tanaman dalam budidaya kelapa sawit. Tanaman kelapa sawit dapat tumbuh pada berbagai jenis tanah, namun memberikan pertumbuhan yang optimal pada tanah yang memiliki drainase baik, kedalaman efektif yang cukup, struktur tanah yang stabil, serta kemampuan menyimpan air dan unsur hara yang tinggi (Setiawan *et* al., 2025). Faktor pembatas karakteristik lahan perlu diidentifikasi untuk menentukan tindakan pengelolaan yang sesuai pada perkebunan kelapa sawit (Putra *et al*., 2025).

Secara umum, perkebunan kelapa sawit di Indonesia berkembang pada beberapa kelompok tanah utama, antara lain tanah mineral, tanah gambut, dan tanah berpasir (Hafif, 2020). Tanah mineral umumnya memiliki kandungan mineral yang tinggi serta sifat fisik yang relatif baik untuk mendukung pertumbuhan tanaman apabila dikelola secara tepat. Tanah gambut memiliki kandungan bahan organik yang tinggi dan kemampuan menyimpan air yang besar, tetapi memiliki daya dukung tanah yang rendah, tingkat kemasaman yang tinggi, serta memerlukan sistem drainase yang terkendali agar produktivitas tanaman tetap optimal (Afrianti *et al*., 2023). Sementara itu, tanah berpasir mempunyai porositas dan laju infiltrasi yang tinggi, namun kemampuan menahan air dan unsur hara relatif rendah sehingga membutuhkan pengelolaan bahan organik dan pemupukan yang lebih intensif (Riyanti, 2025).

Provinsi Kalimantan Barat memiliki keragaman karakteristik tanah yang berkaitan dengan perbedaan kondisi lingkungan dan penggunaan lahannya. Pada perkebunan kelapa sawit, perbedaan jenis tanah dapat menghasilkan variasi sifat fisik tanah, terutama tekstur dan porositas, yang berkaitan dengan kondisi keseimbangan air dan produktivitas tanaman (Ardiyanto *et al*., 2021). Menurut

Nurcahyono *et* al., (2026) bahwa jenis tanah memiliki keterkaitan dengan pola produktivitas kelapa sawit pada berbagai wilayah.

Lokasi penelitian di PT. Patiware, Kecamatan Sungai Raya, Kabupaten Bengkayang, juga berada pada wilayah yang memiliki variasi karakteristik tanah. Penelitian pada lahan kelapa sawit di Desa Sungai Keran, Kecamatan Sungai Raya Kepulauan, menunjukkan bahwa kondisi hara tanah perlu diidentifikasi sebagai dasar penentuan pengelolaan dan pemupukan tanaman kelapa sawit (Lusi *et al*., 2023). Penelitian lain di Desa Karimunting menunjukkan adanya perbedaan karakteristik kesuburan tanah pada beberapa tipe penggunaan lahan, termasuk perkebunan kelapa sawit (Tarmiji *et al*., 2019). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa informasi mengenai karakteristik dan keragaman tanah penting digunakan sebagai informasi pendukung dalam memahami variasi kondisi lahan dan produktivitas antar blok perkebunan.

2.3.1 Tanah Pasir

Tanah pasir merupakan jenis tanah yang didominasi oleh fraksi pasir, struktur berbutir, konsentrasi lepas, sangat poros, sehingga daya tahan air dan hara sangat rendah (Iqbal *et al*., 2019). Miskin hara dan kurang mendukung pertumbuhan tanaman (Bertham *et al*., 2018). Tanah ini memiliki tekstur kasar, struktur yang relatif lepas, serta porositas dan permeabilitas yang tinggi sehingga air dapat mengalir dengan cepat melalui profil tanah (Riskawati dan Rahman, 2023). Kondisi tersebut menyebabkan kemampuan tanah pasir dalam menahan air dan unsur hara relatif rendah dibandingkan jenis tanah lainnya. Oleh karena itu, tanah pasir umumnya memiliki tingkat kesuburan alami yang rendah dan memerlukan pengelolaan yang lebih intensif untuk mendukung pertumbuhan tanaman (Henrianto *et al*., 2019).

Tanah pasir memiliki beberapa keunggulan, seperti aerasi tanah yang baik dan perkembangan sistem perakaran yang relatif mudah karena hambatan mekanis tanah rendah (Febrianto *et al*., 2019). Namun, tingginya laju infiltrasi menyebabkan unsur hara mudah tercuci, sehingga efisiensi pemupukan menjadi lebih rendah. Selain itu, kemampuan tanah dalam menyimpan air juga terbatas sehingga tanaman lebih rentan mengalami cekaman kekeringan pada musim kemarau (Witman, 2021). Oleh karena itu, strategi pengelolaan pada lahan berpasir sering kali difokuskan pada penambahan bahan organik secara berkelanjutan untuk memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitas tukar kation agar retensi hara serta air menjadi lebih optimal (Lumbanraja dan Harahap, 2015).

Pengelolaan tanah pasir pada perkebunan kelapa sawit sangat memerlukan penerapan praktik konservasi tanah yang tepat dan baik. Penambahan bahan organik, penggunaan mulsa, penanaman tanaman penutup tanah (*cover crop*), serta pengaturan frekuensi dan dosis pemupukan menjadi upaya penting untuk meningkatkan kapasitas dalam menahan air, memperbaiki struktur tanah, serta mengurangi kehilangan unsur hara akibat pencucian. Dengan pengelolaan yang baik, produktivitas tanaman kelapa sawit pada tanah pasir dapat ditingkatkan secara berkelanjutan.

2.3.2 Tanah Gambut

Tanah gambut merupakan tanah yang terbentuk dari akumulasi sisa-sisa bahan organik yang mengalami dekomposisi secara tidak sempurna pada kondisi jenuh air dalam waktu yang sangat lama (Sandra *et al*., 2022). Tanah ini dicirikan oleh kandungan bahan organik yang tinggi, warna tanah yang gelap, bobot isi (bulk density) yang rendah, serta kapasitas menyimpan air yang besar (Sutarno *et al.*, 2025). Meskipun memiliki kemampuan menahan air yang tinggi, tanah gambut umumnya memiliki tingkat kemasaman yang tinggi, kandungan unsur hara tersedia yang rendah, serta daya dukung tanah yang lemah sehingga memerlukan pengelolaan yang tepat untuk mendukung kegiatan budidaya tanaman (Istina *et al.*, 2020). Pengelolaan lahan gambut di perkebunan kelapa sawit memerlukan sistem drainase yang terkendali guna menurunkan kedalaman muka air tanah hingga batas tertentu untuk mengoptimalkan produktivitas sekaligus menjaga kelestarian ekosistem (Purnamayani *et al*., 2022).

Secara fisik, tanah gambut memiliki porositas yang tinggi, namun didominasi oleh pori-pori makro sehingga stabilitas tanah relatif rendah.(Afrianti *et al*., 2023). Kondisi ini menyebabkan tanah mudah mengalami penurunan permukaan (subsiden) apabila dilakukan drainase secara berlebihan. Selain itu, perubahan kondisi kelembapan tanah juga dapat meningkatkan risiko kebakaran lahan pada musim kemarau, sehingga pengaturan muka air tanah menjadi salah satu aspek penting dalam pengelolaan lahan gambut (Gusmayanti *et al.*, 2023; Rahman dan Razikin, 2018). Maka dari itu sistem drainase pada tanah gambut harus dirancang secara terkendali agar mampu mempertahankan keseimbangan antara kebutuhan aerasi akar dan konservasi kelembapan tanah (Zamaya *et al*., 2021).

Dalam budidaya kelapa sawit, tanah gambut masih dapat dimanfaatkan apabila memenuhi persyaratan teknis dan dikelola sesuai prinsip budidaya berkelanjutan. Pengelolaan tersebut meliputi pengendalian tinggi muka air tanah, aplikasi amelioran untuk memperbaiki sifat kimia tanah, pemupukan berdasarkan hasil analisis tanah, serta pemeliharaan jaringan drainase secara berkala. Penerapan teknik pengelolaan tersebut bertujuan untuk meningkatkan efisiensi penyerapan unsur hara, menjaga stabilitas tanah, dan mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

2.3.3 Tanah Mineral

Tanah mineral merupakan tanah yang terbentuk dari proses pelapukan bahan induk batuan melalui pengaruh faktor iklim, organisme, topografi, dan waktu di mana interaksi antara faktor bahan induk, topografi, organisme, iklim, dan waktu inilah yang menyebabkan terbentuknya berbagai lapisan horizon tanah serta karakteristik tanah yang beragam (Umanailo *et al*., 2025). Berbeda dengan tanah gambut yang didominasi oleh bahan organik, tanah mineral tersusun terutama atas fraksi mineral berupa pasir, debu, dan liat dengan kandungan bahan organik yang relatif lebih rendah, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil analisis tekstur tanah yang berkembang dari pelapukan batuan, yang didominasi oleh perbandingan relatif fraksi pasir, debu, dan liat dengan kadar karbon organik berkisar dari sangat rendah hingga rendah (Solekhah *et al*., 2024).

Perbedaan komposisi fraksi tersebut menghasilkan variasi sifat fisik dan kimia tanah yang memengaruhi kemampuan lahan dalam mendukung pertumbuhan tanaman (Solekhah *et al*., 2024). Selain itu, tanah mineral umumnya memiliki kapasitas tukar kation yang lebih stabil serta daya dukung mekanis yang lebih baik dibandingkan tanah gambut, sehingga memberikan stabilitas fisik yang lebih optimal bagi sistem perakaran tanaman kelapa sawit (Imanudin dan Bakri, 2021).

Tanah mineral dengan struktur remah, drainase yang baik, serta kedalaman efektif yang memadai mampu menyediakan ruang tumbuh bagi akar yang optimal serta mendukung sirkulasi udara di dalam tanah secara efektif (Priwiratama dan Susanto, 2020). Keseimbangan antara pori makro dan pori mikro memungkinkan tanah menyimpan air sekaligus mempertahankan aerasi sehingga penyerapan air dan unsur hara oleh akar tanaman dapat berlangsung secara efektif (Brady dan Weil, 2017). Tanah mineral umumnya memiliki potensi yang lebih baik dibandingkan tanah organik karena memiliki stabilitas fisik yang lebih tinggi, daya dukung tanah yang baik, serta risiko subsidensi yang rendah. Tanah mineral didominasi oleh partikel mineral seperti pasir, debu, dan liat sehingga lebih stabil dibandingkan tanah organik seperti gambut (Sinaga *et al*., 2025). Sementara pada lahan gambut, tinggi muka air tanah dan laju penurunan permukaan tanah (subsidensi) terbukti berkorelasi dengan produktivitas kelapa sawit yang dihasilkan (Satrio *et al*., 2023).

Produktivitas tanaman kelapa sawit pada tanah mineral sangat dipengaruhi oleh tingkat kesuburan tanah, kedalaman solum, reaksi tanah (pH), kandungan bahan organik, dan kondisi drainase, dimana status hara atau ketersediaan nutrisi dalam tanah dapat mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman, dan secara umum status hara akan tanah mineral cenderung lebih tinggi dibandingkan tanah gambut meski pada kondisi tertentu dapat terjadi sebaliknya (Hutajulu *et al*., 2025). Apabila faktor-faktor tersebut berada pada kisaran yang sesuai, tanah mineral mampu mendukung pertumbuhan vegetatif, perkembangan sistem perakaran, serta pembentukan tandan buah segar secara optimal (Marlina, 2017).

Di Indonesia, tanah mineral yang dimanfaatkan untuk budidaya kelapa sawit terdiri atas berbagai ordo tanah, seperti Ultisol, Oxisol, Inceptisol, Entisol, dan sebagian Alfisol. Di antara jenis tersebut, Ultisol merupakan salah satu tanah yang paling luas penyebarannya pada wilayah Sumatra dan Kalimantan. (Ika, 2019; Maulida *et al.*, 2025). Tanah ini umumnya memiliki tingkat kemasaman yang cukup tinggi serta kandungan fosfor tersedia yang rendah, sehingga memerlukan pengapuran, pemupukan berimbang, dan penambahan bahan organik untuk meningkatkan produktivitas tanaman.

2.4 Produktivitas Kelapa Sawit

Produktivitas merupakan salah satu indikator utama dalam mengevaluasi keberhasilan pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Produktivitas menunjukkan kemampuan tanaman menghasilkan tandan buah segar (TBS) atau minyak sawit per satuan luas lahan dalam periode tertentu, dan menjadi tolak ukur utama yang digunakan untuk menilai kinerja suatu kebun maupun perusahaan perkebunan (Harahap dan Munir, 2022). Semakin tinggi produktivitas yang dicapai, semakin efisien pemanfaatan sumber daya lahan, tenaga kerja, dan sarana produksi yang digunakan dalam kegiatan budidaya, karena suatu usaha perkebunan dapat

dikatakan berjalan baik apabila mampu menggunakan input produksi secara efisien untuk memperoleh output yang optimal Oleh karena itu, produktivitas menjadi parameter penting dalam menilai tingkat keberhasilan pengelolaan perkebunan sekaligus sebagai dasar penyusunan strategi peningkatan produksi (Mariadi dan Faizin, 2022). Oleh karena itu, produktivitas menjadi parameter penting dalam menilai tingkat keberhasilan pengelolaan perkebunan sekaligus sebagai dasar penyusunan strategi peningkatan produksi.

Produktivitas kelapa sawit dipengaruhi oleh berbagai faktor yang saling berinteraksi, meliputi karakteristik fisik lahan, kondisi iklim, sifat kimia tanah, kualitas bahan tanam, umur tanaman, teknik budidaya, pemupukan, pengendalian organisme pengganggu tanaman, serta sistem pemanenan, sebagaimana ditunjukkan oleh kajian pada berbagai afdeling kebun kelapa sawit yang mengaitkan variasi produktivitas dengan perbedaan sifat tanah, data iklim, dan praktik agronomi di masing-masing blok (Siahaan dan Wijaya, 2020). Hal ini juga sejalan dengan pembagian faktor eksternal (kualitas lahan, nutrisi, iklim, manajemen) dan faktor internal (bahan tanam dan keberhasilan penyerbukan) yang menentukan produksi buah kelapa sawit (Sulung Research Station, 2025). Dari antara faktor-faktor tersebut, karakteristik fisik lahan memiliki peran penting karena menentukan kemampuan tanah dalam menyediakan air, dan unsur hara yang dibutuhkan tanaman untuk mendukung pertumbuhan vegetatif maupun generatif. Perbedaan jenis tanah, kemiringan lereng, drainase, dan topografi dapat menyebabkan variasi produktivitas pada setiap blok perkebunan meskipun menerapkan teknik budidaya yang sama, sebagaimana ditemukan pada perbandingan produktivitas antar afdeling di satu kebun yang sama namun menunjukkan hasil yang berbeda akibat perbedaan karakteristik lahannya (Harahap dan Munir, 2022). Perbedaan jenis tanah, kemiringan lereng, drainase, dan topografi dapat menyebabkan variasi produktivitas pada setiap blok perkebunan meskipun menerapkan teknik budidaya yang sama. Selain aspek fisik lahan, penerapan praktik kultur teknis seperti frekuensi sanitasi kebun dan manajemen pemupukan yang tepat juga menjadi penentu krusial dalam mencapai potensi hasil maksimal (Puruhito *et al*., 2019; Siswandi, 2023). Faktor usia tanaman juga berperan menentukan fase produktivitas, di mana pencapaian hasil maksimum umumnya terjadi pada rentang usia 8 hingga 12 tahun sebelum mengalami penurunan secara bertahap (Ridha *et al*., 2022).

2.5 Kesesuaian Lahan Kelapa Sawit

Kesesuaian lahan merupakan tingkat kecocokan suatu lahan untuk mendukung pertumbuhan dan produktivitas tanaman berdasarkan karakteristik fisik, kimia, dan lingkungan yang dimiliki.

2.5.1 Keragaman Iklim

Iklim merupakan salah satu faktor utama dalam skala makro karena menentukan distribusi geografis tanaman kelapa sawit. Berdasarkan standar FAO, parameter iklim utama meliputi curah hujan, suhu, dan distribusi musim kering. Pada umunya tanaman kelapa sawit membutuhkan curah hujan tahunan sekitar 2.000-2.500 mm dengan kebutuhan curah hujan yang merata serta periode kering

tidak lebih dari 2-3 bulan. Suhu optimum berkisar antara 24-28°C dengan kelembaban relatif tinggi mencapai (>70%). Menurut Aisyah *et al*. (2022) bahwa defisit ait tahunan merupakan indikator yang penting dalam menentukan kelas kesesuaian, dimana defisit <150 mm dikategorikan sangat sesuai (S!), sedangkan defisit >400 mm masuk kedalam kategori yang tidak sesuai. Berdasarkan penelitian Qiang Zhao *et al*. (2024) menunjukkan bahwa faktor iklim seperti ketersediaan air dan penyinaran matahari juga menjadi faktor utama dalam pemetaan kesesuaian lahan kelapa sawit secara global, dengan wilayah tropis lembab sebagai zona paling optimal. Berdasarkan RSPO, aspek iklim juga dikaitkan dengan risiko perubahan iklim, sehingga dalam pengembangan perkebunan harus mempertimbangkan adaptasi terhadap faktor curah hujan dan suhu.

2.5.2 Keragaman Topografi

Topografi sangatlah berpengaruh terhadap erosi, drainase, dan kemudahan pengelolaan lahan. Dalam klasifikasi FAO, kemiringan lereng menjadi parameten yang utama, dimana lahan dengan kemiringan <8% dikategorikan sebagai sangat sesuai (S1), 8-15% cukup sesuai (S2), dan >25% umumnya tidak sesuai (N) untuk perkebunan kelapa sawit. Lereng yang landai lebih mendukung produktivitas karena lebih meminimalisasikan resiko erosi dan dapat mempermudah dalam mekasinasi (Rhebergen *et al*., 2016 dalam Zhao *et al*., 2024). Menurut Rhebergen *et al*. (2016) sekitar 37% lahan yang tidak sesuai untuk kelapa sawit disebabkan oleh kemiringan lereng yang curam dan drainase yang buruk. Berdasarkan peraturan RSPO, pengembangan pada lahan yang meiliki kemiringan yang sangat tinggi di batasi dikarenakan dapat berpotensi menyebabkan degradasi tanah dan kerusakan lingkungan. Oleh karena itu, dalam praktik konservasi seperti pembuatan terasering dan penanaman tanaman penutup tanah menjadi salah satu rekomendasi yang digunakan dalam pengelolaan lahan yang marginal.

2.6 Sejarah Perkembangan PT. Patiware

PT. Patiware merupakan salah satu perusahaan swasta yang bergerak di bidang perkebunan dan pengolahan kelapa sawit di Provinsi Kalimantan Barat. PT. Patiware didirikan dan mulai beroperasi pada tahun 2010 dengan lokasi kegiatan usaha berada di Desa Sungai, Kecamatan Sungai Raya Kepulauan, Kabupaten Bengkayang, Kalimantan Barat. PT. Patiware Berada di bawah naungan Kurnia Prima Nastari Corporation (KPN Corp). Perusahaan ini mengelola kegiatan usaha yang meliputi budidaya kelapa sawit, pemanenan tandan buah segar (TBS), hingga pengolahan TBS menjadi minyak kelapa sawit mentah *Crude Palm Oil* (CPO). Keberadaan PT. Patiware menjadi bagian dari perkembangan industri kelapa sawit di Kalimantan Barat yang berperan dalam meningkatkan perekonomian daerah, membuka lapangan pekerjaan, serta mendukung pertumbuhan sektor agribisnis.

Perusahaan mengembangkan usaha perkebunan kelapa sawit yang didukung oleh fasilitas pengolahan TBS menjadi CPO melalui pabrik kelapa sawit yang dimiliki. Dalam menjalankan kegiatan operasionalnya, perusahaan juga telah memiliki dokumen Analisis Mengenai Dampak Lingkungan (AMDAL) sebagai bagian dari pemenuhan persyaratan pengelolaan lingkungan. Seiring dengan perkembangan perusahaan, PT. Patiware terus melakukan pengembangan pada

aspek budidaya, infrastruktur kebun, serta pengelolaan pabrik untuk meningkatkan efektivitas operasional.

Pengembangan tersebut meliputi pembangunan dan pemeliharaan jaringan jalan kebun, sarana transportasi hasil panen, sistem drainase, serta penerapan praktik pengelolaan kebun yang bertujuan menjaga produktivitas tanaman dan efisiensi proses produksi. Dalam aspek tata kelola lingkungan, PT. Patiware secara berkala mengikuti Program Penilaian Peringkat Kinerja Perusahaan dalam Pengelolaan Lingkungan Hidup (PROPER) yang diselenggarakan oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Keikutsertaan perusahaan dalam program tersebut menunjukkan adanya upaya untuk menerapkan pengelolaan lingkungan sesuai dengan ketentuan yang berlaku.

PT Patiware mengelola Hak Guna Usaha (HGU) ± 7.897 hektar yang terbagi menjadi dua unit wilayah yaitu PTW 1 Kebun Sungai Adong (KSA) dan PTW 2 Kebun Sungai Talo (KST). Lahan tersebut dimanfaatkan untuk area pertanaman, permukiman karyawan (*emplacement*), serta kawasan Nilai Konservasi Tinggi *High Conservation Value* (HCV). Rangkaian kegiatan usahanya mencakup pembibitan, pemeliharaan, pemupukan, hingga pemanenan dan pengolahan Tandan Buah Segar (TBS). Selain itu, fasilitas operasional dilengkapi dengan satu unit Pabrik Kelapa Sawit (PKS) berkapasitas 45 ton TBS per jam untuk mengolah hasil panen. Hingga tahun 2021, luas tanam yang telah terealisasi mencapai 7.897 hektar dengan rincian 5.296 hektar (68%) sebagai kebun inti dan 2.601 hektar (32%) sebagai kebun plasma. Aktivitas operasional ini didukung oleh sekitar 1.350 tenaga kerja, di mana 95% di antaranya merupakan warga lokal setempat. Hal ini menegaskan komitmen PT. Patiware dalam memberikan dampak sosial-ekonomi positif melalui penyerapan tenaga kerja sekitar.

Sebagai lokasi penelitian, PT. Patiware memiliki areal perkebunan dengan karakteristik lahan yang beragam sehingga sesuai untuk penelitian mengenai tipologi lahan berdasarkan karakteristik fisik dan produktivitas kelapa sawit. Keragaman kondisi lahan tersebut menjadi dasar dalam penerapan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan analisis spasial untuk mengidentifikasi sebaran karakteristik lahan serta hubungannya dengan tingkat produktivitas pada setiap blok kebun.

2.7 Pemetaan Spasial Perkebunan Sawit

Teknologi pemetaan merupakan suatu pendekatan berbasis teknologi untuk membuat data-data di lapangan menjadi sebuah data analisis hasil pengelompokkan yang dapat memudahkan pengguna untuk mengetahui sebuah posisi atau letak suatu tempat. Sistem ini menggabungkan data lapangan dengan informasi tambahan untuk mengolah dan menganalisis kondisi geografi secara akurat. Itegrasi ini memungkinkan pengguna untuk menyajikan hasil visualisasi data spasial yang relevan bagi berbagai sektor operasional (Rasyid *et al*., 2021).

pemanfaatan teknologi penginderaan jauh yang diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis memungkinkan delineasi area perkebunan yang presisi melalui metode klasifikasi citra satelit dan pemrosesan data spasial (Marbun *et al*., 2025), (L.R. *et al*., 2019). selain itu, teknologi GPS dan GIS kini dioptimalkan untuk memetakan komponen infrastruktur kebun seperti blok tanaman, akses jalan, serta sistem drainase guna mendukung perencanaan operasional yang lebih efisien

(Ginting dan Wiratmoko, 2021). Analisis temporal kemudian dapat dilakukan untuk memantau perubahan tutupan lahan dan dinamika pertumbuhan tanaman secara *real-time*, sehingga manajemen dapat melakukan evaluasi berkala terhadap kondisi vegetasi dan produktivitas perkebunan (Thereza *et al*., 2021; Gunadi, 2025).

2.7.1 Pemanfaatan *ArcGIS*

Sistem Informasi Geografis (SIG) adalah sistem berbasis komputer yang dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, memanipulasi, menganalisis, dan menampilkan data spasial (geografis) (Fitasari *et al*., 2017). Dalam manajemen perkebunan kelapa sawit, SIG berfungsi sebagai alat bantu pengambilan keputusan (*Decision Support System*) melalui integrasi data peta blok, data infrastruktur, dan data agronomis (Hasanah *et al*., 2025). Salah satu fungsi analisis SIG yang relevan dengan pemantauan infrastruktur adalah teknik *overlay* (tumpang susun) (Naryoko dan Nugraha, 2019).

ArcGIS merupakan salah satu perangkat lunak Sistem Informasi Geografis (SIG) yang dikembangkan untuk mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data spasial dalam berbagai bidang, termasuk pengelolaan sumber daya alam dan perkebunan (Damayanti dan Rassarandi, 2023). Penggunaan aplikasi ArcGIS dapat melakukan pemetaan, analisis geografi, editing, manajemen data, kompilasi, visualisasi data, dan geoprocessing (Sobatnu *et al*., 2017). Perangkat lunak ini mengintegrasikan berbagai komponen fungsional seperti ArcMap, ArcCatalog, dan ArcToolbox yang memungkinkan pengguna untuk menjalankan alur kerja sistem informasi geografis mulai dari pemodelan data sederhana hingga analisis spasial tingkat lanjut (Fatimatuzahra dan Somantri, 2023). Perangkat ini mendukung implementasi basis data spasial *geodatabase* yang memungkinkan pengelolaan data skala besar secara lebih efisien dan terstruktur (Sobatnu *et al.*, 2017).

Data hasil digitasi peta manual atau hasil interpretasi citra satelit dapat diintegrasikan secara akurat ke dalam sistem koordinat referensi yang seragam (Cascon dan Pascual, 2021). Kemampuan ini menjadi penting karena seluruh tahapan analisis spasial dalam pengelolaan perkebunan, mulai dari pemetaan blok tanam, deliniasi batas kebun, hingga penilaian kesesuaian lahan, menuntut presisi posisi yang konsisten agar tidak terjadi distorsi pada luasan maupun lokasi setiap fitur yang dianalisis. Lebih dari sekadar koreksi geometrik, ArcGIS juga menyediakan beragam perangkat analisis spasial seperti *overlay*, *buffer*, *intersect*, dan *spatial join* yang memungkinkan penggabungan berbagai lapisan, misalnya antara peta kelas lereng, peta jenis tanah, dan peta curah hujan, untuk menghasilkan peta sintesis yang informatif (Anwar dan Sakti, 2024). Berkat dukungan format data yang beragam, termasuk *shapefile*, *geodatabase*, *GeoTIFF*, serta koneksi langsung dengan layanan citra satelit Landsat dan Sentinel, ArcGIS sangat membantu dalam melakukan inventarisasi dan memantau luasan kebun kelapa sawit secara berkala (Lee *et al.*, 2016; James *et al.*, 2023).

Salah satu keunggulan utama SIG dalam perkebunan adalah kemampuan dalam mengelola data input yang berasal dari berbagai sumber, termasuk hasil pemetaan menggunakan *Unmanned Arial Vehicle* (UAV) (Shamshiri *et al*., 2019). Data foto udara yang dihasilkan oleh drone dapat diimpor langsung ke dalam perangkat lunak SIG untuk dijadikan peta dasar (*Basemap*) yang memiliki resolusi

tinggi (Siahaan *et al*., 2021). Dengan keseluruhan kapabilitas tersebut, ArcGIS menjadi pilihan utama dalam penelitian ini sebagai perangkat yang mampu menjamin keakuratan posisi sekaligus menyediakan analisis keruangan secara menyeluruh untuk mendukung proses perencanaan dan pengambilan keputusan di bidang perkebunan.

2.7.2 Teknik *Overlay*

Overlay merupakan cara menggabungkan beberapa lapisan data spasial guna menciptakan informasi baru yang lebih komprehensif. *Overlay* dapat dilakukan pada peta raster maupun vektor (Larasati *et al.*, 2017). Melalui teknik ini, berbagai parameter seperti jenis tanah, kemiringan lereng, dan curah hujan dapat disatukan untuk mengevaluasi kondisi tertentu, misalnya dalam penilaian kesesuaian lahan perkebunan (Alfi dan Hariyanti *et al.*, 2025). Proses ini melibatkan pemberian skor dan pembobotan pada parameter terkait untuk menghasilkan peta tematik yang merepresentasikan tingkat kerentanan atau kesesuaian lahan secara spasial (Adam *et al.*, 2019; Mandowen dan Mambrasar, 2021). Teknik ini secara teknis mengintegrasikan lapisan - lapisan data dengan sistem koordinat yang seragam untuk mengidentifikasi interseksi antar unsur, sehingga menghasilkan representasi spasial baru yang bermakna bagi perencanaan operasional (Rabsanjani *et al.*, 2021; Ronald *et al.*, 2021).

Secara teknis, proses integrasi tersebut dapat diimplementasikan melalui operasi *union*, yang menggabungkan seluruh fitur dan atribut dari setiap lapisan input, maupun melalui operasi *intersect*, yang mempertahankan hanya area tumpang tindih antar lapisan, sehingga menghasilkan kelas fitur baru yang merepresentasikan tingkat kesesuaian lahan secara lebih spesifik (Damayanti dan Rassarandi, 2023). Penerapan kedua operasi ini pada gilirannya memungkinkan peneliti melakukan klasifikasi kesesuaian lahan secara mendetail, seperti pemilahan area potensial berdasarkan bobot parameter spesifik yang telah ditentukan (Loho *et al.*, 2024; Mandowen dan Mambrasar, 2021). Pemilihan antara kedua teknik ini bergantung pada kebutuhan analisis. Metode *union* sering dipilih untuk menggabungkan seluruh fitur beserta atribut dari setiap tema input, sementara metode *intersect* lebih efektif digunakan untuk membatasi analisis pada area yang memiliki tumpang tindih spasial dari seluruh parameter yang diuji (Adnyana *et al*., 2017). Setiap parameter yang terlibat dalam analisis tersebut diberikan bobot nilai sesuai dengan kontribusinya terhadap target evaluasi, guna memastikan hasil akhir mencerminkan tingkat kepentingan yang proporsional (Karondia et al., 2022).

Teknik *overlay* atau tumpang susun diterapkan untuk menggabungkan peta jenis tanah minera, berpasir, dan gambut dengan peta blok kebun serta data produktivitas tandan buah segar (TBS) di areal PT. Patiware (Hasriyanti *et al*., 2016). Melalui operasi *intersect*, lapisan peta jenis tanah ditumpang susunkan dengan batas petak bidang kebun sehingga setiap blok dapat diketahui karakteristik tanah dominannya secara spasial. Hasil tumpang susun ini kemudian menjadi salah satu variabel input dalam analisis pengelompokan (*clustering*) menggunakan algoritma *K-Means*, guna mengidentifikasi pola sebaran blok - blok dengan karakteristik tanah dan tingkat produktivitas yang serupa (Pulungan *et al*., 2019). Dengan demikian, teknik *overlay* tidak hanya berfungsi sebagai alat visualisasi

spasial, tetapi juga sebagai tahapan pra-pemrosesan data yang menghubungkan informasi jenis tanah dengan analisis produktivitas kelapa sawit pada penelitian ini.

2.7.3 Petak Bidang

Petak bidang, yang dalam konteks perkebunan kelapa sawit umumnya disebut sebagai blok, merupakan unit manajemen terkecil dalam struktur pengelolaan kebun. Blok dirancang seragam dari sisi tanaman, kondisi lahan, dan jaringan jalan agar mudah dikelola, dengan luasan berkisar 25–30 hektar per blok, yang kemudian secara kolektif membentuk afdeling atau divisi (Siahaan dan Wijaya, 2020). Meskipun dirancang homogen, kenyataannya setiap blok memiliki keragaman karakteristik satu sama lain sehingga menuntut penanganan yang berbeda-beda, dan pendekatan manajemen blok menjadi salah satu cara untuk mengevaluasi serta menemukan akar permasalahan guna mendukung peningkatan produktivitas tanaman (Manfrini *et al.*, 2020). Melalui penerapan algoritma *clustering* seperti K-Means, keragaman karakteristik antar blok ini dapat dipetakan secara objektif ke dalam kategori produktivitas tinggi, sedang, dan rendah (Rahma dan Z, 2025).

Sebagai satuan terkecil dalam pengelolaan perkebunan, sistem blok kebun membutuhkan informasi kondisi lahan pada skala spasial yang luas dan resolusi tinggi agar pemanfaatan lahan dapat berjalan optimal. Kebutuhan inilah yang mendorong pemanfaatan ArcGIS untuk mengintegrasikan data atribut agronomi secara mendetail ke dalam setiap unit petak bidang, sehingga menghasilkan basis data pemantauan aktivitas operasional dan analisis kebutuhan lahan yang lebih terukur di lapangan - bahkan proses pembuatan layout peta blok yang secara manual dapat memakan waktu hampir 9,5 jam, dapat dipersingkat menjadi sekitar 32 menit melalui otomatisasi berbasis *Data Driven Pages* dan *ArcPy* pada perangkat lunak ArcGIS. Basis data yang terstruktur ini kemudian memungkinkan dilakukannya tumpang susun (*overlay*) antara peta petak bidang dengan peta tematik hasil evaluasi memudahkan identifikasi kesesuaian lahan secara spesifik untuk tiap petak (Ngabito dan Auliyah, 2018). Pendekatan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) semacam ini juga telah diterapkan dalam pemantauan batas dan kondisi blok kebun kelapa sawit dari tahun ke tahun melalui platform *Web GIS*, yang memungkinkan visualisasi perubahan luasan dan nomor blok secara berkala (Yuniasih *et al.*, 2019). Melalui integrasi ini, data atribut petak bidang dapat divisualisasikan baik dalam bentuk tabel maupun peta tematik, memberikan gambaran spasial pengelolaan setiap petak secara lebih komprehensif bagi manajer perkebunan dalam menentukan tindakan agronomis yang tepat.

2.7.4 Identifikasi Penggunaan Lahan

Identifikasi penggunaan lahan merupakan proses pengenalan dan pengelompokan suatu area berdasarkan jenis pemanfaatannya, yang pada perkebunan kelapa sawit umumnya bertujuan untuk membedakan area kebun sawit dari tutupan lahan lain seperti hutan, badan air, permukiman, maupun lahan terbuka. Identifikasi penggunaan lahan mencakup pemetaan klasifikasi tutupan vegetasi dan objek non-vegetasi untuk membedakan area produktif dari lahan yang belum diolah atau infrastruktur pendukung perkebunan. Proses ini menjadi salah satu keluaran

penting dari analisis spasial, karena hasil tumpang susun (*overlay*) antar lapisan data hanya akan bermakna apabila setiap unit lahan telah teridentifikasi jenis penggunaannya secara akurat. Identifikasi penggunaan lahan pada perkebunan kelapa sawit umunya dilakukan melalui klasifikasi citra satelit, baik menggunakan metode klasifikasi digital berbasis piksel maupun klasifikasi berbasis objek (*object base classification*) (Hayati *et al*., 2024).

2.8 Tipologi Lahan Perkebunan Kelapa Sawit

Tipologi lahan atau satuan lahan merupakan hamparan wilayah yang memiliki tingkat keseragaman (homogenitas) tertentu dalam sifat-sifat fisik seperti bentuk lahan, jenis tanah, dan iklim, yang digunakan sebagai dasar dalam analisis kesesuaian lahan (Tentua *et al*., 2017). Pada perkebunan kelapa sawit, tipologi lahan digunakan untuk memahami variasi kondisi lahan serta mendukung dalam pengambilan keputusan untuk pengelolaan dan perencanaan produksi (Khasanah *et al*., 2015; Feitrenie *et al*., 2018). Pendekatan ini menjadi semakin penting karena sistem perkebunan kelapa sawit memiliki kompleksitas tinggi yang dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan dan manusia. Dengan demikian, tipologi lahan tidak hanya berfungsi sebagai alat klasifikasi, tetapi juga sebagai dasar dalam pengembangan strategi pengelolaan yang lebih efektif. Dalam mengklasifikasi lahan, dibutuhkan suatu metode tipologi berbasis analisis multi kriteria, seperti *Clustering analysis*, pendekatan multi-variabel, serta integrasi *Geographic Information System* (GIS) dan *machine learning* menjadi komponen penting dalam pengembangan tipologi lahan kelapa sawit berbasis data. Dalam pendekatan *hierachical* memungkinkan pengelompokkan lahan berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik melalui proses pengukuran jarak atau kedekatan antar variabel, sehingga menghasilkan struktur kelompok yang sistematis dan hierarkis (Lesage dan Feintrenie. 2018). Selain itu itegrasi GIS juga memungkinkan pengelolaan data dalam skala luas serta integrasi dari berbagai sumber data seperti citra satelit, data tofografi, dan penggunaan lahan, sehingga mendukung analisis spasial yang lebih komprehensif (Naryoko *et al*., 2019).

2.8.1 Tipologi Lahan Berbasis *Multi-Variabel*

Pendekatan tipologi berbasis multi-variabel mengintegrasikan berbagai faktor yang mempengaruhi sistem perkebunan kelapa sawit, termasuk kondisi biofisik, iklim, penggunaan lahan, serta aspek sosial-ekonomi. Pendekatan ini memungkinkan analisis yang lebih komprehensif dibandingkan metode tunggal karena mampu menangkap kompleksitas sistem produksi kelapa sawit secara menyeluruh. Tipologi dapat dikembangkan dengan menggabungkan variabel kesesuaian lahan, aksesibilitas, serta tekanan deforestasi, sehingga menghasilkan klasifikasi yang lebih realistis dan aplikatif dalam perencanaan penggunaan lahan (Pirker *et al*., 2016). Tipologi lahan kelapa sawit dapat dibedakan berdasarkan skala usaha, akses terhadap teknologi, serta pola pengelolaan lahan, yang secara langsung mempengaruhi produktivitas dan efisiensi sistem produksi (Pirker *et al*., 2020).

2.9 Prinsip Metode *Clustering Analysis*

Metode *clustering analysis* merupakan teknik statistik yang digunakan untuk mengelompokkan objek berdasarkan tingkat kemiripan karakteristik lahan kelapa sawit. Metode ini banyak diterapkan pada data penginderaan jauh (*remote sensing*) untuk mengidentifikasi pola lahan, struktur vegetasi, serta tingkat produktivitas tanaman. Menurut Azhar *et al*. (2019) bahwa teknik *clustering* dengan menggunakan citra satelit mampu mengelompokkan petak bidang lahan secara akurat dengan memanfaatkan parameter seperti indek vegetasi dan karakteristik lahan, sehingga dapat membedakan fase pertumbuhan tanaman serta tingkat kepadatan kanopi dengan demikian, metode *cluster analysis* berbasis data penginderaan jauh menjadi pendekatan yang sangat efektif dalam mengidentifikasi variasi karakteristik lahan secara objektif dan sistematis. Penerapan seperti *KMeans* memungkinkan manajemen untuk mempartisi data produktivitas ke dalam kelompok spesifik guna mempermudah pengambilan keputusan strategis dalam peningkatan hasil panen (Michael *et al*., 2022; Rahma dan Z, 2025).

2.9.1 Prinsip *Clustering*

Clustering merupakan salah satu teknik dalam data mining yang digunakan untuk melakukan analisis data melalui proses pengelompokan berdasarkan karakteristik atau kemiripan tertentu (Kurniawan *et al*., 2020). Teknik ini bertujuan untuk mengelompokkan objek atau data yang memiliki kesamaan ke dalam suatu kelompok (*cluster*), sehingga pola atau hubungan antar data dapat lebih mudah ditemukan. Dalam proses penentuan cluster, diperlukan suatu alur komputasi yang menggambarkan tahapan pengolahan data hingga menghasilkan kelompok data yang sesuai dengan tujuan analisis. Penerapan clustering pada data mining berperan penting dalam mengidentifikasi pola distribusi yang terdapat dalam kumpulan data. Metode ini membantu proses analisis terhadap data yang memiliki kemiripan karakteristik, di mana setiap objek data dapat direpresentasikan sebagai titik dalam ruang multidimensi berdasarkan variabel atau atribut yang dimiliki (Fakhriza dan Umam, 2021) Dengan demikian, clustering dapat digunakan untuk menemukan struktur tersembunyi dalam data dan mendukung proses pengambilan keputusan.

2.9.2 Prinsip *K-Means*

K-Means merupakan salah satu algoritma dalam metode *clustering* yang digunakan untuk mengelompokkan data ke dalam beberapa kelompok (*cluster*) berdasarkan tingkat kemiripan karakteristiknya (Nuraeni *et al*., 2023). Algoritma ini bekerja dengan cara membagi data ke dalam kelompok tertentu dengan tujuan meminimalkan jarak antara setiap data terhadap pusat cluster (*centroid*) yang telah ditentukan. Penggunaan algoritma *K-Means* dalam proses pengelompokan data sangat bergantung pada jenis data yang dianalisis serta tujuan akhir dari proses pengolahan data tersebut. Algoritma ini dilakukan secara berulang (iteratif) untuk memperoleh hasil pengelompokan yang optimal hingga posisi setiap data dalam *cluster* tidak mengalami perubahan. Hasil pembentukan cluster pada metode *KMeans* dipengaruhi oleh penentuan nilai awal pusat *cluster* (*centroid* awal), karena nilai tersebut menjadi dasar dalam proses perhitungan dan pengelompokan data selanjutnya (Handoko, 2016).