

**KOMPARASI KINERJA
ALGORITMA WHCA* DAN P-WHCA*
PADA GRAF BERGENRE ROGUELIKE**

Skripsi

untuk memenuhi sebagian persyaratan
mencapai derajat Sarjana S1
Program Studi Teknik Informatika



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Disusun oleh :
Syahrul Arifin
17106050047

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA
2022**



PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1801/Un.02/DST/PP.00.9/08/2022

Tugas Akhir dengan judul : Implementasi Multi-Agent Pathfinding menggunakan Algoritma Windowed Hierarchical Cooperative A* Pada Game bergenre Roguelike

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : SYAHRUL ARIFIN
Nomor Induk Mahasiswa : 17106050047
Telah diujikan pada : Selasa, 19 Juli 2022
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang
Dr. Ir. Shofwatul 'Uyun, S.T., M.Kom.
SIGNED

Valid ID: 62ff0fb3dd9c



Penguji I
Ir. Maria Ulfah Siregar, S.Kom., MIT., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 626dd36eb944f



Penguji II
Dr. Agung Fatwanto, S.Si., M.Kom.
SIGNED

Valid ID: 62fc5f3f1be0e



Yogyakarta, 19 Juli 2022
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 62ff36ea5dbad

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI / TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi
Lamp :

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk, dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi saudara :

Nama : Syahrul Arifin
NIM : 17106050047
Judul Skripsi : "Implementasi Multi-Agent Pathfinding Menggunakan Algoritma Windowed Hierarchical Cooperative A* Pada Game Bergenre Roguelike"

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana Strata Satu dalam Program Studi Teknik Informatika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqosyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 31 Mei 2022

Pembimbing



Dr. Ir. Shofwatul Uyun, S.T., M.Kom.
NIP. 19820511 200604 2 002

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Syahrul Arifin
NIM : 17106050047
Jurusan : Teknik Informatika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul **“Implementasi Multi-Agent Pathfinding Menggunakan Algoritma Windowed Hierarchical Cooperative A* Pada Game Bergenre Roguelike”** merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak pernah terdapat pada karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjana di suatu perguruan tinggi dan bukan plagiasi karya orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 31 Mei 2022



Syahrul Arifin
NIM. 17106050047

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Kata Pengantar

Segala Puji bagi Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **Komparasi Kinerja Algoritma WHCA* dan P-WHCA* pada Graf bergenre roguelike**. Tidak lupa shalawat serta salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita, Baginda Rasul Muhammad S.A.W., yang telah membawa kita menuju zaman yang terang benderang, dan semoga kita semua, dapat menjadi umatnya yang mendapatkan syafaat di Yaumul Qiyamah kelak.

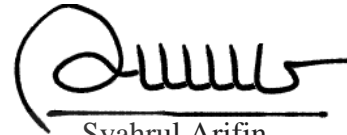
Dalam penelitian ini, penulis mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Prof. Dr.Phil. Al Makin, S.Ag., M.A., selaku Rektor UIN Sunan Kalijaga.
2. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ir. Maria Ulfah Siregar, S.Kom., MIT., Ph.D., selaku Kaprodi Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sekaligus Dosen Pembimbing Akademik.
4. Dr. Ir. Shofwatul 'Uyun, S.T., M.Kom., selaku Dosen Pembimbing Skripsi yang telah memberikan arahan, koreksi serta kritik dan saran.
5. Seluruh dosen dan staf Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
6. Seluruh Keluarga yang selalu memberi dukungan, kekuatan, nasehat, perhatian, kasih sayang dan do'a yang tak terhingga kepada penulis.
7. Teman-teman seperjuangan Program Studi Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
8. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang

telah membantu dalam penelitian ini.

Yogyakarta, 18 Agustus 2022

Penulis



Syahrul Arifin

17106050047



HALAMAN PERSEMBAHAN

Skripsi ini dipersembahkan untuk seluruh pihak yang terlibat dalam proses penyelesaian skripsi.



HALAMAN MOTO

“Tuntutlah ilmu. Disaat kamu miskin, ia akan menjadi hartamu. Disaat kamu kaya, ia akan menjadi perhiasanmu”



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
HALAMAN MOTTO	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR RUMUS	xii
INTISARI	xiii
ABSTRACT	xiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Keaslian Penelitian.....	3
1.7 Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	
2.1 Tinjauan Pustaka.....	5
2.2 Landasan Teori.....	10
2.2.1 <i>Multi Agent Pathfinding</i>	10
2.2.1.1 Pengertian.....	10
2.2.1.2 Graf	11
2.2.1.3 <i>Conflicts</i>	12
2.2.1.4 MAPF Klasik	14
2.2.2 <i>Windowed Hierarchical Cooperative Astar</i>	15
2.2.2.1 A*	15

2.2.2.2	WHCA*	16
2.2.2.3	Dimensi Pencarian	18
2.2.2.4	P-WHCA*	20
2.2.3	<i>Roguelike</i>	22
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Studi Pendahuluan	23
3.2	Pengumpulan Data	23
3.3	<i>Preprocessing</i>	24
3.4	Implementasi	26
3.5	Pengujian	27
3.6	Analisis Hasil	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Pengumpulan Data	30
4.2	<i>Preprocessing</i>	31
4.3	Pengujian	33
4.4	Analisis Hasil	36
4.4.1	Panjang Rute	36
4.4.2	Penyimpangan Rute Optimal	37
4.4.3	<i>Cycle</i>	38
4.4.4	<i>Elapsed Time Steps</i>	39
4.4.5	Waktu eksekusi	40
4.4.6	Persentase keberhasilan	41
4.4.7	Analisis Hasil Keseluruhan	42
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran	44
DAFTAR PUSTAKA		45
LAMPIRAN		46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Tinjauan Pustaka	8
Tabel 3.1 Jumlah <i>Map Data</i> pada Setiap Jenis Graf	26
Tabel 3.2 Banyaknya Pengujian pada Satu <i>Map Data</i>	28
Tabel 4.1 Contoh Hasil preprocessing <i>map</i>	31
Tabel 4.2 Tabel Hasil Keseluruhan	43



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Jenis graf	12
Gambar 2.2 Tipe - Tipe Conflict	14
Gambar 2.3 Contoh penyelesaian masalah <i>pathfinding</i> menggunakan A*	16
Gambar 2.4 <i>Manhattan Distance</i> dan RRA* sebagai <i>Heuristic</i>	19
Gambar 2.5 Contoh penggunaan <i>heuristic</i> pada <i>Cooperative Search</i>	20
Gambar 2.6 <i>Cost Function</i> Pada WHCA*	20
Gambar 2.7: Contoh kasus MAPF	21
Gambar 3.1 Skema Alur Penelitian	23
Gambar 3.2 Contoh Ukuran <i>Pixel</i> Pada <i>Map Data</i>	24
Gambar 3.3 Warna <i>Open</i> dan <i>Obstacle</i> Pada Graf	24
Gambar 3.4 Contoh Pemrosesan <i>Map</i> Menjadi <i>Map data</i>	25
Gambar 3.5 Contoh <i>Map Data</i> yang Tidak Valid	25
Gambar 4.1 <i>Flowchart</i> Proses Analisis	30
Gambar 4.2 Contoh <i>map data</i>	31
Gambar 4.3 Contoh <i>Map Data</i> Valid	33
Gambar 4.4 Contoh 10 Set Pengujian <i>Map Data</i>	34
Gambar 4.5 Contoh seluruh <i>Agent</i> telah mencapai targetnya	34
Gambar 4.6 Contoh <i>Agent</i> Gagal Mencapai Target sebelum <i>Timeout</i>	35
Gambar 4.7 Contoh Gambaran Umum Hasil Uji	35
Gambar 4.8 Contoh <i>Agent</i> data.....	35
Gambar 4.9 Perbandingan Hasil Pengujian Panjang Rute	37
Gambar 4.10 Perbandingan Hasil Pengujian Penyimpangan Rute.....	38
Gambar 4.11 Perbandingan Hasil Pengujian <i>Cycle</i>	39
Gambar 4.12 Perbandingan Hasil Pengujian <i>Elapsed Time Steps</i>	40
Gambar 4.13 Perbandingan Hasil Pengujian <i>Turn Around Time</i>	41
Gambar 4.14 Perbandingan Hasil Pengujian Persentase Keberhasilan	42

DAFTAR RUMUS

2.1 Fungsi Biaya Algoritma A*	16
3.1 Persentase Penyimpangan	29
3.2 Persentase Keberhasilan.....	29



KOMPARASI KINERJA ALGORITMA WHCA* DAN P-WHCA* PADA GRAF BERGENRE ROGUELIKE

Syahrul Arifin

17106050047

INTISARI

Perkembangan ekosistem industri *game* di Indonesia masih berada dalam tahap awal. Kegiatan riset terkait industri *game* yang masih sedikit menjadi salah satu permasalahan yang dihadapi. Perkembangan ekosistem tersebut membutuhkan peran serta oleh berbagai pihak. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mendukung perkembangan industri *game* di Indonesia.

Penelitian ini menguji performa algoritma *multi agent pathfinding* (MAPF). *Pathfinding* merupakan bagian dari elemen utama pada *game* yaitu *artificial intelligence*. MAPF diimplementasikan untuk merencanakan rute banyak *agent* dalam mencapai posisi target dengan seoptimal mungkin tanpa bertabrakan. *Agent* umumnya adalah *Non Playable Character* (NPC). Algoritma MAPF yang diimplementasikan adalah *Windowed Hierarchical Cooperative A** (WHCA*) dengan *window* sepanjang 16 yang diujikan pada tiga jenis graf yang identik terdapat pada *roguelike*. *Priority-WHCA** (P-WHCA*) dengan panjang *window* yang sama juga diujikan sebagai perbandingan.

Pengujian kedua algoritma pada penelitian ini menunjukkan bahwa kedua algoritma dapat bekerja dengan baik dengan persentase keberhasilan algoritma mencapai lebih dari 99.6% untuk WHCA dan lebih dari 99.85% untuk P-WHCA*. P-WHCA lebih efektif dan efisien apabila diimplementasikan pada graf dengan presentase *vertex* tanpa penghalang mencapai $\geq 87.5\%$ dari jumlah *agent*.

Kata kunci: Multi-Agent Pathfinding, WHCA*, P-WHCA*, Roguelike

PERFORMANCE COMPARISON OF WHCA* AND P-WHCA* ALGORITHMS ON ROGUELIKE GRAPHS

Syahrul Arifin

17106050047

ABSTRACT

The development of game industry ecosystem in Indonesia is still in its early stages. Research activities related to the game industry which are still very few are one of the problems faced. The development of the ecosystem requires the participation of various parties. Therefore, this research is intended to support the development of the game industry in Indonesia.

This study examines the performance of the multi agent pathfinding (MAPF) algorithm. Pathfinding itself is a part of main element in the game, namely artificial intelligence. MAPF is implemented to plan multiple-agent routes to reach their targets without colliding. Agent is generally a Non-Playable Character (NPC). The chosen MAPF algorithm is Windowed Hierarchical Cooperative A* (WHCA*) with a 16-long window which is tested on three types of graphs that are identical to roguelike map. Priority-WHCA* (P-WHCA*) with the same window length was also tested for comparison.

Test results of two algorithms in this study show that both algorithms can work well with the success rate of WHCA* is higher than 99.6% while P-WHCA* is higher than 99.85%. P-WHCA is more effective and efficient if it is implemented on a graph with the percentage of vertices without barriers reaching 87.5% of the number of agents.

Keywords: Multi-Agent Pathfinding, WHCA*, P-WHCA*, Roguelike

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini industri *game* telah menyebar dan berkembang di berbagai negara. Di Indonesia, sejak tahun 2015 telah didirikan lembaga pemerintah untuk mempercepat laju perkembangan industri ekonomi kreatif yang salah satu fokusnya adalah industri *game* dengan potensinya yang paling tinggi diantara cabang industri kreatif lainnya. Namun, perkembangannya dapat dikatakan masih pada tahap awal pembangunan ekosistem. Menurut survei yang dilakukan Asosiasi Game Indonesia (AGI), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), serta Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia (Kominfo) pada tahun 2021, sejumlah 66,67% pelaku industri di bidang *game* pernah mengalami kegagalan dalam proses produksi. Kurangnya kegiatan riset serta tidak tersedianya data dan informasi terkait industri *game* menjadi permasalahan infrastruktur lainnya yang dihadapi industri *game* mulai dari skala kecil hingga besar. Oleh karena itu, penelitian ini dimaksudkan untuk mendukung perkembangan industri pengembangan *game* di Indonesia.

Artificial Intelligence (AI) adalah kecerdasan yang direkayasa dan ditambahkan kepada suatu sistem untuk menyelesaikan masalah - masalah layaknya seorang manusia. AI pada *game* umumnya diterapkan pada karakter yang tidak digerakkan oleh pemain atau disebut *Non Playable Character* (NPC) sehingga *game* dapat lebih hidup dan menantang. Menurut David Silver (2005), *pathfinding* adalah elemen penting AI pada genre - genre *game* modern. *Pathfinding* merupakan proses perencanaan suatu rute oleh *agent* dari posisi semula menuju posisi akhir dengan seoptimal mungkin. Pada berbagai genre *game* modern, pencarian melibatkan banyak *agent* secara *realtime*. Maka dari itu, pada berbagai *game* modern umumnya diimplementasikan *Multi-Agent Pathfinding* (MAPF).

Menurut Hart, Nilsson, & Raphael (1968), Algoritma A* adalah salah

satu metode *pathfinding* paling populer yang banyak digunakan dan telah terjamin optimalisasinya. Saat ini terdapat berbagai algoritma untuk menerapkan MAPF yang merupakan optimasi dari algoritma tersebut, salah satunya adalah *Windowed Hierarchical Cooperative A** (WHCA*). Algoritma tersebut menyelesaikan masalah MAPF dengan menandai setiap *vertex* pada rute yang direncanakan tepat pada waktu t sehingga *vertex* tidak dapat dilalui *agent* lainnya pada waktu t tersebut. Menurut David Silver (2005), WHCA* merupakan algoritma yang dapat bekerja secara *realtime*.

Performa algoritma MAPF dapat diketahui melalui pengujian penyelesaian masalah MAPF pada graf. Graf untuk pengujian tersebut bervariasi, misalnya graf berjenis *warehouse* digunakan untuk menguji algoritma MAPF dengan tujuan untuk mengetahui kecocokan aplikasi pada *automated warehouse*. Pada penelitian ini, graf yang digunakan mengambil tema *game* dengan genre *roguelike*. Graf pengujian yang digunakan, umumnya terdapat pada *game* dengan genre tersebut.

Dengan adanya penelitian ini, diharapkan dapat membantu proses perkembangan ekosistem industri *game* di Indonesia. Selain itu, diharapkan juga dapat menjadi salah satu referensi dalam pengembangan *game* yang menggunakan *Multi Agent Pathfinding* didalamnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasar latar belakang di atas, rumusan masalah penelitian ini adalah:

1. Bagaimana performa WHCA* pada graf bertema *roguelike game*?
2. Bagaimana performa P-WHCA* pada graf bertema *roguelike game*?
3. Bagaimana perbandingan performa P-WHCA* dengan performa WHCA* pada graf bertema *roguelike game*?

1.3 Batasan Masalah

Supaya penelitian lebih fokus, maka perlu adanya batasan masalah penelitian. Adapun batasan masalah penelitian ini adalah dimensi *environment* menggunakan dua dimensi. Ruang pencarian direpresentasikan dengan barisan *grid* di setiap koordinat XY pada graf dua dimensi.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui performa WHCA* pada graf bertema *roguelike game*.
2. Mengetahui performa P-WHCA* pada graf bertema *roguelike game*.
3. Mengetahui perbandingan performa WHCA* dengan P-WHCA* pada graf bertema *roguelike game*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat dijadikan sebagai referensi dalam implementasi ataupun pengembangan Multi-Agent Path Finding (MAPF). Selain itu, diharapkan dapat membantu proses perkembangan industri game di Indonesia.

1.6 Keaslian Penelitian

Berdasar studi pustaka yang telah dilakukan, belum adanya penelitian tentang “Komparasi Kinerja Algoritma WHCA* dan P-WHCA* pada Graf bergenre Roguelike” yang sudah dilakukan sebelumnya.

1.7 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan tugas akhir ini memiliki sistematika penulisan yang diawali dari BAB I dan diakhiri BAB V. Berikut adalah penjelasan pada tiap-tiap bab dalam laporan penelitian ini:

1. BAB I PENDAHULUAN

Bab ini menjelaskan tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, keaslian penelitian, dan sistematika penulisan.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

Bab ini berisikan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya dan teori-teori penunjang penelitian.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang uraian alur penelitian. Pada bab ini dijelaskan dengan detail langkah-langkah yang harus dilalui untuk mencapai tujuan penelitian dan mendapatkan kesimpulan akhir penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat penjabaran hasil analisis penelitian dan pembahasan yang sifatnya terpadu dan tidak dipecah menjadi sub bab tersendiri.

5. BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan saran untuk penelitian selanjutnya.



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan pada tiga jenis graf yang umumnya terdapat pada *game* bergenre *roguelike*, algoritma WHCA* maupun P-WHCA* menggunakan *window* sepanjang 16 dapat berjalan dengan baik dengan rata - rata keberhasilan *agent* dalam mencapai targetnya mencapai lebih dari 99.6% untuk WHCA dan lebih dari 99.85% untuk P-WHCA*. P-WHCA lebih efektif dan efisien apabila diimplementasikan pada graf dengan presentase *vertex* tanpa penghalang mencapai $\geq 87.5\%$ dari jumlah *agent*. Perbedaan hasil pengujian kedua algoritma akan lebih terlihat apabila *window* yang digunakan lebih panjang serta graf yang digunakan lebih kompleks, misalnya graf berjenis *maze*. Selain itu, pengujian dengan generasi *agent* secara *random* menghasilkan grafik yang kurang stabil sehingga analisis yang dilakukan kurang mendalam.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, ada beberapa saran untuk dijadikan perbaikan untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

1. Menggunakan jenis graf yang lebih kompleks, misalnya graf berjenis *maze*.
2. Menggunakan panjang *window* yang berbeda.
3. Generasi *agent* dan target secara *clustered* atau terkontrol.
4. Pada P-WHCA*, dapat dikembangkan dengan menggunakan *true heuristic* untuk menentukan urutan eksekusi secara langsung tanpa dimasukkan kedalam kelompok prioritas terlebih dahulu.

DAFTAR PUSTAKA

- Andreychuk, A., Yakovlev, K., Atzmon, D., & Sternr, R. (2019). Multi-agent pathfinding with continuous time. *IJCAI International Joint Conference on Artificial Intelligence, 2019-August(1)*, 39–45.
<https://doi.org/10.24963/ijcai.2019/6>
- Bnaya, Z., & Felner, A. (2014). Conflict-oriented windowed hierarchical cooperative. *Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 3743–3748. <https://doi.org/10.1109/ICRA.2014.6907401>
- Hansen, E. A., & Zhou, R. (2007). Anytime heuristic search. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 28, 267–297. <https://doi.org/10.1613/jair.2096>
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, Vol. 4, pp. 100–107.
<https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>
- Silva, C. G. P. da. (2015). Analysis and development of a game of roguelike genre. *Analise e Desenvolvimento de Um Jogo de Genero Roguelike Pt.*
- Silver, D. (2005). Cooperative pathfinding. *Proceedings of the 1st Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference, AIIDE 2005*, 117–122.
- Stern, R., Sturtevant, N. R., Felner, A., Koenig, S., Ma, H., Walker, T. T., ... Bart, R. (2019). *Multi-Agent Pathfinding : Definitions , Variants , and Benchmarks*. (SoCS), 151–158.
- Sugianti, N., Mardhiyah, A., & Fadilah, N. R. (2020). Komparasi Kinerja Algoritma BFS, Dijkstra, Greedy BFS, dan A* dalam Melakukan Pathfinding. *JISKA (Jurnal Informatika Sunan Kalijaga)*, 5(3), 194–204.
<https://doi.org/10.14421/jiska.2020.53-07>