

TINJAUAN SISTEMATIS: EFEKTIVITAS SIMULASI *VIRTUAL REALITY* (VR) DALAM PENINGKATAN KETERAMPILAN ALAT DAN MESIN PERTANIAN (ALSINTAN)

Novia Putri Bimby, Zamzami, Mhd Arief Hasan

Teknik Informatika, Universitas Lancang Kuning

Jalan Yos Sudarso km 8 Pekanbaru, Indonesia

2255201031@filkom.unilak.ac.id

ABSTRAK

Pembelajaran alat dan mesin pertanian (alsintan) dalam pendidikan vokasi masih menghadapi berbagai kendala, seperti keterbatasan sarana praktik, risiko kecelakaan kerja, serta tingginya biaya operasional pelatihan di lapangan. Teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) menawarkan lingkungan pembelajaran imersif yang aman dan mampu merepresentasikan proses kerja mesin secara realistis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas penggunaan simulasi VR/AR dalam meningkatkan pemahaman struktur mesin, keterampilan operasional, keselamatan kerja, serta dukungan terhadap proses pemeliharaan alsintan. Metode yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pedoman PRISMA 2020 terhadap publikasi tahun 2021–2025 yang bersumber dari Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, SpringerLink, dan Google Scholar. Dari 94 artikel yang teridentifikasi, sebanyak 10 studi inti dipilih untuk dianalisis secara mendalam. Hasil kajian menunjukkan bahwa VR efektif meningkatkan pemahaman mekanisme mesin melalui visualisasi tiga dimensi dan menyediakan lingkungan latihan yang aman, meskipun peningkatan performa praktik lapangan belum selalu signifikan. Selain itu, AR dan VR terbukti mendukung aktivitas pemeliharaan melalui peningkatan akurasi diagnosis dan efisiensi troubleshooting. Namun demikian, penelitian yang ada masih terbatas pada jenis alsintan tertentu dan belum banyak mengevaluasi dampak pedagogis jangka panjang.

Kata kunci : *Virtual Reality; Alsintan; Simulasi; Pembelajaran Vokasi*

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital dalam sektor pertanian berlangsung semakin cepat, ditandai dengan meningkatnya penerapan *Internet of Things* (IoT), kecerdasan buatan, dan otomasi dalam sistem produksi [1], [2]. Perubahan ini tidak hanya menggeser cara kerja tenaga pertanian, tetapi juga menuntut kompetensi baru terkait pemahaman mekanisasi dan pengoperasian alat serta mesin pertanian (alsintan). Media dan wacana publik mulai menempatkan digital farming sebagai masa depan pertanian modern, menunjukkan bahwa teknologi digital telah menjadi bagian dari identitas pertanian kontemporer [3]. Namun, perkembangan tersebut tidak sepenuhnya sejalan dengan kesiapan sumber daya manusia, terutama dalam pendidikan vokasi pertanian, yang masih menghadapi keterbatasan sarana praktik, risiko kecelakaan, dan biaya operasional pelatihan alsintan yang cukup tinggi (Zhang et al., 2024). Teknologi imersif seperti *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) terbukti meningkatkan motivasi, keterlibatan, serta capaian belajar di berbagai disiplin ilmu [5], [6]. Kajian sistematis mengenai penggunaan VR dalam pelatihan keselamatan di berbagai sektor menunjukkan bahwa teknologi imersif mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih aman dan terkendali dibandingkan praktik langsung [7]. Pendekatan digital melalui *serious games* dan simulasi di bidang pertanian mulai diperkenalkan untuk meningkatkan kesadaran risiko serta pemahaman kerja mesin, meskipun penerapannya masih terbatas [8].

Perkembangan teknologi *Augmented Reality* (AR) dalam pertanian menunjukkan potensi besar

untuk mendukung aktivitas pemeliharaan serta pemecahan masalah alat pertanian. Penerapan *smart glasses* AR terbukti meningkatkan akurasi teknisi dalam melakukan perawatan mesin perah [9]. Penelitian mengenai perilaku dan kesiapan adopsi pelatihan digital oleh pekerja pertanian mengungkapkan bahwa persepsi risiko, pengalaman kerja, dan kondisi lapangan turut memengaruhi efektivitas penerapan teknologi pelatihan berbasis digital [10]. Keberhasilan integrasi VR/AR dalam pendidikan vokasi tidak hanya ditentukan oleh teknologi, melainkan juga oleh kesiapan pengguna dan konteks pembelajaran. Meskipun demikian, penggunaan VR dalam pendidikan vokasi pertanian belum terimplementasi secara luas dan sistematis. Pendekatan teknologi yang berkaitan dengan alsintan sebagian besar masih berfokus pada efisiensi produksi, kontrol mesin, dan otomatisasi, seperti integrasi AR dan *deep reinforcement learning* untuk pengendalian traktor [11], sementara aspek pedagogis terutama efektivitas VR dalam membangun keterampilan operasional dan keselamatan kerja alsintan belum banyak dikaji. Oleh karena itu, terdapat kebutuhan mendesak untuk menyusun tinjauan sistematis yang memetakan perkembangan penelitian VR/AR dalam konteks pembelajaran alsintan, mengidentifikasi kekuatan dan kelemahannya, serta merumuskan efektivitas teknologi ini dalam meningkatkan kompetensi teknis peserta didik.

Berdasarkan uraian tersebut, dapat diidentifikasi bahwa permasalahan utama dalam pembelajaran alsintan pada pendidikan vokasi meliputi keterbatasan fasilitas praktik, risiko keselamatan kerja, serta belum

optimalnya metode pembelajaran konvensional dalam membangun pemahaman struktural dan keterampilan operasional mesin pertanian. Meskipun teknologi VR dan AR telah banyak diterapkan pada berbagai sektor, kajian yang secara khusus mengevaluasi efektivitasnya dalam konteks pembelajaran alsintan masih bersifat terfragmentasi dan belum dipetakan secara sistematis.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menyusun tinjauan sistematis mengenai efektivitas penggunaan simulasi VR dan AR dalam pembelajaran alat dan mesin pertanian. Secara khusus, penelitian ini berfokus pada analisis kontribusi teknologi imersif terhadap pemahaman struktur mesin, keterampilan operasional, keselamatan kerja, serta dukungan terhadap proses pemeliharaan alsintan. Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) dengan pedoman PRISMA 2020 guna mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan-temuan penelitian relevan yang telah dipublikasikan

2. TINJAUAN PUSTAKA

Perkembangan teknologi Virtual Reality (VR) dan Augmented Reality (AR) telah membuka peluang baru dalam pembelajaran berbasis praktik, khususnya pada bidang yang memerlukan pemahaman prosedural dan visualisasi tiga dimensi. VR memungkinkan pengguna berinteraksi secara imersif dalam lingkungan virtual yang menyerupai kondisi nyata, sementara AR menggabungkan objek virtual dengan lingkungan fisik untuk mendukung aktivitas pembelajaran kontekstual. Dalam konteks pendidikan vokasi, teknologi imersif ini dinilai mampu meningkatkan keterlibatan belajar, pemahaman konseptual, serta pengalaman praktikum tanpa risiko langsung terhadap pengguna [12], [16].

Sejumlah penelitian terdahulu melaporkan bahwa penggunaan VR dalam pelatihan teknis mampu meningkatkan pemahaman struktur dan mekanisme kerja mesin secara signifikan. Li et al. [17], [18] mengembangkan sistem *virtual assembly* untuk mesin pertanian yang memungkinkan pengguna memahami hubungan antar komponen secara visual dan interaktif. Pendekatan ini terbukti membantu peserta didik dalam mengenali struktur internal mesin yang sulit diamati secara langsung pada pembelajaran konvensional. Hasil serupa juga dilaporkan oleh Kanivets et al. [14], yang menunjukkan bahwa simulasi VR pada traktor mampu meningkatkan kesiapan operasional peserta pelatihan.

Pada aspek keselamatan kerja, teknologi VR banyak digunakan sebagai media pelatihan berbasis simulasi risiko. Vigoroso et al. [8] serta Solovev et al. [9] menunjukkan bahwa simulasi VR dapat meningkatkan kesadaran bahaya dan pengambilan keputusan pengguna dalam pengoperasian mesin pertanian. Melalui skenario berbahaya yang disimulasikan secara virtual, peserta pelatihan dapat memahami konsekuensi kesalahan tanpa menghadapi

risiko kecelakaan nyata, sehingga VR dinilai efektif sebagai alat pelatihan keselamatan di sektor pertanian.

Selain VR, penerapan AR juga menunjukkan kontribusi signifikan dalam aktivitas pemeliharaan dan perawatan alat dan mesin pertanian. Sara et al. [10] melaporkan bahwa penggunaan *smart glasses* berbasis AR meningkatkan akurasi dan efisiensi teknisi dalam proses troubleshooting mesin perah. Teknologi AR memungkinkan penyajian instruksi visual secara langsung di lapangan, sehingga mendukung proses belajar berbasis tugas dan meningkatkan kemandirian pengguna.

Meskipun berbagai penelitian menunjukkan potensi positif VR dan AR dalam pembelajaran alsintan, kajian yang ada masih bersifat parsial dan terfokus pada jenis mesin tertentu. Selain itu, sebagian besar penelitian mengevaluasi aspek teknis dan pengalaman pengguna, sementara kajian yang secara sistematis membandingkan efektivitas VR/AR terhadap hasil belajar, keterampilan operasional, dan keselamatan kerja dalam konteks pendidikan vokasi pertanian masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan kajian literatur sistematis untuk memetakan temuan-temuan penelitian yang ada serta mengidentifikasi celah penelitian sebagai dasar pengembangan penelitian selanjutnya.

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengkaji secara komprehensif efektivitas penggunaan teknologi Virtual Reality (VR) dan Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran alat dan mesin pertanian (alsintan). Pendekatan SLR dipilih karena mampu menyajikan sintesis bukti ilmiah secara sistematis, transparan, dan terstruktur. Seluruh tahapan penelitian mengacu pada pedoman PRISMA 2020 guna menjamin konsistensi dan keterlacakan proses seleksi literatur [12].

Penelusuran literatur dilakukan melalui lima basis data ilmiah utama, yaitu Scopus, ScienceDirect, IEEE Xplore, SpringerLink, dan Google Scholar. Pencarian dilakukan menggunakan kombinasi kata kunci “virtual reality”, “VR simulation”, “agricultural machinery”, “VR training”, “AR maintenance”, dan “immersive vocational learning”. Strategi pencarian ini dirancang untuk mencakup berbagai perspektif penelitian, mulai dari penerapan VR pada keselamatan mesin pertanian [8], [16] hingga desain dan perakitan virtual alat dan mesin pertanian [17], [18].

Artikel yang diperoleh selanjutnya diseleksi berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Kriteria inklusi meliputi: (1) artikel yang menerapkan teknologi VR atau AR pada alat atau mesin pertanian; (2) penelitian yang memuat pengukuran terkait hasil belajar, keterampilan operasional, pengalaman pengguna, atau keselamatan kerja; (3) penggunaan metodologi penelitian yang dapat dievaluasi secara ilmiah; serta (4) publikasi pada rentang tahun 2021–2025. Adapun kriteria eksklusi meliputi artikel yang

tidak berkaitan dengan konteks pendidikan atau pelatihan, tidak melibatkan teknologi imersif, atau tidak menyajikan data evaluasi pembelajaran.

Proses seleksi artikel dilakukan melalui empat tahap sesuai pedoman PRISMA 2020, yaitu *identification*, *screening*, *eligibility*, dan *included*. Pada tahap identifikasi awal, ditemukan sebanyak 94 artikel dari seluruh basis data yang digunakan. Setelah dilakukan penghapusan duplikasi dan penyaringan berdasarkan judul serta abstrak, diperoleh 51 artikel yang relevan. Selanjutnya, sebanyak 18 artikel dibaca secara penuh untuk menilai kesesuaian isi dengan fokus penelitian. Berdasarkan evaluasi tersebut, ditetapkan 10 artikel sebagai studi inti karena secara langsung membahas efektivitas penggunaan VR/AR dalam meningkatkan pemahaman struktur mesin, keselamatan kerja, keterampilan operasional, atau pengalaman pengguna dalam konteks alat dan mesin pertanian [9], [13], [14], [19].

Ekstraksi data dilakukan menggunakan lembar pengodean terstruktur yang mencakup informasi penulis, tahun publikasi, tujuan penelitian, jenis teknologi VR/AR, jenis alsintan yang dikaji, desain evaluasi, serta temuan utama masing-masing studi. Data yang telah diekstraksi dianalisis menggunakan pendekatan sintesis tematik, sebagaimana umum digunakan dalam kajian pendidikan berbasis teknologi imersif [6]. Melalui pendekatan ini, temuan penelitian dikelompokkan ke dalam beberapa tema utama, yaitu efektivitas VR terhadap hasil belajar, peningkatan keterampilan operasional, efektivitas antarmuka dan pengalaman pengguna, serta tantangan implementasi VR/AR dalam pendidikan vokasi pertanian. Sintesis

akhir disusun untuk menjawab pertanyaan penelitian terkait efektivitas simulasi VR dalam meningkatkan keterampilan penggunaan alat dan mesin pertanian.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tinjauan sistematis ini menganalisis sepuluh artikel inti yang terbit antara tahun 2021–2025 dan membahas penerapan *Virtual Reality* (VR) serta *Augmented Reality* (AR) dalam pembelajaran alat dan mesin pertanian. Dari total 94 artikel yang teridentifikasi pada tahap awal, sepuluh artikel lolos seleksi PRISMA dan dinyatakan memenuhi kriteria kelayakan untuk dianalisis lebih lanjut. Artikel-artikel tersebut mencakup topik pembelajaran struktur mesin, pelatihan keselamatan operasional, penggunaan VR/AR untuk pemeliharaan mesin, serta efektivitas desain antarmuka dalam simulasi alsintan. Secara umum, hasil ekstraksi data menunjukkan bahwa VR berperan penting dalam peningkatan pemahaman mekanisme mesin pertanian melalui visualisasi tiga dimensi yang interaktif. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa VR mampu menyediakan lingkungan latihan operasional yang aman dan bebas risiko. Pada aspek maintenance, AR dan VR mempercepat proses diagnosis dan meningkatkan akurasi *troubleshooting*. Selain itu, kualitas pengalaman pengguna dan antarmuka turut memengaruhi keberhasilan pembelajaran berbasis teknologi imersif. Untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai karakteristik penelitian yang termasuk dalam analisis SLR ini, ringkasan sepuluh studi inti yang memenuhi kriteria inklusi disajikan pada Tabel 1.

Table 1. Ringkasan Studi Inti dan Temuan Utama

No	Peneliti & Tahun	Fokus Penelitian	Teknologi	Jenis Alsintan	Temuan Utama
1	Pulley et al. (2025)	Pelatihan keselamatan traktor	VR	Traktor	VR meningkatkan pengalaman belajar, namun peningkatan performa operasional masih rendah; layak sebagai <i>pre-practice</i> .
2	Kanivets et al. (2023)	Pembelajaran struktur traktor	VR Simulator	Traktor	VR meningkatkan pemahaman komponen mesin; skor kepuasan dan imersi stabil.
3	Cutini et al. (2023)	<i>Co-simulation</i> untuk precision agriculture	VR	Mesin presisi (GPS/otonom)	Simulator sangat akurat dan aman; mendukung pelatihan tanpa risiko lapangan.
4	Brabec et al. (2024)	Desain antarmuka VR	VR Interface	Berbagai mesin	Antarmuka radial lebih intuitif; meningkatkan efisiensi interaksi dan UX.
5	Solovev et al. (2022)	Visualisasi produktivitas mesin	VR Visualization	Mesin pertanian umum	VR mempercepat diagnosis, meningkatkan efisiensi kerja dan inspeksi.
6	Sara et al. (2022)	Maintenance mesin perah	AR Smart Glasses	Milking machine	AR meningkatkan akurasi dan kecepatan perbaikan; efektif untuk <i>troubleshooting</i> .
7	Li et al. (2021)	Virtual assembly & deteksi komponen	VR Assembly	Mesin pertanian	VR mempercepat pembelajaran perakitan; identifikasi komponen lebih mudah.
8	Li et al. (2022)	Desain dan perakitan mesin	VR + Image Processing	Mesin pertanian	Pemahaman desain meningkat; <i>collision detection</i> meningkatkan akurasi.
9	Vigoroso et al. (2021)	Pelatihan keselamatan berbasis game	Serious Games	Mesin pertanian	Media digital efektif meningkatkan kesadaran risiko dan keselamatan kerja.
10	Kanivets et al. (2023)	VR struktur mesin	VR	Traktor	Visualisasi 3D membantu pemahaman hubungan antar-komponen mesin.

Hasil kajian menunjukkan bahwa penggunaan teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) memberikan kontribusi signifikan terhadap pembelajaran alat dan mesin pertanian pada berbagai dimensi, yaitu pemahaman struktur mesin, keterampilan operasional, proses pemeliharaan, dan pengalaman pengguna. Temuan-temuan ini berasal dari analisis sepuluh artikel inti yang telah melalui tahap seleksi PRISMA secara sistematis. Dari sisi pemahaman struktur mesin, penelitian oleh [14], [17], [18], [20] secara konsisten menunjukkan bahwa visualisasi tiga dimensi dalam lingkungan VR membantu peserta didik memahami hubungan antarkomponen mesin yang tidak mudah diamati pada mesin nyata. Teknologi *virtual assembly* bahkan memungkinkan proses belajar perakitan dilakukan dengan lebih cepat dan akurat. Temuan ini menunjukkan bahwa VR berfungsi sebagai media pembelajaran konseptual yang efektif pada kompetensi teknik dasar. Dalam konteks operasional dan keselamatan, VR terbukti menyediakan lingkungan pelatihan yang aman dan bebas risiko. Studi [13] memperlihatkan bahwa meskipun peningkatan performa praktik tidak signifikan, VR mampu meningkatkan kesiapan mental dan kesadaran risiko peserta didik. Simulator berbasis *co-simulation* dari [15] juga menunjukkan tingkat akurasi tinggi dalam meniru kondisi lapangan, sehingga VR layak digunakan sebagai tahap awal sebelum pelatihan langsung di lapangan (*pre-practice*).

Pada aspek pemeliharaan mesin, penggunaan AR dan VR memperlihatkan manfaat yang jelas. [9] menemukan bahwa AR meningkatkan akurasi teknis dalam mengikuti instruksi perbaikan mesin perah, sedangkan [16] melaporkan percepatan diagnosis kerusakan melalui visualisasi VR. Temuan ini mengindikasikan bahwa teknologi imersif tidak hanya mendukung pembelajaran dasar, tetapi juga

berpotensi memperkuat kompetensi *troubleshooting* tingkat lanjut. Selain itu, desain antarmuka dan pengalaman pengguna memainkan peran penting dalam efektivitas pembelajaran berbasis VR. [19] menunjukkan bahwa antarmuka radial meningkatkan efisiensi interaksi dan mengurangi beban kognitif, sementara [13] menyoroti bahwa kenyamanan dan persepsi kemudahan penggunaan memengaruhi keberhasilan adopsi teknologi.

Analisis lintas penelitian mengungkap beberapa *gap* penting. Pertama, sebagian besar studi masih berfokus pada simulasi traktor, sementara jenis alsintan lain seperti alat pengolahan tanah dan tanaman belum banyak diteliti. Kedua, penelitian yang menilai dampak pedagogis jangka panjang dan transfer keterampilan ke praktik lapangan masih sangat terbatas. Ketiga, kebutuhan integrasi VR dalam kurikulum vokasi

pertanian belum banyak dibahas, sehingga implementasi masih bersifat eksperimen. Keempat, sebagian studi lebih menitikberatkan pada aspek teknis simulasi, bukan pada model pembelajaran yang terukur.

Kebaruan studi ini terletak pada pemetaan komprehensif tentang efektivitas VR khusus pada domain alsintan, serta identifikasi celah penelitian yang selama ini belum dievaluasi secara sistematis. Dengan demikian, penelitian ini memberikan dasar baru bagi pengembangan model pembelajaran berbasis VR yang lebih terarah dan sesuai kebutuhan pendidikan vokasi pertanian. Untuk memperjelas pola temuan lintas studi, dilakukan sintesis tematik yang mengelompokkan kontribusi masing-masing penelitian ke dalam empat kategori utama, yaitu pemahaman struktur mesin, keterampilan operasional, pemeliharaan dan *troubleshooting*, serta efektivitas antarmuka pengguna. Sintesis tersebut disajikan pada Tabel 2.

Table 2. Sintesis Tematik Hasil SLR

Tema	Peneliti yang Relevan	Ringkasan Sintesis
Pemahaman Struktur Mesin	Kanivets et al. (2023); Li et al. (2021); Li et al. (2022)	VR meningkatkan pemahaman komponen & mekanisme mesin melalui visualisasi 3D dan <i>assembly</i> interaktif.
Operasional & Keselamatan	Pulley et al. (2025); Vigoroso et al. (2021); Cutini et al. (2023)	VR aman untuk latihan awal; efektif untuk mengurangi risiko; performa teknis meningkat secara moderat.
Maintenance & Troubleshooting	Sara et al. (2022); Solovev et al. (2022)	AR/VR mempercepat diagnosis, meningkatkan akurasi perawatan, mempermudah instruksi teknis.
Antarmuka & Pengalaman Pengguna	Brabec et al. (2024); Pulley et al. (2025)	UX menentukan efektivitas; antarmuka intuitif meningkatkan efisiensi, tetapi <i>immersion</i> masih menjadi tantangan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil tinjauan sistematis terhadap sepuluh penelitian inti yang dianalisis, dapat disimpulkan bahwa teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) memiliki efektivitas yang kuat dalam mendukung pembelajaran alat dan mesin pertanian (alsintan), terutama dalam meningkatkan pemahaman struktur mesin, menyediakan lingkungan latihan operasional yang aman, serta mempercepat proses pemeliharaan dan *troubleshooting*. Visualisasi

tiga dimensi dan interaksi virtual terbukti mempermudah peserta didik memahami mekanisme kerja alsintan, sementara simulator VR memberikan pengalaman pelatihan yang lebih terkontrol dan bebas risiko sebelum praktik lapangan. Meskipun demikian, temuan lintas studi menunjukkan bahwa penggunaan VR masih didominasi oleh simulasi traktor, evaluasi pedagogis jangka panjang masih terbatas, dan integrasi VR dalam kurikulum vokasi belum dilakukan secara komprehensif. Dengan demikian, penelitian ini

menegaskan bahwa VR memiliki potensi besar sebagai media pembelajaran inovatif pada pendidikan vokasi pertanian, sekaligus menyoroti perlunya penelitian lanjutan untuk memperluas jenis alsintan yang disimulasikan, mengevaluasi transfer keterampilan ke praktik nyata, dan mengembangkan model pembelajaran VR yang lebih terstruktur serta sesuai kebutuhan pendidikan vokasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Spanaki, U. Sivarajah, M. Fakhimi, S. Despoudi, and Z. Irani, "Disruptive technologies in agricultural operations: a systematic review of AI-driven AgriTech research," Jan. 01, 2022, Springer. doi: 10.1007/s10479-020-03922-z.
- [2] G. Zhao et al., "Understanding the Drivers of Industry 4.0 Technologies to Enhance Supply Chain Sustainability: Insights from the Agri-Food Industry," *Information Systems Frontiers*, Aug. 2024, doi: 10.1007/s10796-024-10539-1.
- [3] E. M. Preininger, "Is this the future? Image and imagination in visual discourses on digital farming in Austrian media," *Geogr Ann Ser B*, vol. 106, no. 4, pp. 441–459, 2024, doi: 10.1080/04353684.2023.2261132.
- [4] A. Zhang, L. Wu, and J. Wang, "Title : Research on Innovative Models of Industry-Education Integration to Promote Sustainable Education in Agricultural Machinery Majors Research on Innovative Models of Industry-Education Integration to Promote Sustainable Education in Agricultural." [Online]. Available: <https://ssrn.com/abstract=5034368>
- [5] G. Lampropoulos and Kinshuk, "Virtual reality and gamification in education: a systematic review," *Educational Technology Research and Development*, vol. 72, no. 3, pp. 1691–1785, Jun. 2024, doi: 10.1007/s11423-024-10351-3.
- [6] C. M. Stracke et al., "Immersive virtual reality in higher education: a systematic review of the scientific literature," *Virtual Real*, vol. 29, no. 2, Jun. 2025, doi: 10.1007/s10055-025-01136-x.
- [7] H. Stefan, M. Mortimer, and B. Horan, "Evaluating the effectiveness of virtual reality for safety-relevant training: a systematic review," *Virtual Real*, vol. 27, no. 4, pp. 2839–2869, Dec. 2023, doi: 10.1007/s10055-023-00843-7.
- [8] L. Vigoroso, F. Caffaro, M. M. Cremasco, and E. Cavallo, "Innovating occupational safety training: A scoping review on digital games and possible applications in agriculture," Feb. 02, 2021, MDPI AG. doi: 10.3390/ijerph18041868.
- [9] G. Sara, G. Todde, and M. Caria, "Assessment of video see-through smart glasses for augmented reality to support technicians during milking machine maintenance," *Sci Rep*, vol. 12, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1038/s41598-022-20154-2.
- [10] F. Sguaizer, L. Vigoroso, M. Micheletti Cremasco, and F. Caffaro, "Perceived Working Conditions and Intention to Adopt Digital Safety Training in High-Risk Productive Sectors: An Exploratory Study in Manufacturing and Agriculture in Northwest Italy," *Safety*, vol. 11, no. 2, Jun. 2025, doi: 10.3390/safety11020051.
- [11] X. Li, "Design of Interactive Control System for Agricultural Machines Based on AR and Deep Reinforcement Learning," *Journal of Combinatorial Mathematics and Combinatorial Computing*, vol. 127 b, pp. 809–825, 2025, doi: 10.61091/jcmcc127b-045.
- [12] S. Dashti, E. Prakash, A. A. Navarro-Newball, F. Hussain, and F. Carroll, "PotteryVR: virtual reality pottery," *Visual Computer*, vol. 38, no. 12, pp. 4035–4055, Dec. 2022, doi: 10.1007/s00371-022-02521-2.
- [13] J. Pulley, D. Jepsen, A. Bowling, and T. Kitchel, "Evaluation of Ohio Agricultural Education Students' Performance and User Experience in a Virtual Reality Machinery Safety Experience," *J Agric Educ*, vol. 66, no. 1, p. 12, Feb. 2025, doi: 10.5032/jae.v66i1.2856.
- [14] I. M. Kanivets, O. V Kanivets, and T. M. Gorda, "VR simulator for studying the structure of tractors under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)", [Online]. Available: <http://ceur-ws.org>
- [15] M. Cutini et al., "A Co-Simulation Virtual Reality Machinery Simulator for Advanced Precision Agriculture Applications," *Agriculture (Switzerland)*, vol. 13, no. 8, Aug. 2023, doi: 10.3390/agriculture13081603.
- [16] D. A. Solovev, S. V. Chumakova, and R. D. Goncharov, "Mathematical model of analytical approach of comparative analysis of productivity of agricultural machinery when using visualization technology," in *BIO Web of Conferences*, EDP Sciences, Jan. 2022. doi: 10.1051/bioconf/20224302028.
- [17] C. Li et al., "Data set construction method of virtual assembly classification detection network for agricultural machinery," *Journal of South China Agricultural University*, vol. 42, no. 6, pp. 117–125, Nov. 2021, doi: 10.7671/j.issn.1001-411X.202104005.
- [18] C. Li et al., "A Novel Agricultural Machinery Intelligent Design System Based on Integrating Image Processing and Knowledge Reasoning," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 12, no. 15, Aug. 2022, doi: 10.3390/app12157900.
- [19] M. Brabec, T. Benda, P. Benda, P. Šimek, M. Havránek, and V. Lohr, "Developing a Functional User Interface for VR Simulations within Agricultural Equipment Contexts," *Agris On-line Papers in Economics and Informatics*, vol. 16, no. 1, pp. 15–22, 2024, doi: 10.7160/aol.2024.160102.
- [20] O. V Kanivets, I. M. Kanivets, S. V Pidhorna, O. I. Bilovod, and O. A. Burlaka, "Design and validation of a virtual reality-based training program for student learning on tractor-plough setup," 2025. [Online]. Available: <https://www.pdau.edu.ua/people/kanivets-iryna-myhaylivna>