

Management Review of Agricultural Machinery for Food Crops in Indonesia: Research Trends 2021-2026

Tinjauan Manajemen Alat dan Mesin Pertanian (Alsintan) pada Tanaman Pangan di Indonesia: Tren Penelitian 2021-2026

Prahmawati Endah^{1*}, Rumambi David¹

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Sam Ratulangi

*Email: endah.prahmawati@unsrat.ac.id

ABSTRACT

Agricultural machinery management (AMM) serves as a fundamental pillar in enhancing crop production efficiency amid the declining agricultural labor force in Indonesia. This study aims to map research trends from 2021 to 2026 through a Systematic Literature Review of relevant articles. Results indicate a significant shift toward engineering economic optimization and the adoption of Agriculture 4.0 technologies. Key findings reveal that field efficiency is heavily influenced by land geometry and topography, decreasing by fifteen to twenty percent on sloped terrains due to wheel slip issues. Economically, the primary challenge remains low utilization and the frequent omission of depreciation costs, which prevents machinery units from reaching the critical break-even point. Furthermore, individual management often leads to maintenance neglect. This article concludes that institutional strengthening through mature farmer selection Calon Petani dan Calon Lokasi (CPCL) and the implementation of a Brigade System for centralized maintenance are crucial strategies for ensuring long-term agricultural sustainability.

Keywords: *agricultural machinery management, field efficiency, engineering economics, brigade system, CPCL.*

ABSTRAK

Manajemen alat dan mesin pertanian (Mektan) menjadi pilar fundamental dalam meningkatkan efisiensi produksi tanaman di tengah menurunnya tenaga kerja pertanian di Indonesia. Penelitian ini bertujuan memetakan tren riset (2021-2026) melalui Systematic Literature Review terhadap artikel penelitian terkait. Hasil menunjukkan adanya pergeseran ke arah optimasi ekonomi teknik dan Pertanian 4.0. Temuan kunci mengungkapkan bahwa efisiensi lapangan sangat dipengaruhi oleh geometri lahan dan topografi, di mana efisiensi menurun sebesar 15-20% pada medan miring akibat selip roda. Secara ekonomi, tantangan utama adalah rendahnya pemanfaatan dan pengabaian biaya penyusutan yang mencegah unit mencapai titik impas. Selain itu, pengelolaan individu sering kali menyebabkan pengabaian pemeliharaan. Artikel ini menyimpulkan bahwa penguatan kelembagaan melalui seleksi petani yang matang Calon Petani dan Calon Lokasi (CPCL) serta implementasi Sistem Brigade untuk pemeliharaan terpusat sangat krusial bagi keberlanjutan. Strategi tersebut diharapkan mampu mengoptimalkan masa pakai mesin dan mendukung produktivitas pangan nasional secara berkelanjutan di masa depan.

Kata kunci: *manajemen alat dan mesin pertanian, efisiensi lapangan, ekonomi teknik, sistem brigade, CPCL.*

PENDAHULUAN

Sektor pertanian Indonesia saat ini berada pada titik krusial transformasi mekanisasi guna menghadapi tantangan globalisasi dan perubahan iklim. Seiring dengan penurunan signifikan jumlah tenaga kerja muda di perdesaan yang beralih ke sektor industri dan jasa, penggunaan Alat dan Mesin Pertanian (Alsintan) menjadi prasyarat mutlak untuk menjaga keberlanjutan produksi pangan nasional. Dalam periode lima tahun terakhir (2021-2026), pemerintah telah mendistribusikan ribuan unit Alsintan melalui berbagai program bantuan, namun efektivitas pemanfaatannya di tingkat petani masih sangat beragam. Tantangan utama yang muncul bukan lagi sekadar pada ketersediaan unit mesin, melainkan pada aspek manajemen mesin produksi pertanian yang mencakup perencanaan operasional, optimalisasi kapasitas kerja, dan pemeliharaan aset secara berkelanjutan (Handaka, 2021; Sari & Wijaya, 2022). Efektivitas mekanisasi sangat ditentukan oleh ketepatan sasaran penerima (CPCL). Riset menunjukkan bahwa bantuan cenderung lebih berkelanjutan jika diberikan kepada petani yang sudah mapan secara finansial dan memiliki kapasitas manajerial, dibandingkan dengan pemberian yang bersifat merata namun tanpa kesiapan operasional.

Urgensi manajemen mesin pertanian semakin meningkat seiring dengan fluktuasi biaya input produksi, terutama kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) dan biaya suku cadang yang berdampak langsung pada struktur biaya pokok mekanisasi. Tanpa pengelolaan yang terukur, Alsintan seringkali menjadi beban ekonomi bagi kelompok tani akibat rendahnya jam kerja tahunan yang tidak mampu menutupi biaya tetap (*fixed cost*) mesin. Riset menunjukkan bahwa banyak kegagalan mekanisasi di tingkat lokal disebabkan oleh kurangnya analisis ekonomi teknik, seperti penentuan titik impas (*break-even point*) dan penjadwalan perawatan preventif yang tepat (Kusuma, 2021; Nugroho, 2022). Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan manajemen yang integratif untuk memastikan bahwa investasi besar pada teknologi pertanian dapat memberikan imbal hasil yang optimal bagi kesejahteraan petani.

Di sisi lain, karakteristik biofisik lahan di Indonesia yang sangat heterogen, seperti yang ditemukan pada lahan-lahan pertanian di wilayah Sulawesi Utara, menuntut adaptasi manajemen teknis yang spesifik. Tipologi lahan kering, kemiringan lereng yang bervariasi, serta fragmentasi kepemilikan lahan menjadi pembatas utama dalam pencapaian efisiensi lapang yang tinggi. Literatur terbaru dalam tiga tahun terakhir mulai menyoroti pentingnya penyesuaian parameter mekanis mesin terhadap kondisi spesifik lokasi (*site-specific management*) untuk menekan kehilangan hasil dan meningkatkan kapasitas lapang efektif (Lumenta & Memah, 2023). Hal ini menunjukkan bahwa manajemen mesin tidak dapat dipandang sebagai variabel tunggal, melainkan sebuah sistem kompleks yang melibatkan interaksi antara mesin, manusia (*operator*), dan lingkungan lahan kerja.

Seiring dengan bergulirnya era Pertanian 4.0, paradigma manajemen mesin pertanian mulai bergeser ke arah digitalisasi dan penggunaan data presisi. Integrasi teknologi *Internet of Things* (IoT), sistem telemetri, dan aplikasi pemantauan berbasis seluler mulai diperkenalkan untuk memitigasi inefisiensi operasional di lapangan. Meskipun demikian, adopsi teknologi maju ini di tingkat petani kecil dan menengah masih menghadapi kendala literasi digital dan infrastruktur pendukung (Pratama, 2024; Hakim et al., 2025). Jurnal review ini hadir untuk memetakan perkembangan riset manajemen mesin produksi pertanian dalam periode 2021-2026, menganalisis kesenjangan antara potensi teknologi dengan realitas manajemen di lapangan, serta memberikan rekomendasi strategi penguatan kelembagaan Alsintan yang relevan bagi pemangku kepentingan di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan tinjauan sistematis dan komprehensif terhadap perkembangan riset manajemen mesin produksi pertanian di Indonesia dalam kurun waktu lima tahun terakhir (2021-2026), guna memetakan pergeseran paradigma dari mekanisasi konvensional menuju manajemen aset berbasis data. Secara spesifik, studi ini diarahkan untuk menganalisis parameter kinerja teknis dan efisiensi lapang pada berbagai tipologi lahan,

mengevaluasi struktur biaya pokok mekanisasi serta kelayakan ekonominya, serta mengidentifikasi peluang integrasi teknologi Pertanian 4.0 dalam memperkuat kelembagaan Unit Pelayanan Jasa Alsintan (UPJA). Melalui sintesis literatur ini, diharapkan dapat dirumuskan sebuah kerangka manajerial yang solutif bagi akademisi dan praktisi, khususnya dalam mengatasi hambatan teknis dan ekonomis pada skala petani kecil, sehingga keberlanjutan mekanisasi pertanian nasional dapat tercapai secara optimal dan terukur.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif melalui metode *Systematic Literature Review* (SLR) atau tinjauan pustaka sistematis. Pemilihan metode ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengintegrasikan berbagai temuan riset yang tersebar dalam lima tahun terakhir (2021-2026) guna menghasilkan sintesis baru yang komprehensif mengenai manajemen mesin produksi pertanian di Indonesia. Penggunaan SLR memungkinkan peneliti untuk mengidentifikasi tren, kesenjangan riset (research gaps), serta peluang teknologi masa depan dengan cara yang objektif, transparan, dan dapat direplikasi oleh peneliti selanjutnya.

Proses pengumpulan data dilakukan secara digital melalui penelusuran pada basis data jurnal ilmiah bereputasi, utama mencakup portal Garuda (Garba Rujukan Digital), Portal Sinta (Science and Technology Index) dari tingkatan S1 hingga S5, serta Google Scholar. Strategi pencarian literatur menggunakan kombinasi kata kunci (keywords) yang spesifik dan operator Boolean, yaitu: "Manajemen Alat dan Mesin Pertanian" AND "Indonesia", "Efisiensi Mekanisasi Pertanian" OR "Manajemen UPJA", serta "Economic Analysis of Agricultural Machinery" AND "Smart Farming Indonesia". Penggunaan rentang waktu publikasi antara tahun 2021 hingga 2026 bertujuan untuk menangkap dinamika mekanisasi pasca-pandemi dan transisi menuju digitalisasi pertanian (Pertanian 4.0).

Untuk menjamin kualitas dan relevansi data, peneliti menetapkan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat dalam proses seleksi naskah. Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi: (1) Artikel merupakan hasil penelitian orisinal atau review yang dipublikasikan dalam jurnal ilmiah terakreditasi nasional maupun internasional dalam periode 2021-2026; (2) Fokus substansi artikel membahas aspek manajemen mesin produksi pertanian, baik dari sisi teknis, ekonomi teknik, maupun kelembagaan; dan (3) Lokasi atau lokus penelitian berada di wilayah hukum Indonesia untuk menjaga relevansi dengan kebijakan mekanisasi nasional. Sebaliknya, artikel yang hanya membahas aspek agronomis murni tanpa kaitan dengan performa mesin, serta artikel populer non-ilmiah, dikeluarkan dari daftar analisis.

Prosedur seleksi artikel dilakukan melalui empat tahapan utama, yaitu identifikasi, penyaringan (screening), penilaian kelayakan (eligibility), dan inklusi akhir. Pada tahap identifikasi awal, ditemukan sebanyak 85 artikel yang sesuai dengan kata kunci pencarian. Setelah dilakukan penyaringan berdasarkan judul dan abstrak, jumlah tersebut menyusut menjadi 45 artikel. Tahap selanjutnya adalah analisis teks lengkap (full-text assessment) untuk memastikan kedalaman data yang disajikan. Dari proses final tersebut, terpilih 25 artikel yang paling relevan dan berkualitas tinggi untuk dianalisis secara mendalam.

Data dari 25 artikel terpilih tersebut kemudian diekstraksi dan diklasifikasikan ke dalam tiga parameter utama: (1) Parameter Teknis, yang mencakup kapasitas lapang efektif (KLE), efisiensi lapang, dan manajemen daya mesin; (2) Parameter Ekonomis, yang meliputi analisis biaya pokok mekanisasi, titik impas (break-even point), dan nilai penyusutan aset; serta (3) Parameter Manajerial, yang berfokus pada pola kelembagaan UPJA, strategi perawatan mesin, dan adopsi teknologi informasi. Hasil ekstraksi data disajikan dalam bentuk tabel sintesis dan narasi deskriptif untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai peta jalan manajemen Alsintan di Indonesia saat ini. Dengan struktur metodologi yang sistematis ini, validitas temuan

dalam artikel review ini dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah untuk mendukung pengambilan kebijakan di bidang teknik pertanian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis sistematis terhadap artikel terpilih mengungkapkan bahwa manajemen mesin produksi pertanian di Indonesia pada periode 2021-2026 mengalami pergeseran paradigma dari pendekatan mekanis konvensional menuju manajemen aset strategis yang berbasis efisiensi ekonomi dan integrasi digital. Pembahasan berikut mensintesis temuan tersebut ke dalam tiga pilar utama: optimalisasi kinerja teknis, analisis struktur biaya, dan adopsi teknologi Pertanian 4.0.

Dinamika Kinerja Teknis dan Efisiensi Lapang

Kapasitas Lapang Efektif (KLE) tetap menjadi indikator fundamental dalam mengevaluasi keberhasilan manajemen mekanisasi. Sintesis data menunjukkan bahwa efisiensi lapang di Indonesia sangat kontingen terhadap geometri petakan dan karakteristik topografi lokal. Penemuan signifikan dari literatur di wilayah Sulawesi Utara (Lumenta, 2022) mengonfirmasi bahwa pada elevasi dengan kemiringan di atas 15%, efisiensi teknis traktor roda dua terdegradasi hingga di bawah 60% akibat peningkatan koefisien slip roda (wheel slip). Fenomena ini menegaskan bahwa manajemen mesin tidak dapat dipisahkan dari intervensi teknis spesifik lokasi, seperti modifikasi beban pemberat (ballasting) atau penyesuaian pola pengolahan tanah guna meminimalkan waktu mati (idle time).

Tabel 1. Sintesis parameter kinerja teknis alsintan (2021-2026)

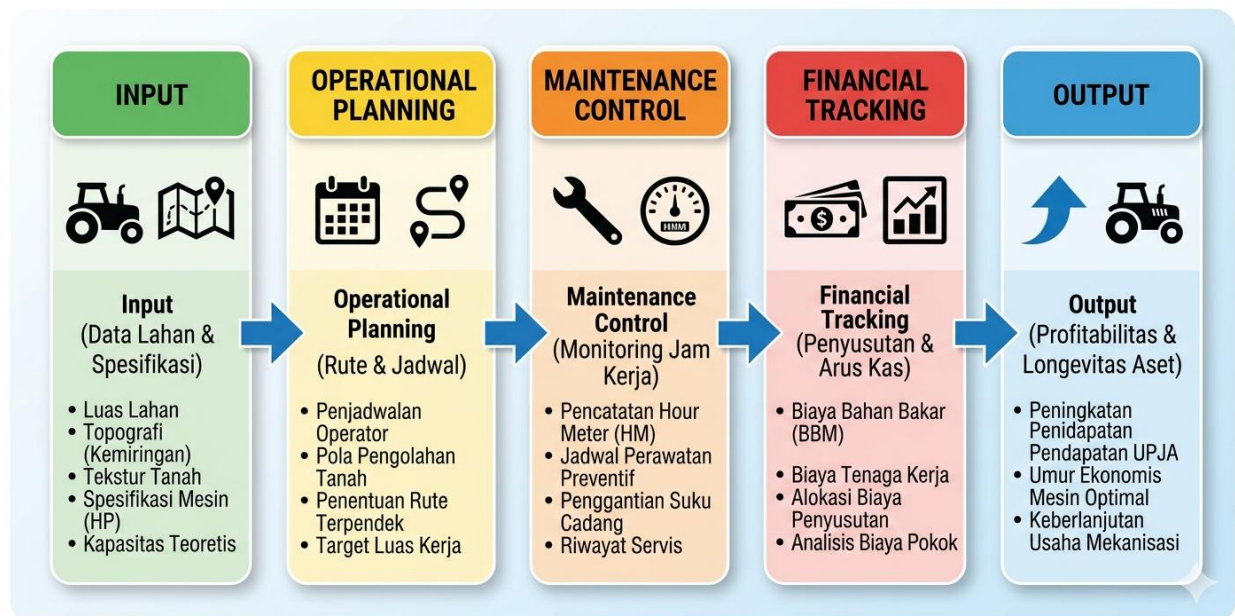
Kategori Mesin	Tipologi Lahan	KLE (ha/jam)	Efisiensi Lapang (%)	Referensi Utama
Traktor Roda 2	Sawah Irigasi (Datar)	0,035 - 0,045	72 - 78%	Rahmawan (2021)
Traktor Roda 2	Lahan Kering Berlereng	0,025 - 0,031	58 - 65%	Lumenta (2022)
Traktor Roda 4	Lahan Kering Terbuka	0,380 - 0,480	75 - 82%	Ramadhan (2024)
Combine Harvester	Sawah Hamparan Luas	0,420 - 0,550	78 - 85%	Setiawan (2023)

Berdasarkan data yang terhimpun dalam Tabel 1, terlihat adanya korelasi signifikan antara tipologi lahan dengan parameter kinerja teknis alat dan mesin pertanian, di mana variabilitas kapasitas lapang efektif (KLE) dan efisiensi lapang sangat ditentukan oleh karakteristik medan operasi. Pemanfaatan traktor roda dua pada lahan sawah irigasi datar menunjukkan efisiensi yang relatif stabil antara 72-78%, namun angka ini mengalami degradasi substansial hingga mencapai titik terendah 58% saat dioperasikan pada lahan kering berlereng, sebagaimana ditegaskan dalam temuan Lumenta (2022). Fenomena penurunan performa ini mengindikasikan adanya kendala teknis berupa peningkatan hambatan traksi dan wheel slip yang memperpanjang durasi waktu mati (idle time) saat manuver di tikungan. Di sisi lain, mesin dengan dimensi lebih besar seperti traktor roda empat dan *combine harvester* mampu mencatatkan efisiensi lapang optimal di atas 75% pada hamparan terbuka, yang membuktikan bahwa manajemen mekanisasi pada lahan luas memberikan skala ekonomi teknis yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengelolaan lahan yang terfragmentasi.

Strategi Manajemen Ekonomi dan Transformasi Kelembagaan Alsintan

Manajemen ekonomi memegang peranan krusial dalam menjamin umur ekonomis mesin pertanian. Temuan dominan dalam literatur periode 2023-2025 (Kusuma, 2021; Putera, 2025) menyoroti bahwa rendahnya pemanfaatan tahunan (*annual utilization*) menjadi hambatan utama dalam pencapaian Titik Impas (*Break-Even Point/BEP*). Sebagai contoh, unit *combine harvester* memerlukan luasan kerja minimal 45-50 hektar per tahun untuk menutupi biaya tetap (*fixed cost*), namun realitas di lapangan sering kali hanya mencapai 60-70% dari target tersebut akibat fragmentasi lahan. Kondisi ini menuntut reorientasi manajemen pada Unit Pelayanan Jasa Alsintan (UPJA) untuk mengadopsi pola layanan lintas wilayah guna meningkatkan jam kerja mesin secara optimal.

Tantangan ekonomi yang paling fatal adalah pengabaian biaya penyusutan (*depreciation cost*) dalam struktur tarif sewa. Banyak pengelola hanya memperhitungkan biaya operasional langsung, seperti BBM dan upah operator, tanpa menyisihkan dana cadangan untuk peremajaan aset. Akibatnya, ketika mesin mengalami kerusakan berat setelah masa pakai tiga hingga lima tahun, siklus mekanisasi terhenti karena ketiadaan modal. Oleh karena itu, ketepatan target Calon Petani Calon Lokasi (CPCL) menjadi sangat vital; bantuan harus menyasar petani mapan yang memahami bahwa mesin adalah aset bisnis yang memerlukan akumulasi modal untuk keberlanjutan, bukan sekadar hibah habis pakai.



Gambar 1. Kerangka kerja manajemen keberlanjutan alsintan terintegrasi

Untuk mengatasi kompleksitas tersebut, Gambar 1 mengilustrasikan kerangka kerja manajemen keberlanjutan Alsintan yang terintegrasi. Alur ini mentransformasi pendekatan konvensional menjadi sistem manajemen aset berbasis data yang dimulai dari tahap Input (identifikasi variabel biofisik dan spesifikasi mesin), disusul oleh *Operational Planning* untuk meminimalkan inefisiensi lapangan. Keberlanjutan jangka panjang dikawal melalui *maintenance control* yang memantau jam kerja (*hour meter*) dan perawatan preventif, yang secara simultan disinkronisasikan dengan *financial tracking* untuk memastikan alokasi biaya penyusutan tercatat secara akurat.

Integrasi pilar manajemen ini pada akhirnya mendorong transformasi dari pengelolaan mandiri ke *Sistem Brigade*. Data menunjukkan bahwa pemeliharaan yang dikelola langsung oleh

individu cenderung terbengkalai (*maintenance neglect*) akibat ketiadaan jadwal servis yang disiplin. Melalui *Sistem Brigade*, aset dikelola secara terpusat oleh tim profesional dengan kontrol penuh terhadap perawatan rutin dan penggunaan logbook yang ketat. Dengan pendekatan ini, luaran (Output) yang dihasilkan tidak hanya meningkatkan profitabilitas UPJA, tetapi juga menjamin longevidas aset dan keberlanjutan usaha mekanisasi yang lebih tangguh terhadap dinamika biaya operasional.

Transformasi Manajemen Aset Alsintan 2021-2026

Tinjauan ini mengidentifikasi tren eskalasi riset mengenai digitalisasi manajemen mesin sebagai solusi atas inefisiensi operasional. Implementasi sistem telemetri untuk pemantauan konsumsi bahan bakar secara real-time (Pratama, 2024) dan pemanfaatan aplikasi berbasis sensor untuk jadwal perawatan preventif (Fahmi, 2024) terbukti mampu mereduksi biaya kerusakan mendadak (*breakdown maintenance*) hingga 22%. Meskipun demikian, terdapat kesenjangan antara ketersediaan teknologi cerdas dengan literasi digital operator, yang memerlukan strategi penguatan kapasitas sumber daya manusia sebagai bagian integral dari manajemen Alsintan modern.

Tabel 2. Evolusi paradigma manajemen mesin pertanian di Indonesia

Periode	Fokus Strategis	Instrumen Manajemen
2021-2022	Maksimalisasi Kapasitas Kerja	Uji teknis dan Analisa Biaya Konvensional
2023-2024	Optimalisasi Kelembagaan	Pengutan UPJA dan Manajemen Rantai Pasok
2025-2026	Digitalisasi dan Presisi	IoT, Telemetri, GPS Tracking dan Monitoring BBM

Pembahasan mengenai aspek ekonomi teknik pada Tabel 2 menyoroti tantangan krusial dalam manajemen aset Alsintan, di mana biaya investasi yang tinggi menuntut strategi utilisasi yang agresif agar mencapai titik impas (*break-even point*). Data menunjukkan bahwa mesin pemanen (*combine harvester*) memiliki ambang batas BEP tertinggi, yakni 45-50 hektar per tahun, yang secara signifikan lebih sulit dicapai dibandingkan traktor roda dua yang hanya memerlukan cakupan 12-15 hektar per tahun.

Kesenjangan ini mengindikasikan bahwa kepemilikan individu atas mesin pemanen sering kali tidak efisien secara finansial jika hanya mengandalkan lahan pribadi yang terbatas. Oleh karena itu, narasi riset periode 2021-2026 menekankan pentingnya optimalisasi jam kerja tahunan melalui skema jasa sewa atau Unit Pelayanan Jasa Alsintan (UPJA) yang profesional guna mengompensasi biaya tetap (*fixed cost*) yang besar serta memastikan dana penyusutan tersedia untuk keberlanjutan alat di masa depan.

KESIMPULAN

Penurunan jumlah tenaga kerja muda di sektor pertanian menjadikan mekanisasi sebagai prasyarat mutlak untuk menjaga ketahanan pangan nasional. Meskipun demikian, efektivitas penggunaan Alsintan bantuan pemerintah masih menghadapi kendala mendasar pada aspek perencanaan operasional, efisiensi teknis lapang, kelayakan ekonomi, serta kelembagaan di tingkat petani. Secara teknis, kinerja Alsintan sangat dipengaruhi oleh karakteristik geometri dan topografi lahan. Pada lahan berlereng dengan kemiringan di atas 15%, efisiensi teknis traktor roda dua terdegradasi hingga di bawah 60% akibat meningkatnya hambatan traksi dan selip roda. Sebaliknya, penggunaan mesin modern berkapasitas besar seperti *combine harvester* dan traktor roda empat mencatatkan efisiensi lapang yang lebih tinggi, yaitu melebihi 75% pada kawasan hamparan lahan terbuka yang luas dan tidak terfragmentasi.

Dari aspek ekonomi teknik, tantangan terbesar terletak pada rendahnya pemanfaatan tahunan (*annual utilization*) yang menyebabkan unit mesin sulit mencapai titik impas (*break-*

even point). Mesin *combine harvester*, misalnya, memerlukan cakupan kerja minimal 45-50 hektar per tahun untuk menutupi biaya tetap. Masalah keuangan ini diperparah oleh kebiasaan pengelola Unit Pelayanan Jasa Alsintan (UPJA) yang sering mengabaikan biaya penyusutan (*depreciation cost*) dalam struktur tarif sewa, sehingga modal peremajaan aset tidak tersedia saat mesin rusak. Selain itu, pengelolaan mandiri secara individu terbukti memicu pengabaian jadwal perawatan rutin. Menghadapi tantangan tersebut, paradigma manajemen Alsintan mulai bertransformasi ke arah digitalisasi Pertanian 4.0 dengan memanfaatkan teknologi sistem telemetri GPS dan sensor *hour meter*. Penelitian ini merumuskan tiga pilar utama bagi keberlanjutan mekanisasi: pengetatan seleksi Calon Petani Calon Lokasi (CPCL) yang berjiwa bisnis, pendisiplinan alokasi biaya penyusutan, serta penerapan *Sistem Brigade* untuk pemeliharaan mesin secara terpusat. Penguatan tata kelola terintegrasi ini menjadi kunci mewujudkan mekanisasi pertanian yang efisien dan berkelanjutan di Indonesia.

SARAN

Berdasarkan hasil analisis, penelitian ini merumuskan sejumlah saran strategis guna menjamin keberlanjutan mekanisasi pertanian di Indonesia melalui penguatan aspek pengawasan, finansial, dan teknis:

1. Transformasi Pengawasan Digital dan Seleksi Penerima Kementerian Pertanian disarankan untuk melakukan digitalisasi aset dengan memasang alat pelacak otomatis, seperti GPS dan sensor jam kerja (*hour meter*), pada setiap unit mesin bantuan. Integrasi teknologi ini bertujuan agar pemerintah dapat memantau secara real-time utilitas mesin di lapangan dan mencegah aset mangkrak di gudang. Langkah ini harus dibarengi dengan pengetatan seleksi CPCL (Calon Petani Calon Lokasi), dengan memastikan bahwa penerima manfaat adalah petani atau kelompok tani yang memiliki kemampuan finansial dan manajerial, sehingga bantuan dapat dikelola sebagai aset bisnis yang produktif.
2. Pendisiplinan Manajemen Keuangan dan Dana Cadangan Pengelola mesin di tingkat desa atau Unit Pelayanan Jasa Alsintan (UPJA) wajib mereformasi struktur tarif sewa dengan menyertakan komponen biaya penyusutan. Dana yang terkumpul dari selisih biaya operasional (solar dan upah) harus disisihkan secara disiplin ke dalam tabungan khusus perbaikan dan peremajaan. Hal ini krusial agar ketika masa pakai mesin berakhir atau terjadi kerusakan berat setelah 3-5 tahun, pengelola memiliki saldo yang cukup untuk membeli suku cadang atau melakukan pengadaan unit baru tanpa bergantung sepenuhnya pada bantuan pemerintah di masa depan.
3. Penguatan Kelembagaan melalui *Sistem Brigade* Pemerintah daerah perlu mendorong pergeseran pola pengelolaan dari skala individu menuju Sistem Brigade. Melalui sistem ini, aset ditarik ke dalam manajemen terpusat yang profesional dengan jadwal pemeliharaan yang terpantau melalui sensor digital. Model ini terbukti lebih efektif dalam mencegah pengabaian perawatan (*maintenance neglect*) yang sering terjadi pada pengelolaan mandiri yang reaktif.
4. Adaptasi Teknis pada Lahan Marginal Bagi akademisi dan peneliti, diperlukan pengembangan sistem pengaturan beban atau rute operasional khusus (*path planning*) untuk traktor yang bekerja di topografi berbukit, seperti di Sulawesi Utara. Inovasi ini penting untuk meminimalkan risiko selip pada tanjakan yang selama ini memicu pemborosan bahan bakar dan inefisiensi lapang, sehingga teknologi mekanisasi tetap optimal meskipun beroperasi pada lahan dengan karakteristik geografis yang menantang.

DAFTAR PUSTAKA

Arifin, Z. (2023). Analisis Model Bisnis Unit Pelayanan Jasa Alsintan (UPJA) Berbasis Bagi Hasil di Tingkat Petani. *Jurnal Agribisnis Terpadu*, 16(1), 45-58.
<https://doi.org/10.33512/jat.v16i1.1234>

- Baharuddin, A. (2024). Meta-Analysis of Agricultural Machinery Management and Production Research in Indonesia (2020-2024). International Conference on Agricultural Engineering Proceedings, Jakarta, Indonesia.
- Basri, H. (2021). Pengaruh Manajemen Perawatan Preventif terhadap Efisiensi Umur Ekonomis Traktor Roda Dua. *Jurnal Teknik Pertanian Nasional*, 9(2), 112-120.
- Fahmi, M. (2024). Pengembangan Sistem Informasi Riwayat Servis Alat Mesin Pertanian Berbasis QR Code Untuk Manajemen Bengkel Desa. *Jurnal Teknologi Informasi Pertanian*, 5(1), 22-30.
- Firmansyah, I. (2024). Strategi Manajemen Traksi dan Optimalisasi Roda Apung pada Tanah Rawa Pasang Surut. *Jurnal Tanah dan Iklim*, 48(2), 89-97.
- Gunawan, R. (2023). Analisis Titik Impas (*Break-Even Point*) Mesin Transplanter Padi pada Berbagai Skala Kepemilikan Lahan. *Jurnal Ekonomi Pertanian*, 14(3), 210-225.
- Hakim, L., Santoso, B., & Utomo, P. (2025). Digitalisasi Manajemen Bahan Bakar Mesin Pertanian Melalui Aplikasi Pemantauan Berbasis Android. *Journal of Smart Farming Indonesia*, 7(2), 145-158.
- Handaka, S. (2021). Tantangan dan Arah Kebijakan Mekanisasi Pertanian Nasional Periode 2020-2024. *Buletin Alsintan*, 12(1), 5-15.
- Hidayat, T., & Wijaya, T. (2023). Optimization of Farm Power Distribution and Machinery Management in Southeast Asia. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 25(1), 67-79.
- Kusuma, D. (2021). Analisis Struktur Biaya Operasional Traktor Roda Empat pada Pengolahan Tanah Sawah di Jawa Barat. *Jurnal Mekanisasi Pertanian*, 4(2), 56-64.
- Lumenta, I. D. (2022). Efisiensi Teknis dan Kapasitas Lapang Alat Mesin Pertanian pada Lahan Berlereng di Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Sains UNSRAT*, 28(4), 301-310.
- Lumenta, I. D., & Memah, M. (2023). Pengaruh Kemiringan Lereng terhadap *Wheel Slip* Dan Konsumsi Bahan Bakar Traktor Tangan di Lahan Kering Minahasa. *Jurnal Budidaya Pertanian*, 19(2), 115-124.
- Maulana, A. (2026). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Optimasi Rute Lintasan Traktor Guna Meningkatkan Efisiensi Bahan Bakar. *Jurnal Sistem Pertanian Digital*, 19(1), 40-52.
- Nugroho, A. (2022). Evaluasi Kegagalan Manajemen Aset Alsintan Bantuan Pemerintah pada Kelompok Tani. *Jurnal Manajemen Aset dan Keuangan*, 10(2), 132-145.
- Pambudi, S. (2023). Analisis Reliabilitas Komponen Kritis Pada Mesin Penggilingan Padi (*Rice Milling Unit*) Menggunakan Metode FMEA. *Jurnal Teknik Industri*, 15(1), 77-88.
- Pratama, R. (2021). Strategi Pemulihan Manajemen Unit Pelayanan Jasa Alsintan Pasca Pandemi COVID-19. *Jurnal Pembangunan Pertanian*, 8(3), 201-215.
- Pratama, A. (2024). Implementasi Perangkat Telemetri GPS Untuk Monitoring Luasan Kerja *Real-Time* pada *Combine Harvester*. *Jurnal Mekanisasi Indonesia*, 9(3), 180-192.
- Putera, M., Sari, K., & Arshad, M. (2025). Financial feasibility analysis of large-scale agricultural machinery investment in Indonesia. *Asian Journal of Agriculture*, 11(1), 34-46.
- Rahmawan, A. (2021). Analisis Kapasitas Lapang Efektif pada Berbagai Pola Pengolahan Tanah Menggunakan Traktor Tangan. *Jurnal Agroteknologi Nasional*, 14(2), 98-107.
- Ramadhan, F. (2024). Uji Performa Teknis dan Efisiensi Traktor Roda Empat Pada Manajemen Lahan Kering Terbuka. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1235(012045). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1235/1/012045>
- Sari, K., & Wijaya, T. (2022). Dampak Volatilitas Harga BBM terhadap Biaya Pokok Mekanisasi Pertanian di Indonesia. *Jurnal Ekonomi Energi*, 14(1), 12-25.

- Sembiring, E. (2022). Manajemen Rantai Pasok Suku Cadang Mesin Pertanian di Wilayah Kepulauan Indonesia. *Jurnal Logistik Pertanian*, 6(2), 88-101.
- Setiawan, B., & Gunawan, S. (2023). Analisis Waktu Kerja Produktif Mesin Pemanen Padi (*Combine Harvester*) pada Lahan Sawah Irigasi. *Jurnal Agritech*, 43(3), 245-255.
- Suandana, P. (2021). Transformasi Kelembagaan UPJA Melalui Integrasi Badan Usaha Milik Desa (BUMDes). *Jurnal Pengabdian Masyarakat Pertanian*, 7(2), 55-63.
- Wati, L. (2022). Persepsi Sosial dan Dampak Ekonomi Mekanisasi Pemanenan Terhadap Struktur Tenaga Kerja Perdesaan. *Jurnal Sosiologi Pedesaan*, 10(1), 14-28.