

IMPLEMENTASI *MEDIAPIPE* DAN *WEBSOCKET* PADA PLATFORM PEMBELAJARAN JARIMATIKA BERBASIS WEB

Nur Ghazali Santoso¹, Muhammad Taufiq Reza², Saruni Dwiasnati³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer

Universitas Mercu Buana^{1,2,3}

Jl. Meruya Selatan No.1, Kelurahan Meruya Selatan, Kembangan, Jakarta Barat

nurghazalis@gmail.com¹, rezadk23@gmail.com², saruni.dwiasnati@mercubuana.ac.id³

Abstrak

Kemampuan numerasi siswa yang rendah memerlukan inovasi pembelajaran interaktif. Jarimatika efektif membantu pemahaman konsep berhitung, namun penerapannya secara konvensional kurang memberikan umpan balik langsung dan elemen kompetitif. Penelitian ini bertujuan merancang bangun platform pembelajaran jarimatika berbasis web yang mengintegrasikan teknologi *Computer Vision* dan komunikasi jaringan *real-time*. Pengembangan sistem menggunakan model *Prototyping* dengan metode pengujian *Black Box*. Sistem mengimplementasikan *MediaPipe Hands* di sisi klien untuk mendeteksi 21 titik *landmark* gestur jari secara otomatis dan mengonversinya menjadi nilai jarimatika. Untuk memfasilitasi mode kompetisi, protokol *WebSocket* digunakan menyinkronkan data antar-pemain secara *real-time*, dikombinasikan dengan algoritma *First-Come-First-Served* (FCFS) sebagai penentu kemenangan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa platform ini berhasil mendeteksi formasi jari secara akurat dan menjaga stabilitas sinkronisasi multiplayer dengan latensi di bawah 500 milidetik. Kesimpulannya, integrasi kecerdasan buatan dan *WebSocket* terbukti mampu menghasilkan media pembelajaran jarimatika yang interaktif, kompetitif, dan adaptif bagi pengguna.

Kata Kunci: *Computer Vision*, Game Edukasi, Jarimatika, *MediaPipe*, *WebSocket*

Abstract

Low student numeracy skills require interactive learning innovations. Jarimatika is effective in aiding counting comprehension, but its conventional application lacks direct feedback and competitive elements. This study aims to design a web-based Jarimatika learning platform integrating *Computer Vision* technology and *real-time* network communication. The system development uses the *Prototyping* model with *Black Box* testing method. The system implements *MediaPipe Hands* on the client-side to detect 21 finger gesture landmarks automatically and convert them into Jarimatika values. To facilitate the competition mode, the *WebSocket* protocol is used to synchronize data between players in *real-time*, combined with a *First-Come-First-Served* (FCFS) algorithm to determine the winner. The test results show that the platform successfully detects finger formations accurately and maintains the stability of multiplayer synchronization with a latency of under 500 milliseconds. In conclusion, the integration of artificial intelligence and *WebSocket* has proven capable of producing an interactive, competitive, and adaptive Jarimatika learning media for users.

Keywords: *Computer Vision*, Educational Game, Jarimatika, *MediaPipe*, *WebSocket*.

PENDAHULUAN

Kemampuan numerasi merupakan salah satu kompetensi dasar yang penting dalam pendidikan. Namun, hasil *Programme for International Student Assessment* (PISA) 2022 menunjukkan bahwa kemampuan matematika siswa Indonesia masih berada di bawah rata-rata negara OECD sehingga diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu meningkatkan pemahaman konsep berhitung secara lebih efektif (OECD, 2023). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk membantu siswa memahami operasi hitung dasar adalah jarimatika, yaitu teknik berhitung yang memanfaatkan formasi jari tangan sebagai representasi bilangan. Metode ini terbukti mampu meningkatkan keterampilan berhitung siswa dan mempermudah pemahaman konsep matematika dasar (Raupu et al., 2023). Selain itu, (Ikramina et al., 2025) menyatakan bahwa media pembelajaran jarimatika mampu meningkatkan keterlibatan siswa dan membantu mereka memahami materi dengan lebih mudah. Meskipun demikian, implementasi jarimatika dalam praktik pembelajaran masih menghadapi beberapa kendala, seperti proses pembelajaran yang bersifat manual dan keterbatasan umpan balik secara langsung. Pembelajaran jarimatika umumnya bergantung pada demonstrasi

guru sehingga sulit memastikan setiap siswa melakukan formasi jari dengan benar (Syahputra et al., 2019). Seiring perkembangan teknologi, pembelajaran berbasis web terbukti mampu meningkatkan hasil belajar dan memberikan pengalaman belajar yang lebih fleksibel dibandingkan metode konvensional (Akin, 2022). Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran digital yang mampu memberikan umpan balik secara otomatis dan interaktif. Salah satu teknologi yang dapat digunakan untuk mendukung kebutuhan tersebut adalah *Computer Vision*. Melalui *framework MediaPipe Hands*, sistem dapat mendeteksi dan melacak posisi tangan secara *real-time* sehingga formasi jari pengguna dapat dikenali secara otomatis. (Han et al., 2022) menunjukkan bahwa *MediaPipe* memiliki performa yang baik dalam pengenalan gestur tangan secara *real-time* dan sesuai diterapkan pada aplikasi interaktif berbasis web. Selain aspek interaktivitas, penerapan elemen kompetitif dalam pembelajaran digital juga terbukti mampu meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa (Admiraal et al., 2020). Untuk mendukung kompetisi secara langsung, teknologi *WebSocket* digunakan karena mampu menyediakan komunikasi data secara *real-time* dan mendukung sinkronisasi antar pemain pada lingkungan *multiplayer* dengan latensi yang stabil (Prathama et al., 2019). Selain fitur kompetisi, aplikasi pembelajaran memerlukan penyajian latihan soal yang bervariasi agar pengguna tidak menghafal pola soal yang sama. Oleh karena itu, penelitian ini menerapkan algoritma *Random Number Generator* (RNG) untuk menghasilkan soal latihan secara otomatis dan dinamis. Penggunaan RNG dalam game edukasi dapat menciptakan variasi pengalaman belajar sehingga proses latihan menjadi lebih menarik dan tidak monoton (Ardi & Indra, 2025; Rachmadtullah & Prihanto, 2022). Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan platform pembelajaran jarimatika berbasis web yang mengintegrasikan *MediaPipe Hands*, *WebSocket*, dan algoritma RNG untuk menciptakan pengalaman belajar yang interaktif, kompetitif, dan adaptif.

PENELITIAN RELEVAN

Penelitian terkait pengembangan media pembelajaran jarimatika sebelumnya telah dilakukan oleh Syahputra et al (2019) yang merancang aplikasi berbasis multimedia interaktif untuk penjumlahan dan pengurangan. Meskipun terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep dasar siswa, sistem tersebut masih memiliki keterbatasan karena mengandalkan interaksi satu arah melalui input manual konvensional, seperti klik atau sentuhan pada layar. Hal ini kurang merepresentasikan pergerakan motorik fisik yang menjadi inti dari metode jarimatika. Hubungan penelitian tersebut dengan penelitian ini adalah sama-sama mendigitalkan metode jarimatika. Namun, letak perbedaan sekaligus pembaruan fundamental dalam penelitian ini adalah pengeliminasian *input* manual tersebut dan menggantinya dengan tangkapan *webcam* menggunakan teknologi *Computer Vision*, sehingga siswa dapat mempraktikkan gestur jari secara nyata dan langsung dievaluasi oleh sistem. Pada aspek penerapan kecerdasan buatan, penelitian relevan oleh Agustiani et al (2024) membuktikan bahwa kerangka kerja *MediaPipe* mampu mendeteksi gestur tangan secara *real-time* dengan akurasi yang tinggi. Relevansinya dengan penelitian ini terletak pada penggunaan infrastruktur pelacakan 21 titik landmark anatomi tangan secara otonom di sisi klien (*client-side*). Akan tetapi, letak perbedaannya adalah penelitian sebelumnya membatasi fungsionalitas algoritma hanya untuk sistem pengendalian presentasi jarak jauh. Sebaliknya, penelitian ini mengembangkan perluasan algoritma melalui klasifikasi *rule-based geometry* yang dikalibrasi secara spesifik untuk mengenali dan mengonversi kombinasi jari tangan kiri dan kanan menjadi operasi nilai matematika.

Selanjutnya, untuk mendukung elemen interaktivitas tingkat lanjut, penelitian ini juga merujuk pada temuan Alviando et al (2023) yang menunjukkan efisiensi protokol *WebSocket* dalam meminimalkan latensi pertukaran data, serta temuan Sitepu & Siregar (2023) yang menegaskan bahwa elemen *Game-Based Learning* secara empiris dapat mengoptimalkan motivasi belajar siswa. Perbedaan utama penelitian ini dibandingkan penelitian-penelitian tersebut adalah fusi dari kedua konsep teknisnya. Protokol *WebSocket* pada penelitian ini tidak digunakan untuk fitur komunikasi obrolan biasa, melainkan dirancang khusus untuk menangani sinkronisasi mode battle *multiplayer*. Sistem jaringan tersebut dipadukan dengan algoritma *First-Come-First-Served* (FCFS) untuk mencegah konflik status (*race condition*), sehingga menciptakan pengalaman kompetisi matematika berbasis deteksi fisik secara adil dan *real-time*.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini model pengembangan sistem yang digunakan adalah metode *Prototype* karena memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara bertahap melalui pembuatan dan evaluasi prototipe sebelum sistem akhir diimplementasikan.

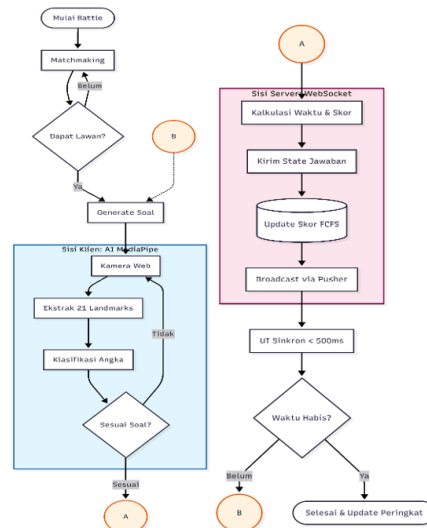


Gambar 1. Model *Prototyping*

Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa kebutuhan pengguna dapat diakomodasi secara optimal selama proses pengembangan. Tahapan penelitian diawali dengan identifikasi kebutuhan pengguna melalui studi literatur dan analisis kebutuhan sistem. Selanjutnya dilakukan perancangan prototipe awal yang mencakup perancangan antarmuka pengguna, arsitektur sistem, dan alur proses aplikasi. Prototipe yang telah dibuat kemudian dievaluasi untuk memastikan kesesuaian desain dan fungsionalitas dengan kebutuhan pengguna. Setelah prototipe dinyatakan sesuai, sistem dikembangkan menjadi produk akhir dengan mengintegrasikan *MediaPipe Hands* sebagai modul deteksi gestur tangan, *WebSocket* sebagai media komunikasi *real-time* pada mode kompetisi multiplayer, serta algoritma *Random Number Generator* (RNG) untuk menghasilkan variasi soal latihan secara otomatis. Tahap terakhir dilakukan pengujian sistem menggunakan metode *Black Box Testing* untuk memastikan seluruh fitur berjalan sesuai kebutuhan fungsional. Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.

1. Perancangan Sistem

Sistem dirancang menggunakan arsitektur *client-server*. Pada sisi klien, *MediaPipe Hands* digunakan untuk mendeteksi dan mengidentifikasi gestur tangan pengguna secara *real-time* melalui kamera perangkat. Hasil deteksi kemudian dikonversi menjadi nilai numerik sesuai aturan Jarimatika dan digunakan sebagai jawaban dalam proses pembelajaran. Pada sisi server, *framework* Laravel digunakan untuk mengelola autentikasi pengguna, data progres pembelajaran, bank soal, dan logika permainan. Komunikasi data pada mode *battle* dilakukan menggunakan *WebSocket* melalui layanan Pusher sehingga sinkronisasi skor dan status permainan dapat berlangsung secara *real-time*. Selain itu, algoritma RNG digunakan untuk menghasilkan variasi soal secara dinamis sehingga setiap sesi latihan memberikan pengalaman belajar yang berbeda. Arsitektur sistem yang diusulkan ditunjukkan pada Gambar 2.



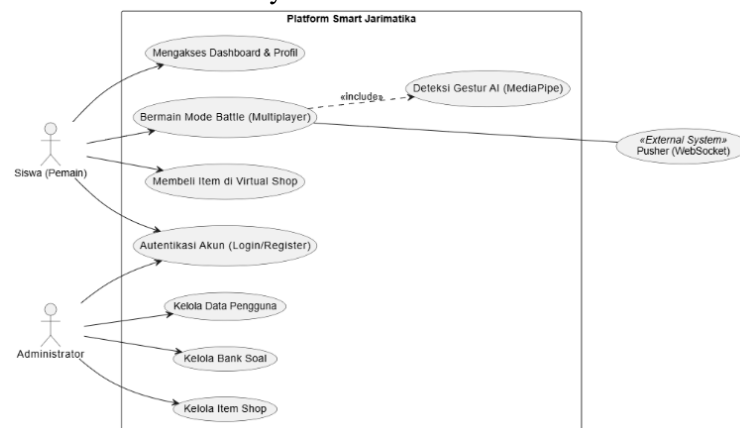
Gambar 2. Alur Sistem Klien (*MediaPipe*) dan Alur Sistem *Server*

2. Pemodelan Sistem

Pemodelan sistem dilakukan menggunakan *Unified Modeling Language* (UML) untuk menggambarkan interaksi pengguna dengan sistem serta alur aktivitas yang terjadi pada fitur utama aplikasi. Use case diagram digunakan untuk memodelkan kebutuhan fungsional sistem, sedangkan activity diagram digunakan untuk menggambarkan alur proses pada mode *battle* yang melibatkan deteksi gestur tangan dan sinkronisasi data secara *real-time*.

a. Use Case Diagram

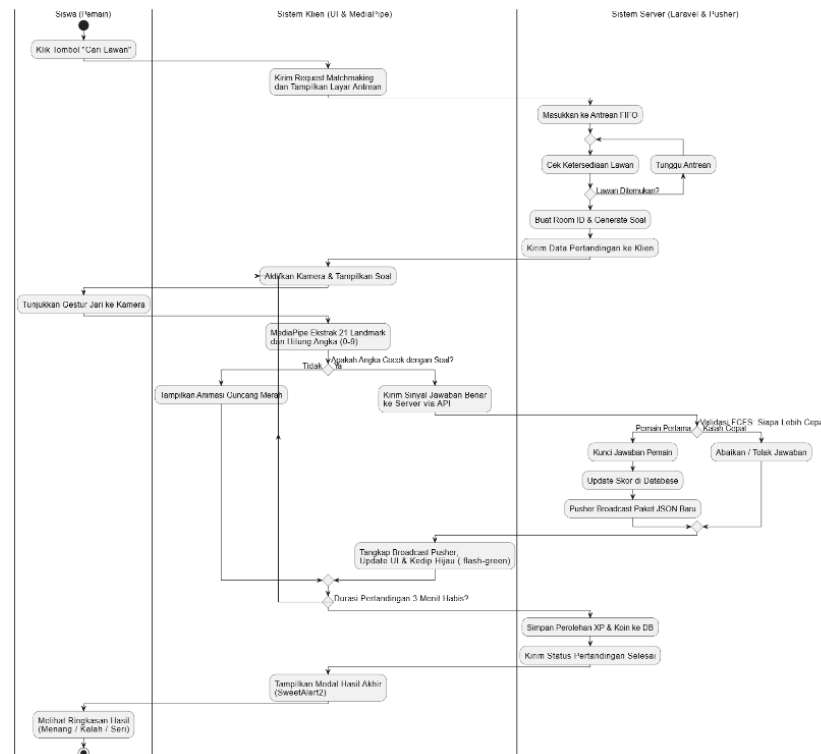
Interaksi fungsional antara pengguna dengan platform Smart Jarimatika digambarkan melalui diagram use case pada Gambar 3. Sistem memisahkan batas fungsionalitas antara faksi pemain (*user*) dan admin, serta mengintegrasikan *WebSocket* (*Pusher*) sebagai aktor sekunder berbasis layanan eksternal.



Gambar 3. Use Case Diagram

b. Activity Diagram (mode *battle*)

Aliran aktivitas interaktif, pembagian beban komputasi, dan sinkronisasi data antar-komponen pada mode pertempuran multipemain dijabarkan secara kronologis menggunakan diagram aktivitas bermodel jalur renang (swimlane) pada Gambar 4. Diagram ini membagi sistem ke dalam tiga entitas kolaboratif, yaitu Siswa, Sistem Klien (UI & *MediaPipe*), dan Sistem Server (Laravel & Pusher).



Gambar 4. Sequence Diagram

3. Pengujian Sistem

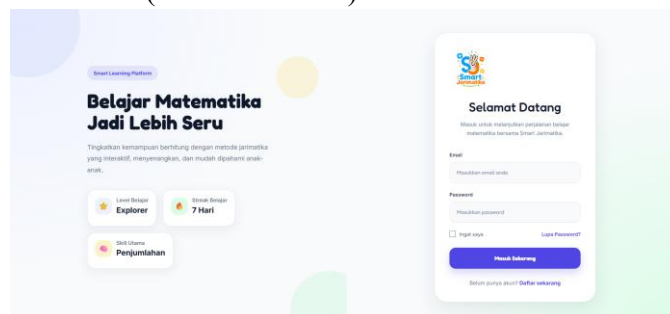
Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing*. Pengujian difokuskan pada validasi fungsi-fungsi utama sistem, meliputi autentikasi pengguna, deteksi gestur tangan menggunakan *MediaPipe Hands*, pengacakan soal menggunakan RNG, serta sinkronisasi data pada mode *battle* berbasis *WebSocket*. Hasil pengujian digunakan untuk memastikan bahwa seluruh fitur sistem telah berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah ditetapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi Antarmuka Sistem

Tahap implementasi menghasilkan produk akhir berupa platform berbasis web bernama Smart Jarimatika. Antarmuka sistem dibangun menggunakan Vite sebagai *frontend bundler* untuk memastikan kecepatan muat halaman, sedangkan komponen visual dirancang menggunakan HTML5, Tailwind CSS, dan pustaka JavaScript dinamis. Keseluruhan antarmuka dibagi menjadi tujuh halaman utama yang merepresentasikan siklus interaksi pengguna di dalam sistem: Halaman Menu Utama dan Dasbor:

1. Antarmuka Halaman Autentikasi (Masuk & Daftar)

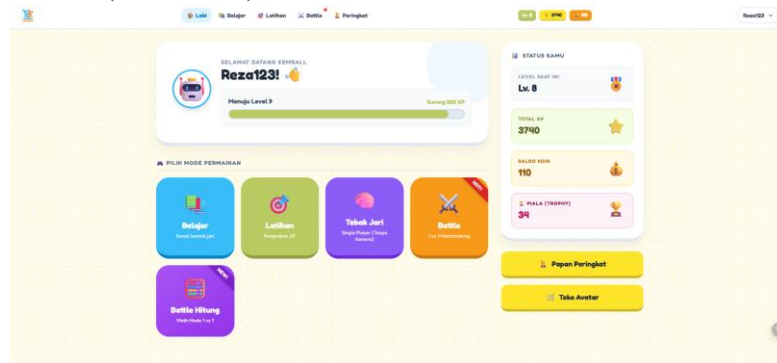


Gambar 5. Halaman Masuk (login)

Halaman ini merupakan gerbang awal pengguna untuk mengakses sistem. Desain antarmuka dibuat sederhana namun aman, menyediakan form input untuk repositori nama pengguna

(*username*) dan kata sandi (*password*). Halaman ini terhubung langsung dengan modul sesi Laravel untuk memastikan data progresi pemain dapat tersimpan secara persisten di basis data MySQL setelah proses masuk berhasil.

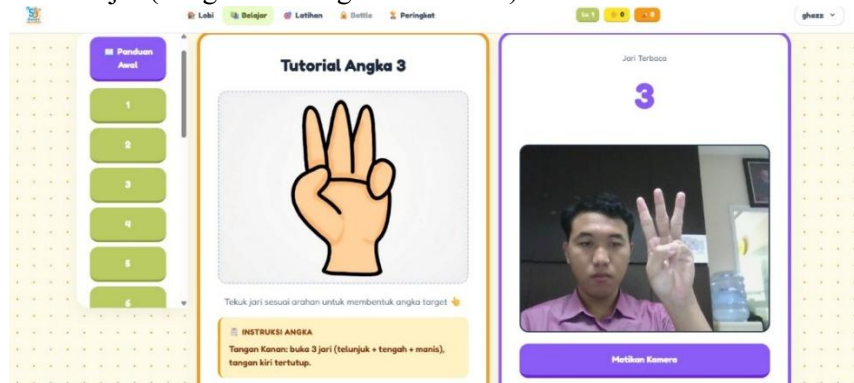
2. Antarmuka Menu Utama (*Dashboard*)



Gambar 6. Halaman *Dashboard*

Dashboard bertindak sebagai hub pusat navigasi aplikasi. Antarmuka ini dirancang dengan tata letak modular yang menampilkan status profil pemain secara *real-time*, termasuk indikator tingkat level, total poin pengalaman (XP), dan jumlah koin virtual yang dimiliki. Pada halaman ini, terdapat tiga tombol navigasi utama untuk mengarahkan pengguna ke Mode Belajar, Mode Latihan, atau Mode *Battle*.

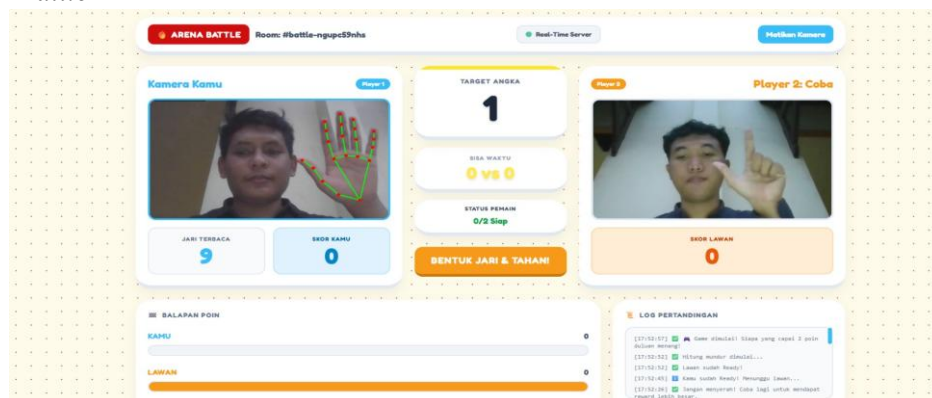
3. Antarmuka Mode Belajar (Pengenalan Angka Jarimatika)



Gambar 7. Halaman Belajar Pengenalan Angka Jarimatika

Halaman ini memuat visualisasi statis dan interaktif mengenai teori dasar jarimatika. Antarmuka menampilkan panduan gambar formasi jari tangan kanan untuk satuan (1-9) dan tangan kiri untuk puluhan (10-90). Modul ini berfungsi sebagai fondasi kognitif bagi siswa sebelum memasuki mode kompetitif.

4. Antarmuka *Battle* Jarimatika

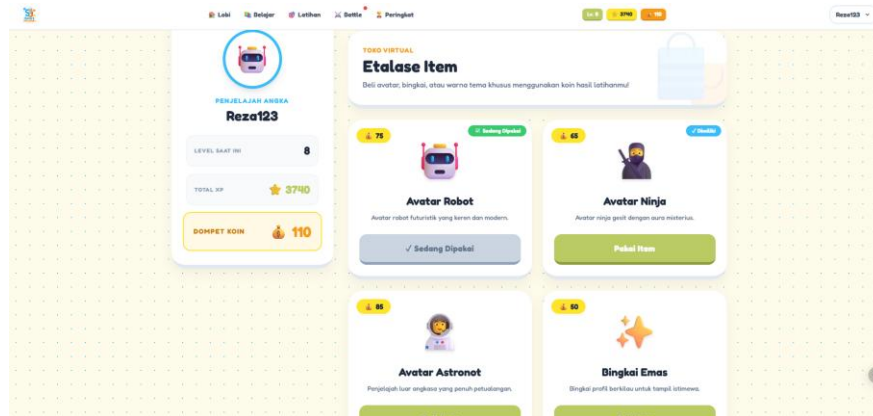


Gambar 8. Halaman *Battle* (Tebak Angka Cepat)

Ini adalah antarmuka paling krusial yang mengintegrasikan seluruh teknologi inti. Layar dibagi menjadi dua bagian utama secara horizontal atau vertikal:

- Sisi Kiri/Atas: Menampilkan jendela aktif kamera web (*webcam*) pengguna yang dilapisi dengan renduan grafis kontur 21 titik *landmarks* dari *MediaPipe Hands* secara *real-time*.
- Sisi Kanan/Bawah: Menampilkan kotak teks soal matematika dinamis, indikator sisa waktu (*timer*), dan bilah kemajuan (*progress bar*) skor pemain vs lawan yang terus bergeser secara asinkron setiap kali ada paket data JSON yang disiarkan via *WebSocket*.

5. Antarmuka Toko Virtual



Gambar 9. Halaman Toko *Virtual*

Sebagai bagian dari pemenuhan elemen gamifikasi, halaman *Shop* menyediakan antarmuka katalog item kosmetik virtual (seperti tema latar belakang atau avatar kustom). Antarmuka dilengkapi dengan logika validasi transaksi di sisi klien; tombol "Beli" hanya akan aktif jika jumlah saldo koin pengguna di basis data mencukupi, diikuti dengan pembaruan inventaris secara instan.

Pengujian Fungsionalitas (*Blackbox Testing*)

Pengujian fungsionalitas dilakukan menggunakan metode *Black-Box Testing* dengan mengombinasikan teknik *Equivalence Partitioning* untuk memvalidasi input AI *MediaPipe* dan logika transaksi ekonomi *virtual*, serta teknik *State Transition Testing* untuk memvalidasi alur sinkronisasi perpindahan ruang pemain pada infrastruktur *WebSocket*. Ringkasan hasil pengujian dari skenario kritis disajikan pada Tabel 2.

Tabel 1. Pengujian Sistem (*Blackbox Testing*)

No	Modul yang Diuji	Skenario Pengujian (Input / Kondisi)	Hasil yang Diharapkan (Ekspektasi)	Status Akhir
1	Autentikasi	Pengguna <i>login</i> dengan <i>username</i> dan <i>password</i> yang benar.	Sistem mengarahkan ke halaman <i>Dashboard</i> dan memuat data profil.	Valid
2	Autentikasi	Pengguna <i>login</i> dengan <i>password</i> yang salah.	Sistem menolak akses dan memunculkan notifikasi "Password Salah".	Valid
3	Autentikasi	Pengguna mengakses URL <i>/battle</i> tanpa melakukan <i>login</i> .	Sistem (<i>Middleware</i>) memblokir akses dan melempar pengguna ke halaman <i>Login</i> .	Valid
4	Gamifikasi (<i>Shop</i>)	Pengguna membeli avatar seharga 50 Koin dengan saldo 100 Koin.	Saldo berkurang menjadi 50, item masuk ke inventaris pengguna.	Valid
5	Gamifikasi (<i>Shop</i>)	Pengguna membeli item seharga 100 Koin dengan saldo 20 Koin.	Sistem menolak dan memunculkan peringatan "Koin tidak cukup".	Valid
6	Gamifikasi (<i>Shop</i>)	Pengguna memilih tombol "Gunakan" pada item avatar yang sudah dibeli.	Avatar pada profil utama (<i>Dashboard</i>) langsung berubah.	Valid
7	Gamifikasi (<i>Level</i>)	Total XP pengguna mencapai batas maksimal level saat ini (misal 100/100).	Level pengguna naik (+1) dan bar batas XP di-reset untuk level berikutnya.	Valid
8	Jaringan (<i>Matchmaking</i>)	Pemain 1 menekan tombol "Cari Lawan" saat antrian kosong.	Layar masuk ke mode Loading/Queuing menunggu pemain lain.	Valid
9	Jaringan (<i>Matchmaking</i>)	Pemain 1 menekan "Batal" saat masih berada di layar Queuing.	Sistem mengeluarkan Pemain 1 dari antrian dan kembali ke <i>Dashboard</i> .	Valid

10	Jaringan (<i>Matchmaking</i>)	Pemain 2 menekan "Cari Lawan" saat Pemain 1 sudah di dalam antrean.	Sistem mempertemukan keduanya dan memindahkan ke layar <i>Battle Arena</i> .	Valid
11	AI (<i>MediaPipe</i>)	Pemain meletakkan 2 tangan sekaligus di depan kamera.	Sistem tetap memproses koordinat tanpa mengalami <i>Fatal Error</i> .	Valid
12	AI (<i>MediaPipe</i>)	Gestur jari pemain cocok dengan jawaban soal matematika di layar.	Animasi UI aktif (layar berkedip hijau) dan mengirim <i>request</i> ke server.	Valid
13	<i>Multiplayer</i> (<i>Sync</i>)	Server memproses jawaban benar dari Pemain 1.	<i>WebSocket</i> (Pusher) me-render pembaruan skor P1 di layar Pemain 2.	Valid
14	<i>Multiplayer</i> (Soal)	Sebuah ronde berhasil dimenangkan oleh salah satu pemain.	Sistem merender soal baru secara sinkron di kedua layar pemain.	Valid
15	<i>Multiplayer</i> (<i>Game Over</i>)	Total waktu pertandingan (misal 3 menit) telah habis.	Modal <i>SweetAlert2</i> muncul menampilkan Skor Akhir, Pemenang, dan XP.	Valid

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan implementasi sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa platform Smart Jarimatika berhasil mengintegrasikan teknologi *Computer Vision* berbasis *MediaPipe* dengan mekanisme sinkronisasi *real-time* menggunakan protokol *WebSocket* pada mode pembelajaran multipemain. Sistem mampu mendeteksi formasi jari secara otomatis melalui ekstraksi 21 titik *landmark* tangan dan mengonversinya menjadi representasi angka jarimatika secara *real-time*. Selain itu, penerapan mekanisme sinkronisasi berbasis *WebSocket* dan algoritma *First-Come-First-Served* (FCFS) terbukti mampu menjaga stabilitas pertukaran data antar pemain dengan latensi rendah sehingga konflik status permainan dapat diminimalkan.

Hasil pengujian fungsionalitas menunjukkan bahwa sebagian besar modul sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan yang telah dirancang, mulai dari autentikasi pengguna, sistem gamifikasi, *matchmaking*, hingga sinkronisasi mode *battle multiplayer*. Integrasi elemen *Game-Based Learning*, seperti mode kompetitif, *progression system*, *virtual shop*, dan *Dynamic Difficulty Adjustment* (DDA), juga berhasil meningkatkan interaktivitas pembelajaran sehingga proses latihan matematika menjadi lebih menarik dan adaptif terhadap kemampuan pemain.

Dengan demikian, tujuan penelitian untuk membangun platform pembelajaran jarimatika yang interaktif, *real-time*, dan berbasis kecerdasan buatan telah tercapai. Pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada peningkatan akurasi deteksi gestur pada berbagai kondisi pencahayaan dan sudut tangan, implementasi model klasifikasi berbasis *deep learning* untuk meningkatkan fleksibilitas pengenalan gestur, serta optimalisasi infrastruktur server agar mampu menangani jumlah pemain yang lebih besar secara bersamaan. Selain itu, penelitian lanjutan juga dapat mengembangkan fitur analitik pembelajaran untuk memantau perkembangan kemampuan numerasi siswa secara lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Admiraal, W., Vermeulen, J., & Bulterman-Bos, J. (2020). Teaching with learning analytics: how to connect computer-based assessment data with classroom instruction? *Technology, Pedagogy and Education*, 29(5), 577–591. <https://doi.org/10.1080/1475939X.2020.1825992>
- Agustiani, A. D., Sholahuddin, M. R., Putri, S. M., & Hidayatullah, P. (2024). Penggunaan *MediaPipe* untuk Pengenalan Gesture Tangan Real-Time dalam Pengendalian Presentasi. *Media Jurnal Informatika*, 16(2), 147. <https://doi.org/10.35194/mji.v16i2.4788>
- Akin, A. (2022). The effectiveness of web-based Mathematics instruction (WBMI) on K-16 students' mathematics learning: a meta-analytic research. *Education and Information Technologies*, 27(6), 8015–8040. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-10931-x>
- Alviando, L., Bhawiyuga, A., & Kartikasari, D. P. (2023). Penerapan *Websocket* pada Sistem Live Chat berbasis Web (*Studi Kasus Website Kwikku.com*) (Vol. 7, Number 2). <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- Ardi, A. Y., & Indra, I. (2025). Implementation of RNG Algorithm in Puzzle Games to Support Social Skills of Children with Autism on a Desktop-Based Platform. *Bit (Fakultas Teknologi Informasi Universitas Budi Luhur)*, 22(1), 47–55. <https://doi.org/10.36080/bit.v22i1.3242>
- Han, J. S., Lee, C. I., Youn, Y. H., & Kim, S. J. (2022). A Study on Real-time Hand Gesture Recognition Technology by Machine Learning-based *MediaPipe*. *Journal of System and Management Sciences*, 12(2), 468–482. <https://doi.org/10.33168/JSMS.2022.0225>

- Ikramina, N., Sukmawati, R. A., Purba, H. S., Wiranda, N., & Pamuji, R. (2025). Pengembangan Media Pembelajaran Interaktif Berbasis Web pada Materi Sistem Organisasi Kehidupan untuk Siswa SMP Kelas VII dengan Metode Game Based Learning. *Computing and Education Technology Journal*, 5(1), 18. <https://doi.org/10.20527/cetj.v5i1.14643>
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results Factsheets Indonesia PUBE*. <https://oecdch.art/a40de1dbaf/C108>.
- Prathama, G. H., Ary Esta Dewi Wirastuti, N. M., & Divayana, Y. (2019). Analisa Penggunaan WebRTC dan Websocket pada Real Time Multiplayer Online Game Tradisional Ceki. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 18(1), 47. <https://doi.org/10.24843/mite.2019.v18i01.p07>
- Rachmadtullah, R. W., & Prihanto, A. (2022). Implementasi Algoritma Random Number Generator (RNG) pada Aplikasi Try Out Berbasis Framework Laravel. *Journal of Informatics and Computer Science (JINACS)*, 3(03), 300–307. <https://doi.org/10.26740/jinacs.v3n03.p300-307>
- Raupu, S., Arifanti, D. R., Aisyah, A., Thalhah, S. Z., Taqwa, T., & Nursyamsi, N. (2023). Efektivitas Teknik Jarimatika Dalam Meningkatkan Keterampilan Berhitung Peserta Didik Sekolah Dasar. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 12(2), 2378. <https://doi.org/10.24127/ajpm.v12i2.7452>
- Sitepu, M. S., & Siregar, P. D. (2023). Pengaruh Model Game Based Learning Terhadap Aktivitas Belajar Siswa Pada Pembelajaran Matematika di Kelas V SD Muhammdiyah 01 Medan. In *Journal of Student Development Informatics Management (JoSDIM) e-ISSN* (Vol. 3, Number 2).
- Syahputra, A., Hts, D. I. G., & Samsir. (2019). Perancangan Aplikasi Media Pembelajaran Jarimatika Penjumlahan Dan Pengurangan Berbasis Multimedia. *U-NET Jurnal Teknik Informatika*, 3(1), 35–42. <https://doi.org/10.52332/u-net.v3i1.20>
- Syahputra, A., Indra, D., & Hts, G. (n.d.). Perancangan Aplikasi Media Pembelajaran Jarimatika Penjumlahan Dan Pengurangan Berbasis Multimedia. *Jurnal Teknik Informatika*, 3(2), 2019.