

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Ketahanan pangan masih menjadi agenda strategis dunia. Laporan *State of Food Security and Nutrition in the World* (SOFI) tahun 2024 yang menyebutkan 733 juta orang di dunia mengalami kelaparan pada tahun 2023 [1]. Sejalan dengan proyeksi *Global Agriculture towards 2050* FAO, populasi diperkirakan menembus 9,7 miliar jiwa sehingga produksi pangan global harus meningkat sekitar 70% dibanding 2005/2007 untuk mencegah krisis pasokan [2].

Sebagai negara agraris, Indonesia mengandalkan sektor pertanian sebagai penopang utama pembangunan ekonomi. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian mencatat kontribusi sektor, kehutanan, dan perikanan sebesar 12,97% terhadap Produk Domestik Bruto (PDB) atas dasar harga berlaku [3]. Namun menurut Badan Pusat Statistik (BPS), sektor pertanian mengalami kontraksi sebesar 3,54% pada triwulan I tahun 2024 dibandingkan dengan periode yang sama tahun sebelumnya. Penurunan ini disebabkan oleh penurunan produksi komoditas pertanian, khususnya tanaman pangan akibat fenomena El Niño [4].

Terkait sumber daya lahan, laporan terbaru BPS tahun 2024 menyatakan bahwa Indonesia memiliki luas lahan kering sekitar 63,4 juta hektar. Dari total tersebut, sekitar 10,3 juta hektar lahan belum optimal dimanfaatkan untuk kegiatan pertanian produktif. Bahkan, menurut kajian dari pemerintah Indonesia, peningkatan produktivitas lahan yang sudah digarap sebesar 100 kg/ha mampu menambah produksi beras nasional hingga sekitar 5,31 juta ton [5]. Optimalisasi lahan pertanian melalui mekanisasi dan teknologi modern menjadi langkah penting untuk mencapai tujuan tersebut.

Masalah demografi pertanian juga menjadi perhatian, terutama terkait penurunan jumlah petani milenial. Berdasarkan data BPS tahun 2024, jumlah petani milenial yaitu petani berusia 19-39 tahun mencapai 6,18 juta orang atau sekitar 21,19% dari total 28,19 juta petani di Indonesia [6]. Jumlah terbanyak berada di Jawa Timur (971,10 ribu), Jawa Tengah (625,81 ribu), dan Jawa Barat (543,04 ribu). Dalam sepuluh tahun terakhir, terjadi penurunan signifikan pada kelompok usia produktif ini, yaitu petani berusia 25-34 tahun yang turun dari 11,97% pada 2013 menjadi 10,24% pada 2023, serta petani berusia 35-44 tahun yang turun dari 26,34% menjadi 22,08%. Kondisi ini menandakan melambatnya regenerasi petani dan mendesak

perlunya pendekatan teknologi yang lebih menarik dan relevan bagi generasi muda untuk berkontribusi dalam sektor pertanian secara berkelanjutan.

Di sisi lain, pertanian Indonesia masih didominasi oleh penggunaan traktor berbahan bakar fosil yang beremisi tinggi. Padahal, pemerintah telah berkomitmen mencapai target *Net-Zero Emissions* pada tahun 2060, yang mencakup pula elektrifikasi alat-alat pertanian [7]. Konversi traktor diesel menjadi traktor listrik tidak hanya mampu mengurangi biaya operasional bahan bakar, tetapi juga mendukung pencapaian target emisi karbon nasional. Meskipun demikian, adopsi teknologi traktor listrik di Indonesia masih rendah akibat berbagai kendala teknis dan ekonomis, terutama pada lahan dengan kontur sempit seperti pematang sawah yang umum ditemukan di wilayah Jawa Barat.

Berdasarkan permasalahan di atas, penelitian ini bertujuan merancang dan menguji Agrotek Automasi, yaitu prototipe traktor listrik berbasis aplikasi dengan kontrol jarak jauh. Inovasi ini diharapkan mampu meningkatkan efisiensi pengolahan tanah, mengurangi emisi karbon, serta menjadi daya tarik bagi petani milenial untuk kembali aktif di sektor pertanian melalui pendekatan teknologi modern yang sesuai dengan preferensi generasi muda. Luaran penelitian ini mencakup model desain mekanikal dan elektrik traktor, sistem kendali jarak jauh *real-time*, serta evaluasi kinerja yang mencakup konsumsi energi, waktu pengerjaan, dan pengurangan emisi karbon, yang secara keseluruhan mendukung mekanisasi pertanian ramah lingkungan di Indonesia.

1.2 Analisis Masalah

Masalah utama berfokus pada banyaknya lahan pertanian yang tidak terkelola dengan baik karena berbagai faktor, terutama di kalangan petani milenial. Banyak lahan sawah yang berpotensi digunakan untuk pertanian produktif, namun sering kali dibiarkan kosong atau tidak dimanfaatkan secara optimal. Tantangan utama meliputi berkurangnya minat generasi muda dalam sektor pertanian, karena pekerjaan ini dianggap berat, memerlukan tenaga fisik yang signifikan, serta keterlibatan langsung di lapangan. Analisis ini berfokus pada aspek teknis, ekonomi, lingkungan, dan sosial untuk memahami gambaran menyeluruh mengenai masalah yang dihadapi serta peluang untuk meningkatkan pengelolaan lahan pertanian secara berkelanjutan. Berikut ini dijelaskan secara detail mengenai aspek-aspek di atas.

1.2.1 Aspek Teknis

Aspek teknis sektor pertanian Indonesia ditandai oleh rendahnya tingkat mekanisasi. Survei BPS (2023) menunjukkan hanya 12 % petani padi di Jawa Barat yang menggunakan alat mekanis modern [8]. Ketergantungan pada traktor berbahan bakar diesel masih dominan; traktor roda dua memerlukan rata-rata $2,3 \text{ L h}^{-1}$, sedangkan traktor roda empat $5,1 \text{ L h}^{-1}$ solar [9]. Penggunaan mesin diesel tidak hanya meningkatkan biaya operasional, tetapi juga memicu *downtime* tinggi karena *mean time between failures* (MTBF) kurang dari 600 jam. Tantangan semakin besar pada sawah sempit berpematang, petak berlebar 4–6 m di Subang karena traktor konvensional sulit bermanuver secara efisien [10]. Kondisi ini berdampak langsung pada pencapaian SDG 2 *Zero Hunger* dan SDG 8 *Decent Work and Economic Growth*.

1.2.2 Aspek Ekonomi

Penggunaan teknologi berbahan bakar fosil di sektor pertanian berkontribusi terhadap tingginya biaya operasional, khususnya terkait pembelian bahan bakar dan perawatan mesin. Sebagai contoh, traktor roda dua mengonsumsi hingga 2 liter solar per jam, sedangkan traktor roda empat bisa mencapai 5 liter per jam [11]. Energi terbarukan yaitu energi listrik, menawarkan solusi yang lebih hemat biaya dalam jangka panjang, meskipun investasi awalnya cukup tinggi. Traktor listrik yang menggunakan baterai lithium-ion atau LiFePO_4 memiliki kebutuhan perawatan yang rendah dan umur pakai baterai yang dapat mencapai 500 hingga 1000 siklus pengisian penuh. Jika digunakan sehari sekali, baterai dapat bertahan selama 1,5 hingga 3 tahun sebelum kapasitasnya menurun secara signifikan. Dalam jangka satu tahun, dengan estimasi penggunaan harian selama 300 hari, siklus pemakaian ini masih berada dalam batas optimal, sehingga efisiensi operasional tetap terjaga. Hal ini menunjukkan bahwa investasi awal baterai dapat dikompensasi oleh rendahnya biaya energi listrik dan minimnya biaya perawatan. Keunggulan ini menjadikan traktor listrik sebagai alternatif yang lebih berkelanjutan dari segi biaya ekonomi dan lingkungan, yang mendukung SDG 8 *Decent Work and Economic Growth* dan SDG 15 *Life on Land*.

1.2.3 Aspek Lingkungan

Setiap liter solar yang terbakar menghasilkan sekitar $2,68 \text{ kg CO}_2\text{e}$ [12], sehingga traktor roda empat dengan konsumsi bahan bakar $5,1 \text{ L h}^{-1}$ dapat menghasilkan emisi sekitar $13,7 \text{ kg CO}_2\text{e}$ per jam operasional. Tak hanya itu, metode pembajakan konvensional yang

berulang juga menyebabkan degradasi fisik lahan, berupa erosi tanah atas sebesar $\pm 20 \text{ t ha}^{-1} \text{ tahun}^{-1}$ pada sawah irigasi intensif [13]. Dampak lingkungan ini memperkuat urgensi peralihan ke traktor listrik yang lebih bersih dan efisien, sejalan dengan target SDG 13 *Climate Action* dan SDG 15 *Life on Land*.

1.2.4 Aspek Sosial

Regenerasi petani menjadi persoalan krusial dalam sektor pertanian Indonesia. Survei BRIN (2024) mencatat bahwa 54% responden muda menyatakan beratnya pekerjaan fisik menjadi penghambat utama mereka untuk terlibat dalam kegiatan bertani [14]. Ditambah lagi, rendahnya tingkat pendapatan petani padi yang rata-rata hanya Rp 2,4 juta per bulan, sekitar 38% di bawah Upah Minimum Regional (UMR) rata-rata Jawa [15]. Oleh karena itu, modernisasi melalui mekanisasi pertanian diharapkan mampu meningkatkan efisiensi tenaga kerja dan meningkatkan pendapatan bersih sebesar 20–25%, yang akan turut berkontribusi dalam pencapaian target SDG 8 *Decent Work and Economic Growth* serta SDG 2 *Zero Hunger*.

1.3 Analisis Solusi yang Ada

Beberapa solusi yang ada saat ini mencakup berbagai inovasi dan teknologi yang sudah diterapkan maupun sudah dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan di sektor pertanian. Berikut adalah beberapa solusi yang telah ada dan menjadi acuan kami dalam menyusun proyek ini.

1.3.1 Traktor Konvensional Bertenaga Diesel



Gambar 1.1 Traktor Siluman

Traktor ini merupakan traktor konvensional diesel yang dirancang dengan teknologi yang memungkinkan mesin beroperasi dengan kendali *remote control* (RC) [16]. Keberadaan traktor siluman menjadi pilihan yang menarik bagi petani karena kemampuannya untuk bekerja

di lahan tanpa petani terjun langsung ke sawah, namun tantangan utama dari traktor ini yaitu masih menggunakan bahan bakar solar yang tentu saja tidak ramah untuk lingkungan.

1.3.2 Traktor Tangan Bertenaga Listrik



Gambar 1.2 Traktor Tangan Bertenaga Listrik

Traktor ini merupakan salah satu bentuk inovasi di bidang teknologi pertanian yang menawarkan solusi lebih ramah lingkungan dan hemat energi. Traktor listrik bekerja dengan menggunakan baterai yang dapat diisi ulang, sehingga mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [17].

Traktor tangan listrik ini cocok untuk lahan kecil dan skala pertanian yang tidak terlalu besar, terutama untuk petani kecil atau lahan dengan akses terbatas. Selain itu, biaya operasionalnya jauh lebih rendah karena tidak memerlukan bahan bakar solar dan memiliki biaya perawatan yang lebih rendah dibandingkan traktor diesel konvensional. Dari sisi lingkungan, traktor ini juga menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah. Namun, tantangan utama dari penggunaan traktor bertenaga listrik terletak pada kapasitas daya baterai dan jangkauan operasional.

1.3.3 Traktor Listrik dengan Remote Control Sederhana



Gambar 1.3 Traktor Listrik dengan Remote Control Sederhana

Traktor ini merupakan traktor listrik yang dirancang untuk dapat dikendalikan dari jarak jauh menggunakan sistem *remote control* (RC). Traktor ini menggunakan motor listrik sebagai penggerak utama, baik untuk roda maupun alat pembajak tanah (*soil blender*)[18], sehingga lebih ramah lingkungan dibandingkan traktor konvensional berbahan bakar solar. Kehadiran traktor ini bisa menjadi solusi inovatif yang memungkinkan petani melakukan pekerjaan di lahan tanpa harus turun langsung ke sawah, sehingga menghemat tenaga dan waktu.

Namun demikian, implementasi traktor ini masih menghadapi beberapa tantangan. Salah satu kendala utamanya adalah penggunaan roda sepeda, yang kurang cocok untuk kondisi tanah persawahan yang berlumpur atau tidak rata. Selain itu, desain rangka dan bodi traktor belum dirancang secara optimal untuk menghadapi medan agraris yang bervariasi, seperti sawah basah, lahan miring, atau tanah bertekstur berat.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari proyek ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan prototipe traktor listrik otomatis berbasis aplikasi dengan kendali jarak jauh yang ditujukan untuk mendukung mekanisasi pertanian ramah lingkungan di Indonesia. Prototipe ini dikembangkan sebagai solusi terhadap berbagai permasalahan strategis di sektor pertanian, seperti tingginya emisi dari penggunaan bakar fosil, rendahnya adopsi teknologi modern oleh petani milenial, serta belum optimalnya pemanfaatan lahan pertanian produktif. Secara khusus, tujuan tugas akhir ini mencakup:

1. Mengembangkan sistem kendali traktor berbasis aplikasi dengan fitur kontrol jarak jauh secara *real-time*.
2. Menyediakan alternatif teknologi pertanian yang lebih ramah lingkungan dan menarik bagi generasi muda, khususnya petani milenial.
3. Mendukung upaya peningkatan produktivitas pertanian nasional melalui penerapan teknologi Agrotek Automasi yang relevan dan aplikatif.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Dalam pengembangan sistem traktor listrik otonom dengan kendali jarak jauh berbasis aplikasi untuk pembajakan sawah, terdapat sejumlah batasan yang ditetapkan guna memperjelas ruang lingkup penelitian serta menyesuaikan dengan fokus utama sistem, yaitu pada aspek komunikasi dan kendali. Batasan-batasan tersebut dijabarkan sebagai berikut:

1. Sistem dirancang untuk dapat beroperasi sepenuhnya secara otonom tanpa keterlibatan pengemudi langsung di lapangan. Seluruh perintah kendali diberikan melalui aplikasi pengguna secara jarak jauh (*remote control*).
2. Traktor diuji untuk dapat beroperasi pada kondisi lahan pertanian yang bervariasi, termasuk permukaan berlumpur, berbatu, maupun lahan lainnya yang tidak rata. Pengujian difokuskan pada kemampuan sistem komunikasi dan kendali dalam menyesuaikan kondisi medan, bukan pada performa mekanik atau stabilitas sasis.
3. Sumber daya utama traktor berasal dari baterai yang dapat diisi ulang, dengan mempertimbangkan efisiensi energi dan keberlanjutan (*sustainability*). Aspek manajemen daya dibatasi pada konsumsi modul elektronik dan sistem kendali, tanpa membahas secara rinci perancangan sistem pengisian (*charging system*).
4. Aspek mekanik tidak menjadi fokus utama dalam penelitian ini. Desain dan struktur mekanik traktor bersifat eksperimental dan fungsional, hanya digunakan untuk mendukung integrasi sistem elektronik dan pengujian komunikasi. Tidak dilakukan analisis struktural, perhitungan daya mekanis, maupun optimasi desain rangka dan transmisi.
5. Penelitian ini hanya mengimplementasikan MQTT dan nRF24L01+ untuk komunikasi keseluruhan sistem. Teknologi 4G/LTE dan LoRa tidak digunakan karena fokus studi pada kendali jarak yang masih dapat dijangkau pengguna dalam mengendalikan traktor dan berlatensi rendah serta keterbatasan cakupan proyek.
6. Sistem yang dikembangkan bersifat *proof-of-concept* dengan skala kecil (1:5) dan bukan merupakan implementasi traktor pertanian skala penuh. Fokus utama adalah pada validasi konsep komunikasi dua arah dan kendali waktu nyata (*real-time control*) menggunakan arsitektur *edge-gateway-cloud*.