

Meningkatkan Variasi Tindakan Non-Playable Character Pada Game Survival Menggunakan Metode Markov

Hendra Winata, Liliana, Hans Juwiantho

Program Studi Informatika Fakultas Teknologi Industri Universitas Kristen Petra

Jl. Siwalankerto 121-131 Surabaya 60236

Telp. (031) – 2983455, Fax. (031) - 8417658

E-Mail: hendrawinata13@gmail.com, lilian@petra.ac.id, hans.juwiantho@petra.ac.id

ABSTRAK

Permainan digital atau sering disebut game sudah tidak asing untuk didengar pada jaman saat ini. Berkembangnya varian game membuat game tidak pernah berhenti berkembang terutama pada bagian Artificial Intelligence. Setiap game memiliki kecerdasan buaatannya tersendiri sehingga banyak variasi yang dihasilkan dan membuat sebuah game menjadi unik.

Penelitian ini mencoba untuk membuat sebuah variasi tindakan yang dilakukan oleh NPC terhadap pemain. Dalam upaya membuat variasi tersebut, digunakan metode Markov Chain untuk membantu pemilihan state. Metode Markov Chain dikombinasikan dengan Finite-State Machine untuk pemilihan state NPC.

Berdasarkan hasil pengujian dan kuesioner, 80.4% sangat setuju dan 19.6% setuju bahwa NPC yang dihasilkan memiliki variasi tindakan yang banyak. Pada hasil kuesioner juga didapatkan 69.6% sangat tidak realistis dan 30.4% mengatakan bahwa NPC tidak realistis atau tidak meniru tingkah laku dari manusia.

Kata Kunci: Markov Chain, Finite-State Machine, Game, Artificial Intelligence, Survival

ABSTRACT

Digital games or often called Video games are common today. The development of game variants makes games never stop improving, especially in the Artificial Intelligence section. Each game has its own artificial intelligence so that many variations are generated and make a game unique.

This research tries to make a variation of the actions taken by NPCs against players. In an effort to make these variations, the Markov Chain method is used to help state selection. Markov Chain method is combined with Finite-State Machine for NPC state selection.

Based on the results of testing and questionnaires, 80.4% strongly agree and 19.6% agree that the resulting NPC has a large variety of actions. The results of the questionnaire also found that 69.6% were very unrealistic and 30.4% said that NPCs were unrealistic or did not imitate human behavior.

Keywords: Markov Chain, Finite-State Machine, Game, Artificial Intelligence, Survival

1. PENDAHULUAN

Game Survival Shooter adalah game bertema survival dimana pemain akan bertahan hidup dengan cara mengalahkan semua musuh yang ada agar mencapai suatu tujuan dari sebuah misi [2]. Dalam sebuah game, terdapat NPC yaitu karakter yang dikendalikan oleh komputer dan biasanya berupa lawan dari pemain [6]. Perilaku NPC dipengaruhi oleh AI yang sangat menentukan tingkat kesulitan karena semakin variatif NPC semakin susah juga untuk ditebak perilaku yang dihasilkan [8].

Pemberian fleksibilitas terhadap NPC sangat diperlukan karena dengan ragam tindakan NPC akan membuat permainan semakin hidup dan tidak monoton dimana pemain dapat menebak dengan mudah pilihan tindakan yang akan diambil oleh NPC berikutnya [14]. Namun, tidak terlalu banyak permainan yang dibuat oleh developer ternama yang meningkatkan sistem Artificial Intelligence dari NPC mereka.

Finite State Machine (FSM) adalah sebuah metodologi perancangan sistem kontrol yang menggambarkan tingkah laku atau prinsip kerja sistem dengan menggunakan State (Keadaan), Event (kejadian), dan Action (Aksi) [4]. NPC yang menggunakan FSM dinyatakan layak untuk digunakan dengan interpretasi baik. FSM pada game berguna untuk menentukan berbagai macam respon NPC terhadap pemain di dalam sebuah game berdasarkan interaksi yang dilakukan, hal ini disebabkan karena FSM dapat digunakan untuk gambaran awal, mendesain, dan menentukan respon perilaku yang dilakukan terhadap perubahan kondisi. Markov Chain adalah model universal untuk memprediksi state dari sistem diskrit [1]. Markov Chain umumnya digunakan untuk pemodelan state transition dari sistem stokastik yang kompleks [13]. Markov Chain dibuat dengan menggunakan matrik transisi probabilitas [1]. Pada penelitian mengenai Multi-AI competing and winning against humans in iterated Rock-Paper-Scissors game, diterapkan Markov Chain untuk meningkatkan AI dalam menghitung kemungkinan terbaik selanjutnya [11]. Dalam penelitian tersebut, terbukti dengan Markov Chain dapat membuat AI mengalahkan kebanyakan orang dimana setiap orang memiliki pola tersendiri, namun terbatas pada permainan bertipe strategi atau turn-based game. Pada penelitian Predicting Student Performance pada Educational Game, diterapkan Hidden Markov Model(HMM) dimana pada model tersebut dilakukan untuk memberikan level yang sesuai terhadap siswa. HMM merupakan bagian dari Markov Chain namun tidak menggunakan probabilitas. Penelitian tersebut berhasil melakukan generate level yang sesuai dan menghasilkan evaluasi berkala dari para siswa.

Pada penelitian skripsi sebelumnya, metode FSM hanya akan menghasilkan NPC yang bertindak secara monoton atau general,

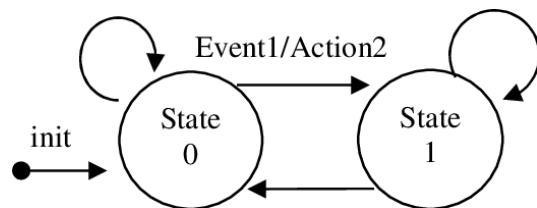
pada penelitian Markov Chain pada permainan bertipe strategi atau turn-based game sebelumnya bisa menghasilkan AI yang cenderung lebih bervariasi sehingga jika bisa diterapkan pada game yang memiliki fast pace seperti game survival, maka akan membuat game lebih unik dan membuat pemain ingin mencoba memenangkan permainan dengan mengalahkan NPC yang tidak terduga. Pada penelitian ini, pengembangan yang akan dilakukan adalah menggabungkan Markov Chain yang menggunakan probabilitas ke dalam game survival dengan menggunakan 3 variabel yaitu kesehatan, jarak, dan kecepatan yang bersifat universal sebagai variabel dasar untuk game 3D survival dan akan dibandingkan dengan AI dari NPC yang hanya menggunakan FSM.

2. DASAR TEORI

2.1 Finite-State Machine

Finite State Machine (FSM) adalah sebuah metode pembuatan sistem kontrol yang menggambarkan tingkah laku berdasar 3 hal yaitu state (kondisi), event (kejadian), action (aksi/tindakan) [3][4]. State machine dikenal sebagai teknik untuk pemodelan fenomena atau kondisi berbasis event, termasuk penguraian, serta desain interface. Finite State Machine (FSM) atau juga disebut sebagai Finite State Automata, dianggap sebagai teknik yang secara luas dipergunakan dalam merancang AI dalam game [10][12]. Penerapan FSM pada game berguna untuk menentukan berbagai macam respon NPC terhadap pemain di dalam sebuah game berdasarkan interaksi yang dilakukan, hal ini karena FSM dapat digunakan untuk gambaran awal, mendesain dan menentukan respon perilaku yang dilakukan terhadap perubahan kondisi [4].

Pada satu saat yang signifikan, sistem akan berada pada sebuah state yang aktif. Terjadinya transisi adalah ketika terdapat tindakan atau aksi yang menyebabkan sistem melakukan pergantian state sebagai bentuk respon, berupa aksi sederhana maupun aksi yang bersifat kompleks. Hal ini bisa dilihat dari contoh Gambar 1.



Gambar 1 Gambar State Sederhana

2.2 Markov Chain

Markov Chain adalah suatu metode universal untuk memprediksi state dari sistem diskrit [1]. Markov Chain mempelajari sifat suatu variabel pada masa sekarang yang didasarkan pada sifat-sifatnya di masa lalu dalam usaha memprediksi sifat-sifat variabel tersebut di masa yang akan datang [15]. Dalam analisis Markov yang dihasilkan adalah suatu informasi probabilistik yang dapat digunakan untuk membantu pembuatan keputusan. Analisis Markov merupakan suatu bentuk khusus dari model probabilitas yang lebih umum dikenal sebagai proses stokastik (Stochastic process).

Proses stokastik merupakan proses yang dapat digunakan untuk memodelkan fenomena yang mengandung unsur ketidakpastian [7]. Konsep dasar dari analisis Markov adalah state dari sistem atau state transisi, sifat dari proses ini adalah apabila diketahui proses berada pada suatu keadaan tertentu, maka peluang

berkembangnya proses di masa mendatang hanya bergantung pada keadaan saat ini dan tidak tergantung pada keadaan sebelumnya, dengan kata lain Markov Chain adalah rangkaian proses kejadian dimana peluang bersyarat kejadian yang akan datang bergantung pada keadaan sekarang [5]. Markov Chain memiliki syarat untuk dapat dijalankan yaitu memiliki state sekarang atau sebelumnya, jumlah probabilitas matrix nya adalah 1 bersifat steady state.

Pada survival game, metode Markov dapat diterapkan untuk membentuk syarat perpindahan dari state pada finite-state machine. Dalam membuat Markov Chain, umumnya dibentuk matrix dengan ukuran $m \times n$ yang akan dikalikan dengan sebuah variable [9]. Rumus dari Markov Chain dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\Pr(X_{n+1} = x \mid X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_n = x_n) = \Pr(X_{n+1} = x \mid X_n = x_n) \quad (1)$$

Dimana:

Pr : Probabilitas

X_n : Random Variabel

x : Kondisi saat ini

Rumus tersebut berlaku jika kondisi probabilitas telah ditentukan dan memenuhi syarat

$$\Pr(X_1 = x_1, \dots, X_n = x_n) > 0. \quad (2)$$

Angka yang mungkin dari X_1 membentuk countable set yang disebut state space. Jika state space bersifat finite maka setiap baris pada p jika dijumlahkan akan menjadi 1 dan setiap elemen tidak negatif sehingga probabilitas transisi dapat ditampilkan sebagai matrix yang disebut transition matrix dengan setiap elemen yang dapat didefinisikan dengan rumus berikut.

$$P_{ij} = \Pr(X_{n+1} = j \mid X_n = i) \quad (3)$$

Dimana :

P_{ij} : Probabilitas pada element (i,j)

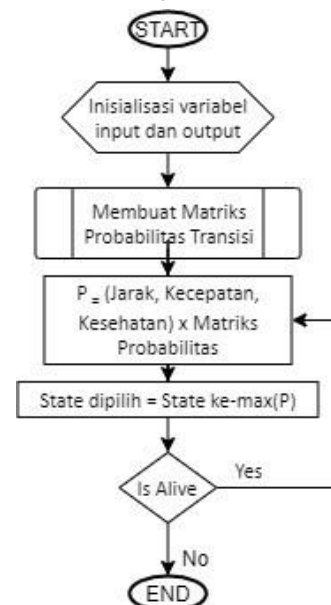
j : kolom matriks

i : baris matriks

3. DESAIN SISTEM

3.1 Flowchart

Flowchart Markov Chain sebagai berikut.



Gambar 2 Flowchart Markov Chain

Pada *flowchart Markov Chain* pada Gambar 2, pertama kali akan dilakukan inialisasi pada variabel input dan output. Variabel input berupa kondisi pemain yaitu jarak NPC terhadap pemain, kesehatan atau darah dari NPC, dan kecepatan NPC saat ini. Sedangkan variabel output berupa state FSM yang dihasilkan oleh NPC.

Flowchart Gameplay sebagai berikut.



Gambar 3 Flowchart Gameplay

Permainan akan dimulai dengan alur seperti pada Gambar 3 dengan pemain yang akan di spawn di sebuah desa kecil yang berisi beberapa NPC, dimana pemain akan ditugaskan untuk membunuh semua NPC yang ada dan bertahan hidup. NPC akan memiliki variasi aksi tiap kali permainan dimainkan, misalnya NPC A akan idle, lalu mengejar, kemudian menyerang pemain pada percobaan pertama, kemudian pada percobaan kedua, NPC A akan patrol dan menembak saat melihat pemain. Pemain akan berusaha hidup selama mungkin dan mengumpulkan skor dari membunuh NPC.

Pada Flowchart FSM pada Gambar 4 terdapat 7 state yang dibuat yaitu patrol, mengejar, menyerang, idle, suicide, menembak, dan melarikan diri. Tiap state memiliki kondisi atau syarat yang diperlukan untuk masuk ke dalam state tersebut. Dalam hal ini syarat yang dibutuhkan berupa sebuah kondisi Boolean yang bernilai True / False. Proses Markov Chain akan menentukan nilai dari variabel Boolean tersebut. Pada state Idle, maka NPC akan berdiam diri, kemudian jika memasuki state mengejar, NPC akan mengejar pemain. Jika Is Attack bernilai true, NPC akan berusaha menyerang pemain, jika Is Kabur bernilai true, maka NPC akan kabur menjauhi pemain. NPC akan melakukan patrol saat Is Patrol bernilai true dan NPC akan menembak pemain saat Is Firing bernilai true. NPC hanya akan memasuki state suicide saat Is Suicide bernilai true dan akan dilakukan spawn NPC baru.

3.2 Proses Markov Chain

Berikut contoh deklarasi variabel input dan output pada Tabel 1. Kemudian mengubah nilai tersebut kedalam bentuk probabilitas dengan cara dibagi dengan total masing-masing variabel input seperti pada Tabel 2.

Tabel 1 Nilai Variabel

Variabel Output						Jumlah
Patrol	Kejar	Serang	Menembak	Melarikan diri	Suicide	
30	25	15	20	5	5	100
40	30	10	10	8	2	100
40	25	10	15	3	7	100

Tabel 2 Matriks Probabilitas Transisi Parameter

Variabel Input	Variabel Output					
	Patrol	Kejar	Serang	Menembak	Melarikan Diri	Suicide
Jarak	$30/100 = 0.3$	$25/100 = 0.25$	$15/100 = 0.15$	$20/100 = 0.2$	$5/100 = 0.05$	$5/100 = 0.05$
Kesehatan	$40/100 = 0.4$	$30/100 = 0.3$	$10/100 = 0.1$	$10/100 = 0.1$	$8/100 = 0.08$	$2/100 = 0.02$
Kecepatan	$40/100 = 0.4$	$25/100 = 0.25$	$10/100 = 0.1$	$15/100 = 0.15$	$3/100 = 0.03$	$7/100 = 0.07$

Berikut hasil dari penyederhanaan tabel diatas.

Tabel 3 Matriks Probabilitas Transisi Parameter

Variabel Input	Variabel Output					
	Patrol	Kejar	Serang	Menembak	Melarikan Diri	Suicide
Jarak	0.3	0.25	0.15	0.2	0.05	0.05
Kesehatan	0.4	0.3	0.1	0.1	0.08	0.02
Kecepatan	0.4	0.25	0.1	0.15	0.03	0.07

Berdasar tabel probabilitas transisi pada Tabel 3, maka nilai diatas merupakan nilai maksimal pada masing-masing sub variabel. Nilai terbesar merupakan kondisi pemain dimana jarak masih jauh, kesehatan yang prima, dan kecepatan tinggi sehingga aksi dari NPC adalah patrol. Sedangkan nilai terkecil merupakan kondisi dimana pemain dekat dengan musuh, lemah, dan berjalan lambat, maka aksi dari NPC adalah suicide.

0.3 0.25 0.15 0.2 0.05 0.05

0.4 0.3 0.1 0.1 0.08 0.02

0.4 0.25 0.1 0.15 0.03 0.07

Nilai diatas merupakan matriks probabilitas transisi , sehingga dapat dituliskan sebagai berikut:

Matriks Probabilitas Transisi =

0.3 0.25 0.15 0.2 0.05 0.05

0.4 0.3 0.1 0.1 0.08 0.02

0.4 0.25 0.1 0.15 0.03 0.07

Pada prakteknya, matriks probabilitas transisi digunakan dalam rumus untuk menghitung kemungkinan yang terjadi di masa mendatang ketika pemain dalam kondisi saat ini. Sehingga dapat dirumuskan sebagai berikut:

[Npatrol Nkejar Nserang Nmenembak Nmelarikandiri Nsuicide] =

[Jr Ks Kc] x Matriks Probabilitas Transisi

Keterangan:

Jr : Jarak

Ks : Kesehatan

Kc : Kecepatan

Contoh dari perhitungan diatas adalah sebagai berikut:

Diketahui pemain dengan kondisi sebagai berikut:

Jarak = 70, Kesehatan = 50, Kecepatan = 30

Maka akan didapat nilai variabelnya

$Jr = 70/150 = 0.467$

$Ks = 50/150 = 0.333$

$Kc = 30/150 = 0.2$

[Jr Ks Kc] = [0.467 0.333 0.2] x

0.3	0.25	0.15	0.2	0.05	0.05
0.4	0.3	0.1	0.1	0.08	0.02
0.4	0.25	0.1	0.15	0.03	0.07

= [0.3533 0.26665 0.12335 0.1567 0.05599 0.04401]

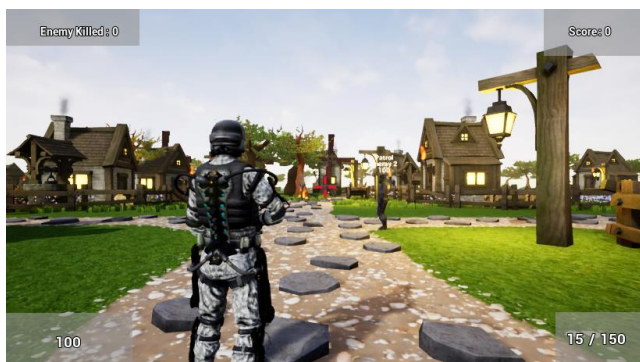
Dari hasil perhitungan tersebut, maka didapatkan nilai probabilitas terbesar ada pada Patrol dengan nilai 0.3533. Maka NPC akan melakukan patrol.

4. PENGUJIAN SISTEM

Pada penelitian ini menggunakan visual scripting dengan Unreal Engine 4.26 yang dapat diunduh melalui <https://www.unrealengine.com/en-US/>. Hardware yang dipakai saat ini memiliki spesifikasi processor Intel Core-i5 dengan tipe 4690, RAM sebesar 12 GB serta kartu grafis Nvidia GeForce GTX 750 Ti sebesar 2GB.

4.1 Pengujian Variasi

Pengujian game menjelaskan fungsi-fungsi dari proses Markov Chain yang diterapkan ke dalam game dengan menggunakan 3 input variable. Penjelasan akan dilakukan menggunakan beberapa gambar yang diambil secara berurutan dan sebagai petunjuk state akan di print di sebelah kiri atas layar. Di awal permainan, NPC menunjukkan bahwa dia memilih state patrol seperti pada Gambar 5.

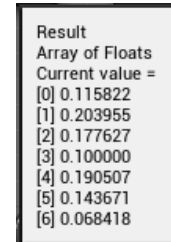


Gambar 5 State Patrol

Pada kondisi ini didapatkan nilai dari cur_distance sebesar 8.59, cur_speed sebesar 0, dan cur_health sebesar 100.

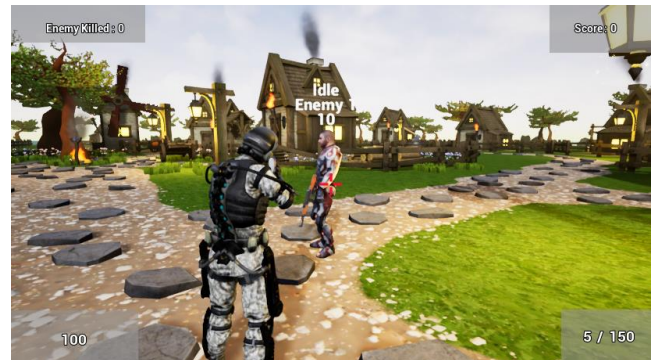
Dari hasil current variabel dikalikan dengan matriks probabilitas sehingga didapatkan masing-masing probabilitas untuk variabel

output, kemudian dipilih probabilitas terbesar pada indeks ke-1 yaitu patrol pada Gambar 6.



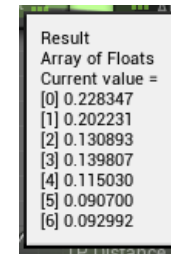
Gambar 6 Hasil Perkalian Markov Chain dengan Cur Variabel

Dari hasil yang pertama, lalu dilakukan perubahan pada jarak, kecepatan, dan kesehatan dari pemain sehingga didapatkan state idle pada Gambar 7.



Gambar 7 State Idle

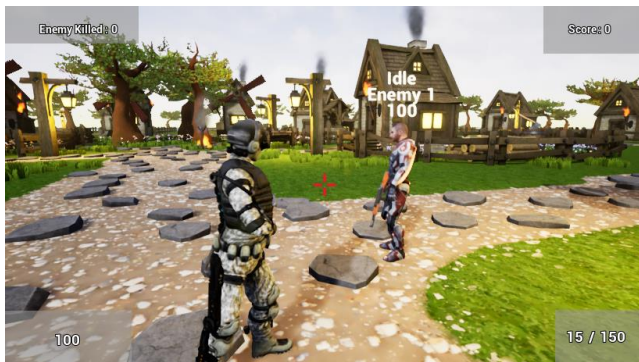
Pada kondisi ini didapatkan nilai dari cur_distance sebesar 2.80, cur_speed sebesar 49.99, dan cur_health sebesar 10.



Gambar 8 Hasil Perkalian Markov Chain dengan Cur Variabel

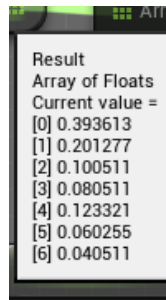
Dari hasil current variabel dikalikan dengan matriks probabilitas sehingga didapatkan masing-masing probabilitas untuk variabel output, kemudian dipilih probabilitas terbesar pada indeks ke-0 yaitu idle pada Gambar 8.

Pada percobaan kedua, digunakan matriks probabilitas yang berbeda, di awal permainan, NPC akan memilih state idle seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 State Idle

Pada kondisi ini didapatkan nilai dari cur_distance sebesar 2.62, cur_speed sebesar 0, dan cur_health sebesar 100.



Gambar 10 Hasil Perkalian Markov Chain dengan Cur Variabel

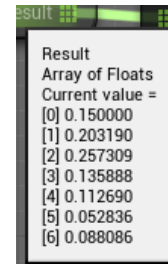
Dari hasil current variabel dikalikan dengan matriks probabilitas sehingga didapatkan masing-masing probabilitas untuk variabel output, kemudian dipilih probabilitas terbesar pada indeks ke-0 yaitu idle pada Gambar 10.

Dari hasil yang pertama, lalu dilakukan perubahan pada jarak, kecepatan, dan kesehatan dari pemain sehingga didapatkan state pursue seperti pada Gambar 11.



Gambar 11 State Pursue

Pada kondisi ini didapatkan nilai dari cur_distance sebesar 4.08, cur_speed sebesar 49.99, dan cur_health sebesar 10.



Gambar 12 Hasil Perkalian Markov Chain dengan Cur Variabel

Dari hasil current variabel dikalikan dengan matriks probabilitas sehingga didapatkan masing-masing probabilitas untuk variabel output, kemudian dipilih probabilitas terbesar pada indeks ke-2 yaitu pursue seperti pada Gambar 12.

4.2 Pengujian Main Menu

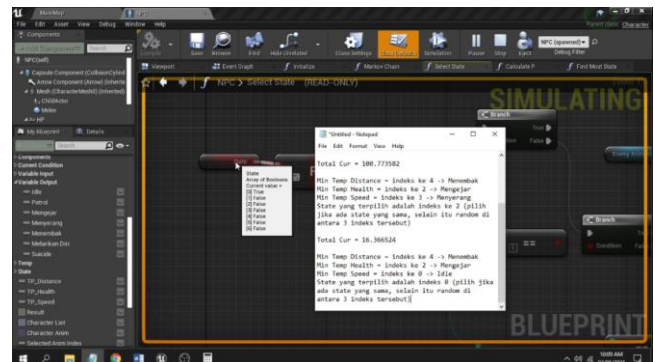
Fungsi campaign button adalah untuk menjalankan permainan dan fungsi exit button adalah untuk keluar dari permainan. Pemain perlu memilih salah satu tombol tersebut saat berada di main menu. Hal ini bisa dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13 Pengujian Main Menu

4.3 Pengujian Gameplay

Pengujian ini dilakukan saat game dijalankan, NPC akan di spawn di sebuah titik. NPC yang di spawn akan langsung menjalankan proses Markov Chain dan menghasilkan state yang akan di jalankan oleh NPC. Contohnya pada percobaan berikut menghasilkan state Idle pada Gambar 14.



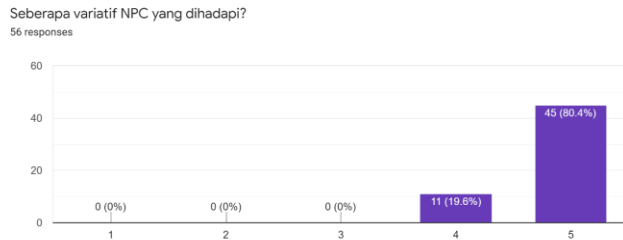
Gambar 14 Pengujian Gameplay

Pada proses tersebut, nilai dari variable kesehatan, kecepatan, dan jarak mempengaruhi AI dalam memilih state. Tanpa adanya variable tersebut maka hasilnya selalu statis pada satu state saja. Nilai dari variable kesehatan, kecepatan, dan jarak selalu berubah setiap saat dan membuat hasil perhitungan berubah, lalu

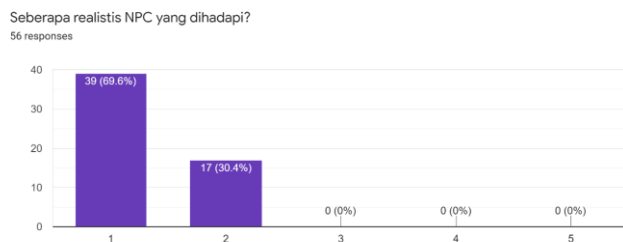
pengambilan keputusan juga ikut berubah sehingga bervariasi namun kurang realistis.

4.4 Pengujian Terhadap User

Dilakukan pengujian terhadap user menggunakan survey dan mendapatkan hasil seperti pada Gambar 15 tentang banyaknya variasi tindakan dari NPC dan Gambar 16 tentang seberapa realistis tindakan yang dihasilkan NPC berdasar kondisi yang dihadapi.



Gambar 15 Survey Terhadap Banyaknya Variatif Tindakan NPC



Gambar 16 Survey Terhadap Seberapa Realistis Tindakan yang Dihasilkan NPC Terhadap Kondisi yang Dihadapi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dengan menggunakan metode Markov Chain dalam membuat state NPC menjadi bervariasi, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Sebanyak 80.4% menyatakan sangat setuju dan 19.6% setuju bahwa NPC menghasilkan variasi tindakan yang berbeda saat dimainkan sehingga NPC menjadi lebih bervariasi.
- Sebanyak 69.6% menyatakan sangat tidak realistis dan 30.4% menyatakan tidak realistis pada tindakan yang dipilih NPC pada kondisi yang dihadapi sehingga pergerakan NPC menjadi tidak nyata.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil sistem berupa permainan yang telah dibuat beserta dengan hasil state-nya, maka disarankan bahwa:

- Penambahan variable output sehingga lebih banyak state yang bervariasi.
- Penggunaan Markov Chain disesuaikan kembali agar tetap bervariasi namun lebih realistis.

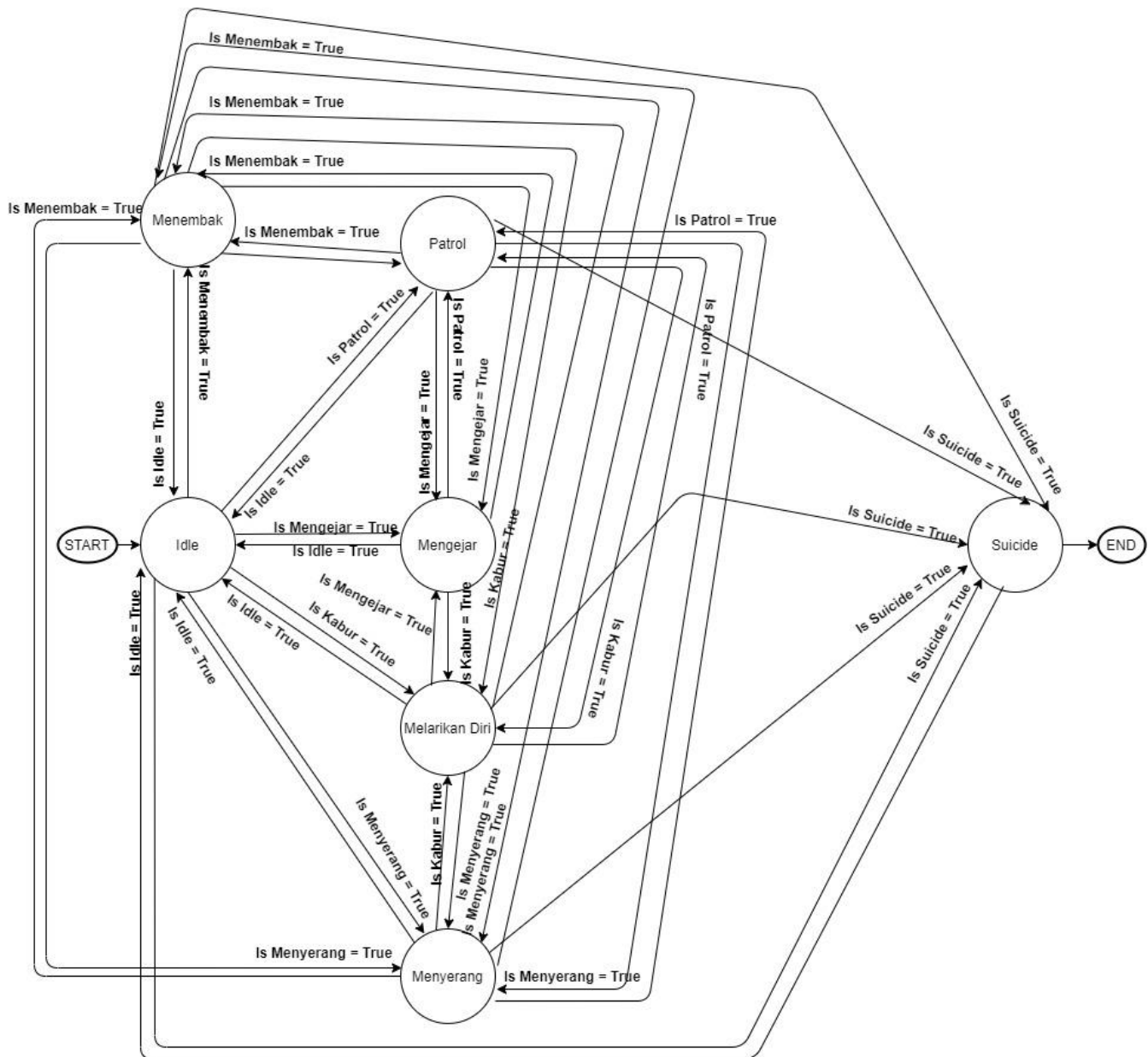
6. REFERENCES

- Ge, M., Hu, J., Liu, M., & Zhang, Y. (2018). Reassembly classification selection method based on the Markov Chain. *Assembly Automation*, 38(4), 476–486. <https://doi.org/10.1108/AA-03-2017-043>.
- Hassan, I., Faisal, M., & Arif, Y. M. (2018). Implementation of Artificial Bee Colony Algorithm to Generate NPC Behavior in Survival Horror Game "Left Alone" As A Media Introduction to House of Cut Nyak Dhien. 7(1), 16–24.
- Hernawan, S. R. (2018). Penerapan Metode Finite State Machine Pada Game "The Mahasiswa" Guna Membangun Perilaku Non Playable Character Halaman Pengesahan Dosen Penguji Penerapan Metode Finite State Machine Pada Game "The Mahasiswa" Guna Membangun Perilaku Non Playable Char. 14523032.
- Hidayat, E. W., Rachman, A. N., & Azim, M. F. (2019). Penerapan Finite State Machine pada Battle Game Berbasis Augmented Reality. *Jurnal Edukasi Dan Penelitian Informatika (JEPIN)*, 5(1), 54. <https://doi.org/10.26418/jp.v5i1.29848>
- Kasse, I., Didiharyono, D., & Maulidina, M. (2020). Metode Markov Chain untuk Menghitung Premi Asuransi pada Pasien Penderita Penyakit Demam Berdarah Dengue. *Al-Khwarizmi: Jurnal Pendidikan Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 7(2), 151–160. <https://doi.org/10.24256/jpmipa.v7i2.1251>
- Kopel, M., & Hajas, T. (2018). Implementing AI for Non-player Characters in 3D Video Games. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 10751 LNAI, 610–619. https://doi.org/10.1007/978-3-319-75417-8_57
- S. Utami 1, I W. Mangku 2, I. G. P. P. 2. (2018). Evaluasi Numerik Penduga Fungsi Nilai Harapan Dan Fungsi Ragam Proses Poisson Majemuk Dengan Intensitas Eksponensial Fungsi Linear S. Utami 1, I W. Mangku 2, I G. P. Purnaba 2.
- Saprudin, S., Liliasari, L., Setiawan, A., & Prihatmanto, A. S. (2019). The effectiveness of using digital game towards students' academic achievement in small and large classes: A comparative research. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 18(12), 196–210. <https://doi.org/10.26803/ijlter.18.12.12>
- Tadayon, M., & Pottie, G. J. (2020). Predicting Student Performance in an Educational Game Using a Hidden Markov Model. *IEEE Transactions on Education*, 63(4), 299–304. <https://doi.org/10.1109/TE.2020.2984900>
- Tirtana, A., & Pumpungan, M. (2020). Perancangan Game Visual Novel "Coconut Kids" Sebagai Sarana Edukasi Pelestarian Alam. 45.
- Wang, L., Huang, W., Li, Y., Evans, J., & He, S. (2020). Multi-AI competing and winning against humans in iterated rock-paper-scissors game. *ArXiv*.
- Yulsilviana, E., & Ekawati, H. (2019). Penerapan Metode Finite State Machine (Fsm) Pada Game Agent Legenda Anak Borneo. *Sebatik*, 23(1), 116–123. <https://doi.org/10.46984/sebatik.v23i1.453>

- [13] Zhou, Y., Wang, L., Zhong, R., & Tan, Y. (2018). A Markov Chain Based Demand Prediction Model for Stations in Bike Sharing Systems. Mathematical Problems in Engineering, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8028714>
- [14] Zhu, X. (2019). Behavior tree design of intelligent behavior of non-player character (NPC) based on Unity3D. Journal of

Intelligent and Fuzzy Systems, 37(5), 6071–6079.
<https://doi.org/10.3233/JIFS-179190>

- [15] Zou, Q., Li, Q., Guo, H., & Shi, J. (2018). A discrete-time and finite-state Markov Chain model for association football matches. Communications in Statistics: Simulation and Computation, 47(8), 2476–2485.
<https://doi.org/10.1080/03610918.2017.1348518>



Gambar 4 Flowchart FSM