

IMPLEMENTASI AUGMENTED REALITY SEBAGAI MEDIA PERAGA INTERAKTIF PADA PEMBELAJARAN HUKUM MEKANIKA FLUIDA

Matthew Chandra^{1*}, Yohanis Malelak², Heni³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, STIKOM Uyelindo Kupang

^{1*}athaliachandra123@gmail.com, ²yohanismalelak32@gmail.com, ³heni81monika@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.46880/mtk.v12i2.6070>

ABSTRACT

Physics learning on Fluid Mechanics at State High School 1 Kupang faces obstacles due to students' difficulty in understanding abstract concepts using conventional methods. This study aims to design and implement an interactive Augmented Reality (AR) application on the Android platform to visualize 3D fluid mechanics objects. The development uses the Waterfall model, comprising needs analysis, UML design, implementation with Unity 3D and the Vuforia SDK (Marker-Based Tracking), and testing. System testing utilized Black Box testing for functionality and User Acceptance Test (UAT) questionnaires for user response, analyzed using descriptive quantitative methods on a sample of 30 students (n=30). The Black Box test yielded 100% validity without errors. Meanwhile, the UAT resulted in a feasibility score of 79.59%, categorized as "Good/Feasible". This research successfully produced a viable and innovative learning media application capable of increasing interactivity and students' conceptual understanding of Fluid Mechanics.

Keywords: Marker-Based Tracking, Vuforia, Unity 3D, 3D Visualization, Fluid Mechanics, Augmented Reality

I. PENDAHULUAN

Pendidikan sains, khususnya yang berfokus pada penalaran matematis dan keruangan seperti pemahaman hukum kekekalan energi mekanik serta dinamika mekanika fluida, sering kali menjadi tantangan kognitif yang besar bagi peserta didik, yang pada akhirnya berdampak langsung pada hasil belajar yang kurang optimal di dalam kelas [1]. Untuk menjembatani kesulitan visualisasi keruangan tersebut, teknologi *Augmented Reality* (AR) yang dirancang dan dibangun melalui perangkat lunak seperti Unity pada tingkat pemula (*beginner*) hadir sebagai jalan keluar yang menjanjikan untuk mengembangkan aplikasi pendidikan yang interaktif dan mudah dipahami [2].

Di SMA Negeri 1 Kupang, khususnya pada kelas XI, pembelajaran fisika pada materi mekanika fluida masih banyak menghadapi kendala akibat metode yang didominasi oleh pendekatan konvensional dan penggunaan buku teks dua dimensi. Karakteristik siswa yang saat ini merupakan generasi digital menuntut adanya inovasi visual interaktif yang mampu menjembatani konsep abstrak menjadi lebih relevan dan mudah dipahami.

Implementasi AR ini telah terbukti sangat aplikatif dan adaptif dari berbagai penelitian terdahulu di berbagai jenjang pendidikan. Sebagai contoh, AR digunakan dalam memvisualisasikan struktur anatomi biologi yang rumit agar lebih hidup dan menarik bagi siswa di tingkat Sekolah Menengah Pertama/SMP [3]. Pendekatan visual komprehensif melalui teknologi canggih ini juga sangat bermanfaat dalam ranah pendidikan inklusif, seperti yang diterapkan untuk pelatihan dan pendampingan pembuatan media pembelajaran bahasa isyarat guna memfasilitasi komunikasi siswa tunarungu di Sekolah Luar Biasa/SLB [4]. Pemanfaatan AR yang menyajikan pengalaman interaktif ruang 3D ini diyakini mampu secara signifikan meningkatkan motivasi belajar, terutama karena inovasi ini sangat selaras dengan karakteristik peserta didik generasi *digital native* [5]. Khasiat dari pendekatan interaktif ini pun terbukti relevan bagi anak usia dini, di mana AR dapat digunakan untuk

menghidupkan media bergambar agar pengenalan berbagai jenis satwa menjadi pengalaman yang jauh lebih nyata dan imersif [6]. Lebih jauh lagi, di tingkat vokasi atau pendidikan tinggi maritim dan keteknikan, media pembelajaran AR ini difungsikan secara spesifik untuk memecahkan kebuntuan imajinasi spasial pada mata kuliah fisika terapan [7].

Secara konseptual dan fundamental, AR merupakan terobosan komputasi visual yang menyatukan elemen maya baik berupa objek dua dimensi maupun tiga dimensi ke dalam lingkungan fisik secara *real-time*, yang kini banyak diulas dan diterbitkan dalam berbagai literatur sebagai basis utama media pembelajaran masa depan [8]. Penerapan teknologi AR di dalam lingkungan akademis memberikan keunggulan mutlak berupa simulasi benda-benda maya yang dapat diproyeksikan secara nyata ke hadapan pengguna, menjadikannya sebagai instrumen media yang amat efektif untuk merangsang cara berpikir logis peserta didik [9].

Dalam kajian rekayasa teknik dan sains terapan yang lebih spesifik, AR sangat diandalkan untuk membedah fenomena fisis yang mustahil diamati langsung oleh mata telanjang, seperti pada proses pengujian alat ukur aliran fluida dan analisis mendalam mengenai kerugian energi akibat gesekan air di dalam jaringan instalasi pipa tertutup [10]. Konsep pemahaman spasial yang amat kompleks ini pada dasarnya berakar kuat dari kemampuan kognitif awal individu dalam mengidentifikasi dimensi bangun ruang geometri, sebuah kompetensi penalaran dasar yang terbukti dapat ditingkatkan secara drastis melalui intervensi media pengenalan berbasis AR [11]. Pada tingkat aplikasi mekanika dan otomotif, penalaran spasial serta perhitungan dinamika fluida ini menjadi sangat esensial untuk mengevaluasi parameter kritis operasional di lapangan, seperti peninjauan pengaruh laju aliran fluida pelumas oli untuk mendongkrak unjuk kerja mesin [12]. Untuk mewujudkan simulasi tersebut, akademisi keteknikan mulai mengintegrasikan aplikasi *mobile AR* guna memfasilitasi pembelajaran mekanika teknik secara terpadu [13].

Lebih jauh dalam membedah konsep dasar mekanika fluida sebagai inti materi pembelajaran pada penelitian ini, pemahaman yang komprehensif memegang peranan vital. Salah satu pilar utamanya adalah hukum Archimedes yang menjelaskan fenomena gaya apung, penjabaran mengenai hukum Pascal pada sistem hidrolik tertutup, serta asas Bernoulli pada perubahan tekanan aliran fluida dinamis. Ketiga hukum tersebut menuntut visualisasi yang presisi agar tidak membebani kognitif siswa dengan hafalan matematis semata.

Agar seluruh simulasi 3D dan animasi pergerakan fluida tersebut dapat diproyeksikan secara akurat ke dalam dunia nyata, sistem arsitektur AR sangat bergantung pada stabilitas metode pelacakan, di mana pendekatan *marker-based tracking* menjadi metode yang paling dapat diandalkan. Penggunaan modul pelacakan visi komputer terkemuka, seperti Vuforia engine, memungkinkan pengembang untuk melakukan integrasi yang mulus dengan antarmuka Unity 3D [14]. Sinergi antara pemodelan simulasi fisika yang akurat dan kecerdasan teknologi pelacakan optik yang stabil inilah yang pada akhirnya mentransformasi sebuah gawai pintar biasa menjadi laboratorium virtual tanpa batas yang lebih inklusif dan mudah diakses [15].

Meskipun pemanfaatan AR telah banyak diulas dalam literatur terbaru, sebagian besar aplikasi edukasi terdahulu masih berfokus pada ranah biologi anatomi atau pendidikan dasar. Kajian yang secara spesifik mengintegrasikan AR dengan simulasi fisika dinamis pada tingkat mekanika fluida SMA masih sangat terbatas. Kekurangan studi sebelumnya terletak pada minimnya interaktivitas untuk simulasi yang menuntut komputasi pelacakan tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan (*gap*) tersebut dengan memberikan kontribusi berupa perancangan aplikasi media peraga berbasis *marker-based tracking* yang tidak hanya memvisualisasikan objek statis, tetapi juga memungkinkan pengguna mengendalikan simulasi secara interaktif.

II. METODOLOGI

A. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini merupakan kerangka kerja sistematis yang dirancang untuk memandu seluruh proses penyelesaian masalah dari awal hingga akhir guna memastikan hasil produk memiliki landasan ilmiah yang kuat. Penelitian ini mengadaptasi alur kerja dari metode pengembangan perangkat lunak model Waterfall. Alur ini bersifat sekuensial dan terstruktur, yang mengharuskan penyelesaian satu tahapan secara matang sebelum melangkah ke tahapan berikutnya. Langkah-langkah pengembangan sistem dijabarkan secara mendalam sebagai berikut:

1. Identifikasi dan Perumusan Masalah

Prosedur penelitian diawali dengan melakukan kegiatan pengamatan langsung (observasi) terhadap proses kegiatan belajar mengajar pada mata pelajaran Fisika di kelas XI SMA Negeri 1 Kupang. Pada tahap ini, peneliti mengidentifikasi kendala kognitif yang dihadapi oleh peserta didik serta keterbatasan variasi media peraga interaktif yang digunakan di sekolah. Melalui proses tanya jawab (wawancara) dengan guru pengampu mata pelajaran, dirumuskan masalah utama mengenai

tingginya tingkat kesulitan siswa dalam mengimajinasikan konsep abstrak pada materi Mekanika Fluida. Hasil identifikasi ini menjadi fondasi awal atas urgensi perancangan alat peraga visual modern berbasis teknologi spasial.

2. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Tahap selanjutnya adalah melakukan kajian pustaka (studi literatur) dengan menghimpun teori pendukung dari berbagai buku teks ilmiah, dokumentasi teknis, dan jurnal-jurnal penelitian terdahulu yang relevan. Fokus pengumpulan informasi diarahkan pada landasan teori mekanika fluida, arsitektur *Augmented Reality*, metode *Marker-Based Tracking*, serta tata cara pengoperasian *game engine Unity 3D* dan *Vuforia SDK*. Bersamaan dengan pengumpulan data teoretis fisika (rumus, hukum, dan contoh kasus), peneliti juga menghimpun berbagai aset multimedia referensi seperti model geometris 3D, tekstur digital, dan rancangan desain penanda visual (*marker*).

3. Analisis Kebutuhan Sistem

Pada fase analisis, peneliti mengidentifikasi spesifikasi teknis dan operasional yang dibutuhkan agar aplikasi dapat berjalan optimal. Analisis dibagi menjadi kebutuhan fungsional (meliputi kemampuan kamera AR mendeteksi target, sistem rendering objek 3D secara *real-time*, interaktivitas tombol simulasi fisika, dan penyajian kuis) serta kebutuhan non-fungsional (meliputi stabilitas grafis minimum 60 FPS pada perangkat seluler, optimasi kompresi ukuran file .apk, dan pembatasan performa agar aplikasi dapat berjalan lancar pada perangkat berspesifikasi standar).

4. Perancangan Sistem

Tahapan perancangan dieksekusi dengan pendekatan berorientasi objek menggunakan diagram *Unified Modeling Language* (UML) yang mencakup *Usecase*, *Activity*, dan *Sequence Diagram* sebagai artefak desain. Pada tahap ini dirancang antarmuka grafis (UI/UX) untuk kelima halaman utama aplikasi agar navigasi tersusun intuitif.

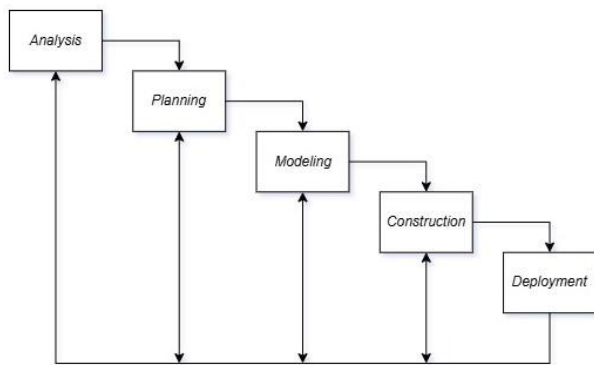
5. Implementasi Sistem

Tahap implementasi menerjemahkan cetak biru desain menjadi prototipe aplikasi. Peneliti memodelkan aset 3D di dalam Blender, mendaftarkan marker ke Vuforia Target Manager, dan mengintegrasikannya menggunakan Unity 3D beserta Android SDK. Seluruh logika kontrol disatukan melalui skrip C# sebelum dikompilasi menjadi berkas instalasi Android (.apk).

6. Pengujian Sistem, Populasi, Dan Instrumen

Populasi penelitian adalah siswa kelas XI SMA Negeri 1 Kupang. Pemilihan sampel menggunakan teknik *purposive sampling* yang menghasilkan 30 responden ($n=30$) dengan kriteria inklusi, telah menerima materi Mekanika Fluida, memiliki *smartphone* Android, dan mendapat izin pelaksanaan dari sekolah. Pengumpulan data *User Acceptance Test* (UAT) menggunakan kuesioner berskala Likert 5 poin yang telah melalui uji reliabilitas menggunakan metode *Cronbach's Alpha* (reliabel jika $\alpha > 0.60$). Pengujian fungsional internal menggunakan *Black Box Testing*. Kriteria "lulus" (valid) ditetapkan jika sistem merespons input tanpa memicu galat (*bug*) atau *force close*. Pengujian ini dieksekusi pada spesifikasi standar: *smartphone* OS Android 10, RAM 4GB, kamera 12 MP, di bawah kondisi

pencahayaan ruangan normal untuk menjamin stabilitas pelacakan *Vuforia*.



Gambar 1. Metode Waterfall

B. Algoritma Dan Framework

Untuk memperjelas cara kerja arsitektur sistem *Augmented Reality* (AR) yang dibangun, aplikasi ini sangat bergantung pada stabilitas metode pelacakan visi komputer (*computer vision*). Sistem mengadopsi pendekatan *Marker-Based Tracking* yang diintegrasikan melalui modul pelacakan terkemuka, yaitu *Vuforia Engine SDK*, di dalam ekosistem *game engine* *Unity 3D*. Skema kerangka kerja dan algoritma pelacakan optik sistem ini beroperasi melalui tahapan komputasi yang berkesinambungan sebagai berikut.

1. Inisialisasi Komponen dan Sensor Kamera.

Proses algoritma dimulai ketika pengguna memilih menu simulasi AR pada antarmuka aplikasi. Sistem akan memanggil komponen *ARCamera* yang bertugas mengambil alih kendali sensor kamera belakang pada *smartphone* pengguna secara *real-time*.

2. Pemindaian Visual (*Scanning*) dan Ekstraksi Fitur.

Kamera yang telah aktif akan menyorot lingkungan fisik secara langsung untuk mencari keberadaan *marker* (lembar penanda fisik bertekstur kontras tinggi yang telah dicetak). Pada fase ini, algoritma *Vuforia* bekerja secara instan di latar belakang untuk memindai gambar dan mengekstraksi titik-titik kontras unik (*feature points*) dari pola penanda tersebut.

3. Validasi Pola dan Pencocokan Basis Data Luring.

Kumpulan titik fitur (*feature points*) yang berhasil diekstraksi kemudian dikirim ke dalam sistem untuk divalidasi. Sistem akan mencocokkan pola titik-titik tersebut dengan matriks data gambar yang sebelumnya telah didaftarkan dan dikompilasi ke dalam basis data luring (*offline database*) aplikasi. Karena menggunakan basis data luring, proses pencocokan ini berlangsung sangat cepat tanpa memerlukan koneksi internet.

4. Kalkulasi Estimasi Spasial (*Tracking*).

Ketika algoritma pelacakan berhasil mengonfirmasi kecocokan pola gambar dan mengunci koordinat titik fitur penanda, sistem akan menghitung estimasi posisi spasial secara matematis. Kalkulasi ini bertujuan untuk menentukan posisi (koordinat X, Y, Z) serta rotasi perangkat pengguna secara akurat terhadap letak *marker* di dunia nyata.

5. Rendering Objek 3D dan Eksekusi Interaksi.

Sebagai langkah akhir, perangkat lunak *Unity 3D* akan langsung menambatkan serta memproyeksikan (*rendering*) objek maya tiga dimensi (berupa alat peraga

fisika) tepat di atas koordinat *marker* fisik tersebut. Stabilitas algoritma pelacakan ini memastikan objek 3D dapat dirender dengan presisi tanpa mengalami pergeseran visual (*jittering*). Bersamaan dengan itu, sistem juga memuat seluruh logika kontrol interaksi fisika yang dikendalikan oleh skrip pemrograman C#, yang memungkinkan pengguna untuk memanipulasi jalannya simulasi (seperti menjalankan animasi pergerakan fluida) melalui tombol *Play* dan *Pause* pada layar.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Antarmuka Pengguna

Implementasi antarmuka dirancang dengan mengedepankan aspek konsistensi visual, kegunaan (*usability*), dan kesederhanaan navigasi guna meminimalisir beban kognitif tambahan bagi siswa saat mengoperasikan aplikasi. Desain grafis aplikasi menggunakan perpaduan palet warna poligon yang modern dengan tata letak tombol yang ergonomis. Untuk menjamin performa yang optimal pada perangkat seluler kelas menengah ke bawah, transisi antar-halaman dioptimalkan agar berjalan ringan tanpa memicu terjadinya penumpukan memori *RAM* yang dapat menyebabkan *stuttering* atau *delay*. Sistem antarmuka yang berhasil dibangun dan diintegrasikan dalam proyek ini dikelompokkan ke dalam beberapa halaman utama dengan fungsi spesifik sebagai berikut:

1. Halaman Menu Utama (*Dashboard*):

Berfungsi sebagai pusat navigasi awal aplikasi. Halaman ini dirancang bersih dengan menampilkan logo resmi institusi STIKOM Uyelindo Kupang di bagian atas, diikuti dengan judul aplikasi "AR Hukum Mekanika Fluida". Di bagian tengah, terdapat lima tombol kontrol vertikal utama yang memiliki fungsi transisi ke scene lain, yaitu tombol Mulai AR, Materi, Panduan, Tentang, dan Keluar.

2. Halaman Menu Materi:

Menyajikan direktori pustaka digital bagi siswa untuk memilih topik hukum fisika yang ingin dipelajari sebelum melakukan eksperimen virtual. Struktur menu materi ini memanfaatkan ruang layar secara efisien dengan skema tata letak berbasis baris (*row layout*). Setiap tombol topik dikemas dalam panel persegi dengan sudut melengkung (*rounded corner*) dan dibedakan lewat gradasi warna tematik: Hukum Archimedes menggunakan gradasi biru tua (merepresentasikan elemen air), Hukum Pascal menggunakan gradasi oranye (merepresentasikan elemen mekanika hidrolik), dan Asas Bernoulli menggunakan gradasi hijau (merepresentasikan elemen aliran udara).

3. Halaman Materi:

Apabila pengguna menekan salah satu topik pada menu materi, sistem akan memunculkan halaman penjelasan teoretis yang komprehensif mengenai hukum fisika yang dipilih. Halaman ini memaparkan bunyi hukum secara tekstual dengan tipografi yang bersih dan nyaman dibaca agar siswa memiliki bekal pemahaman konseptual sebelum beralih ke simulasi visual 3D.

4. Halaman Panduan:

Halaman ini dirancang sebagai jembatan instruksional untuk meminimalisir kesalahan operasional (*user error*). Antarmuka halaman menampilkan lima langkah panduan

operasional secara sekuensial yang mengedukasi siswa mengenai cara mempersiapkan *marker* fisik, mengaktifkan kamera, hingga melakukan pemindaian dengan benar. Halaman ini juga dilengkapi dengan kotak tips tambahan mengenai pentingnya aspek pencahayaan ruangan dan kondisi kedataran kertas penanda.

5. Halaman Tentang Aplikasi:

Menyajikan informasi dasar mengenai tujuan akademis dari pengembangan aplikasi, versi software, serta identitas pembuat sistem sebagai bentuk dokumentasi proyek ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 2. Halaman Menu Utama

B. Implementasi Augmented Reality

Fitur utama visualisasi interaktif pada aplikasi ini dibangun dengan mengandalkan integrasi antara komponen ARCamera dan *ImageTarget* dari *Vuforia Engine SDK* di dalam ekosistem *Unity 3D*. Proses pemindaian dan pelacakan spasial diaktifkan saat kamera belakang *smartphone* menyorot lembar penanda (*marker*) fisik yang telah dicetak. Pada saat itu, algoritma *computer vision* dari *Vuforia* akan bekerja di latar belakang secara instan untuk mengekstraksi titik-titik kontras unik (*feature points*) dari tepi gambar penanda.

Segera setelah pola penanda berhasil diidentifikasi dan divalidasi oleh basis data luring (*offline database*) aplikasi, sistem akan menghitung estimasi posisi spasial perangkat secara akurat dan memproyeksikan objek 3D peraga fisika tepat di atas penanda fisik tersebut secara *real-time*. Logika kontrol interaksi hukum fisika dikendalikan menggunakan skrip pemrograman C# yang ditanamkan pada tiap-tiap komponen *GameObject* di *Unity*. Siswa dapat mengontrol jalannya simulasi virtual melalui tombol interaksi *Play* dan *Pause* yang tersemat pada layar perangkat.



Gambar 3. Marker Terdeteksi

C. Pengujian Black Box

Pengujian fungsionalitas eksternal dilakukan melalui metode *Black Box Testing* dengan menguji jalannya program secara langsung pada perangkat target (*on-device testing*). Pengujian ini berfokus pada validasi input berupa sentuhan pengguna pada layar (*touch event*) untuk memastikan bahwa setiap elemen navigasi memberikan *output* respon yang sesuai dengan rancangan global sistem.

Aspek-aspek yang diuji meliputi keberhasilan proses instalasi file APK pada sistem operasi Android, transisi navigasi antarmuka dashboard, inisialisasi sensor kamera belakang oleh mesin *Vuforia*, penanganan hilangnya deteksi marker, keandalan tombol kontrol animasi (*Play/Pause*), hingga fungsi penutupan program secara aman. Hasil dari seluruh skenario uji fungsional yang dieksekusi menunjukkan status Valid (100% Berhasil) tanpa ditemukannya kesalahan logika pemrograman, kegagalan rendering grafis, maupun masalah interupsi sistem (*force close*).

Tabel 1. Pengujian *Black Box*

No	Kasus Uji	Input Pengguna	Output Sistem	Status (Lulus/Gagal)
1	Instalasi APK	Pemasangan file .apk berhasil tanpa error pada Android	Aplikasi terpasang sempurna tanpa <i>error</i>	Lulus
2	Navigasi Menu	Semua tombol <i>dashboard</i> berfungsi pindah scene secara tepat	Tampilan antarmuka berpindah ke <i>scene</i> yang dituju secara tepat	Lulus
3	Kamera & Sensor AR	Kamera <i>Vuforia</i> aktif dan mendeteksi <i>marker</i> secara instan	Kamera <i>Vuforia</i> aktif dan mendeteksi <i>marker</i> secara instan	Lulus

4	Kontrol Animasi	Tombol <i>Play</i> dan <i>Pause</i> berhasil mengendalikan objek 3D	Objek 3D merespons dengan menjalankan atau menghentikan animasi simulasi	Lulus
5	Keluar Aplikasi	Tombol <i>Keluar</i> menghentikan program dengan aman	Program berhenti dan sistem tertutup dengan aman	Lulus

D. Pengujian Pengguna

Dari pengolahan data hasil kuesioner UAT terhadap 30 responden, diperoleh analisis kuantitatif deskriptif berupa rata-rata skor indikator yang konsisten pada sebaran positif. Secara akumulatif, diperoleh total skor empiris sebesar 1.552 dari skor ideal 1.950, yang menghasilkan nilai persentase kelayakan 79,59%. Mengacu pada ambang batas penilaian ilmiah, persentase ini berada kuat pada kriteria "Baik / Layak". Hasil ini sejalan dengan temuan literatur sebelumnya yang membuktikan bahwa pemanfaatan visualisasi AR secara signifikan mampu mendongkrak minat dan kemudahan pemahaman siswa dibanding metode konvensional.

Tabel 2. Pengujian Pengguna

No	Indikator / Pernyataan Kuesioner	Total Skor (n=30)	Persentase	Kriteria
1	Tampilan antarmuka (UI) aplikasi mudah dipahami dan intuitif.	115	76,67 %	Layak
2	Tata letak menu dan tombol di aplikasi tersusun rapi dan jelas.	121	80,67 %	Sangat Layak
3	Proses navigasi dan perpindahan antar halaman dalam aplikasi berjalan lancar dan cepat.	122	81,33 %	Sangat Layak
4	Aplikasi tidak mengalami <i>lag</i> atau <i>crash</i> saat digunakan.	115	76,67 %	Layak
5	Kecepatan aplikasi dalam mendeteksi <i>marker/target</i> AR sudah sangat baik.	117	78,00 %	Layak
6	Objek 3D yang dimunculkan tampak realistis dan memiliki kualitas visual yang tinggi.	115	76,67 %	Layak

7	Objek AR tetap stabil dan tidak bergoyang saat perangkat digerakkan.	126	84,00 %	Sangat Layak
8	Warna dan pencahayaan objek AR terlihat jelas dan sesuai dengan konteks fisika.	118	78,67 %	Layak
9	Aplikasi AR ini membantu saya memahami konsep Fisika yang abstrak menjadi lebih nyata.	120	80,00 %	Sangat Layak
10	Penggunaan media AR membuat materi pembelajaran Fisika menjadi lebih menarik.	124	82,67 %	Sangat Layak
11	Aplikasi AR ini memotivasi saya untuk belajar Fisika lebih mendalam.	119	79,33 %	Layak
12	Konten dan informasi yang disajikan dalam objek AR sesuai dengan materi pembelajaran.	124	82,67 %	Sangat Layak
13	Saya akan merekomendasikan aplikasi AR ini sebagai alat bantu belajar Fisika kepada teman lain.	116	77,33 %	Layak
14	Akumulasi Penilaian 13 Indikator	1.552	79,59 %	Layak

E. Kelebihan Dan Kekurangan Sistem

Implementasi aplikasi media pembelajaran interaktif ini secara nyata membawa keunggulan utama dalam mengkonkritkan konsep-konsep hukum fisika teoretis yang abstrak menjadi bentuk representasi visual tiga dimensi (3D) dinamis yang sangat akurat. Proyeksi simulasi visual ini berhasil menjembatani keterbatasan media ajar tradisional sehingga siswa dapat memvisualisasikan dan memahami relasi spasial antar-variabel sains yang sejatinya tidak kasatmata di dunia nyata, seperti fenomena gaya apung pada Hukum Archimedes, mekanisme kerja transmisi tekanan hidrolik pada Hukum Pascal, hingga perbedaan tekanan statis pada Asas Bernoulli. Kelebihan ini didukung pula dengan tingkat kegunaan navigasi (*usability*) yang tinggi melalui desain antarmuka ramah pengguna (*user-friendly*).

Penempatan tombol kontrol vertikal yang seragam serta ketersediaan tombol kembali (*back button*) yang konsisten di setiap halaman membuat alur eksplorasi aplikasi menjadi sangat intuitif bagi siswa maupun pendidik. Selain itu, keandalan operasional aplikasi ini

diperkuat oleh kemampuan luring penuh (*offline capability*), di mana seluruh arsitektur basis data penanda (*marker database*) dan aset poligon grafis telah dikompilasi secara permanen ke dalam file instalasi lokal .apk, sehingga program dapat diakses seratus persen di ruang kelas tanpa bergantung pada konektivitas jaringan internet.

Meskipun menawarkan berbagai keunggulan visual dan operasional, sistem ini tidak luput dari batasan teknis yang menjadi kekurangannya, terutama pada sensitivitas pelacakan kamera Vuforia terhadap intensitas cahaya di lingkungan sekitar. Proses pemindaian dan ekstraksi titik fitur gambar (*feature points*) sangat bergantung pada pencahayaan yang optimal, sehingga kondisi ruangan yang terlalu redup (*low light*) atau adanya pantulan cahaya lampu yang menyilaukan (*glare*) pada permukaan kertas penanda dapat mendisrupsi kinerja sistem dan menyebabkan objek 3D mengalami getaran visual (*jittering*) bahkan hilang dari layar. Kerapuhan fisik geometri dari lembar kertas penanda juga menjadi tantangan tersendiri, sebab kerusakan seperti kertas yang terlipat (*warping*), lecek, sobek, atau basah akan memicu kegagalan sensor optik dalam mengenali target gambar. Lebih lanjut, beban komputasi *computer vision* dan rendering grafis yang berjalan simultan secara *real-time* menuntut alokasi memori RAM serta daya baterai yang cukup besar (*hardware overhead*), yang berpotensi memicu peningkatan suhu berlebih (*overheating*) jika dioperasikan pada *smartphone* kelas bawah (*low-end*) dalam durasi panjang. Terakhir, cakupan konten edukasi di dalam aplikasi ini masih sangat terbatas karena hanya difokuskan secara spesifik pada submateri Mekanika Fluida dasar dan belum mengakomodasi materi Fisika kelas XI secara menyeluruh.

Di samping kekurangan teknis, penelitian ini memiliki keterbatasan pada aspek metodologis. Penggunaan sampel kecil ($n = 30$) menimbulkan potensi bias respons sosial akibat efek kebaruan (*novelty effect*), di mana siswa cenderung memberikan evaluasi positif pada teknologi imersif yang baru pertama kali mereka operasikan di kelas. Selain itu, prototipe aplikasi ini masih terbatas pada representasi mekanika fluida dasar.

F. Kontribusi Keilmuan

Penelitian ini secara eksplisit memberikan tiga kontribusi utama: Kontribusi Teoretis berfokus pada visualisasi statis biologi, penelitian ini membawa kebaruan (*novelty*) dengan merepresentasikan relasi spasial yang dinamis pada hukum mekanika fluida, memperkaya literatur model kognitif fisika untuk siswa SMA, kemudian kontribusi metodologis adalah menegaskan efektivitas integrasi modul *Marker-Based Tracking Vuforia* dan *Unity 3D* dalam menghasilkan sistem pelacakan luring yang stabil tanpa membebani komputasi gawai berspesifikasi standar, serta kontribusi praktis adalah menghasilkan purwarupa aplikasi siap pakai (.apk) yang langsung dapat diimplementasikan pendidik sebagai media ajar komplementer.

IV. KESIMPULAN

Aplikasi media pembelajaran interaktif berbasis *Augmented Reality* Mekanika Fluida untuk kelas XI telah

berhasil dirancang dan diimplementasikan. Berdasarkan uji *Black Box Testing*, seluruh fitur antarmuka dan kontrol simulasi dinyatakan 100% valid. Evaluasi penerimaan melalui *User Acceptance Test* pada 30 siswa menghasilkan skor empiris 1.552 dari 1.950, menempatkan aplikasi ini pada kategori kelayakan "Baik" dengan persentase 79,59%. Hal ini membuktikan efektivitas media peraga AR dalam memvisualisasikan objek abstrak fisika. Ke depannya, penelitian ini merekomendasikan pengujian efektivitas hasil belajar menggunakan desain eksperimen dan kontrol (*pre-test* dan *post-test*), serta integrasi modul aplikasi ke dalam *Learning Management System* (LMS) sekolah.

V. REFERENSI.

- [1] J. Abidin, "Pengaruh Penguasaan Hukum Kekekalan Energi Mekanik Terhadap Hasil Belajar Fisika Materi Pokok Mekanika Fluida," *Jurnal ESTUPRO*, vol. 5, no. 2, 2020.
- [2] Aini A, Prasetyowati D, Prayito M, Andri Nugroho A, and Ariyanto L, Pengembangan Aplikasi *Augmented Reality* Menggunakan Unity. Semarang: Universitas PGRI Semarang, 2021. Accessed: Mar. 25, 2026. [Online]. Available: <https://eprints.upgris.ac.id/790/>
- [3] Y. Aprilinda *et al.*, "Implementasi *Augmented Reality* untuk Media Pembelajaran Biologi di Sekolah Menengah Pertama," vol. 11, 2020, Accessed: Nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.ubl.ac.id/index.php/explore/article/view/1591>
- [4] P. DI Dan Pendampingan Media Pembelajaran Bahasa Isyarat Slb Negeri *et al.*, "Pelatihan Dan Pendampingan Media Pembelajaran Bahasa Isyarat Di Slb Negeri 1 Palopo," *Jurnal Pengabdian Pada Masyarakat METHABDI*, vol. 3, no. 1, 2023, doi: 10.46880/methabdi.Vol3No1.pp37-43.
- [5] Y. Dela Carolina, "*Augmented Reality* sebagai Media Pembelajaran Interaktif 3D untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Siswa Digital Native," *Ideguru: Jurnal Karya Ilmiah Guru*, vol. 8, no. 1, pp. 10–16, Oct. 2022, doi: 10.51169/ideguru.v8i1.448.
- [6] H. Hartana and R. D. Mandasari, "Implementasi *Augmented Reality* dalam Pembelajaran Interaktif Pengenalan Hewan bagi Anak Usia Dini," *Digital Transformation Technology*, vol. 4, no. 2, pp. 1318–1324, Mar. 2025, doi: 10.47709/digitech.v4i2.5617.
- [7] H. Kiswanto, J. Teknika, P. Maritim Negeri Indonesia, P. I. Luhur, B. Duwur Semarang, and K. penulis, "Pengembangan Media Pembelajaran *Augmented Reality* pada Mata Kuliah Fisika Terapan Berdasarkan *IMO Modul Course 7.04 The Development of Augmented Reality Learning Media for Applied Physics Course Based on IMO Modul Course 7.04*," *Jurnal Penelitian Pendidikan Fisika*, vol. 9, no. 4, 2024, doi: 10.36709/jipfi.v9i4.123.
- [8] Mahartika I *et al.*, *Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality*. Jakarta: Yayasan Kita Menulis, 2023. Accessed: Mar. 25, 2026. [Online]. Available: <https://repository.unugiri.ac.id:8443/id/eprint/9286/>

- [9] K. Nistrina, "Penerapan Augmented Reality Dalam Media Pembelajaran," 2021.
- [10] M. A. M. A. Ronal, B. Alauddin, P. Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, and U. Pejuang Republik Indonesia Makassar Makassar, "Analisa Pengujian Alat Ukur Aliran Fluida Dan Gesekan Fluida Dalam Pipa Pada Alat Mekanika Fluida Air," 2025. Accessed: Nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://journal.politeknikbosowa.ac.id/TMT/article/view/790>
- [11] I. P. Sari, I. H. Batubara, A. H. Hazidar, and M. Basri, "Pengenalan Bangun Ruang Menggunakan *Augmented Reality* sebagai Media Pembelajaran," *Hello World Jurnal Ilmu Komputer*, vol. 1, no. 4, pp. 209–215, Dec. 2022, doi: 10.56211/helloworld.v1i4.142.
- [12] G. Utomo, R. Ridha, and C. Yunisa Syaifulloh, "Pengaruh Laju Aliran Oli Mesin Guna Meningkatkan Unjuk Kerja Mesin," vol. 7, no. 2, 2022, Accessed: Nov. 28, 2025. [Online]. Available: <https://jurnal.untag-sby.ac.id/index.php/MEKANIKA/issue/view/472>
- [13] Waskito, A. Fortuna, F. Prasetya, R. E. Wulansari, R. A. Nabawi, and A. Luthfi, "Integration of Mobile Augmented Reality Applications for Engineering Mechanics Learning with Interacting 3D Objects in Engineering Education," *International Journal of Information and Education Technology*, vol. 14, no. 3, pp. 354–361, 2024, doi: 10.18178/ijiet.2024.14.3.2057.
- [14] M. Wibowo, *Membuat Video Game Dengan 3D Unity*. Semarang: Yayasan Prima Agus Teknik, 2022. Accessed: Mar. 25, 2026. [Online]. Available: <https://share.google/ZqbiwrMEurYPbW7ZD>
- [15] A. H. Yusup *et al.*, "Literature Review: Peran Media Pembelajaran Berbasis *Augmented Reality* Dalam Media Sosial," 2023, doi: 10.59818/jpi.v3i5.575.