

Inovasi Pembelajaran Komponen Mesin dengan Teknologi Virtual Reality untuk Persiapan Praktikum di Bengkel

Robby Kurniawan¹, Tri Mandala Putra^{2*}, Risal Mantofani Arpin³

¹ Universitas Mega Rezky, ^{2,3} Universitas Nusa Cendana

*tri_putra@staf.undana.ac.id

Abstrak: Pembelajaran komponen mesin di perguruan tinggi Indonesia masih banyak mengandalkan metode konvensional yang memiliki keterbatasan dalam visualisasi dan pemahaman konsep. Teknologi *Virtual Reality* (VR) menawarkan solusi inovatif dengan menghadirkan simulasi interaktif yang dapat meningkatkan pengalaman belajar mahasiswa sebelum melakukan praktikum di bengkel. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pembelajaran berbasis VR guna meningkatkan pemahaman teori dan keterampilan mahasiswa dalam mengenali serta merakit komponen mesin secara virtual. Metode penelitian yang digunakan adalah model *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Metode ini terdiri dari 6 tahapan: (1) Konsep; (2) Desain; (3) Pengumpulan Materi; (4) Pembuatan; (5) Pengujian; (6) Distribusi. Produk yang dihasilkan berupa media pembelajaran interaktif yang mengintegrasikan konten 360° dari lingkungan bengkel mesin, eksplorasi komponen mesin secara interaktif, serta kuis formatif meningkatkan pemahaman konseptual dan kesiapan mahasiswa sebelum praktikum. Verifikasi fungsional dilakukan melalui pengujian *black-box*, sedangkan efektivitas pembelajaran dievaluasi menggunakan desain pre-test dan post-test pada mahasiswa program studi Teknik Mesin. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan secara statistik pada skor pemahaman konseptual, dengan rata-rata nilai meningkat dari 60,9 (pre-test) menjadi 84,6 (post-test). Hasil uji *paired-samples t-test* menunjukkan nilai $t(39) = 14,36$; $p < 0,001$ dengan ukuran efek yang besar (Cohen's $d = 2,27$). Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan VR dapat menjadi solusi efektif untuk mengatasi keterbatasan fasilitas dan waktu, sekaligus meningkatkan kesiapan mahasiswa sebelum melakukan praktik di laboratorium fisik. Luaran penelitian ini meliputi prototipe media pembelajaran VR untuk materi komponen mesin, panduan penggunaan (user manual), serta naskah ilmiah yang dipersiapkan untuk publikasi pada jurnal nasional terakreditasi.

Kata Kunci : Virtual Reality; Komponen Mesin; Praktikum Bengkel; MDLC; Inovasi Pembelajaran.

Abstract: *Instruction on machine components at many universities still relies on conventional methods that constrain visualization and conceptual understanding prior to workshop practicums. This study develops a Virtual Reality (VR) based learning medium using the Multimedia Development Life Cycle (MDLC), encompassing the Concept, Design, Material Collecting, Assembly, Testing, and Distribution stages. The resulting product integrates 360° content of the machine shop environment, interactive exploration of machine components, and formative quizzes to facilitate conceptual understanding and pre practicum readiness. Functional verification was performed through black box testing, whereas learning effectiveness was evaluated using a pre-test and post-test design with Mechanical Engineering students. The results indicate a statistically significant improvement in conceptual understanding scores, with mean scores rising from 60.9 (pre-test) to 84.6 (post-test), a paired-samples t-test result of $t(39)=14.36$, $p<0.001$, and a large effect size (Cohen's*

d=2.27). These findings affirm that VR can serve as a practical solution to address constraints of facilities and time while simultaneously enhancing students' readiness prior to practice in physical laboratories. The study outputs include a VR prototype for learning machine components, a user manual, and a manuscript intended for publication in a nationally accredited journal.

Keywords: Virtual Reality; Machine Components; Workshop Practicum; MDLC; Learning Innovation.

1. Pendahuluan

Pembelajaran komponen mesin merupakan bagian fundamental dalam pendidikan teknik mesin yang mempersiapkan mahasiswa untuk memahami fungsi, struktur, dan mekanisme kerja dari berbagai jenis mesin. Pemahaman yang baik terhadap komponen mesin sangat penting agar mahasiswa dapat melakukan perakitan, perawatan, dan perbaikan dengan benar saat berada di bengkel (Abbas Shah et al., 2024; Oje et al., 2023). Oleh karena itu, metode pembelajaran yang efektif diperlukan agar mahasiswa memiliki bekal teori yang kuat sebelum melakukan praktik langsung. Namun, metode pembelajaran konvensional yang masih banyak digunakan, seperti penggunaan buku teks, gambar dua dimensi, serta demonstrasi langsung oleh dosen, memiliki keterbatasan dalam memberikan visualisasi yang mendalam (di Lanzo et al., 2020; Soliman et al., 2021). Mahasiswa sering kali kesulitan membayangkan struktur dan mekanisme kerja dari komponen mesin hanya melalui gambar atau sketsa (Singh et al., 2021). Selain itu, demonstrasi langsung di dalam kelas memiliki keterbatasan karena tidak semua mahasiswa dapat mengamati dengan jelas setiap detail komponen yang diperlihatkan (Casasnovas et al., 2024). Di sisi lain, keterbatasan fasilitas bengkel menjadi kendala utama dalam pembelajaran komponen mesin. Ketersediaan alat dan komponen mesin sering kali tidak mencukupi untuk menampung seluruh mahasiswa dalam satu sesi praktikum (Srinivasa et al., 2021). Selain itu, waktu yang dialokasikan untuk praktik di bengkel biasanya terbatas, sehingga mahasiswa tidak memiliki cukup kesempatan untuk mengeksplorasi berbagai komponen secara mendalam (Charles Charles et al., 2023). Akibatnya, pemahaman mereka menjadi kurang optimal, dan kesalahan dalam praktik sering terjadi akibat kurangnya pemahaman awal terhadap komponen yang akan dirakit atau diperbaiki. (Adithia Pradana et al., 2023; Srinivasa et al., 2021).

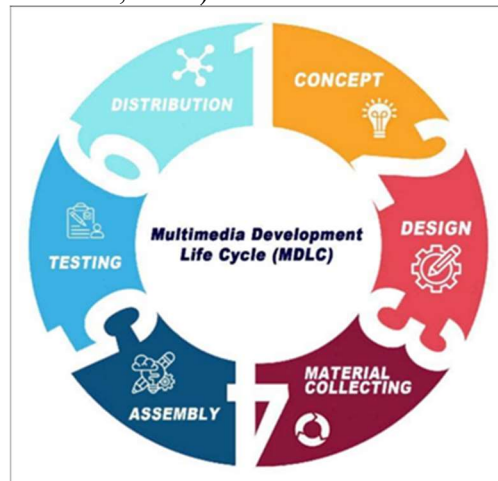
Teknologi *Virtual Reality* (VR) menawarkan solusi inovatif untuk mengatasi kendala tersebut. VR memungkinkan mahasiswa untuk berinteraksi langsung dengan model tiga dimensi dari komponen mesin dalam lingkungan virtual (Berni & Borgianni, 2020). Penerapan teknologi VR dalam pendidikan teknik bukanlah hal yang sepenuhnya baru, namun sebagian besar penelitian sebelumnya lebih berfokus pada bidang manufaktur dan simulasi proses industri, serta kesehatan (Mustaghfaroh et al., 2021; Radianti et al., 2020). Masih minim penelitian yang secara khusus mengembangkan VR untuk pembelajaran komponen mesin yang berfokus pada pemahaman struktur dan fungsinya sebelum praktik di bengkel, terkhusus bidang Pendidikan Teknik Mesin yang ada di Indonesia (Javaid et al., 2024). Dengan menggunakan teknologi ini, mahasiswa dapat mengeksplorasi setiap bagian mesin, memahami cara kerja dan fungsinya, serta melakukan simulasi perakitan dan perbaikan sebelum terlibat dalam praktik nyata di bengkel (Abbas Shah et al., 2024; Zhao et al., 2023). Hal ini tidak hanya meningkatkan pemahaman mahasiswa, tetapi juga membantu mengurangi tingkat kesalahan saat praktik

dan meningkatkan efisiensi penggunaan fasilitas bengkel (Hidajat, 2024) (Debbaghi et al., 2024). Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan dan implementasi pembelajaran berbasis VR dalam pembelajaran komponen mesin. Melalui penelitian ini, diharapkan dapat ditemukan solusi inovatif yang dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran, mempercepat pemahaman mahasiswa, serta mengoptimalkan penggunaan fasilitas bengkel yang tersedia.

Penelitian ini memiliki tujuan untuk mengembangkan media pembelajaran berbasis VR pada materi komponen mesin serta menganalisis efektivitas penggunaannya dalam meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap struktur dan fungsi komponen mesin sebagai persiapan sebelum melakukan praktikum di bengkel. Selain itu, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kesiapan belajar mahasiswa dan mengoptimalkan pemanfaatan fasilitas praktik secara efisien.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan media pembelajaran berbasis *Virtual Reality* (VR) dalam memahami komponen mesin secara lebih interaktif dan mendalam. Pendekatan penelitian ini menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) (Topan Bahari et al., 2023).



Gambar 1 Model *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC)

Tahapan utama dalam metode ini meliputi:

- a. *Concept/Konsep*
Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan pembelajaran berbasis VR untuk pengenalan komponen mesin.
- b. *Design/Desain*
Pada tahap ini, peneliti akan membuat storyboard atau sketsa tampilan VR. Selain itu, peneliti akan menggunakan fitur interaktif simulasi dan software pengembangan Unity.
- c. *Material Collecting/Pengumpulan Mater*
Peneliti mengambil gambar atau video 360 derajat dari mesin atau komponen yang akan dijelaskan. Kemudian dari gambar atau video tersebut, akan dibuatkan narasi dan teks untuk penjelasan dalam VR.
- d. *Assembly/Pengembangan*

Peneliti akan membangun aplikasi VR berbasis Unity dengan SDK Oculus atau WebVR. Kemudian, peneliti akan mengintegrasikan gambar atau video tersebut ke dalam fitur interaktif. Setelah itu, peneliti akan mengimplementasikan navigasi dan UI/UX yang mudah digunakan

e. *Testing/Pengujian*

Peneliti akan menggunakan Black-box testing untuk menguji fungsi-fungsi pada aplikasi VR. Peneliti juga akan menggunakan User testing untuk mengukur efektivitas dan pemahaman pengguna setelah menggunakan VR melalui Pre-test dan Post-test.

f. *Distribution/Distribusi*

Setelah aplikasi dinyatakan valid dan layak pakai, maka akan diterapkan dalam lingkungan pembelajaran, terkhusus bagi mahasiswa yang akan melakukan praktikum bengkel.

Subyek Penelitian

Penentuan subyek penelitian dilakukan melalui pengumuman di kelas dan *Learning Management System* (LMS) dengan penjelasan mengenai tujuan, prosedur, serta potensi risiko dan manfaat penelitian. Proses ini diikuti dengan pemberian persetujuan tertulis (*informed consent*). Data peserta dianonimkan, dan subyek penelitian bersifat sukarela tanpa konsekuensi akademik, sesuai dengan praktik etika penelitian di perguruan tinggi Indonesia. Ukuran sampel ditetapkan melalui analisis daya untuk uji t berpasangan dengan asumsi efek sedang ($\alpha = 0,05$; $power = 0,80$), kemudian disesuaikan dengan kapasitas kelas dan kondisi logistik laboratorium VR. Laporan penelitian mencakup jumlah peserta yang direkrut, dianalisis, serta penanganan data berdasarkan *per-protocol* atau *intention-to-treat* (ITT) apabila terjadi pengunduran diri. Seluruh sampe mengikuti perlakuan pra-laboratorium VR yang sama. Pengukuran hasil belajar dilakukan dua kali (sebelum dan sesudah penggunaan VR) untuk mengestimasi perubahan pemahaman mengenai struktur dan fungsi komponen mesin. Deskripsi mengenai durasi paparan dan tingkat kepatuhan peserta turut disertakan untuk memungkinkan replikasi penelitian.

Instrumen Penelitian

Instrumen yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas instrumen uji fungsional berupa *black-box testing* untuk memverifikasi bahwa seluruh fitur media VR berjalan sesuai rancangan, serta instrumen *user testing* untuk menilai efektivitas penggunaan media dari sudut pandang pengguna. Selain itu, digunakan instrumen tes hasil belajar berupa *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur perubahan pemahaman mahasiswa mengenai struktur dan fungsi komponen mesin.

Analisis Data

Analisis data dilakukan dengan menggunakan teknik statistik deskriptif dan inferensial. Statistik deskriptif digunakan untuk mengidentifikasi tren, distribusi respons, serta merangkum tingkat pemahaman mahasiswa terhadap komponen mesin selama periode intervensi. Untuk menentukan kesesuaian penggunaan uji parametrik, normalitas selisih skor berpasangan (*post-pre*) diuji menggunakan uji Shapiro-Wilk, dengan nilai p lebih besar dari 0,05 dianggap sebagai indikasi bahwa data berdistribusi normal. Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan uji t berpasangan dua arah (*two-tailed paired-samples t-test*) pada tingkat kepercayaan 95% dengan $\alpha = 0,05$ untuk membandingkan skor pretest

dan posttest. Interval kepercayaan 95% untuk selisih rata-rata juga dilaporkan. Besarnya efek intervensi diestimasi menggunakan Cohen's d untuk sampel berpasangan dengan membagi selisih rata-rata terhadap simpangan baku dari selisih skor, menggunakan ambang interpretasi konvensional: kecil (0,2), sedang (0,5), dan besar (0,8). Apabila asumsi normalitas tidak terpenuhi atau ditemukan pencilan yang berpengaruh, dilakukan uji *Wilcoxon signed-rank* sebagai pemeriksaan ketangguhan (*robustness check*) untuk mengonfirmasi hasil utama. Visualisasi perubahan skor dari *pre* ke *post* disajikan dalam bentuk *boxplot* untuk menunjukkan pergeseran median, sebaran data, dan potensi pencilan. Seluruh analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak statistik terdokumentasi (misalnya SPSS atau R) dan dilaporkan dengan mencantumkan nilai *t*, *df*, *p*, interval kepercayaan 95% (CI), serta ukuran efek guna memastikan transparansi dan replikabilitas.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk

Tabel 1 Hasil Uji Normalitas Shapiro-Wilk

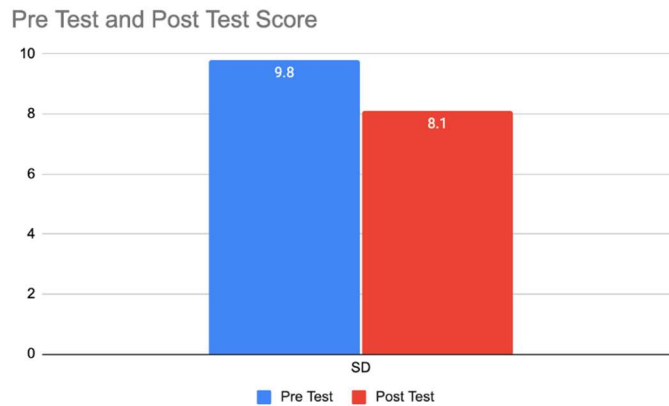
N	Statistik Shapiro-Wilk	Sig. (p)
40	0.977	0.578

Berdasarkan uji normalitas Shapiro-Wilk terhadap selisih skor *post-test* dan *pre-test*, diperoleh nilai $W = 0,977$ dan $Sig. = 0,578$. Hasil tersebut menunjukkan bahwa berdistribusi normal karena nilai signifikansi lebih besar dari 0,05.

Hasil simulasi menunjukkan peningkatan nilai rata-rata dari $M_{pre} = 60,9$ menjadi $M_{post} = 84,6$, disertai pergeseran kategori menuju tingkat kemampuan yang lebih tinggi serta penyempitan variasi capaian. Hasil ini selaras dengan tujuan intervensi VR sebagai media pra-laboratorium untuk memperkuat pemahaman konsep komponen mesin.

Tabel 2 Hasil Pre-Test dan Post-Test

Metrik	Pre-Test	Post-Test
N	40	40
Minimum	38	68
Maximum	79	100
Mean	60.9	84.6
Deviation Standard (SD)	9.8	8.1

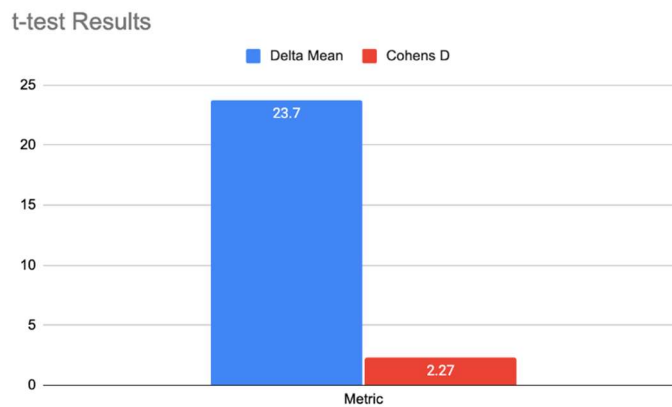


Gambar 2 Skor Standar Deviasi Pre-Test dan Post-Test

Gambar 2 menunjukkan nilai rata-rata dan simpangan baku sebelum dan sesudah perlakuan VR. Nilai rata-rata meningkat secara signifikan dari $M_{pre} = 60,9$ menjadi $M_{post} = 84,6$, disertai penurunan standar deviasi dari $SD_{pre} = 9,8$ menjadi $SD_{post} = 8,1$. Hasil ini menunjukkan adanya perbaikan komprehensif dalam pemahaman konsep yang disertai dengan semakin seragamnya capaian pembelajaran mahasiswa.

Tabel 3 Paired T-Test

Parameter	Nilai
Mean (post-pre)	23.7
SE (difference)	1.65
t (df=39)	14.36
p-value	<0.001
CI 95% (Mean)	[20.3, 27.1]
Cohen's d	2.27

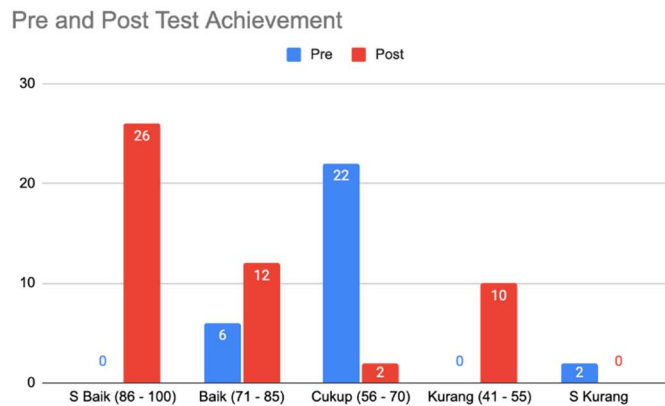


Gambar 3 Hasil T-Test

Gambar 3 menunjukkan hasil analisis inferensial menggunakan uji t berpasangan (*paired-samples t-test*). Selisih rata-rata antara skor *pre-test* dan *post-test* adalah $\Delta = 23,7$ poin dengan standar error sebesar 1,65. Hasil uji statistik menunjukkan nilai $t(39) = 14,36$; $p < 0,001$ dengan interval kepercayaan 95% [20,3; 27,1], serta nilai Cohen's $d = 2,27$ yang mengindikasikan pengaruh yang sangat besar. Hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan merupakan hasil nyata dari penerapan VR dalam pembelajaran. Dalam konteks pembelajaran, besarnya efek menunjukkan bahwa VR memiliki peranan penting dalam memperkuat proses dan hasil belajar mahasiswa.

Tabel 4 Kategori Kemampuan Mahasiswa

Kategori	Batas Skor	Pre (n)	Post (n)
Sangat Baik	86–100	0	26
Baik	71–85	6	12
Cukup	56–70	22	2
Buruk	41–55	10	0
Sangat Buruk	<40	2	0



Gambar 4 Kategori Kemampuan Mahasiswa

Tabel 3 membandingkan distribusi tingkat kemampuan mahasiswa sebelum dan setelah perlakuan VR. Data tersebut menunjukkan adanya perubahan dari kategori rendah ke tinggi, ditunjukkan dengan kebanyakan mahasiswa berada di kategori kemampuan “Baik” dan “Sangat Baik”. Berdasarkan data tersebut, tingkat kemampuan mahasiswa signifikan secara pedagogik karena VR berhasil meningkatkan pemahaman mahasiswa secara menyeluruh.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa VR 3D menghasilkan peningkatan pemahaman konseptual dan konsistensi yang jauh lebih besar dibandingkan temuan yang umumnya dilaporkan pada penggunaan video 2D atau pembelajaran modular konvensional. Studi-studi sebelumnya yang memanfaatkan media 2D untuk teori mesin atau visualisasi mekanik umumnya hanya melaporkan peningkatan sedang—sering kali

berada pada kisaran kenaikan rata-rata 5–15 poin, dengan variasi capaian setelah perlakuan yang lebih besar (misalnya simpangan baku/SD > 12). Sebagai contoh, (Javaid et al., 2024) melaporkan bahwa penggunaan video instruksional 2D di laboratorium teknik elektronika meningkatkan skor pengetahuan rata-rata sekitar 10–12 poin, namun banyak mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam memahami hubungan spasial dan angka kesalahan tetap tinggi pada tugas praktik langsung. Modul VR dalam penelitian ini memungkinkan peserta didik untuk memutar, membongkar, dan memanipulasi komponen virtual secara langsung dalam lingkungan 3D/360° sebelum bekerja di laboratorium fisik. Fitur ini memfasilitasi integrasi visual, kinestetik, dan auditori, sehingga menurunkan beban kognitif dan menyediakan umpan balik melalui kuis formatif. Penurunan simpangan baku post-test (dari 9,8 menjadi 8,1) juga menandakan meningkatnya pemerataan capaian, karena mahasiswa yang awalnya lebih lemah dapat mengejar ketertinggalan dari rekan-rekannya, ini merupakan hasil yang jarang dicapai melalui media video pasif atau buku teks. Selain itu, nilai Cohen's $d = 2.27$, jauh melampaui temuan dalam studi yang membandingkan VR dengan praktikum konvensional atau modul pembelajaran 2D, yang umumnya hanya melaporkan nilai d sekitar 0,5–1,0. Temuan ini menegaskan potensi VR dalam meningkatkan kesiapan mahasiswa dan menjamin keseragaman pemahaman dasar sebelum memasuki sesi praktikum langsung di bengkel. Sebaran skor yang lebih kecil mengindikasikan bahwa kinerja mahasiswa menjadi lebih homogen setelah menggunakan VR, yang menunjukkan bahwa perlakuan tersebut mampu meminimalkan kesenjangan tingkat pemahaman. Dari perspektif pedagogik, temuan ini menegaskan nilai penting VR dalam memastikan pemerataan pembelajaran dengan membantu mahasiswa yang pada awalnya memiliki pemahaman lebih lemah untuk mengejar ketertinggalan dari rekan-rekannya.

Penelitian sebelumnya pada tahun 2020–2024 secara umum menunjukkan dampak positif VR terhadap pelatihan di bidang teknik dan kedokteran, namun hanya sedikit studi yang secara spesifik berfokus pada penguasaan tingkat mikro pada komponen-komponen tertentu dalam program teknik mesin. Penelitian oleh (di Lanzo et al., 2020; Javaid et al., 2024) menggunakan VR untuk replika proses industri besar atau lingkungan laboratorium umum, bukan identifikasi dan fungsi komponen secara rinci. Penelitian ini mengisi celah tersebut dengan menyediakan bukti empiris, tidak hanya mengenai peningkatan pembelajaran yang signifikan secara statistik, tetapi juga konsistensi yang lebih baik, kemudahan penggunaan yang ditingkatkan, serta dasar konseptual yang kokoh untuk praktik. Temuan ini mendukung argumen bahwa VR, jika diterapkan sebagai alat pra-praktikum, dapat mengubah secara fundamental pendidikan teknik berbasis bengkel dan mengguguli metode tradisional maupun berbasis video dalam mempersiapkan mahasiswa teknik.

Tantangan visualisasi 2D, keterbatasan peralatan, dan waktu praktik yang terbatas mengakibatkan pemahaman awal yang tidak merata, sebagaimana diuraikan dalam pendahuluan proposal. Hal ini menuntut media imersif yang memungkinkan eksplorasi berulang secara aman sebelum praktik nyata (Hidajat, 2024). Peningkatan nilai rata-rata dan peningkatan kategori pada *post-test* menunjukkan bahwa VR efektif sebagai media "pre-lab" untuk menstandarisasi skema mental mahasiswa mengenai struktur dan fungsi komponen sebelum sesi praktik di bengkel, sejalan dengan argumen pedagogis untuk media yang disajikan dalam artikel referensi (Fauzi et al., 2021).

Interaksi dalam lingkungan 3D/360° mendukung integrasi antara nama, lokasi, dan fungsi komponen, mengurangi beban kognitif dalam proses visualisasi, serta meningkatkan kesiapan diagnosa ketika menghadapi tugas perakitan atau perbaikan (Abbas Shah et al., 2024). Hal ini tercermin dari peningkatan skor dan penyempitan sebaran capaian. Pola peningkatan tersebut selaras dengan temuan dalam literatur teknologi pendidikan, dengan kebaruan terletak pada penerapannya di ranah komponen mesin dan kesiapan praktikum dibandingkan konteks AR (Solehatin et al., 2023).

Nilai t yang signifikan dan ukuran efek d yang besar menunjukkan bahwa peningkatan tersebut bukan kebetulan, melainkan akibat dari interaksi VR yang terstruktur (eksplorasi bengkel virtual, presentasi komponen secara rinci dan kuis formatif) yang memfasilitasi elaborasi konseptual dan umpan balik langsung. Penurunan varians antar mahasiswa setelah perlakuan mengindikasikan konsistensi capaian dan potensi pengurangan kesalahan praktik pada sesi bengkel, sejalan dengan tujuan efisiensi dan keamanan yang ditekankan dalam luaran proposal (Astek et al., 2024).

VR dapat diintegrasikan sebagai modul pra-praktikum wajib untuk mengoptimalkan waktu penggunaan peralatan, mengurangi antrean komponen, serta memungkinkan sesi bengkel lebih fokus pada prosedur daripada pengenalan dasar yang membutuhkan waktu, sehingga pemanfaatan fasilitas menjadi lebih efisien. Kuis dalam VR berfungsi sebagai asesmen formatif yang memberi tahu dosen mengenai miskonsepsi spesifik (misalnya salah mengidentifikasi komponen), yang kemudian dapat diatasi melalui demonstrasi tertarget di bengkel (Javaid et al., 2024). Kebutuhan perangkat VR, literasi desain instruksional, serta fokus pengukuran jangka pendek menekankan perlunya studi lanjutan mengenai retensi, transfer ke kinerja praktik (akurasi perakitan, waktu penyelesaian, tingkat kesalahan), dan perbandingan antar media (VR dan video 2D serta demonstrasi langsung). Studi longitudinal dan desain kuasi-eksperimental multi-grup direkomendasikan untuk memperkuat validitas eksternal, mengikuti praktik pelaporan dan kehati-hatian metodologis sebagaimana ditunjukkan dalam artikel referensi.

4. Kesimpulan dan Saran

Pembelajaran berbasis *Virtual Reality* secara signifikan meningkatkan pemahaman mengenai struktur dan fungsi komponen mesin, yang tercermin dari peningkatan nilai rata-rata, peningkatan pada kategori capaian, serta konsistensi setelah perlakuan sebagai media pra-laboratorium yang efektif sebelum praktik bengkel.

Temuan ini mendukung efisiensi waktu dan alat, pengurangan potensi kesalahan praktik, serta penguatan asesmen formatif melalui kuis VR dan demonstrasi bengkel yang tertarget, sambil merekomendasikan evaluasi retensi, transfer ke kinerja praktik, serta perbandingan antar media di berbagai konteks institusi.

Daftar Pustaka

- Abbas Shah, S. F., Mazhar, T., Shahzad, T., Khan, M. A., Ghadi, Y. Y., & Hamam, H. (2024). Integrating educational theories with virtual reality: Enhancing engineering education and VR laboratories. *Social Sciences and Humanities Open*, 10(October), 101207. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2024.101207>
- Adithia Pradana, E., Putry, A. A., & Mursidayanti, S. (2023). Rancang Bangun Media Praktikum Mata Kuliah Sistem Operasi Dengan Kernel Virtual Machine Server

- Terintegrasi Dengan Sistem Akademik. *Indo-MathEdu Intellectuals Journal*, 4(2), 1237–1248. <https://doi.org/10.54373/imeij.v4i2.273>
- Astek, A., Sparkes, V., & Sheeran, L. (2024). Exploring the use of immersive virtual reality in adults with chronic primary pain: A scoping review. *Digital Health*, 10. <https://doi.org/10.1177/20552076241254456>
- Berni, A., & Borgianni, Y. (2020). Applications of virtual reality in engineering and product design: Why, what, how, when and where. *Electronics (Switzerland)*, 9(7), 1–29. <https://doi.org/10.3390/electronics9071064>
- Binti Fauzi, J., Iqbal Malik, S., Tawafak, R. M., Mathew, R., Jabbar, J., Al Farsi, G., Bin Mohd Yusof, A., Jumani Binti Fauzi, W., & Ezanee Bin Rusli, M. (2021). The Practicality of Virtual Reality Applications in Education: Limitations and Recommendations. *Journal of Hunan University (Natural Sciences)*, 48(7), 143–155.
- Casasnovas, M., Michaelides, C., Carrascosa-Zamacois, M., & Bellalta, B. (2024). Experimental evaluation of interactive Edge/Cloud Virtual Reality gaming over Wi-Fi using unity render streaming. *Computer Communications*, 226–227(January), 107919. <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2024.08.001>
- Charles Charles, Delvian Yosuky, Tio Sania Rachmi, & Eryc Eryc. (2023). Analisa Pengaruh Virtual Reality Terhadap Perkembangan Pendidikan Indonesia. *Journal Innovation In Education*, 1(3), 40–53. <https://doi.org/10.59841/inoved.v1i3.206>
- Debbaghi, F. Z., Rombaut, E., & Vanhaverbeke, L. (2024). Exploring the influence of a virtual reality experience on user acceptance of shared autonomous vehicles: A quasi-experimental study in Brussels. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 107(October), 674–694. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2024.10.003>
- di Lanzo, J. A., Valentine, A., Soheli, F., Yapp, A. Y. T., Muparadzi, K. C., & Abdelmalek, M. (2020). A review of the uses of virtual reality in engineering education. *Computer Applications in Engineering Education*, 28(3), 748–763. <https://doi.org/10.1002/cae.22243>
- Hidajat, F. A. (2024). Effectiveness of virtual reality application technology for mathematical creativity. *Computers in Human Behavior Reports*, 16(April), 100528. <https://doi.org/10.1016/j.chbr.2024.100528>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Dhall, S. (2024). Role of virtual reality in advancing education with sustainability and identification of Additive Manufacturing as its cost-effective enabler. *Sustainable Futures*, 8(November 2023), 100324. <https://doi.org/10.1016/j.sfr.2024.100324>
- Mustaghfaroh, K. S., Putra, F. N., & Ajeng Ananingtyas, R. S. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif dengan MDLC Untuk Materi Benda dan Perubahan Sifatnya. *Journal Automation Computer Information System*, 1(2), 100–109. <https://doi.org/10.47134/jacis.v1i2.22>
- Oje, A. V., Hunsu, N. J., & May, D. (2023). Virtual reality assisted engineering education: A multimedia learning perspective. *Computers & Education: X Reality*, 3(July 2022), 100033. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2023.100033>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers and Education*, 147(July 2019), 103778. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Singh, G., Mantri, A., Sharma, O., & Kaur, R. (2021). Virtual reality learning environment for

- enhancing electronics engineering laboratory experience. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1), 229–243. <https://doi.org/10.1002/cae.22333>
- Solehatin, S., Aslamiyah, S., Pertiwi, D. A. A., & Santosa, K. (2023). Augmented reality development using multimedia development life cycle (MDLC) method in learning media. *Journal of Soft Computing Exploration*, 4(1), 31–38. <https://doi.org/10.52465/josce.v4i1.118>
- Soliman, M., Pesyridis, A., Dalaymani-Zad, D., Gronfula, M., & Kourmpetis, M. (2021). The application of virtual reality in engineering education. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(6), 1–14. <https://doi.org/10.3390/app11062879>
- Srinivasa, A. R., Jha, R., Ozkan, T., & Wang, Z. (2021). Virtual reality and its role in improving student knowledge, self-efficacy, and attitude in the materials testing laboratory. *International Journal of Mechanical Engineering Education*, 49(4), 382–409. <https://doi.org/10.1177/0306419019898824>
- Topan Bahari, G., Heryana, N., & Ali Ridha, A. (2023). Pemanfaatan Teknologi Virtual Reality Untuk Pembelajaran Dalam Kelas Virtual Di Fasilkom Unsika Menggunakan Metode Multimedia Development Life Cycle (Mdlc). *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 7(2), 1378–1386. <https://doi.org/10.36040/jati.v7i2.6769>
- Zhao, X., Ren, Y., & Cheah, K. S. L. (2023). Leading Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) in Education: Bibliometric and Content Analysis From the Web of Science (2018–2022). *SAGE Open*, 13(3), 1–23. <https://doi.org/10.1177/21582440231190821>