

LAPORAN STUDI KELAYAKAN
PENELITIAN TERAPAN – SKEMA LUARAN MODEL



**Rekayasa *Module Device Portable* pada Traktor Tangan Berbasis
Artificial Intelligence untuk Meningkatkan Produktivitas
Operasional Pertanian Berkelanjutan**

Oleh:

Dr. Ridwan Siskandar, S.Si, M.Si
Dr. Inna Novianty, S.Si, M.Si
Billi Rifa Kusumah, S.I.K., M.Si
Ade Riyanti, S.Tr.Kom.
Afifah Rodhiyatun Nisa, S.Tr.Kom.

INSTITUT PERTANIAN BOGOR
SEPTEMBER
2025

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami ucapkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia Nya sehingga kami dapat menyelesaikan laporan Studi Kelayakan (*Feasibility Study*) dari penelitian yang berjudul *Rekayasa Module Device Portable* pada Traktor Tangan Berbasis *Artificial Intelligence* untuk Meningkatkan Produktivitas Operasional Pertanian Berkelanjutan. *Feasibility study* ini disusun dengan tujuan untuk lebih memahami tentang kelayakan usaha atau bisnis dari penelitian yang dikembangkan terkait apakah dapat dikatakan layak/tidaknya.

Pada kesempatan ini penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu terealisasinya laporan *Feasibility Study* ini. Penulis sangat menyadari laporan ini masih belum menemukan kata sempurna, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan saran dan kritik yang membangun guna hasil yang lebih baik lagi.

Semoga laporan *Feasibility Study* ini dapat berguna bagi penulis dan bagi semua pembaca, semoga apa yang penulis bahas di sini dapat dijadikan tambahan ilmu pengetahuan.

Salam hormat
Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR TABEL	iii
DAFTAR LAMPIRAN	iii
BAB I	1
IKHTISAR STUDI KELAYAKAN	1
BAB II	2
TINJAUAN PUSTAKA	2
2.1 Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen	2
2.2 Aspek Kondisi Pasar	3
2.3 Aspek Hukum	3
2.4 Aspek Teknis dan Teknologi	4
2.5 Aspek Keuangan	5
2.6 Aspek Ekonomi dan Sosial	5
2.7 Aspek Pengguna	5
2.8 Aspek Lingkungan	6
BAB III	7
ASPEK-ASPEK DALAM <i>FEASIBILITY STUDY</i>	7
3.1 Aspek Kebutuhan Pelanggan/ Konsumen	7
3.2 Aspek Kondisi Pasar	9
3.3 Aspek Hukum	12
3.4 Aspek Teknis dan Teknologi	14
3.5 Aspek Keuangan	23
3.6 Aspek Ekonomi dan Sosial	28
3.7 Aspek Pengguna	31
3.8 Aspek Lingkungan	33
BAB IV	37
KESIMPULAN	37
DAFTAR PUSTAKA	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Kinerja Sistem Mekanik	15
Gambar 2 Pemetaan Sistem Kendali Jarak Jauh	16
Gambar 3 Sistem Pendeteksi Tanah Berbasis Artificial Intelligence	18
Gambar 4 Tampilan Monitor LCD	18
Gambar 5 Pengujian Kinerja Sistem Mekanis	19
Gambar 6 Pengujian Sistem Pendeteksi Tanah	20
Gambar 7 Confusion Matrix	20
Gambar 8 Pengujian Integrasi Sistem	22

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Penilaian aspek kebutuhan pelanggan/konsumen	8
Tabel 2 Penilaian Aspek Kondisi Pasar	11
Tabel 3 Penilaian Aspek Hukum	14
Tabel 4 Pemetaan Sistem Kendali Jarak Jauh	16
Tabel 5 Hasil Perhitungan Confusion Matrix	21
Tabel 6 Penilaian Aspek Teknis dan Teknologi	22
Tabel 7 Biaya Pengembangan Teknologi	23
Tabel 8 Analisis Biaya Produksi	24
Tabel 9 Perhitungan elemen BEP	25
Tabel 10 Penilaian Aspek Teknis dan Teknologi	27
Tabel 11 Penilaian Aspek Ekonomi dan Sosial	30
Tabel 12 Penilaian Aspek Teknis dan Teknologi	33
Tabel 13 Penilaian Aspek Lingkungan	35

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Desain 3D <i>module device portable</i>	41
Lampiran 2 Gambar teknik <i>module device portable</i>	42
Lampiran 3 Rangkaian Elektronika <i>module device portable</i>	45
Lampiran 4 Dokumentasi <i>module device portable</i>	46

BAB I

IKHTISAR STUDI KELAYAKAN

Perkembangan teknologi di bidang pertanian telah mendorong modernisasi alat dan mesin pertanian, termasuk traktor tangan yang selama ini masih dioperasikan secara manual. Traktor tangan konvensional menghadapi berbagai tantangan seperti rendahnya efisiensi, risiko keselamatan kerja, serta ketergantungan terhadap tenaga manusia yang tinggi. Upaya untuk mengatasi masalah tersebut telah mendorong penelitian pengembangan sistem traktor berbasis kendali jarak jauh yang bertujuan meningkatkan efisiensi, keamanan, dan kenyamanan operasional. Meskipun teknologi awal menggunakan konektivitas *Bluetooth* atau *WiFi*, pendekatan ini masih memiliki keterbatasan dalam hal jangkauan dan kestabilan sinyal, sehingga belum sepenuhnya menjawab kebutuhan petani dalam praktiknya.

Di sisi lain, metode tradisional seperti membajak lahan menggunakan tenaga hewan, meskipun ekonomis dan ramah lingkungan, sudah tidak relevan untuk pertanian modern karena memerlukan waktu lama dan tenaga besar serta berisiko terhadap kesehatan petani. Penggunaan traktor tangan memberikan peningkatan kinerja, namun masih menyisakan kendala seperti kebutuhan bahan bakar, operator harus berjalan mengikuti alat, serta ketidakcocokan untuk lahan yang luas atau keras. Dalam upaya menjawab berbagai keterbatasan tersebut, maka perlu dikembangkan teknologi yang tidak hanya modern dan efisien, tetapi juga adaptif terhadap kondisi riil lahan kering di Indonesia dan mampu dioperasikan dengan mudah oleh petani.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan *module device portable* pada traktor tangan yang mengintegrasikan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) dan sistem kendali jarak jauh FlySky FS-i6. Inovasi ini mencakup mekanisasi tuas kopling dengan motor stepper hemat energi, sistem ulir presisi untuk efisiensi gerak, serta kemampuan deteksi kondisi tanah menggunakan kamera berbasis AI. Dengan demikian, alat ini diharapkan dapat meningkatkan produktivitas operasional pertanian lahan kering secara berkelanjutan, mengurangi beban kerja fisik petani, dan mendukung efisiensi waktu serta tenaga dalam mengelola lahan.

Kata kunci: *artificial intelligence*; mekanisasi pertanian; teknik kendali dan instrumentasi; traktor tangan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Studi kelayakan, atau *feasibility study*, adalah suatu analisis menyeluruh yang dilakukan untuk menilai apakah suatu proyek atau usaha dapat dilaksanakan secara teknis, ekonomis, hukum, dan sosial (Sidek *et al.* 2023). Tujuan utama dari proses ini adalah untuk menilai peluang keberhasilan proyek sebelum dimulai, sekaligus mengidentifikasi berbagai potensi risiko yang mungkin dihadapi, serta menyediakan informasi penting yang dibutuhkan dalam pengambilan keputusan. Melalui studi ini, individu atau perusahaan yang hendak melaksanakan proyek dapat memahami kebutuhan sumber daya, estimasi biaya, serta potensi dampak terhadap lingkungan dan masyarakat secara lebih jelas (Orsmond dan Cohn 2015). Hal ini bertujuan untuk menghindari pemborosan dana dan investasi pada proyek yang kurang memiliki prospek (Raharjo 2022).

Dalam praktiknya, studi kelayakan tidak hanya sekadar menganalisis potensi keuntungan, tetapi juga mencakup evaluasi terhadap faktor-faktor yang dapat menghambat pelaksanaan proyek (Sidek *et al.* 2023). Selain itu, studi ini juga berfungsi dalam mengidentifikasi berbagai hambatan potensial yang bisa muncul selama proses pelaksanaan, sehingga memungkinkan disusunnya strategi penanganan yang tepat. Evaluasi yang dilakukan dalam studi kelayakan mencakup berbagai aspek penting yang bertujuan untuk meminimalkan kerugian, seperti aspek kebutuhan pelanggan/konsumen, aspek kondisi pasar, aspek hukum, aspek teknis dan teknologi, aspek keuangan, aspek ekonomi dan sosial, aspek pengguna, dan aspek lingkungan.

Dengan demikian, studi kelayakan menjadi landasan penting dalam mengantisipasi risiko dan memastikan penggunaan sumber daya secara tepat guna. Studi ini juga memberikan pijakan yang kuat dalam pengambilan keputusan berbasis data, sehingga proyek yang dijalankan dapat memiliki peluang sukses yang lebih besar dan berkelanjutan (Raharjo 2022). Berikut adalah beberapa poin penting yang mendefinisikan studi kelayakan:

2.1 Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen

Pemahaman terhadap kebutuhan pelanggan atau konsumen menjadi salah satu elemen utama dalam studi kelayakan, karena kesesuaian antara produk yang dikembangkan dengan kebutuhan lapangan akan menentukan tingkat penerimaan dan keberhasilan implementasi alat (Bate'e *et al.* 2024). Dengan menganalisis dan memahami kebutuhan pelanggan, bisnis dapat merumuskan strategi pemasaran yang efektif, memprediksi permintaan pasar, dan melakukan inovasi produk yang relevan, sehingga dapat meningkatkan peluang keberhasilan usaha (Mukherjee dan Roy 2017). Kebutuhan utama petani di lahan kering saat ini berfokus pada peningkatan efisiensi kerja dan pengurangan beban fisik akibat kondisi medan yang keras, tidak subur, serta terbatasnya akses terhadap alat modern (Alikem *et al.* 2021).

Dalam hal ini, pengembangan *module device portable* pada traktor tangan berbasis *Artificial Intelligence* (AI) bertujuan untuk menjawab kebutuhan tersebut melalui dua sistem utama, yaitu sistem deteksi berbasis kamera AI yang mampu mengenali tanah dan lumpur yang padat atau gembur, serta sistem kontrol tuas mekanis untuk mengatur kopling, gas langsam (PWM), dan tuas *belt*. Kombinasi kedua sistem ini memungkinkan alat bekerja secara otomatis dan efisien, hanya menggemburkan tanah saat dibutuhkan, sehingga dapat menghemat tenaga, waktu, dan biaya operasional. Selain efisiensi teknis, petani juga memerlukan teknologi yang mudah digunakan, kompatibel dengan alat yang telah ada, serta aman dioperasikan di medan berat. Sistem kontrol yang dirancang secara portable dan ergonomis memberikan fleksibilitas pengoperasian tanpa memerlukan modifikasi besar pada traktor.

2.2 Aspek Kondisi Pasar

Studi pasar bertujuan untuk memahami potensi adopsi teknologi inovatif ini di kalangan petani, yang selama ini menghadapi berbagai keterbatasan dalam mekanisasi pertanian (Caffaro *et al.* 2020). Melakukan analisis pasar secara tepat menjadi salah satu kunci utama dalam menentukan keberhasilan penerapan alat *module device portable* ini. Analisis yang efektif akan menghasilkan informasi yang akurat mengenai kebutuhan, kebiasaan, serta kemampuan adaptasi petani terhadap teknologi baru, sehingga dapat digunakan untuk menyusun strategi pengembangan dan pemasaran yang tepat sasaran (Khairunisa Ahmadi *et al.* 2025).

Kondisi pasar untuk teknologi pertanian modern yang berbasis sistem kendali dan kecerdasan buatan di Indonesia sangat menjanjikan. Permintaan terhadap solusi yang dapat meningkatkan efisiensi, mengurangi beban kerja, dan mempermudah proses pengolahan tanah terus meningkat, terutama di wilayah lahan kering yang memiliki medan sulit dan kurang subur (Herdiansyah *et al.* 2023). Dalam hal ini, inovasi alat berupa *module device portable* yang terpasang pada traktor tangan memberikan nilai tambah yang signifikan. Sistem AI yang mampu mendeteksi kondisi tanah secara otomatis, dikombinasikan dengan kendali tuas kopling, langsam gas (PWM), dan *belt*, menjadikan alat ini mampu menghadirkan proses kerja yang lebih cerdas, efisien, dan ramah pengguna.

2.3 Aspek Hukum

Aspek hukum dalam studi kelayakan berkaitan dengan legalitas, regulasi, serta kepatuhan terhadap peraturan yang berlaku terkait pengembangan, produksi, distribusi, dan penggunaan suatu produk atau teknologi (Ibrahim dan Truby 2023). Tinjauan aspek ini penting untuk memastikan bahwa inovasi yang dikembangkan tidak melanggar ketentuan hukum yang berlaku serta dapat memperoleh perlindungan hukum dan pengakuan resmi dari lembaga berwenang (Hassler dan Baysal-Gurel 2019). Dalam konteks alat pertanian berbasis teknologi, aspek hukum juga mencakup standar keamanan alat, hak kekayaan intelektual, dan perizinan usaha.

Dalam konteks *module device portable*, analisis aspek hukum mencakup kepatuhan terhadap regulasi penggunaan alat dan mesin pertanian (alsintan) yang ditetapkan oleh Kementerian Pertanian. Berdasarkan Peraturan Menteri Pertanian Nomor 25/Permentan/SM.120/7/2018, setiap alat atau mesin pertanian yang akan diproduksi, diperjualbelikan, atau digunakan secara luas harus memenuhi syarat teknis, diuji performanya, dan mendapatkan sertifikasi resmi agar dinyatakan aman dan layak digunakan. Dengan demikian, alat ini perlu melalui proses pengujian dan sertifikasi sebagai retrofit system atau perangkat tambahan resmi yang tidak membahayakan fungsi utama dari traktor tangan.

Selain regulasi alat, aspek hukum juga mencakup perlindungan keselamatan kerja pengguna dan kekayaan intelektual. Mengingat alat ini menggunakan sistem kendali jarak jauh dan teknologi AI untuk mengatur kopling, gas, serta mendeteksi kondisi tanah, maka seluruh komponen harus memenuhi standar keselamatan kerja sesuai prinsip K3. Inovasi ini juga memiliki unsur kebaruan yang memungkinkan untuk didaftarkan sebagai paten berdasarkan Undang-Undang Nomor 13 Tahun 2016 tentang Paten. Dengan memenuhi ketentuan hukum terkait sertifikasi, keselamatan, dan hak kekayaan intelektual, inovasi ini dinyatakan layak secara yuridis dan memiliki prospek kuat untuk dikembangkan serta diterima pasar secara luas.

2.4 Aspek Teknis dan Teknologi

Aspek teknis dan teknologi dalam studi kelayakan mencakup penilaian terhadap kesiapan desain, spesifikasi teknis, kemampuan operasional, dan integrasi sistem yang digunakan dalam suatu inovasi (Choi dan Choi 2022). Analisis ini bertujuan untuk memastikan bahwa produk atau alat yang dirancang dapat berfungsi secara efektif, efisien, dan dapat diproduksi serta dioperasikan sesuai kebutuhan pengguna di lapangan (Wini Yuliani *et al.* 2025). Evaluasi aspek ini melibatkan pemilihan komponen, kecocokan antar sistem, efisiensi energi, kemudahan perawatan, dan tingkat keandalan dalam berbagai kondisi kerja.

Inovasi *module device portable* pada traktor tangan merupakan integrasi sistem mekanik, elektronik, dan kecerdasan buatan (AI) yang dirancang untuk mendukung modernisasi pertanian lahan kering. Alat ini memiliki dua fitur utama, yaitu sistem deteksi berbasis kamera AI yang mampu mengenali kondisi tanah (lumpur, padat, atau gembur) dan mengaktifkan penggemburan hanya saat diperlukan, serta sistem kendali aktuator untuk mengoperasikan tuas kopling, langsam gas (PWM), dan *belt* secara otomatis dan jarak jauh. Teknologi ini meningkatkan efisiensi kerja, menghemat energi, serta dapat diaplikasikan tanpa modifikasi besar, sehingga mudah diadaptasi oleh pengguna traktor tangan konvensional.

2.5 Aspek Keuangan

Menurut Siswanto Sutojo (2000), aspek keuangan adalah rencana investasi proyek atau ilmu pembiayaan investasi proyek (*capital budgeting*). Analisis aspek keuangan adalah proses menilai dan menentukan elemen yang dianggap layak dari pilihan yang dibuat dalam tahapan analisis usaha dalam satuan uang (Diva Ananda et al., 2025). Aspek keuangan merupakan komponen utama dalam pengembangan dan penerapan teknologi inovatif seperti *module device portable* pada traktor tangan berbasis kecerdasan buatan untuk mekanisasi pertanian berkelanjutan. Aspek keuangan juga penting untuk dianalisis karena keuangan adalah sumber data pemasukan dan pengeluaran bisnis (Arifudin et al., 2020). Aspek keuangan mencakup biaya pengembangan teknologi, analisis biaya produksi, modal pembiayaan dan skema pendanaan, return on investment (ROI), dan resiko keuangan yang terjadi.

2.6 Aspek Ekonomi dan Sosial

Aspek ekonomi dan sosial dalam studi kelayakan berfokus pada sejauh mana proyek inovasi teknologi, seperti *module device portable* pada traktor tangan berbasis AI, mampu memberikan dampak positif terhadap perekonomian lokal dan kesejahteraan sosial masyarakat. Evaluasi aspek ini mencakup potensi peningkatan produktivitas petani, penciptaan lapangan kerja baru, pengurangan ketimpangan akses terhadap teknologi, serta kontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi daerah. Secara makro, mekanisasi pertanian telah menjadi kebijakan nasional dalam rangka meningkatkan produktivitas pangan dan pertumbuhan ekonomi perdesaan, karena mekanisasi terbukti mendorong produktivitas, ketahanan pangan, dan mendukung pertumbuhan ekonomi agraris di Indonesia (Herdiansyah et al., 2023).

Mekanisasi dan otomatisasi dapat mengurangi kebutuhan buruh tani untuk pekerjaan berat seperti mencangkul atau membajak. Namun, peran buruh tani tidak sepenuhnya hilang; pada musim tanam atau panen tertentu tenaga manusia tetap dibutuhkan, misalnya untuk aktivitas yang tidak dapat dimekanisasi. Dengan demikian, modul AI di traktor tangan idealnya berperan sebagai alat bantu yang meningkatkan kapasitas petani, bukan menggantikan sepenuhnya tenaga kerja manusia, sehingga dampak sosial negatif dapat diminimalkan. Bahkan, ketika pendapatan petani meningkat, hal tersebut bisa mendorong perbaikan kualitas hidup komunitas.

2.7 Aspek Pengguna

Aspek pengguna berfokus pada analisis terhadap kesiapan, kemampuan, serta persepsi pengguna akhir dalam mengadopsi teknologi baru yang dikembangkan. Dalam konteks pengembangan *module device portable* pada traktor tangan, identifikasi karakteristik pengguna menjadi krusial agar desain dan fungsionalitas alat benar-benar sesuai dengan kebutuhan serta keterbatasan mereka di lapangan (Zhang et al., 2024a). Sebagian besar pengguna sasaran adalah petani yang memiliki pengalaman terbatas dalam menggunakan teknologi digital atau sistem

kendali otomatis. Oleh karena itu, pada Studi di Humanities and Social Sciences Communications menunjukkan bahwa kemudahan penggunaan (*ease of use*) adalah faktor kunci: petani lebih mungkin mengadopsi teknologi pertanian baru jika mereka menilainya intuitif, ramah pengguna, dan minim upaya operasional (Zhang et al., 2024b). Teknologi yang bersifat *plug-and-play* dan kompatibel dengan traktor menjadi keunggulan utama dalam meningkatkan adopsi oleh pengguna. Aspek pengguna juga mencakup evaluasi terhadap persepsi risiko, kenyamanan, dan nilai guna dari teknologi (Jayashankar et al., 2018). Studi kelayakan perlu mempertimbangkan resistensi terhadap perubahan yang umum terjadi dalam komunitas agraris (Chacko, n.d.). Pendekatan yang mengedepankan *user experience* dan *co-creation* (pelibatan pengguna dalam pengembangan produk) akan memperbesar kemungkinan keberhasilan adopsi teknologi (McGrath et al., 2025).

2.8 Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan mengkaji dampak langsung maupun tidak langsung dari penggunaan teknologi terhadap ekosistem dan keberlanjutan sumber daya alam. Dalam pengembangan alat pertanian berbasis AI, pertimbangan lingkungan menjadi penting untuk memastikan bahwa teknologi tidak hanya meningkatkan efisiensi produksi, tetapi juga mendukung praktik pertanian yang ramah lingkungan. *Module device portable* yang dirancang untuk menggemburkan tanah hanya saat diperlukan memiliki potensi besar dalam mengurangi degradasi tanah (Magesh, 2025). Dengan menghindari pengolahan tanah berlebih, struktur tanah dapat dipertahankan dan kadar air lebih terjaga, sehingga mendukung kesuburan jangka panjang. Penggunaan energi yang lebih efisien juga berdampak pada penurunan emisi karbon dan konsumsi bahan bakar (Balafoutis et al., 2017). Selain itu, alat ini mendorong praktik pertanian presisi yang berkelanjutan, meminimalkan penggunaan sumber daya secara berlebihan, dan membantu petani menyesuaikan perlakuan lahan secara spesifik sesuai kondisi aktual di lapangan. Dengan demikian, teknologi ini bukan hanya efisien secara teknis dan ekonomis, tetapi juga berkontribusi terhadap pelestarian lingkungan dan pencapaian target pembangunan berkelanjutan (SDGs), khususnya tujuan ke-12 (Konsumsi dan Produksi Bertanggung Jawab) dan ke-15 (Ekosistem Daratan).

BAB III

ASPEK-ASPEK DALAM *FEASIBILITY STUDY*

3.1 Aspek Kebutuhan Pelanggan/ Konsumen

Memahami kebutuhan petani sebagai pengguna utama dalam pengembangan teknologi pertanian merupakan hal yang krusial untuk memastikan bahwa solusi yang dikembangkan benar-benar tepat guna dan aplikatif. Petani memiliki kebutuhan yang sangat khas, terutama dalam hal peningkatan produktivitas, efisiensi kerja, dan perlindungan terhadap kesehatan. Aspek ini akan mengulas secara mendalam kebutuhan-kebutuhan tersebut serta bagaimana solusi yang dirancang dapat menjawabnya secara efektif.

a. Kebutuhan Utama Pelanggan

Petani sebagai pengguna utama memiliki beberapa kebutuhan mendasar yang menjadi dasar pengembangan *module device portable* pada traktor tangan ini. Inovasi ini dirancang untuk menjawab tantangan yang dihadapi petani dalam mengelola lahan pertanian dengan efisien dan aman melalui pendekatan berbasis teknologi. Adapun kebutuhan utama tersebut meliputi:

1. Optimalisasi pengolahan lahan secara presisi. Petani membutuhkan alat yang mampu bekerja sesuai kondisi riil lahan. Sistem AI berbasis kamera pada alat ini memungkinkan deteksi otomatis terhadap jenis dan tingkat kekerasan tanah, sehingga hanya area yang benar-benar padat yang akan digemburkan. Hal ini menghindari pekerjaan yang tidak perlu dan membantu memaksimalkan efisiensi tenaga dan waktu di lapangan.
2. Pengoperasian yang mudah dan hemat tenaga kerja. Banyak petani masih mengandalkan tenaga kerja manual dalam pengoperasian traktor tangan. Modul ini menghadirkan sistem kendali jarak jauh yang mengatur tuas kopling, langsam gas (PWM), dan sistem penggerak (*belt*), sehingga alat dapat dikendalikan secara efisien tanpa kontak fisik langsung. Fitur ini sangat penting untuk mengurangi kelelahan serta memperluas jangkauan kerja dalam waktu yang lebih singkat.
3. Keamanan dan kenyamanan kerja. Dalam lingkungan kerja yang menantang seperti lahan kering, keselamatan kerja menjadi perhatian utama. Dengan adanya kendali remot dan sistem otomatisasi, petani dapat menghindari kontak langsung dengan mesin aktif yang berisiko, serta dapat bekerja dengan posisi dan jarak yang lebih aman. Ini mendukung perlindungan terhadap kesehatan petani dan mengurangi potensi cedera akibat pengoperasian manual.
4. Adaptabilitas terhadap alat lama. Petani membutuhkan inovasi yang tidak menuntut penggantian alat secara keseluruhan. Modul ini dirancang sebagai sistem tambahan (*retrofit*) yang dapat dipasang pada traktor

tangan konvensional, sehingga lebih terjangkau dan praktis tanpa menghilangkan fungsi utama dari alat yang sudah dimiliki petani.

b. Solusi yang Ditawarkan

Teknologi yang dikembangkan dalam proyek ini dirancang untuk menjawab kebutuhan petani secara menyeluruh, khususnya dalam pengelolaan lahan yang memiliki tingkat kesulitan tinggi. Modul ini menawarkan solusi cerdas berupa sistem deteksi berbasis kamera dan AI yang mampu mengenali karakteristik permukaan tanah, seperti apakah tanah tersebut padat, gembur, atau berlumpur. Dengan fitur ini, alat hanya akan melakukan penggemburan jika kondisi tanah dinilai padat, sehingga proses kerja menjadi lebih tepat sasaran dan hemat energi.

Pengendalian traktor dilakukan melalui sistem aktuator elektrik yang terhubung dengan tuas kopling, langsam gas berbasis PWM, dan tuas *belt* untuk mengatur sistem penggerak. Seluruh sistem ini dapat dikontrol melalui *remote control* FlySky FS-i6, memungkinkan pengoperasian alat dari jarak jauh dengan presisi tinggi tanpa memerlukan kontak langsung dengan mesin. Hal ini secara signifikan mengurangi risiko kerja dan mempercepat operasional lapangan.

Modul ini juga dirancang secara portabel dan kompatibel dengan traktor tangan konvensional yang banyak digunakan petani saat ini, sehingga tidak memerlukan penggantian alat utama. Selain itu, sistem dirancang menggunakan komponen hemat energi, ringan, dan modular, yang menjadikannya efisien dari sisi penggunaan daya dan mudah untuk dirawat. Solusi ini secara keseluruhan ditujukan untuk meningkatkan produktivitas, efisiensi operasional, dan keselamatan petani, sekaligus mendukung modernisasi dan keberlanjutan pertanian di lahan kering Indonesia.

c. Kesimpulan Analisis Kebutuhan Pelanggan/Konsumen

Tabel 1 Penilaian aspek kebutuhan pelanggan/konsumen

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Pemahaman tentang kebutuhan utama pelanggan					√	Sangat Baik
2	Kemampuan menyediakan solusi yang sesuai dengan kebutuhan pelanggan					√	Sangat Baik
3	Efisiensi dan kemudahan penggunaan					√	Sangat Baik
4	Keamanan dan kesehatan petani				√		Baik

5	Keterjangkauan dan biaya operasional				√		Baik
6	Ketahanan produk sesuai ekspektasi pelanggan				√		Baik
7	Peningkatan produktivitas pertanian				√		Baik

Pada Tabel 1 menunjukkan setiap aspek yang berkaitan dengan kebutuhan pelanggan dievaluasi berdasarkan kriteria tertentu, di mana produk dikatakan layak apabila rata-rata skor evaluasi ≥ 3 dan tidak terdapat nilai di bawah 3 pada setiap aspek. Hal ini menunjukkan bahwa produk atau solusi yang ditawarkan layak dan telah memenuhi kebutuhan pelanggan khususnya para petani.

Berdasarkan penilaian dari 10 responden, hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh aspek kebutuhan pelanggan memperoleh skor rata-rata ≥ 3 , tanpa adanya aspek yang bernilai di bawah 3. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi *module device portable* yang dikembangkan telah sesuai dengan harapan dan kebutuhan petani.

Hasil ini menunjukkan bahwa alat tersebut relevan dalam menjawab tantangan operasional di lapangan, khususnya dalam hal peningkatan efisiensi kerja, pengurangan beban fisik, serta dukungan terhadap pengelolaan lahan yang lebih produktif. Tingginya skor rata-rata juga mencerminkan tingkat penerimaan dan potensi adopsi teknologi yang baik di kalangan pengguna sasaran, sehingga alat ini dinilai layak untuk dilanjutkan ke tahap pengembangan dan penerapan secara lebih luas.

3.2 Aspek Kondisi Pasar

Kondisi pasar memainkan peran penting dalam menentukan keberhasilan suatu produk, terutama ketika menyangkut teknologi baru di bidang pertanian. Untuk memastikan penerimaan yang baik, diperlukan analisis pasar yang mendalam. Proses ini melibatkan identifikasi potensi pasar, tingkat persaingan, serta tren yang berkembang dalam pertanian lahan kering. Dengan memahami dinamika pasar secara menyeluruh termasuk peluang, tantangan, dan kebutuhan khusus para petani diharapkan teknologi yang dikembangkan dapat diterapkan secara luas dan memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan produktivitas pertanian.

a. Potensi Pasar

Pasar untuk teknologi *module device portable* pada traktor tangan menunjukkan potensi yang besar, khususnya di sektor pertanian lahan kering yang luas di Indonesia. Petani di wilayah ini sering menghadapi keterbatasan tenaga kerja dan medan yang sulit diolah secara manual. Modul berbasis AI ini menawarkan solusi praktis dengan sistem deteksi otomatis dan kendali

jarak jauh yang dapat membantu petani meningkatkan efisiensi dan hasil produksi. Analisis kebutuhan di lapangan mengindikasikan bahwa petani sangat memerlukan alat yang mudah dipasang pada traktor konvensional, hemat energi, dan mampu bekerja secara efektif di kondisi lahan yang keras dan tidak merata.

b. Persaingan Pasar

Adopsi teknologi pertanian berbasis otomatisasi di Indonesia masih tergolong rendah dibanding negara agraris lainnya. Ini membuka peluang besar untuk masuknya alat mekanisasi cerdas dengan tingkat persaingan yang belum terlalu padat. Meski demikian, beberapa produk mekanisasi manual sudah ada di pasar, terutama untuk segmentasi petani kecil. Keunggulan kompetitif dari alat ini terletak pada sistem modularnya yang bisa diterapkan pada traktor tangan yang sudah dimiliki petani, kemampuan deteksi tanah otomatis berbasis AI, dan pengoperasian jarak jauh melalui remote FlySky FS-i6. Ini menjadikannya sebagai solusi unggul yang lebih tepat guna dan efisien dibanding alat konvensional.

c. Tren Pasar

Tren pertanian saat ini menunjukkan peningkatan minat terhadap teknologi berbasis otomatisasi dan kecerdasan buatan untuk mendukung pertanian presisi. Hal ini didorong oleh meningkatnya kebutuhan efisiensi, keterbatasan tenaga kerja, serta tantangan perubahan iklim dan degradasi lahan. Petani mulai terbuka terhadap penggunaan teknologi yang dapat mempermudah pekerjaan mereka dan meningkatkan produktivitas tanpa membebani secara fisik. Inovasi ini sangat relevan dengan tren tersebut karena mengintegrasikan AI untuk deteksi kondisi tanah dan sistem kontrol mekanis otomatis, menjadikannya sebagai bagian dari solusi pertanian pintar masa depan.

d. Strategi Pemasaran

Strategi pemasaran alat ini akan difokuskan pada pendekatan edukatif dan kemitraan lokal. Sosialisasi melalui demonstrasi lapangan dan pelatihan langsung kepada petani menjadi kunci untuk meningkatkan pemahaman dan minat. Selain itu, kerja sama dengan koperasi tani, pemerintah daerah, dan lembaga penyuluh pertanian akan membantu memperluas akses dan dukungan distribusi alat ini. Penyediaan skema pembiayaan atau subsidi bagi petani melalui program bantuan teknologi juga akan mempercepat adopsi. Strategi distribusi akan memperhatikan ketersediaan layanan purna jual serta pelatihan teknis, guna memastikan alat dapat dimanfaatkan secara optimal oleh pengguna di berbagai wilayah.

e. Segmentasi Pasar

Berdasarkan karakteristik konsumen dan kebutuhan yang diidentifikasi, segmen pasar dapat dibagi ke dalam beberapa kategori berikut:

1. Petani Pengguna Traktor Tangan. Segmen utama dari pasar ini adalah petani yang telah menggunakan traktor tangan dalam kegiatan pertaniannya. Modul ini dirancang sebagai perangkat tambahan (retrofit) yang dapat dipasang pada traktor tangan konvensional tanpa perlu mengganti unit utama. Dengan demikian, petani yang telah terbiasa menggunakan traktor tangan akan lebih mudah menerima inovasi ini karena tidak membutuhkan adaptasi besar.
2. Koperasi Tani dan Kelompok Usaha Tani. Organisasi seperti kelompok usaha tani atau koperasi merupakan segmen strategis karena berperan sebagai penghubung antara teknologi dan anggotanya. Mereka dapat menjadi saluran distribusi utama sekaligus penyedia pelatihan penggunaan alat. Pendekatan berbasis kemitraan dengan koperasi dapat memperluas adopsi teknologi ini secara kolektif dan efisien.
3. Penyedia Layanan Mekanisasi dan Penyewaan Alat. Segmen ini mencakup pelaku usaha yang menyediakan jasa pengolahan lahan menggunakan peralatan modern. Mereka dapat menjadi mitra penting dalam memperkenalkan teknologi ini ke petani-petani yang tidak mampu membeli alat secara langsung, dengan menyediakan layanan sewa atau paket jasa. Dengan fleksibilitas operasional dan efisiensi alat, penyedia jasa juga akan diuntungkan melalui peningkatan produktivitas kerja.

f. Kesimpulan Analisis Aspek Kondisi Pasar

Tabel 2 Penilaian Aspek Kondisi Pasar

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Permintaan pasar terhadap produk					√	Sangat Baik
2	Tingkat persaingan di pasar				√		Baik
3	Tren pertanian pintar dan keberlanjutan				√		
4	Kesiapan pasar untuk adopsi teknologi				√		Baik
5	Hambatan dan tantangan dalam penetrasi pasar				√		Baik
6	Potensi keuntungan dari segmen pasar yang ditargetkan					√	Sangat Baik

Pada Tabel 2 menunjukkan setiap aspek yang berkaitan dengan kondisi pasar dievaluasi berdasarkan kriteria tertentu, di mana produk dikatakan layak apabila rata-rata skor evaluasi ≥ 3 dan tidak terdapat nilai di bawah 3 pada setiap aspek. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pasar mendukung kelayakan produk untuk dipasarkan secara luas, baik di tingkat lokal maupun nasional.

Berdasarkan penilaian dari 10 responden, hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh aspek kondisi pasar memperoleh skor rata-rata ≥ 3 , tanpa adanya aspek yang bernilai di bawah 3. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pasar sangat mendukung potensi pemasaran teknologi *module device portable* secara luas, baik di tingkat lokal maupun nasional.

Hasil evaluasi ini mengindikasikan bahwa alat yang dikembangkan memiliki prospek pasar yang menjanjikan dan selaras dengan kebutuhan petani. Tingkat penerimaan konsumen yang tinggi tercermin dari terpenuhinya indikator penting seperti efisiensi kerja, kemudahan operasional, dan keterjangkauan harga. Selain itu, teknologi ini juga sejalan dengan arah perkembangan pertanian modern yang menekankan otomatisasi, keberlanjutan, dan peningkatan produktivitas, sehingga berpeluang besar untuk diterima dan diadopsi secara luas di pasar pertanian Indonesia.

3.3 Aspek Hukum

Aspek hukum menjadi faktor penting dalam proses pengembangan dan penerapan teknologi baru, khususnya di sektor pertanian yang memiliki keterkaitan erat dengan lingkungan dan masyarakat. Kepatuhan terhadap regulasi yang berlaku tidak hanya menjamin legalitas suatu proyek, tetapi juga berperan dalam membangun kepercayaan dari para pengguna. Dalam hal penerapan teknologi mekanisasi berbasis kendali remot FlySky FS-i6 pada pertanian lahan kering, terdapat sejumlah aspek hukum yang perlu diperhatikan secara cermat.

a. Kepatuhan Terhadap Regulasi Lingkungan

Inovasi *Module device portable* yang diterapkan pada traktor tangan harus dirancang sesuai dengan regulasi lingkungan hidup yang berlaku di Indonesia. Hal ini mencakup penggunaan sistem berbasis energi ramah lingkungan, seperti baterai listrik, untuk mengurangi emisi karbon di sektor pertanian. Selain itu, desain sistem penggerak harus memperhatikan tingkat kebisingan agar tidak mengganggu ekosistem sekitar, terutama di wilayah pertanian yang dekat dengan pemukiman atau habitat satwa. Teknologi ini juga harus mematuhi ketentuan dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan terkait pengelolaan sumber daya, perlindungan tanah, dan pengendalian dampak lingkungan. Kepatuhan terhadap regulasi ini penting agar penggunaan alat tidak menimbulkan kerusakan ekosistem serta dapat diterima oleh masyarakat secara luas.

b. Perlindungan Data dan Privasi

Sistem yang terintegrasi dengan AI dan kendali remot seperti FlySky FS-i6 berpotensi mengumpulkan data teknis dan operasional selama proses kerja. Oleh karena itu, perlindungan terhadap data pengguna dan kondisi pertanian harus dipastikan sesuai dengan regulasi perlindungan data yang berlaku di Indonesia, seperti dalam UU No. 27 Tahun 2022 tentang Perlindungan Data Pribadi. Data harus dikelola dengan prinsip transparansi, keamanan, dan kerahasiaan. Pengelolaan data yang baik akan meningkatkan kepercayaan petani terhadap teknologi ini serta mencegah potensi penyalahgunaan oleh pihak lain. Kepatuhan terhadap aspek ini juga memperkuat legalitas operasional alat dan mendukung keberlanjutan penggunaan teknologi dalam jangka panjang.

c. Hak Kekayaan Intelektual (HKI)

Hak Kekayaan Intelektual (HKI) merupakan aspek yang sangat penting dalam melindungi rancangan, sistem mekanis, dan teknologi kendali remot FlySky FS-i6 yang diterapkan pada robot ini. Upaya seperti pendaftaran paten, hak cipta, atau merek dagang dilakukan untuk menjamin bahwa inovasi tersebut terlindungi dari pelanggaran oleh pihak lain. Langkah ini tidak hanya mencegah penggunaan tanpa izin, tetapi juga memberikan legitimasi hukum terhadap inovasi yang telah dikembangkan. Selain itu, HKI menambah nilai pada teknologi ini sebagai sebuah produk inovatif.

Lebih jauh, perlindungan melalui HKI dapat meningkatkan daya saing teknologi di pasar karena menunjukkan adanya keunikan dan pengakuan resmi atas karya tersebut. Hal ini menjadi sangat penting terutama jika teknologi ini akan dikembangkan untuk tujuan komersial, baik di dalam negeri maupun secara global. HKI juga mempermudah proses alih teknologi kepada pihak lain, seperti mitra bisnis atau investor, dengan menjamin bahwa hak kepemilikan atas inovasi tetap berada pada pengembang aslinya.

d. Standar dan Sertifikasi

Untuk memastikan alat dapat diterima secara luas di pasar, teknologi *module device portable* ini harus memenuhi standar teknis dan operasional yang ditetapkan secara nasional, seperti Standar Nasional Indonesia (SNI). Sertifikasi dari lembaga seperti BSN atau ISO juga diperlukan untuk menjamin bahwa produk telah melalui pengujian mutu, ketahanan, dan keselamatan. Standarisasi ini meliputi material, sistem penggerak, kontrol elektronik, serta aspek keselamatan kerja. Dengan mengantongi sertifikasi resmi, alat ini akan lebih dipercaya oleh petani, distributor, dan mitra strategis. Sertifikasi tidak hanya menjadi jaminan mutu, tetapi juga merupakan syarat penting untuk memperluas pemasaran alat ke level nasional dan bahkan internasional.

e. Kesimpulan Analisis Aspek Hukum

Tabel 3 Penilaian Aspek Hukum

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Kepatuhan terhadap regulasi lingkungan				√		Baik
2	Perlindungan Hak Kekayaan Intelektual (HKI)					√	Sangat Baik
3	Keamanan dan keselamatan produk sesuai standar hukum				√		Baik
4	Kepatuhan terhadap standar keselamatan kerja				√		Baik
5	Kesesuaian dengan aturan lingkungan hidup				√		Baik
6	Pemenuhan persyaratan sertifikasi produk				√		Baik

Pada Tabel 3 menunjukkan setiap aspek yang berkaitan dengan hukum dievaluasi berdasarkan kriteria tertentu, di mana produk dikatakan layak apabila rata-rata skor evaluasi ≥ 3 dan tidak terdapat nilai di bawah 3 pada setiap aspek. Hal ini menunjukkan bahwa produk telah memenuhi persyaratan hukum yang diperlukan, sehingga dapat dikembangkan dan dipasarkan dengan lancar tanpa hambatan legal yang signifikan.

Berdasarkan penilaian dari 10 responden, hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh aspek hukum memperoleh skor rata-rata ≥ 3 , tanpa adanya aspek yang bernilai di bawah 3. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi pasar sangat mendukung potensi pemasaran teknologi *module device portable* secara luas, baik di tingkat lokal maupun nasional.

Hasil ini menunjukkan bahwa teknologi *module device portable* telah sesuai dengan ketentuan hukum yang meliputi kepatuhan terhadap regulasi lingkungan, perlindungan data dan privasi, perizinan operasional, sertifikasi dan standar mutu, serta perlindungan Hak Kekayaan Intelektual (HKI). Tidak ditemukan satupun aspek hukum yang memperoleh skor di bawah ambang batas. Dengan demikian, alat ini dinilai memiliki kepatuhan hukum yang memadai, yang menjadi dasar kuat bagi pengembangan dan distribusinya ke pasar.

3.4 Aspek Teknis dan Teknologi

Pemahaman yang mendalam terhadap aspek-aspek teknis sangat penting untuk memastikan bahwa sistem mekanisasi dan gerak roda yang dikembangkan dapat beroperasi secara efektif dan efisien di lahan kering di Indonesia. Aspek

teknis dan teknologi menjadi dasar utama dalam perancangan sistem ini, karena mengintegrasikan berbagai elemen teknis yang krusial untuk menciptakan alat yang efisien, akurat, dan dapat diandalkan. Fokus utama pada sistem mekanik, sistem kendali jarak jauh, dan sistem pendeteksi berbasis artificial intelligence yang menjadikan sistem ini sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan produktivitas pertanian, khususnya di lahan kering.

a. Sistem Mekanik

Penerapan teknologi *tractor module device* yang mencakup sistem kendali tuas kopling dan tuas gas, serta sistem pemantauan jarak jauh, ditunjukkan pada Gambar 1. Teknologi ini dirancang khusus untuk digunakan pada traktor tangan guna mendukung peningkatan produktivitas operasional pertanian secara berkelanjutan.



Gambar 1 Kinerja Sistem Mekanik

Kinerja sistem ini terbagi menjadi dua komponen utama. Pertama, sistem kendali jarak jauh menggunakan komunikasi antara pemancar dan penerima FlySky FS-iA6 (*controlling system*), yang memungkinkan pengoperasian tuas kopling dan tuas gas hingga jarak 150 meter. Pengendalian ini didukung oleh motor stepper Nema 34 yang memiliki kemampuan responsif tinggi dan dapat berputar di tempat (fitur *zero turn*) tanpa memerlukan pergerakan maju atau mundur. Kedua, sistem pemantauan jarak jauh berbasis kecerdasan buatan yang menggunakan komunikasi PX WMS-2000, mampu mentransmisikan data berupa gambar dan video dengan tingkat akurasi respons mencapai 90% (*monitorig system*).

Sumber energi dari sistem ini berasal dari baterai berkapasitas 12V 40Ah, yang mampu menyediakan arus sebesar 40A selama 1 jam, dengan daya rata-rata sebesar 480W. Berdasarkan perhitungan teknis, baterai ini dapat mengoperasikan motor dengan daya 480W selama 1 jam penuh. Dalam satu kali operasi, kebutuhan daya untuk mengoperasikan dua motor penggerak tuas kopling dan tuas gas hanya sekitar 120W, sehingga sistem ini dapat

bekerja secara optimal selama kurang lebih 2 jam dalam satu kali pengisian daya.

b. Sistem Kendali Jarak Jauh

Sistem kendali jarak jauh pada robot ini menggunakan teknologi *remote control* FlySky FS-i6. Pengoperasian sistem kendali jarak jauh pada teknologi perangkat modul traktor dapat dilihat secara lebih jelas pada Gambar 2 dan Tabel 4. Kedua elemen tersebut menyajikan rincian instruksi pengendalian jarak jauh beserta fungsi masing-masing perintah yang digunakan dalam sistem kendali.



Gambar 2 Pemetaan Sistem Kendali Jarak Jauh

Tabel 4 Pemetaan Sistem Kendali Jarak Jauh

Mode	Tuas yang Dikendalikan	Keterangan
Mode 1 (posisi sakelar C1 dan D1)	Tuas Gas	a. Jika tuas gas berada di posisi A, maka tuas gas normal/rendah. b. Jika tuas gas berada di posisi C, maka tuas gas sedang. c. Jika tuas gas berada di posisi B, maka tuas gas tinggi.
Mode 2 (posisi sakelar C1 dan D2)	Tuas Kopling	a. Jika <i>joystick</i> bergerak dari posisi E ke posisi D (berbelok ke kanan), maka: <ul style="list-style-type: none"> Jika tuas kopling berada di posisi A, kecepatannya 0% (PWM = 0) Jika tuas kopling berada di posisi B,

		<p>kecepatannya 100% (PWM = 255)</p> <p>b. Jika <i>joystick</i> bergerak dari posisi E ke posisi F (berbelok ke kiri), maka:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jika tuas kopling berada di posisi A, kecepatannya 0% (PWM = 0) • • Jika tuas kopling berada di posisi B, kecepatannya 100% (PWM = 255) <p>c. Jika <i>joystick</i> bergerak dari posisi E ke posisi G (berhenti), maka:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Jika tuas kopling berada di posisi A, kecepatannya 0% (PWM = 0) • Jika tuas kopling berada di posisi B, kecepatannya 100% (PWM = 255)
--	--	--

Sementara itu, pada bagian pemantauan jarak jauh, sistem mampu melakukan pengawasan visual hingga jarak 60 meter menggunakan sensor kamera yang terhubung melalui komunikasi pemancar-penerima PX WMS-2000. Tampilan hasil pemantauan ditunjukkan pada layar *Liquid Crystal Display* (LCD) dalam bentuk video atau gambar, yang dilengkapi dengan fitur pendeteksian berupa kotak pembatas objek, nilai tingkat keyakinan (*confidence level*), serta hasil analisis untuk menentukan apakah area lahan yang dipantau masih memerlukan proses pembajakan atau tidak.

c. Sistem Pendeteksi Tanah Berbasis *Artificial Intelligence*

Sistem ini merupakan inti dari teknologi monitoring pada modul traktor. Modul ini dilengkapi dengan sebuah sensor kamera yang berfungsi sebagai alat untuk menangkap citra jalur sawah yang berlumpur selama traktor beroperasi. Kamera ini terhubung dengan sebuah mini computer NVIDIA Jetson Nano untuk pemrosesan data. NVIDIA Jetson Nano inilah yang bertugas untuk memproses citra yang telah ditangkap oleh sensor kamera. Rangkaian sistem monitoring yang terdiri dari sensor kamera dan NVIDIA Jetson Nano dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Sistem Pendeteksi Tanah Berbasis Artificial Intelligence

Artificial Intelligence (AI) yang digunakan dalam penelitian ini dilatih secara khusus untuk tugas deteksi objek, yaitu membedakan antara tanah 'gembur' dan 'padat'. Pemilihan model AI berbasis pemrosesan gambar ini bertujuan untuk mencapai akurasi deteksi yang tinggi secara efisien. Dengan melatih model pada ratusan gambar spesifik, sistem dapat mempelajari fitur-fitur visual yang relevan untuk membuat keputusan yang presisi. Output akhir dari model deteksi ini, berupa video dan informasi keputusan, kemudian ditampilkan pada monitor LCD yang terpasang pada remote kontrol. Proses transmisi data dari unit pemrosesan ke layar monitor difasilitasi oleh perangkat seperti pada Gambar 4.



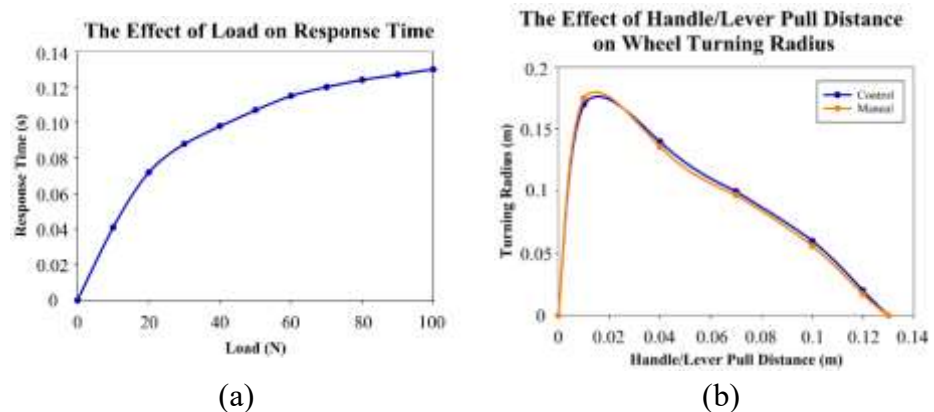
Gambar 4 Tampilan Monitor LCD

- d. Pengujian dan Validasi
 1. Pengujian Kinerja Sistem Mekanis

Pada bagian ini, sistem dievaluasi berdasarkan hasil pengujian dari dua komponen utamanya: mekanisme kendali tuas traktor dan sistem monitoring berbasis AI. Model deteksi tanah berbasis AI dievaluasi

menggunakan *F1-Score*, di mana hasilnya menunjukkan performa yang sangat baik dengan skor 0.99 untuk kelas tanah gembur (loose) dan 0.97 untuk kelas tanah padat (solid). Selain itu, kinerja mekanisme aktuator pada tuas kopling juga dievaluasi berdasarkan waktu respon motor terhadap beban yang diberikan. Hasilnya menunjukkan bahwa motor Nema 34 mampu mempertahankan waktu respon yang sangat cepat dan stabil, yakni antara 0.12 hingga 0.13 detik, bahkan saat diberi beban tarikan maksimal tuas kopling traktor sebesar 70-100 N.

Evaluasi lebih lanjut dilakukan untuk mengetahui hubungan antara variabel-variabel kunci dalam sistem. Salah satu pengujian utama adalah melihat pengaruh beban tarikan (dalam Newton) terhadap waktu respon motor penggerak tuas kopling (dalam detik). Pengujian ini penting untuk memastikan motor yang dipilih andal dan tidak mengalami penurunan performa signifikan saat beroperasi di bawah tekanan kerja nyata. Selain itu, dilakukan juga pengujian untuk membandingkan akurasi radius putar yang dihasilkan oleh sistem kendali dengan sistem manual, yang diukur berdasarkan jarak tarikan tuas. Grafik yang menunjukkan hubungan antara beban dan waktu respon motor serta perbandingan radius putar disajikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Pengujian Kinerja Sistem Mekanis

Berdasarkan grafik pada Gambar 5, kinerja sistem dapat dianalisis secara mendalam. Grafik pengaruh beban menunjukkan bahwa motor Nema 34 sangat andal, karena waktu responnya tetap stabil meskipun beban tarikan meningkat. Hal ini membuktikan bahwa motor tidak akan kehilangan kecepatan atau efisiensi saat menarik tuas kopling di lapangan. Sementara itu, grafik perbandingan radius putar menunjukkan bahwa akurasi yang dicapai dari implementasi sistem kendali dibandingkan dengan pengoperasian manual adalah 97.7%. Tingkat akurasi yang tinggi ini menegaskan bahwa sistem mekanisasi tuas traktor sangat ideal untuk digunakan dan mampu mereplikasi kontrol manual dengan presisi tinggi.

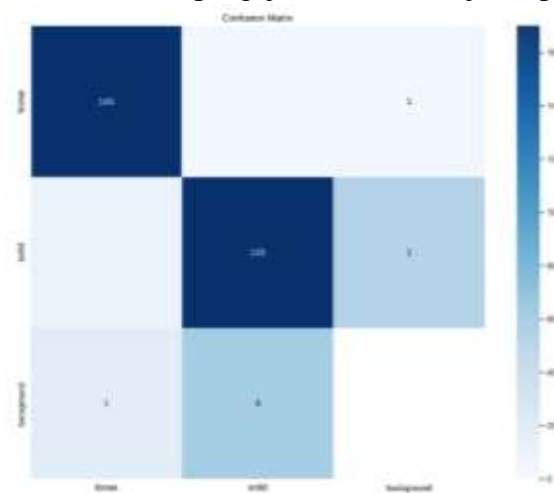
2. Pengujian Sistem Pendeteksi Tanah

Pengujian sistem deteksi tanah dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan dan performa model *Artificial Intelligence* (AI) dalam mengenali objek tanah berlumpur secara langsung di kondisi nyata. Pengujian ini dilaksanakan di area persawahan Desa Pakapasan Girang, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat, Indonesia. Model AI yang telah dilatih menggunakan 300 citra tanah berlumpur yang diannotasi secara manual, diuji kemampuannya untuk membedakan antara dua kelas utama: tanah "gembur" (loose) dan tanah "padat" (solid). Hasil deteksi yang ditampilkan pada monitor berupa bounding box, nilai confidence, dan keputusan terkait kondisi tanah tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6 Pengujian Sistem Pendeteksi Tanah

Kinerja klasifikasi model pada data uji dievaluasi menggunakan Confusion Matrix untuk menampilkan jumlah prediksi yang benar dan salah pada setiap kelasnya. Confusion Matrix ini menjadi dasar untuk menghitung nilai metrik performa yang lebih detail. Visualisasi Confusion Matrix dari hasil pengujian model disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7 Confusion Matrix

Confusion Matrix tersebut, dilakukan perhitungan untuk menganalisis nilai Precision, Recall, dan F1-Score guna mengukur kemampuan sistem secara kuantitatif. Hasil perhitungan untuk setiap kelas disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5 Hasil Perhitungan Confusion Matrix

Class	TP	FP	FN	TN	Precision	Recall	F1-Score
Loose	145	1	1	147	0.99	0.99	0.99
Solid	143	3	1	147	0.97	0.99	0.97

Berdasarkan Tabel 5, performa model menunjukkan hasil yang luar biasa dalam membedakan antara kelas tanah gembur dan padat. Untuk kelas loose, model mencapai nilai Precision, Recall, dan F1-Score yang sangat tinggi, yaitu 0.99. Sementara untuk kelas loose, model mencapai nilai Precision, Recall, dan F1-Score yang sangat tinggi, yaitu 0.99. Sementara untuk kelas solid, model juga menunjukkan performa yang sangat baik dengan Precision 0.97, Recall 0.99, dan F1-Score 0.97. Hasil ini diperkuat dengan data pelatihan yang menunjukkan nilai mAP@0.5 melampaui 0.95, menandakan model sangat akurat dalam memprediksi lokasi objek. Performa yang tinggi ini membuktikan bahwa model AI yang digunakan sangat andal dan memadai untuk memberikan informasi keputusan yang akurat bagi petani/operator secara *real-time*.

3. Pengujian Integrasi Sistem

Hasil pengujian menunjukkan bahwa modul perangkat traktor telah berhasil dibuat, diuji, dan diimplementasikan agar dapat dioperasikan dengan baik. Komponen-komponen utama yang terintegrasi dapat bekerja secara sinergis, mencakup dua fungsi utama: sistem kendali untuk tuas (kopling dan gas) dan sistem monitoring kondisi lahan berbasis Artificial Intelligence (AI). Sistem kendali yang dioperasikan melalui remot.

Flysky iA6 berhasil mengelola tuas kopling traktor dengan jangkauan komunikasi 150 m (tanpa gangguan) dan 135 m (dengan gangguan). Mekanisme gerakan tuas kopling mampu merespon dengan sangat cepat, yakni sekitar 0.12-0.13 detik di bawah beban tarikan 70-100 N, sementara tuas gas juga berhasil dikendalikan menggunakan motor servo 20 kg. Di sisi lain, sistem monitoring juga berfungsi dengan sukses, di mana komunikasi data untuk menampilkan gambar/video hasil bajak sawah beserta informasi keputusan berhasil dipantau dari jarak jauh menggunakan perangkat PX WMS-2000.

Secara keseluruhan, integrasi kedua sistem ini memungkinkan petani atau operator untuk mengendalikan laju dan arah traktor secara presisi dari jarak jauh, sambil secara bersamaan memantau kondisi lahan yang

sedang dikerjakan melalui layar LCD. Operator dapat melihat secara langsung apakah lahan sudah tergembur dengan baik atau masih memerlukan pembajakan lebih lanjut. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa performa modul perangkat traktor yang dibuat dan diuji dapat beroperasi dengan baik dan sesuai dengan tujuan yang ditetapkan. Tampilan pengoperasian sistem terintegrasi ini diilustrasikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Pengujian Integrasi Sistem

e. Kesimpulan Aspek Teknis dan Teknologi

Tabel 6 Penilaian Aspek Teknis dan Teknologi

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Kinerja sistem mekanik traktor tangan					√	Sangat Baik
2	Keakuratan dan kestabilan sistem kendali jarak jauh Flysky FS-i6				√		Baik
3	Keandalan sistem pengenalan permukaan tanah berbasis AI					√	Sangat Baik
4	Kemudahan pengoperasian oleh pengguna non-teknis					√	Sangat Baik
5	Hasil uji kinerja sistem secara keseluruhan di lahan pertanian					√	Sangat Baik
6	Kemudahan integrasi sistem				√		Baik

Pada Tabel 6 menunjukkan setiap aspek yang berkaitan dengan teknis dan teknologi dievaluasi berdasarkan kriteria tertentu, di mana produk dikatakan layak apabila rata-rata skor evaluasi ≥ 3 dan tidak terdapat nilai di bawah 3 pada setiap aspek. Hal ini menunjukkan bahwa teknologi yang dikembangkan memiliki kinerja yang baik dan layak diterapkan untuk mendukung peningkatan efisiensi serta produktivitas di sektor pertanian.

Berdasarkan hasil penilaian dari 10 responden, aspek teknis dan teknologi dalam studi kelayakan ini memperoleh rata-rata skor ≥ 3 untuk seluruh kriteria yang diujikan. Aspek-aspek seperti sistem mekanik, sistem pengendalian jarak jauh, sistem pendeteksi berbasis AI, serta hasil uji kinerja menunjukkan respons positif dan tidak ada satupun yang mendapat nilai di bawah batas minimum.

Hasil evaluasi ini mengindikasikan bahwa sistem *module device portable* yang dirancang pada traktor tangan yang mengintegrasikan kendali jarak jauh menggunakan Flysky FS-i6 serta kecerdasan buatan memiliki performa teknis yang mumpuni dan sesuai untuk diterapkan dalam pengelolaan lahan pertanian kering. Keunggulan pada kestabilan sistem mekanis, keakuratan kendali, efisiensi energi, dan integrasi teknologi menjadikan alat ini sebagai solusi yang tepat guna untuk mendukung inovasi dan keberlanjutan dalam pertanian modern di Indonesia.

3.5 Aspek Keuangan

Aspek finansial merupakan elemen fundamental dalam memastikan keberlanjutan dan keberhasilan adopsi teknologi *Module device portable* pada Traktor Tangan Berbasis Artificial Intelligence. Analisis finansial yang tepat diperlukan untuk menilai kelayakan proyek, terutama dalam menentukan total investasi awal, efisiensi biaya produksi, serta potensi keuntungan jangka panjang yang dapat diperoleh dari komersialisasi alat ini dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti biaya pengembangan, harga jual, dan potensi pengembalian investasi.

a. Biaya Pengembangan Teknologi

Biaya pengembangan mencakup seluruh tahapan perancangan, pengujian, hingga pembuatan prototipe. Teknologi ini melibatkan berbagai komponen utama dengan fungsinya masing-masing, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7 Biaya Pengembangan Teknologi

No.	Komponen	Fungsi Utama	Jumlah
1	Nema 34 Stepper Motor	Motor penggerak pegangan traktor	2 unit
2	Nema 34 Stepper Driver	Menggerakkan motor dengan sinyal arus tinggi	2 unit
3	Baja Sekrup	Mekanisme linier untuk meningkatkan efisiensi energi	2 unit

4	Motor Servo 20kg	Pengontrol pegangan throttle	1 unit
5	ESP32	Prosesor sistem kendali	1 unit
6	Flysky FS-iA6	Pemancar-penerima kendali jarak jauh	1 unit
7	PX WMS-2000	Komunikasi data dari Jetson ke LCD	1 unit
8	LCD 5 inci	Tampilan visual hasil deteksi	1 unit
9	NVIDIA Jetson Nano	Prosesor AI untuk analisis citra sawah	1 unit
10	Sensor Kamera	Deteksi visual tanah gembur atau kompak	1 unit

Selain komponen perangkat keras, biaya juga mencakup aspek riset dan pengembangan (R&D) seperti desain mekanis, pemrograman AI, pengujian sistem, dan iterasi prototipe. Investasi dalam teknologi ini dapat dianggap layak secara finansial apabila mempertimbangkan potensi peningkatan efisiensi kerja petani, pengurangan kebutuhan tenaga kerja manual, serta kemampuan sistem untuk membantu pengambilan keputusan berdasarkan data visual yang presisi melalui teknologi AI. Dengan demikian, meskipun biaya awal tergolong besar, pengembangan dan produksi massal perangkat ini berpotensi memberikan pengembalian investasi (ROI) yang positif dalam jangka menengah hingga panjang, khususnya jika didukung oleh program pembiayaan pemerintah atau swasta dalam sektor pertanian berkelanjutan

b. Analisis Biaya Produksi

Proyek pengembangan *module device portable* untuk traktor tangan berbasis kecerdasan buatan dirancang dengan target pasar yang mencakup petani, pelaku industri pertanian, serta lembaga pemerintah. Pada tahun pertama, diperkirakan proyek ini mampu menjual 100 unit alat dengan harga jual per unit sebesar Rp 15.000.000, sehingga menghasilkan pendapatan sebesar Rp 1.500.000.000.

Seiring dengan meningkatnya kesadaran dan penerimaan terhadap teknologi ini, penjualan diproyeksikan meningkat dua kali lipat setiap tahunnya pada tahun-tahun berikutnya. Selain dari penjualan alat, sumber pendapatan tambahan juga diproyeksikan berasal dari layanan purna jual seperti pemeliharaan alat, dukungan teknis, dan penjualan perangkat lunak analisis data berbasis kecerdasan buatan yang terintegrasi.

Tabel 8 Analisis Biaya Produksi

Komponen	Biaya per Unit (Rp)
Motor Stepper Nema 34 (2 unit)	Rp 3.000.000
Stepper Driver (2 unit)	Rp 1.500.000
Baja Sekrup (2 unit)	Rp 600.000
Motor Servo 20kg	Rp 500.000
ESP32	Rp 150.000
FlySky FS-iA6	Rp 600.000

PX WMS-2000	Rp 1.000.000
LCD 5 inci	Rp 800.000
NVIDIA Jetson Nano	Rp 2.500.000
Sensor Kamera	Rp 700.000
Rangka, casing, fabrikasi & finishing	Rp 1.200.000
Biaya tenaga kerja per unit	Rp 1.000.000
Total Biaya Produksi per Unit	Rp 13.550.000

Pada Tabel 8 Untuk memproduksi satu unit alat, biaya yang dibutuhkan mencakup sejumlah komponen seperti motor stepper, modul kendali, sistem pemantauan, serta proses fabrikasi dan tenaga kerja. Total biaya produksi per unit diperkirakan sebesar Rp 13.550.000. Di samping itu, terdapat biaya pengembangan total sebesar Rp 140.000.000, yang mencakup kebutuhan riset, desain, pengujian prototipe, serta pengembangan awal.

Untuk mengetahui sejauh mana proyek ini mampu menutup biaya pengembangan awal dan mulai menghasilkan keuntungan, dilakukan analisis titik impas atau *Break Even Point* (BEP). Analisis ini bertujuan untuk menentukan jumlah minimum unit yang harus terjual agar total biaya produksi dan pengembangan tertutupi, serta untuk memastikan kelayakan finansial proyek pada tahun pertama. Perhitungan BEP mengacu pada dua rumus utama, yaitu Margin Kontribusi per Unit dan BEP dalam unit:

$$\text{Margin Kontribusi per Unit} = \text{Harga Jual per Unit} - \text{Biaya Produksi per Unit}$$

$$\text{BEP (Unit)} = \frac{\text{Biaya Tetap}}{\text{Margin Kontribusi per Unit}}$$

Dengan asumsi:

- Harga jual per unit = Rp 15.000.000
- Biaya produksi per unit = Rp 13.550.000
- Biaya tetap (biaya pengembangan awal) = Rp 140.000.000

Maka:

$$\text{Margin Kontribusi per Unit} = \text{Rp}15.000.000 - \text{Rp}13.550.000 = \text{Rp}1.450.000$$

Selanjutnya, jumlah unit minimum yang harus dijual untuk mencapai titik impas adalah:

$$\text{BEP (Unit)} = \frac{\text{Rp}140.000.000}{\text{Rp}1.450.000} = 96 \text{ Unit}$$

Perhitungan lengkap elemen-elemen BEP dirangkum pada Tabel 9.

Tabel 9 Perhitungan elemen BEP

Komponen	Nilai (Rp)
Biaya Tetap (Fixed Cost)	Rp 140.000.000
Biaya Produksi per Unit	Rp 13.550.000

Harga Jual per Unit	Rp 15.000.000
Margin Kontribusi per Unit	Rp 1.450.000
Break Even Point dalam Unit	96 Unit
Break Even Point dalam Rupiah	Rp 1.448.275.862

Berdasarkan hasil analisis di atas, proyek akan mencapai titik impas setelah menjual sekitar 96 unit alat. Dengan target penjualan tahun pertama sebesar 100 unit, proyek ini diperkirakan akan mencapai BEP pada pertengahan hingga akhir tahun pertama, dan mulai menghasilkan keuntungan bersih dari unit ke-97 dan seterusnya. Hal ini menunjukkan bahwa proyek ini layak secara finansial dan memiliki potensi balik modal dalam waktu kurang dari satu tahun operasional, terutama jika dikombinasikan dengan strategi layanan purna jual dan ekspansi pasar yang agresif.

c. Modal Pembiayaan dan Skema Pendanaan

Model pembiayaan dan skema pendanaan menjadi aspek krusial dalam memastikan keberlanjutan produksi dan adopsi teknologi *module device portable* pada traktor tangan berbasis kecerdasan buatan. Mengingat bahwa pengembangan dan pembuatan prototipe memerlukan investasi awal yang cukup besar, maka perlu dirancang pendekatan pendanaan yang adaptif dan inklusif. Pengembangan alat ini sebelumnya mendapat dukungan dari Program Hibah Skema PT-LM Kemdiktisaintek Tahun 2025, yang menunjukkan bahwa sumber pendanaan dari pemerintah atau institusi riset nasional sangat memungkinkan untuk tahap awal R&D.

Untuk fase produksi massal dan distribusi ke petani, model pembiayaan dapat melibatkan pendekatan hybrid antara pendanaan publik dan swasta. Subsidi atau insentif dari pemerintah daerah maupun pusat. Di sisi lain, skema pendanaan berbasis kolaborasi dengan koperasi tani atau BUMDes bisa membuka akses pembiayaan mikro kepada petani. Skema kredit lunak atau cicilan bertahap melalui lembaga keuangan mikro juga dapat diformulasikan untuk meringankan beban biaya pembelian di tingkat pengguna akhir.

Sebagai alternatif strategis, pembiayaan berbasis kemitraan usaha atau *revenue-sharing* dapat diujicoba. Dalam skema ini, investor akan mendanai produksi dan distribusi alat, sementara hasil dari penyewaan atau penjualan alat ke petani akan dikembalikan sebagai bentuk pembagian pendapatan. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi risiko finansial awal bagi petani, tetapi juga mempercepat difusi teknologi di tingkat lapangan.

d. Return on Investment (ROI)

Return on Investment (ROI) menjadi indikator utama dalam mengevaluasi kelayakan ekonomi dari pengembangan *module device portable* pada traktor tangan berbasis kecerdasan buatan. Berdasarkan jurnal, perangkat ini dirancang untuk meningkatkan efisiensi operasional dan pengambilan keputusan pertanian dengan mengotomatisasi kendali kopling dan *throttle*, serta memberikan pemantauan lahan secara *real-time* melalui analisis citra.

Nilai tambah fungsionalitas ini berimplikasi langsung pada efisiensi waktu kerja, penghematan biaya tenaga kerja, dan peningkatan produktivitas, yang kesemuanya dapat dikonversi menjadi nilai ekonomi dalam estimasi ROI.

Perhitungan ROI dalam konteks ini perlu memperhitungkan total biaya pengembangan awal yang mencakup pembelian komponen hingga biaya desain, pengujian, dan tenaga ahli. Di sisi lain, proyeksi pendapatan dapat dihitung berdasarkan harga jual per unit alat dan estimasi permintaan dari kelompok tani, koperasi, atau unit penyewaan alsintan. Jika alat ini dijual dalam kisaran harga menengah ke atas, namun dengan tingkat adopsi yang memadai di sektor pertanian kecil hingga menengah, ROI bisa tercapai dalam kurun waktu 2–3 tahun tergantung volume penjualan dan efisiensi produksi.

Namun demikian, analisis ROI juga harus mencakup faktor risiko yang relevan. Misalnya, fluktuasi harga komponen elektronik seperti chip atau motor akibat gangguan rantai pasok global, kebijakan impor, atau nilai tukar dapat memengaruhi biaya produksi. Di sisi permintaan, resistensi adopsi teknologi baru oleh petani tradisional atau keterbatasan akses pembiayaan juga menjadi tantangan. Untuk itu, simulasi scenario baik optimis, moderat, maupun pesimis dapat membantu mengantisipasi dinamika pasar dan merumuskan strategi mitigasi risiko. Dalam skenario optimis, jika dukungan pemerintah dan kemitraan lokal berjalan lancar, ROI dapat meningkat lebih cepat dari proyeksi awal, terutama jika teknologi ini juga ditawarkan dalam model sewa guna atau paket pelatihan.

e. Resiko Keuangan

Proyek ini menghadapi beberapa risiko keuangan yang perlu diantisipasi, antara lain kenaikan harga bahan baku, rendahnya tingkat adopsi oleh petani, dan perubahan regulasi yang dapat memengaruhi produksi dan distribusi. Kenaikan harga komponen elektronik atau gangguan rantai pasok dapat meningkatkan biaya produksi, sementara adopsi teknologi yang lambat dapat menghambat penjualan. Perubahan kebijakan pemerintah juga berpotensi menambah beban operasional.

Untuk mengurangi dampak tersebut, strategi mitigasi yang dapat diterapkan mencakup: penguncian harga bahan baku melalui kontrak jangka panjang, diversifikasi produk dan layanan, serta penyesuaian cepat terhadap perubahan pasar dan regulasi. Dengan langkah antisipatif ini, proyek diharapkan tetap stabil secara finansial dalam menghadapi dinamika eksternal.

f. Kesimpulan Analisis Finansial

Tabel 10 Penilaian Aspek Teknis dan Teknologi

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Efisiensi biaya riset dan inovasi awal					√	Sangat Baik

2	Efektivitas biaya produksi unit				√	Baik
3	Kelayakan biaya operasional dan perawatan				√	Baik
4	Kesesuaian harga jual dengan daya beli petani				√	Sangat Baik
5	Tingkat pengembalian modal investasi				√	Sangat Baik
6	Prospek laba dari skala produksi lebih besar				√	Baik

Pada Tabel 10 menunjukkan setiap aspek yang berkaitan dengan teknis dan teknologi dievaluasi berdasarkan kriteria tertentu. Apabila rata-rata skor evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek yang mendapat nilai di bawah 3, hal ini menunjukkan bahwa produk memiliki finansial yang baik serta layak untuk digunakan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas pada sektor pertanian.

Berdasarkan hasil evaluasi dari 10 responden, penilaian terhadap aspek teknis dan teknologi dalam feasibility study menunjukkan rata-rata skor evaluasi yang mencapai ≥ 3 . Seluruh aspek yang dievaluasi, seperti sistem mekanis, kendali jarak jauh, efisiensi energi, integrasi perangkat keras dan lunak, serta pengujian kinerja, memperoleh skor positif tanpa adanya nilai di bawah 3.

Secara keseluruhan, aspek keuangan proyek ini menunjukkan prospek yang baik, meskipun membutuhkan perencanaan yang matang. Biaya pengembangan dan produksi relatif tinggi, namun sebanding dengan manfaat inovasi yang ditawarkan. Harga jual masih terjangkau untuk petani menengah, dan ROI dinilai positif dengan BEP tercapai pada 96 unit. Dengan skala produksi yang lebih besar, potensi keuntungan juga meningkat. Perencanaan keuangan yang tepat akan menjadikan proyek ini tidak hanya inovatif, tetapi juga layak dan berkelanjutan secara bisnis.

3.6 Aspek Ekonomi dan Sosial

Aspek ekonomi dan sosial dalam studi kelayakan berperan penting dalam mengukur dampak dari penerapan teknologi pertanian terhadap perekonomian lokal dan kesejahteraan sosial masyarakat. Inovasi seperti *module device portable* pada traktor tangan berbasis kecerdasan buatan memiliki potensi besar dalam meningkatkan efisiensi produksi, mendorong pertumbuhan ekonomi daerah, serta menciptakan transformasi sosial di tingkat komunitas. Namun, implementasi teknologi juga harus memperhatikan tantangan yang muncul, seperti potensi tergesernya tenaga kerja tradisional, ketimpangan akses terhadap teknologi, dan perubahan struktur sosial. Oleh karena itu, studi kelayakan perlu mengkaji aspek-aspek ekonomi dan sosial secara mendalam agar proyek dapat dinyatakan layak, tidak hanya dari sisi teknis dan finansial, tetapi juga dalam hal keberlanjutan sosial dan ekonomi jangka panjang. Penting untuk dicatat bahwa sebagian besar aspek ini

memiliki dampak positif yang nyata, sebagaimana akan dijelaskan lebih lanjut pada uraian beberapa aspek utama di bawah ini.

a. Aspek Peningkatan Produktivitas Pertanian

Salah satu indikator utama kelayakan ekonomi dari proyek inovasi teknologi pertanian adalah peningkatan produktivitas petani. Mekanisasi melalui penggunaan *module device portable* berbasis AI pada traktor tangan diharapkan mampu mempercepat proses olah tanah, meningkatkan efisiensi waktu kerja, serta mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual untuk pekerjaan berat seperti membajak. Dampak langsungnya adalah peningkatan hasil panen per satuan luas, yang pada akhirnya akan berdampak pada kenaikan pendapatan petani. Dalam studi kelayakan, aspek ini dinilai melalui perbandingan output pertanian sebelum dan sesudah penggunaan teknologi.

b. Aspek Analisis Biaya-Manfaat (*Cost Benefit Analysis*)

Analisis biaya-manfaat menjadi komponen krusial dalam menilai kelayakan proyek secara finansial. Hal ini mencakup perhitungan total biaya pengadaan, operasional, dan pemeliharaan alat, yang kemudian dibandingkan dengan manfaat ekonomi jangka pendek dan panjang yang diperoleh. Studi ini umumnya mencakup indikator seperti *return on investment* (ROI), *net present value* (NPV), dan *payback period* untuk memastikan bahwa investasi teknologi memberikan keuntungan yang terukur, yang penjelasannya akan dibahas lebih lanjut pada pembahasan aspek keuangan dalam studi kelayakan. Selain itu, sensitivitas terhadap perubahan harga komoditas dan biaya operasional juga perlu dianalisis guna mengantisipasi risiko ekonomi yang mungkin muncul.

c. Aspek Efisiensi Ekonomi Lokal

Efisiensi ekonomi lokal dapat dilihat dari sejauh mana teknologi tersebut mendukung penghematan biaya produksi secara keseluruhan. Dengan mempercepat proses pertanian dan mengurangi kebutuhan input tenaga kerja, petani dapat menekan biaya-biaya tidak langsung seperti upah harian, konsumsi BBM, atau perawatan alat manual. Efisiensi ini bukan hanya menguntungkan petani sebagai pelaku utama, tetapi juga memperkuat daya saing produk pertanian lokal di pasar yang lebih luas.

d. Aspek Dampak Terhadap Pertumbuhan Ekonomi Daerah

Proyek inovasi pertanian seperti ini memiliki potensi untuk berkontribusi langsung terhadap pertumbuhan ekonomi daerah, khususnya di wilayah perdesaan yang bergantung pada sektor agraris. Penggunaan alat yang meningkatkan produktivitas pertanian dapat mendorong peningkatan produksi, distribusi, dan nilai tambah dari sektor pertanian. Peningkatan ini pada akhirnya tercermin dalam naiknya kontribusi sektor pertanian terhadap

Produk Domestik Regional Bruto (PDRB), sekaligus mendorong pertumbuhan sektor-sektor pendukung seperti perdagangan alat pertanian, jasa perawatan, hingga pelatihan operator.

e. Aspek Penciptaan dan Perubahan Pola Lapangan Kerja

Secara sosial, keberadaan teknologi mekanisasi berbasis AI dapat memengaruhi struktur ketenagakerjaan di desa. Meskipun otomatisasi dapat mengurangi kebutuhan tenaga kerja kasar, hal ini membuka peluang terciptanya lapangan kerja baru seperti teknisi alat, operator mesin, dan instruktur pelatihan. Proyek ini dinilai layak apabila mampu menggeser pola kerja masyarakat dari tenaga kerja tidak terampil ke arah yang lebih terampil dan berpendidikan, dengan tetap menjaga keseimbangan agar tidak menimbulkan pengangguran struktural

f. Aspek Kesejahteraan Masyarakat

Kelayakan sosial proyek juga dinilai dari dampaknya terhadap kesejahteraan masyarakat secara umum. Ketika produktivitas dan pendapatan petani meningkat, maka daya beli keluarga petani pun cenderung naik. Hal ini dapat mendorong perbaikan kualitas hidup melalui peningkatan konsumsi rumah tangga, pendidikan anak, kesehatan keluarga, dan tabungan jangka panjang. Proyek yang dinilai layak secara sosial adalah proyek yang mampu memberi dampak berkelanjutan terhadap taraf hidup komunitas di sekitarnya, bukan sekadar memberikan efisiensi teknis.

g. Aspek Dampak Sosial Jangka Panjang

Dampak sosial jangka panjang juga menjadi pertimbangan penting, khususnya dalam menilai bagaimana transformasi teknologi memengaruhi dinamika sosial masyarakat desa. Teknologi yang diterima dengan baik akan memperkuat semangat inovasi, kolaborasi antara petani, dan regenerasi petani muda. Sebaliknya, jika tidak dikelola dengan baik, adopsi teknologi bisa menimbulkan resistensi, ketimpangan antar wilayah, atau ketergantungan teknologi tanpa kesiapan ekosistem pendukungnya. Oleh karena itu, aspek ini perlu dicermati secara proaktif melalui studi sosial yang mendalam.

h. Kesimpulan Analisis Ekonomi dan Sosial

Tabel 11 Penilaian Aspek Ekonomi dan Sosial

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Dampak ekonomi dan sosial yang dirasakan oleh masyarakat					√	Sangat Baik
2	Efisiensi biaya dan peningkatan produktivitas melalui teknologi				√		Baik

3	Peluang ekonomi baru dan penciptaan lapangan kerja				√		Baik
4	Pemerataan akses teknologi dan inklusivitas sosial					√	Sangat Baik
5	Kontribusi terhadap pertumbuhan ekonomi daerah				√		Baik
6	Dampak jangka panjang terhadap keberlanjutan sosial-ekonomi komunitas				√		Baik

Pada Tabel 11 menunjukkan setiap aspek yang berkaitan dengan ekonomi dan sosial dievaluasi berdasarkan kriteria tertentu. Apabila rata-rata skor evaluasi ≥ 3 dan tidak ada aspek yang mendapat nilai di bawah 3, hal ini menunjukkan bahwa pengembangan dan penerapan teknologi *module device portable* pada traktor tangan berbasis AI memberikan dampak positif baik secara ekonomi maupun sosial,

Berdasarkan hasil evaluasi dari 10 responden, pengembangan dan penerapan teknologi *module device portable* pada traktor tangan berbasis memberikan dampak positif baik secara ekonomi maupun sosial. Rata-rata skor evaluasi ≥ 3 menunjukkan bahwa teknologi ini tidak hanya memberikan manfaat dalam efisiensi dan produktivitas pertanian, tetapi juga berkontribusi pada kesejahteraan petani dan penguatan hubungan sosial di komunitas pertanian. Dengan demikian, proyek ini dapat diimplementasikan sebagai solusi inovatif untuk meningkatkan kualitas pertanian di lahan kering.

Secara keseluruhan, aspek keuangan proyek ini menunjukkan prospek yang baik, meskipun membutuhkan perencanaan yang matang. Biaya pengembangan dan produksi relatif tinggi, namun sebanding dengan manfaat inovasi yang ditawarkan. Harga jual masih terjangkau untuk petani menengah, dan ROI dinilai positif dengan BEP tercapai pada 96 unit. Dengan skala produksi yang lebih besar, potensi keuntungan juga meningkat. Perencanaan keuangan yang tepat akan menjadikan proyek ini tidak hanya inovatif, tetapi juga layak dan berkelanjutan secara bisnis.

3.7 Aspek Pengguna

Aspek kebutuhan pengguna memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan tidak hanya sesuai secara teknis, tetapi juga kompatibel dengan keterampilan, persepsi, dan kebiasaan pengguna akhir dalam hal ini, petani pengguna traktor tangan. Keberhasilan adopsi teknologi sangat dipengaruhi oleh persepsi kemudahan penggunaan, relevansi fungsi, serta nilai tambah yang dirasakan oleh pengguna. Berdasarkan literatur, aspek ini juga mencakup resistensi terhadap perubahan dan pentingnya pendekatan berbasis *user experience* dan *co-creation* dalam proses perancangan.

1. Analisis SWOT pada Aspek Kebutuhan Pengguna

a. *Strengths* (Kekuatan)

- Kemudahan Penggunaan dan *Plug-and-Play*. Desain teknologi bersifat intuitif, mudah dioperasikan, dan tidak memerlukan konfigurasi rumit, sehingga dapat langsung digunakan oleh petani dengan pengalaman teknologi terbatas.
- Kompatibel dengan Traktor yang Sudah Ada. *Module* dapat dipasang pada traktor tangan konvensional tanpa perlu mengganti alat utama, menjadikannya lebih praktis dan hemat biaya.
- Desain Ergonomis dan Ramah Pengguna. Teknologi dirancang dengan mempertimbangkan kenyamanan pengguna di lapangan, termasuk ukuran, bobot, dan antarmuka yang sederhana

b. *Weaknesses* (Kelemahan)

- Keterbatasan Literasi Teknologi Pengguna. Sebagian besar petani belum terbiasa dengan sistem berbasis digital atau otomatis, sehingga membutuhkan pelatihan dan bimbingan awal.
- Resistensi terhadap Perubahan Kebiasaan Kerja. Terdapat kecenderungan konservatif di kalangan petani yang lebih tua untuk tetap menggunakan metode manual karena rasa nyaman atau kebiasaan.
- Kekhawatiran terhadap Risiko Kesalahan atau Kerusakan Alat. Pengguna mungkin ragu mengoperasikan alat karena takut merusaknya akibat ketidaktahuan atau salah penggunaan.

c. *Opportunities* (Peluang)

- Tingginya Ketertarikan terhadap Inovasi Pertanian. Adanya dorongan pemerintah dan lembaga riset untuk memodernisasi pertanian membuka peluang besar bagi adopsi teknologi di kalangan petani.
- Dukungan Program Pelatihan Petani Digital. Program-program penyuluhan dan pelatihan berbasis teknologi dari dinas pertanian atau universitas dapat memfasilitasi transisi ke teknologi baru.
- Adanya Komunitas Petani Milenial dan Teknologi. Generasi petani muda cenderung lebih terbuka terhadap adopsi teknologi digital, menjadi katalis adopsi di tingkat komunitas.

d. *Threats* (Ancaman)

- Kemungkinan Penolakan dari Pengguna Tradisional. Jika tidak dikomunikasikan dengan baik, teknologi dapat ditolak oleh petani karena dianggap terlalu rumit atau tidak sesuai dengan cara kerja mereka.

- Kurangnya Layanan Dukungan Purna Jual di Daerah. Ketiadaan pusat layanan atau teknisi lokal dapat membuat pengguna enggan menggunakan alat yang dianggap sulit dirawat jika rusak.
- Stigma terhadap Teknologi yang Menggantikan Tenaga Manusia. Terdapat kekhawatiran bahwa mekanisasi akan mengurangi kebutuhan tenaga kerja, sehingga menimbulkan resistensi dari masyarakat desa.

2. Kesimpulan Analisis Pengguna

Tabel 12 Penilaian Aspek Teknis dan Teknologi

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Teknologi mudah digunakan dan tidak memerlukan pelatihan teknis lanjutan				√		Baik
2	Module dapat dipasang langsung ke traktor tangan tanpa modifikasi besar				√		Baik
3	Sebagian petani merasa kesulitan memahami pengoperasian alat berbasis digital			√			Cukup
4	Terdapat dukungan dari penyuluh pertanian untuk pelatihan alat baru				√		Baik
5	Petani khawatir teknologi ini akan menggantikan tenaga kerja manusia di ladan			√			Cukup

Pada Tabel 12 menunjukkan setiap aspek yang terkait dengan kondisi pengguna dievaluasi berdasarkan kriteria tertentu. Jika rata-rata skor evaluasi mencapai ≥ 3 dan tidak ada aspek yang mendapat skor di bawah 3, hal ini menunjukkan bahwa kondisi pengguna mendukung keberhasilan produk untuk diterima dan digunakan secara luas.

Berdasarkan hasil penilaian terhadap lima indikator utama pada aspek kebutuhan pengguna, dapat disimpulkan bahwa teknologi *module device portable* berbasis AI dinilai memiliki tingkat kelayakan yang baik dari perspektif pengguna. Teknologi ini dianggap mudah digunakan dan tidak memerlukan pelatihan teknis lanjutan, sebagaimana tercermin dari skor evaluasi yang tinggi pada aspek kemudahan penggunaan. Selain itu, alat ini juga dinilai praktis karena dapat dipasang langsung ke traktor tangan tanpa

memerlukan modifikasi besar, sehingga mendukung efisiensi implementasi di lapangan. Meskipun demikian, masih terdapat sebagian petani yang merasa kesulitan dalam memahami cara kerja alat berbasis digital, terutama mereka yang memiliki literasi teknologi terbatas. Namun, tantangan ini dapat diminimalkan melalui dukungan penyuluhan dan pelatihan dari pihak terkait. Kehadiran penyuluh pertanian yang aktif memberikan pelatihan turut menjadi faktor pendukung keberhasilan adopsi teknologi ini. Di sisi lain, meskipun ada kekhawatiran dari sebagian petani bahwa teknologi ini dapat menggantikan tenaga kerja manusia di ladang, persepsi tersebut belum menjadi hambatan utama dalam penerimaan teknologi. Secara keseluruhan, penilaian ini menunjukkan bahwa teknologi telah memenuhi sebagian besar kebutuhan pengguna dan memiliki prospek implementasi yang positif, terutama jika disertai pendekatan yang inklusif dan edukatif.

3.8 Aspek Lingkungan

Aspek lingkungan dalam studi kelayakan berfokus pada sejauh mana teknologi yang dikembangkan mendukung keberlanjutan ekosistem dan konservasi sumber daya alam. Berdasarkan tinjauan pustaka, pengembangan *module device portable* berbasis AI pada traktor tangan memiliki potensi besar dalam mendukung praktik pertanian yang ramah lingkungan. Teknologi ini dirancang untuk menggemburkan tanah hanya saat diperlukan, sehingga dapat mengurangi degradasi tanah, mempertahankan struktur dan kelembaban tanah, serta meningkatkan kesuburan jangka panjang. Selain itu, penggunaan energi yang lebih efisien turut menurunkan emisi karbon dan konsumsi bahan bakar. Dengan pendekatan pertanian presisi, teknologi ini membantu petani menyesuaikan perlakuan lahan secara spesifik sesuai dengan kebutuhan aktual, menghindari penggunaan input secara berlebihan. Oleh karena itu, aspek lingkungan dalam studi kelayakan ini tidak hanya memastikan efisiensi teknis, tetapi juga berkontribusi terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya SDGs ke-12 (Konsumsi dan Produksi yang Bertanggung Jawab) dan ke-15 (Melindungi Ekosistem Daratan). Penjabaran berikut ini akan menguraikan aspek-aspek utama yang perlu diperhatikan dalam menilai kelayakan lingkungan dari teknologi ini.

a. Pengurangan Degradasi Tanah

Salah satu manfaat utama teknologi ini adalah kemampuannya untuk mengurangi pengolahan tanah yang berlebihan. Dengan hanya menggemburkan tanah saat diperlukan, alat ini membantu menjaga struktur tanah tetap stabil, mencegah erosi, dan mempertahankan tingkat kelembaban alami. Hal ini sangat penting dalam mempertahankan kesuburan tanah untuk jangka panjang dan menghindari kerusakan ekologis pada lahan pertanian.

b. Efisiensi Energi dan Penurunan Emisi Karbon

Teknologi ini memungkinkan penggunaan energi yang lebih efisien, baik dari sisi bahan bakar maupun daya listrik. Dengan pengoperasian yang lebih terarah, konsumsi energi menjadi lebih hemat dan emisi gas rumah kaca yang dihasilkan selama proses mekanisasi dapat ditekan. Efisiensi ini tidak hanya berdampak pada biaya operasional, tetapi juga pada pengurangan jejak karbon dari kegiatan pertanian.

c. Konservasi Kelembaban dan Kesuburan Tanah

Dengan pengolahan tanah yang lebih selektif dan efisien, teknologi ini membantu menjaga kadar air tanah tetap stabil dan mengurangi kerusakan struktur tanah akibat proses olah lahan yang intensif. Kelembaban yang terjaga juga menjadi faktor penting dalam mempertahankan produktivitas tanaman dan ekosistem mikro di dalam tanah.

d. Kesesuaian terhadap Praktik Pertanian Berkelanjutan dan Presisi

Teknologi ini mendukung adaptasi terhadap praktik pertanian yang lebih cerdas dan bertanggung jawab. Kemampuan untuk menyesuaikan perlakuan berdasarkan kondisi tanah yang terukur dan nyata menjadikan alat ini selaras dengan konsep pertanian presisi. Hal ini menjadi fondasi penting untuk pertanian yang lebih efisien dan berkelanjutan di masa depan.

e. Kontribusi terhadap Pencapaian SDGs 12 dan 15

Penerapan teknologi ini berkontribusi langsung terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, khususnya SDG 12 (Responsible Consumption and Production) dan SDG 15 (Life on Land). Dengan mendukung efisiensi input dan menjaga keberlanjutan lahan, teknologi ini membantu sektor pertanian lebih selaras dengan agenda lingkungan global.

f. Kesimpulan Analisis Aspek Lingkungan

Tabel 13 Penilaian Aspek Lingkungan

No	Aspek Penilaian	Evaluasi					Keterangan
		1	2	3	4	5	
1	Pengurangan degradasi tanah				√		Baik
2	Efisiensi energi dan pengurangan emisi				√		Baik
3	Pengurangan penggunaan sumber daya berlebih				√		Baik
4	Dukungan terhadap konservasi kelembaban dan kesuburan tanah					√	Sangat Baik
5	Kesesuaian terhadap praktik pertanian berkelanjutan dan presisi				√		Baik

6	Kontribusi terhadap pencapaian SDGs 12 dan 15			√			Cukup
---	--	--	--	---	--	--	-------

Pada Tabel 13 menunjukkan setiap aspek yang berkaitan dengan lingkungan dievaluasi berdasarkan kriteria tertentu. Berdasarkan hasil pengisian kuisioner oleh 10 orang responden, di mana rata-rata skor evaluasi untuk aspek lingkungan mencapai ≥ 3 dan tidak ada aspek yang mendapat skor di bawah 3, dapat disimpulkan bahwa kondisi lingkungan mendukung implementasi produk secara positif.

Hal ini menunjukkan bahwa produk tersebut dipandang memiliki dampak lingkungan yang minimal atau bahkan memberikan manfaat lingkungan yang cukup signifikan. Oleh karena itu, hasil studi kelayakan ini menunjukkan bahwa produk tersebut dapat diterima dengan baik dari segi dampak lingkungan, dan memiliki peluang untuk diterima serta diadopsi dalam konteks yang lebih luas tanpa menimbulkan dampak negatif yang besar terhadap lingkungan.

BAB IV KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis terhadap seluruh aspek yang dikaji dalam studi kelayakan ini, yaitu aspek kebutuhan pelanggan/konsumen, kondisi pasar, hukum, teknis dan teknologi, keuangan, ekonomi dan sosial, pengguna, serta lingkungan, dapat disimpulkan bahwa teknologi *Module Device Portable* untuk traktor tangan berbasis *Artificial Intelligence* dan sistem kendali FlySky FS-i6 dinilai layak untuk diimplementasikan dan dikomersialisasikan secara luas sesuai hasil berikut:

1. Aspek Kebutuhan Pelanggan/Konsumen. Menunjukkan bahwa teknologi ini mampu memenuhi kebutuhan petani akan alat mekanisasi yang efisien.
2. Aspek Kondisi Pasar. Menunjukkan peluang pasar yang menjanjikan karena rendahnya tingkat adopsi mekanisasi modern di lahan kering, sementara permintaan terhadap alat berbasis otomasi dan AI terus meningkat. Produk ini juga memiliki keunggulan kompetitif dibanding teknologi sejenis, terutama dari segi fleksibilitas pemasangan dan fitur cerdasnya.
3. Aspek Hukum. Menunjukkan bahwa produk telah sesuai dengan peraturan perundangan yang berlaku, mulai dari regulasi lingkungan, perlindungan data pribadi, standar keselamatan kerja, hingga perlindungan Hak Kekayaan Intelektual.
4. Aspek Teknis dan Teknologi. Menunjukkan performa yang sangat baik, mulai dari sistem mekanik yang responsif, akurasi pengendalian yang tinggi, hingga deteksi kondisi tanah berbasis AI dengan nilai F1-Score mencapai 0,99.
5. Aspek Keuangan. Menyatakan bahwa meskipun biaya pengembangan awal cukup tinggi, analisis Break Even Point (BEP) menunjukkan titik impas dapat dicapai pada 96 unit dengan margin kontribusi positif. ROI juga dinilai menjanjikan apabila strategi produksi massal dan pembiayaan inklusif diterapkan secara optimal.
6. Aspek Ekonomi dan Sosial. Mengindikasikan dampak positif dalam peningkatan produktivitas petani, penghematan biaya operasional, dan penciptaan lapangan kerja baru.
7. Aspek Pengguna. Menunjukkan respons yang baik terhadap kemudahan penggunaan dan fleksibilitas instalasi.
8. Aspek Lingkungan. Menegaskan kontribusi teknologi dalam mengurangi emisi karbon, meminimalkan gangguan ekosistem melalui penggunaan energi efisien, serta mendukung jangka panjang.

Dengan demikian, seluruh aspek studi kelayakan mendukung bahwa "*Module Device Portable*" pada traktor tangan ini merupakan solusi inovatif yang layak untuk dikembangkan lebih lanjut dan berpotensi besar dalam mendukung modernisasi serta keberlanjutan pertanian lahan kering di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Alikem P, Nyadroh A, Amankrah VD, Pumpuni CM. 2021. Quality Characteristics of Biscuits Produced From Wheat , Tigernuts and Defatted Sesame Seeds Blended Flour. *EPRA Int J Agric Rural Econ Res.* May:1–8. doi:10.36713/epra0813.
- Arifudin, O., Sofyan, Y., Tanjung, R., Al-Amar Subang, S., Muhammadiyah Bandung, S., & Rakeyan Santang Karawang, S. (2020). Studi Kelayakan Bisnis Telur Asin H-Organik. *Jurnal Ecodemica*, 4(2). <http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/ecodemica>
- Balafoutis, A., Beck, B., Fountas, S., Vangeyte, J., Van Der Wal, T., Soto, I., Gómez-Barbero, M., Barnes, A., & Eory, V. (2017). Precision agriculture technologies positively contributing to ghg emissions mitigation, farm productivity and economics. In *Sustainability (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 8). MDPI. <https://doi.org/10.3390/su9081339>
- Bate'e AT, Septian DL, Pradana G, Krisanti SR, Widodasih RRWK. 2024. Analisis Studi Kelayakan Bisnis Pada UMKM Ditinjau Dari Aspek Pasar Dan Pemasaran (Studi Kasus Sop Ayam Pak Mim Klaten Di Cikarang Selatan). *J Masharif Al-Syariah J Ekon Dan Perbank Syariah*. 9(1):221–235.
- Caffaro F, Micheletti Cremasco M, Roccato M, Cavallo E. 2020. Drivers of farmers' intention to adopt technological innovations in Italy: The role of information sources, perceived usefulness, and perceived ease of use. *J Rural Stud*. 76 July 2019:264–271. doi:10.1016/j.jrurstud.2020.04.028.
- Chacko, J. (n.d.). *Behavioural barriers to technology adoption in agriculture*. <https://www.researchgate.net/publication/385787065>
- Choi Junho, Choi Jaepil. 2022. Technical Feasibility Study Model of Aged Apartment Renovation Applying Analytic Hierarchy Process. *J Civ Eng Manag*. 28(1):39–50. doi:10.3846/jcem.2021.16013.
- Diva Ananda, Dyah Asti Ningrum, & Risda Adila. (2025). Studi Kelayakan Bisnis dari Aspek Keuangan. *Trending: Jurnal Manajemen Dan Ekonomi*, 3(1), 302–310. <https://doi.org/10.30640/trending.v3i1.3736>
- Hassler SC, Baysal-Gurel F. 2019. Unmanned aircraft system (UAS) technology and applications in agriculture. *Agronomy*. 9(10). doi:10.3390/agronomy9100618.
- Herdiansyah, H., Antriandarti, E., Rosyada, A., Arista, N. I. D., Soesilo, T. E. B., & Ernawati, N. (2023). Evaluation of Conventional and Mechanization Methods towards Precision Agriculture in Indonesia. *Sustainability (Switzerland)*, 15(12). <https://doi.org/10.3390/su15129592>
- Ibrahim IA, Truby JM. 2023. FarmTech: Regulating the use of digital technologies in the agricultural sector. *Food Energy Secur.* 12(4):1–15. doi:10.1002/fes3.483.

- Jayashankar, P., Nilakanta, S., Johnston, W. J., Gill, P., & Burres, R. (2018). IoT adoption in agriculture: the role of trust, perceived value and risk. *Journal of Business and Industrial Marketing*, 33(6), 804–821. <https://doi.org/10.1108/JBIM-01-2018-0023>
- Khairunisa Ahmadi A, Fakhira D, Intan Sahfira N, Novriansah Siahaan R, Syahputri N, Khaira Sihotang M. 2025. Analisis Aspek Pasar sebagai Pilar Utama dalam Studi Kelayakan Bisnis untuk Mendukung Keberlanjutan Usaha. *J Manaj dan Ekon Kreat*. 3(1):209–221. doi:10.59024/jumek.v3i1.530.
- Magesh, S. (2025). A convolutional neural network model and algorithm driven prototype for sustainable tilling and fertilizer optimization. *Npj Sustainable Agriculture*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s44264-024-00046-w>
- McGrath, K., Regan, Á., & Russell, T. (2025). A user-centred future for agricultural digital innovation: demonstrating the value of design thinking in an animal health context. *Journal of Agricultural Education and Extension*, 31(3), 417–435. <https://doi.org/10.1080/1389224X.2024.2397968>
- Mukherjee M, Roy S. 2017. Feasibility Studies and Important Aspect of Project Management. *Int J Adv Eng Manag*. 2(4):98. doi:10.24999/ijoaem/02040025.
- Orsmond GI, Cohn ES. 2015. The distinctive features of a feasibility study: Objectives and guiding questions. *OTJR Occup Particip Heal*. 35(3):169–177. doi:10.1177/1539449215578649.
- Raharjo DS. 2022. How Feasibility Study Guides An Execution Of Project Development. *Int J Bus Appl Soc Sci.*, siap terbit.
- Sidek RSM, Samsudin AZ, Rozali EA, Sham FM. 2023. Feasibility Studies Across Disciplines: A Systematic Review of Methodologies, Applications, and Strategic Insights. *Int J Res Innov Soc Sci*. VII(2454):1175–1189. doi:10.47772/IJRISS.
- Wini Yuliani, Wina Yuliana, Dwi Astuti. 2025. Evaluasi Prospek Bisnis Start-Up Digital: Kajian Kualitatif Aspek Pasar, Teknis, Dan Manajemen. *J Bus Econ Manag / E-ISSN 3063-8968*. 1(3):171–177. doi:10.62379/jbem.v1i3.162.
- Zhang, X., Yang, Q., Al Mamun, A., Masukujjaman, M., & Masud, M. M. (2024a). Acceptance of new agricultural technology among small rural farmers. *Humanities and Social Sciences Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1057/s41599-024-04163-2>

LAMPIRAN

Lampiran 1. Desain 3D *module device portable*



AI-Trac_Belt Adjuster

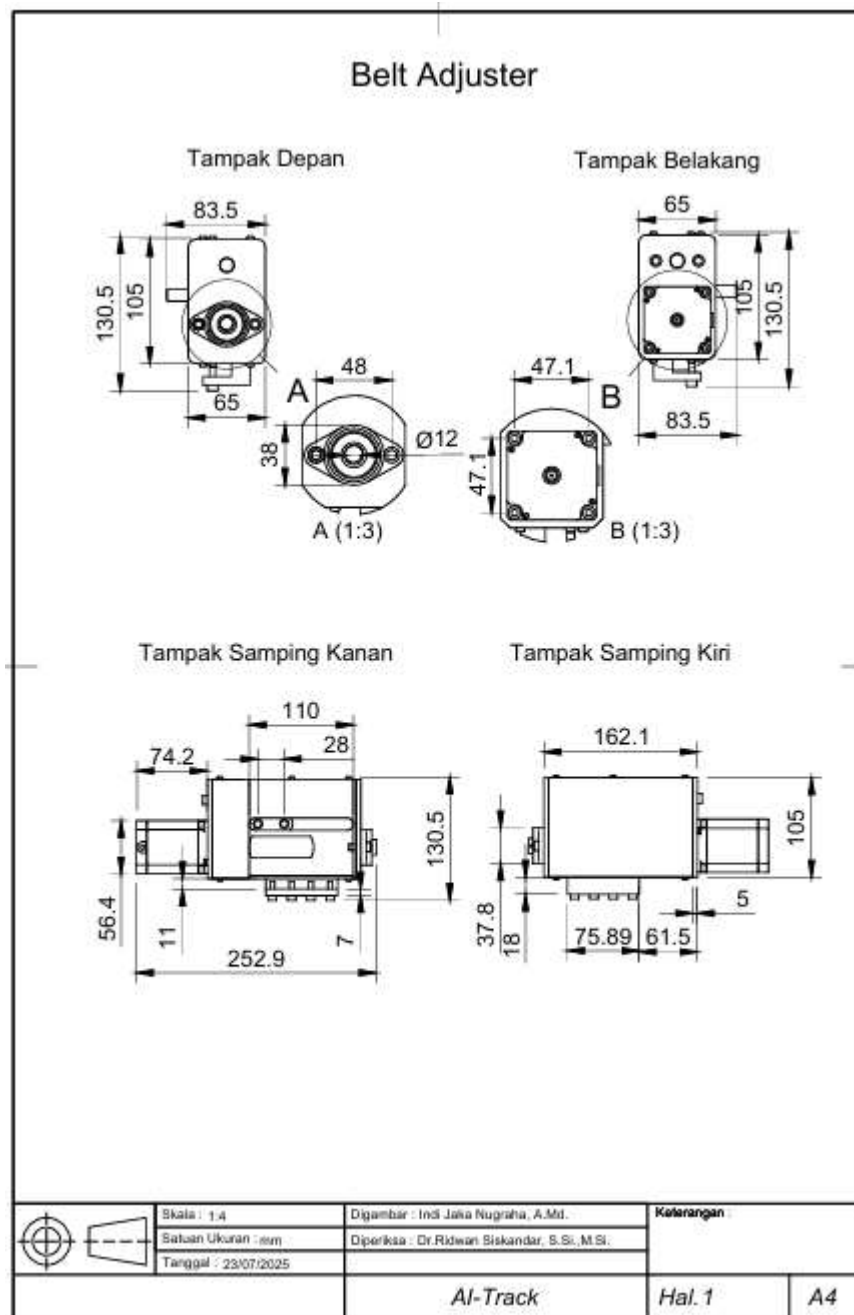


AI-Trac_Clutch Handle

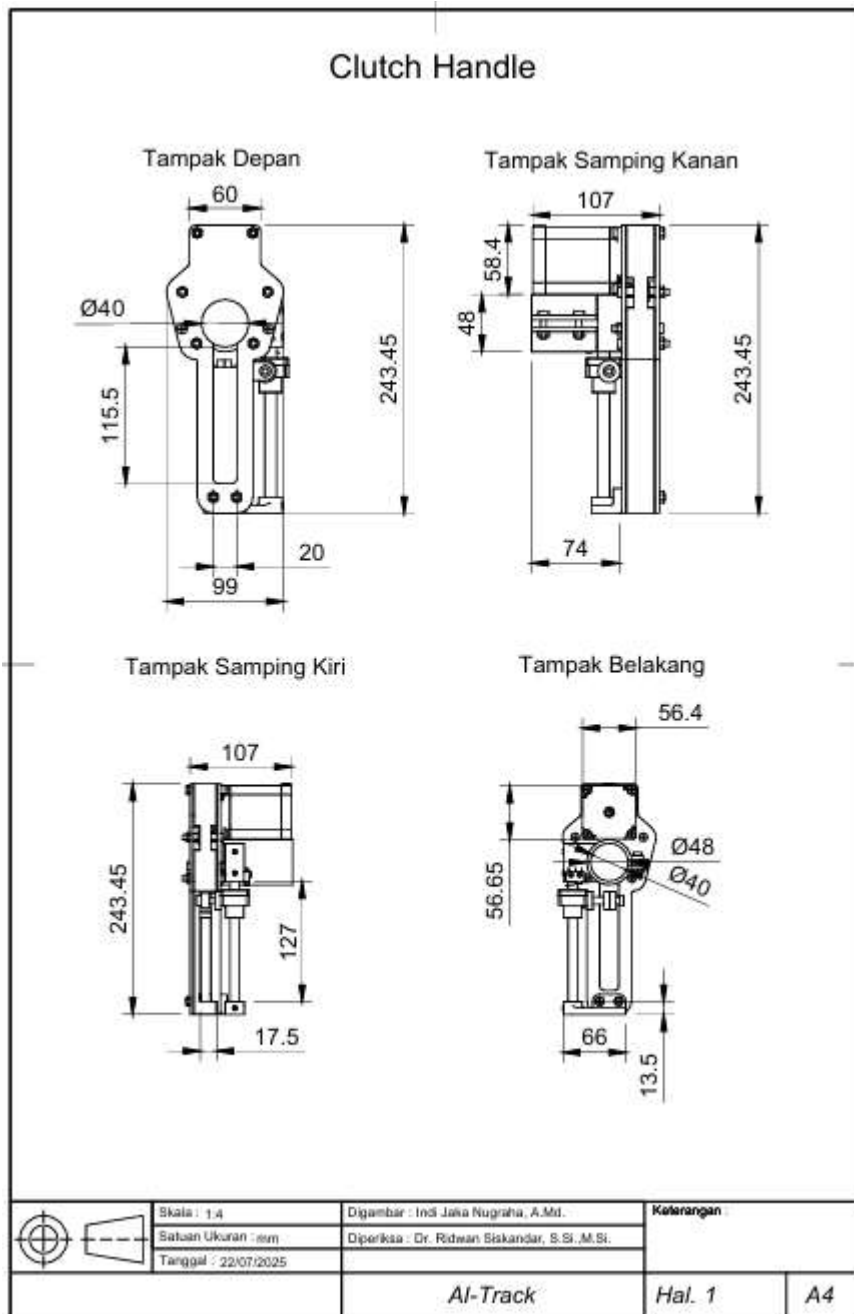


AI-Trac-Throttle Control

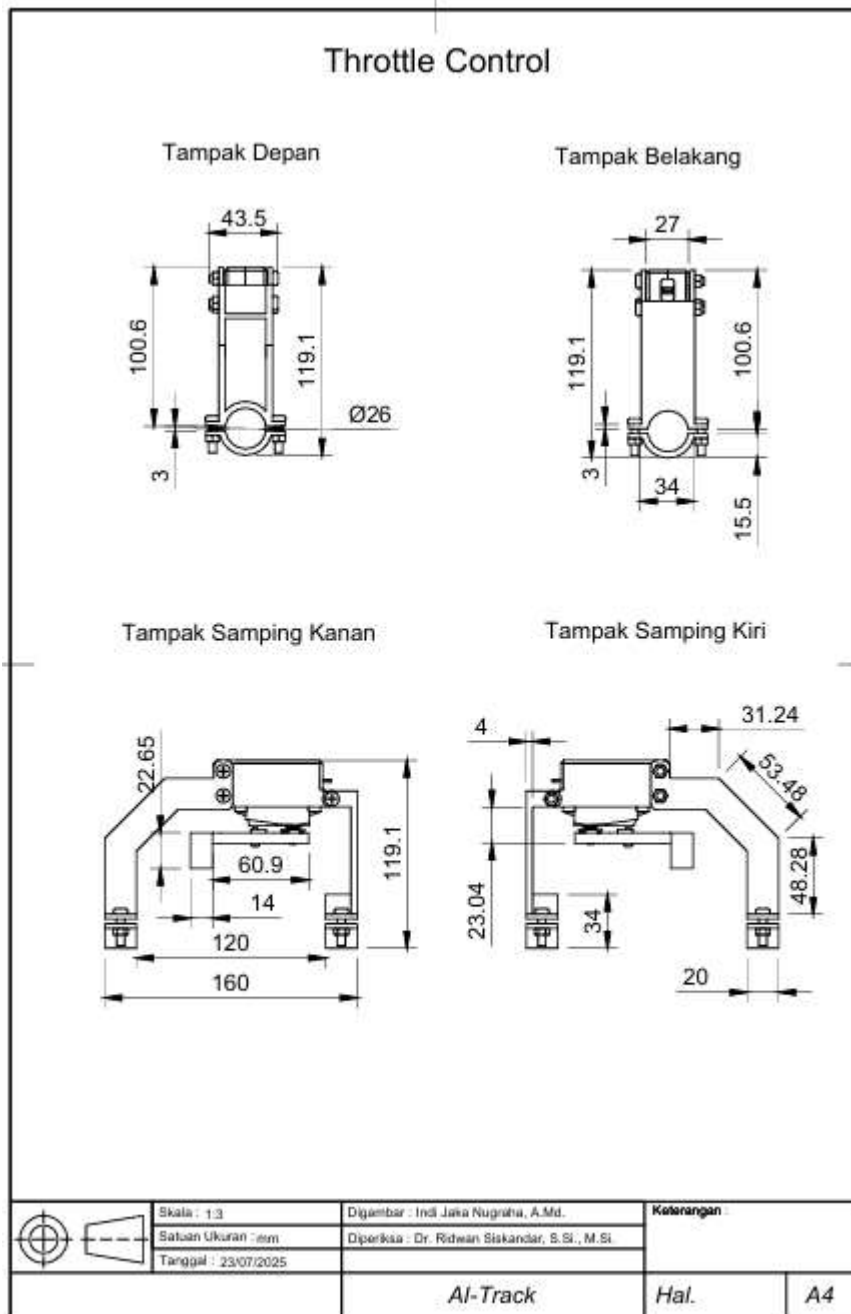
Lampiran 2. Gambar teknik *module device portable*



AI-Trac_Belt Adjuster

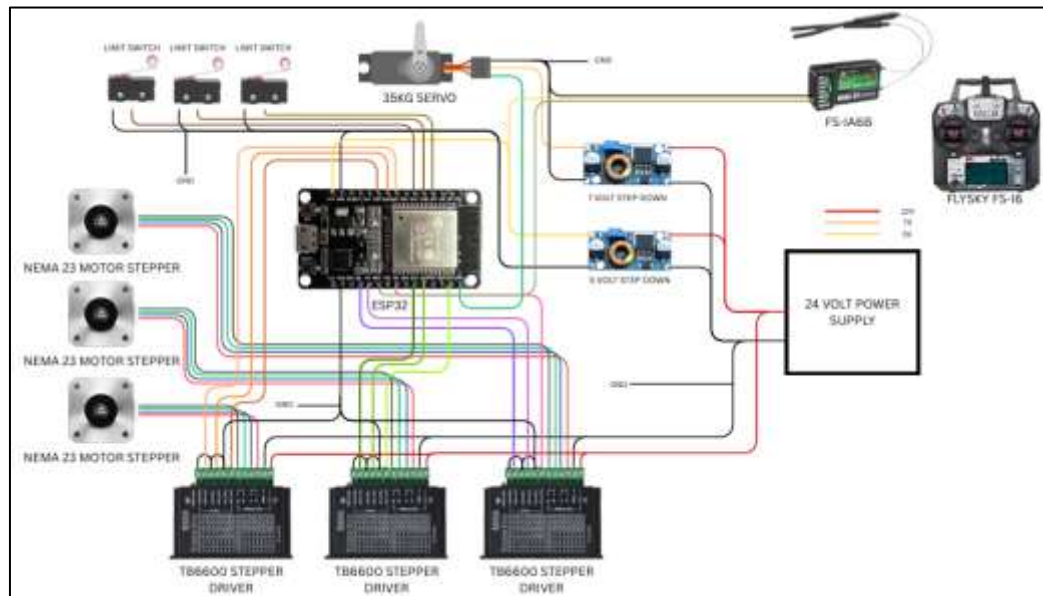


AI-Trac_Clutch Handle



AI-Trac-Throttle Control

Lampiran 3. Rangkaian Elektronika *module device portable*



Lampiran 4. Dokumentasi *module device portable*



AI-Trac_Belt Adjuster



AI-Trac_Clutch Handle



AI-Trac-Throttle Control