



Simulasi Thawaf Dengan Metode Algoritma Artificial Bee Colony (ABC)

Sa'adatul Uhrowiyah¹, Anang Aris Widodo², Rudi Hariyanto³
^{1,2,3}Informatika, Teknologi Informasi, Universitas Merdeka Pasuruan
saadatul.rosanatravel@gmail.com

Abstract

Tawaf is one of the Pillars of Hajj/Umrah. Thawaf is a series of processions in which the pilgrims circle around the Kaaba 7 times starting and ending at the Black Stone. In the implementation of Tawaf, it must be carried out by pilgrims in very large numbers, so it is very important to minimize crowds in its implementation. So in this study, it is intended to produce a Tawaf Simulation that can minimize collisions between pilgrims, avoid obstacles, and find the closest route. In this study, the success for Automatic Tawaf Simulation for batch 1 (1-10 pilgrims), batch 2 (1-25 pilgrims) was 100%, and batch 3 (1-50 pilgrims) was 94%. While the Manual Tawaf Simulation for batches 1-3 is 100% successful, but the time it takes is getting longer and crashes. The method used in this paper, namely Artificial Bee Colony, using Unity3D as a game engine. The resulting application is desktop-based.

Keyword : tawaf, crowd, artificial bee colony (ABC), simulation, crowd simulation.

Abstrak

Thawaf yaitu salah satu Rukun Haji/Umroh. Thawaf adalah rangkaian prosesi dimana para jamaah melakukan putaran mengelilingi Ka'bah sebanyak 7 kali yang dimulai dan diakhiri di Hajar Aswad. Dalam pelaksanaan Thawaf, pastinya dilaksanakan oleh jamaah dalam jumlah yang sangat banyak, sehingga penting sekali untuk meminimalisir kerumunan dalam pelaksanaannya. Sehingga pada penelitian ini, ditujukan agar menghasilkan Simulasi Thawaf yang bisa meminimalisir tabrakan antar jamaah, menghindari rintangan/obstacle, dan mencari rute terdekat. Dalam penelitian ini, keberhasilan untuk Simulasi Thawaf Otomatis kloter 1 (1-10 jamaah), kloter 2 (1-25 jamaah) yakni 100%, dan kloter 3 (1-50 jamaah) sebanyak 94%. Sedangkan Simulasi Thawaf Manual kloter 1-3 yakni 100% keberhasilan akan tetapi waktu yang ditempuh semakin lama dan mengalami tabrakan. Metode yang digunakan dalam penulisan ini, yakni Artificial Bee Colony, dengan menggunakan Unity3D sebagai game engine. Aplikasi yang dihasilkan yakni berbasis desktop.

Kata kunci: thawaf, kerumunan, artificial bee colony (ABC), simulasi

1. Pendahuluan

Simulasi kerumunan/gerombolan dan Gerakan manusia adalah salah satu animasi yang mendunia dalam pembuatan game ataupun film. Mensimulasikan kerumunan manusia di real life sehingga menghasilkan suatu pemodelan yang realistis maupun interaktif. Simulasi kerumunan yang real time ini tergolong menjadi sesuatu yang sulit dikarenakan perilaku yang ditampilkan pada kelompok yang besar sangat langka bahkan sangat kompleksitas. Banyak hal yang bisa disimulasikan dalam simulasi kerumunan ini, diantaranya kerumunan dalam menonton pertandingan sepak bola, evakuasi korban bencana, simulasi menaiki atau menuruni anak tangga hingga simulasi khusus salah satu rukun Haji/Umroh (Thawaf).

Zauhar Afifudidn (2019) menjelaskan bahwasannya Game adalah salah satu media hiburan yang banyak diminati di era sekarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui cara pergerakan Non Player Character (NPC) dalam sebuah game sehingga dapat bergerak menuju player. Dalam pergerakan ini akan berjalan

secara autonomus tanpa campur tangan dari user. Sehingga NPC bisa bergerak menuju player menggunakan posisi baru secara acak. Pergerakan ini megadopsi pergerakan colony dalam mencari sumber makanan. Sehingga pengujian Algoritma Artificial Bee Colony dalam penelitian ini menghasilkan kelompok agent pertama yakni Bee Colony, dan menunjukkan keberhasilan sebesar 98%. Non Player Character bisa memilih posisi mana saja yang dekat dengan player sehingga bisa mencapai posisi yang lebih dekat dengan player.

Simulasi adalah suatu proses dalam aplikasi yang didalamnya merancang model dan system yang nyata, mempelajari kinerja system dan melakukan percobaan dengan model tersebut sehingga menunjukkan perilaku system yang baru sesuai dengan kinerja yang diharapkan.

Thawaf adalah mengelilingi/ memutar Ka'bah sebanyak 7 kali. Thawaf merupakan salah satu Rukun Haji dan Umrah. Dalam pelaksanaannya, Thawaf hanya

bisa dilakukan di Baitullah dengan posisi mulai di Hajar Aswad.

Arti khusus kata Thawaf yakni berputar pada poros bumi yang paling dasar dan awal. Dalam 7 putaran ini juga bisa diartikan dengan setiap minggu, jumlah hari yang beredar mengelilingi kita. Dalam area Kah'bah ini tempat melakukan Thawaf dimana para jamaah bertamu untuk menghadap Tuhan Semesta Alam yang disempurnakan dengan bacaan dzikir dan do'a khusus selama pelaksanaan Thawaf.

NPC (Non Player Character) merupakan sebuah karakter dalam game yang dikendalikan sepenuhnya oleh computer tanpa campur tangan pemain. Dalam pengendalian ini pastinya menggunakan bidang ilmu kecerdasan buatan. Kecerdasan buatan tersebut, bertujuan agar NPC mampu melakukan pekerjaan layaknya manusia. Adapun bidang-bidang yang menerapkan kecerdasan buatan ini antara lain: logika fuzzy, system pakar, robotika, permainan computer, jaringan syaraf tiruan dan sebagainya.

Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) merupakan suatu metode yang terinspirasi oleh kecerdasan maupun perilaku bee (lebah) dalam mendapatkan sumber makanan. Algoritma ini dicetuskan oleh Dervis Karaboga pada tahun 2005. Dalam hal ini, Dervis Karaboga meneliti perilaku bee dikedidupannya dalam mencari sumber makanan yaitu nektar. Kemudian bee ini menginformasikan sumber makanan tadi kepada bee lainnya yang berada disarang. Hal itu bertujuan agar memaksimalkan jumlah nektar yang diperoleh kemudian diserahkan kepada sarang dengan melakukan pembagian beberapa tugas ke setiap bee. Dalam Metode Algoritma Artificial Bee Colony terdapat 3 jenis bee, diantaranya: Employed Bee, Onlooker Bee, dan Scout Bee.

Pada *Schouting Phase* para lebah koloni dalam pencarian sumber makanan hingga menemukan sumber makanan mereka akan mengirimkan lebah pengamat (scout bee) dengan acar mulai dari posisi awal hingga posisi selanjutnya. Sehingga bisa dirumuskan dalam persamaan (1).

$$X'i = Xi + rand [-1 1] \quad (1)$$

Keterangan Persamaan :

$X'i$ = Posisi lebah selanjutnya dalam sumbu X

X = Posisi lebah saat ini dalam sumbu X

Sehingga dalam persamaan (1) bisa dikembangkan lagi jikalau pencarian dibatasi oleh ruang lingkup dengan (R) radius, maka bisa dirumuskan dengan persamaan (2).

$$X'i = Xi + rand [-1 1] XR \quad (2)$$

Keterangan Persamaan :

XR = Radius

Sehingga, minimal jarak lebah pada halangan (d_{ij}) haruslah sama bahkan juga bisa lebih besar dibandingkan dengan jumlah ke-2 *radius* objek tersebut

$$(r_{bee} + r_{obs}).$$

$$d_{ij} - (r_{bee} + r_{obs}) \quad (3)$$

$$f_{collision} = d_{ij} - (r_{bee} + r_{obs}) > 0 \quad (4)$$

Dalam mencari nilai manakah yang lebih rendah, maka dari itu persamaan (4) harus dibandingkan dengan 0, sehingga dapat menghasilkan nilai C.

$$C = \min_0 (d_{ij} - (r_{bee} + r_{obs})) \quad (5)$$

Untuk persamaan (5) yang menjadi persyaratan mutlak dalam pemilihan posisi untuk persamaan (2). Sehingga jika nilai $C < 0$, maka lebah harus melakukan pencarian posisi baru secara ulang dengan persamaan (6) berikut.

$$X'_i = f(x) = \begin{cases} X_i + rand[-1 1] \times R, & C < 0 \\ X'_i, & C \geq 0 \end{cases}$$

Onlooker Bee atau disebut juga dengan lebah pengintai yang telah mengetahui dari posisi sumber makanan yang baru melalui scout bee, kemudian Kembali ke sarang untung menginformasikan data lokasi terbaru dari sumber makanan kepada lebah pengamat disarang. Dalam hal ini menggunakan persamaan Euclidian dalam mengukur jarak lebah ke target.

$$d^2 = (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2$$

$$d = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2} \quad (6)$$

Ketika Phase *Onlooker* lebah pengintai sudah menginformasikan data yang sudah dia dapatkan kepada lebah pengamat, maka lebah tersebut akan menganalisis dan mengolah data tersebut sehingga bisa diteruskan kepada lebah pekerja sebagai dasar untuk mengambil makanan yang ada pada *target*. Tiap lebah pekerja kembali ke sarang dan membawa makanan, maka lebah pekerja akan memberikan informasi kepada lebah pengamat bahwasanya makanan yang disajikan pada *target* telah berkurang.

Ketika lebah pengintai memberikan informasi terbaru yang didapatkan kepada lebah pengamat, kemudian lebah tersebut akan mengolah dan menganalisis data yang diperoleh dan diteruskan kepada lebah pekerja sebagai dasar dalam mengambil nektar yang ada pada target. Setiap lebah pekerja yang membawa makanan dan Kembali kesarang, secara otomatis menginformasikan bahwasannya makanan yang disajikan pada target telah berkurang kepada lebah pengamat. Sehingga dihasilkan persamaan (9).

$$n = \begin{cases} X_i + rand[-1 1] \times R, & n < 0 \\ n - 1, & n \geq 0 \end{cases}$$

Jika (n) *nektar* yang ada pada target sudah habis, kemudian para lebah mengerahkan lagi untuk memperbarui posisi sumber makanan kepada lebah pencari dengan persamaan (2).

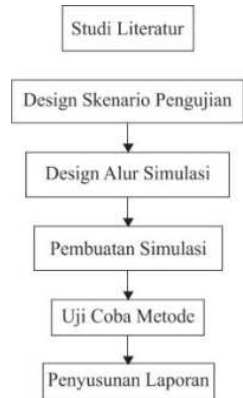
Perangkat keras yang dibutuhkan dalam mengimplementasikan Aplikasi berbasis desktop Simulasi Thawaf ini menggunakan LAPTOP ASUS

A455L dengan Processor Inter(R) Core (TM) i5-7200 CPU @2.50 GHZ, RAM 8.00 GB.

Perangkat lunak yang dibutuhkan dalam mengimplementasikan aplikasi simulasi thawaf ini, yakni sebagai berikut: Game Engine : Unity3D 2018, Script Writer : Visual Studio 2018, Sistem Operasi: Windows 10 64 Bit, Konsep Desain 2D : Corel Draw 2017

3. Hasil dan Pembahasan

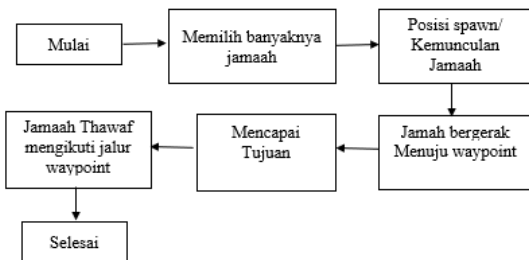
Pada bagian ini memuat metode yang digunakan pada penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

3.1 Analisis dan Perancangan Simulasi

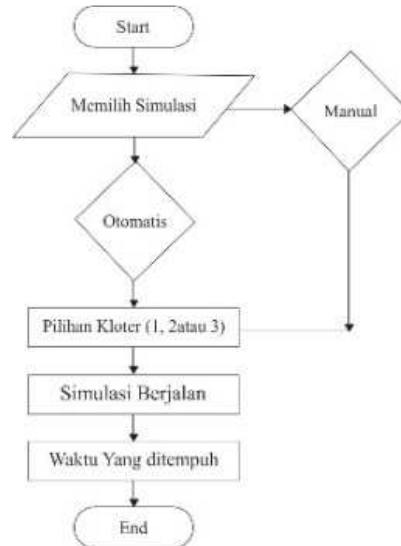
Simulasi Thawaf menggunakan Metode Artificial Bee Colony ini dirancang pada kerumunan jamaah dalam melaksanakan rukun haji/umrah (Thawaf). Ada beberapa karakter dalam simulasi ini sehingga aplikasi yang dihasilkan semakin menarik.



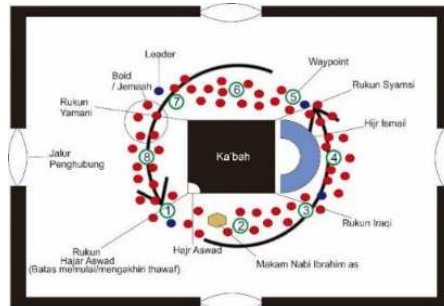
Gambar 2. Diagram Alur Kerja Simulasi

3.2 Flowchart Perancangan Simulasi

Flowchart Perancangan Simulasi bermula ketika Start tanda dimulainya simulasi. Memilih Simulasi Thawaf, disini ada dua pilihan yakni Otomatis dan Manual. Kemudian memilih Kloter / banyaknya jamaah. Dijelaskan bahwasannya Kloter 1 (terdiri dari 1-10 jamaah), Kloter 2 (terdiri dari 1-25 jamaah), dan Kloter 3 (terdiri dari 1-50 jamaah). Simulasi Thawaf berjalan. Saat putaran ketuju dan selesai, maka akan muncul waktu yang ditempuh dalam melaksanakan thawaf. End tanda simulasi selesai.



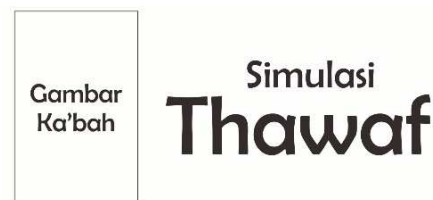
Gambar 3. Flowchart Perancangan Simulasi



Gambar 4. Keterangan Umum Simulasi

Posisi awal jamaah dalam melaksanakan thawaf akan tampil seperti gambar 4. Jamaah Thawaf berada di posisi awal di belakang Hajar Aswad (tempat dimulainya thawaf). Dalam simulasi ini terdapat 1 leader dan beberapa jamaah untuk melaksanakan Thawaf. Jamaah akan bergerak, dipimpin oleh tour leader menuju waypoint waypoint yang telah ditentukan sebelumnya di area sekitar Ka'bah. Pada saat jamaah melaksanakan thawaf, maka secara otomatis Algoritma Artificial Bee Colony ini akan bekerja.

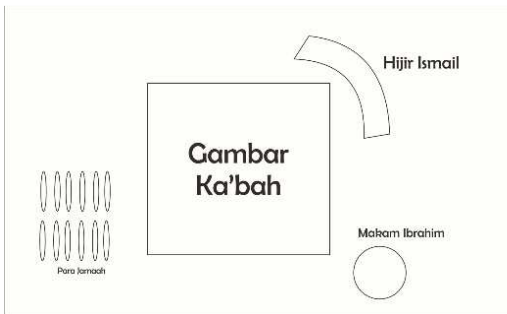
Leader disini bertugas dalam memimpin/memandu para jamaah dalam melaksanakan Thawaf menuju waypoint yang sudah ditentukan. Tour leader juga memastikan agar seluruh jamaah bisa melaksanakan thawaf dengan baik, tidak saling bertabrakan satu sama lain, mencari jarak terdekat, menghindari tabrakan antar jamaah ataupun obstacle dan selalu bergerombol dalam menuju target.



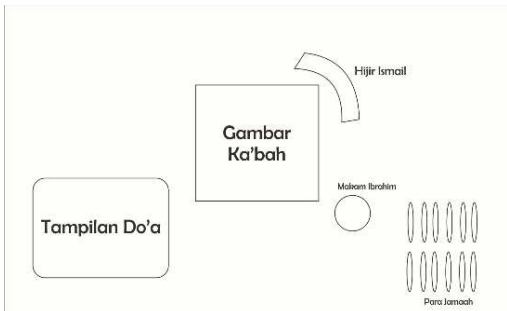
Gambar 5. Tampilan Awal Simulasi Dijalankan



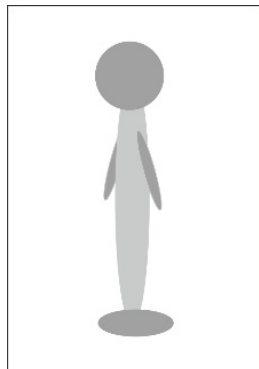
Gambar 6. Tampilan Menu Awal Simulasi



Gambar 7. Tampilan Simulasi Dijalankan

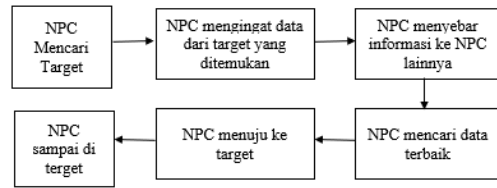


Gambar 8. Tampilan Penunjuk Do'a

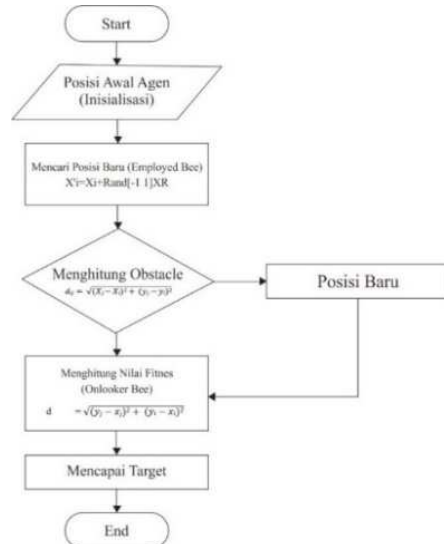


Gambar 9. Jamaah

Metode Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) dirancang yang bertujuan agar bisa diimplementasikan kepada NPC leader dan Jamaah. Sehingga leader dengan mudah bisa mencari rute terpendek dan tidak saling bertabrakan menuju waypoint yang telah ditentukan. Dan jamaah mengikuti leader kemanapun dia bergerak.



Gambar 10. Diagram Kerja Algoritma ABC

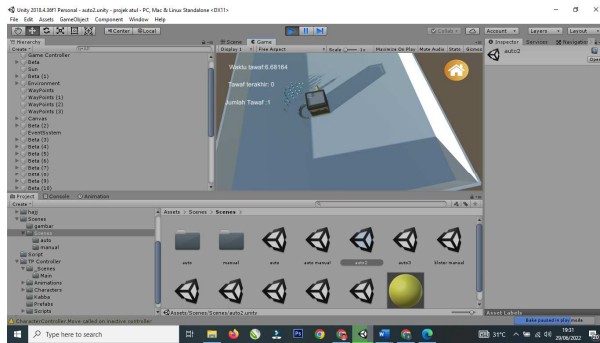


Gambar 11. Flowchart Perhitungan Algoritma ABC

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.AI;
public class PlayerAI : MonoBehaviour
{
    NavMeshAgent agent;
    public Transform[] waypoints;
    int waypointIndex;
    Vector3 target;
    void Start()
    {
        agent = GetComponent<NavMeshAgent>();
        UpdateDestination();
    }
    // Update is called once per frame
    void Update()
    {
        if(Vector3.Distance(transform.position, target)
        <1)
        {
            IterateWaypointIndex();
            UpdateDestination();
        }
    }
    void UpdateDestination(){
        target = waypoints[waypointIndex].position;
        agent.SetDestination(target);
    }
    void IterateWaypointIndex(){
        waypointIndex++;
        if(waypointIndex == waypoints.Length)
        {
            waypointIndex = 0;
        }
    }
}
```

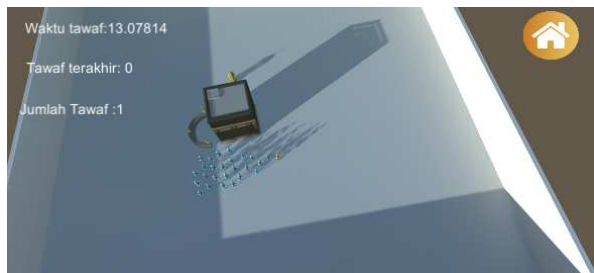
Gambar12. Script Mencari Posisi Baru

Pengujian Algoritma Artificial Bee Colony bertujuan untuk melihat bagaimana proses menuju target yang telah ditentukan yang dilakukan oleh Bee Colony. Pada Pengujian ini menggunakan 10 jamaah yang melakukan thawaf dengan posisi awal sudah berada di waypoint yang telah ditentukan. Setiap Jamaah yang melaksanakan thawaf, mempunyai kecepatan sama yaitu 3,5f. Posisi awal ini didasari pada fase Scouting Bee Colony dimana para jamaah dianggap menyebar agar mencapai target.



Gambar 13. Contoh Posisi Awal Jamaah

Menggunakan Metode Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) ini, bertujuan para jamaah bisa secara bergerombol/berkelompok dalam menuju waypoint tanpa adanya tabrakan antar jamaah. Pengujian dilakukan dimaksudkan agar memastikan apakah Algoritma Artificial Bee Colony (ABC) bisa berfungsi secara sempurna. Sehingga bisa membuat jamaah bergerak seperti lebah menuju target yang telah ditentukan sebelumnya. Pengujian ini dilakukan sebanyak 3 kali. Yang menghasilkan para jamaah saat melaksanakan thawaf selalu bergerombol dan tidak mengalami tabrakan antar jamaah thawaf lainnya.



Gambar 14. Uji Coba Iterasi 1-3

Jamaah dalam melaksanakan Thawaf selalu bergerombol/ berkelompok layaknya lebah untuk mencapai target yang harus dituju.

Pengujian Simulasi Thawaf menggunakan salah satu metode yakni Pengujian Blackbox (blackbox testing). Pengujian Blackbox ialah suatu metode pengujian perangkat lunak yang berfokus pada sisi fungsionalitas, khususnya pada input dan output aplikasi (apakah sudah sesuai dengan apa yang diharapkan atau belum). Bisa digaris bawahi bahwasannya, pengujian ini lebih kepada pengetesan spesifikasi fungsional program.

Dalam pengujian Thawaf Otomatis Kloter 1 (1-10 Jamaah) dan Kloter 2 (1-25 Jamaah) menunjukkan keberhasilan 100 % dimana jamaah mengikuti leader dengan baik dan berhasil menyelesaikan 7 kali putaran, tidak saling bertabrakan antar jamaah lainnya, menghindari semua rintangan di area sekitar Thawaf, dan mampu mencari rute terpendek. Sedangkan dalam pengujian Thawaf Otomatis

Kloter 3 (1-50 jamaah) menunjukkan keberhasilan 50% dimana 47 jamaah berhasil mengikuti leader dengan baik dan berhasil menyelesaikan 7 kali putaran, tidak bertabrakan antar jamaah, tetapi mengalami tabrakan dengan rintangan yang berada disekitar Ka'bah. Dalam pengujian Thawaf Manual (Kloter 1,2 dan 3) menunjukkan keberhasilan 30% dimana jamaah berhasil mengikuti leader dan melaksanakan thawaf sebanyak 7 kali, tetapi waktu yang dibutuhkan lebih lama dalam melaksanakan thawaf.

Tabel 1. Pengujian Algoritma Artificial Bee Colony

Simulasi	Percobaan ke	Jml Jamaah	Jamaah yg berhasil Thawaf	Keberhasilan	Bertabrakan	Waktu yg ditempuh	Waktu Rata-rata
Otomatis1	1	10	10	100%	Tidak	84 sec	12 sec
Otomatis1	2	10	10	100%	Tidak	84 sec	12 sec
Otomatis1	3	10	10	100%	Tidak	84 sec	12 sec
Otomatis1	4	10	10	100%	Tidak	84 sec	12 sec
Otomatis1	5	10	10	100%	Tidak	84 sec	12 sec
Otomatis1	6	10	10	100%	Tidak	84 sec	12 sec
Otomatis1	7	10	10	100%	Tidak	84 sec	12 sec
Otomatis2	1	25	25	100%	Tidak	126 sec	18 sec
Otomatis2	2	25	25	100%	Iya	132 sec	19 sec
Otomatis2	3	25	25	100%	Tidak	124 sec	18 sec
Otomatis2	4	25	25	100%	Tidak	125 sec	18 sec
Otomatis2	5	25	25	100%	Tidak	125 sec	18 sec
Otomatis2	6	25	25	100%	Tidak	158 sec	23 sec
Otomatis2	7	25	25	100%	Tidak	124 sec	18 sec
Otomatis3	1	50	47	94%	Iya	168 sec	24 sec
Otomatis3	2	50	47	94%	Iya	133 sec	19 Sec
Otomatis3	3	50	47	94%	Iya	175 sec	25 sec
Otomatis3	4	50	47	94%	Iya	133 sec	19 sec
Otomatis3	5	50	47	94%	Iya	154 sec	22 sec
Otomatis3	6	50	47	94%	Iya	133 sec	19 sec
Otomatis3	7	50	47	94%	Iya	154 sec	22 sec
Manual1	1	10	10	100%	Tidak	175 sec	25 sec
Manual1	2	10	10	100%	Tidak	203 sec	29 sec
Manual1	3	10	10	100%	Tidak	210 sec	30 sec
Manual1	4	10	10	100%	Tidak	189 sec	27 sec
Manual1	5	10	10	100%	Tidak	189 sec	27 sec
Manual1	6	10	10	100%	Tidak	154 sec	22 sec
Manual1	7	10	10	100%	Tidak	147 sec	21 sec
Manual2	1	25	25	100%	Iya	196 sec	28 sec
Manual2	2	25	25	100%	Iya	217 sec	31 sec
Manual2	3	25	25	100%	Iya	189 sec	27 sec
Manual2	4	25	25	100%	Iya	245 sec	35 sec
Manual2	5	25	25	100%	Iya	175 sec	25 sec
Manual2	6	25	25	100%	Iya	231 sec	33 sec
Manual2	7	25	25	100%	Iya	189 sec	27 sec
Manual3	1	50	50	100%	Iya	245 sec	35 sec
Manual3	2	50	50	100%	Iya	231 sec	33 sec
Manual3	3	50	50	100%	Iya	238 sec	34 sec
Manual3	4	50	50	100%	Iya	189 sec	27 sec
Manual3	5	50	50	100%	Iya	238 sec	34 sec
Manual3	6	50	50	100%	Iya	175 sec	25 sec
Manual3	7	50	50	100%	Iya	217 sec	31 sec

Implementasi Simulasi dapat dilihat pada gambar-gambar berikut :



Gambar 15. Tampilan Menu Awal



Gambar 16. Tampilan Menu Info



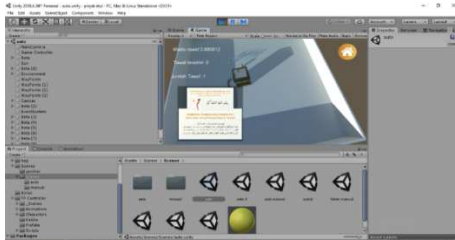
Gambar 17. Tampilan 2 Pilihan Simulasi



Gambar 18. Tampilan Kloter Simulasi



Gambar 19. Tampilan Simulasi Awal



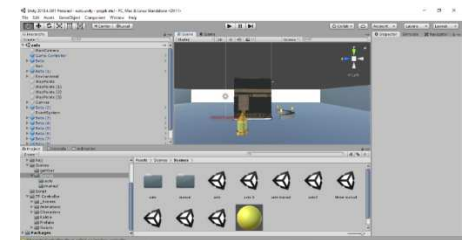
Gambar 20. Saat Seजार Dengan Hajar Aswad



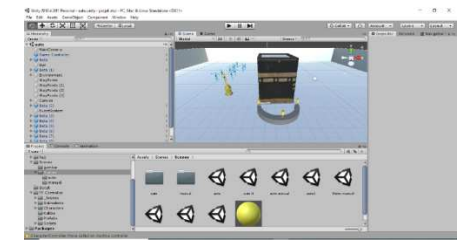
Gambar 21. Seजार dengan Rukun Yamani



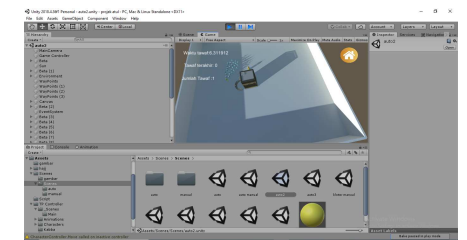
Gambar 22. Tampilan Selesai Thawaf



Gambar 23. Pembangunan Eviroment



Gambar 24. Hambatan Statis Area Ka'bah



Gambar 25. Jalur Thawaf



Gambar 26. Kerumunan

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan oleh penulis maka disimpulkan bahwa dalam membangun aplikasi Simulasi Thawaf dengan metode Algoritma Bee

Colony ada beberapa langkah yang perlu dilakukan, yaitu: Tahapan penelitian, desain literatur, desain NPC dan Environment, pembuatan simulasi, cara kerja metode dan pengujian metode.

Mensimulasikan Algoritma Bee Colony dalam aplikasi ini, ada 3 tahapan yang harus dilakukan yakni : Employed Bee (Proses mencari Target Thawaf), Onlooker Bee (Menyimpan data yang diperoleh dan menentukan jalur terpendek), dan Scout Bee (Mengikuti Jalur). Dalam pengujian Thawaf Otomatis Kloter 1 (1-10 Jamaah) dan Kloter 2 (1-25 Jamaah) menunjukkan keberhasilan 100 % dimana jamaah mengikuti leader dengan baik dan berhasil menyelesaikan 7 kali putaran, tidak saling bertabrakan antar jamaah lainnya, menghindari semua rintangan di area sekitar Thawaf, dan mampu mencari rute terpendek. Sedangkan dalam pengujian Thawaf Otomatis Kloter 3 (1-50 jamaah) menunjukkan keberhasilan 94% dimana 47 jamaah berhasil mengikuti leader dengan baik dan berhasil menyelesaikan 7 kali putaran, tidak bertabrakan antar jamaah, tetapi mengalami tabrakan dengan rintangan yang berada disekitar Ka'bah. Dalam pengujian Thawaf Manual (Kloter 1,2 dan 3) menunjukkan keberhasilan 100% dimana jamaah berhasil mengikuti leader dan melaksanakan thawaf sebanyak 7 kali, tetapi waktu yang dibutuhkan lebih lama dalam melaksanakan thawaf.

Penulis menyarankan agar dilakukannya pengembangan di penelitian selanjutnya, diantaranya: Untuk Simulasi Thawaf Khususnya Kloter 3 (1-50 Jamaah) dalam pengimplementasiannya masih mengalami tabrakan terhadap rintangan yang berada disekitaran Ka'bah sehingga perlunya metode optimasi agar bisa dikembangkan lagi untuk penelitian selanjutnya. Karakter tour leader maupun jamaah dalam visualisasinya bisa disempurnakan lagi agar terlihat lebih bagus dan nyata. Aplikasi Simulasi Thawaf ini sangat bisa dikembangkan dalam platform android, sehingga tidak hanya disajikan dalam aplikasi desktop saja. Aplikasi Simulasi Thawaf ini juga dapat dikembangkan untuk environment lebih dari satu lantai sesuai dengan kondisi nyata Masjidil Haram.

Daftar Rujukan

- [1.] Andika Sandi. 2021. *Pergerakan NPC Dalam Simulasi Tour Guide Jawa Timur Park 1 Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony*. Skripsi. Malang: Teknik Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. *for Real-Time Machine Learning Control of Articulated Robotic Manipulators*. Ministry of Science and Technology, Taiwan. <http://etheses.uin-malang.ac.id/31532/>
- [2.] Lalu Nasrullah Wiranda. 2017. *Implementasi Algoritma Artificial Bee Colony Untuk Menentukan Rute Terpendek Dalam Pendistribusian Kripik Buah (Studi Kasus Anta Kripik, Malang)*. Jati. Teknik Informatika, Institut Teknologi Nasional Malang. <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/jati/article/view/2084>
- [3.] Lijun Sun, Tianfei Chen, Qiuwen Zhang. 2018. *MPPT An Artificial Bee Colony Algorithm With Random Location Updating*. School Of Electrical Engineering, China. <https://www.hindawi.com/journals/sp/2018/2767546/>
- [4.] Moh Husnu Syawab. 2020. *Simulasi Pergerakan Agen Pengunjung Pada Wisata Pulau Palu Pari Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony*. Skripsi. Malang: Teknik Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. <http://etheses.uin-malang.ac.id/24470/>
- [5.] Safriudin Rifandi, Indra Adji Sulistijono, Son Kuswadi. 2019. *Pencarian Jalur Terpendek Dalam Proses Autodocking Pada Mobile Robot Menggunakan ABC*. Jurnal Invotek .Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Kampus ITS. https://www.researchgate.net/publication/337624865_PENCARIAN_JALUR_TERPENDEK_DALAM_PROSES_AUTODOCKING_PADA_MOBILE_ROBOT_MENGGUNAKAN_ARTIFICIAL_BEE_COLONY
- [6.] Wilujeng Jatningsih. 2015. *Pergerakan Serangan Kelompok NPC Berbasis Agen Otonom Menggunakan Algoritma Artificial Bee Colony*. Fakultas Teknologi Industri Insitut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. https://www.academia.edu/77765016/Pergerakan_Serangan_Kelompok_Npc_Berbasis_Agen_Otonom_Menggunakan_Algoritma_Artificial_Bee_Colony
- [7.] Zauhaf Afifudin. 2019. *Rancang Bangun Game Pengenalan Ilmuwan Muslim Menggunakan Algoritma Bee Colony Sebagai Pembangkit Perilaku Pencarian NPC terhadap target*. Skripsi. Malang: Teknik Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. <http://etheses.uin-malang.ac.id/13959/>
- [8.] Ario Bagus Nugroho. 2016. *Implementasi Artificial Bee Colony Untuk Pemilihan Titik Pusat Pada Algoritma K-Means*. Skripsi. ITS. <https://media.neliti.com/media/publications/192840-ID-Implementasi-artificial-bee-colony-untuk.pdf>
- [9.] Catalina Ghonzalez-Castano, Carlos Restrepo, Samir Kouro. 2021. *MPPT Algorithm Based On Artificial Bee Colony For PV System*. Ministry of Science and Technology, Chile. Djameludin Santoso, Heru. 2016. *Pergerakan NPC Menggunakan Algoritma Boids dan Artificial Bee Colony Pada Simulasi Mengelilingi Ka'bah (Thawaf)*. Skripsi. Malang: Teknik Informatika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim. <http://etheses.uin-malang.ac.id/5837/>
- [10.] HSU-CHIH HUANG. 2020. *Artificial Bee Colony Optimization Algorithm Incorporated With Fuzzy Theory* <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9234410>