

Implementation of Finite State Machine Algorithm for Interactive Physics Learning in a 3D Game

Nur Budi Nugraha^{1*}, Yaqutina Marjani Santosa^{2*}, Esti Mulyani^{3*}

* Jurusan Teknik Informatika, Politeknik Negeri Indramayu

nurbudinugraha@polindra.ac.id¹, yaqutinams@polindra.ac.id², estimulyani@polindra.ac.id³

Article Info

Article history:

Received 2023-10-30

Revised 2023-11-16

Accepted 2023-11-17

Keyword:

Physics,
Finite State Machine (FSM),
3D Game.

ABSTRACT

Physics is a subject taught in high schools as per the established curriculum. Teachers often employ traditional teaching methods where students study independently without active participation, leading to boredom and reduced enthusiasm for learning. Physics is frequently perceived as difficult and perplexing by most students, and the utilization of 3D games as a learning tool can help overcome these challenges. This research aims to integrate the Finite State Machine (FSM) algorithm into a 3D game to create a more effective and engaging learning experience for students. The study employs the waterfall method in application development, encompassing stages such as needs analysis, application design, FSM implementation in games, and game testing and evaluation. 3D physics games have been successfully developed and tested for their feasibility. This game serves as an effective means of entertainment and learning, aiding students in enhancing their understanding of physics subjects. According to the results of a questionnaire with 50 respondents, it is evident that this 3D game is quite user-friendly (90%) and possesses a very good user interface (89%). Approximately 78% of respondents stated that their experience in using the game was very good. Moreover, 82% of respondents found that this educational physics game was highly beneficial for learning physics material.



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

I. PENDAHULUAN

Pendidikan merupakan salah satu aspek penting dalam perkembangan pengetahuan dan keterampilan individu, dan perkembangan teknologi telah memberikan peluang baru untuk penyampaian materi pembelajaran [1]. Perkembangan teknologi yang pesat telah mengubah secara mendasar cara kita belajar, mengajar, dan berpartisipasi dalam pendidikan [2]. Fenomena ini tidak hanya menciptakan perubahan dalam pendidikan, tetapi juga mendefinisikan kembali paradigma pendidikan secara keseluruhan [3]. Perkembangan teknologi ini tidak hanya berdampak pada tingkat dasar, tetapi juga merasuk dalam semua tingkat pendidikan, mulai dari pendidikan anak usia dini hingga pendidikan tinggi [4].

Permainan 3D telah menjadi salah satu platform inovatif yang menjanjikan pengalaman pembelajaran yang menarik dan interaktif, terutama dalam pembelajaran fisika [5]. Fisika merupakan salah satu pelajaran yang diajarkan di sekolah

menengah atas sesuai dengan kurikulum yang telah ditetapkan [6]. Terdapat sebelas konsep atau topik yang dipelajari di kelas 11 fisika, dan tiga diantaranya adalah fluida statis, gerak parabola, dan fluida dinamis [7]. Model pembelajaran yang berhasil adalah model pembelajaran yang didasarkan pada pandangan yang humanis, berfokus pada kebutuhan saat ini, menggunakan aturan pembelajaran yang simpel dan praktis, mudah dilaksanakan, serta mampu mencapai tujuan pembelajaran yang ditargetkan [8]. Namun menurut wawancara dengan seorang guru fisika di SMA kelas XI, metode pembelajaran yang diterapkan dalam proses belajar masih menggunakan metode tradisional. Metode ini masih menimbulkan kesulitan dan belum memberikan hasil yang efektif karena keterbatasan peralatan yang digunakan. Akibatnya, siswa mengalami kesulitan dalam memahami konsep yang diajarkan dengan baik [9].

Tantangan yang dihadapi dalam penelitian ini adalah kurangnya kesesuaian antara proses pembelajaran dengan

sifat abstrak mata pelajaran fisika [10]. Guru kerap menerapkan metode pembelajaran klasik dimana siswa belajar seorang diri tanpa berpartisipasi aktif dalam proses pembelajaran [11]. Hal ini menyebabkan siswa merasa jenuh dan kurang antusias dalam belajar. Selain itu, penggunaan media pembelajaran tidak sering dilakukan, meskipun fisika adalah salah satu pelajaran yang abstrak yang membutuhkan visualisasi agar siswa dapat belajar dengan konteks dan lebih memahami konsep yang dijelaskan [12]. Mata Pelajaran fisika sering dianggap sulit dan membingungkan oleh sebagian besar siswa, dan penggunaan game 3D sebagai alat pembelajaran dapat membantu dalam mengatasi hambatan-hambatan tersebut [13]. Dalam pengembangan game 3D untuk pembelajaran fisika, representasi realistis dari konsep-konsep fisika dan interaksi antar objek dalam dunia virtual menjadi kunci untuk mencapai efektivitas pembelajaran [14].

Algoritma Finite State Machine (FSM) umumnya diterapkan dalam permainan untuk menggambarkan tingkah laku dari berbagai objek, seperti simulasi fisika [15]. Walaupun FSM sudah terbukti menjadi metode yang efektif dalam menggambarkan perilaku objek, namun ada beberapa kesulitan yang timbul ketika mencoba mencapai tingkat akurasi dan interaktif yang diperlukan dalam pembelajaran fisika [16]. Diperlukan optimasi algoritma FSM karena terdapat beberapa masalah seperti penggunaan terlalu banyak sumber daya komputasi, kesulitan dalam menggambarkan fenomena fisika yang rumit, dan sulitnya pemeliharaan serta pengembangan permainan [17].

Ini lah mengapa penelitian yang fokus pada meningkatkan efisiensi algoritma FSM dalam pengajaran fisika dalam game 3D menjadi signifikan. Para ahli game harus memahami cara meningkatkan FSM untuk menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih autentik, efisien, dan mendalam [18]. Ini akan memberikan manfaat yang baik bagi pembelajaran fisika, membantu siswa untuk mengerti konsep-konsep fisika dengan lebih baik, serta meningkatkan keasikan dalam pembelajaran melalui metode permainan. Selain itu, peningkatan algoritma FSM juga dapat mengurangi tugas komputasi dalam pembuatan permainan 3D, sehingga dapat meminimalkan biaya dan waktu yang digunakan untuk membuat permainan yang efisien [19]. Dengan cara ini, penelitian ini akan memberikan dampak yang besar dalam bidang pendidikan, teknologi permainan, dan simulasi fisika [20].

Penelitian sebelumnya yang membahas tentang media edukasi fisika telah dilakukan oleh Nissa 2021 yang menghasilkan produk berupa media pembelajaran phygamtion berbasis android pada materi fluida dinamis menggunakan unity dan hasil uji validasi mendapatkan persentase rata rata keseluruhan aspek sebesar 90% kategori sangat layak [21]. Penelitian lain tentang game pembelajaran juga dilakukan oleh Nugraha 2022 yang membuat game edukasi pengenalan tata surya berbasis animasi 2D. Hasil yang diperoleh bahwa game yang dibuat menggunakan konsep animasi 2D yang disertai dengan gambar dan audio yang menarik sehingga sebanyak 59,1% menyukai game ini

ketika dilakukan survey game [22]. Pada penelitian ini akan membuat sebuah game 3D tentang mata pelajaran fisika dengan mengoptimalkan penggunaan algoritma FSM dalam game tersebut

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan algoritma FSM dalam konteks interaksi pembelajaran fisika dalam permainan 3D. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi simulasi fisika, mengoptimalkan penggunaan sumber daya komputasi, dan meningkatkan interaktivitas dalam permainan [23]. Rencana pemecahan masalah mencakup tahap analisis tantangan, evaluasi algoritma FSM yang ada, pengembangan solusi optimal, pengujian, dan penerapan dalam studi kasus nyata. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi signifikan dalam mengatasi tantangan pembelajaran fisika dalam konteks permainan 3D, menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih efektif dan menarik bagi para siswa, dan memungkinkan pengembang game untuk menciptakan permainan yang lebih efisien dan realistis [24].

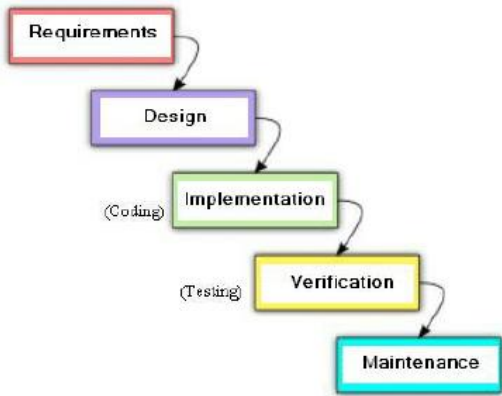
II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode waterfall dalam pengembangan aplikasinya. Dengan mengimplementasikan algoritma finite state machine (FSM) ke dalam game 3D ini bertujuan untuk memberikan kontribusi signifikan dalam mengatasi tantangan pembelajaran fisika dalam konteks games, menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih efektif dan menarik bagi para siswa, dan memungkinkan pengembang game untuk menciptakan permainan yang lebih efisien dan realistis.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah analisa kebutuhan. Penelitian ini bertujuan untuk membuat sebuah game mata pelajaran fisika yang bisa menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih efektif dan menarik bagi para siswa. Konsep yang akan dibahas dalam games ini meliputi statis, gerak parabola, dan fluida dinamis pada kelas XI SMA. Langkah selanjutnya adalah mendesain game 3D. Pada tahap ini melibatkan proses pembuatan desain karakter, pengaturan lingkungan, objek fisik, dan elemen interaktif yang sesuai dengan konsep fisik yang telah ditetapkan. Kreativitas dalam merancang permainan ini sangat diperlukan karena unsur-unsur tersebut akan menjadi sarana utama penunjang pembelajaran fisika.

Setelah desain game selesai, selanjutnya mengimplementasikan algoritma Finite State Machine (FSM). FSM akan menjadi kerangka kerja yang mengatur perilaku dalam game, termasuk interaksi antar karakter, objek, dan situasi game. Setiap keadaan dalam FSM harus mengacu pada situasi yang relevan dengan konsep fisika yang diajarkan dan dapat memberikan pengalaman belajar yang solid. Langkah selanjutnya mengintegrasikan konsep fisika ke dalam FSM. Pada tahap ini melibatkan mengaitkan konsep fisika ke dalam state-state FSM, sehingga pemain dapat merasakan dan mengamati konsep tersebut dalam konteks

game. Setiap perubahan state dalam FSM harus menggambarkan dengan jelas konsep fisika yang terkait.

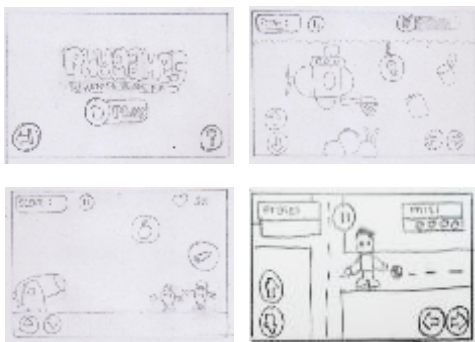


Gambar 1. Metode Waterfall

Tahapan terakhir adalah tahap evaluasi dan perbaikan berkelanjutan. Game ini akan diuji coba dengan peserta yang mewakili target audiens yaitu siswa siswi SMA kelas XI dan data yang diperoleh selama uji coba akan dianalisis. Hasil analisis ini akan digunakan untuk memperbaiki dan mengembangkan game serta algoritma FSM yang digunakan sehingga bisa menghasilkan sebuah games dengan tingkat kesalahan (error) seminimal mungkin.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil yang ingin diperoleh dalam penelitian ini adalah menghasilkan game 3D mengenai pembelajaran fisika. Tahapan selanjutnya mendesain game yang meliputi pembuatan story board, story line serta pembuatan desain karakter, pengaturan lingkungan, objek fisik, dan elemen interaktif yang sesuai dengan konsep fisika yang telah ditetapkan. Dalam game ini terdapat 3 stage yang akan dibuat yang meliputi Stage Newton, Stage Archimedes dan Stage Bernouli.



Gambar 2. Storyboard Game Fisika

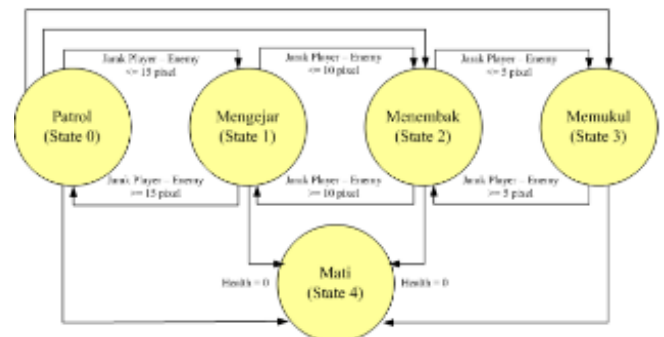
Storyline game ini berisikan cerita jalan ceritanya game ini yang meliputi pada menu utama mencakup tombol play, tombol bantuan, tombol pengaturan dan tombol keluar. Stage 1 user harus mengumpulkan sampah, sehingga poin akan bertambah secara bertahap tergantung nilai masing-masing sampah. Ada pula bom yang sewaktu-waktu bisa meledak

sehingga user harus memadamkan bom tersebut. Jika bom meledak maka waktu bermain akan dipersingkat, jika waktu habis maka permainan akan berakhir. Pada stage 2, aktor harus menghancurkan monster jika monster itu mendekati aktor, nyawanya akan berkurang. Jika Anda kehabisan nyawa, permainan akan berakhir. Ada bom yang membantu aktor membunuh monster dengan cepat. Dan untuk tahap 3, aktor harus menuju titik misi untuk menyelesaikan misi yang tersedia. Jika tugas selesai, nilai akan ditambahkan dan jika semua misi selesai maka permainan akan berakhir.



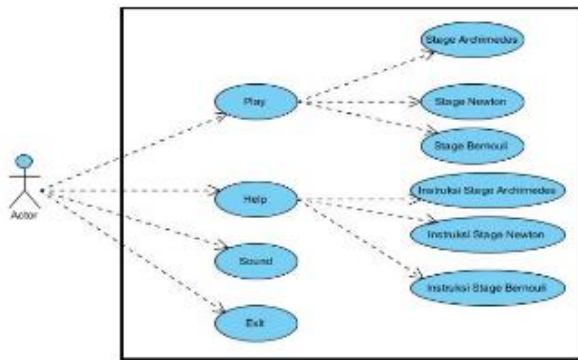
Gambar 3. Design objek dengan unity 3D

Pembuatan desain karakter dan objek game ini menggunakan adobe illustrator yang dilakukan satu per satu menggunakan tool yang disediakan. Mulai dari karakter actor, objek sampah, kapal selam, monster dibuat semenarik mungkin agar user yang akan memakai game ini menjadi tertarik. Selain itu juga dilakukan pembuatan animasi serta pemberian suara dan dubbing pada game. Setelah karakter, objek dan animasi dibuat kemudian diimplementasikan kedalam game menggunakan unity 3D.



Gambar 4. FSM Game Fisika

Penerapan alur FSM pada karakter monster memiliki sifat jika karakter pemain mendekati pada jarak < 15 pixel dari monster, maka monster akan mengejar, jika pemain mendekati lagi pada jarak < 10 pixel maka monster akan menembak pemain, dan jika pemain mendekati pada jarak < 5 pixel maka monster akan menyerang pemain.



Gambar 5. Usecase Diagram Game Fisika

Gambar 5 merupakan usecase diagram yang digunakan dalam pembuatan game fisika. Dalam usecase tersebut terdapat usecase yang berada dalam sistem dan diluar sistem. Di luar sistem terdapat use case aktor, use case aktor digunakan untuk menjalankan game hingga selesai. Di dalam sistem terdapat beberapa menu yang dapat digunakan pada use case yaitu play, help, sound, dan exit. Dimana use case play berfungsi untuk memulai game, use case help berfungsi untuk memberikan informasi tentang cara memainkan game, use case sound berfungsi untuk mengatur suara dan use case exit berfungsi untuk mengakhiri games.

Pada tahap implementasi, semua desain yang sudah dibuat kemudian diimplementasikan menjadi sebuah game fisika yang nantinya akan digunakan oleh user. Tampilan menu awal terdapat beberap tombol yang dapat dipilih oleh actor untuk memulai games, actor dapat memilih tombol mulai. Setelah actor memilih menu mulai, kemudian actor akan diarahkan ke menu stage yang dapat dipilih. Pada game ini, terdapat 3 stage yang dapat dimainkan oleh actor.



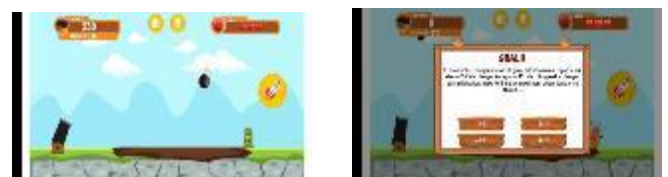
Gambar 6. Tampilan Menu Awal Dan Pilihan Stage

Pada stage 1, actor akan ditempat pada suatu pedesaan dipinggir Sungai. Actor harus berjalan mengumpulkan sampah disepanjang Sungai. Setiap sampah yang dikumpulkan akan menambah poin. Ada pula bom yang sewaktu-waktu bisa meledak sehingga user harus memadamkan bom tersebut. Jika bom meledak maka waktu bermain akan dipersingkat, jika waktu habis maka permainan akan berakhir.



Gambar 7. Tampilan Stage 1 dan Actor

Pada stage 2, aktor harus menghancurkan monster yang mendekati actor menggunakan Meriam. Jika bom Meriam mengenai monter maka akan menambah point dari actor dan jika monster mengenai actor maka nyawanya akan berkurang. Jika Anda kehabisan nyawa, permainan akan berakhir. Ada beberapa kuis yang harus dijawab oleh user untuk emnambah tingkat kesulitan dari game ini.



Gambar 8. Tampilan Stage 2

Pada stage 3, aktor harus menuju titik misi untuk menyelesaikan misi yang tersedia. Jika tugas selesai, nilai akan ditambahkan dan jika semua misi selesai maka permainan akan berakhir. Setiap tempat ada teka teki yang harus diselesaikan oleh actor. Jika berhasil menyelsaikan teka tekinya, maka actor akan bertambah pointnya dan jika salah, maka pointnya akan berkurang.



Gambar 9. Tampilan Stage 3

Pada tahap pengujian game yang telah dibuat menggunakan pengujian yang dilakukan kepada 50 responden yang merupakan siswa kelas XI SMA. Pengujian ini dilakukan dengan meminta responden untuk menginstal game di smartphone mereka, kemudian responden diwajibkan untuk mengisi kuesioner dari link google form yang sudah dibagikan.

Pada tahap fungsionalitas dari game edukasi fisika yang dibuat, diketahui nilai realibilitas kuesioner pada item pertanyaan sebesar 85% dengan menggunakan cronbach alpha. Pertanyaannya meliputi kemudahan penggunaan game,

pendapat tentang fitur dan User interfacenya, icon, karakter dan sound yang digunakan, pengalaman yang dirasakan setelah menggunakan game, serta apakah game dapat membantu mempelajari fluida statis, gerak parabola dan fluida dinamis.

Dari hasil kuesioner diketahui bahwa game edukasi ini cukup mudah digunakan (90%) dan memiliki user interface yang sangat baik (89%). Sekitar 78% responden juga menyatakan bahwa pengalaman yang dirasakan dalam menggunakan game adalah sangat baik. Sebanyak 82% responden menyatakan game edukasi fisika ini sangat membantu dalam mempelajari materi fisika tentang fluida statis, gerak parabola dan fluida dinamis. Siswa menjadi tertarik dalam belajar dan mudah dalam mengingat pembelajaran karena games disertai dengan karakter yang menarik dan disertai dengan audio yang membantu meningkatkan semangat belajar terutama dalam materi fluida statis, gerak parabola, dan fluida dinamis dan memberikan bentuk belajar yang lebih efisien.

IV. KESIMPULAN

Games 3D fisika berbasis android telah berhasil dibuat dan diuji kelayakannya. Game yang dibuat memberikan kontribusi signifikan dalam mengatasi tantangan pembelajaran fisika dalam konteks permainan 3D, menciptakan pengalaman pembelajaran yang lebih efektif dan menarik bagi para siswa. Game ini mengimplementasikan sebuah permainan sebagai sarana hiburan dan pembelajaran yang efektif yang dapat membantu siswa dalam menambah pemahaman tentang mata pelajaran fisika. Dari hasil kuesioner diketahui bahwa game 3D ini cukup mudah digunakan (90%) dan memiliki user interface yang sangat baik (89%). Sekitar 78% responden juga menyatakan bahwa pengalaman yang dirasakan dalam menggunakan game adalah sangat baik. Sebanyak 82% responden menyatakan game edukasi fisika ini sangat membantu dalam mempelajari materi fisika. Siswa menjadi tertarik dalam belajar karena games menggunakan karakter yang menarik dan disertai dengan audio yang membantu meningkatkan semangat belajar siswa

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Wati and H. Istiqomah, "Game Edukasi Fisika Berbasis Smartphone Android Sebagai Media Pembelajaran Fisika," *Indonesian Journal of Science and Mathematics Education*, vol. 2, no. 2, pp. 162–167, Jul. 2019, doi: 10.24042/ij sme.v2i2.4341.
- [2] N. B. Nugraha and E. Alimudin, "Mobile Application Development for Tourist Guide in Pekanbaru City," *J Phys Conf Ser*, vol. 1430, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1430/1/012038.
- [3] A. Simaremare, N. A. Promono, D. S. Putri, F. P. P. Mallisa, S. Nabila, and F. Zahra, "Pengembangan Game Edukasi Fisika Berbasis Augmented Reality pada Materi Kinematika untuk Siswa SMA," *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, vol. 6, no. 1, p. 203, Apr. 2022, doi: 10.20527/jipf.v6i1.4893.
- [4] F. Kadir and Z. Y. Lamasigi, "Game Edukasi Sebagai Media Pembelajaran Fisika Untuk Siswa Kelas X SMK Negeri 1 Boalemo Berbasis Android," *Jurnal Nasional cosPhi*, vol. 4, no. 2, pp. 2597–9329, 2020, [Online]. Available: <https://tpmuda.wordpress.com/2017/12/17/ma>
- [5] S. Umrani, "Games based learning: A case of learning Physics using Angry Birds," *Indian J Sci Technol*, vol. 13, no. 36, pp. 3778–3784, Sep. 2020, doi: 10.17485/IJST/v13i36.853.
- [6] P. M. Ramadhani and S. Sugianto, "Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Model Educational Games Guna Meningkatkan Minat Belajar Melalui Rolling Box (Ro-Box) Bagi Peserta Didik Kelas X SMA N 2 Semarang," 2020. [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujep>
- [7] R. Q. Yakin, Nyoman. P. Suwindra, and B. P. Mardana, "Pengembangan Media Pembelajaran Game Edukasi Fisika Untuk Meningkatkan Motivasi Dan Prestasi Belajar Siswa Pada Materi Gerak-Gerak Lurus," *Jppf*, vol. 8, no. 2, pp. 2599–2554, 2018.
- [8] Suliyanah *et al.*, "Literature Review on the Use of Educational Physics Games in Improving Learning Outcomes," in *Journal of Physics: Conference Series*, IOP Publishing Ltd, Apr. 2021. doi: 10.1088/1742-6596/1805/1/012038.
- [9] A. V. Walelang, L. Liliana, and G. S. Budhi, "Game Pembelajaran Fisika Dengan Game Bertipe Adventure Game," 2020.
- [10] R. Andari, "Pemanfaatan Media Pembelajaran Berbasis Game Edukasi Kahoot! Pada Pembelajaran Fisika," *ORBITA. Jurnal Hasil Kajian, Inovasi, dan Aplikasi Pendidikan Fisika*, vol. 6, no. 1, 2020, [Online]. Available: <https://scholar.google.co.kr/citations?u>
- [11] S. F. Mahmud and N. B. Nugraha, "Animasi 2d Media Pembelajaran Jaringan Organ Tubuh Manusia Berbasis Mobile," *Jurnal Ilmiah Komputer Grafis*, vol. 13, no. 2, pp. 8–13, 2020, [Online]. Available: <http://journal.stekom.ac.id/index.php/pixel>
- [12] F. Rozi and A. Kristari, "Pengembangan Media Pembelajaran Game Edukasi Berbasis Android Pada Mata Pelajaran Fisika Untuk Siswa Kelas Xi Di Sman 1 Tulungagung," 2020.
- [13] I. A. Rizki, H. V. Saphira, Y. Alfarizy, A. D. Saputri, R. Ramadani, and N. Suprpto, "Integration of Adventure Game and Augmented Reality Based on Android in Physics Learning," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 17, no. 1, pp. 4–21, 2023, doi: 10.3991/ijim.v17i01.35211.
- [14] Y. Rahmawati, M. M. Febriyana, Y. B. Bhakti, I. A. D. Astuti, and M. Suendarti, "Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Game Edukasi: Analisis Bibliometrik Menggunakan Software VOSViewer (2017-2022)," *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, vol. 13, no. 2, pp. 257–266, Oct. 2022, doi: 10.26877/jp2f.v13i2.13170.
- [15] aditya Enggar, purba daru Kusuma, and ratna Astuti, "Implementasi Finite State Machine Untuk Npc Pada Game 2d Side-Scroll Shooter Implementation Of Finite-State Machine For Npc In 2d Side Scroll Shooter," 2022.
- [16] R. Latifah, I. Azis, and R. D. Risanty, "Game Edukasi Senyawa Ionik Sebagai Alternatif Media Pembelajaran Menggunakan Finite State Machine," *Komputasi: Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer dan Matematika*, vol. 18, no. 2, pp. 69–76, 2021, doi: 10.33751/komputasi.v18i2.3629.
- [17] D. Jagdale, "Finite State Machine in Game Development," *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, pp. 384–390, Oct. 2021, doi: 10.48175/ijarsct-2062.
- [18] K. Fathoni, R. Y. Hakkun, and H. A. T. Nurhadi, "Finite State Machines for Building Believable Non-Playable Character in the Game of Khalid ibn Al-Walid," in *Journal of Physics: Conference Series*, Institute of Physics Publishing, Jul. 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1577/1/012018.
- [19] I. A. A. Refnaldi, "Design an Enemy Non-Player Character in Maze Game Using Finite State Machine Algorithm," *Journal of Computer Engineering: Progress, Application and Technology*, vol. 2, no. 01, p. 9, Feb. 2023, doi: 10.25124/cepat.v2i01.5779.
- [20] A. Fernando, L. Costaner, M. Devega, and U. Lancang Kuning, "Penerapan Metode Finite State Machine Pada Game Pembelajaran Matematika," *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)*, vol. 3, no. 1, pp. 60–68, 2023.

-
- [21] C. Nissa, R. Darman, I. S. Utami, J. P. Fisika, U. Sultan, and A. Tirtayasa, "Pengembangan media pembelajaran Phygamtion (Physics Game Education) berbasis android pada materi fluida dinamis," 2021.
- [22] N. B. Nugraha, "Game Edukasi Interaktif Pengenalan Tata Surya Berbasis Animasi 2D untuk Siswa Kelas 6 SD," *Jurnal Ilmiah Komputer Grafis*, vol. 15, no. 1, pp. 113–120, 2022, [Online]. Available: <http://journal.stekom.ac.id/index.php/pixel/page/113>
- [23] J. P. Panganiban, "Gaming in Motion (Gameotion): A Web Portal for Physics-conceptualized Game," *International Journal of Research Publications*, vol. 104, no. 1, Jun. 2022, doi: 10.47119/ijrp1001041720223609.
- [24] A. Wijaya, T. Fransiska, A. Prasetyo, P. Indah Cahyani, and A. Yohanes Kopong, "Pengembangan Media Pembelajaran Fisika Berbasis Board Game Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Fisika Peserta Didik SMA Kelas X," 2020.