



PEMANFAATAN SIMULASI DAN *VIRTUAL REALITY* DALAM PEMBELAJARAN MATA KULIAH INTEGRATIF TEKNIK DAN TAKTIK MILITER TARUNA AKADEMI MILITER

Agung Prapsetyo¹, Sukahar², Kiki Lestari³

Prodi Teknik Sipil Pertahanan, Akademi Militer, Magelang^{1,2}

Prodi Arsitektur Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan
Sumatera Utara³)

kinggoenk@gmail.com¹), sukahar@nikmesinhan.akmil.ac.id²), kikilestari569@yahoo.com³

Abstract

The digital world is increasingly becoming limitless and permeating all disciplines. This study analyzes the potential use of simulation and Virtual Reality (VR) technology in integrative courses that combine mechanical engineering and military tactics in the Defense Mechanical Engineering Study Program at the Indonesian Military Academy. Using a systematic literature review method, this study examines various accredited scientific sources and industry reports for the past five years (2021-2026). The results indicate that VR and simulation technology have proven effective in improving the quality of military training in various countries, with learning effectiveness increasing up to 2.34-fold when combined with conventional methods. This study identifies five priority courses in the Defense Mechanical Engineering Study Program that have the potential to be integrated with simulation technology and develops a phased implementation model appropriate to the context and limitations of the Indonesian Military Academy.

Keywords: *military simulation, virtual reality, integrative learning, defense mechanical engineering, military academy, vocational education*

Abstrak

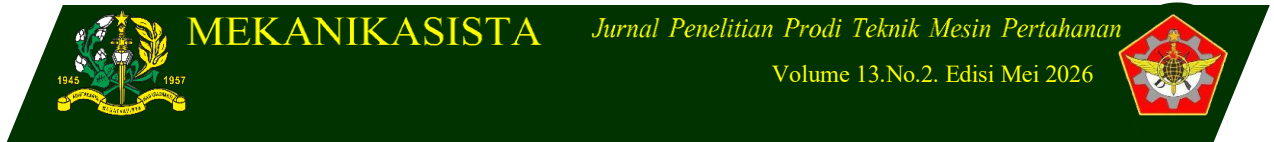
Perkembangan dunia digital semakin tidak terbatas dan merebak ke segala disiplin ilmu. Penelitian ini menganalisis potensi pemanfaatan teknologi simulasi dan *Virtual Reality* (VR) dalam pembelajaran mata kuliah integratif yang memadukan aspek teknik mesin dan taktik militer pada Program Studi Teknik Mesin Pertahanan Akademi Militer. Menggunakan metode studi literatur sistematis, penelitian ini mengkaji berbagai sumber ilmiah terakreditasi dan laporan industri lima tahun terakhir (2021-2026). Hasil kajian menunjukkan bahwa teknologi VR dan simulasi telah terbukti efektif meningkatkan kualitas pelatihan militer di berbagai negara, dengan peningkatan efektivitas pembelajaran hingga 2,34 kali lipat jika dikombinasikan dengan metode konvensional. Penelitian ini mengidentifikasi lima mata kuliah prioritas di Prodi Teknik Mesin Pertahanan yang berpotensi untuk diintegrasikan dengan simulasi teknologi, serta menyusun model implementasi secara bertahap yang sesuai dengan konteks dan batasan Akmil.

Kata Kunci: simulasi militer, virtual reality, pembelajaran integratif, teknik mesin pertahanan, akademi militer, pendidikan vokasi

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital pada era industri 4.0 telah membuka peluang besar bagi dunia pendidikan, termasuk pendidikan vokasi dan pendidikan militer, untuk meningkatkan kualitas pembelajaran melalui solusi berbasis simulasi dan teknologi imersif (Rera dkk, 2025). Teknologi *Virtual Reality* (VR) dan *Augmented Reality* (AR) menawarkan pengalaman belajar yang aman, fleksibel, dan realistis tanpa risiko yang menyertai praktik langsung di lapangan (Ramadhan, Ismara & Ramelan, 2025). Dalam dunia pendidikan militer, teknologi simulasi telah digunakan secara luas untuk pelatihan strategi dan bentuk pertempuran, penggunaan peralatan dan kendaraan, serta berbagai aplikasi yang berorientasi pada pelaksanaan latihan (Nassar dkk, 2019). Militer modern di berbagai negara maju seperti Amerika Serikat, Jerman, dan Korea Selatan telah mengintegrasikan teknologi VR ke dalam sistem pelatihan mereka. Varjo, perusahaan teknologi VR kelas militer, dalam laporan *State of XR in Simulation Training Report 2026* mengungkapkan bahwa adopsi teknologi XR (Extended Reality) dalam pelatihan pertahanan global telah melampaui tahap eksperimen dan





menjadi bagian inti dari ekosistem pelatihan (LEDinside, 2025). Menurut Alvarez dkk. (2026) dalam penelitian tentang sistem pelatihan multi-user VR untuk operasi militer di Brigade Pasukan Khusus N 9 "Patria" menunjukkan bahwa teknologi VR mampu menciptakan pengalaman imersif yang mereplikasi setiap tahapan operasi, mulai dari persiapan hingga pelaksanaan dalam lingkungan bebas risiko. Evaluasi terhadap 30 personel pasukan khusus menunjukkan peningkatan kepercayaan diri yang signifikan, dengan 87% peserta melaporkan peningkatan penguasaan kendali dan 79% melaporkan peningkatan akurasi pendaratan. Yang lebih penting, 92% personel menekankan bahwa latihan virtual bersama meningkatkan koordinasi tim mereka.

Sementara itu, pendidikan vokasi di Indonesia juga mulai mengadopsi teknologi VR untuk mengatasi keterbatasan fasilitas praktik. Rera dkk. (2025) melaporkan bahwa SMK Negeri 1 Enrekang berhasil mengimplementasikan teknologi VR/AR untuk mengatasi keterbatasan laboratorium teknik pemesinan yang hanya memiliki dua unit untuk melayani lebih dari 1.200 siswa. Program ini menghasilkan peningkatan signifikan pada kompetensi guru dan pemahaman konsep siswa. Ramdhan, Ismara & Ramelan (2025) juga mengembangkan simulasi kontrol motor listrik berbasis VR untuk SMK yang terbukti layak dan efektif sebagai alat pembelajaran pra-praktik, dengan skor kelayakan mencapai 79,58% dari ahli materi dan 68,53% dari ahli media. Di lingkungan pendidikan tinggi militer Indonesia, inovasi pembelajaran juga mulai dikembangkan. Widyadhana & shofiinoorman (2025) dalam penelitiannya di Akademi Angkatan Laut mengembangkan konsep pembelajaran proxy war bagi taruna Korps Marinir, menunjukkan bahwa integrasi materi baru ke dalam kurikulum secara signifikan meningkatkan pemahaman dan kesiapan taruna. Sandy Adi Pratama dkk. (2024) bahkan secara spesifik mengkaji konsepsi latihan pertempuran jarak dekat berbasis VR untuk taruna Korps Marinir, hal tersebut di atas menegaskan relevansi teknologi VR/AR untuk pendidikan akademi militer di Indonesia.

Berdasarkan Kurikulum TA 2025, Program Studi Teknik Mesin Pertahanan Akademi Militer memiliki visi mewujudkan program studi sebagai pusat keunggulan yang menghasilkan lulusan Perwira TNI AD yang adaptif, profesional, modern, dan tangguh. Kurikulum ini dirancang dengan struktur yang memadukan mata kuliah teknik mesin (seperti Motor Bakar, Elemen Mesin, Mekatronika) dengan mata kuliah taktik militer (seperti Taktik Peleton Senapan, Perang Hutan, Dasar Automotif Ranpur). Mata kuliah-mata kuliah ini bersifat integratif, menuntut taruna tidak hanya memahami teori teknik tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam dinamika operasi militer. Namun demikian, pembelajaran mata kuliah integratif ini menghadapi tantangan signifikan. Wardoyo, Wasliman & Sauri (2025) dalam penelitiannya tentang pendidikan dasar militer di Indonesia mengidentifikasi kendala utama seperti keterbatasan sarana, beban administrasi, dan tekanan psikologis peserta didik antara lain: (1) risiko keselamatan jika praktik langsung dilakukan tanpa bekal memadai, (2) keterbatasan akses ke alutsista canggih yang jumlahnya terbatas dan biaya operasionalnya tinggi, (3) kebutuhan untuk melatih prosedur darurat yang tidak mungkin dilakukan pada alat sebenarnya, dan (4) terbatasnya rasio alat praktik dengan jumlah taruna. Yogaswara, Wibowo & Buchdadi (2025) menegaskan bahwa metode pembelajaran interaktif seperti simulasi dapat meningkatkan pemahaman hingga 40% dan tingkat keterlibatan hingga 50% dalam konteks pendidikan pertahanan. Studi literatur mereka menunjukkan bahwa simulasi yang membenamkan peserta dalam skenario realistis mengembangkan keterampilan penting seperti kerja tim dan pengambilan keputusan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dipandang urgen untuk dilakukan. Mengingat tren global adopsi teknologi VR dalam pelatihan militer yang semakin massif, karena 86%





organisasi pertahanan menjadikan simulasi realistis sebagai prioritas pelatihan (LEDinside, 2025), maka kajian tentang potensi implementasi teknologi ini di Akademi Militer menjadi sangat relevan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan landasan teoretis dan rekomendasi praktis bagi pengembangan model pembelajaran berbasis simulasi VR di Prodi Teknik Mesin Pertahanan. Di sisi lain Taruna Prodi Teknik Mesin Pertahanan membutuhkan pengalaman langsung dengan alutsista seperti ranpur, sistem persenjataan, dan peralatan teknik lainnya, namun ketersediaan alat dan biaya operasional menjadi kendala utama dan untuk mata kuliah integratif menuntut taruna untuk menghubungkan konsep teknik mesin dengan aplikasi taktis, namun metode konvensional seringkali kurang mampu menjembatani kesenjangan ini secara efektif. Meskipun teknologi simulasi dan VR telah terbukti efektif di berbagai institusi pendidikan militer global, Akmil belum memiliki model implementasi yang terstruktur dan sesuai dengan kurikulum pendidikan yang ada.

Penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan-pertanyaan berikut:

- a. Apa saja kebutuhan pembelajaran pada mata kuliah integratif teknik dan taktik militer di Program Studi Teknik Mesin Pertahanan Akmil yang dapat diakomodasi oleh teknologi simulasi dan VR?
- b. Bagaimana *best practice* pemanfaatan simulasi dan VR dalam pelatihan militer di tingkat global berdasarkan literatur lima tahun terakhir?
- c. Apa model implementasi simulasi/VR yang paling sesuai dan implementatif untuk konteks Akademi Militer, dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya dan karakteristik kurikulum?

Sesuai dengan rumusan masalah di atas, penelitian ini bertujuan untuk:

- a. Mengidentifikasi mata kuliah prioritas di Program Studi Teknik Mesin Pertahanan yang paling potensial untuk diintegrasikan dengan teknologi simulasi dan VR berdasarkan analisis struktur kurikulum dan capaian pembelajaran.
- b. Menyusun sintesis literatur tentang efektivitas, metode implementasi, dan tantangan pemanfaatan simulasi/VR dalam pelatihan militer dari berbagai sumber ilmiah terakreditasi dan laporan industri.
- c. Merumuskan rekomendasi implementatif berupa model pembelajaran bertahap, kebutuhan infrastruktur minimal, dan desain skenario simulasi yang sesuai dengan konteks Akmil.

LANDASAN TEORI

1. Konsep Pembelajaran Integratif Teknik dan Taktik Militer

Pembelajaran integratif dalam konteks pendidikan militer merupakan pendekatan yang memadukan kompetensi teknis dengan kemampuan taktis operasional. Kurikulum Program Studi Teknik Mesin Pertahanan Akademi Militer TA 2025 secara eksplisit merancang mata kuliah yang bersifat integratif, seperti *Dasar Automotif Ranpur*, *Teknik Arhanud II*, dan *Pengetahuan Dukungan Bekang dalam Tugas Operasi*. Mata kuliah ini menuntut taruna tidak hanya menguasai aspek teknis mesin, tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam skenario taktis di lapangan. Duchidze & Zeikidze (2025) menjelaskan bahwa pendidikan militer modern memerlukan pendekatan baru dalam komunikasi dan pembelajaran, di mana pasukan tujuan umum digantikan oleh unit bergerak yang dapat dikerahkan ke mana saja di dunia kapan saja, seperti: Brigade tempur yang lengkap harus dapat dikerahkan dalam empat hari, divisi dalam lima hari, dan lima divisi dalam waktu satu bulan, maka tantangan tersebut menuntut kesiapan sumber daya manusia melalui pendidikan yang efektif dan efisien.

2. Teknologi Simulasi dan *Virtual Reality* dalam Pelatihan Militer

a. Definisi dan Tipologi Teknologi Imersif





Teknologi imersif dalam pelatihan militer mencakup *Virtual Reality* (VR), *Augmented Reality* (AR), dan *Mixed Reality* (MR) yang secara kolektif dikenal sebagai *Extended Reality* (XR). Daineko dkk. (2025) mendefinisikan VR sebagai lingkungan digital imersif penuh yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan objek virtual dalam skenario yang mereplikasi kondisi nyata. Sementara itu, AR menampilkan elemen digital ke dunia nyata, dan MR memadukan keduanya secara lebih interaktif. Laporan Varjo *State of XR in Simulation Training Report 2026* mengungkapkan bahwa lebih dari 56% organisasi pertahanan global kini menggunakan *mixed reality*, memadukan elemen nyata dan virtual untuk mencapai realisme operasional. Penggunaan teknologi ini telah melampaui tahap eksperimen dan menjadi bagian inti dari ekosistem pelatihan militer modern.

b. Perkembangan Adopsi di Lingkungan Militer Global

Alvarez dkk. (2026) dalam penelitiannya tentang sistem pelatihan multi-user VR untuk operasi militer di Brigade Pasukan Khusus N 9 "Patria" menunjukkan bahwa teknologi VR mampu menciptakan pengalaman imersif yang mereplikasi setiap tahapan operasi mulai dari persiapan hingga pelaksanaan, dalam lingkungan bebas risiko. Evaluasi terhadap 30 personel pasukan khusus menunjukkan bahwa 87% peserta melaporkan peningkatan penguasaan kendali, 79% melaporkan peningkatan akurasi, dan 92% menekankan bahwa latihan virtual bersama meningkatkan koordinasi tim. Duchidze & Zeikidze (2025) menambahkan bahwa di National Defense Academy of Georgia, simulation center yang beroperasi di sekolah pelatihan perwira junior memberikan kesempatan untuk melakukan pelatihan menggunakan teknologi digital dalam lingkungan virtual sedekat mungkin dengan kenyataan, sebelum pelatihan lapangan. Menurut mereka, pelatihan dalam lingkungan virtual ideal untuk militer karena sekali solusi VR diciptakan, dapat ditingkatkan dan digunakan selama bertahun-tahun dengan menambahkan skenario baru serta meningkatkan grafis dan efek.

c. Implementasi di Indonesia.

Di Indonesia, Kodiklatad (Komando Pendidikan Angkatan Darat) telah mulai mengintegrasikan teknologi modern ke dalam program pelatihan, termasuk pemanfaatan *realitas virtual* dan *augmented* untuk mensimulasikan skenario pertempuran guna meningkatkan keterampilan pengambilan keputusan tanpa risiko yang terkait dengan pelatihan langsung. Hal tersebut menunjukkan bahwa adopsi teknologi simulasi di lingkungan TNI AD bukan lagi wacana, melainkan telah memasuki tahap implementasi awal.

3. Studi Efektivitas Pelatihan Berbasis VR

a. Peningkatan Kualitas Pembelajaran

Lee dkk. (2025) dalam penelitiannya di Korean Armed Forces Medical School menemukan bahwa kombinasi VR dengan pelatihan konvensional memberikan efek 2,34 kali lebih baik dibanding sistem konvensional saja. Temuan ini konsisten dengan laporan Varjo yang menyatakan bahwa pelatihan XR paling efektif ketika melengkapi simulator tradisional dan latihan langsung. Kombinasi ini menciptakan alur pelatihan yang lebih efisien dan realistis, mendukung kolaborasi lintas unit, lokasi, dan tipe misi. Dalam konteks pendidikan vokasi, Rera dkk. (2025)





melaporkan bahwa implementasi VR/AR di SMK Negeri 1 Enrekang berhasil meningkatkan kompetensi guru dan pemahaman konsep siswa secara signifikan, sekaligus mengatasi keterbatasan laboratorium teknik pemesinan yang hanya memiliki dua unit untuk melayani lebih dari 1.200 siswa. Temuan ini menegaskan potensi teknologi serupa dapat diimplementasikan untuk mengatasi keterbatasan akses alutsista di lingkungan pendidikan militer.

b. Efisiensi Biaya dan Keamanan

Salah satu keunggulan utama pelatihan berbasis VR adalah efisiensi biaya jangka panjang. Duchidze & Zeikidze (2025) menekankan bahwa setelah solusi VR dikembangkan, biaya pemeliharaan dan pembaruan relatif rendah dibandingkan biaya operasional latihan lapangan konvensional. Selain itu, aspek keamanan menjadi pertimbangan penting, pelatihan prosedur berisiko tinggi seperti penanganan darurat alutsista dapat dilakukan berulang kali tanpa risiko cedera atau kerusakan alat.

4. Landasan Pedagogis Pembelajaran Berbasis Simulasi

a. *Experiential Learning* dalam Lingkungan Virtual

Pembelajaran berbasis simulasi berakar pada teori *experiential learning* yang menekankan pentingnya pengalaman langsung dalam proses belajar. Estrada dkk. (2024) dalam penelitiannya tentang *military education in extended reality* menjelaskan bahwa teknologi XR memungkinkan pembelajaran pengetahuan sulit (*troublesome knowledge*) melalui aplikasi pengalaman imersif. Mereka menemukan bahwa mahasiswa militer dapat mengembangkan pemahaman mendalam tentang konsep abstrak seperti perlindungan warga sipil (*protection of civilians*) melalui simulasi yang membenamkan mereka dalam dilema etis di medan operasi. Themeli dkk. (2024) menambahkan bahwa *experiential learning* dan empati dapat dikembangkan melalui *extended reality* untuk mengajarkan perlindungan warga sipil. Hal ini relevan dengan kebutuhan taruna Teknik Mesin Pertahanan yang tidak hanya dituntut memahami aspek teknis, tetapi juga implikasi taktis dan etis dari keputusan mereka di lapangan.

b. Transfer of Learning dan Retensi Pengetahuan

Penelitian tentang transfer pembelajaran menunjukkan bahwa keterampilan yang dilatihkan dalam lingkungan virtual dapat ditransfer ke situasi nyata dengan tingkat keberhasilan tinggi. Daineko dkk. (2025) mengimplementasikan skenario perakitan, pembongkaran, dan latihan menembak dengan senjata api (AK-74 dan pistol Makarov) dalam lingkungan VR yang menyediakan pelacakan tindakan peserta secara real-time dan koreksi kesalahan. Pendekatan ini memungkinkan pengembangan keterampilan fundamental dalam lingkungan siber sebelum diaplikasikan di dunia nyata.

5. Tantangan Implementasi dan Strategi Mitigasi

a. Tantangan Teknis dan Organisasional

Laporan Varjo (2025) mengidentifikasi beberapa tantangan utama dalam adopsi XR untuk pelatihan: masalah keandalan (*reliability issues*), hambatan pengadaan (*procurement hurdles*), dan kurangnya keahlian (*lack of expertise*). Faktor keputusan pemilihan perangkat keras



didominasi oleh kejelasan visual (72,6%) dan kenyamanan (60,4%), mencerminkan kebutuhan akan sistem yang tahan lama, resolusi tinggi, dan ergonomis untuk pelatihan durasi panjang.

b. Strategi Implementasi Bertahap

Untuk mengatasi tantangan tersebut, pendekatan implementasi bertahap direkomendasikan. Duchidze & Zeikidze (2025) mengusulkan adopsi pengalaman simulation center dari lembaga pendidikan militer terkemuka dunia serta integrasi teknologi digital yang diciptakan oleh *global start-ups* modern. Hal ini akan memungkinkan penguasaan penggunaan teknologi baru dalam proses pelatihan militer. Di Indonesia, upaya serupa dapat merujuk pada pengalaman Kodiklatal yang telah mengintegrasikan simulator dan VR untuk pelatihan personel, serta kolaborasi dengan institusi akademik seperti yang dilakukan dalam program pengabdian masyarakat. Integrasi antara kebutuhan TNI AD dengan kapasitas riset perguruan tinggi menjadi strategi potensial untuk mengembangkan konten simulasi yang sesuai dengan alutsista dan doktrin TNI AD.

6. Kerangka Teoretis Penelitian

Berdasarkan tinjauan pustaka di atas, penelitian ini akan menggunakan kerangka teoretis yang mengintegrasikan tiga komponen utama: (1) teori *experiential learning* sebagai landasan pedagogis pembelajaran berbasis simulasi, (2) konsep pembelajaran integratif teknik-taktik sebagai konteks kurikuler, dan (3) model adopsi teknologi bertahap sebagai strategi implementasi. Ketiganya akan menjadi lensa analisis untuk memetakan kebutuhan mata kuliah prioritas di Prodi Teknik Mesin Pertahanan dan merumuskan rekomendasi implementatif yang sesuai dengan karakteristik Akademi Militer.

METODE PENELITIAN

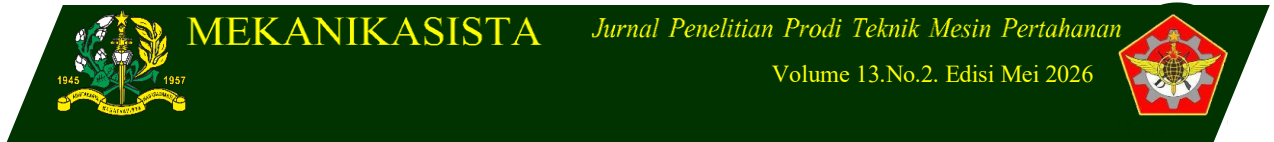
1. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi literatur sistematis (Systematic Literature Review/SLR). SLR merupakan metode penelitian yang dilakukan secara terstruktur dan sistematis untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis seluruh literatur yang relevan dengan pertanyaan penelitian tertentu. Metode ini dipilih karena sesuai dengan tujuan penelitian untuk mengkaji secara komprehensif pemanfaatan teknologi simulasi dan VR dalam pembelajaran mata kuliah integratif teknik dan taktik militer, serta merumuskan rekomendasi implementatif bagi Program Studi Teknik Mesin Pertahanan Akademi Militer. Berbeda dengan narrative review yang bersifat lebih bebas, SLR menuntut proses berlapis mulai dari perencanaan, penentuan kriteria inklusi-eksklusi, pencarian literatur dengan protokol ketat, hingga analisis kritis terhadap setiap stud. Metode ini memungkinkan peneliti mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai perkembangan penelitian pada topik tertentu, sekaligus memastikan bahwa kesimpulan yang diambil benar-benar berdasarkan bukti ilmiah yang valid.

2. Sumber Data, Sumber data dalam penelitian ini dikategorikan menjadi dua:

- a. **Sumber Primer:** Dokumen Kurdik Prodi Teknik Mesin Pertahanan Akademi Militer Tahun Akademik 2025 yang mencakup identitas program studi, visi-misi, profil lulusan, capaian pembelajaran, struktur kurikulum, dan sebaran mata kuliah.
- b. **Sumber Sekunder:** Artikel jurnal ilmiah terakreditasi, prosiding konferensi, buku ber-ISBN, dan laporan industri yang memenuhi kriteria:





- 1) Terbit dalam rentang waktu 5 tahun terakhir (2021-2026)
- 2) Bersifat *open access* (dapat diakses dan diunduh secara gratis)
- 3) Relevan dengan topik simulasi militer, virtual reality dalam pendidikan vokasi, atau pembelajaran integratif teknik dan taktik
- 4) Berasal dari basis data akademik terpercaya seperti Scopus, SpringerLink, Google Scholar, dan portal jurnal nasional terakreditasi

3. Teknik Pengumpulan Data, Pengumpulan data dilakukan melalui:

- a. **Penelusuran basis data ilmiah** dengan kata kunci: "*virtual reality military training*", "simulasi militer", "pendidikan vokasi VR", "*integrative learning defense*", "*VR in vocational education*", "*military education technology*", dan "simulasi alutsista".
- b. **Dokumentasi kurikulum:** Mengkaji secara mendalam dokumen Kurikulum Prodi Teknik Mesin Pertahanan Akmil TA 2025 untuk mengidentifikasi mata kuliah integratif yang potensial diintegrasikan dengan teknologi simulasi/VR.
- c. **Snowball sampling:** Menelusuri referensi dari artikel-artikel kunci untuk menemukan sumber relevan lainnya yang tidak terjaring dalam penelusuran awal.

4. Teknik Analisis Data

Data dianalisis menggunakan metode analisis konten tematik (*thematic content analysis*) dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. **Reduksi data:** Memilih dan memfokuskan data pada informasi yang relevan dengan rumusan masalah. Literatur yang tidak relevan disaring berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi yang telah ditetapkan.
- b. **Kategorisasi:** Mengelompokkan temuan ke dalam tema-tema utama: (a) jenis teknologi simulasi yang digunakan, (b) area aplikasi dalam pelatihan militer, (c) efektivitas dan dampak pembelajaran, (d) model implementasi, dan (e) tantangan serta solusi.
- c. **Pemetaan (*mapping*):** Menghubungkan temuan dari literatur dengan struktur kurikulum Prodi Teknik Mesin Pertahanan untuk mengidentifikasi mata kuliah prioritas dan merumuskan desain skenario simulasi yang sesuai.
- d. **Sintesis:** Merumuskan kesimpulan dan rekomendasi berdasarkan integrasi temuan dari berbagai sumber, dengan memperhatikan konteks dan karakteristik Akademi Militer.

5. Prosedur Penelitian. Penelitian ini dilaksanakan melalui tahapan yang mengacu pada protokol SLR :

- a. **Tahap Perencanaan:** Merumuskan pertanyaan penelitian, menetapkan kriteria inklusi-eksklusi, dan menyusun protokol pencarian literatur.
- b. **Tahap Identifikasi Literatur:** Melakukan pencarian literatur secara sistematis di berbagai basis data akademik.
- c. **Tahap Seleksi dan Penyaringan:** Meninjau abstrak dan konten untuk memutuskan relevansinya dengan topik penelitian.
- d. **Tahap Evaluasi Kualitas:** Mengevaluasi kualitas metodologi dari studi-studi yang terpilih.
- e. **Tahap Ekstraksi Data:** Mengekstraksi informasi signifikan dari literatur terpilih.
- f. **Tahap Analisis dan Sintesis:** Menganalisis dan mensintesis data untuk mengidentifikasi pola, tren, dan temuan utama.





- g. **Tahap Pelaporan:** Menyusun laporan penelitian yang menggambarkan temuan utama, interpretasi, dan implikasi..

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Identifikasi Mata Kuliah Prioritas di Prodi Teknik Mesin Pertahanan untuk Implementasi Simulasi/VR

Berdasarkan analisis dokumen Kurikulum Program Studi Teknik Mesin Pertahanan Akademi Militer TA 2025, terdapat sejumlah mata kuliah yang memiliki karakteristik integratif antara aspek teknik mesin dan aplikasi taktis militer. Mata kuliah-mata kuliah ini menjadi kandidat utama untuk integrasi teknologi simulasi dan *Virtual Reality* (VR) dengan pertimbangan: (1) memiliki komponen praktik dengan risiko keselamatan tinggi, (2) memerlukan akses ke alutsista yang terbatas jumlahnya, (3) menuntut pemahaman prosedural yang kompleks, dan (4) membutuhkan pengulangan latihan untuk mencapai kompetensi. Penelitian sistematis oleh Purnama dkk. (2023) mengungkapkan bahwa dari 25 studi yang menganalisis implementasi VR dalam konteks militer, 15 studi (60%) berfokus pada pengembangan simulator pelatihan tempur dan senjata. Temuan ini menegaskan bahwa area teknis-operasional seperti pengoperasian alutsista, prosedur perawatan, dan simulasi taktis merupakan domain paling potensial untuk intervensi teknologi VR. Hal ini selaras dengan struktur kurikulum Prodi Teknik Mesin Pertahanan yang memiliki banyak mata kuliah dengan karakteristik serupa.

Daineko dkk. (2025) dalam penelitiannya tentang *virtual basic military training* menekankan bahwa pengembangan keterampilan militer-applied fundamental dapat dilakukan secara efektif dalam lingkungan siber yang mengesampingkan penggunaan senjata nyata. Pendekatan ini memungkinkan taruna untuk menguasai prosedur dasar seperti perakitan, pembongkaran, dan prosedur keselamatan sebelum berhadapan dengan alutsista sesungguhnya. Implementasi teknis menggunakan *Unity XR Toolkit* dan model 3D alutsista (seperti AK-74 dan pistol Makarov) yang dikembangkan dalam penelitian tersebut menunjukkan kelayakan teknis untuk direplikasi dengan alutsista TNI AD. Berdasarkan sintesis antara struktur kurikulum dan temuan literatur, berikut adalah identifikasi mata kuliah prioritas beserta analisis kelayakan implementasinya:

a. Dasar Automotif Ranpur (NK5207) - Kecabangan Kavaleri

Mata kuliah ini memiliki beban 2 SKS dengan komposisi 1 SKS teori dan 1 SKS praktik. Karakteristiknya meliputi pemahaman sistem otomotif kendaraan tempur, diagnosis gangguan, dan prosedur perawatan dasar. Tantangan utama dalam pembelajaran mata kuliah ini adalah keterbatasan akses ke Ranpur (Kendaraan Tempur) yang jumlahnya terbatas dan biaya operasionalnya tinggi. Alvarez dkk. (2026) mengembangkan sistem pelatihan multi-user VR untuk operasi militer yang memungkinkan personel berlatih dalam lingkungan virtual yang mereplikasi setiap tahapan operasi, di mulai dari persiapan hingga pelaksanaan. Evaluasi terhadap 30 personel pasukan khusus menunjukkan bahwa 87% peserta melaporkan peningkatan penguasaan kendali dan 79% melaporkan peningkatan akurasi. Temuan ini mengindikasikan bahwa simulator driving Ranpur berbasis VR dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi keterbatasan akses. Virca dkk. (2021) menegaskan bahwa teknologi AR sangat potensial untuk pelatihan pemeliharaan peralatan militer, karena mampu menampilkan panduan prosedural secara real-time di atas peralatan nyata.





Untuk mata kuliah Dasar Automotif Ranpur, kombinasi VR untuk pelatihan *driving* dan AR untuk panduan perawatan *step-by-step* akan menciptakan pengalaman belajar yang komprehensif.

b. Teknik Arhanud II (NR4205) dan Arhanud Dalam Operasi I (NR5306) - Kecabangan Arhanud

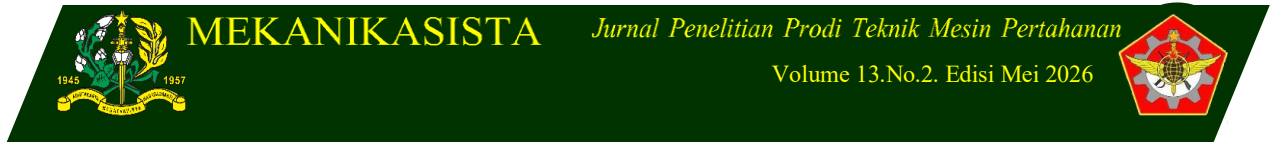
Kedua mata kuliah ini memiliki total 5 SKS dengan komposisi praktik yang signifikan. Materi mencakup pengoperasian sistem pertahanan udara, koordinasi radar-ke-senjata, dan taktik pertahanan udara. Kompleksitas koordinasi multi-personil dan kebutuhan akan skenario yang beragam menjadikan mata kuliah ini ideal untuk simulasi. Girardi & de Oliveira (2019) dalam penelitiannya tentang VR dalam pelatihan pengamat artileri Angkatan Darat menunjukkan bahwa simulator VR mampu meningkatkan akurasi penentuan koordinat dan kecepatan respons personel secara signifikan. Mereka mengimplementasikan skenario pengamatan dan koreksi tembakan dalam lingkungan virtual yang mereplikasi kondisi medan sebenarnya. Pekař dkk. (2024) menambahkan bahwa teknologi canggih dalam pendidikan militer berperan penting dalam menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik. Simulator sistem pertahanan udara memungkinkan taruna untuk melatih prosedur deteksi, pelacakan, dan engagement target udara tanpa perlu menembakkan munisi nyata yang mahal.

c. Teknik Kendaraan I (NL3203) dan Teknik Senjata dan Optronik I (NL4204) - Kecabangan Peralatan

Kedua mata kuliah ini termasuk dalam rumpun kecabangan Peralatan dengan total 4 SKS. Fokus pembelajarannya adalah pada pemeliharaan dan perbaikan kendaraan serta sistem persenjataan dan optronik. Karakteristik ini sangat sesuai dengan temuan Purnama dkk. (2023) bahwa integrasi teknologi seperti robotika, big data, dan haptics mulai dikombinasikan dengan VR untuk meningkatkan realisme pelatihan teknis. Wang dkk. (2020) dalam penelitiannya tentang *augmented reality* dalam pelatihan pemeliharaan peralatan militer menunjukkan bahwa *AR-guided maintenance* mampu mengurangi kesalahan prosedural hingga 40% dan mempercepat waktu penyelesaian tugas perawatan. Pendekatan ini sangat relevan untuk mata kuliah Teknik Senjata dan Optronik yang menuntut pemahaman detail tentang komponen internal sistem persenjataan.

d. Dasar Pimpinan Penembakan (NA5107) dan Taktik Armed (NA6109) - Kecabangan Armed

Mata kuliah ini membekali taruna dengan kemampuan pengamatan, koreksi tembakan, dan koordinasi bantuan tembakan artileri. Keterampilan ini termasuk dalam kategori *"troublesome knowledge"* sebagaimana diidentifikasi oleh Estrada dkk. (2024), yaitu pengetahuan yang sulit diajarkan melalui metode konvensional karena kompleksitas dan konsekuensi etisnya. Estrada dkk. (2024) mengembangkan program pendidikan berbasis XR untuk *Norwegian Defence University College* yang menggabungkan pengalaman imersif dengan pendekatan pedagogis, termasuk video 360°, *embodiment*, dialog dengan virtual humans, dan lanskap VR kolaboratif. Hasilnya menunjukkan tingkat penerimaan yang tinggi dari peserta didik dan stimulasi diskusi kritis yang efektif. Pendekatan serupa dapat diadopsi untuk melatih forward observer dalam mengambil keputusan etis di medan operasi.



2. Best Practice Pemanfaatan Simulasi dan VR dalam Pelatihan Militer Global

a. Amerika Serikat: Integrasi VBS4 dan Sistem Hybrid

First Army OC/T Academy di Amerika Serikat telah mengimplementasikan VBS4 (*Virtual Battlespace 4*) yang dikombinasikan dengan *VR goggles* untuk melatih para evaluator latihan. Sistem ini mampu mensimulasikan berbagai medan, mulai dari pegunungan hingga gurun, dan dengan ukuran satuan yang bervariasi. Manfaat utamanya mencakup realisme tinggi, penghematan waktu, dan pengurangan risiko cedera. Laporan Varjo, *State of XR in Simulation Training Report 2026* mengungkapkan bahwa lebih dari 56% organisasi pertahanan global kini menggunakan *mixed reality*, memadukan elemen nyata dan virtual untuk mencapai realisme operasional. Faktor keputusan pemilihan perangkat keras didominasi oleh kejelasan visual (72,6%) dan kenyamanan (60,4%), mencerminkan kebutuhan akan sistem yang tahan lama, resolusi tinggi, dan ergonomis.

b. Norwegia: XR untuk Pembelajaran Pengetahuan Sulit (*Troublesome Knowledge*)

Norwegian Defence University College (NDUC) mengembangkan program pendidikan berbasis XR untuk mengajarkan *threat-based approach* dalam perlindungan warga sipil (*protection of civilians*). Program ini menggabungkan pengalaman imersif dengan pendekatan pedagogis yang inovatif, termasuk:

- 1) **Kombinasi video 360° dan *embodiment***: Peserta ditempatkan dalam situasi yang mereplikasi pengalaman personel di lapangan.
- 2) **Dialog dengan *virtual humans***: Interaksi dengan karakter virtual yang merepresentasikan berbagai pemangku kepentingan di medan operasi.
- 3) **Lanskap VR kolaboratif**: Lingkungan virtual yang memungkinkan pembelajaran *peer-to-peer* secara imersif.

Hasil evaluasi menunjukkan tingkat penerimaan yang tinggi dari peserta didik terhadap konsep yang diajarkan, efek stimulasi diskusi kritis, dan reaksi positif terhadap pembelajaran berbasis XR. Pendekatan ini sangat relevan untuk mata kuliah integratif di Akmil yang memadukan aspek teknis dengan pertimbangan etis dan taktis.

c. Kazakhstan: *Virtual Basic Military Training*

Daineko dkk. (2025) mengimplementasikan pendekatan pengembangan kursus virtual pelatihan militer dasar menggunakan teknologi XR. Basis teknologi yang digunakan meliputi *Unity XR Toolkit* dan model 3D senjata api (AK-74 dan pistol Makarov) yang dikembangkan dalam Blender. Skenario yang diimplementasikan mencakup:

- 1) Perakitan dan pembongkaran senjata
- 2) Latihan menembak dengan pelacakan tindakan real-time
- 3) Koreksi kesalahan otomatis

Penelitian ini berfokus pada aspek teknis implementasi interaksi dalam lingkungan VR dan efek pedagogis dari integrasi tersebut, termasuk keterlibatan dan adaptabilitas proses pendidikan. Potensi integrasi solusi ini ke dalam program pendidikan formal untuk pelatihan militer dasar dibahas secara ekstensif, dengan penekanan pada pengembangan keterampilan fundamental dalam lingkungan siber.



d. Korea Selatan: *Army Synthetic Battle Training System (ASBTS)*

Penelitian Lee dkk. (2025) di *Korean Armed Forces Medical School* menemukan bahwa kombinasi VR dengan pelatihan konvensional memberikan efek 2,34 kali lebih baik dibanding sistem konvensional saja. Temuan ini konsisten dengan *pengembangan Army Synthetic Battle Training System (ASBTS)* yang mengintegrasikan VR/AR untuk pelatihan di tingkat divisi, mencakup penguasaan sistem senjata individu hingga simulasi pertempuran komprehensif.

e. Eropa: *FCL4VET Project untuk Pendidikan Vokasi*

Proyek *FCL4VET (Future Classroom Lab for Vocational Education and Training)* yang didanai Erasmus+ mengintegrasikan AI, VR/AR, dan *3D printing* untuk memodernisasi pendidikan vokasi di bidang elektronika, mekanika, dan mekatronika. Proyek ini mempertemukan enam organisasi dari enam negara Eropa untuk mengembangkan metodologi inovatif yang dapat diterapkan dalam aktivitas pembelajaran. Pendekatan ini menunjukkan bahwa integrasi VR dalam pendidikan vokasi teknik merupakan tren global yang juga relevan untuk konteks Prodi Teknik Mesin Pertahanan.

3. Model Implementasi yang Direkomendasikan untuk Akademi Militer

Berdasarkan sintesis temuan literatur dan karakteristik spesifik Akademi Militer, model implementasi yang paling sesuai adalah Model Hibrida Bertahap (*Phased Hybrid Model*) dengan mempertimbangkan aspek teknis, pedagogis, dan organisasional.

a. Tahap 1: *Pilot Project dan Pengembangan Kapasitas (6-12 bulan)*

Tahap awal berfokus pada implementasi terbatas pada 2-3 mata kuliah prioritas dengan potensi dampak terbesar. Berdasarkan analisis pada bagian A, mata kuliah yang direkomendasikan untuk *pilot project* adalah:

- 1) Dasar Automotif Ranpur (NK5207) - Kecabangan Kavaleri
- 2) Teknik Kendaraan I (NL3203) - Kecabangan Peralatan
- 3) Teknik Arhanud II (NR4205) - Kecabangan Arhanud

Pemilihan ini didasarkan pada ketersediaan model referensi dari literatur, kompleksitas teknis yang moderat, dan relevansi dengan kebutuhan operasional TNI AD. Duchidze & Zeikidze (2025) merekomendasikan adopsi pengalaman *simulation center* dari lembaga pendidikan militer terkemuka dunia serta integrasi teknologi digital yang diciptakan oleh *global start-ups modern*. Untuk tahap awal, Akmil dapat menjalin kemitraan dengan:

- 1) Kodiklatad yang telah memulai integrasi VR/AR dalam program pelatihannya
- 2) Universitas yang memiliki pusat riset VR/AR, seperti Universitas Negeri Makassar yang telah berhasil mengimplementasikan VR/AR di SMK
- 3) Industri teknologi pertahanan yang menyediakan platform simulator

Dari sisi teknologi, Ocaña dkk. (2023) dalam *position paper*-nya tentang viabilitas VR/AR dalam pendidikan militer menekankan pentingnya mempertimbangkan aspek biaya, infrastruktur, dan kesiapan sumber daya manusia. Untuk *pilot project*, direkomendasikan penggunaan perangkat VR mandiri (*standalone*) seperti *Oculus Quest 2* atau *HTC Focus 3* yang memiliki mobilitas tinggi dan tidak memerlukan PC dengan spesifikasi tinggi, serta platform perangkat lunak yang sudah teruji seperti *VBS4* atau *Unity XR Toolkit*.



b. Tahap 2: Pengembangan dan Integrasi Kurikuler (1-2 tahun)

Setelah *pilot project* menunjukkan hasil positif, tahap berikutnya adalah memperluas implementasi ke semua mata kuliah kecabangan yang relevan dan mengintegrasikannya secara formal ke dalam kurikulum. Estrada dkk. (2024) menekankan pentingnya pendekatan pedagogis yang tepat dalam implementasi XR, tidak sekadar aspek teknologinya. Pada tahap ini, perlu dikembangkan:

- 1) RPS (Rencana Pembelajaran Semester) yang mengintegrasikan sesi simulasi sebagai bagian dari capaian pembelajaran
- 2) Panduan instruktur untuk memfasilitasi pembelajaran berbasis simulasi
- 3) Instrumen penilaian yang mengukur tidak hanya aspek prosedural tetapi juga pengambilan keputusan dalam skenario kompleks

Pengembangan konten simulasi spesifik untuk alutsista TNI AD dapat dilakukan dengan pendekatan Spatial AI sebagaimana diimplementasikan oleh *EON Reality* untuk Tentara Ceko. Pendekatan ini memungkinkan transformasi manual teknis dan juknis menjadi modul XR interaktif dalam waktu relatif singkat. Rera dkk. (2025) dalam program pengabdian masyarakatnya menunjukkan bahwa pelatihan guru merupakan komponen krusial dalam keberhasilan implementasi VR/AR di institusi pendidikan. Program pelatihan intensif bagi Gadik (Tenaga Pendidik) Akmil perlu diselenggarakan, mencakup:

- 1) Pengoperasian perangkat VR/AR
- 2) Pengembangan konten pembelajaran sederhana
- 3) Fasilitasi pembelajaran berbasis simulasi
- 4) Evaluasi capaian pembelajaran dalam lingkungan virtual

c. Tahap 3: Jaringan dan Pemeliharaan Berkelanjutan

Tahap jangka panjang berfokus pada penghubungan sistem simulasi di Akmil dengan pusat-pusat latihan di kotama (Kodam) untuk mendukung konsep *Live-Virtual-Constructive (LVC) training*. Pekař dkk. (2024) menekankan pentingnya menjembatani teori dan praktik dalam pendidikan militer melalui teknologi canggih. Laporan Kodiklatad menyebutkan bahwa inisiatif pelatihan bersama dengan mitra internasional dan kemitraan akademik menjadi prioritas untuk tetap mengikuti praktik terbaik global. Akmil dapat memanfaatkan jaringan ini untuk:

- 1) Pertukaran skenario simulasi dengan institusi mitra
- 2) Pelatihan bersama virtual dengan satuan di kotama
- 3) Pengembangan konten bersama dengan pusat riset

Pemeliharaan berkelanjutan mencakup pembaruan konten simulasi agar selalu sinkron dengan perkembangan alutsista dan doktrin terbaru, serta perawatan perangkat keras secara berkala.

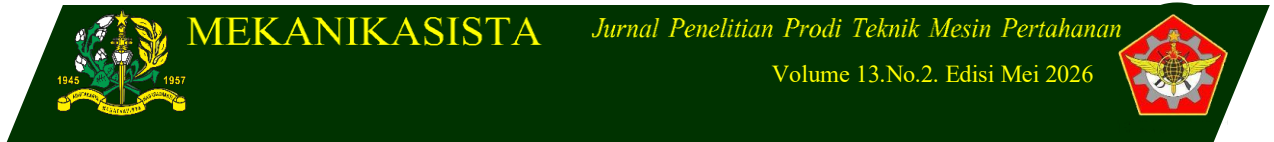
4. Desain Skenario Simulasi untuk Mata Kuliah Prioritas

Berdasarkan sintesis dari berbagai best practice yang telah diuraikan, berikut adalah desain skenario simulasi untuk mata kuliah prioritas yang telah diidentifikasi.

a. Skenario Simulasi untuk Dasar Automotif Ranpur (NK5207)

Tujuan Pembelajaran: Taruna mampu mendiagnosis dan mengatasi overheating pada mesin Ranpur di kondisi taktis.





Desain Skenario VR (berdasarkan pendekatan Daineko dkk., 2025) :

- 1) Tahap 1 (Pengenalan): Taruna "memasuki" ruang mesin Ranpur secara virtual, mengidentifikasi komponen sistem pendingin. Model 3D dikembangkan berdasarkan spesifikasi teknis Ranpur yang sesungguhnya, memungkinkan eksplorasi detail tanpa risiko kerusakan.
- 2) Tahap 2 (Skenario Gangguan): Simulasi menampilkan indikator suhu mesin naik secara progresif. Taruna harus melakukan langkah diagnostik: memeriksa level air radiator (virtual), mendeteksi kebocoran selang (visual), dan memeriksa kipas. Sistem merekam setiap langkah dan memberikan umpan balik korektif jika terjadi kesalahan.
- 3) Tahap 3 (Tindakan Perbaikan/Taktis): Berdasarkan diagnosis, taruna memutuskan tindakan: (a) melakukan perbaikan darurat jika memungkinkan, atau (b) mengambil keputusan taktis (melapor ke atasan, meminta evakuasi, atau mengamankan kendaraan). Tahap ini mengintegrasikan aspek teknis dan taktis sebagaimana ditekankan dalam kurikulum integrative.
- 4) Tahap 4 (*After Action Review*): Sistem menampilkan rekaman lengkap setiap langkah, keputusan, dan waktu reaksi. Hasilnya didiskusikan dalam sesi AAR berbasis data yang difasilitasi instruktur, mengadopsi pendekatan yang dikembangkan oleh *First Army OC/T Academy*.

b. Skenario Simulasi untuk Teknik Arhanud II (NR4205)

Tujuan Pembelajaran: Taruna mampu mengoordinasikan deteksi, pelacakan, dan engagement target udara dalam skenario pertahanan udara.

Desain Skenario (berdasarkan pendekatan Girardi & de Oliveira, 2019):

- 1) Mode Pelatihan Individu: Setiap taruna berlatih sebagai operator radar atau penembak secara terpisah, menguasai prosedur dasar sebelum beranjak ke latihan tim.
- 2) Mode Latihan Tim (Multi-user): 3-5 taruna berkolaborasi dalam lingkungan VR yang sama, masing-masing dengan peran spesifik (komandan, operator radar, penembak I, penembak II). Sistem mendukung komunikasi audio dan berbagi informasi taktis *real-time*.
- 3) Variasi Skenario: Sistem mampu menghasilkan variasi target (kecepatan, ketinggian, manuver), kondisi lingkungan (siang/malam, cuaca buruk), dan tingkat kesulitan yang progresif. Hal ini memungkinkan pengulangan latihan tanpa biaya tambahan.
- 4) Penilaian Otomatis: Sistem menilai tidak hanya akurasi teknis tetapi juga kualitas koordinasi tim dan kecepatan pengambilan keputusan.

c. Skenario Simulasi untuk Dasar Pimpinan Penembakan (NA5107)

Tujuan Pembelajaran: Taruna mampu melaksanakan tugas sebagai *forward observer*, menentukan koordinat target, dan mengomunikasikan koreksi tembakan secara akurat.

Desain Skenario (mengadopsi pendekatan Estrada dkk., 2024 untuk pembelajaran pengetahuan sulit) :

- 1) Skenario 360° *Immersive*: Taruna ditempatkan dalam video 360° yang merekam situasi medan sebenarnya, lengkap dengan dinamika suara dan visual. Mereka harus mengidentifikasi target dan menentukan koordinat berdasarkan referensi medan.
- 2) Simulasi Dialog dengan Komandan Baterai: Taruna berkomunikasi dengan "*virtual human*" yang merepresentasikan komandan baterai artileri, menerima perintah dan





memberikan laporan. Sistem merespons berdasarkan akurasi informasi yang disampaikan.

- 3) Skenario Etis: Target berada di dekat permukiman sipil atau fasilitas sensitif. Taruna harus mempertimbangkan aspek hukum humaniter dan membuat rekomendasi yang meminimalkan dampak kolateral. Ini mengadaptasi pendekatan NDUC untuk pembelajaran perlindungan warga sipil.
- 4) Umpan Balik Komprehensif: Setelah simulasi, taruna menerima umpan balik tentang akurasi penentuan koordinat, kejelasan komunikasi, kecepatan respons, dan kualitas pertimbangan etis.

5. Sintesis dan Implikasi untuk Pengembangan Kurikulum

Berdasarkan pembahasan di atas, dapat disintesis bahwa implementasi teknologi simulasi dan VR di Prodi Teknik Mesin Pertahanan Akmil memiliki landasan teoretis dan empiris yang kuat, serta selaras dengan arah pengembangan pendidikan militer global. Beberapa implikasi penting untuk pengembangan kurikulum ke depan meliputi:

- a. Pertama, kurikulum perlu mengakomodasi fleksibilitas alokasi waktu antara praktik konvensional dan praktik berbasis simulasi. Pekař dkk. (2024) menekankan bahwa teknologi canggih berfungsi menjembatani teori dan praktik, bukan menggantikan praktik lapangan sepenuhnya. Proporsi ideal perlu ditentukan berdasarkan karakteristik masing-masing mata kuliah.
- b. Kedua, pengembangan kompetensi digital Gadik menjadi prasyarat mutlak. Rera dkk. (2025) menunjukkan bahwa keberhasilan implementasi VR/AR sangat bergantung pada kesiapan pendidik. Program pelatihan berkelanjutan dan insentif bagi inovator pembelajaran perlu dirancang.
- c. Ketiga, kolaborasi lintas institusi diperlukan untuk mengoptimalkan sumber daya. Kodiklatad telah memulai inisiatif pelatihan bersama dengan mitra internasional dan kemitraan akademik. Akmil dapat memanfaatkan momentum ini untuk mengembangkan ekosistem simulasi yang terintegrasi dengan pusat-pusat pelatihan TNI AD lainnya.
- d. Keempat, evaluasi berkala terhadap efektivitas implementasi perlu dilakukan dengan pendekatan ilmiah. Lee dkk. (2025) membuktikan bahwa kombinasi VR dan konvensional memberikan efek 2,34 kali lebih baik, namun efektivitas spesifik dalam konteks Akmil perlu diukur melalui penelitian eksperimental.

6. Tantangan Implementasi dan Strategi Mitigasi

Implementasi teknologi simulasi dan VR di lingkungan Akmil tentu menghadapi berbagai tantangan yang perlu diantisipasi.

- a. Tantangan Teknis dan Infrastruktur:
Laporan Varjo (2025) mengidentifikasi tantangan utama adopsi XR: masalah keandalan, hambatan pengadaan, dan kurangnya keahlian. Perangkat VR memerlukan spesifikasi teknis tertentu dan perawatan berkala. Untuk mitigasi, Akmil dapat memulai dengan investasi bertahap, memprioritaskan perangkat dengan rasio biaya-manfaat terbaik, dan menjalin kerja sama dengan vendor untuk dukungan teknis jangka panjang.
- b. Tantangan Pengembangan Konten:





Pengembangan konten simulasi untuk alutsista spesifik TNI AD memerlukan waktu dan keahlian khusus. Daineko dkk. (2025) menunjukkan bahwa pengembangan model 3D dan skenario interaktif memerlukan kolaborasi antara ahli materi (*domain experts*) dan pengembang perangkat lunak. Strategi mitigasi meliputi pemanfaatan *platform* pengembangan yang sudah tersedia (seperti *Unity* dengan *XR Toolkit*), pelatihan internal untuk pengembang, dan kemitraan dengan universitas atau industri.

c. Tantangan Organisasional dan Kultural:

Adopsi teknologi baru sering menghadapi resistensi dari pengguna yang terbiasa dengan metode konvensional. Pekař dkk. (2024) menekankan pentingnya pendekatan bertahap dan melibatkan pengguna dalam proses pengembangan. Sosialisasi manfaat, pelibatan Gadik dalam *pilot project*, dan dokumentasi keberhasilan awal menjadi strategi kunci untuk membangun dukungan internal.

d. Tantangan Anggaran:

Investasi awal untuk perangkat keras, pengembangan konten, dan pelatihan memerlukan alokasi anggaran yang tidak kecil. Namun, Duchidze & Zeikidze (2025) menekankan efisiensi biaya jangka panjang karena sekali solusi VR dikembangkan, dapat digunakan selama bertahun-tahun dengan biaya pemeliharaan relatif rendah. Analisis biaya-manfaat jangka panjang perlu disusun untuk meyakinkan pengambil kebijakan.

7. Proyeksi Dampak terhadap Kualitas Pembelajaran

Jika model implementasi di atas dapat dijalankan dengan baik, beberapa dampak positif diproyeksikan akan tercapai:

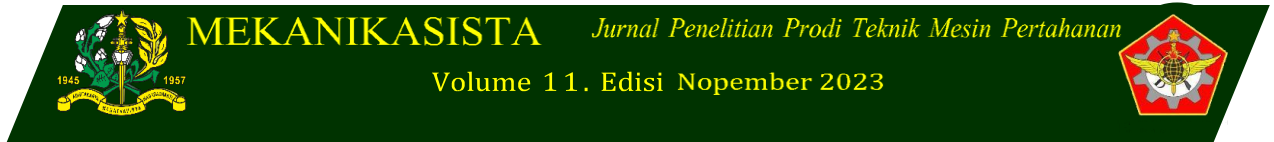
- a. Peningkatan Keamanan Pelatihan: Pelatihan prosedur berisiko tinggi dapat dilakukan berulang kali tanpa risiko cedera atau kerusakan alat.
- b. Efisiensi Biaya Jangka Panjang: Penghematan biaya operasional latihan, konsumsi bahan bakar, dan munisi dalam jangka panjang akan jauh melampaui investasi awal.
- c. Peningkatan Retensi Pengetahuan: Pembelajaran berbasis pengalaman imersif terbukti meningkatkan retensi pengetahuan dan transfer pembelajaran ke situasi nyata.
- d. Kesiapan Operasional yang Lebih Baik: Taruna yang telah berlatih dalam berbagai skenario virtual akan lebih siap menghadapi kompleksitas tugas nyata di satuan.
- e. Akses yang Setara: Keterbatasan jumlah alutsista tidak lagi menjadi hambatan karena semua taruna dapat mengakses simulasi virtual kapan pun diperlukan.

Simpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur dan analisis yang telah dilakukan terhadap pemanfaatan teknologi simulasi dan *Virtual Reality* dalam pembelajaran mata kuliah integratif teknik dan taktik militer di Program Studi Teknik Mesin Pertahanan Akademi Militer, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

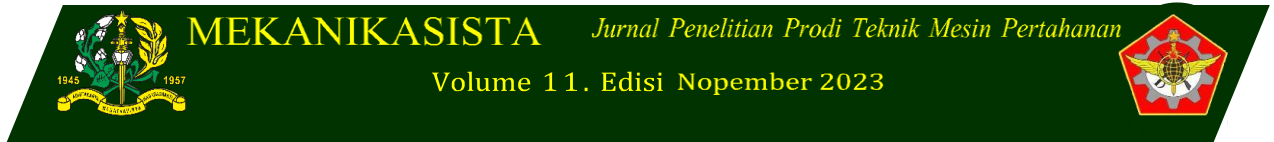
1. Identifikasi mata kuliah prioritas: Kurikulum Prodi Teknik Mesin Pertahanan Akmil TA 2025 memiliki sejumlah mata kuliah integratif yang sangat potensial untuk diintegrasikan dengan teknologi simulasi dan VR. Berdasarkan analisis karakteristik mata kuliah dan sintesis dengan temuan literatur, lima mata kuliah prioritas yang paling sesuai untuk implementasi awal adalah:





(a) Dasar Automotif Ranpur (NK5207) pada Kecabangan Kavaleri, (b) Teknik Arhanud II (NR4205) dan Arhanud Dalam Operasi I (NR5306) pada Kecabangan Arhanud, (c) Teknik Kendaraan I (NL3203) dan Teknik Senjata dan Optronik I (NL4204) pada Kecabangan Peralatan, (d) Dasar Pimpinan Penembakan (NA5107) dan Taktik Armed (NA6109) pada Kecabangan Armed, serta (e) Pengetahuan Dukungan Bekang dalam Tugas Operasi (NB5108) pada Kecabangan Bekang. Mata kuliah ini memiliki karakteristik berupa kompleksitas prosedural, kebutuhan akses ke alutsista terbatas, risiko keselamatan tinggi, dan tuntutan pengambilan keputusan taktis yang sesuai untuk pembelajaran berbasis simulasi (Alvarez dkk., 2026; Daineko dkk., 2025; Estrada dkk., 2024).

2. *Best practice* pemanfaatan simulasi/VR global: Berbagai negara maju telah mengimplementasikan teknologi simulasi dan VR dalam pelatihan militer dengan hasil yang sangat positif. Amerika Serikat menggunakan VBS4 dan sistem hybrid untuk melatih evaluator dengan realisme tinggi dan efisiensi waktu (Varjo, 2025). Norwegia mengembangkan program XR untuk pembelajaran pengetahuan sulit (troublesome knowledge) seperti perlindungan warga sipil, yang berhasil meningkatkan pemahaman etis dan taktis personel (Estrada dkk., 2024). Kazakhstan mengimplementasikan virtual basic military training untuk keterampilan fundamental seperti perakitan senjata dan latihan menembak dalam lingkungan siber (Daineko dkk., 2025). Korea Selatan mengembangkan Army Synthetic Battle Training System (ASBTS) yang terintegrasi dari tingkat individu hingga divisi, dengan efektivitas 2,34 kali lebih baik dibanding metode konvensional (Lee dkk., 2025). Sementara itu, proyek FCL4VET di Eropa menunjukkan bahwa integrasi VR dalam pendidikan vokasi teknik merupakan tren global yang relevan (Pekař dkk., 2024).
3. Model implementasi yang direkomendasikan: Berdasarkan sintesis temuan literatur dan karakteristik spesifik Akademi Militer, model implementasi yang paling sesuai adalah Model Hibrida Bertahap (*Phased Hybrid Model*) yang terdiri dari tiga tahap.
 - a. Tahap 1: Pilot Project (6-12 bulan) berfokus pada implementasi terbatas pada 2-3 mata kuliah prioritas (Dasar Automotif Ranpur, Teknik Kendaraan I, dan Teknik Arhanud II) dengan menggunakan perangkat VR mandiri dan platform perangkat lunak yang sudah teruji seperti VBS4 atau Unity XR Toolkit (Duchidze & Zeikidze, 2025; Rera dkk., 2025).
 - b. Tahap 2: Pengembangan dan Integrasi Kurikuler (1-2 tahun) meliputi perluasan ke semua mata kuliah kecabangan relevan, pengembangan RPS terintegrasi, pelatihan intensif Gadik, dan pengembangan konten spesifik alutsista TNI AD dengan pendekatan Spatial AI (Estrada dkk., 2024; Rera dkk., 2025).
 - c. Tahap 3: Jaringan dan Pemeliharaan Berkelanjutan berfokus pada penghubungan sistem simulasi di Akmil dengan pusat latihan di kotama untuk mendukung konsep Live-Virtual-Constructive (LVC) training, serta pembaruan konten secara berkala (Pekař dkk., 2024; Kodiklatad, 2025).
4. Dampak yang diproyeksikan: Implementasi teknologi simulasi dan VR di Prodi Teknik Mesin Pertahanan diproyeksikan akan memberikan dampak signifikan berupa peningkatan keamanan pelatihan (Daineko dkk., 2025), efisiensi biaya jangka panjang (Duchidze & Zeikidze, 2025), peningkatan retensi pengetahuan dan transfer pembelajaran (Estrada dkk., 2024), kesiapan



operasional yang lebih baik (Alvarez dkk., 2026), serta akses yang setara bagi seluruh taruna terhadap pengalaman praktik berkualitas tinggi (Rera dkk., 2025).

Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas, berikut adalah saran yang dapat diberikan kepada berbagai pemangku kepentingan:

1. Bagi Pimpinan Akademi Militer
 - a. Segera bentuk tim kajian yang terdiri dari Gadik Prodi Teknik Mesin Pertahanan, perwakilan Litbang, dan unsur pengguna dari Pusat Kesenjataan (Pussenkav, Pussenarmed, Pussenarhanud, dll) untuk merancang pilot project implementasi simulasi/VR. Tim ini bertugas melakukan analisis kebutuhan teknis, pedagogis, dan anggaran secara komprehensif (Ocaña dkk., 2023).
 - b. Alokasikan anggaran riset dan pengembangan untuk pengadaan perangkat lunak simulator yang sudah teruji seperti VBS4 atau platform sejenis, serta perangkat keras VR yang memenuhi standar militer (kejelasan visual minimal 72,6% dan kenyamanan minimal 60,4% sebagaimana direkomendasikan Varjo, 2025). Anggaran juga perlu dialokasikan untuk pelatihan Gadik dan pengembangan konten.
 - c. Jalin kerja sama strategis dengan institusi yang telah berpengalaman, seperti Kodiklatau (TNI AU) yang telah mengintegrasikan simulator untuk pelatihan personel, universitas dengan pusat riset VR/AR (misalnya Universitas Negeri Makassar atau Universitas Negeri Yogyakarta), serta industri teknologi pertahanan seperti EON Reality yang telah bekerja sama dengan Tentara Ceko (Rera dkk., 2025; Duchidze & Zeikidze, 2025).
 - d. Tetapkan kebijakan insentif bagi Gadik yang berinovasi dalam pengembangan pembelajaran berbasis simulasi, baik dalam bentuk penghargaan, kesempatan pelatihan lanjutan, maupun dukungan riset (Estrada dkk., 2024).
2. Bagi Gadik/Dosen Prodi Teknik Mesin Pertahanan
 - a. Tingkatkan kompetensi digital dengan mempelajari platform simulator yang tersedia (banyak menyediakan versi uji coba gratis) dan mengikuti pelatihan pengembangan konten VR/AR. Rera dkk. (2025) menekankan bahwa kesiapan pendidik merupakan faktor kunci keberhasilan implementasi teknologi pembelajaran.
 - b. Rancang ulang RPS untuk mata kuliah prioritas dengan mengintegrasikan sesi simulasi sebagai bagian dari capaian pembelajaran. Desain skenario simulasi perlu memperhatikan aspek pedagogis, tidak sekadar teknis, sebagaimana ditekankan oleh Estrada dkk. (2024) dalam pengembangan program XR di *Norwegian Defence University College*.
 - c. Libatkan taruna dalam pengembangan konten simulasi sederhana sebagai bagian dari tugas akhir atau proyek mandiri. Pendekatan ini tidak hanya meringankan beban pengembangan, tetapi juga meningkatkan keterlibatan dan pemahaman taruna terhadap materi (Daineko dkk., 2025).
 - e. Dokumentasikan dan publikasikan setiap inovasi pembelajaran yang dihasilkan, baik melalui jurnal internal maupun seminar nasional, untuk memperkaya basis pengetahuan dan memotivasi rekan sejawat (Pekař dkk., 2024).

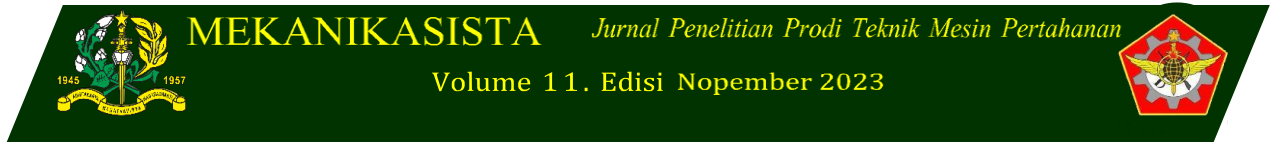


3. Bagi Peneliti Selanjutnya
 - a. Lakukan penelitian eksperimen untuk mengukur secara kuantitatif efektivitas implementasi simulasi/VR di Akmil, membandingkan kelompok yang menggunakan metode konvensional dengan kelompok yang menggunakan metode hybrid (simulasi + konvensional). Desain penelitian dapat mengadaptasi pendekatan Lee dkk. (2025) yang menggunakan AHP untuk menganalisis efek pelatihan VR.
 - b. Kembangkan konten simulasi spesifik untuk alutsista TNI AD dengan melibatkan ahli materi dari berbagai kecabangan dan programmer berpengalaman. Penelitian pengembangan (research and development) dengan model ADDIE atau serupa dapat digunakan untuk menghasilkan produk yang valid dan praktis (Saputra & Triyono, 2025).
 - c. Kaji aspek ergonomis dan pengalaman pengguna dari implementasi VR di lingkungan pendidikan militer. Nassar dkk. (2019) menekankan pentingnya evaluasi user experience untuk memastikan teknologi benar-benar mendukung proses pembelajaran, bukan malah menjadi hambatan.
 - d. Lakukan studi komparatif dengan akademi militer di negara lain yang telah lebih dahulu mengimplementasikan teknologi serupa, untuk mengidentifikasi faktor-faktor keberhasilan dan tantangan yang mungkin dihadapi Akmil ke depan (Duchidze & Zeikidze, 2025).

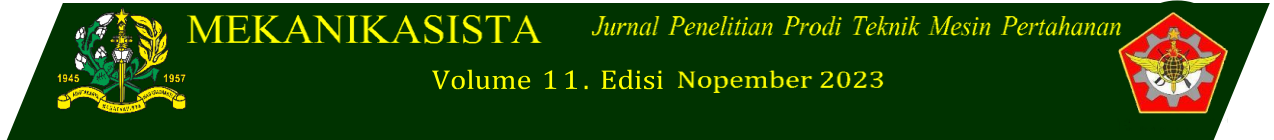
DAFTAR PUSTAKA

- Alvarez, M., Granizo, R., Bautista-Naranjo, V., Altamirano, K., Cárdenas, K., & Rivas-Lalaleo, D. (2026). A Virtual Reality-Based Multi-user Training System for Military Band Jump Operations. Dalam Rocha, A., Vaseashta, A., Fajardo-Toro, C.H., & Riola, J.M. (Eds.), *Developments and Advances in Defense and Security*. Smart Innovation, Systems and Technologies, vol 462. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-032-10947-7_3
- Daineko, Y., Turzhanov, U., Uali, M., Sharshova, R., Bolatov, Z., Tsoy, D., Chokin, N., & Samatov, M. (2025). Virtual Basic Military Training: Using XR Technologies to Develop Basic Skills in a Cyber Environment. *Procedia Computer Science*, 265, 610-615. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.07.227>
- Duchidze, G., & Zeikidze, V. (2025). Development of Immersive Technologies in Military Education. Dalam *Digital Management and Artificial Intelligence*, Springer Proceedings in Business and Economics, 318-323. Springer.
- Estrada, J. F. G., Prasolova-Førland, E., Kjeksrud, S., Themelis, C., Lindqvist, P. H. F., & Kvam, K. (2024). Military education in extended reality (XR): learning troublesome knowledge through immersive experiential application. *The Visual Computer*. <https://doi.org/10.1007/s00371-024-03545-w>
- Girardi, R., & de Oliveira, J.C. (2019). Virtual reality in army artillery observer training. Dalam *21st Symposium on Virtual and Augmented Reality (SVR)*, pp. 25–33. IEEE. <https://doi.org/10.1109/SVR.2019.00021>
- Kodiklatad. (2025). Kodiklatad: Meningkatkan Kemampuan Taktik Angkatan Darat. *Komando Resor Militer 152/Baabullah*. <https://korem152babullah.org/kodiklatad-meningkatkan-kemampuan-taktik-angkatan-darat/>





- LEDinside. (2025). Varjo releases State of XR in Simulation Training Report: Adoption moves beyond experimentation as forces prioritize realistic, multi-user training. *LEDinside News*, 5 Desember 2025. https://www.ledinside.com/news/2025/12/2025_12_05_03
- Lee, J. H., dkk. (2025). Analysis of VR Training Effects for Military Medical Personnel Based on Metaverse Using AHP. *KCI*.
- Medeiros, M., Schlager, B., Krösl, K., & Fuhrmann, A. (2022). The Potential of VR-based Tactical Resource Planning on Spatial Data. Dalam *2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops*, 176-185. <https://doi.org/10.1109/VR51125.2022.00036>
- Nassar, V., Canheti, C., Salomão, A., Nishida, J., & Vieira, M. (2019). A experiência do usuário com um simulador de realidade virtual para treinamento militar especializado. *Anais do 9º CIDI | Congresso Internacional de Design da Informação*, 1479-1484. <https://doi.org/10.5151/9cidi-congic-4.0003>
- Ocaña, M., Luna, A., Jeda, V. Y., Carrillo, H. C., Alvear, F., & Rosales, M. (2023). Are VR and AR really viable in military education?: A position paper. Dalam O. Saotome & J. Morillo (Eds.), *Developments and advances in defense and security* (pp. 165–177). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7689-6_15
- Pekař, O., Novák, J., Varecha, J., Šotnar, J., & Drábek, J. (2024). Bridging theory and practice in military education through advanced technologies. *European Conference on Games Based Learning*, 18(1), 1056-1060. <https://doi.org/10.34190/ecgbl.18.1.2648>
- Purnama, I., dkk. (2023). Empowering Military in Tactical and Warfare Area with Virtual Reality Technology: A Systematic Literature Review. *Procedia Computer Science*, 227, 103-112. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.596>
- Ramdhan, R. M., Ismara, K. I., & Ramelan, A. (2025). Development of Virtual Reality-Based Electric Motor Control Simulation for Improving Electric Motor Installation Competency in Vocational High Schools. *Journal of Electrical Engineering (JEE)*, 9(2), 181–192. <https://journal.uny.ac.id/index.php/jee/article/view/89226>
- Rera, F., Idkhan, A. M., Laela, N., Darmawang, & Hidayat, A. (2025). Pengenalan dan Pelatihan Teknologi VR/AR bagi Siswa SMK Negeri 1 Enrekang untuk Mendukung Pendidikan Berbasis Teknologi. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 263–269. <https://doi.org/10.59562/abdimas.v3i2.10760>
- Saputra, T. H., & Triyono, M. B. (2025). *Virtual Reality Welding untuk Peningkatan Kompetensi Welding Operator* [Disertasi Doktor, Universitas Negeri Yogyakarta]. Eprints UNY. <http://eprints.uny.ac.id/88422/>
- Themeli, C., Førlund, E. P., Hokstad, L. M., & Kjeksrud, S. (2024). Experiential Learning and Empathy in Extended Reality for Teaching Protection of Civilians. Dalam *Academic chapter/article/Conference paper*.
- Varjo. (2025). *State of XR in Simulation Training Report 2026*. <https://varjo.com/news/varjo-releases-state-of-xr-in-simulation-training-report-adoption-moves-beyond-experimentation-as-forces-prioritize-realistic-multi-user-training>.
- Virca, I., Bârsan, G., Oancea, R., & Vesa, C. (2021). Applications of augmented reality technology in the military educational field. *Land Forces Academy Review*, 26(4), 337-347. <https://doi.org/10.2478/raft-2021-0044>



- Wang, W., Lei, S., Hai-ping, L., Li, T., Qu, J., & Qiu, A. (2020). Augmented reality in maintenance training for military equipment. *Journal of Physics: Conference Series*, 1626(1), 012184. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1626/1/012184>
- Wardoyo, S., Wasliman, I., & Sauri, R. S. (2025). Perspektif Pendidikan dan Pengajaran dalam Meningkatkan Kualitas Lulusan Pendidikan Dasar Militer di Indonesia. *Didaktika: Jurnal Kependidikan*, 14(2 Mei), 2803-2818. <https://doi.org/10.58230/27454312.1964>.
- Widyadhana, W. K., & shofiinoorman. (2025). Konsepsi pembelajaran proxy war bagi taruna Korps Marinir untuk bekal menjadi perwira TNI-AL. *Amphibious Journal*, 2(2), 1–7. <https://doi.org/10.59447/amphibious.v2i2.83>.
- Yogaswara, E., Wibowo, S. F., & Buchdadi, A. D. (2025). Effectiveness of Interactive Learning Methods in National Defense Education. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 10(2). <https://jisem-journal.com/index.php/journal/article/view/1089>.