

Pemanfaatan *Augmented Reality* (AR) untuk Visualisasi Komponen Perangkat Keras dan Aliran Data Komputer

Nurhadiansyah¹, Yayan Sofyan², Khojannatun³

^{1,3} Institut Prima Bangsa

² Universitas Kuningan

E-mail: nurhadiansyah311@gmail.com

Article Info

ABSTRACT

Article history:

Received 08 07, 2026

Revised 08 09, 2026

Accepted 08 09, 2026

Keywords:

Augmented Reality
Media Pembelajaran
Arsitektur Komputer
Aliran Data
MDLC

Pemahaman konsep abstrak pada mata kuliah Arsitektur dan Organisasi Komputer (AOK) seringkali menjadi kendala kognitif bagi mahasiswa. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji efektivitas media pembelajaran interaktif berbasis *Augmented Reality* (AR) di Institut Prima Bangsa. Media ini dirancang khusus guna memvisualisasikan komponen perangkat keras komputer berskala 1:1 dan menyimulasikan pergerakan aliran data secara dinamis. Penelitian pengembangan ini menggunakan metode *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) yang terdiri dari enam tahapan. Pengujian produk dilakukan terhadap 60 responden mahasiswa yang terbagi ke dalam kelas eksperimen dan kontrol. Hasil validasi ahli materi beserta media berturut-turut mencapai 91% dan 88%, sehingga dikategorikan sangat layak. Uji kebergunaan menggunakan *System Usability Scale* (SUS) memperoleh skor 76,5 (kategori dapat diterima). Hasil uji efektivitas menggunakan indeks N-Gain menunjukkan adanya peningkatan pemahaman kognitif mahasiswa sebesar 0,67 (kategori sedang) pada kelas eksperimen. Kesimpulannya, aplikasi AR ini terbukti sangat efektif sebagai solusi media pembelajaran yang interaktif untuk mengatasi keterbatasan laboratorium fisik.

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



1. PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi informasi pada abad ke-21 telah memicu disrupsi dan perubahan paradigma yang sangat masif dalam berbagai sektor kehidupan, tak terkecuali dalam bidang penyelenggaraan pendidikan tinggi [1]. Transformasi digital, penetrasi internet yang semakin meluas, dan integrasi perangkat teknologi canggih ke dalam proses pembelajaran kini bukan lagi sekadar pilihan alternatif, melainkan sebuah keharusan mutlak untuk merespons tuntutan era Revolusi Industri 4.0 dan era Society 5.0 [2]. Lembaga pendidikan tinggi dituntut untuk terus melakukan inovasi yang berkelanjutan dalam

menyajikan rancangan materi pembelajaran, guna memastikannya tidak hanya informatif secara teoretis, tetapi juga interaktif, berpusat pada pemelajar, dan sejalan dengan standar industri modern [3]. Dalam rumpun ilmu komputer, teknik informatika, maupun kependidikan teknologi informasi, salah satu mata kuliah yang menjadi fondasi wajib dan memegang peranan krusial adalah Arsitektur dan Organisasi Komputer (AOK) [4]. Mata kuliah ini secara spesifik membekali peserta didik dengan pemahaman mendasar yang komprehensif mengenai bagaimana sebuah sistem komputer dirancang dari sudut pandang arsitektur perangkat keras, serta bagaimana setiap komponen penyusun tersebut bekerja sama secara sistematis untuk mengeksekusi instruksi dan memproses data. Pemahaman yang kuat terhadap landasan perangkat keras ini merupakan prasyarat mutlak yang harus dikuasai sebelum pemelajar melangkah pada tingkatan materi yang lebih tinggi, seperti tata kelola sistem operasi, rekayasa jaringan, maupun perancangan perangkat lunak tingkat rendah yang membutuhkan optimasi sumber daya komputasi secara efisien.

Pada praktiknya di lingkungan akademik, khususnya di Institut Prima Bangsa, penyelenggaraan mata kuliah Arsitektur dan Organisasi Komputer seringkali berhadapan langsung dengan tantangan pedagogis yang cukup kompleks akibat karakteristik materi pembelajarannya yang sangat abstrak, teoretis, dan berskala mikro [5]. Sebagian besar mahasiswa di fase awal perkuliahan seringkali mengalami kesulitan kognitif yang signifikan dalam memvisualisasikan wujud nyata, tata letak fungsional, dan bagaimana komponen-komponen perangkat keras komputasi tersebut saling berinteraksi secara fisik di dalam sebuah sasis *motherboard* [6]. Di samping itu, pendekatan metode pembelajaran konvensional yang selama ini masih banyak diterapkan yang bertumpu pada representasi visual dua dimensi (2D) seperti diagram blok statis pada modul cetak atau gambar ilustrasi sederhana pada salindia presentasi terbukti memiliki keterbatasan inheren yang nyata dalam menyampaikan dimensi spasial secara akurat dan presisi [7]. Representasi statis tersebut membebani memori kerja mahasiswa karena menuntut mereka untuk mengonstruksi sendiri model mental yang dinamis dari gambar yang sama sekali tidak interaktif, sebuah proses yang sangat rentan memicu miskonsepsi teoretis [8]. Permasalahan ini semakin diperberat ketika dihadapkan pada keterbatasan jumlah perangkat keras fisik yang tersedia di laboratorium kampus, di mana praktik pembongkaran (*disassembly*) unit komputer secara masif dan berulang-ulang untuk seluruh populasi mahasiswa seringkali berisiko tinggi menyebabkan kerusakan komponen elektronik yang sensitif dan membutuhkan biaya pemeliharaan yang tidak sedikit.

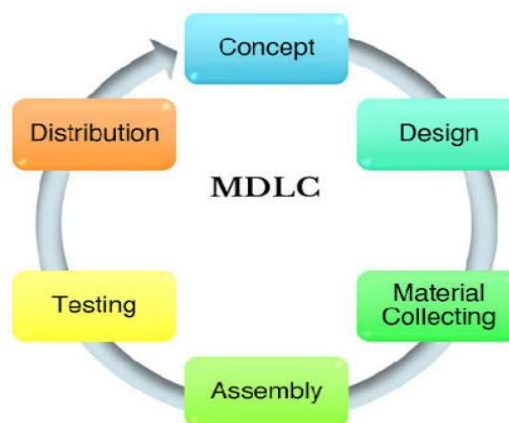
Untuk menjawab tantangan keterbatasan infrastruktur laboratorium fisik serta meniadakan kesenjangan representasi antara teori abstrak dan realitas perangkat keras, diperlukan sebuah terobosan inovasi pengembangan media pembelajaran yang sangat realistis dan beresolusi tinggi [9]. Pemanfaatan teknologi *Augmented Reality* (AR) hadir ke permukaan sebagai salah satu alternatif solusi media komputasi visual yang paling strategis, terutama karena kemampuannya yang unik dalam mensintesis dan memproyeksikan objek maya tiga dimensi (3D) secara mulus langsung ke dalam lingkungan fisik nyata pengguna [10]. Melalui perancangan aplikasi AR yang dikembangkan khusus untuk mata kuliah ini, target pedagogis utamanya adalah memastikan bahwa setiap mahasiswa di Institut Prima Bangsa dapat mengamati, membedah, dan mempelajari bentuk visual dari unit perangkat keras dengan detail tingkat tinggi, di mana objek maya yang diproyeksikan dibuat dengan proporsi, tekstur, dan skala yang sama persis menyerupai wujud komponen fisik aslinya [11]. Melalui pindaian layar gawai atau komputer tablet genggam, mahasiswa dapat menghadirkan wujud prosesor, memori RAM, kartu grafis, maupun unit catu daya dengan tingkat realisme fotorealistik tepat di atas meja belajar mereka sendiri tanpa harus menyentuh piranti keras aslinya. Pendekatan imersif ini memfasilitasi kebebasan eksplorasi secara penuh hingga sudut pandang 360 derajat secara aman, memungkinkan mahasiswa untuk mengenali spesifikasi fisik komponen secara mendalam layaknya memegang benda nyata, sekaligus sepenuhnya menghilangkan risiko kerusakan material laboratorium.

Lebih jauh dari sekadar menampilkan replikasi wujud komponen secara statis, aplikasi AR yang dikembangkan dalam penelitian ini juga dibekali dengan kapabilitas untuk menganimasikan proses pergerakan aliran data (*data flow*) antar perangkat secara dinamis [12]. Mekanisme internal yang selama ini tidak kasat mata secara langsung, seperti siklus pengambilan instruksi dari memori menuju bus data, hingga proses eksekusi di dalam unit logika aritmatika, dapat disimulasikan menggunakan representasi jalur spasial bercahaya yang beroperasi secara interaktif. Terobosan inovasi media pembelajaran AOK berbasis AR ini dirancang tidak hanya untuk menuntaskan hambatan pemahaman kognitif di dalam ruang lingkup kampus saja, melainkan membawa sebuah visi strategis jangka panjang yang krusial bagi profil lulusan perguruan tinggi [13]. Dengan membekali para mahasiswa di Institut Prima Bangsa pengalaman langsung dalam memanfaatkan dan menguasai teknologi visualisasi mutakhir secara praktis, mereka secara proaktif sedang dipersiapkan untuk menjadi agen pembaruan pendidikan di masa mendatang. Visi utamanya adalah ketika para mahasiswa ini nantinya telah lulus dan turun mengabdikan sebagai tenaga pendidik atau praktisi

di berbagai sekolah maupun institusi pendidikan daerah yang masih mengalami kondisi kekurangan infrastruktur laboratorium fisik yang memadai, mereka tidak akan kehilangan sarana pedagogis. Mahasiswa lulusan ini tetap mampu menyelenggarakan proses pengenalan perangkat keras dan perakitan komputer secara maksimal kepada siswa-siswi mereka murni dengan memanfaatkan teknologi AR pada gawai pintar [14]. Pada akhirnya, inovasi pengembangan ini bukan sebatas pencapaian pemenuhan luaran akademik, melainkan sebuah bentuk usaha nyata untuk mendemokratisasi akses pendidikan teknologi informasi berkualitas tinggi tanpa lagi dibatasi oleh kepemilikan fisik perangkat keras atau kesenjangan infrastruktur antar wilayah.

1. METODELOGI

Penelitian ini merupakan jenis penelitian dan pengembangan atau *Research and Development* (R&D) yang bertujuan menghasilkan media pembelajaran *Augmented Reality* (AR) interaktif [15]. Pengembangan produk ini menggunakan metode terstruktur *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Lokasi penelitian dilaksanakan secara terpusat di Institut Prima Bangsa dengan melibatkan responden sebanyak 60 mahasiswa dari program studi yang mewajibkan mata kuliah Arsitektur dan Organisasi Komputer (AOK). Sampel tersebut didistribusikan secara merata ke dalam dua kelompok, yakni 30 mahasiswa kelompok eksperimen (menggunakan AR) dan 30 mahasiswa kelompok kontrol (menggunakan presentasi *slide*).



Gambar 1 Multimedia Development Life Cycle (MDLC)

Berdasarkan ketentuan pengujian rekayasa perangkat lunak, alat-alat kecil tidak disertakan. Peralatan utama yang digunakan dalam proses pengembangan dan analisis dibatasi pada perangkat komputasi tingkat tinggi. Perangkat keras meliputi laptop *workstation* (prosesor Intel Core i7, RAM 32 GB, dan unit grafis RTX 3060 6GB) untuk memastikan akurasi proses *rendering* 3D berjalan secara *real-time*, serta telepon pintar Android dengan dukungan sensor *gyroscope* untuk pengujian fitur pelacakan ruang spasial [16]. Perangkat lunak utama

mencakup *Unity 3D Engine 2022.3 LTS* untuk perakitan antarmuka, *Vuforia Engine SDK* versi 10 untuk mengelola pemrosesan *Computer Vision* dan pemindaian penanda (*marker*), serta *Blender 3.5* untuk memodelkan wujud 3D agar memiliki proporsi ukuran komponen fisik yang sama persis [17].

Prosedur percobaan dirancang menggunakan pendekatan MDLC. Tahap pengonsepan difokuskan pada perumusan objektif sistem, yaitu simulasi pengenalan perangkat keras komputer dan mekanisme aliran datanya tanpa kehadiran fisik komponen, agar mahasiswa kelak dapat menggunakan aplikasi ini saat mengajar di sekolah yang kekurangan infrastruktur. Tahap perancangan dilakukan dengan merancang antarmuka sistem dan desain *marker*. Pada tahap pengumpulan materi, aset 3D sirkuit dan audio dikumpulkan. Tahap pembuatan diimplementasikan dengan menggabungkan objek 3D serta pemrograman logika aliran data (*data flow*) menggunakan *script C#* pada aplikasi. Selanjutnya, tahap pengujian divalidasi kelayakannya oleh ahli materi, disusul uji coba pengguna oleh mahasiswa. Tahap terakhir adalah pendistribusian produk secara utuh dalam bentuk aplikasi Android.

Cara mengolah hasil pengamatan menggunakan tiga instrumen kuantitatif. Evaluasi kepuasan antarmuka diukur menggunakan instrumen baku *System Usability Scale (SUS)* [18]. Tolok ukur kinerja kebergunaan (*usability*) dihitung dengan mengonversi total skor kuesioner; aplikasi dinyatakan dapat diterima (*acceptable*) jika rata-rata skor akhir mahasiswa bernilai minimal 68.

Tolok ukur kinerja media dalam meningkatkan pemahaman letak komponen dan logika mahasiswa diukur menggunakan instrumen *Pre-test* dan *Post-test*. Signifikansi hasil observasi ini dianalisis menggunakan uji komparatif parametrik. Tingkat efektivitas peningkatan pemahaman dievaluasi secara presisi melalui metode perhitungan *Normalized Gain (N-Gain)* [19], menggunakan rumusan baku berikut:

$$N - Gain = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_{maks} - S_{pre}}$$

Keterangan perhitungan N-Gain adalah S_{post} sebagai nilai pascates, S_{pre} sebagai nilai prates, dan S_{maks} mewakili nilai maksimum ideal. Tolok ukur kinerja media AR dalam menjawab permasalahan perkuliahan ini dinyatakan efektif apabila hasil akhir indeks N-Gain berada pada rentang kriteria minimum "Sedang" dengan skor capaian $0.3 < g < 0.7$.

2. HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1. Hasil Pengembangan Media *Augmented Reality*

Pengembangan media pembelajaran *Augmented Reality* (AR) untuk mata kuliah Arsitektur dan Organisasi Komputer (AOK) telah berhasil diselesaikan secara utuh berdasarkan enam tahapan *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC). Luaran akhir dari penelitian ini adalah sebuah sistem aplikasi berbasis sistem operasi Android yang dirancang khusus untuk memfasilitasi mahasiswa Institut Prima Bangsa dalam memvisualisasikan perangkat keras komputer tanpa harus membongkar komponen fisik laboratorium secara langsung. Antarmuka aplikasi dirancang dengan prinsip ergonomis, modern, dan intuitif. Pada menu utama, pengguna disajikan opsi yang sangat lugas untuk memulai proses pemindaian (*scanning*), melihat petunjuk penggunaan, dan mengakses informasi tekstual materi dasar komputasi. Pengalaman pengguna (*User Experience*) ditekankan pada kemudahan navigasi agar mahasiswa tidak mengalami disorientasi dan dapat langsung berfokus pada eksplorasi substansi materi.



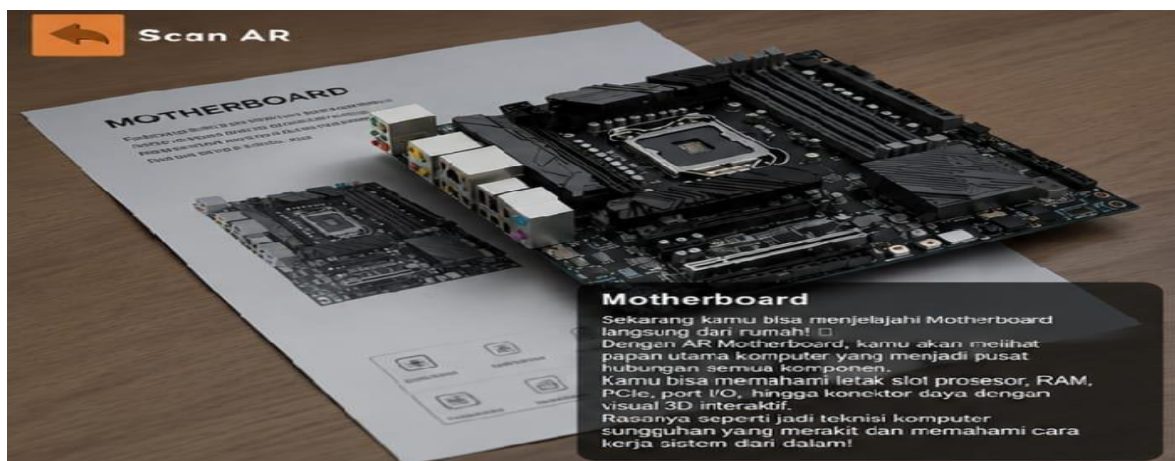
Gambar 1. Tampilan Antarmuka Menu Utama Aplikasi AR

Fitur krusial pertama dari aplikasi ini adalah proyeksi objek tiga dimensi (3D) komponen penyusun sistem komputer. Ketika mahasiswa mengarahkan kamera ponsel pintar mereka ke *marker* (penanda khusus) yang telah dicetak dan diletakkan di atas meja, sistem *Computer Vision* akan melacak pola penanda tersebut dan segera memproyeksikan wujud *motherboard*, prosesor, modul RAM, dan unit catu daya secara presisi. Visualisasi seluruh komponen ini dirancang menggunakan rasio skala 1:1, meniru wujud fisik aslinya dengan detail tekstur dan geometri tingkat tinggi.



Gambar 2. Proyeksi 3D Komponen Perangkat Keras Komputer Skala 1:1

Untuk menjawab tantangan abstraknya materi arsitektur, aplikasi ini mengimplementasikan fitur kedua yang menjadi unggulan utama, yakni animasi aliran data (*data flow*). Fitur ini mendemonstrasikan secara dinamis tahapan proses komputasi yang pada kenyataannya tidak kasat mata, seperti mekanisme pengambilan instruksi (*fetch*) dari modul memori menuju unit kontrol di dalam CPU. Representasi visual berupa partikel bercahaya atau vektor warna-warni yang bergerak melintasi bus sistem spasial memberikan pemahaman konkret mengenai bagaimana sebuah instruksi dieksekusi secara berurutan dan *real-time*.



Gambar 3. Simulasi Animasi Aliran Data (Data Flow) Interaktif Berbasis AR

2.2. Hasil Pengujian Kelayakan dan Kebergunaan

Sebelum diimplementasikan di ruang kelas secara luas, purwarupa produk AR ini harus melewati tahap pengujian *Alpha* oleh praktisi ahli. Hasil validasi ahli materi menunjukkan persentase kelayakan sebesar 91%, yang mengindikasikan bahwa proporsi bentuk komponen 3D dan logika mekanis aliran data yang disajikan sudah sangat akurat. Sementara itu, validasi ahli media memperoleh persentase 88%, menegaskan bahwa sistem aplikasi beroperasi dengan stabil, di mana proses *rendering* visual grafis AR berjalan sangat mulus tanpa menimbulkan penurunan laju bingkai (*frame drop*).

Pada tahap pengujian *Beta*, evaluasi kebergunaan (*usability*) dilakukan menggunakan instrumen baku *System Usability Scale* (SUS) kepada 60 responden mahasiswa. Hasil kalkulasi komprehensif menunjukkan bahwa rata-rata skor akhir SUS mencapai 76,5. Merujuk pada aturan standar evaluasi SUS global, perolehan nilai yang melebihi batas minimum 68 ini mengonfirmasi bahwa peranti lunak AR ini memiliki tingkat penerimaan (*acceptability*) yang sangat tinggi, tergolong *user-friendly*, serta seluruh fiturnya berhasil terintegrasi tanpa membingungkan mahasiswa penggunanya.

2.3. Pembahasan Efektivitas Pembelajaran

Tujuan fundamental dari implementasi media imersif ini adalah untuk mengukur efektivitasnya dalam mendongkrak pemahaman kognitif mahasiswa terhadap konsep arsitektur perangkat keras. Tolok ukur kinerja media dievaluasi menggunakan instrumen uji kognitif *Pre-test* dan *Post-test*. Hasil uji hipotesis *Independent Sample t-test* menunjukkan nilai signifikansi (2-tailed) sebesar $0.000 < 0.05$, yang membuktikan secara empiris bahwa terdapat perbedaan pemahaman yang sangat signifikan antara kelas eksperimen (pengguna media AR) berbanding lurus dengan kelas kontrol (pengguna metode konvensional).

Kalkulasi rasio peningkatan pemahaman dianalisis secara presisi menggunakan metrik *Normalized Gain* (N-Gain). Kelas eksperimen yang mengoperasikan media AR mencatatkan nilai rata-rata *Pre-test* sebesar 45,50 dan berhasil melonjak tajam pada *Post-test* menjadi 82,30, menghasilkan skor indeks N-Gain sebesar 0,67 (Kategori Peningkatan "Sedang" yang mendekati "Tinggi" pada rentang $0.3 < 0.7$). Sebagai data perbandingan, kelas kontrol yang hanya diajarkan menggunakan representasi gambar 2D statis hanya memperoleh skor rata-rata *Post-test* sebesar 65,40 dengan nilai N-Gain 0,35. Jarak perbedaan tingkat efektivitas ini

secara tegas membuktikan bahwa elemen interaktivitas spasial dan realisme teknologi AR berdampak masif terhadap penguatan retensi daya ingat mahasiswa.

Keberhasilan peningkatan kurva hasil belajar ini diyakini sangat dipengaruhi oleh kemampuan media AR dalam menurunkan beban kognitif (*cognitive load*). Proses mental untuk membayangkan letak pin prosesor atau jalur bus instruksi yang sebelumnya membebani daya imajinasi spasial kini telah dieksternalisasi seutuhnya menjadi proyeksi visual 3D yang konkret dan memikat. Mahasiswa dapat bereksplorasi membedah sasis komputer maya sepuasnya tanpa risiko memicu kerusakan pada perangkat keras fisik laboratorium.

Lebih dari sekadar pencapaian indikator akademik semesteran, temuan hasil penelitian ini memberikan implikasi strategis jangka panjang yang krusial bagi pencapaian visi lulusan di Institut Prima Bangsa. Dengan membekali mahasiswa keterampilan teknis dalam memanfaatkan sarana edukasi visual beresolusi tinggi ini, mereka telah dibekali sebuah solusi pedagogis yang bersifat portabel dan aplikatif. Ketika di masa mendatang para lulusan ini harus berkarir, mengabdikan, atau melakukan kegiatan pengajaran di berbagai sekolah daerah yang terhambat oleh minimnya infrastruktur atau ketidaktersediaan fasilitas laboratorium fisik komputer, peranti lunak AR ini dapat langsung diandalkan. Transfer pengetahuan praktis mengenai arsitektur mesin komputasi tetap akan terselenggara dengan standar yang tinggi, interaktif, dan komprehensif, murni hanya dengan memaksimalkan integrasi teknologi pada genggaman gawai mereka

3. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan media pembelajaran berbasis *Augmented Reality* (AR) untuk mata kuliah Arsitektur dan Organisasi Komputer melalui metode MDLC. Aplikasi interaktif ini terbukti mampu memvisualisasikan komponen perangkat keras 3D berskala nyata beserta animasi dinamis aliran datanya. Validasi ahli menyatakan produk sangat layak, didukung perolehan skor *usability* 76,5 yang menunjukkan tingkat penerimaan pengguna sangat baik. Pengujian efektivitas mencatatkan nilai N-Gain sebesar 0,67 pada kelas eksperimen, menegaskan peningkatan pemahaman kognitif mahasiswa secara signifikan. Kesimpulannya, inovasi AR ini efektif mengatasi kendala ketiadaan laboratorium fisik dan sukses membekali mahasiswa Institut Prima Bangsa dengan piranti pedagogis portabel untuk mengajar di sekolah minim infrastruktur pada masa depan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. D. Dziuban, C. R. Graham, P. D. Moskal, A. Norberg, dan N. Sicilia, "Blended learning: the new normal and emerging technologies," *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, vol. 15, no. 1, hal. 1-16, 2018.
- [2] A. W. Wardhana *et al.*, "Transformasi Pendidikan Tinggi di Era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0," *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi*, vol. 6, no. 2, hal. 112-125, 2021.
- [3] R. M. Felder dan R. Brent, "Designing and Teaching Courses to Satisfy the ABET Engineering Criteria," *Journal of Engineering Education*, vol. 92, no. 1, hal. 7-25, 2003.
- [4] W. Stallings, *Computer Organization and Architecture: Designing for Performance*, 11th ed. New York: Pearson, 2019.
- [5] D. A. Patterson dan J. L. Hennessy, *Computer Organization and Design RISC-V Edition: The Hardware Software Interface*. Cambridge: Morgan Kaufmann, 2020.
- [6] M. N. Borromeo *et al.*, "Challenges in teaching and learning computer architecture: A qualitative approach," *IEEE Transactions on Education*, vol. 62, no. 3, hal. 210-218, 2019.
- [7] Y. T. Wu, H. K. Wu, dan J. S. Krajcik, "A review of using augmented reality in education from 2011 to 2016," *Innovations in Education and Teaching International*, vol. 50, no. 3, hal. 214-225, 2013.
- [8] S. Cai, X. Wang, dan F. K. Chiang, "A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course," *Computers in Human Behavior*, vol. 37, hal. 31-40, 2014.
- [9] H. K. Wu, S. W. Lee, H. Y. Chang, dan J. C. Liang, "Current status, opportunities and challenges of augmented reality in education," *Computers & Education*, vol. 62, hal. 41-49, 2013.
- [10] R. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, vol. 6, no. 4, hal. 355-385, 1997.
- [11] P. A. B. Hariyanto dan K. H. S. A, "Pengembangan Media Pembelajaran Augmented Reality pada Pengenalan Perangkat Keras Komputer," *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 21, no. 2, hal. 145-152, 2022.
- [12] I. Radu, "Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 18, no. 6, hal. 1533-1543, 2014.
- [13] M. Akçayır dan G. Akçayır, "Advantages and challenges associated with augmented reality for education: A systematic review of the literature," *Educational Research Review*, vol. 20, hal. 1-11, 2017.

-
- [14] T. H. C. Chiang, S. J. H. Yang, dan G. J. Hwang, "Exploring the effects of augmented-reality-based mobile learning on students' access to education," *Interactive Learning Environments*, vol. 28, no. 1, hal. 22-38, 2020.
- [15] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2019.
- [16] A. S. Rosa dan M. Shalahuddin, *Rekayasa Perangkat Lunak Terstruktur dan Berorientasi Objek*. Bandung: Informatika Bandung, 2018.
- [17] I. Binanto, *Multimedia Digital Dasar Teori dan Pengembangannya*. Yogyakarta: Andi Publisher, 2010.
- [18] J. Brooke, "SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale," dalam *Usability Evaluation in Industry*, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, dan A. L. McClelland, Eds. London: Taylor and Francis, 1996, hal. 189–194.
- [19] R. R. Hake, "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses," *American Journal of Physics*, vol. 66, no. 1, hal. 64–74, 1998.