

Non-Playable Character (NPC) based on Behaviour Tree for Enhanced Immersive Experience in the Serious Game "Warik's Adventure"

Tandicha Marchelputra S^{1*}, Hanny Haryanto^{2*}, Khafiizh Hastuti^{3**}, Ristia Kadiasti^{4**}

* Teknik Informatika, Universitas Dian Nuswantoro Semarang

** Animasi, Universitas Dian Nuswantoro Semarang

tandichasiswoko@gmail.com¹, hanny.haryanto@dsn.dinus.ac.id², afis@dsn.dinus.ac.id³, ristiakadiasti@dsn.dinus.ac.id⁴

Article Info

Article history:

Received 2023-11-02

Revised 2023-11-16

Accepted 2023-11-17

Keyword:

*Behaviour Tree,
Immersive,
Non-Playable Character,
Serious Game.*

ABSTRACT

Video games, or digital games, have transcended their traditional role of mere entertainment and are now being leveraged for more serious purposes, such as education and cultural preservation. Serious games offer the advantage of presenting content in an interactive and enjoyable manner. A crucial element in gameplay for creating interactivity and a pleasurable experience is the non-playable character (NPC). In serious games, replayability is pivotal for optimizing the comprehension of learning content, with the gameplay experience being a key factor influencing replayability. While games are known for their entertaining aspects, immersion design in serious games often falls short, resulting in a subpar experience. The NPC design in this study is grounded in appreciative learning, emphasizing positive outcomes such as possibilities, peak successes, exploration, and future optimism. The reward activity is structured across four levels: Discovery, Dream, Design, and Destiny. Behaviour Tree is employed to govern NPC behavior throughout all four stages. To evaluate the effectiveness of the immersive design, the Game Experience Questionnaire (GEQ) is employed, measuring three primary components—sensory, imaginative, and challenge-based immersion. The GEQ result indicates a score of 3.2, showcasing a slight improvement from the previous version's score of 3.07. This research contributes to the enhancement of serious game design by focusing on NPC behavior and immersive experiences, ultimately fostering more effective and engaging learning environments.



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

I. PENDAHULUAN

Video game atau game digital, yang umumnya sekarang disebut dengan game, tidak hanya digunakan untuk hiburan atau sekadar permainan. Kelebihannya yang dapat menyajikan materi atau konten secara interaktif dengan cara yang menyenangkan membuat game memiliki potensi besar sebagai sarana edukasi [1]. Game yang digunakan untuk tujuan selain hanya sekedar hiburan, seperti untuk edukasi, disebut dengan *serious game* [2]. Beberapa penelitian untuk penggunaan *serious game* antara lain untuk pelestarian budaya [3], edukasi mitigasi bencana [4], pandemi [5], pembelajaran *cyber security* [6], edukasi nutrisi [7] dan pembelajaran formal di sekolah [1]. Interaktivitas yang

menyenangkan pada game membentuk pengalaman pemain atau pembelajar sehingga dapat meningkatkan pemahaman terhadap materi atau konten yang disajikan oleh game [8]. Pengalaman dalam bermain game dapat didefinisikan dan diukur dalam pengalaman imersif.

Pengalaman imersif adalah pengalaman dimana pemain merasa terlibat atau terlarut pada game. Penelitian oleh [9] menyatakan bahwa semakin tinggi tingkat pengalaman imersif ini maka makin baik pengalaman bermain game dan makin tinggi kemungkinan pemain untuk mengulang lagi bermain game sehingga efektivitas penyampaian materi *serious game* juga makin tinggi. Menurut [10], pengalaman imersif dibagi menjadi tiga, yaitu *challenge-based immersion*, *sensory immersion*, dan *imaginative immersion*.

Challenge-based immersion berfokus pada pengalaman berupa tantangan, *sensory immersion* berfokus pada penyajian yang berbasis panca indra seperti grafik, animasi dan musik. Sedangkan *imaginative immersion* berkaitan dengan imajinasi yang disajikan game kepada pemain, seperti cerita, tema dan karakter. Pengalaman imersif di dalam sebagian besar *serious game* sekarang belum terkonsep dengan baik, sehingga mengakibatkan belum menyajikan pengalaman imersif dengan baik, sehingga materi yang disampaikan kurang maksimal diserap oleh pemain [9].

Non-playable character (NPC) di dalam game merupakan salah satu elemen terpenting dalam game untuk mendukung pengalaman imersif. Penelitian oleh [11] menunjukkan efek dominan dari NPC untuk pengalaman imersif, terutama pada *challenge-based immersion*. NPC pada game adalah karakter yang tidak dapat dimainkan, dan dapat berupa musuh, karakter netral dan karakter pendukung. Berbagai tujuan atau fungsi NPC dalam game adalah memberikan informasi, menggerakkan cerita, mendukung karakter, menghidupkan suasana dalam game dan memberikan tantangan [12]. Desain perilaku NPC yang baik dapat meningkatkan pengalaman imersif secara signifikan. Namun NPC yang ada pada *serious game* umumnya mempunyai pola perilaku yang monoton dan belum terkonsep dengan baik atau hanya sekedar ada saja, tanpa ada desain perilaku yang baik dan tujuan yang jelas [13].

Kecerdasan buatan dapat digunakan untuk membentuk perilaku dinamis pada game. Beberapa penelitian sebelumnya antara lain adalah [14] yang menggunakan *Finite State Machine* (FSM) dalam game *First Person Shooter*. Lalu [15] juga menggunakan FSM pada game berbasis *Augmented Reality*. FSM merupakan metode umum dalam kecerdasan buatan untuk game yang mempunyai kelebihan dalam pemodelan perilaku yang sederhana dan jelas. Namun kelemahan FSM adalah pada terbatasnya perilaku yang dapat dimodelkan sehingga kurang detail. Metode seperti fuzzy juga banyak diaplikasikan untuk membentuk perilaku dinamis pada elemen game, seperti yang dilakukan oleh [13] yang menggunakan logika fuzzy untuk membentuk perilaku NPC dan [16] yang menerapkannya untuk mengatur tingkat kesulitan otomatis. Metode fuzzy baik dalam membentuk variasi dalam satu perilaku namun untuk detail perilaku, metode *behaviour tree* lebih baik.

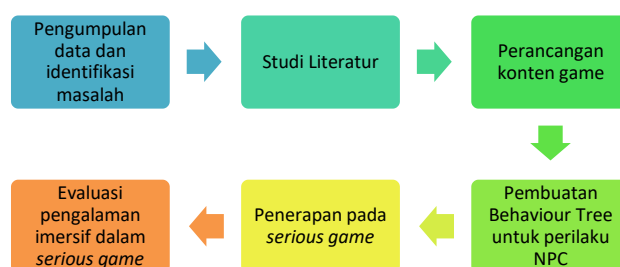
Penelitian yang menggunakan *behaviour tree* untuk memodelkan perilaku NPC dilakukan oleh [17] pada game sidescroller, kemudian [18] yang menerapkannya pada NPC musuh. Pada penelitian-penelitian tersebut masih terbatas hanya menerapkan *behaviour tree* dan belum menghubungkannya dan mengukur pengalaman imersif yang dihasilkan.

Penelitian ini menggunakan *behaviour tree* pada game bertema keragaman budaya Semarang dengan karakter dan judul *Warik's Adventure*. Berdasarkan literature review di atas, penelitian sebelumnya belum mengembangkan kea rah

penelitian imersif, meskipun sudah menggunakan metode di kecerdasan buatan. Penelitian ini melakukan eksperimen menggunakan kecerdasan buatan untuk meningkatkan pengalaman imersif. Perilaku dinamis yang dihasilkan oleh kecerdasan buatan cocok untuk mendukung pengalaman imersif yang dinamis. Pengaruh perilaku NPC berbasis *behaviour tree* pada pengalaman imersif pemain diukur menggunakan *Game Experience Questionnaire*.

II. METODE PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada gambar 1 berikut.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

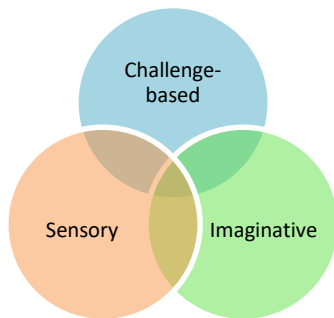
Pada tahap awal melakukan pengumpulan data tentang penelitian di bidang *serious game* dan pengalaman imersif pada game. Di tahap ini didapatkan data tentang banyaknya *serious game* yang tidak menyajikan pengalaman imersif kepada pemainnya sehingga mudah ditinggalkan. Identifikasi masalah ini didapatkan terutama dari penelitian yang dilakukan oleh [19] yang menyebutkan kurangnya pengalaman pemain dalam *serious game*.

Studi literatur merupakan penggalan literasi pada jurnal dan penelitian terkait tentang penggunaan *serious game* dan pengalaman imersif sebagai acuan kebaruan penelitian dan posisi penelitian ini dalam memberikan kontribusi terhadap bidang ilmu pengembangan game untuk edukasi. Dari studi literatur didapatkan bahwa jarang ada penelitian yang mengaitkan desain perilaku NPC dan lingkungan imersif.

Konten *serious game* mengangkat tema keragaman budaya yang disajikan dalam karakter *Warik's Adventure* dan teman-temannya. Selanjutnya tahap pengembangan *Behaviour tree* untuk memodelkan perilaku dari NPC. *Behaviour tree* yang dihasilkan diterapkan pada game *Warik's Adventure*.

Pengukuran dan analisa pengalaman imersif yang dihasilkan oleh penggunaan *behaviour tree* dilakukan menggunakan *Game Experience Questionnaire* (GEQ). GEQ.

Desain pengalaman imersif dibagi menjadi tiga, yaitu *challenge-based*, *sensory* dan *imaginative* seperti digambarkan pada gambar 3 berikut.



Gambar 2. Jenis Pengalaman Imersif

Seperti disajikan pada Gambar 2 tersebut bahwa ketiga jenis pengalaman imersif tersebut saling terkait satu sama lain. Dalam suatu game umumnya ada satu atau dua pengalaman imersif yang dominan. Pada penelitian ini lebih berfokus pada menghasilkan pengalaman imersif berjenis *challenge-based*. Menurut [20], pengalaman imersif dihasilkan dari aktivitas di dalam game yang melibatkan NPC dan dapat bersifat tantangan. Tantangan yang disajikan NPC akan berbasis pada perilaku dinamis dari NPC. Tabel 1 menunjukkan pemetaan perilaku NPC terhadap elemen dari pengalaman imersif berbasis *challenge*.

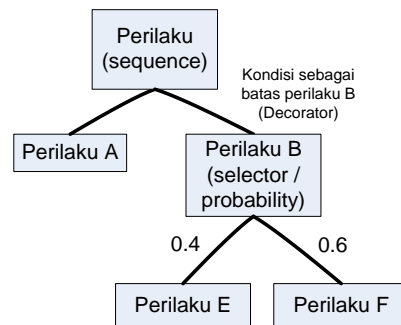
TABEL I
PEMETAAN PERILAKU NPC TERHADAP ELEMEN IMERSIF BERBASIS CHALLENGE

Elemen imersif berbasis <i>challenge</i>	Perilaku NPC
Agresif	Kejar, serang
Defensif	Bertahan, lari
Aktif	Patroli, jalan
Pasif	Diam, sembunyi

Perilaku NPC tersebut adalah perilaku standar yang bersifat memberikan tantangan. *Behaviour tree* di dalam penelitian ini dibuat berdasarkan perilaku tersebut.

G. Rancangan *Behaviour Tree*

Behaviour tree menggambarkan empat jenis perilaku NPC berdasarkan Tabel 1. Perilaku tersebut adalah aktif, agresif, defensive, dan pasif. Penelitian ini menggunakan tiga jenis *Behaviour tree* [18], yaitu *sequence*, *selector*, dan *decorator*. Dimana *selector* terdiri dari dua jenis, yaitu *priority* dan *probability*. *Sequence* artinya perilaku akan dijalankan secara urut. *Selector* memilih perilaku yang akan dijalankan, sedangkan *decorator* memberikan keterangan kondisi perilaku, misalnya sampai berapa lama atau kapan perilaku akan dijalankan. *Selector priority* akan memilih perilaku yang lebih diprioritaskan (diletakkan di cabang yang kiri). Sedangkan untuk *selector probability* akan memilih perilaku berdasarkan nilai kemungkinannya. Misalnya suatu perilaku mempunyai nilai kemungkinan 0.6 maka ada 60% kemungkinan perilaku ini dipilih. Gambar 3 menyajikan contoh *Behaviour tree* dengan *sequence*, *selector* dan *decorator*.



Gambar 3. Contoh *Behaviour Tree*

H. *Game Experience Questionnaire (GEQ)*

Pada penelitian ini dikembangkan game bertema keragaman budaya berjudul *Warik's Adventure*. Tabel 2 menyajikan daftar pertanyaan yang digunakan untuk evaluasi perilaku NPC terhadap pengalaman imersif setelah pengguna memainkan *Warik's Adventure*. Kuesioner berikut dibuat berdasarkan *Game Experience Questionnaire (GEQ)* [21] yang dibatasi di bagian pengalaman imersif dan *core gameplay*. Tiap pertanyaan akan menguji tiap bagian elemen imersif berbasis *challenge*. Skor adalah dari 1 sampai 5, dimana 1 adalah nilai minimum dan 5 adalah nilai maksimum. Semakin besar nilai tersebut maka makin baik pengalaman imersif yang disajikan. Responden sebanyak 10 dikumpulkan secara acak dengan kisaran umur dari 18 sampai 30 tahun.

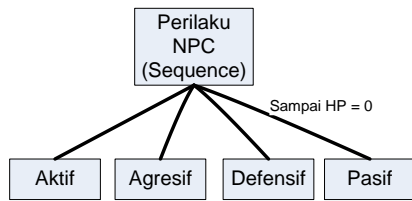
TABEL 2
PEMETAAN KUESIONER TERHADAP ELEMEN IMERSIF BERBASIS CHALLENGE

No	Pertanyaan kuesioner	Elemen imersif berbasis <i>challenge</i>
1	Saya ingin mendapatkan skor yang tinggi	Defensif, pasif
2	Saya ingin menang	Defensif, pasif
3	Saya merasa tertantang	Agresif, aktif
4	Saya merasakan tekanan dalam menghadapi musuh	Agresif
5	Saya berusaha mati-matian menghadapi musuh	Agresif
6	Saya penasaran dengan musuh yang ada	Defensif, pasif
7	Saya ingin segera menghadapi musuh	Aktif
8	Saya senang ketika mengalahkan musuh	Agresif
9	Adanya musuh membuat saya lebih bersemangat	Pasif
10	Kadangkala musuh terlalu kuat untuk saya	Agresif

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

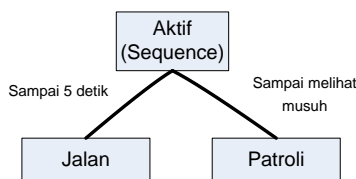
A. Implementasi *Behaviour Tree*

Behaviour Tree pada game dapat memberikan beberapa keuntungan, terutama dalam mengatur perilaku Non-Playable Characters (NPCs) untuk menciptakan pengalaman bermain yang lebih realistis dan responsif. Pembuatan skenario perilaku yang kompleks dan fleksibel, yang dapat beradaptasi dengan keputusan pemain dan perubahan dalam lingkungan game. Gambar 4 menggambarkan *Behaviour tree* untuk perilaku NPC secara umum.



Gambar 4. Behaviour tree untuk perilaku NPC secara umum

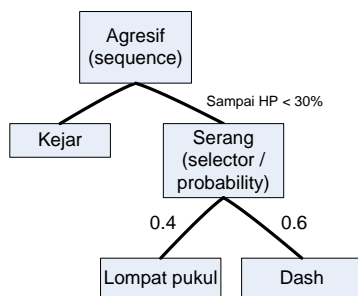
Gambar 4 tersebut menyajikan Behaviour tree empat perilaku umum NPC. Perilaku tersebut dijalankan secara berurutan dari aktif sampai pasif dan berakhir ketika Health Point mencapai 0. Kemudian, Behaviour tree untuk perilaku aktif ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



Gambar 5. Behaviour tree untuk perilaku aktif

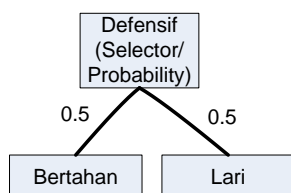
Perilaku aktif dieksekusi secara berurutan (sequence) dari jalan selama 5 detik dilanjutkan patroli. Perilaku patroli akan dilakukan sampai melihat musuh.

Behaviour tree untuk perilaku agresif ditunjukkan pada gambar 6 berikut.



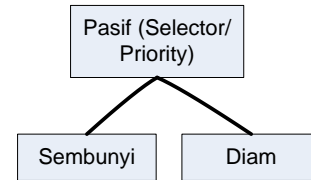
Gambar 6. Behaviour tree untuk perilaku agresif

Perilaku agresif NPC terdiri dari kejar dan serang. Perilaku dilakukan urut dari kejar dulu kemudian serang. Dimana perilaku serang ini mempunyai 2 kemungkinan bentuk serangan, yaitu lompat pukul dan dash. Dash memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk dieksekusi karena bernilai 0.6. Perilaku ini akan terus berlangsung sampai HP < 30%. Setelah itu masuk ke perilaku defensif seperti yang ditunjukkan pada gambar 7 berikut.



Gambar 7. Behaviour tree untuk perilaku defensif

Perilaku defensif terdiri dari bertahan dan lari. Behaviour tree berjenis selector probability dengan nilai kemungkinan yang sama pada kedua perilaku tersebut, yaitu 0.5. Setelah defensif, maka perilaku pasif akan dijalankan sampai HP = 0. Perilaku pasif ini ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.

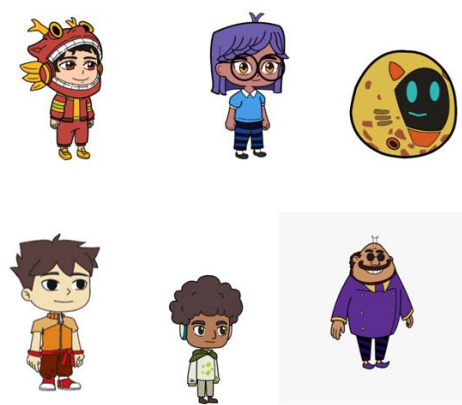


Gambar 8. Behaviour tree untuk perilaku pasif

Behaviour tree perilaku pasif berjenis selector priority, dimana perilaku sembunyi akan diutamakan terlebih dahulu. Jika misal tidak ada tempat sembunyi, maka akan memilih perilaku diam.

B. Detail dan Tema Game Warik's Adventure

Permainan Warik's Adventure: Story of Nusantara merupakan permainan bergenre metroidvania. Genre permainan ini merupakan subgenre dari 2 genre yaitu: action-adventure, dan platformer. Genre permainan ini berfokus kepada petualangan yang berorientasi kepada perkembangan karakter dari upgrade yang diperoleh oleh pemain seiring berjalannya waktu. Permainan ini menceritakan kisah seorang ilmuwan jahat bernama Toro, yang ingin mengembalikan Nusantara kepada masa-masa kekacauan dengan membuat monster-monster yang dia sebut sebagai Buto, dan seorang anak bernama Warik yang merupakan seorang anak yang terpilih untuk menjaga keutuhan Nusantara bersama dengan teman-temannya yaitu: Endog, Dian, Wawan, Nunus. Gambar 9 menunjukkan karakter-karakter yang ada di game ini.



Gambar 9. Karakter Warik's Adventure: Story of Nusantara

Warik merupakan Seorang anak berumur 10 tahun yang tinggal di sebuah distrik bernama Jawillage. Dia sangat energik, senang mencoba hal baru, dan dia adalah anak yang telah terpilih untuk menjaga keutuhan dari Nusantara dari marabahaya dengan kemampuan yang dia miliki dimana dia

sangat cepat dan gesit dia melindungi Jawillage. Endog merupakan sebuah robot berbentuk telur yang merupakan lambang dari perdamaian Nusantara yang secara tidak sengaja bertemu dengan Warik. Setelah pertemuan itu akhirnya Endog tinggal bersama dengan Warik sebagai teman dari Warik. Endog merupakan robot yang sangat jujur, peduli, dan optimis. Dian adalah seorang anak perempuan berumur 10 tahun yang merupakan sahabat dari Warik, dan tinggal di distrik yang sama dengan Warik. Dian adalah anak yang sangat pandai, solutif, dan memiliki rasa ingin tahu yang sangat tinggi. Dikarenakan kepandaian nya dian mampu membuat barang barang yang berguna untuk kehidupan sehari-hari hanya dari material yang dia temukan. Wawan yang merupakan seorang anak berumur 12 tahun yang tinggal di distrik Pialoen merupakan anak yang paling tua dibandingkan teman-temannya yang lain. Dia memiliki sifat yang berani, menyukai tantangan, dan lebih mendahulukan kepentingan orang lain. Dia memiliki fisik yang kuat dan juga memiliki kemampuan dalam beladiri pencak silat. Nunus adalah seorang anak berumur 10 tahun yang tinggal di distrik Steamsand. Dia adalah anak yang memiliki daya imajinasi yang sangat tinggi, dan idealis. Nunus memiliki kemampuan dalam bidang teknologi khususnya komputasi. Dia telah banyak menginspirasi orang-orang dengan karyanya yang inspiratif. Toro merupakan tokoh jahat yang dimiliki oleh cerita ini. Dia adalah seorang ilmuwan berusia 50 tahun. Markas dari toro sendiri masih belum diketahui letaknya, tujuan jahat dari toro adalah menghancurkan Nusantara dengan teknologi ciptaannya. Meskipun tujuannya yang jahat dia merupakan orang yang menjunjung tinggi kesetiaan dan penuh komitmen. Kisah dari Warik dimulai ketika Warik, Dian, dan Endog Sedang berjalan menyusuri Distrik Jawillage. Tak lama setelah itu Endog yaitu robot yang merupakan teman dari Warik merasakan perasaan yang aneh dan mengganjal dalam dirinya dan akhirnya mengatakan hal tersebut kepada dian dan warik namun hal tersebut tidak terlalu mengganggu mereka. Keanehan berlanjut dengan banyaknya warga jawillage yang menjadi kurang fokus, hingga akhirnya Dian hampir terjatuh dalam lubang. Setelah melanjutkan perjalanan mereka Warik, dan Endog melihat sosok besar yang tampak seperti buaya, namun Dian tidak dapat melihat sosok tersebut. Endog sadar bahwa perasaan aneh yang dia rasakan berasal dari makhluk tersebut dan tak lama setelah itu makhluk itu pergi. Kemudian mereka mengikuti makhluk tersebut dan akhirnya terungkap penyebab keanehan pada Jawillage.

Gambar 10 menunjukkan menu utama dari game ini. Menu utama dirancang dengan latar belakang pedesaan Nusantara, dengan judul game dan dua tombol mulai game dan keluar.



Gambar 10. Main menu Warik's Adventure: Story of Nusantara

Ketika tombol New Game ditekan maka muncul tampilan *gameplay* utama, seperti ditunjukkan pada Gambar 11. Game ini berjenis 2D *platformer*, dimana pandangan dari samping, kendali pemain bisa ke kanan, kiri dan loncat. Pemain mengendalikan karakter Warik dan dapat bergantian dengan Dian, dimana masing-masing karakter memiliki kelebihan sendiri. Permainan ini juga menyajikan puzzle sederhana yang memanfaatkan kelebihan karakter tersebut. Cerita yang sudah disampaikan sebelumnya disajikan dalam bentuk percakapan antar karakter. Pemain memiliki indikator nyawa yang jika habis akan menyebabkan permainan berakhir. Bonus atau item yang dapat dikumpulkan di game ini terutama berbentuk koin, yang jika diambil akan menambah jumlah skor.



Gambar 11. In-game Warik's Adventure: Story of Nusantara

Jika sudah mencapai akhir permainan, maka pemain akan menghadapi musuh *boss*, seperti ditunjukkan pada Gambar 12. Musuh berjenis "*boss*" memiliki tingkat kesulitan yang tinggi karena perilakunya yang kompleks dan nyawanya yang banyak, serta adanya kecerdasan buatan yang lebih baik.



Gambar 12. Boss battle Warik's Adventure: Story of Nusantara

C. Hasil pengukuran dengan Game Experience Questionnaire (GEQ)

Pengujian peningkatan pengalaman imersif dilakukan menggunakan Game Experience Questionnaire (GEQ) dimana pengukuran dilakukan sebelum *Behaviour tree* diterapkan dan sesudah diterapkan. Daftar pertanyaan seperti yang ditampilkan di Tabel 2. Jumlah responden adalah 10 orang sebagai responden awal sebelum diterapkan *Behaviour tree* dan setelah diterapkan *Behaviour tree*.

Hasil GEQ sebelum diterapkan adalah 3.02 dari nilai maksimal 5. Setelah *Behaviour tree* diterapkan, ada peningkatan menjadi 3.21. Tabel 3 menunjukkan hasil rata-rata jawaban dari responden sebelum *Behaviour tree* diterapkan dan hasil setelah *Behaviour tree* diterapkan.

TABEL 3
HASIL GEQ

Responden No	Rata-rata nilai GEQ sebelum <i>Behaviour tree</i>	Rata-rata nilai GEQ setelah <i>Behaviour tree</i>
1	2.60	2.73
2	3.02	3.18
3	3.10	3.27
4	3.40	3.55
5	2.70	2.82
6	3.30	3.18
7	4.20	4.64
8	2.10	2.64
9	2.90	3.09
10	2.72	2.91
Total Nilai GEQ	3.02	3.21

Tabel 3 dapat dilihat bahwa dari 9 responden, nilai GEQ meningkat dan hanya 1 yang sedikit turun. GEQ mengukur tingkat pengalaman imersif dalam bermain game yang bernilai paling rendah 1 dan paling tinggi 5. Dalam Tabel 3 dapat dilihat perbandingan dan peningkatan yang terjadi dari sebelum penambahan *behaviour tree* dan setelah penambahan *behaviour tree*. Sebelum ditambahkan *behaviour tree*, hasil GEQ adalah 3.02 dan setelah ditambahkan ada peningkatan hasil menjadi 3.21. Eksperimen yang dilakukan dapat membuktikan tujuan dari penelitian ini menerapkan *behaviour tree* dalam meningkatkan pengalaman imersif.

IV. KESIMPULAN

Penelitian mengenai penerapan *Behaviour tree* pada NPC di dalam game Warik's Adventure ini dapat meningkatkan pengalaman imersif pengguna, dibuktikan dengan nilai GEQ yang meningkat. Dibanding penelitian lain yang belum mengaitkan pengalaman imersif dan penerapan *Behaviour tree*, penelitian ini berkontribusi dalam menyediakan kerangka standar perilaku NPC berbasis *Behaviour tree* yang dapat meningkatkan pengalaman imersif pengguna, dimana pengalaman imersif ini sangat penting dalam mendukung keberhasilan dari *Serious game*. Penelitian ke depan dapat menambah jumlah perilaku yang ada dan responden yang lebih banyak untuk mendukung validitas hasil evaluasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih disampaikan kepada Laboratorium Sistem Cerdas, Teknik Informatika Universitas Dian Nuswantoro bekerjasama dengan Studio Animasi Dandin, Program Studi Animasi Universitas Dian Nuswantoro yang telah mendukung aset kekayaan intelektual dan pendanaan untuk penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] L. Blair, C. Bowers, J. Cannon-Bowers, and E. Gonzalez-Holland, "Understanding the Role of Achievements in Game-Based Learning," *IJSG*, vol. 3, no. 4, Dec. 2016, doi: 10.17083/ijsg.v3i4.114.
- [2] C. E. Catalano, A. M. Luccini, and M. Mortara, "Guidelines for an effective design of serious games," *International Journal of Serious Games*, vol. 1, no. 1, 2014, doi: 10.17083/ijsg.v1i1.8.
- [3] T. Coenen, L. Mostmans, and K. Naessens, "MuseUs: Case Study of a Pervasive Cultural Heritage Serious Game," *Journal on Computing and Cultural Heritage*, vol. 6, no. 2, pp. 1–19, 2013, doi: 10.1145/2460376.2460379.
- [4] A. Gampell, J. C. Gaillard, M. Parsons, and L. Le Dé, "'Serious' Disaster Video Games: An Innovative Approach to Teaching and Learning about Disasters and Disaster Risk Reduction," *Journal of Geography*, vol. 119, no. 5, pp. 159–170, Sep. 2020, doi: 10.1080/00221341.2020.1795225.
- [5] J. D. S. Gaspar *et al.*, "A Mobile Serious Game About the Pandemic (COVID-19 - Did You Know?): Design and Evaluation Study," *JMIR serious games*, vol. 8, no. 4, p. e25226, Dec. 2020, doi: 10.2196/25226.
- [6] S. Hart, A. Margheri, F. Paci, and V. Sassone, "Riskio: A Serious Game for Cyber Security Awareness and Education," *Computers and Security*, vol. 95, p. 101827, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.cose.2020.101827.
- [7] K. Mitsis, K. Zarkogianni, N. Bountouni, M. Athanasiou, and K. S. Nikita, "An Ontology-Based Serious Game Design for the Development of Nutrition and Food Literacy Skills," in *2019 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Jul. 2019, pp. 1405–1408. doi: 10.1109/EMBC.2019.8856604.
- [8] J. Baldeón, A. Puig, I. Rodríguez, M. Lopez-Sanchez, S. Grau, and M. Escayola, "Gamification of elementary react: math learning: a game designer role-playing experience with kids," in *gEducation (GWC15)*, Barcelona, 2015.
- [9] L. Chittaro and F. Buttussi, "Assessing knowledge retention of an immersive serious game vs. A traditional education method in aviation safety," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 21, no. 4, pp. 529–538, 2015, doi: 10.1109/TVCG.2015.2391853.
- [10] L. Ermi and F. Mäyrä, "Fundamental Components of the Gameplay Experience: Analysing Immersion," in *Changing Views: Worlds in Play*, Vancouver, Canada, 2005, pp. 15–27. doi: 10.1080/10641260490479818.
- [11] A. Hubble, J. Moorin, and A. S. Khuman, "Artificial Intelligence in FPS Games: NPC Difficulty Effects on Gameplay," in *Fuzzy Logic: Recent Applications and Developments*, J. Carter, F. Chiclana, A. S. Khuman, and T. Chen, Eds., Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 165–190. doi: 10.1007/978-3-030-66474-9_11.
- [12] M. A. Darmawan, H. Haryanto, and Y. Rahayu, "Perilaku Penyerangan NPC Berbasis Fuzzy Sugeno pada Game Action-RPG Bertema Sejarah Geger Pacinan," *Creative Information Technology Journal*, vol. 4, no. 3, pp. 195–206, 2017.
- [13] U. Nurhasan, "Analisis Perilaku Non Playable Character (Npc) Pada Game Menggunakan Fuzzy Sugeno," *Techno.Com*, vol. 19, no. 3, Art. no. 3, Aug. 2020, doi: 10.33633/tc.v19i3.3477.
- [14] Y. W. Astuti, A. Yunus, and M. Ahsan, "Perilaku Non Player Character (Npc) Pada Game Fps 'Zombie Colonial Wars'

- Menggunakan Finite State Machine (FSM),” *Kurawal - Jurnal Teknologi, Informasi dan Industri*, vol. 2, no. 1, Art. no. 1, Mar. 2019, doi: 10.33479/kurawal.2019.2.1.53-63.
- [15] E. W. Hidayat, A. N. Rachman, and M. F. Azim, “Penerapan Finite State Machine pada Battle Game Berbasis Augmented Reality,” *Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika*, vol. 5, no. 1, pp. 54–61, 2019, doi: <https://dx.doi.org/10.26418/jp.v5i1.29848>.
- [16] I. A. Ahmadi, E. M. A. Jonemaro, and M. A. Akbar, “Penerapan Algoritme Logika Fuzzy Untuk Dynamic Difficulty Scaling Pada Game Labirin,” *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (J-PTIIK) Universitas Brawijaya*, 2018.
- [17] A. Junaidi, A. Yunus, and A. S. Wiguna, “Implementasi Behavior Tree Pada Perilaku Npc Di Game Sidescroller,” *Kurawal - Jurnal Teknologi, Informasi dan Industri*, vol. 4, no. 2, Art. no. 2, Oct. 2021, doi: 10.33479/kurawal.v4i2.459.
- [18] B. A. Qowy, F. Hanafi, M. A. Riandi, and A. Nuraminah, “Penerapan Pemilihan Model Dinamis Algoritma Behaviour Tree Decision dalam Third Person Game pada Musuh Non-Playable Charater,” *1*, vol. 3, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2021, doi: 10.55542/jurtie.v3i1.424.
- [19] M. Toftedahl, P. Backlund, and H. Engström, “Missing: Understanding the Reception of a Serious Game by Analyzing App Store Data,” *International Journal of Serious Games*, vol. 5, no. 4, Art. no. 4, Dec. 2018, doi: 10.17083/ijsg.v5i4.251.
- [20] H. Haryanto, U. Rosyidah, and A. Kardianawati, “Immersive Activities in Educational Role-Playing Game Based on Appreciative Learning and Artificial Intelligence,” in *2019 Fourth International Conference on Informatics and Computing (ICIC)*, 2019, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICIC47613.2019.8985935.
- [21] K. Poels, Y. A. W. de Kort, and W. A. IJsselsteijn, “The Game Experience Questionnaire,” Technische Universiteit Eindhoven, Eindhoven, 2013. [Online]. Available: <https://pure.tue.nl/ws/portalfiles/portal/21666907>