

Implementasi Teknologi *Virtual Reality* (VR) untuk Edukasi Anatomi Struktur Tulang dan Sendi Kaki Manusia

Nikolas Liyantara^{1*}, William², Dustin Tiovino³, Putu Rangga Deva Mertha⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Sistem dan Teknologi Informasi, Institut Teknologi dan Bisnis Sabda Setia

*nikolas.liyantara@itbss.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Kata Kunci:

Anatomii;
Realitas Virtual;
Tulang Kaki;
SDLC;
Media Belajar.

ABSTRAK

Media pembelajaran anatomi yang bersifat konvensional umumnya kurang mampu membantu siswa memahami struktur spasial secara menyeluruh, terutama pada bagian tubuh yang kompleks seperti tulang dan sendi kaki. Penelitian ini bertujuan merancang sebuah aplikasi *Virtual Reality* (VR) yang bersifat interaktif serta menguji efektivitasnya dalam meningkatkan pemahaman siswa SMA terhadap materi anatomi tersebut. Aplikasi dikembangkan menggunakan model *SDLC Waterfall*, sementara evaluasinya dilakukan melalui desain one group pretest-posttest. Instrumen penelitian mencakup tes pilihan ganda dan analisis umpan balik untuk menilai peningkatan pengetahuan serta pengalaman pengguna. Sepuluh siswa jurusan IPA berpartisipasi dalam pengujian. Hasil studi menunjukkan peningkatan nilai rata-rata dari 31 menjadi 67 setelah penggunaan aplikasi, menandakan adanya peningkatan pemahaman yang signifikan. Umpan balik peserta mengungkapkan bahwa VR membantu visualisasi tiga dimensi secara lebih jelas dan menarik, meskipun masih ditemui kendala teknis pada aspek antarmuka. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa VR memiliki potensi kuat sebagai media pembelajaran anatomi yang lebih efektif dibandingkan metode tradisional

ABSTRACT

Traditional anatomy learning resources often lack the ability to support comprehensive spatial understanding, particularly for complex structures such as the bones and joints of the lower limb. This study aims to design an interactive Virtual Reality (VR) application and evaluate its effectiveness in enhancing high school students' comprehension of foot and leg anatomy. The application was developed using the SDLC Waterfall model, and its impact was assessed through a one-group pretest-posttest design. Evaluation instruments included a multiple-choice test and qualitative feedback to measure conceptual learning gains and user experience. Ten science-track students participated in the study. Findings revealed a substantial increase in the average score, rising from 31 to 67 after using the VR application, which indicates a significant improvement in anatomical understanding. Participant feedback also highlighted that VR offered clearer and more engaging three-dimensional visualization, although some technical limitations in interface design were noted. These results demonstrate the strong potential of VR as an effective educational tool for anatomy learning compared to traditional methods.

Submitted : 28 Oktober 2025

Revised : 31 Oktober 2025

Accepted : 19 November 2025

Published : 18 Desember 2025

*Corresponding Author

Copyright ©2025 Technology, Business and Entrepreneurship (TECHBUS)

Published by LPPM Institut Teknologi dan Bisnis Sabda Setia, Pontianak, Kalimantan Barat, Indonesia.

1. PENDAHULUAN

Pemahaman tentang struktur anatomi tubuh manusia merupakan bagian penting dalam pembelajaran biologi di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA). Materi anatomi membutuhkan kemampuan spasial untuk memahami hubungan antara bagian-bagian tubuh secara utuh dan tiga dimensi. Namun, berbagai studi menunjukkan bahwa siswa kerap mengalami kesulitan dalam memahami konsep spasial anatomi, terutama pada struktur yang kompleks seperti sistem rangka tubuh bagian bawah, termasuk tulang dan sendi kaki (Khotimah dkk., 2024). Hal ini juga didukung oleh temuan (Khotimah dkk., 2024) yang menunjukkan peningkatan signifikan pemahaman mahasiswa keperawatan terhadap anatomi tulang setelah menggunakan media VR dalam proses pembelajaran. Ketidakterampilan siswa dalam memvisualisasikan bentuk dan posisi struktur anatomi sering kali disebabkan oleh keterbatasan media pembelajaran yang tersedia di sekolah (Dewi dkk., 2025).

Pada umumnya, proses pembelajaran anatomi di SMA masih bergantung pada media konvensional seperti buku teks, gambar dua dimensi, serta model plastik. Media-media ini tidak interaktif dan terbatas dalam hal eksplorasi visual, sehingga kurang mampu memberikan pengalaman belajar yang mendalam (Dewi dkk., 2025). Guru juga menghadapi tantangan dalam menyampaikan materi anatomi secara menyeluruh akibat terbatasnya alat bantu visual yang dapat merepresentasikan bentuk tiga dimensi tubuh manusia secara akurat. Sementara itu, metode pembelajaran berbasis simulasi komputer masih belum banyak diterapkan di lingkungan pendidikan menengah, meskipun teknologi tersebut memiliki potensi besar dalam meningkatkan pemahaman siswa (Tarmizi dkk., 2020). Menurut (Khotimah dkk., 2024), media pembelajaran berbasis VR yang mereka kembangkan untuk mata kuliah anatomi telah terbukti sangat layak digunakan, dan dinilai efektif oleh para mahasiswa berdasarkan hasil uji kelayakan.

Melihat kondisi tersebut, diperlukan pendekatan pembelajaran yang lebih interaktif dan mampu merepresentasikan objek secara tiga dimensi guna mendukung pemahaman spasial siswa. Salah satu inovasi teknologi yang menjanjikan dalam dunia pendidikan adalah Virtual Reality (VR). Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk menjelajahi lingkungan virtual tiga dimensi secara interaktif, sehingga memberikan pengalaman belajar yang lebih imersif, kontekstual, dan menyenangkan. (Chen dkk., 2020) menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis VR dengan visualisasi 3D dan fitur interaktif mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap struktur tubuh manusia secara signifikan. Hal serupa disampaikan oleh (Sasongko dkk., 2023), yang menyatakan bahwa VR dapat menjadi modalitas pelengkap yang efektif dalam pembelajaran anatomi, sejalan dengan tuntutan pembelajaran abad ke-21 yang menekankan digitalisasi, kreativitas, dan eksplorasi mandiri.

Sebagai respon terhadap tantangan tersebut, studi ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi sebuah aplikasi pembelajaran berbasis Virtual Reality (VR) yang dirancang secara khusus untuk menjelaskan struktur tulang dan sendi kaki manusia. Bagian tubuh ini dipilih karena memiliki kompleksitas spasial yang tinggi dan sering kali sulit dipahami melalui media pembelajaran konvensional.

Aplikasi yang dikembangkan dalam penelitian ini ditujukan untuk:

- a. digunakan oleh siswa SMA sebagai media pembelajaran interaktif yang mendukung peningkatan pemahaman konsep anatomi secara lebih efektif dan menyenangkan.
- b. Harapannya, hasil dari pengembangan ini dapat menjadi alternatif sekaligus pelengkap dalam pembelajaran anatomi di lingkungan pendidikan menengah. Selain itu, pengembangan media berbasis VR ini diharapkan mampu memberikan kontribusi nyata terhadap inovasi pembelajaran biologi, serta menjadi rujukan dalam integrasi teknologi imersif di lingkungan pendidikan abad ke-21.

2. KAJIAN TEORITIS

2.1 Virtual Reality (VR)

Virtual Reality merupakan sebuah teknologi imersif yang memanfaatkan berbagai sistem grafis computer untuk membawa kondisi kognitif pengguna ke dalam lingkungan virtual yang interaktif. Dalam lingkungan tersebut, pengguna bisa mendapat pengalaman multi indra dengan berinteraksi secara visual dengan berbagai objek yang ada di ruangan virtual, objek-objek ini bisa berupa objek 2d ataupun 3d, yang bisa dipegang, dipindahkan, didengar, disentuh, serta diamati dari berbagai perspektif, sehingga memungkinkan pengguna untuk berinteraksi secara langsung dan alami seolah-olah sedang berinteraksi di dunia nyata (Than & Yap, 2024).

2.2 Anatomi

Anatomi berasal dari kata “*anatome*” yang berasal dari bahasa Yunani yang memiliki arti “memotong atau memisahkan”. Anatomi adalah cabang ilmu kedokteran yang mempelajari tentang struktur tubuh manusia dan hubungan antar bagiannya. Anatomi merupakan pelajaran yang krusial karena menjadi sebuah dasar dalam berbagai pendidikan kedokteran. Pengetahuan terkait anatomi yang akan tetap sama dalam pengembangannya dapat membantu terhadap pemeriksaan dan diagnosis pasien, serta komunikasi sesama profesi kesehatan (Ekasangga dkk., 2023).

2.3 SDLC Waterfall

SDLC adalah tahapan-tahapan pekerjaan yang dilakukan oleh analisis sistem dan *programmer* dalam membangun sistem informasi dan metode dalam mengembangkan sistem tersebut dari tahapan awal hingga akhir. Tahapan pengerjaan pada SDLC waterfall harus secara berurutan dan tidak dapat maju ke tahapan selanjutnya jika tahapan sebelumnya belum selesai (Ngara dkk., 2023).

3. METODOLOGI

3.1 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Rekayasa Perangkat Lunak (RPL) dengan model pengembangan *Waterfall*, yang terdiri dari lima tahapan utama: analisis kebutuhan, desain, implementasi, pengujian, dan pemeliharaan. Aplikasi yang dikembangkan berupa media pembelajaran anatomi tulang dan sendi kaki manusia berbasis Virtual Reality (VR) yang dapat digunakan secara interaktif oleh peserta didik.

Selain proses pengembangan perangkat lunak, penelitian ini juga menerapkan pendekatan evaluatif untuk mengetahui efektivitas aplikasi yang dikembangkan. Desain evaluasi yang digunakan adalah *one group pretest-posttest*

Implementasi Teknologi Virtual Reality (VR) untuk Edukasi Anatomi Struktur Tulang dan Sendi Kaki Manusia, Liyantara, dkk.

design, di mana responden diberikan *pretest* sebelum mencoba aplikasi, kemudian *posttest* setelah menggunakan aplikasi. Tujuannya adalah untuk mengetahui peningkatan pemahaman konseptual peserta terhadap materi anatomi kerangka tulang dan sendi kaki manusia. Populasi dalam penelitian ini adalah siswa/i jurusan IPA dari berbagai SMA, dengan teknik pengambilan sampel *purposive sampling*, yang mana melibatkan 10 orang sebagai partisipan.

3.2 Instrumen Penelitian

Instrumen utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah soal tes pilihan ganda yang berjumlah 20 soal yang dibuat berdasarkan pada buku "DASAR-DASAR ANATOMI" referensi dari buku "DASAR-DASAR ANATOMI (EDISI KEDUA)" karya Richard L. Drake, PhD, FAAA. Tes ini digunakan dalam *pretest* dan *posttest* untuk mengukur tingkat pemahaman siswa sebelum dan sesudah menggunakan aplikasi.

Selain itu, pada lembar *post-test* disediakan kolom terbuka untuk mengisi kritik dan saran dari peserta terkait penggunaan aplikasi. Masukan ini digunakan sebagai bahan evaluasi kualitatif untuk mengetahui kelebihan dan kekurangan aplikasi dari sudut pandang pengguna. Adapun pertanyaan-pertanyaan yang kami gunakan untuk *pre-test* dan *post-test* seperti yang ada pada tabel 1.

Tabel 1. Soal Pengujian Untuk Pre-test dan Post-test

No.	Soal
1.	Sustentaculum tali pada tulang calcaneus berfungsi untuk...
2.	Bagian distal fibula yang membentuk sisi luar pergelangan kaki disebut...
3.	Merupakan tonjolan besar yang ada di sisi dalam (medial) bagian bawah tulang paha (femur), bersendi langsung dengan tulang tibia bagian atas, secara tidak langsung menjadi salah satu permukaan utama yang membentuk sendi lutut, adalah ciri dari...
4.	Sendi yang terbentuk antara tibia, fibula, dan talus disebut...
5.	Apa fungsi utama dari tulang femur?
6.	Permukaan tulang anterior calcaneus yang bersendi dengan cuboideum dan yang akan membentuk sendi yang disebut Articulatio, yaitu...
7.	Berapa ruas tulang phalanges yang dimiliki ibu jari kaki (hallux)?
8.	Tulang sesamoid terbesar dalam tubuh manusia adalah...
9.	Tulang yang menjadi penopang utama saat berdiri dan membentuk bagian tumit adalah...
10.	Tonjolan besar pada femur tempat menempelnya otot paha disebut...
11.	Tulang kering yang menjadi penopang utama berat tubuh di tungkai bawah disebut...
12.	Apa fungsi utama dari linea aspera pada femur?
13.	Bagian tubuh manakah yang dimaksud dengan "regio cruralis"?
14.	Sendi manakah yang memungkinkan gerakan dorsifleksi (menekuk kaki ke atas) dan plantarfleksi (menunjuk jari kaki ke bawah seperti saat berdiri jinjit)?
15.	Tonjolan segitiga di bagian anterior atas tibia yang dapat diraba dari luar disebut...
16.	Seorang atlet merasa nyeri saat melakukan gerakan ekstensi lutut setelah jatuh dan mengalami benturan di bagian anterior atas tibia. Berdasarkan lokasi anatomi tersebut, bagian yang kemungkinan cedera adalah...
17.	Semua jari kaki memiliki tiga ruas tulang (phalanges), kecuali...
18.	Tulang manakah yang memiliki bagian proksimal berbentuk bola (caput) dengan lekukan kecil fovea capitis di tengahnya untuk perlekatan ligamen?
19.	Tulang yang lebih kecil dari tibia, terletak di sisi lateral tungkai bawah, dan tidak menopang berat badan adalah...
20.	Apa fungsi utama tulang patella?

Instrumen tambahan yang digunakan dalam proses pengembangan aplikasi terdiri dari beberapa perangkat lunak yang berperan penting dalam membangun keseluruhan sistem berbasis Virtual Reality (VR). Pengembangan aplikasi dilakukan menggunakan *Unity* sebagai game engine utama untuk merancang lingkungan virtual, mengelola objek 3D, serta memprogram interaksi yang terjadi selama proses pembelajaran. Proses penulisan kode dilakukan melalui *Visual Studio Code*, dengan bahasa pemrograman C# sebagai bahasa utama yang digunakan untuk mengimplementasikan logika aplikasi, kontrol interaksi VR, sistem penjelasan objek, serta fitur mini-game penyusunan tulang. Selain itu, *Figma* digunakan sebagai alat pendukung untuk merancang antarmuka pengguna (UI), mencakup layout menu, ikon interaktif, serta elemen visual edukatif yang kemudian diintegrasikan ke dalam *Unity* untuk menghasilkan tampilan yang konsisten dan mudah dipahami pengguna.

Instrumen-instrumen tersebut digunakan untuk memastikan bahwa aplikasi VR yang dikembangkan memenuhi kebutuhan fungsional pembelajaran anatomi, baik dari sisi visualisasi 3D, interaksi pengguna, maupun kenyamanan

navigasi. Kombinasi perangkat lunak ini memungkinkan proses pengembangan yang terstruktur serta menghasilkan aplikasi yang mampu memberikan pengalaman belajar yang imersif dan efektif bagi peserta didik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

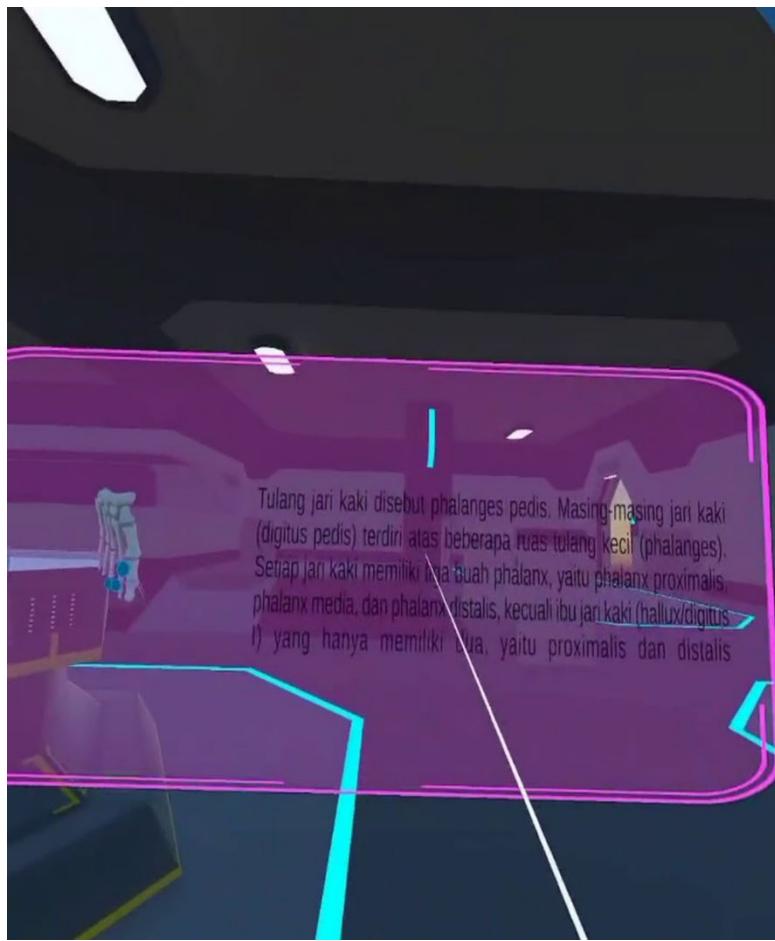
Berikut adalah tampilan dari game VR yang telah kami kembangkan, pada Gambar berisi tampilan ketika user sudah meletakkan tulang ke tempat yang sudah sediakan, kemudian penjelasan mengenai tulang yang di letakkan akan keluar.



Gambar 1: Tampilan Depan Saat Pemain Memegang Tulang Kaki.

Tabel 2 Use Case Scenario Gambar 1

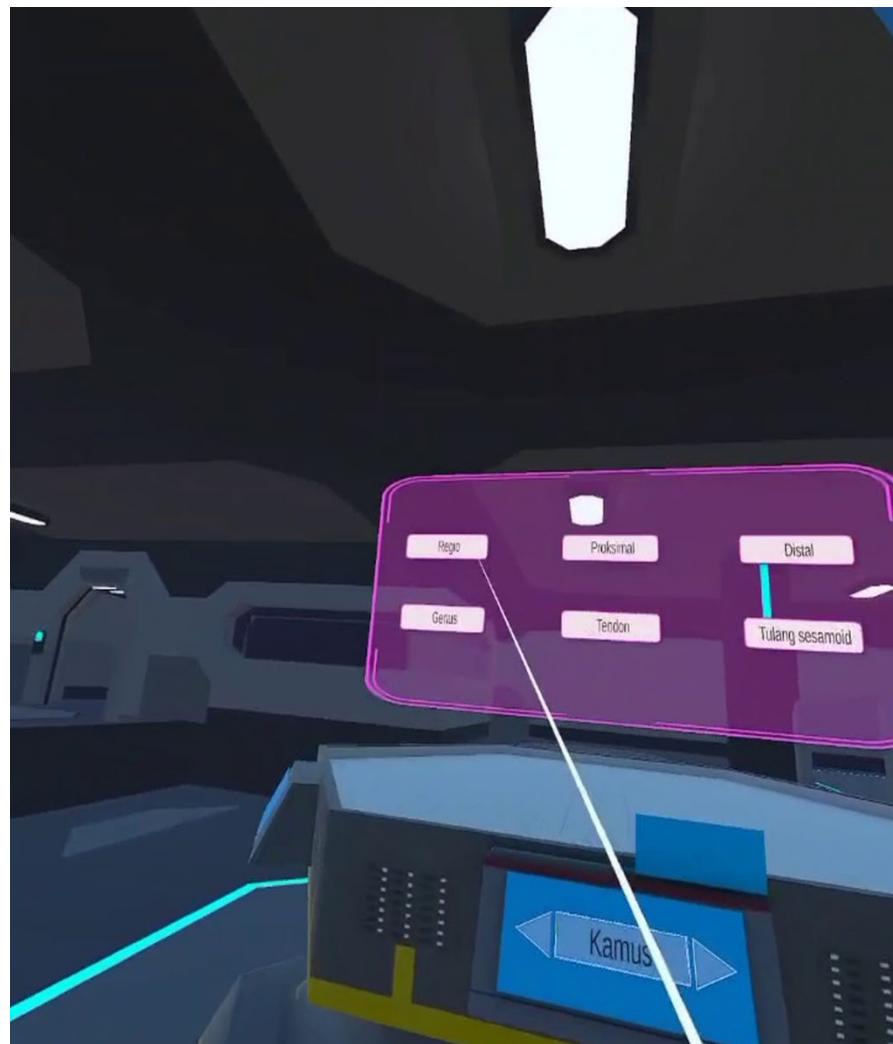
Title	Scene Kaki.
Deskripsi	Player akan menggerakkan bagian kaki untuk melihat kondisi kaki.
Pre - condition	Player memasuki game.
Basic Flow	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi menampilkan lingkungan virtual berupa ruang laboratorium anatomi dan meja dengan tulang-tulang kaki yang belum terpasang. • Player akan mengamati bagian-bagian tulang kaki yang sudah disediakan. • Player akan mengambil tulang kaki yang sudah disediakan.
Post - Condition	Ketika tulang diambil, player akan menggerakkan kaki ke beberapa sudut pandang



Gambar 2: Tampilan Saat Kaki di Attach ke Canva.

Tabel 3 Use Case Skenario Gambar 2

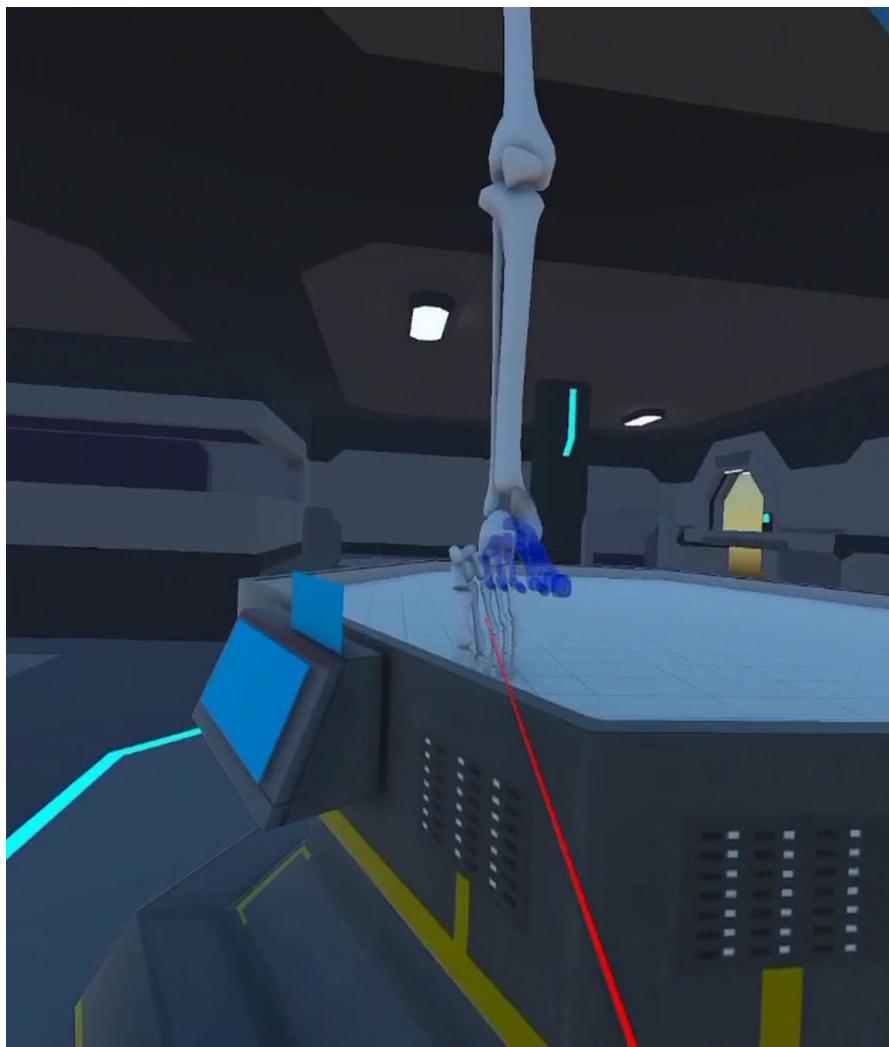
Title	Scene Kaki.
Deskripsi	Player akan mempelajari struktur tulang dan sendi kaki manusia.
Pre - condition	Player memasuki game.
Basic Flow	<ul style="list-style-type: none"> Player akan mengambil tulang kaki yang sudah disediakan. Saat tulang yang sudah disediakan digrab, maka sistem akan memunculkan sebuah tempat untuk menaruh tulangnya. Player bisa lepas pasang tulangnya agar muncul penjelasan lain.
Post - Condition	Ketika tulangnya sudah di letakkann pada tempatnya maka otomatis sistem akan menampilkan penjelasannya.



Gambar 3: Tampilan Saat Player di Scene Kamus

Tabel 4 Use Case Skenario Gambar 3

Title	Scene kamus.
Deskripsi	Player akan mempelajari mengenai beberapa pengertian yang tidak dijelaskan di scene kaki.
Pre - condition	Player masuk ke scene kamus.
Basic Flow	Player menekan button yang sudah disediakan.
Post - Condition	Penjelasan dari button yang sudah dipilih akan keluar



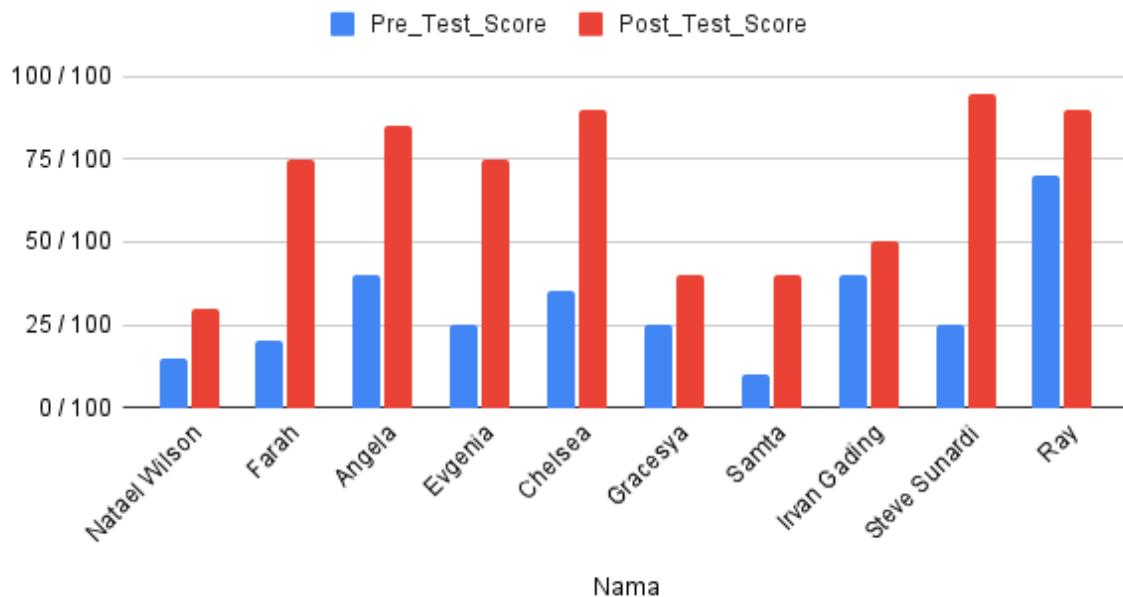
Gambar 4: Tampilan Saat Pemain Berada di Scene Mini Game

Tabel 5 Use Case Skenario Gambar 4

Title	Scene Mini Game
Deskripsi	Player akan Menyusun kerangka tulang kaki manusia.
Pre - condition	Player masuk ke scene mini game.
Basic Flow	Player akan Menyusun tulang kaki dari awal.
Post - Condition	Tulang kaki manusia akan menjadi satu kesatuan tidak terpisah pisah lagi

Bagian ini menyajikan hasil serta kritik dan saran dari uji coba aplikasi *Virtual Reality* (VR) yang bertujuan untuk meningkatkan pemahaman siswa/i SMA mengenai anatomi tulang dan sendi kaki manusia, yang diukur melalui perbandingan nilai *pre-test* dan *post-test*. Data yang dicantumkan diperoleh dari 10 partisipan siswa/i SMA melalui kuesioner pilihan ganda yang diberikan sebelum (*pre-test*) dan sesudah (*post-test*) menggunakan VR.

Perbandingan Nilai Pre_Test dan Post_Test



Gambar 5: Perbandingan Nilai Pre-test dan Post-test.

Tabel 6 Kritik dan Saran

No	Kritik dan Saran
1	Simulasi yang diberikan sangat baik karena memudahkan kami untuk lebih memahami tentang kerangka tulang kaki beserta penjelasannya sehingga kami dapat mengerti dan dapat melihat langsung dengan lebih jelas menggunakan VR yang dibuat oleh tim peneliti. Sarannya semoga penelitian ini lebih dikembangkan lagi agar kami dapat dengan mudah dan lebih cepat memahami cara penggunaan aplikasi ini.
2	Secara keseluruhan, simulasinya sudah bagus dan jelas. Namun, ada beberapa kendala teknis yang saya alami, seperti lag yang mungkin disebabkan oleh spesifikasi perangkat. Selain itu, ada tampilan tulisan yang saling tertimpa di beberapa bagian. Meskipun tidak terlalu mengganggu, hal-hal ini sebaiknya diperbaiki agar pengalaman belajarnya bisa lebih maksimal.
3	Aplikasinya sudah bagus untuk dipahami oleh orang, karena detail tulang-tulang pada kaki dan juga dijelaskan pengertiannya. Namun diharapkan pada bagian kamus, layout yang diberikan tidak terlalu tinggi karena memberikan kesan yang kurang nyaman.
4	Simulasi kerangka tulang kaki sudah sangat baik. Pembimbingnya juga baik dan sabar. Tambahkan narasi audio atau pemandu virtual lalu gunakan kuis interaktif atau gamifikasi agar lebih menarik. Ketika dicoba, simulasi aplikasi yang diberikan juga terkadang mengalami error.

Secara umum, hasilnya menunjukkan bahwa pemahaman siswa/i terkait anatomi tulang dan sendi kaki manusia mengalami peningkatan yang signifikan setelah menggunakan aplikasi VR. Rata-rata nilai *pre-test* adalah sekitar 31/100, sedangkan rata-rata nilai *post-test* meningkat nilai yang signifikan menjadi 67/100. Peningkatan nilai rata-rata sebesar 36 poin ini mengindikasikan efektivitas aplikasi VR dalam menyampaikan materi pembelajaran.

Analisis lebih lanjut pada nilai individual peserta menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik mengalami peningkatan nilai yang substansial. Sebagai contoh, Natael Wilson yang awalnya mendapatkan nilai 15 pada *pre-test*, meningkat menjadi 30 pada *post-test*. Peningkatan paling menonjol dilihat pada siswa/i seperti Farah Hafidzah (dari 20 menjadi 75), Angela Natasya (dari 40 menjadi 85) dan Steve Sunardi (dari 25 menjadi 95), yang mana menunjukkan pemahaman mereka menjadi jauh lebih baik setelah menggunakan VR. Meskipun demikian, terdapat variasi tingkat peningkatan antar siswa, yang mungkin dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti gaya belajar individu atau tingkat fokus selama penggunaan aplikasi.

Peningkatan nilai yang konsisten pada *post-test* menguatkan hipotesis bahwa aplikasi VR dapat menjadi media pembelajaran yang efektif untuk memahami anatomi struktur tulang dan sendi kaki manusia. Kemampuan visualisasi 3D interaktif yang ditawarkan oleh aplikasi VR memungkinkan siswa/i untuk mengeksplorasi struktur tulang dan sendi kaki secara lebih mendalam dan dari berbagai sudut pandang, yang sulit dicapai melalui metode pembelajaran konvensional seperti buku teks atau gambar 2D.

Fitur-fitur interaktif dalam *software*, seperti simulasi menyusun tulang kaki, penjelasan yang bisa di kontrol langsung saat menggunakan vr, kemungkinan besar berkontribusi pada peningkatan retensi informasi dan pemahaman

Implementasi Teknologi Virtual Reality (VR) untuk Edukasi Anatomi Struktur Tulang dan Sendi Kaki Manusia, Liyantara, dkk.

konseptual siswa/i. Aspek imersif dari VR juga berperan dalam menciptakan pengalaman belajar yang lebih menarik dan tidak membosankan, sehingga memotivasi siswa untuk berinteraksi lebih aktif dengan materi Pelajaran.

Meskipun hasil menunjukkan dampak positif, berdasarkan kritik dan saran yang diberikan oleh pengguna terhadap aplikasi ini masih ada beberapa kekurangan pada implementasinya, yaitu masih ada kendala dengan device yang digunakan, tampilan aplikasi yang masih kurang user friendly yang menyebabkan user agak kesulitan, dan kurangnya interaksi didalam aplikasi yang dibuat. Berdasarkan kritik dan saran tersebut dapat menjadi area perbaikan untuk perkembangan aplikasi ini dimasa yang akan datang. Penelitian ini memberikan bukti awal yang kuat tentang potensi VR sebagai alat bantu pengajaran yang inovatif, khususnya dalam mata pelajaran anatomi yang membutuhkan pemahaman spasial yang kompleks.

Adapun solusi yang dapat ditawarkan terhadap kritik berupa kurangnya pemahaman dalam menggunakan aplikasi ini adalah dengan menambahkan informasi berupa ui yang menampilkan interaksi yang bisa dilakukan menggunakan setiap tombol yang berfungsi di dalam aplikasi ini, solusi lain yang bisa dilakukan adalah dengan memberikan pesan suara didalam aplikasi ataupun video singkat mengenai cara penggunaan kontrol VR.

Dengan demikian, aplikasi VR yang dikembangkan terbukti mampu meningkatkan pemahaman siswa/i SMA tentang kerangka kaki manusia, membuka peluang bagi integrasi teknologi ini dalam kurikulum pendidikan di masa depan.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi *Virtual Reality* (VR) dalam pembelajaran anatomi struktur tulang dan sendi kaki manusia dapat secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa/i SMA. Untuk masalah rendahnya pemahaman spasial akibat keterbatasan media belajar konvensional, berhasil dijawab dengan pendekatan teknologi VR yang lebih interaktif dan mendalam. Bisa dilihat dari hasil uji coba yang telah dilakukan nilai *post-test* menunjukkan peningkatan nilai yang signifikan serta konsisten, serta respon positif dari pengguna terhadap efektivitas simulasi yang dikembangkan. Visualisasi 3d dan fitur interaktif yang disajikan menjadi faktor penting dalam menciptakan pengalaman yang lebih menarik. Meski demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan, diantaranya kendala teknis pada perangkat VR, tampilan antarmuka yang kurang ramah pengguna, serta minimnya elemen interaksi tambahan seperti audio dsb. Oleh karena itu, pengembangan lanjutan disarankan untuk menyempurnakan sisi teknis dan interaktif dari aplikasi, serta memperluas cakupan materi anatomi secara menyeluruh. Dengan adanya peningkatan tersebut, diharapkan implementasi teknologi VR dalam pendidikan anatomi dapat diadopsi secara lebih luas oleh institusi pendidikan sebagai solusi inovatif untuk pembelajaran yang lebih efektif dan menyenangkan.

Sebagai tambahan, penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan yang perlu diperhatikan. Jumlah partisipan yang terbatas membuat hasil yang diperoleh belum dapat digeneralisasikan secara luas. Selain itu, materi yang dikembangkan hanya berfokus pada struktur tulang dan sendi kaki, sehingga belum memberikan gambaran menyeluruh mengenai berbagai bagian anatomi lainnya. Penggunaan aplikasi juga sangat dipengaruhi oleh spesifikasi perangkat VR yang digunakan, sehingga tidak semua pengguna memperoleh pengalaman belajar yang optimal dan konsisten.

Berdasarkan batasan tersebut, terdapat beberapa arah penelitian yang dapat dikembangkan di masa mendatang. Penelitian selanjutnya berpotensi untuk memperluas cakupan materi ke bagian tubuh lainnya, menambahkan elemen pendukung seperti panduan audio atau narasi instruksional, dan menerapkan mekanisme evaluasi berbasis gamifikasi untuk meningkatkan motivasi pengguna. Evaluasi jangka panjang juga dapat dilakukan untuk mengukur retensi pemahaman setelah penggunaan aplikasi dalam periode tertentu. Selain itu, pengembangan yang berfokus pada peningkatan kompatibilitas lintas perangkat VR serta optimalisasi antarmuka pengguna dapat membantu menghasilkan aplikasi yang lebih inklusif, efisien, dan mudah diakses oleh institusi pendidikan.

Acknowledgment

Ucapan terima kasih disampaikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi selama pelaksanaan penelitian ini. Terutama kepada pihak Institut Teknologi dan Bisnis Sabda Setia yang telah menyediakan sarana dan prasarana yang mendukung proses penelitian. Kami juga mengucapkan terima kasih kepada para siswa/i dari beberapa Sekolah Menengah Atas (SMA) yang telah bersedia menjadi partisipan dalam uji coba aplikasi, serta memberikan masukan yang sangat bermanfaat. Tidak lupa kepada dosen pembimbing dan rekan-rekan tim peneliti yang telah memberikan saran, motivasi, serta kerja sama yang baik selama proses pengembangan dan evaluasi aplikasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, S., Zhu, J., Cheng, C., Pan, Z., Liu, L., Du, J., Shen, X., Shen, Z., Zhu, H., Liu, J., Yang, H., Ma, C., & Pan, H. (2020). Can virtual reality improve traditional anatomy education programmes? A mixed-methods study on the use of a 3D skull model. *BMC Medical Education*, 20(1). <https://doi.org/10.1186/s12909-020-02255-6>

- Chheang, V., Sharmin, S., Marquez-Hernandez, R., Patel, M., Rajasekaran, D., Caulfield, G., Kiafar, B., Li, J., Kullu, P., & Barmaki, R. L. (2023). *Towards Anatomy Education with Generative AI-based Virtual Assistants in Immersive Virtual Reality Environments*. <http://arxiv.org/abs/2306.17278>
- Dewi, N. P., Teti Vani, A., Abdullah, D., & Triansyah, I. (2025). EFEKTIVITAS PENGGUNAAN TEKNOLOGI AUGMENTED REALITY (AR) DAN VIRTUAL REALITY (VR) DALAM PEMBELAJARAN ANATOMI: TINJAUAN LITERATUR Effectiveness of Using Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) Technology in Anatomy Learning: Literature Review. *Nusantara Hasana Journal*, 4(10).
- Ekasangga, B., 1*, S., Harahap, I. L., & Herlina, L. (2023). VIRTUAL REALITY: SEBUAH MODALITAS PELENGKAP EDUKASI ANATOMI. *Jurnal Midwifery Update (MU)*, 5(2). <http://jurnalmu.poltekkes-mataram.ac.id/index.php/jurnalmu>
- Fitriyanto, M. N., Rozikin, A. Z., Leuwincun, L. L., Sudianto, N., & Astuti, A. D. (2024). Pemanfaatan Teknologi Virtual Reality dalam Pengenalan Sel Tubuh Manusia. In *Jurnal Pengabdian Masyarakat* (Vol. 1, Issue 1).
- Handayani, A., Khoirumufida, F., Nashiroh, W., & Zulfa, T. A. (2024). BIOWISATA MELALUI VIRTUAL REALITY PADA PEMBELAJARAN BIOLOGI DI KURIKULUM MERDEKA. *Jurnal Muara Pendidikan*, 9(1), 182-188. <https://doi.org/10.52060/mp.v9i1.2041>
- Javaid, M., & Haleem, A. (2020). Virtual reality applications toward medical field. *Clinical Epidemiology and Global Health*, 8(2), 600-605. <https://doi.org/10.1016/j.cegh.2019.12.010>
- Jorge, J., Belchior, P., Gomes, A., Sousa, M., Pereira, J., & Uhl, J.-F. (2022). *Anatomy Studio II: A Cross-Reality Application for Teaching Anatomy*. <http://arxiv.org/abs/2203.02186>
- Khotimah, H., Ainin Nabila, N., Nihaya, W. A., Putri, I. D., Fashya Hernanda, C., Fauzi, A. K., Kesehatan, F., & Jadid, U. N. (2024). Pengaruh Media Virtual Reality (VR) Terhadap Pengetahuan Anatomi Fisiologi Tulang pada Mahasiswa Perawat. 3(1).
- Lie, A. A., Buntoro, O. T., Purwanto, E. S., & Ario, M. K. (2024). The future of virtual reality: Prospect and problems. *Procedia Computer Science*, 245, 355-364. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.261>
- Nagara, B. S., Oetari, D., Apriliani, Z., & Sutabri, T. (2023). Penerapan Metode SDLC (System Development Life Cycle) Waterfall Pada Perancangan Aplikasi Belanja Online Berbasis Android Pada CV Widi Agro. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 6(2), 1202-1210. <https://doi.org/10.31539/intecoms.v6i2.8244>
- Saalfeld, P., Schmeier, A., D'Hanis, W., Rothkötter, H.-J., & Preim, B. (2020). *Student and Teacher Meet in a Shared Virtual Reality: A one-on-one Tutoring System for Anatomy Education*. <http://arxiv.org/abs/2011.07926>
- Sifa', B., Hasbiyati, H., & Afandi, B. (2021). Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Virtual Reality (VR) pada Materi Sistem Peredaran Darah. *JURNAL BIOSHELL*, 8(2), 50-52. <https://doi.org/10.36835/bio.v8i2.915>
- Stevanie, C., & Ruslin, M. (2023). Utilization of virtual reality and augmented reality in the oral and maxillofacial surgery. *Makassar Dental Journal*, 12(2), 280-283. <https://doi.org/10.35856/mdj.v12i2.781>
- Tarmizi, A. K., Hasbiyati, H., & Hakim, M. (2020). *PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN BERBASIS VIRTUAL REALITY PADA MATA KULIAH ANATOMI DAN FISIOLOGI MANUSIA PADA MAHASISWA SEMESTER VI PENDIDIKAN BIOLOGI*.
- Than, M. Z., & Yap, K. M. (2024). *Enhancing Medical Anatomy Education through Virtual Reality (VR): Design, Development, and Evaluation*.