

Pengembangan Game Puzzle Matematika Berbasis Web dengan WebSocket untuk Pembelajaran Materi Refleksi secara Multiplayer Real-Time

Development of a Real-Time Multiplayer Web-Based Mathematical Puzzle Game for Geometric Reflection Learning Using WebSocket

Fathan Mohamad
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia

fathan_s1elektro@mahasiswa.ung.ac.id

Rahmat Deddy Riyanto Dako
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
rahmatdeddy@ung.ac.id

Ulfatun Nadifa
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
ulfatun@ung.ac.id

Wahab Musa
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
wmusa@ung.ac.id

Syahrir Abdussamad
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
syahrirabdussamad@ung.ac.id

Bambang Panji Asmara
Program Studi Teknik Komputer
Universitas Negeri Gorontalo
Gorontalo, Indonesia
bambang@ung.ac.id

Diterima : Juli 2026
Disetujui : Juli 2026
Dipublikasi : Juli 2026

Abstrak—Pembelajaran matematika di jenjang sekolah menengah atas sering menghadapi tantangan terkait keterlibatan siswa, tingkat pemahaman yang heterogen, serta minimnya mekanisme umpan balik interaktif. Penelitian ini mengembangkan dan mengevaluasi sebuah permainan teka-teki matematika berbasis web bernama "ISOMETRIA" yang mengintegrasikan teknologi WebSocket untuk mendukung fitur multiplayer real-time dalam pembelajaran materi refleksi pada siswa Kelas XI di MAN 1 Kota Gorontalo. Penelitian ini menggunakan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Sistem dibangun menggunakan Phaser.js pada sisi front end serta Node.js, Express.js, dan Socket.io pada sisi back end, yang di-deploy melalui Vercel dan Railway. Komunikasi WebSocket disusun ke dalam empat fase: pencarian lawan (matchmaking), pemilihan karakter, eksplorasi peta, dan pertarungan. Pendekatan server-authoritative dengan mekanisme jendela balapan (race window) 200 milidetik diterapkan untuk menjamin permainan yang adil dan konsisten pada kondisi latensi jaringan yang bervariasi. Pengujian fungsionalitas terhadap 25 skenario menunjukkan seluruh fitur berfungsi sesuai harapan. Efektivitas dievaluasi pada 38 siswa menggunakan desain pre-test dan post-test. Rata-rata skor meningkat dari 57,1 menjadi 69,2, dan hasil Uji Wilcoxon Signed-Rank menunjukkan $p < 0,001$, menandakan peningkatan yang signifikan secara statistik. Angket respons siswa memperoleh skor rata-rata 3,58 (cukup setuju), mencakup aspek kebergunaan, keterlibatan, dan manfaat yang dirasakan. Hasil penelitian menunjukkan adanya

peningkatan hasil belajar yang signifikan setelah penggunaan media.

Kata Kunci— *WebSocket; Pembelajaran Berbasis Permainan; Socket.io; Komunikasi Real-Time; Transformasi Geometri*

Abstract—*Mathematics learning at the senior secondary level often faces challenges related to student engagement, heterogeneous comprehension levels, and the absence of interactive feedback mechanisms. This study develops and evaluates a web-based mathematical puzzle game named "ISOMETRIA" that integrates WebSocket technology to support real-time multiplayer features for learning the reflection topic among Grade XI students at MAN 1 Gorontalo City. The research follows the ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) model. The system was built using Phaser.js on the front end and Node.js, Express.js, and Socket.io on the back end, deployed via Vercel and Railway. WebSocket communication is structured into four phases: matchmaking, character selection, map exploration, and battle. A server-authoritative approach with a 200 millisecond race window mechanism was implemented to ensure fair and consistent gameplay under varying network latency conditions. Functionality testing across 25 scenarios confirmed that all features performed as expected. Effectiveness was evaluated with 38 students using a pre-test and post-test design. Mean scores improved from 57.1 to 69.2, and Wilcoxon Signed-Rank Test results yielded $p < 0.001$, indicating a statistically significant improvement. Student response questionnaires returned an average score of 3.58 (sufficient agreement), covering usability, engagement, and perceived benefit. The*

research results indicate a significant improvement in learning outcomes following the use of the media.

Keywords— *WebSocket; Game-Based Learning; Socket.io; Real-Time Communication; Geometric Transformation*

I. PENDAHULUAN

Pembelajaran matematika di jenjang sekolah menengah atas menuntut siswa untuk memahami konsep-konsep abstrak yang saling berkaitan, sekaligus mengembangkan kemampuan penalaran logis dan kompetensi pemecahan masalah. Namun dalam praktiknya, siswa dalam satu kelas yang sama menunjukkan tingkat pemahaman yang sangat beragam. Perbedaan kecepatan belajar dan penguasaan konsep mengharuskan adanya strategi pembelajaran yang terdiferensiasi guna mengakomodasi siswa dengan tingkat penyerapan kognitif yang berbeda-beda [1]. Pendekatan pembelajaran yang berpusat pada guru cenderung menyampaikan materi secara seragam, sehingga beragam kebutuhan belajar tidak sepenuhnya terpenuhi dan peluang pemberian umpan balik yang bersifat individual pun menjadi terbatas [2].

Umpan balik merupakan komponen penting dalam pembelajaran yang efektif, namun tidak semua siswa mampu memproses dan menindaklanjuti umpan balik yang mereka terima. Penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar siswa tidak melakukan revisi setelah menerima umpan balik, yang mengindikasikan bahwa keterlibatan aktif terhadap informasi korektif tidak dapat diasumsikan begitu saja [3]. Keterbatasan waktu dalam setting kelas semakin mempersempit ruang untuk pemberian umpan balik yang bersifat individual, sehingga yang diberikan pun bersifat umum untuk seluruh kelas dan belum tentu menjawab kesenjangan konseptual masing-masing siswa. Tantangan ini terasa lebih nyata dalam pengajaran topik transformasi geometri seperti refleksi. Refleksi merupakan topik abstrak yang memerlukan kemampuan visualisasi spasial dan penalaran koordinat, namun banyak kelas masih mengandalkan penjelasan verbal dan diagram papan tulis yang statis. Hasil wawancara pra-penelitian dengan guru matematika di MAN 1 Kota Gorontalo mengonfirmasi bahwa penggunaan media masih sebatas buku teks, papan tulis, dan aplikasi pesan untuk distribusi materi, tanpa adanya penggunaan media digital interaktif yang terstruktur.

Pembelajaran berbasis permainan (Game-Based Learning/GBL) telah diakui secara luas sebagai pendekatan yang mendorong keterlibatan aktif siswa, memberikan umpan balik segera, dan mengurangi kecemasan terhadap matematika [4]. Permainan jenis puzzle khususnya telah terbukti merangsang kemampuan pemecahan masalah, mengembangkan kemampuan kognitif, dan mendorong konsentrasi yang berkelanjutan [5]. Beberapa penelitian telah menunjukkan efektivitas permainan edukatif berbasis web dalam meningkatkan hasil belajar dan motivasi siswa [6]. Penggunaan media pembelajaran secara lebih luas juga terbukti membuat pembelajaran matematika lebih bermakna dan mendorong keterlibatan aktif siswa [7], sementara permainan serius berjenis puzzle yang menggunakan format teka-teki silang terbukti merangsang berpikir kritis melalui pengalaman pemecahan masalah secara langsung [8]. Pendekatan gamifikasi yang

diterapkan di luar konteks matematika, seperti pada pembelajaran kosakata dalam bahasa Inggris, juga terbukti meningkatkan partisipasi aktif dan menghasilkan pengalaman belajar yang lebih personal [9], serta kerangka pembelajaran kolaboratif berbasis permainan dilaporkan mampu mendorong berpikir kritis dan pemecahan masalah secara aktif melalui kolaborasi interaktif berbasis permainan [10]. Di tingkat sekolah, berbagai permainan edukatif telah dikembangkan untuk topik matematika tertentu, termasuk kemampuan numerasi untuk siswa SMP [11], geometri bangun datar untuk siswa SD menggunakan pendekatan lintasan belajar [12], serta barisan dan deret geometri untuk siswa SMA melalui game role-playing berbasis Android [13]. Permainan edukatif berbasis web pun terus berkembang, dengan studi terbaru yang melaporkan peningkatan efisiensi belajar siswa SD [14] dan, yang paling baru, integrasi teknik deep learning untuk pembelajaran pecahan [15]. Namun, sebagian besar penelitian yang ada menarget jenjang sekolah dasar dan tidak mengintegrasikan teknologi komunikasi real-time yang memungkinkan interaksi langsung antarsiswa dalam sesi permainan bersama. Berdasarkan telaah literatur yang dilakukan, penelitian yang secara khusus mengembangkan game puzzle matematika berbasis web untuk topik refleksi di jenjang sekolah menengah atas masih terbatas.

WebSocket adalah protokol komunikasi yang menyediakan saluran full-duplex melalui satu koneksi TCP/IP persisten, memungkinkan server dan klien untuk bertukar data kapan saja tanpa overhead dari permintaan HTTP yang berulang [16]. Karakteristik ini menjadikan WebSocket sangat sesuai untuk aplikasi game multiplayer yang memerlukan sinkronisasi status permainan antarpengguna dengan latensi rendah. Penerapannya dalam konteks game edukatif masih belum banyak dieksplorasi, terutama dalam kaitannya dengan konten yang selaras dengan kurikulum matematika sekolah menengah.

Penelitian ini menjawab kesenjangan tersebut dengan mengembangkan ISOMETRIA, sebuah game puzzle matematika berbasis web yang mengimplementasikan teknologi WebSocket untuk mendukung fungsionalitas multiplayer real-time pada topik refleksi. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengimplementasikan WebSocket guna mendukung fitur multiplayer real-time dalam game puzzle matematika berbasis web; (2) mengevaluasi pengaruh penggunaan game terhadap hasil belajar siswa pada topik refleksi; dan (3) mengukur respons siswa terhadap penggunaan game sebagai media pembelajaran. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini berupaya menjawab tiga pertanyaan penelitian: (RQ1) bagaimana implementasi WebSocket dapat mendukung fungsionalitas multiplayer real-time pada game ISOMETRIA; (RQ2) sejauh mana penggunaan ISOMETRIA berpengaruh terhadap hasil belajar siswa pada materi refleksi geometri; dan (RQ3) bagaimana respons siswa terhadap penggunaan ISOMETRIA sebagai media pembelajaran matematika tambahan.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan Penelitian dan Pengembangan (R&D) dengan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation,

Evaluation). Model ADDIE dipilih karena strukturnya yang sistematis dan iteratif, yang sangat cocok untuk pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi, dan telah berhasil diterapkan dalam penelitian serupa yang melibatkan pengembangan game edukatif untuk topik transformasi geometri [17].

A. Analisis

Tahap analisis melibatkan wawancara pra-penelitian dengan guru matematika di MAN 1 Kota Gorontalo untuk mengidentifikasi tantangan pembelajaran, penggunaan media yang sudah ada, dan karakteristik siswa. Temuan utama mencakup: (a) tingkat pemahaman yang sangat heterogen dalam satu kelas; (b) umpan balik yang sebagian besar diberikan secara klasikal dengan keterbatasan individualisasi; (c) media digital interaktif belum diintegrasikan dalam pembelajaran matematika; dan (d) motivasi siswa lebih tinggi ketika kegiatan belajar disajikan dalam format permainan atau kompetisi.

B. Desain

Tahap desain mencakup penentuan konsep game (genre puzzle, target siswa SMA kelas XI, fokus topik refleksi), pengembangan konten instruksional (materi berbasis slide dan bank soal), desain alur permainan (matchmaking, pemilihan karakter, eksplorasi peta, dan pertarungan), spesifikasi arsitektur sistem (client-server dengan WebSocket untuk komunikasi real-time), desain UI/UX untuk setiap scene permainan, serta penyusunan instrumen pre-test dan post-test beserta angket respons siswa.

C. Pengembangan

Tahap pengembangan menerjemahkan desain menjadi prototipe yang berfungsi. Sisi front end dibangun menggunakan HTML dan JavaScript dengan pustaka Phaser.js untuk rendering game web 2D. Sisi back end dikembangkan dengan Node.js dan Express.js, dengan Socket.io mengimplementasikan lapisan WebSocket untuk komunikasi real-time antarklien. Aplikasi ISOMETRIA di-deploy menggunakan layanan hosting berbasis cloud, yaitu Vercel (Hobby Plan) untuk sisi frontend dan Railway (Free Plan) untuk sisi backend. Pada sisi frontend, Vercel Hobby Plan menyediakan kapasitas transfer data hingga 1 TB per bulan dan hingga 10 juta edge request per bulan, didukung oleh Global CDN. Pada sisi backend, Railway Free Plan mengalokasikan sumber daya hingga 1 vCPU dan 0,5 GB RAM per service, dengan kapasitas volume storage sebesar 0,5 GB.

D. Implementasi

Implementasi dilaksanakan pada Juni 2026 di MAN 1 Kota Gorontalo bersama siswa Kelas XI.12. Dari 40 siswa yang terdaftar, 38 hadir dan menjadi sampel akhir. Siswa terlebih dahulu mengerjakan pre-test berbasis kertas untuk mengukur pemahaman awal tentang topik refleksi. Mereka kemudian terlibat dengan ISOMETRIA dalam satu sesi

kelas, setelah itu post-test (yang terintegrasi dalam fase pertarungan game) dan angket respons siswa diberikan.

E. Evaluasi

Evaluasi terdiri dari tiga komponen. Pertama, pengujian fungsionalitas dilakukan terhadap 25 skenario yang mencakup keseluruhan alur game. Kedua, efektivitas pembelajaran diukur dengan membandingkan skor pre-test dan post-test menggunakan statistik deskriptif [18],[19] dan Uji Wilcoxon Signed-Rank [20], yang dipilih sebagai alternatif nonparametrik setelah uji normalitas Shapiro-Wilk [21] mengonfirmasi distribusi selisih skor yang tidak normal ($W = 0,896$, $p = 0,002$). Ketiga, data respons siswa dikumpulkan melalui angket skala Likert sembilan butir [22] yang mencakup aspek kebergunaan, keterlibatan, dan manfaat yang dirasakan.

F. Implementasi WebSocket

Implementasi WebSocket dalam ISOMETRIA disusun berdasarkan empat fase komunikasi berurutan. Sebelum komunikasi spesifik-fase dapat berlangsung, server harus diinisialisasi terlebih dahulu. Server dibangun dengan Node.js dan Express.js, dengan instance Socket.io yang dipasang di atasnya. Pembentukan koneksi mengikuti tiga langkah: (1) browser klien mengirimkan HTTP Upgrade Request ke server; (2) server merespons dengan HTTP 101 Switching Protocols, mengonfirmasi handshake; dan (3) koneksi WebSocket full-duplex yang persisten terbentuk, yang melaluinya semua komunikasi dalam empat fase permainan berlangsung tanpa membuka koneksi HTTP baru.

G. Fase Matchmaking

Ketika pemain menekan tombol Play, klien mengemit event `joinQueue` ke server. Jika pemain lain sudah ada dalam antrian, server memasang keduanya ke dalam sebuah room menggunakan `socket.join(roomId)` dan menyiarkan event `matchFound`. Jika tidak ditemukan lawan dalam 8 detik, yaitu batas waktu yang ditetapkan di bawah batas kehilangan perhatian 10 detik yang diidentifikasi dalam penelitian human-computer interaction [23], server mengemit event `matchBot` dan pemain melanjutkan dalam mode single-player melawan bot.

H. Fase Pemilihan Karakter

Setelah matchmaking selesai, setiap pemain memilih karakter dan mengemit event `selectCharacter` yang membawa data `class`, `subclass`, dan `skill`. Server menyimpan pilihan setiap pemain dalam status room dan menunggu hingga kedua pemain siap (pemeriksaan `allReady`). Setelah dikonfirmasi, server menginisialisasi `battleState` dan menyiarkan event `startGame` yang berisi karakter kedua pemain, peran yang ditugaskan (P1/P2), dan titik spawn, memastikan kedua klien memulai eksplorasi peta secara bersamaan dengan data yang konsisten.

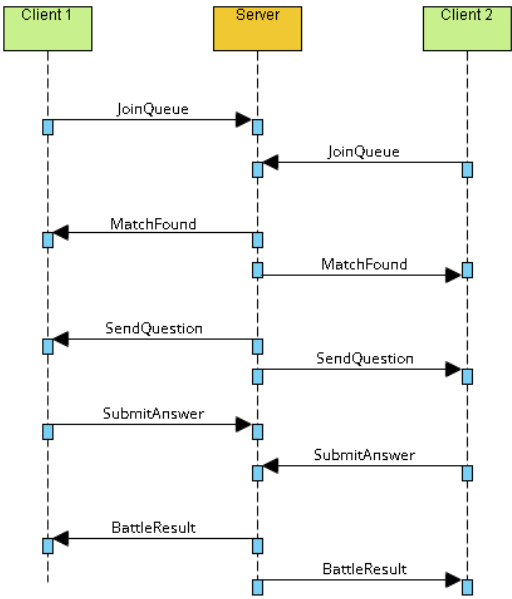
I. Fase Eksplorasi Peta

Selama eksplorasi peta, tiga jenis data disinkronisasikan secara real-time: posisi karakter, status interaksi monumen, dan status transisi pintu/lantai. Setiap pergerakan pemain dikirim melalui event `playerMove`; server meneruskannya ke lawan sebagai event `enemyMove`. Aktivasi monumen memicu event `syncStatue`, dan transisi lantai memicu event `syncDoor`, keduanya diteruskan ke lawan menggunakan `socket.to(roomId).emit()`, memastikan konsistensi visual di kedua klien.

J. Fase Pertarungan

Fase pertarungan merupakan implementasi WebSocket yang paling kompleks dalam sistem ini. Arsitektur server-authoritative diterapkan, yang berarti semua keputusan ronde termasuk evaluasi jawaban, penentuan pemenang ronde, sinkronisasi timer, pembaruan HP, dan efek skill diproses secara eksklusif di server, sementara klien hanya merender hasilnya. Pendekatan ini menghilangkan potensi kecurangan di sisi klien dan memastikan konsistensi status permainan antara kedua pemain.

Tantangan teknis utama dalam game multiplayer berbasis jawaban adalah kondisi balapan (*race condition*) yang muncul ketika kedua pemain mengirimkan jawaban dalam hitungan milidetik satu sama lain. Menentukan pemenang hanya berdasarkan urutan kedatangan paket data akan tidak adil, karena perbedaan latensi jaringan antar pemain dapat memengaruhi hasilnya. Hal ini diatasi dengan mekanisme *race window* 200 milidetik yang diimplementasikan dalam handler `submitAnswer`. Studi dari [] menunjukkan bahwa manusia mulai mendeteksi delay pada kisaran 100–200 ms dan mengalami penurunan performa di atas 200 ms. Selain itu, rata-rata *reaction time* manusia modern tetap berada di kisaran 200–250 ms. Hal ini menjadikan 200 ms sebagai *threshold* kritis yang optimal dalam desain sistem interaktif, termasuk game. Ketika jawaban pertama tiba, timer 200 ms dimulai. Jika jawaban pemain kedua tiba dalam jendela waktu ini, kedua jawaban dikumpulkan sebelum fungsi `resolveRound()` dipanggil. Resolusi ronde mengikuti tiga aturan: (1) jika hanya satu pemain menjawab dengan benar, pemain tersebut menyerang; (2) jika keduanya menjawab dengan benar, pemain dengan *timestamp* lebih awal yang menang; (3) jika tidak ada yang menjawab dengan benar, tidak ada serangan yang terjadi. Hasil disiarkan ke semua pemain dalam room melalui event `battleResult`, semua proses tadi dapat ditunjukkan oleh sequence diagram pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Sequence diagram komunikasi WebSocket antara klien dan server

Elemen tersinkronisasi tambahan meliputi: timer (*countdown* sisi server yang disiarkan setiap detik melalui `timerSync`), nilai HP (disiarkan melalui `HPSync` setelah setiap ronde), efek skill (*stagger*, *deathDelay*, *silence* melalui event khusus), dan penanganan *disconnect* (event `opponentDisconnected` memastikan pemain yang tersisa dapat mengakhiri sesi secara normal). Tabel 1 merangkum semua event WebSocket di keempat fase.

TABEL 1. FASE DAN EVENT KOMUNIKASI WEBSOCKET DALAM SISTEM MULTIPLAYER ISOMETRIA

Fase	Event Klien ke Server	Event Server ke Klien	Fungsi
Matchmaking	joinQueue	matchFound, matchBot	Pencocokan pemain otomatis dan penugasan lawan
Pemilihan Karakter	selectCharacter, skillsSelected	enemySkillsSelected, startGame	Sinkronisasi karakter dan skill; pemicu mulai game
Eksplorasi Peta	playerMove, syncStatue, syncDoor	enemyMove, syncStatue, syncDoor	Sinkronisasi posisi, monumen, dan pintu secara real-time
Pertarungan	battleReady, submitAnswer, HPSync, playerStagger, deathDelayActive, silenceActive, battleOver	battleStart, battleResult, nextQuestion, timerSync, timerTimeout, HPSync, enemyStagger, deathDelayActive,	Pengiriman jawaban, resolusi ronde, timer, HP, efek skill, dan

		silenceActive, opponentWon, opponentDisconnected	penghentian sesi
--	--	--	------------------

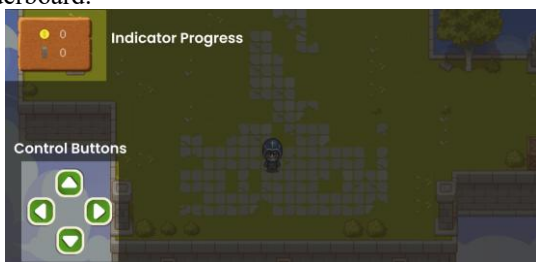
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Antarmuka dan Fitur Game

Game yang dikembangkan, ISOMETRIA, menyajikan alur permainan yang lengkap mulai dari menu utama hingga hasil pertarungan. Nama ISOMETRIA berasal dari kata "simetri" yang dikombinasikan dengan akhiran "-ia" untuk membangkitkan kesan sebuah dunia atau tempat, selaras dengan tema petualangan game serta landasan matematisnya dalam transformasi isometri sekelompok transformasi yang mempertahankan jarak dan bentuk, yang contoh utamanya adalah refleksi. Antarmuka game mencakup dua belas status layar: menu utama, leaderboard, matchmaking, pemilihan karakter, loading, eksplorasi peta, interaksi monumen, slide materi, transisi lantai dan portal akhir, toko (pembelian skill), pertarungan (post-test), dan hasil pertarungan.

Bagian eksplorasi peta terdiri dari empat lantai: Lantai 1 (Konsep Dasar dan Sifat-Sifat Refleksi), Lantai 2 (Aturan Koordinat Refleksi), Lantai 3 (Representasi Matriks dan Komposisi Refleksi), dan Lantai 4 (Portal Akhir menuju fase pertarungan). Di setiap lantai, pemain berinteraksi dengan monumen yang menyajikan slide instruksional interaktif. Jenis slide mencakup penjelasan teks disertai ilustrasi, grafik koordinat interaktif (yang dapat dikontrol melalui tombol Sumbu X dan Sumbu Y), aktivitas pencocokan sifat-sifat, kuis pilihan ganda singkat dengan umpan balik segera, dan ringkasan tips. Dalam mode multiplayer, setiap lantai berisi dua monumen, satu untuk masing-masing pemain sementara mode single-player menyediakan satu monumen per lantai. Semua aktivasi monumen dan pembukaan pintu disinkronisasi secara real-time di kedua klien.

Fase pertarungan berfungsi sebagai lingkungan post-test yang terintegrasi. Pemain menghadapi soal-soal refleksi dalam format pilihan ganda di bawah timer hitung mundur yang dikontrol server. Jawaban yang benar memicu animasi serangan terhadap lawan dan menambah penghitung combo pemain; jawaban yang salah menghasilkan efek stagger yang mereset combo. Combo tiga jawaban benar berturut-turut mengaktifkan tombol Ultimate, memungkinkan serangan spesial. Layar hasil pertarungan menampilkan hasil "YOU WIN!" atau "YOU LOSE!" yang disertai rating bintang dan skor akhir pemain, yang disimpan sebagai nilai post-test dan dicatat dalam leaderboard.



Gambar 2. Antarmuka Eksplorasi Peta



Gambar 3. Contoh Slide Materi dengan Grafik Koordinat Interaktif



Gambar 4. Antarmuka Pertarungan dengan Soal Pilihan Ganda dan Timer

B. Uji Fungsionalitas

Pengujian fungsionalitas dilakukan terhadap 25 skenario uji yang mencakup keseluruhan alur game, mulai dari pemuatan URL hingga tampilan leaderboard akhir. Seluruh 25 skenario menghasilkan hasil "Sesuai", yang menunjukkan bahwa setiap fitur sistem termasuk pembentukan handshake WebSocket, logika matchmaking, sinkronisasi karakter, sinkronisasi eksplorasi peta, dan mekanisme fase pertarungan berfungsi sesuai harapan. Keberhasilan handshake 101 Switching Protocols, pengoperasian mekanisme race window yang tepat, dan penanganan event disconnect lawan yang benar secara kolektif menunjukkan bahwa seluruh fungsi yang diuji berjalan sesuai dengan spesifikasi pada skenario pengujian yang telah ditentukan.

C. Hasil Pre-test dan Post-test

Efektivitas pembelajaran dinilai dengan membandingkan skor pre-test dan post-test dari 38 siswa. Statistik deskriptif disajikan pada Tabel 2. Rata-rata skor meningkat dari 57,1 pada pre-test menjadi 69,2 pada post-test, mewakili peningkatan sekitar 21,2%. Standar deviasi menurun dari 24,6 menjadi 16,0, menunjukkan penyempitan distribusi skor dan tingkat pemahaman yang lebih seragam setelah menggunakan game.

TABEL 2. STATISTIK DESKRIPTIF HASIL PRE-TEST DAN POST-TEST

	N	Minimum	Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
Pre-test	38	20	100	57,1	24,6
Post-test	38	30	100	69,2	16,0

Pengelompokan skor ke dalam tiga level (Tinggi: 61–100; Sedang: 31–60; Rendah: 0–30) mengungkap pergeseran distribusi yang jelas ke arah yang lebih baik. Pada pre-test, 36,8% siswa berada di kategori Tinggi,

42,1% di Sedang, dan 21,1% di Rendah. Pada post-test, kategori Tinggi meningkat menjadi 60,5%, Sedang menurun menjadi 36,8%, dan Rendah turun menjadi 2,6% (hanya satu siswa). Pergeseran distribusi skor menunjukkan adanya peningkatan hasil belajar setelah siswa menggunakan media yang dikembangkan.

D. Uji Wilcoxon Signed-Rank

Sebelum pengujian hipotesis, uji normalitas Shapiro-Wilk diterapkan pada selisih skor pre-test/post-test. Hasilnya ($W = 0,896$, $p = 0,002$) mengindikasikan distribusi yang tidak normal, sehingga diperlukan pendekatan nonparametrik. Uji Wilcoxon Signed-Rank menghasilkan $W = 31,5$ dan $p < 0,001$, yang mengarah pada penolakan H_0 dan penerimaan H_1 : terdapat perbedaan yang signifikan secara statistik dalam hasil belajar siswa sebelum dan sesudah menggunakan ISOMETRIA. Rata-rata selisih sebesar $-15,0$ (post-test lebih tinggi) mengonfirmasi arah peningkatan. Hasil ini selaras dengan literatur pembelajaran berbasis permainan yang lebih luas, yang mendokumentasikan bahwa game edukatif berbasis web memberikan umpan balik segera yang mendorong keterlibatan aktif dan mempercepat koreksi kesalahan [4]. Peningkatan yang diperoleh secara numerik lebih tinggi dibandingkan penelitian sebelumnya namun, perbandingan langsung perlu dilakukan secara hati-hati karena adanya perbedaan jumlah partisipan, instrumen, materi pembelajaran, dan desain penelitian.

TABEL 3. HASIL UJI WILCOXON SIGNED-RANK

	W	p	Rata-rata Selisih
Pre-test – Post-test	31,5	< 0,001	-15,0

Uji Wilcoxon Signed-Rank Test menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik antara skor pre-test dan post-test ($p < 0,001$). Namun, karena penelitian ini menggunakan desain satu kelompok pre-test–post-test tanpa kelompok kontrol, peningkatan yang diamati sebaiknya ditafsirkan sebagai suatu keterkaitan dengan intervensi, bukan sebagai bukti kausal yang pasti.

E. Kuesioner Respon Siswa

Respons siswa terhadap angket skala Likert sembilan butir (1 = Sangat Tidak Setuju, 5 = Sangat Setuju) menghasilkan rata-rata keseluruhan 3,58 (Cukup Setuju). Aspek kebergunaan memperoleh rata-rata 3,26, menunjukkan bahwa siswa dapat mengoperasikan game tanpa kesulitan teknis yang berarti, meskipun beberapa siswa mencatat ketidakbiasaan awal dengan kontrol game. Aspek keterlibatan memperoleh rata-rata 3,64, mencerminkan bahwa desain visual dan mekanisme game berhasil menarik minat siswa dan mempertahankan motivasi selama sesi berlangsung. Aspek manfaat yang dirasakan memperoleh rata-rata tertinggi sebesar 3,83, menunjukkan bahwa siswa mempersepsikan game sebagai media yang membantu pemahaman mereka terhadap topik refleksi dan mekanisme umpan balik segera sangat

membantu dalam mengidentifikasi dan mengoreksi miskonsepsi. Skor keterlibatan selaras dengan temuan Ramadhanti dkk. [24] bahwa game matematika yang mendukung multiplayer meningkatkan baik kinerja aritmetika maupun minat belajar. Skor manfaat yang tinggi lebih lanjut mendukung prinsip konstruktivis bahwa pemahaman yang bermakna lebih mudah dibangun ketika pelajar terlibat secara aktif melalui pengalaman langsung [25], konsisten dengan pandangan bahwa pembelajaran matematika harus mengakomodasi kebutuhan yang berbeda-beda dari siswa dan mendorong pemaknaan secara aktif [26], serta bahwa keterlibatan dengan konsep melalui berbagai representasi memperkuat pemahaman konseptual matematika [27].

TABEL 4. HASIL KUESIONER RESPON SISWA

No.	Pernyataan	Rata-rata Skor	Kategori
A. Kebergunaan			
1	Game ini mudah digunakan tanpa panduan khusus.	3,18	Cukup Setuju
2	Antarmuka (layar, tombol, menu) mudah dipahami.	3,63	Cukup Setuju
3	Saya tidak mengalami kesulitan teknis saat bermain.	3,00	Cukup Setuju
Rata-rata Kebergunaan		3,26	Cukup Setuju
B. Keterlibatan			
4	Desain visual game ini menarik dan menyenangkan.	3,53	Cukup Setuju
5	Mekanisme game puzzle memotivasi saya untuk terus belajar.	3,70	Cukup Setuju
6	Saya merasa antusias saat menggunakan media pembelajaran ini.	3,70	Cukup Setuju
Rata-rata Keterlibatan		3,64	Cukup Setuju
C. Manfaat yang Dirasakan			
7	Game ini membantu saya memahami topik refleksi dengan lebih baik.	3,78	Cukup Setuju
8	Umpan balik segera membantu saya mengidentifikasi kesalahan saya.	3,80	Cukup Setuju
9	Saya menganggap media ini bermanfaat sebagai alat pendukung pembelajaran matematika.	3,93	Cukup Setuju
Rata-rata Manfaat yang Dirasakan		3,83	Cukup Setuju
Rata-rata Keseluruhan		3,58	Cukup Setuju

F. Pembahasan Implementasi WebSocket

Dari sudut pandang teknis, implementasi WebSocket menunjukkan kesesuaian protokol ini untuk lingkungan game edukatif yang sinkron. Koneksi full-duplex yang persisten, sebagaimana dijelaskan oleh D. Sereda [16], menghilangkan overhead koneksi berulang dari HTTP

polling, sehingga pembaruan posisi karakter dan perubahan status pertarungan dapat diteruskan dengan latensi minimal. Arsitektur server-authoritative pada fase pertarungan di mana fungsi `resolveRound()` di server memegang otoritas eksklusif atas hasil ronde merupakan keputusan desain krusial yang menjamin konsistensi status game antara dua klien yang beroperasi dalam kondisi jaringan yang berbeda. Race window 200 ms merupakan pilihan desain yang disengaja untuk mengompensasi perbedaan latensi antarpengguna dengan mengumpulkan jawaban kedua pemain sebelum menentukan pemenang, sehingga memastikan bahwa hasilnya mencerminkan kecepatan kognitif, bukan kecepatan jaringan. Arsitektur room yang diimplementasikan melalui `socket.join(roomId)` dan `io.to(roomId).emit()` memberikan isolasi sesi yang memungkinkan server mengelola beberapa sesi game yang berjalan bersamaan tanpa gangguan lintas sesi, meletakkan fondasi skalabilitas untuk penerapan di ruang kelas yang lebih luas.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan ISOMETRIA, sebuah game puzzle matematika berbasis web yang mengimplementasikan teknologi WebSocket untuk fungsionalitas multiplayer real-time, menargetkan topik refleksi bagi siswa Kelas XI di MAN 1 Kota Gorontalo. Implementasi WebSocket dikonfirmasi berfungsi melalui keberhasilan handshake HTTP 101 Switching Protocols, pengoperasian yang benar dari keempat fase komunikasi (matchmaking, pemilihan karakter, eksplorasi peta, dan pertarungan), serta resolusi race condition yang efektif melalui arsitektur server-authoritative dengan race window 200 ms. Seluruh 25 skenario pengujian fungsionalitas dinilai sesuai. Efektivitas pembelajaran ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata skor dari 57,1 (pre-test) menjadi 69,2 (post-test), yang merupakan hasil yang signifikan secara statistik dan dikonfirmasi oleh Uji Wilcoxon Signed-Rank ($p < 0,001$). Angket respons siswa menghasilkan rata-rata keseluruhan 3,58 (Cukup Setuju), dengan aspek manfaat yang dirasakan mendapat skor tertinggi sebesar 3,83. Temuan-temuan ini mengindikasikan bahwa ISOMETRIA berpotensi sebagai media pembelajaran matematika tambahan yang direspons positif oleh siswa. Penelitian ini berfokus pada evaluasi dampak pedagogis dari implementasi game terhadap hasil belajar siswa, sehingga aspek performa jaringan dan keamanan sistem secara mendalam belum menjadi cakupan utama. Penelitian selanjutnya perlu mengatasi keterbatasan saat ini, meliputi: (1) perluasan konten matematika di luar topik refleksi untuk mencakup kurikulum transformasi geometri secara penuh; (2) pengembangan matchmaking berbasis kemampuan untuk menciptakan sesi kompetitif yang lebih seimbang; (3) validasi formal oleh pakar materi dan media sebelum penerapan yang lebih luas; (4) migrasi dari status sesi dalam memori ke penyimpanan basis data persisten guna mencegah kehilangan data saat server restart; dan (5) pengujian performa jaringan dan beban sistem, mencakup pengukuran latency, throughput, dan stabilitas server pada kondisi multi-sesi secara bersamaan

(mis. 20, 50, hingga 100 pengguna aktif); (6) benchmark komparatif terhadap pendekatan komunikasi real-time lain seperti REST API, Long Polling, Firebase Realtime Database, MQTT, atau WebRTC untuk memvalidasi keunggulan WebSocket secara kuantitatif; dan (7) analisis keamanan sistem, mencakup mekanisme autentikasi, pencegahan kecurangan (cheating prevention), dan ketahanan terhadap potensi session hijacking pada komunikasi WebSocket.

REFERENSI

- [1] D. Mauliddiani, D. Hasibuan, and H. S. Harahap, "Kemampuan Daya Tangkap Anak dalam Pembelajaran Kelas V MIS Al Mukhlisin Kabupaten Deli Serdang," *J. Educ.*, vol. 06, no. 01, pp. 1381–1389, 2023, doi: <https://doi.org/10.31004/joe.v6i1.3092>.
- [2] N. Martin-alguacil, L. Avedillo, R. Mota-blanco, and M. Gallego-agundez, "education sciences Student-Centered Learning: Some Issues and Recommendations for Its Implementation in a Traditional Curriculum Setting in Health Sciences," *Educ. Sci.*, vol. 14, 2024, doi: <https://doi.org/10.3390/educsci14111179>.
- [3] J. Meyer, T. Jansen, and J. Fleckenstein, "Nonengagement and unsuccessful engagement with feedback in lower secondary education: The role of student characteristics," *Contemp. Educ. Psychol.*, vol. 81, no. March 2025, p. 102363, 2025, doi: [10.1016/j.cedpsych.2025.102363](https://doi.org/10.1016/j.cedpsych.2025.102363).
- [4] N. L. P. Andika, K. Agustini, and I. G. W. Sudatha, "Studi Literatur Review: Peran Media Game Based Learning terhadap Pembelajaran," *Didakt. J. Kependidikan*, vol. 14, no. 1, pp. 799–812, 2025, doi: <https://doi.org/10.58230/27454312.1645>.
- [5] Ramlah, N. Riana, and A. P. Abadi, "Fun Math Learning For Elementary School Students Through Interactive Puzzle Media," *SJME (Supremum J. Math. Educ.)*, vol. 6, no. 1, pp. 25–34, 2022, doi: [10.35706/sjme.v6i1](https://doi.org/10.35706/sjme.v6i1).
- [6] H. J. Bang, L. Li, and K. Flynn, "Efficacy of an Adaptive Game-Based Math Learning App to Support Personalized Learning and Improve Early Elementary School Students' Learning," *Early Child. Educ. J.*, vol. 51, no. 4, pp. 717–732, 2023, doi: [10.1007/s10643-022-01332-3](https://doi.org/10.1007/s10643-022-01332-3).
- [7] D. A. Apriani, Yasinta Mahendra, and Berta apriza, "The Effectiveness of Educational Games in Mathematics Learning in Elementary Schools: A Systematic Literature Review," *Mimb. PGSD Undiksha*, vol. 13, no. 1, pp. 115–126, 2025, doi: [10.23887/jjpsd.v13i1.91722](https://doi.org/10.23887/jjpsd.v13i1.91722).
- [8] Y. M. Cholily, R. Darmayanti, T. Lovat, Choirudin, Usmyatun, and I. Muhammad, "Si-GEMAS: Serious game mathematical crossword puzzle learning media for students critical thinking ability," *Al-Jabar J. Pendidik. Mat.*, vol. 14, no. 1, pp. 165–179, 2023, doi: <https://doi.org/10.24042/ajpm.v14i1.16113>.

- [9] M. C. Intriago-Cobena, R. M. Reyes-Ávila, A. M. Kaicer-Pinargote, S. N. Bazurto-Alcívar, and L. A. Chavarria-Mendoza, "Gamification in the Acquisition of Vocabulary in the English Language in Upper Secondary Education Students of a Rural School," *Int. J. Linguist. Lit. Cult.*, vol. 10, no. 5, pp. 89–99, 2024, doi: <https://doi.org/10.21744/ijllc.v10n5.2459>.
- [10] I. Zahra, M. Neo, and S. H. Hew, "Level-Up Learning with CIGLE Framework: Enhancing Learning Through Interactive, Game-Based Collaboration for Effective Problem Solving," *Int. J. Technol.*, vol. 16, no. 1, pp. 187–206, 2025, doi: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v16i1.7143>.
- [11] Muhtarom, H. Adrillian, A. B. H. M. H., and M. Ribowo, "Pengembangan Game Edukasi Matematika Untuk Meningkatkan Kemampuan Numerasi Siswa SMP," *Transform. J. Pendidik. Mat. dan Mat.*, vol. 6, no. 2, pp. 95–108, 2022, doi: [10.36526/tr.v.](https://doi.org/10.36526/tr.v.)
- [12] C. I. S. Budhayanti and J. Bata, "Pengembangan Game Edukasi Untuk Materi Bangun Datar Menggunakan Lintasan Belajar Geometri," *J. Muara Ilmu Sos. Humaniora, dan Seni*, vol. 5, no. 1, pp. 154–163, 2021, doi: [10.24912/jmishumsen.v5i1.9477](https://doi.org/10.24912/jmishumsen.v5i1.9477).
- [13] R. Fahlevi and A. Yuliani, "Pengembangan Game Edukasi Cermat Berbasis Android untuk Meningkatkan Keterampilan Problem Solving Siswa SMA pada Materi Barisan dan Deret Geometri," *J. Pembelajaran Mat. Inov.*, vol. 4, no. 5, pp. 1191–1204, 2021, doi: [10.22460/jpmi.v4i5.1191-1204](https://doi.org/10.22460/jpmi.v4i5.1191-1204).
- [14] Asri, Fitriyani, Katie, and A. Iskandar, "Web-Based Educational Game Development to Improve Elementary School Students' Learning Efficiency and Interest," *Ceddi J. Educ.*, vol. 4, no. 2, pp. 10–16, 2025, doi: <https://doi.org/10.56134/cje.v4i2.156>.
- [15] R. Rosmiati, "Web-Based Educational Game Development Using Deep Learning for Fractions," *Indones. J. Innov. Stud.*, vol. 27, no. 1, pp. 1–11, 2026, doi: [10.21070/ijins.v27i1.1875](https://doi.org/10.21070/ijins.v27i1.1875).
- [16] D. Sereda, "Real-time interaction on the web: how WebSockets change application performance," *Int. J. Eng. Comput. Sci.*, vol. 14, no. 05, pp. 27229–27233, 2025, doi: [10.18535/ijecs.v14i05.5135](https://doi.org/10.18535/ijecs.v14i05.5135).
- [17] I. S. Aminah, A. Syamsudin, and D. Hamidah, "Pengembangan Game Edukasi Etnomatematika Tenun Ikat Bandar pada Materi Transformasi," *J. Equ. Teor. dan Penelit. Pendidik. Mat.*, vol. 6, no. September, pp. 23–31, 2023, doi: <https://doi.org/10.29300/equation.v6i2.3495>.
- [18] G. Fulk, "Descriptive Statistics, An Important First Step," *J. Neurol. Phys. Ther.*, vol. 47, no. 2, p. 63, 2023, doi: [10.1097/NPT.0000000000000434](https://doi.org/10.1097/NPT.0000000000000434).
- [19] Y. AbdulRaheem, "Statistics in medical research: Common mistakes," *J. Taibah Univ. Med. Sci.*, vol. 18, no. 6, pp. 1197–1199, 2023, doi: [10.1016/j.jtumed.2023.04.004](https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2023.04.004).
- [20] N. I. S. Indah and F. Ahmad, "Exploring the Wilcoxon Test in Science Education: A Literature Review of Empirical Research," *Indones. J. Educ. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 158–169, 2025, doi: <https://doi.org/10.31605/ijes.v7i2.4712>.
- [21] R. D. Gosselin, "Testing for normality: a user's (cautionary) guide," *Lab. Anim.*, vol. 58, no. 5, pp. 433–437, 2024, doi: [10.1177/00236772241276808](https://doi.org/10.1177/00236772241276808).
- [22] I. M. Agus, O. Gunawan, I. G. Teguh, S. Dharma, and I. W. R. Wijaya, "KOMPUTA: Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika Evaluasi Usability Aplikasi Absensi Pegawai Menggunakan System Usability Scale: Studi Kasus di Pemerintah Provinsi Bali Usability Evaluation of Employee Attendance Application Using System Usability Scale," *KOMPUTA J. Ilm. Komput. dan Inform.*, vol. 15, no. 1, 2026, doi: [10.34010/komputa.v15i1.19367](https://doi.org/10.34010/komputa.v15i1.19367).
- [23] N. Fang, T. Hu, M. Shi, and Z. Liu, "Effects of Different Visual Feedback Types on Perception of Online Wait," *Trait. du Signal*, vol. 39, no. 4, pp. 1303–1312, 2022, doi: [10.18280/ts.390423](https://doi.org/10.18280/ts.390423).
- [24] N. F. Ramadhanti, M. Lamada, and M. Riska, "Pengembangan Aplikasi Game Edukasi 3D 'Finding Geometry' Berbasis Unity Sebagai Media Pembelajaran Bangun Ruang Matematika," *J. Mediat. J. Media Pendidik. Tek. Inform. dan Komput.*, vol. 4, no. 2, pp. 21–26, 2021, doi: <https://doi.org/10.59562/mediatik.v4i2.3076>.
- [25] M. I. Dhani, T. A. Aziz, and L. El Hakim, "Pembelajaran Matematika Melalui Pendekatan Konstruktivisme," *J. Pendidik. MIPA*, vol. 12, 2022, doi: <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i4.796>.
- [26] A. A. Arafah, Sukriadi, and A. F. Samsuddin, "Implikasi Teori Belajar Konstruktivisme pada Pembelajaran Matematika," *J. Pendidik. MIPA*, vol. 13, no. 2000, pp. 358–366, 2023, doi: <https://doi.org/10.37630/jpm.v13i2.946>.
- [27] Nurfad, Indriana, and F. Julian, "Students' Mathematical Conceptual Knowledge," *J. Mercumatika J. Penelit. Mat. dan Pendidik. Mat.*, vol. 8, no. 2, 2025, doi: <https://doi.org/10.26486/jm.v8i2.3414>.