# I. PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang Permasalahan

Perkebunan merupakan salah satu subsektor pertanian yang berkontribusi besar terhadap Produk Domestik Bruto (PDB), yaitu sekitar 3,63% terhadap total PDB Indonesia pada tahun 2020 (BPS, 2021). Komoditas perkebunan yang cukup penting bagi perekonomian di Indonesia, salah satunya adalah kelapa sawit (*Elaeis guineensis Jacq.*) dengan kemampuannya untuk menghasilkan minyak nabati yang banyak dibutuhkan oleh sektor industri (BPS, 2020). Indonesia menempati urutan pertama sebagai negara produsen minyak sawit dengan memproduksi lebih dari setengah minyak sawit dunia, diikuti oleh Malaysia yang memproduksi sekitar seperempatnya (FERN, 2022) .

Luas lahan perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2021 diestimasikan mencapai 15 juta hektar dengan estimasi produksi minyak sawit sebesar 49,7 juta ton dan produksi minyak inti sawit sebesar 9,9 juta ton, dengan volume ekspor *Crude Palm Oil (CPO)* dan *Palm Kernel Oil (PKO)* pada tahun 2019 mencapai 30 juta ton dengan nilai ekspor sebesar 16 milyar US$ (Ditjenbun, 2020).

Permintaan minyak sawit dunia diproyeksikan akan terus mengalami tren kenaikan seiring dengan meningkatnya permintaan untuk memenuhi kebutuhan biodiesel, pangan dan industri, sehingga permintaan yang tinggi tersebut akan memicu kenaikan harga karena tidak diimbangi dengan peningkatan produksi akibat hambatan faktor budidayanya

(CPOPC, 2022). Agar dapat memenuhi tingginya permintaan produk kelapa sawit, maka perlu dipastikan bahwa penanaman kelapa sawit harus dilakukan dengan cara yang tepat.

Rata-rata produktivitas aktual pada seluruh perkebunan kelapa sawit di Indonesia pada tahun 2019 adalah sebesar 3,7 Ton/Ha, dengan rincian 4,4 Ton/Ha dari perusahaan besar negara dan perusahaan besar swasta, dan 3,2 Ton/Ha dari perkebunan rakyat (BPS, 2021), sedangkan produktivitas potensial kelapa sawit per hektar adalah sekitar 8,9 ton minyak kelapa sawit ((Fairhurst & Griffiths, 2014); (Woittiez, Van Wijk, Slingerland, Van Noordwijk, & Giller, 2017)). Dari kesenjangan produktivitas tersebut, terlihat bahwa masih terdapat potensi untuk meningkatkan produktivitas hasil perkebunan kelapa sawit di Indonesia.

Salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas tanaman kelapa sawit adalah dengan menerapkan praktik-praktik manajemen pemupukan yang baik. Manajemen nutrisi dan perawatan tanaman dengan cara yang baik telah terbukti dapat meningkatkan produktivitas kelapa sawit, baik secara jumlah maupun berat tandan yang dihasilkan (Griffiths & Fairhurst, 2003). Sebaliknya, manajemen pemupukan yang kurang efektif akan mengakibatkan penurunan produktivitas tanaman kelapa sawit (Purwanto, 2009) hingga 50%, misalnya pada pohon yang tidak diberikan pupuk nitrogen dan kalium (Woittiez, Van Wijk, Slingerland, Van Noordwijk, & Giller, 2017).

Pemupukan merupakan variabel biaya terbesar dalam produksi minyak kelapa sawit, di mana biaya pemupukan dapat mencapai 60% dari total biaya perawatan (Panggabean, Sihombing, & Salmiah, 2013). Oleh karena itu, peningkatan harga pupuk akan sangat berdampak pada penurunan pendapatan dan kesejahteraan petani (Sawit Indonesia, 2021).

Status hara optimum pada tanaman kelapa sawit dapat dicapai ketika semua unsur hara dalam keadaan seimbang (Prabowo N. E., 2005). Kaidah 6T (tepat jenis, tepat dosis, tepat waktu, tepat cara, tepat tempat dan tepat alat) perlu diterapkan untuk mencapai efektivitas dan efisiensi pemupukan (Khalida & Lontoh, 2019). Dengan mengoptimalkan penggunaan pupuk sesuai rekomendasi, diharapkan dapat menghemat biaya pupuk dan juga mengurangi dampak negatif yang ditimbulkan oleh pupuk tersebut dalam rangka membangun perkebunan kelapa sawit yang berkelanjutan.

Rekomendasi pupuk yang akurat dapat dihitung melalui hasil analisis hara daun karena respon terhadap pupuk sangat berkorelasi dengan nilai hara daun (Prabowo N. E., 2005). Analisis hara daun kelapa sawit umumnya menggunakan metode analisis kimia dari contoh daun yang diambil pada pelepah tanaman kelapa sawit. Metode ini biasa disebut dengan metode destruktif yang memerlukan waktu yang lama, apalagi untuk area perkebunan yang luas. Metode non-destruktif seharusnya sudah digunakan untuk mempercepat analisis hara daun ini (Jayaselan, et al., 2017).

Beberapa penelitian terdahulu mengenai analisis hara daun kelapa sawit untuk rekomendasi pemupukan telah dilakukan dengan memanfaatkan berbagai macam teknologi, mulai dari teknologi penginderaan jauh menggunakan citra satelit ((Marzukhi, Elahami, & Bohari, 2016), (Wijaya, Wardati, & Silalahi, 2018), (Kaliana, Seminar, Sudradjat, & Rusiawan, 2019), (Kok, et al., 2021)); menggunakan *NIR spectroscopy* ((Jayaselan, et al., 2017), (Santoso, Tani, Wang, & Segah, 2019)); maupun menggunakan pesawat udara tanpa awak ((Suyuthi, Seminar, & Sudrajat, 2020), (Santoso & Winarna, 2021), (Budiman, Seminar, & Sudradjat, 2022)). Penelitian-penelitian tersebut menjadi bukti bahwa teknologi tersebut dapat dimanfaatkan dan dapat digunakan sebagai acuan pada penelitian berikutnya. Luasnya lahan perkebunan kelapa sawit memerlukan dukungan teknologi, seperti teknologi komputasi kinerja tinggi, IOT (*Internet of Thing*), dan kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence*), agar pengelolaan perkebunan dapat berjalan dengan efektif dan efisien (Sastrohartono, et al., 2022).

Teknologi yang dapat dimanfaatkan, dua di antaranya adalah spektrometer genggam Spectravue CI-710s yang mempunyai kemampuan untuk dimasukkan persamaan pendugaan kandungan unsur hara daun kelapa sawit dengan keluarannya yang dapat secara langsung menyajikannya dalam bentuk %*Dry Matter* (%DM) untuk masing-masing unsur hara yang dianalisis dan kamera multispektral Micansense RedEdge-

P yang dipasang pada pesawat udara tanpa awak untuk mendapatkan pencitraan kebun kelapa sawit.

Hingga saat ini belum ditemukan penelitian menggunakan spektrometer genggam merk Spectravue tipe CI-710s dan pesawat udara tanpa awak dengan kamera multispektral merk Micasense tipe Rededge-P, yang dilakukan di perkebunan kelapa sawit. Sehingga pada penelitian ini, peneliti bermaksud untuk melakukan penelitian dengan memanfaatkan kedua alat tersebut untuk mengetahui alat penelitian yang manakah yang memberikan skor atau kinerja prediksi yang lebih baik.

## 1.2. Perumusan Masalah

Salah satu upaya peningkatan produktivitas tanaman kelapa sawit adalah dengan pemberian nutrisi tiap tanaman kelapa sawit dengan tepat dan seimbang. Untuk itu, diperlukan data rekomendasi pemupukan untuk tiap tanaman kelapa sawit dengan tepat.

Rekomendasi pemupukan memerlukan analisis kandungan hara daun sebagai dasar perhitungannya. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis dan membandingkan kinerja alat spektrometer genggam dan kamera udara multispektral untuk memprediksi konsentrasi hara N, P, K Mg, dan Ca daun tiap tanaman kelapa sawit. Kedua alat ini diharapkan dapat menjadi alternatif metode non-destruktif analisis hara daun yang cepat dan akurat.

## 1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut:

1. Menganalisis kinerja prediksi konsentrasi hara N, P, K, Mg dan Ca daun kelapa sawit menggunakan alat spektrometer genggam Spectravue CI-710s.
2. Menganalisis kinerja prediksi konsentrasi hara N, P, K, Mg dan Ca daun kelapa sawit menggunakan alat kamera udara multispektral Micasense Rededge-P yang diambil menggunakan pesawat udara tanpa awak.
3. Melakukan perbandingan kinerja kedua alat yang digunakan pada penelitian ini dan melakukan evaluasi alat mana yang memberikan kinerja prediksi konsentrasi hara N, P, K, Mg dan Ca daun kelapa sawit terbaik.

## 1.4. Manfaat Penelitian

### 1.4.1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat secara teoritis, yaitu:

1. Memberikan gambaran mengenai cara atau alternatif cara untuk memprediksi konsentrasi hara N, P, K, Mg dan Ca daun kelapa sawit, selain metode analisis laboratorium menggunakan NIR Spectroscopy maupun analisis kimia.
2. Menambah atau memperkaya wawasan dan pengetahuan mengenai metode prediksi konsentrasi hara N, P, K, Mg dan Ca daun kelapa sawit

menggunakan alat spektrometer genggam dan kamera udara multispektral.

3. Sebagai bahan penguat teori bagi penelitian selanjutnya.

### 1.4.2. Manfaat Praktis

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat praktis, yaitu:

1. Di bidang industri kelapa sawit, penelitian ini diharapkan dapat mempermudah agronomis untuk mendapatkan informasi konsentrasi hara daun N, P, K, Mg dan Ca kelapa sawit secara cepat dan akurat.
2. Secara lingkungan, penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk referensi pembuatan sistem informasi pemupukan secara presisi.
3. Secara bisnis, dengan adanya penelitian ini dan penerapannya di lapangan, diharapkan dapat menghemat penggunaan pupuk, mengefisienkan biaya operasional dan meningkatkan keuntungan perusahaan.
4. Secara produktivitas, penelitian ini diharapkan dapat membantu upaya peningkatan produktivitas kelapa sawit dari faktor penyediaan data ketersediaan hara N, P, K, Mg dan Ca tanaman kelapa sawit, agar pelaksanaan pemupukan dapat dilakukan secara efektif dan efisien.

## 1.5. Keaslian Penelitian

Tabel 1.1 Keaslian Penelitian

| **Peneliti dan Judul Penelitian** | **Metode Penelitian** | **Variabel Penelitian** | **Analisis Penelitian** | **Hasil Penelitian** |
|---|---|---|---|---|
| (Oliveira, Santana, & Oliveira, 2019) *"Nondestructive estimation of leaf nutrient concentrations in Eucalyptus plantations"* | Melakukan analisis hara N, P, S dan Cu pada daun tanaman *Eucalyptus urophylla* menggunakan Spectravue Ci710 | Hasil analisis kandungan hara N, P, S dan Cu di lab dan perhitungan indeks vegetasi dari nilai reflektan spektrometer. | Analisis korelasi dan analisis statistik deskriptif. Validasi menggunakan R2 dan RMSE. | R2 Indeks Nitrogen = 0,96; R2 Indeks Phosporus = 0,92; R2 Indeks Sulfur = 0,79; R2 Indeks Copper = 0,71; R2 Indeks Potassium = 0,64; R2 Indeks Calcium = 0,6; R2 Indeks Manganese = 0,56; R2 Indeks Boron = 0,55; R2 Indeks Zinc = 0,36; R2 Indeks Iron = 0,22; dan R2 Indeks Magnesium = 0,17. |
| (Marzukhi, Elahami, & Bohari, 2016). *"Detecting Nutrients Deficiencis of Oil Palm Trees Using Remotely Sensed Data"* | Melakukan analisis hara N, P, K dan pH tanah dari sampel tanah dan nilai reflektan citra satelit SPOT-5. | Hasil analisis kandungan hara N, P, K dan pH tanah dan perhitungan indeks vegetasi dari nilai reflektan citra satelit SPOT-5. | Analisis regresi dan analisis statistik deskriptif. | Model regresi menunjukkan hubungan korelasi untuk setiap unsur hara dengan indeks vegetasi. NDVI lebih baik daripada SAVI. Nilai pH tidak memiliki korelasi yang kuat dengan kandungan nutrisi melalui indeks vegetasi. |
| (Jayaselan, et al., 2017). *"Application of Spectroscopy for* | Melakukan analisis N, P dan K dari sampel daun | Hasil analisis kandungan nutrisi N, P dan K daun | Analisis Partial Least Square Regression | Spektrometer rentang spektrum 350 – 2500 nm dapat digunakan untuk memprediksi |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| *Nutrient Prediction of Oil Palm"* | dan *NIR Spectrometer*. | kelapa sawit pelepah ke-3, 9 dan 17, dan nilai reflektansi dari alat spektrometer dengan rentang spektrum 350-2500 nm. | dan Statistik Deskriptif. | defisiensi nutrisi tanaman kelapa sawit pada pelepah 17 menggunakan analisis Partial Least Square Regression. Pelepah 17 memberikan akurasi terbaik untuk prediksi N, P dan K dibandingkan pelepah 3 dan 9. |
| (Wijaya, Wardati, & Silalahi, 2018). "Identifikasi Defisiensi Nutrisi Perkebunan Kelapa Sawit PT. Smart Tbk., Menggunakan Penginderaan Jauh" | Melakukan analisis hara N, P dan K dari sampel daun, tanah dan nilai reflektan citra satelit Sentinel-2. | Hasil analisis unsur hara N, P dan K daun kelapa sawit dan perhitungan indeks vegetasi dari nilai reflektan citra satelit Sentinel-2. | Analisis Regresi dan Statistik Deskriptif. | Kadar N, P dan K daun menunjukkan tidak terjadinya defisiensi nutrisi pada tanaman. Prediksi unsur nutrisi N dan P daun lebih akurat daripada K daun. |
| (Santoso, Tani, Wang, & Segah, 2019). *"Predicting Oil Palm Leaf Nutrient Contents in Kalimantan, Indonesia by Measuring Reflectance with a Spectroradiometer"* | Melakukan analisis N, P, K, Mg, Ca, B, Cu dan Zn dari sampel daun dan *portable spectro-radiometer* (FieldSpec3 ASD). | Hasil analisis kandungan nutrisi N, P, K, Mg, Ca, B, Cu dan Zn daun kelapa sawit pada pelepah nomor 9, 17, 25 dan 33, dan nilai reflektansi dari alat spektrometer dengan | Stepwise Regression dan Generalized Linear Model (GLM), Principal Component Regression (PCR), dan Statistik Deskriptif. | Model yang memasukkan semua variabel signifikan pada analisis Stepwise Regression dilanjutkan dengan analisis PCR memiliki tingkat kinerja yang lebih baik dari pada model yang menggunakan variabel terpilih secara individual. Indeks vegetatif dan model multivariat regression yang diusulkan dapat |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | rentang spektrum 350-2500 nm. | | digunakan untuk memprediksi kandungan nutrisi daun kelapa sawit. |
| (Suyuthi, Seminar, & Sudrajat, 2020). *"Estimation of Calcium, Magnesium and Sulfur Content in Oil Palm using Multispectral Imagery based UAV"* | Melakukan analisis Ca, Mg dan S dari sampel daun dan kamera udara multispektral Parrot Sequoia yang diambil dari Pesawat Udara Tanpa Awak DJI Phantom 4 Pro. | Hasil analisis kandungan nutrisi Ca, Mg dan S daun kelapa sawit pada pelepah nomor 17 dan perhitungan indeks vegetasi dari foto udara kamera multispektral Parrot Sequoia. | Linear Regression dan Statistik Deskriptif. | Penelitian ini menghasilkan model prediksi kandungan nutrisi Ca, Mg dan S menggunakan analisis Multiple Linear Regression, dengan akurasi Ca, Mg dan S menggunakan *confusion matrix* berturut-turut sebesar 66,7%, 63,3% dan 36,6%. |
| (Kok, et al., 2021). *"Plot-Based Classification of Macronutrient Levels in Oil Palm Trees with Landsat-8 Images and Machine Learning"* | Melakukan analisis N, P, K, Mg dan Ca dari sampel daun dan nilai reflektan citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS. | Hasil analisis unsur makronutrisi N, P, K, Mg dan Ca daun kelapa sawit pada pelepah ke-17 dan perhitungan indeks vegetasi dari citra satelit Landsat-8 OLI/TIRS. | Analisis supervised machine learning: SVM, ANN, Random Forest, dan Statistik Deskriptif. | Akurasi prediksi rata-rata terbaik pada N dan K, sedangkan untuk P, Mg dan Ca tidak akurat karena keterbatasan dataset yang digunakan. SVM, RF kemudian MLP berturut-turut merupakan teknik *machine learning* yang memberikan hasil terbaik. |
| (Santoso & Winarna, 2021) "Eksplorasi Pendugaan Hara | Melakukan analisis N, P, K, Ca, Mg dan B dari sampel | Hasil analisis kandungan nutrisi N, P, K, Ca, Mg | Regresi Sederhana dan Polinomial; | Model regresi berganda polinomial dari variabel terseleksi RFE metode random |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Daun Tanaman Kelapa Sawit Menggunakan Pesawat Tanpa Awak Dan Kamera Multispektral” | daun dan kamera udara multispektral Mapir Survey 3 yang diambil dari Pesawat Udara Tanpa Awak sayap tetap. | dan B daun dari komposit pelepah nomor 9, 17, 25, dan 33, dan perhitungan indeks vegetasi dari foto udara kamera multispektral Mapir Survey 3. | serta Regresi Berganda dan Multivarian Polinomial dan Statistik Deskriptif. | forest menjadi model penduga terbaik.Variabel bebas mampu memprediksi kandungan hara daun N, P, K dan MG dengan nilai R2 sebesar 0,9415 hingga 0,9991; dengan nilai Adjusted R2 sebesar 0,7223 hingga 0,9837; serta nilai RSE sebesar 0,0045 hingga 0,0340. |
| (Budiman, Seminar, & Sudradjat, 2022). *“The Estimation of Nutrient Content Using Multispectral Image Analysis in Oil Palm (Elaeis guineensis Jacq)”* | Melakukan analisis N, P dan K dari sampel daun dan kamera udara multispektral Parrot Sequoia yang diambil dari Pesawat Udara Tanpa Awak DJI Phantom 4 Pro. | Hasil analisis kandungan nutrisi N, P dan K daun kelapa sawit pada pelepah nomor 17 dan perhitungan indeks vegetasi dari foto udara kamera multispektral Parrot Sequoia. | Analisis Regresi dengan *Backward Method* dan analisis Statistik Deskriptif. | Model N, P dan K memiliki nilai *correctness* berturut-turut sebesar 95,11%, 95,38% dan 88,65%. |

Berdasarkan telaah terhadap penelitian-penelitian, pada tabel 1.1, dapat diketahui bahwa penelitian ini memiliki kebaruan :

1. Pokok dan Metode: melakukan perbandingan kinerja antara spektrometer genggam Spectravue CI-710s dan kamera udara

multispektral Micasense Rededge-P untuk memprediksi kandungan hara daun kelapa sawit.

2. Obyek penelitian, yaitu konsentrasi hara makro (N, P, K, Ca dan Mg) pada daun kelapa sawit dengan dilengkapi analisis kimia tanah pada area penelitian, dan
3. Lokasi penelitian, yaitu di perkebunan kelapa sawit PT MSM di Kalimantan Tengah.