

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tebu (*Saccharum officinarum*) merupakan komoditas strategis nasional sebagai bahan baku utama industri gula. Indonesia masih bergantung pada impor gula untuk memenuhi kebutuhan domestik, dengan rasio swasembada gula yang hanya mencapai 48% pada tahun 2022 (Kementerian Pertanian, 2023). Hal ini disebabkan oleh rendahnya produktivitas perkebunan tebu nasional, yang rata-rata hanya 70-80 ton tebu per hektar (TCH), Sektor perkebunan, khususnya perkebunan tebu, memegang peranan strategis dalam perekonomian nasional Indonesia. Sebagai komoditas penting, tebu tidak hanya berkontribusi pada pemenuhan kebutuhan gula domestik, tetapi juga menjadi tulang punggung bagi industri hilir dan penyedia lapangan kerja. Namun, tantangan dalam mencapai efisiensi dan produktivitas yang optimal masih menjadi perhatian utama.

Salah satu aspek krusial yang secara langsung mempengaruhi keberlanjutan dan profitabilitas perkebunan adalah praktik pemupukan. Pemupukan yang tidak efisien dapat menyebabkan pemborosan sumber daya, peningkatan biaya produksi, serta dampak negatif terhadap lingkungan akibat pencemaran nutrisi.

PT. Global Papua Abadi (PT. GPA), sebuah perusahaan rintisan perkebunan tebu yang berlokasi di Kampung Sermayam, Kabupaten Merauke, Provinsi Papua Selatan, Indonesia, merupakan bagian integral dari Proyek Strategi Nasional yang dicanangkan oleh Presiden RI. Keberadaan PT. GPA di wilayah ini menunjukkan komitmen pemerintah dalam mengembangkan potensi pertanian di daerah terpencil, sekaligus menjadi pionir dalam penerapan teknologi modern di sektor perkebunan. Saat ini, praktik pemupukan di PT. GPA masih dilakukan secara manual tanpa bantuan mekanisasi, dan belum ada metode spesifik yang diterapkan untuk mengoptimalkan pengaplikasian pupuk. Hal ini berpotensi menyebabkan pengaplikasian pupuk yang tidak tepat sasaran dan hasil panen yang tidak merata di seluruh areal tanam.

Karakteristik tanah di lokasi penelitian, yaitu Tanah Gambut, memiliki sifat unik yang memerlukan pendekatan pemupukan yang cermat. Lahan yang dikelola merupakan bagian dari kawasan lahan gambut tropis yang luas namun memiliki tantangan besar, antara lain : pH rendah (5.3–5.6), kapasitas tukar kation rendah hingga sedang (CEC 12–25 meq/100g), kandungan bahan organik yang

minim ($OM < 2.0\%$), dan nitrogen tersedia yang sangat rendah (rata-rata < 5 ppm, jauh dari standar optimal 26–27 ppm).

Selama ini, praktik pemupukan di PT GPA masih dilakukan secara manual dan seragam di seluruh lahan (*blanket fertilization*). Padahal, data hasil TSM dan analisis tanah laboratorium menunjukkan adanya keragaman spasial yang signifikan antara satu zona dengan zona lainnya, baik dari segi pH, salinitas, kandungan hara makro (N, P, K, S) maupun mikronutrien (Zn, B, Cu). Misalnya, kadar K tersedia bervariasi dari 230 ppm hingga >500 ppm, dan rasio Ca/Mg juga tidak merata, yang mengindikasikan perlunya manajemen kation spesifik lokasi. Penerapan pemupukan seragam dalam kondisi ini berisiko besar menyebabkan efek pemborosan pupuk di satu tempat dan kekurangan pupuk di tempat lain, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya efisiensi biaya dan hasil panen yang tidak seragam.

Lebih jauh, pemilihan varietas juga menjadi faktor penting dalam mendesain pemupukan berbasis zona. PT. GPA menggunakan enam varietas tebu unggulan (Q200, Q208, Q232, Q240, Q253, dan SRA09), yang masing-masing memiliki karakteristik respon hara dan toleransi lingkungan berbeda. Misalnya:

- Q208 dan Q240 memiliki respon tinggi terhadap P dan K, cocok untuk sistem mekanisasi tanam.
- Q200 dan Q232 kurang toleran terhadap pH rendah, sehingga memerlukan intervensi pengapuran (lime & dolomite) untuk meningkatkan pH efektif.
- SRA09, varietas baru dari *Sugar Research Australia*, direkomendasikan untuk lahan marginal dan kekeringan, namun membutuhkan P dan Mg dalam jumlah cukup tinggi untuk awal pertumbuhan.

Dalam konteks ini, teknologi *Precision Agriculture* (Pertanian Presisi) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi tantangan tersebut. Pertanian Presisi memanfaatkan data dan teknologi informasi untuk mengelola variabilitas spasial dan temporal dalam lahan pertanian, sehingga memungkinkan aplikasi input pertanian, termasuk pupuk, secara tepat sesuai kebutuhan spesifik setiap zona lahan.

Salah satu teknologi kunci dalam Pertanian Presisi adalah *Top Soil Mapper* (TSM). TSM adalah alat yang digunakan untuk memetakan variabilitas sifat-sifat

tanah permukaan secara cepat dan akurat, seperti konduktivitas listrik tanah (EC), yang dapat berkorelasi dengan tekstur tanah, kadar air, dan kandungan bahan organik. Data output dari TSM, dikombinasikan dengan hasil analisis laboratorium tanah, dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai kondisi kesuburan tanah di setiap bagian lahan. Dengan informasi ini, rekomendasi pemupukan dapat disesuaikan secara spesifik untuk setiap zona, bukan lagi berdasarkan dosis seragam untuk seluruh lahan. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk, mengurangi biaya produksi, serta meningkatkan produktivitas dan kesuburan tanaman tebu secara keseluruhan.

Penelitian ini relevan tidak hanya untuk PT. GPA dalam mencapai efisiensi operasional dan peningkatan hasil, tetapi juga sebagai kontribusi penting bagi ilmu pengetahuan di bidang manajemen perkebunan. Implementasi Pertanian Presisi, khususnya pemanfaatan data TSM untuk efisiensi pupuk di perkebunan tebu gambut, dapat menjadi model percontohan bagi perusahaan perkebunan lain di Indonesia, terutama yang beroperasi di lahan dengan karakteristik serupa. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dan panduan praktis dalam upaya mencapai pertanian yang lebih berkelanjutan dan produktif.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, penelitian ini mengidentifikasi beberapa permasalahan utama yang perlu dijawab untuk mencapai efisiensi pemupukan yang optimal pada perkebunan tebu PT. Global Papua Abadi. Permasalahan ini berakar pada praktik pemupukan saat ini yang masih seragam dan belum mempertimbangkan variabilitas spasial sifat tanah, serta potensi teknologi TSM dalam mengatasi tantangan tersebut. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana data output dari *Top Soil Mapper* (TSM) dapat diintegrasikan dan dimanfaatkan untuk menentukan zona aplikasi pupuk variabel yang optimal pada lahan perkebunan tebu di PT. Global Papua Abadi?
2. Seberapa besar penghematan penggunaan pupuk yang dapat dicapai dengan menerapkan rekomendasi pemupukan berbasis data TSM dibandingkan dengan praktik pemupukan konvensional yang saat ini diterapkan di PT. Global Papua Abadi?

3. Bagaimana implementasi rekomendasi pemupukan berbasis data TSM dapat berkontribusi pada peningkatan produktivitas panen tebu di PT. Global Papua Abadi?

C. Tujuan Penelitian

Sejalan dengan rumusan masalah yang telah ditetapkan, tujuan umum dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi dan mengoptimalkan efisiensi pemupukan pada perkebunan tebu di PT. Global Papua Abadi melalui pemanfaatan data Top Soil Mapper (TSM). Secara lebih spesifik, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi dan memetakan variabilitas spasial sifat-sifat tanah menggunakan data TSM dan hasil analisis laboratorium untuk menentukan zona aplikasi pupuk variabel yang optimal.
2. Menguantifikasi potensi pengurangan penggunaan pupuk yang dapat dicapai melalui penerapan rekomendasi pemupukan berbasis data TSM dibandingkan dengan praktik pemupukan konvensional.
3. Mengevaluasi dampak penerapan rekomendasi pemupukan berbasis data TSM terhadap peningkatan produktivitas panen tebu.

D. Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat yang signifikan bagi berbagai pihak, baik secara praktis maupun akademis, sebagai berikut :

a. Bagi PT. Global Papua Abadi :

- **Penghematan Biaya** : Dengan menerapkan rekomendasi pemupukan presisi berdasarkan data TSM, PT. GPA dapat mengurangi pemborosan pupuk, yang pada gilirannya akan menurunkan biaya operasional secara signifikan.
- **Peningkatan Profitabilitas** : Efisiensi pemupukan dan peningkatan produktivitas panen tebu akan secara langsung berkontribusi pada peningkatan profitabilitas perusahaan.
- **Peningkatan Kesuburan Tanaman** : Aplikasi pupuk yang tepat sasaran akan mendukung pertumbuhan tanaman tebu

yang lebih sehat dan optimal, serta menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang.

- **Model Implementasi Pertanian Presisi :** Penelitian ini dapat menjadi studi kasus dan model implementasi nyata bagi PT. GPA dalam menerapkan teknologi Pertanian Presisi secara komprehensif, sejalan dengan statusnya sebagai perusahaan rintisan dan bagian dari Proyek Strategi Nasional.

b. Bagi Lingkungan :

- **Pengurangan Dampak Negatif :** Penggunaan pupuk yang lebih efisien akan meminimalkan risiko pencemaran lingkungan akibat limpasan atau pencucian nutrisi berlebih ke badan air atau tanah, sehingga mendukung praktik pertanian yang lebih berkelanjutan.

c. Bagi Perkebunan Tebu Lain :

- **Panduan dan Referensi :** Hasil penelitian ini dapat menjadi panduan dan referensi bagi perkebunan tebu lain, terutama yang beroperasi di lahan gambut atau menghadapi tantangan serupa dalam efisiensi pemupukan, untuk mengadopsi teknologi TSM dan praktik Pertanian Presisi.

d. Bagi Komunitas Akademik dan Ilmu Pengetahuan :

- **Kontribusi Ilmu Pengetahuan :** Penelitian ini akan memberikan kontribusi baru pada literatur ilmiah di bidang Pertanian Presisi, khususnya terkait aplikasi TSM untuk efisiensi pupuk pada perkebunan tebu di lahan gambut tropis.
- **Dasar Penelitian Lanjutan :** Temuan dan metodologi yang digunakan dalam penelitian ini dapat menjadi dasar bagi penelitian-penelitian lanjutan yang lebih mendalam mengenai optimasi input pertanian dan keberlanjutan perkebunan.