

**MEKANISME FLOCKING PARTIKEL PADA DITERAPKAN
PADA PERGERAKAN TAWAF DENGAN MENGGUNAKAN
METODE RUNGE KUTTA**

SKRIPSI

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana
Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati Bandung**



IKHSAN MOCHAMMAD NOOR

1157030026

**FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN GUNUNG DJATI BANDUNG
2021**

a.n Kementerian Agama Universitas Islam Negeri (UIN) Sunan Gunung Djati Bandung Fakultas Sains dan Teknologi Jl. A. H. Nasution 105 Bandung	FORM (FR)	Nomor Dokumen	FST-TU-AKM-FR-D.03
		Tanggal Terbit	1 September 2016
		Nomor Revisi	02
		Halaman	1/1

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : IKHSAN MOCHAMMAD NOOR
NIM : 1157030026
Jurusan : FISIKA

Dengan ini menyatakan sebagai berikut :

1. Skripsi yang berjudul MEKANISME FLOCKING PARTIKEL PADA DITERAPKAN PADA PERGERAKAN TAWAF DENGAN MENGGUNAKAN METODE RUNGE KUTTA ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik, baik di UIN Sunan Gunung Djati Bandung maupun di Perguruan Tinggi lain.
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Tim Pembimbing, diskusi teman, dan masukan dari Tim Penelaah.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan dalam daftar pustaka sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarangnya.
4. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di Perguruan Tinggi ini.
5. Lembar pernyataan ini saya buat sebenar-benarnya tanpa ada paksaan dan tekanan dari pihak manapun.

Bandung, 13 Maret 2021
Yang Membuat Pernyataan

IKHSAN MOCHAMMAD NOOR
1157030026

LEMBAR PERSETUJUAN

**MEKANISME FLOCKING PARTIKEL PADA DITERAPKAN PADA
PERGERAKAN TAWAF DENGAN MENGGUNAKAN METODE RUNGE
KUTTA**

IKHSAN MOCHAMMAD NOOR

1157030026

Menyetujui,

Pembimbing 1,

Pembimbing 2,

Dr. Yudha Satya Perkasa, M.Si

NIP. 197911172011011005

Ridwan Ramdani, S.Si., M.Si

NIP.

Mengetahui,

Dekan

Fakultas Sains dan Teknologi,

Ketua

Jurusan Fisika,

Dr. Hasniah Aliah, M.Si

NIP. 197806132005012014

Dr. Moh. Nurul Subkhi, M.Si

NIP. 198102012009121003

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul : "**MEKANISME FLOCKING PARTIKEL PADA DI-TERAPKAN PADA PERGERAKAN TAWAF DENGAN MENGGUNAKAN METODE RUNGE KUTTA**" telah dipertanggung jawabkan dalam sidang Mu-naqasyah Jurusan Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Gunung Djati Bandung pada 13 Maret 2021, dengan majelis yang terdiri dari:

Menyetujui ,

Penguji I

Penguji II,

Mada Sanjaya W.S., Ph.D

NIP. 198510112009121005

Dr. rer.nat. Imamal Muttaqien, M.Si

NIP. 198310062009121009

Mengetahui ,

Ketua Majelis,

Sekretaris,

Kaswandhi Triyoso, M.Si

NIP. 198510172007070105

Mada Sanjaya W.S., Ph.D

NIP. 198510112009121005

LEMBAR PERSEMBAHAN

"Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman diantaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat" (Firman Allah SWT: Al-Mujadalah,11)

"Sesungguhnya, Kami menciptakan segala sesuatu menurut ukuran."(Firman Allah SWT: Al Qamar,29)

"Menuntut ilmu itu diwajibkan bagi setiap muslim dan muslimah."(Sabda Nabi Muhammad SWA)

Ku persembahkan Skripsi dalam bentuk L^AT_EX ini untuk:

Wawa Wahyudin
Nursilawati
Terry Febriani
Aldy Rialdy Atmadja
Amelia Hasanah
dek Aura
dek Zara

ABSTRAK

Nama : IKHSAN MOCHAMMAD NOOR
Program Studi : Fisika
Judul : MEKANISME FLOCKING PARTIKEL PADA DITERAPKAN PADA PERGERAKAN TAWAF DENGAN MENGGUNAKAN METODE RUNGE KUTTA

Telah dilakukan penelitian tentang gerak berkelompok yang terdapat pada hewan seperti burung, ikan bahkan manusia. Pergerakan dapat diterapkan pada tawaf yang merupakan pola yang dipengaruhi oleh keinginan untuk berkelompok agar efisien dan mendekat pada jenis yang sama. Keinginan tersebut bergantung pada parameter-parameter tertentu sebagai sistem. Untuk memahami sistem ini dapat dilakukan pendekatan partikel. Interaksi antar partikel dapat digolongkan sebagai keinginan partikel untuk berkelompok sejenis, dan interaksi kedua dipengaruhi oleh gaya dominan yang membuat keinginan tawaf tersebut terpola. Pendekatan Newtonian digunakan untuk menangani parameter fisika seperti posisi dan kecepatan partikel yang kemudian dihitung menggunakan integrasi Runge-Kutta. Pola yang muncul diantaranya adalah pola gerak menuju pusat gaya (Kaaba).

Kata Kunci: gerak berkelompok, Runge-Kutta, gaya dominan

ABSTRACT

Name : IKHSAN MOCHAMMAD NOOR
Studies Program : Physics
Title : *judul Inggris*

Research has been done on group movement found in animals such as birds, fish and even humans. Movement can be applied to tawaf which is a pattern that is influenced by the desire to group together to be efficient and closer to the same type. the desire depends on certain parameters as a system. To understand this system, a particle approach can be used. The interaction between particles can be classified as the desire of particles to group together. and the second interaction is influenced by the dominant force that makes the tawaf desire patterned. The Newtonian approach is used to handles physical parameters such as position and velocity of the particles which are then calculated using the runge-kutta integration. The patterns that emerge include the pattern of motion towards the center of force (kaaba).

Keywords: *group movement, runge-kutta, dominant force*

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, Skripsi yang berjudul MEKANISME FLOCKING PARTIKEL PADA DITERAPKAN PADA PERGERAKAN TAWAF DENGAN MENGGUNAKAN METODE RUNGE KUTTA dapat diselesaikan. Ini diajukan untuk memenuhi syarat kelulusan program Strata-1 (S1) jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Gunung Djati Bandung.

Skripsi ini selesai dengan adanya bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu penulis ucapkan terima kasih yang kepada:

1. Allah SWT yang selalu berada di dekat penulis memberikan rahmat dan hidayah untuk menjadi manusia yang berguna.
2. Nabi Muhammad SWA yang mana beliau adalah panutan bagi penulis.
3. Bapak Dr.Yudha Setya Perkasa.M.Si Sebagai Dosen Pembimbing Akademik Jurusan Fisika, karena atas Bimbingan dan kepercayaan yang beliau berikan kepada penulis untuk menyelesaikan Akademik di Jurusan Fisika ini.
4. Bapak Ridwan Ramdani, S.Si., M.Si Selaku Dosen Pembimbing Jurusan Fisika, karena atas Bimbingan dan kepercayaan yang beliau berikan kepada penulis untuk menyelesaikan skripsi ini.
5. Seluruh dosen fisika UIN Bandung yang telah banyak meluangkan waktunya untuk memberikan pengetahuan, arahan, masukan, dan dukungan yang berarti bagi penulis. Dan juga senantiasa membimbing penulis mempelajari keilmuan dalam menyelesaikan skripsi ini.
6. Rekan-rekan Fisika angkatan 2015 yang memotivasi agar penulis lulus sebagai sarjana.

7. Mahasiswa fisika angkatan 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014 ,2015 ,2016 ,2017 yang selalu memberikan dukungan dan motivasi agar penulis lulus sebagai sarjana.
8. Rekan seperjuangan laboratorium sistem modeling Dinda, Ariq, Arum dan Indri.

Akhir kata, penulis menyadari karya tulis ini masih banyak kekurangan oleh karena itu kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. dengan harapan semoga karya tulis ini bermanfaat bagi pembaca khususnya yang mendalami model komputasi.

Bandung, 13 Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN OPERATOR	xiv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan Penelitian	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Metode Pengumpulan Data	5
1.6 Sistematika Penulisan	5

2	TEORI DASAR	7
2.1	Model Interaksi	7
2.2	Aplikasi gaya	8
2.2.1	Flocking	8
2.3	Model Partikel	10
2.4	Model Ruang Partikel	10
2.5	Persamaan Distribusi Normal	11
2.6	Metode Runge Kutta	12
3	METODOLOGI PENELITIAN	14
3.1	Alat yang Digunakan	14
3.1.1	Perangkat Keras	14
3.1.2	Perangkat Lunak	14
3.2	Penerapan Gaya	15
3.2.1	Penerapan 3 gaya	15
3.2.2	Penerapan 3 gaya ditambah gaya circular	15
3.3	Simulasi Komputer	16
3.4	Parameter Gaya	17
3.4.1	Parameter dalam pergerakan gaya	17
3.4.2	Parameter variasi partikel yang ditambahkan dalam simulasi	18
4	Hasil dan Pembahasan	19
4.1	Flocking tanpa Circular Motion	19
4.2	Flocking dengan Gaya Dominan(Circular Motion)	20
4.3	Flocking dengan Gaya Dominan(Circular Motion) partikel dengan Karakteristik	22
5	PENUTUP	25
5.1	Kesimpulan	25
5.2	Saran	26
	DAFTAR PUSTAKA	27
	INDEX	29
	LAMPIRAN	31

A	sumber kode	31
A.1	Kode Program gambarBoids.js	31
A.2	Kode Program sides2.js	32
A.3	vect3.js	33
B	Riwayat Hidup	38

DAFTAR GAMBAR

2.1	Bentuk Gerak Pensejajaran	8
2.2	Bentuk Gerak Pemusatan	9
2.3	Bentuk Gerak Pemisahan	9
2.4	Model partikel sebagai titik posisi	10
2.5	Model Area Masjidil Haram	11
2.6	Perbandingan euler dan runge-kutta	13
3.1	Algoritma Pemograman.	17
4.1	Hasil Model allignment,separation dan kohesi dengan range 25 dan range 50	19
4.2	Hasil Model dengan ditambahkan gaya dominan, N=100	20
4.3	hasil gerak partikel pada (Kim <i>et al.</i> , 2014)	21
4.4	Hasil Model allignment,separation dan kohesi dengan range 25 dan range 50 ditambah dengan dominan force tawaf	22
4.5	Hasil model oleh Nasir	23
4.6	Hasil Flocking Bajec	24

DAFTAR TABEL

3.1	Spesifikasi Perangkat Keras.	14
3.2	Spesifikasi Perangkat Lunak.	15
3.3	Sekilas tentang penggunaan library VictorJS	16

DAFTAR SINGKATAN

FSM : Finite State Machine HTML : Hyper Text Markup Language

CSS : Cascading Style Sheet

RAM : Random Access Memory

DAFTAR SIMBOL DAN OPERATOR

α	:	Alpha
v	:	Kecepatan
p	:	Posisi
m	:	Massa
t	:	Waktu
Δt	:	Step Size Waktu \vec{F}
:		Function Flocking
σ	:	Standard deviasi
Σ	:	Penjumlahan variabel
π	:	nilai pi
e	:	epsilon
ψ	:	derajat putaran
λ	:	input state
κ	:	output state
z	:	radius antar partikel

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tawaf merupakan rukun ibadah dalam melaksanakan Haji, dimana seluruh umat islam dianjurkan melaksakannya. Ditinjau dari praktiknya, sederhananya tawaf ialah melakukan pergerakan mengelilingi kaaba sebanyak 7 kali dimulai dari garis hajar aswad dalam satu putaran, ditambah dengan pergerakan menuju hajar aswad dengan sunnah ingin menciumnya. Pergerakan menuju ke hajar aswad menjadikan masalah karena skala yang . Namun sebenarnya dalam keadaan haji, praktik ini menjadi sangat masif karena jumlah variabel individu yang sangat banyak. Penulis mendapatkan cerita, saat melaksanakan praktik ibadah haji, sepasang suami istri sedang melaksanakan salah satu rukun ibadah tawaf mereka sangat ingin mencium hajar aswad, tetapi sangat sulit untuk mencapai inti dari kaaba tersebut, maka mereka bergerak secara berkelompok untuk mencapainya dan berhasil. Fenomena tersebut sangat menarik karena jika sepasang suami istri tersebut tidak melakukan gerakan berkelompok maka tujuan pusat kaaba tidak tercapai. Sedangkan tawaf merupakan salah satu praktik ibadah yang dilakukan pada saat memasuki Masjidil Al-Haram di Mekkah Saudi Arabi. Tawaf sendiri dilaksanakan pada Umrah dan Haji. Saat Haji, keadaan tawaf ada di tingkat yang paling tinggi dimana seluruh umat islam berkumpul untuk melaksanakan salah satu pilar islam yang diwajibkan bagi seluruh umat yang mampu. Pada tahun 2017 tercatat sekitar 2.352.122 yang datang dari seluruh dunia untuk melaksanakan haji (for Statistics Kingdom of Saudi Arabia, 2018), maka asumsinya seluruh orang tersebut melakukan tawaf bersamaan di waktu yang sama yaitu saat memasuki Masjidil Al-Haram. Jika dibandingkan dengan umrah frekuensi orang yang melakukan tawaf lebih rendah tingkat kepadatan orang.

Dan ini menjadikan tawaf, sebagai kegiatan dengan melibatkan jumlah orang terpadat di dunia. Maka merupakan hal yang sulit untuk mencapai pusat kaaba dengan paparan diatas. Menjadikan fenomena ini hal yang menarik untuk dibahas.

Fenomena ini dapat diterjemahkan dalam model yang terdiri dari model visual kerumunan dan model teknik numerik yang digunakan. Pertama adalah model visual, karena skalanya yang cenderung besar dengan melibatkan orang banyak. Maka penting untuk mengerti bentuk dari perilaku kerumunan saat melakukan tawaf. Variasi yang dilakukan kerumunan saat berada di Masjidil Al-Haram. Pemahaman terhadap model dari masalah pergerakan kerumunan ini mempunyai solusi berupa sebuah model yang dapat diterapkan, untuk itu diperlukan napak tilas kepada riset tentang perilaku kerumunan.

Riset sebelumnya para ahli dalam bidang kajian aliran kerumunan menggolongkan pada 9 varian major system diantaranya flocking system, behavioral system, chaos model system(Saiwaki *et al.*, 1997), agent base model(Khan & McLeod, 2012), social forces model(Zainuddin *et al.*, 2009), hybrid model system(Shuaibu, 2015), fluid dynamic model(Narain *et al.*, 2009),cellular automata (Lim & Zainuddin, 2012), cognitive model(Mulyana & Gunawan, 2010) and pedestrian model system(Haghighati & Hassan, 2013). Beberapa studi seperti kim dalam penelitiannya menggunakan basis kecepatan dan FSM untuk membuat behaviour sistem untuk kerumunan sehingga objek yang berinteraksi dapat mengantisipasi tabrakan dan menghindarinya karena kekuatannya dapat diperhitungkan dari basis kecepatan tersebut(Kim *et al.*, 2014). Studi lainnya diperkenalkan oleh Shuaibu, dengan memodelkan tawaf membentuk jalur spiral menggunakan simulasi discrete-event sistem antri(Shuaibu, 2015). Dapat dikatakan ini sebagai model algoritmanya. Dalam riset ini penulis cenderung menggunakan sistem basis agent untuk memodelkan.

Kedua adalah tentang model teknik numerik, model numerik ini adalah bagian yang digunakan untuk menghitung sistem dari pergerakan kerumunan ini. Dimana hal ini sebagai fondasi dari model untuk variabel dalam model visual. Basis riset untuk teknik numerik ini diantaranya Finite state machine(Curtis *et al.*, 2011)(Bicho *et al.*, 2012), Reciprocal Collision Avoidance, velocity based model(Kim *et al.*, 2014), Ruled Based Model, Metode Euler dan Lagrangian(Narain *et al.*, 2009), Discrete-event model.Penulis cenderung menggunakan velocity based model dalam memodelkan sebagai basis fisika interaksinya.

Berikut referensi waktu tempuh seseorang untuk menyelesaikan tawaf:

No. Sample	Keterangan	Waktu Tempuh(menit)	Sumber Video
1	3/4 tawaf	2.14	matt zimbo banzai
2	full tawaf	3.07	mustafa aydemir
3	not full circle	3	-
4	full	4.2	haris munandar
5	full	4.32	patarani channel
6	not full	3/4 tawaf	sukmasari ahmad
7	full	8.03	best islamic videos
8	full tawaf	5.05	muhammad raziur rahmad
9	full tawaf	5.49	stunecity
10	full tawaf	3.06 umrah	Asep Hendra
11	full tawaf	4.27	Palmerah Televisi
12	full tawafkhana	2.2	Najamuddin Shahwani
13	full tawaf	5.26	All In One Pakistan
14	full tawaf	4.41	I M Zakria
15	full tawaf	3.44	Samee ur Rahman HSE Trainer
16	full tawaf	4.48/4.52	Akram Baryar Official
17	half tawaf	2.57	HSS pk
18	full tawaf	4.46	best islamic videos
19	3/4 tawaf	2.4	Ali Akhtar
20	full tawaf	3.48	best islamic videos
21	full tawaf	3.28 bagus	jag Nannn
22	3/4 tawaf	3.34	My Tech Zone
23	full tawaf	4.08	bagus akram baryar
24	full tawaf	-	ikha mabrur pratama
25	3/4 tawaf	4.24	Panduan Gampang Ibadah Umroh dan Haji Plus 2014
26	1/4 tawaf	1.15	Muhammad Kahif
27	1/4 tawaf	1.08	Abdul Waheed kakepoto
28	full tawaf	3.54	Aryo Pamungkas
29	3/4 tawaf	3	-
30	7 tawaf	1=3.01 dan 7=22.47	eljunaed
31	full tawaf	5.2	Haramain Travels
32	full tawaf	3.18	Saad Al Qureshi

Pada Riset ini berfokus pada simulasi kerumunan tawaf menggunakan metode flocking dalam pergerakan secara berkelompok. Dengan melakukan variasi di flockingnya untuk membentuk pergerakan 1 ras hingga dapat terbentuk sebuah tawaf yang berkelompok sesuai ras pattern partikel. Dengan menggunakan metode runge-kutta. Metode Runge-Kutta ini dipilih karena mempertimbangkan kompleksitas dari metode perhitungan. Jika dibandingkan dengan metode Euler aproksimasinya lebih tinggi, dan jika dibandingkan metode newton rapshon lebih rendah aporksimasinya akan tetapi akan menghasilkan kompleksitas perhitungan partikel yang tinggi, akibatnya memperlambat simulasi. Dalam riset kedepan dapat dikembangkan sebuah metode khusus dalam melaksanakan tawaf yang berbasis struktur dan sistematis. Untuk kedepannya dengan model yang sudah stabil dapat menggambarkan pergerakan tawaf dengan mencapai hajar aswad dengan cara berkelompok

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sebuah model tawaf mekanisme minimal. Dan menganalisis gaya yang diterapkan agar simulasi stabil antara kelompok tawaf untuk mencapai hajar aswad.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalah dalam penelitian proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses simulasi tawaf bebentuk.
2. Bagaimana proses group terbentuk dalam tawaf
3. Bagaimana penyederhanaan ruang dan pembatasan individu
4. Ruang dalam melakukan tawaf disederhanakan pembatasan individu agar menjaga kestabilan simulasi
5. Bagaimana tawaf dapat berkelompok dapat terbentuk dengan tujuan mencapai hajar aswad
6. Bagaimana gaya antar kelompok dapat stabil dengan kelompok lain dapat mencapai hajar aswad
7. Bagaimana variable yang sudah ditambahkan mempengaruhi simulasi.

1.4 Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan maka rumusan masalah dalam penelitian proposal tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Semua partikel dianggap sama dan mengikuti aturan yang sama.
2. Berbentuk 2 dimensi.
3. Dibatasi dengan gaya dan perilaku yang telah ditentukan.
4. Bentuk ruang mataf tempat partikel tawaf diserdeharnakan
5. Bagaimana proses simulasi tawaf berkelompok bebentuk.
6. Bagaimana variable yang sudah ditambahkan mempengaruhi simulasi.

1.5 Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini digunakan dua metode pengumpulan data yaitu:

1. Studi Literatur Sebelum melakukan eksperimen terlebih dahulu dilakukan studi literatur yang dapat bersumber dari berbagai buku, jurnal dan skripsi untuk mendapat informasi yang dapat dijadikan sebagai acuan selama penelitian.
2. Metode numerik Besaran-besaran pada simulasi akan diupdate menggunakan metode interasi Runge-Kutta
3. Simulasi Dalam simulasi ini digunakan agent-base model sebagai variable individu yang bergerak secara simulatan dengan variable yang telah ditentukan. Dalam model Masjidil Al-Haram.

1.6 Sistematika Penulisan

Pembahasan Pokok dari penelitian ini dibagi menjadi beberapa bab yang diuraikan secara singkat sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN Bab ini menguraikan mengenai latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode pengumpulan data, dan sistematika penulisan.

2. **BAB II TEORI DASAR** Bab ini berisi teori-teori penunjang penelitian diantaranya agent-base, Behaviour Reciprocal, Reciprocal Collision Avoidance, dll
3. **BAB III METODOLOGI PENELITIAN** Pada bab ini diuraikan tahap-tahap dalam penelitian. Tahapan tersebut meliputi: tahap pembacaan data, algoritma program, simulasi perjalanan agent dalam model yang telah dibentuk.
4. **BAB IV HASIL SEMENTARA** Pada bab ini akan dibahas tentang hasil sementara penelitian dan analisis yang dibahas dengan acuan dasar teori yang berkaitan dengan penelitian.
5. **Bab V Kesimpulan dan Saran** Pada bab ini memuat kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari Hasil.

BAB 2

TEORI DASAR

2.1 Model Interaksi

Dalam melaksanakan tawaf gerak individu dapat dikaitkan dengan perilaku interaksi individual, karena bentuk kecepatan pergerakan orang pertama dalam melaksanakan tawaf bergantung dengan orang kedua didepannya dan orang didepannya tergantung dengan orang ketiga didepannya lagi dan seterusnya. Kita dapat meninjaunya dari segi fisika dengan mengasumsikan setiap individu adalah partikel. Partikel bergerak berkelompok karena kecepatan tetap dan arah setiap partikel resultan dari semua partikel berkelompok tersebut.

Proses resultan dari partikel gerak individual menuju partikel yang berkelompok diakibatkan oleh perubahan variabel dalam sistem gaya yang mempengaruhi. Variabel yang digunakan tersebut terletak pada order parameter. Orde parameter ini yang diterapkan kedalam mekanika *flocking*.

Dalam flocking yang dijalankan, terdapat *input state* dan *output state* yang digunakan dalam proses properti model partikel. Properti partikel ini berbentuk posisi, kecepatan, massa dan jarak gaya yang akan ditinjau dalam simulasi. Properti ini dalam (Bajec *et al.*, 2007) disebut dengan *current state properties* q . Yang dimaksud *current state properties* adalah karakteristik yang dimiliki setiap partikel.

$$q = p, v, z, m, \psi \quad (2.1)$$

2.2 Aplikasi gaya

2.2.1 Flocking

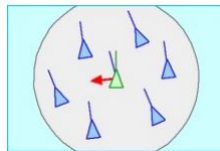
Mekanika Flocking berdasarkan reynolds mempunyai 3 gaya yang digunakan untuk membentuk kerumunan (Reynolds, 1987) (Nasir & Sunar, 2016). Dimana hal ini dipakai oleh (Chaté *et al.*, 2008) dalam modelnya *boids model* untuk simulasi. Simulasi kerumunan akan terbentuk jika partikel bergerak sama dengan partikel sekitarnya, membentuk 1 titik area pemadatan partikel, dan mempunyai gaya pemisah agar partikel bergerak tanpa adanya partikel yang melekat/ tumbukan tidak elastis. Interaksi antar kerumunan ini dalam (Chaté *et al.*, 2008) dinamakan SPP(Self-Propelled Particles).

$$\vec{F}_i = \sum_{i \neq j} \left(\sum_{n=1}^{\infty} R_n \frac{\vec{P}_{ij}}{|\vec{P}_{ij}|^n} + \sum_{n=1}^{\infty} I_n \frac{\vec{P}_{ij}}{|\vec{P}_{ij}|^n} \right). \quad (2.2)$$

Alignment

Gaya Allignment digunakan untuk membuat partikel tetap bergerak satu grup. Berkaitan dengan sistem dalam tawaf, digunakan karena di dalam masjidil haram beberapa orang sering berkerumun untuk membentuk 1 grup agar tidak tersesat. Alasan lainnya, untuk penggunaan alignment ini membuat partikel menyamakan persepsi kecepatan dengan konsep yang terdepan akan mengurangi kecepatannya juga yang belakang akan menambah kecepatannya untuk berjalan bersamaan membentuk grup. secara matematika dapat ditulis sebagai berikut.

$$F_i^a(p, q) = \alpha^a \frac{1}{N^c} \sum_{i \neq j} \frac{\vec{V}_{ji}}{|\vec{V}_{ji}|}, \alpha^a = 1N \quad (2.3)$$

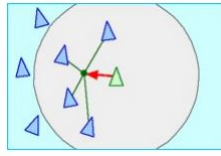


Gambar 2.1: Bentuk Gerak Pensejajaran

Cohesion

Gaya kohesi digunakan untuk membuat partikel menarik tetangganya untuk berdekatan. Dimana posisi pusat dijadikan titik arah pergerakan sehingga partikel bergerak ke titik tersebut: berikut secara matematik dapat ditulis:

$$F_i^k(p, q) = \alpha^k \frac{1}{N^c} \sum_{i \neq j}^{N^c} \frac{\vec{p}_{ji}}{|\vec{p}_{ji}|}, \alpha^k = 1N \quad (2.4)$$



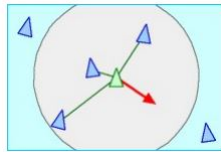
Gambar 2.2: Bentuk Gerak Pemusatan

Separation

Gaya separasi digunakan untuk partikel agar terjadi pemisahan dan meminimalisir pemisahan. Dalam konteks tawaf digunakan untuk menghindari seseorang menempal terhadap orang lain. dalam gaya separasi ini dilakukan variasi terhadap koefisiennya yaitu koefisien introversion atau tingkat jaga jarak dan tingkat racis untuk mengelompokkan jenis ras partikel berdasarkan warna.

$$F_i^s(p, q) = \alpha^s \sum_{i \neq j}^{N^c} \frac{\vec{p}_{ji}}{|\vec{p}_{ji}|^2}, \quad (2.5)$$

$$\alpha^a = radius + radius \text{ boid} \text{ tetangga} + koefisien \text{ introversion} + koefisien \text{ racism} \quad (2.6)$$



Gambar 2.3: Bentuk Gerak Pemisahan

Circular Motion

Circular Motion atau bisa disebut gaya gerak memutar mengelilingi pusat gaya, dapat diaplikasikan kepada partikel yang bergerak secara flocking untuk membuat

partikel seperti bergerak tawaf mengelilingi pusat gaya. Dimana pusat gaya berada di pusat kaaba berbentuk persegi. Gerak Flocking yang diterapkan perlu memenuhi syarat area tawaf. Dengan begitu gerak mengelilingi kaaba dapat berada di area dekat kaaba.

$$f(x) = \begin{cases} F_m^a(p, q) = \alpha^m \sum_{i \neq j}^{N^c} \frac{\vec{p}_{ji}}{|\vec{p}_{ji}|}, \alpha^m = 1N, & \text{if } x < 50. \\ F_m^a(p, q) = \alpha^m \sum_{i \neq j}^{N^c} \frac{\vec{p}_{ji}}{|\vec{p}_{ji}|}, \alpha^m = -1N, & \text{if } x > 50 \text{ and if } x > 300. \end{cases}$$

Pada persamaan pertama penerapan gaya menjauhi kaaba dengan syarat angka 50 jarak dari pusat kaaba sampai dinding. Sedangkan pada persamaan kedua penerapan gaya mendekati kaaba dengan asumsi partikel berada di luar area 50 sampai 300. Kedua gaya ini adalah gaya dominan yang diterapkan agar circular Motionnya bekerja.

Penerapan gaya terbagi dalam 3 area, yaitu area dibagian luar putar, area dimana tawaf diterapkan dan area dinding kaaba. Pada bagian luar diterapkan gaya tarik menuju pusat, dibagian dinding kaaba diterapkan gaya keluar untuk menjaga dinding kaaba. di area diterapkan gaya putar untuk partikel melakukan tawaf.

2.3 Model Partikel

Model partikel sederhana dengan bentuk bulat menggambarkan partikel agent yang sedang bergerak

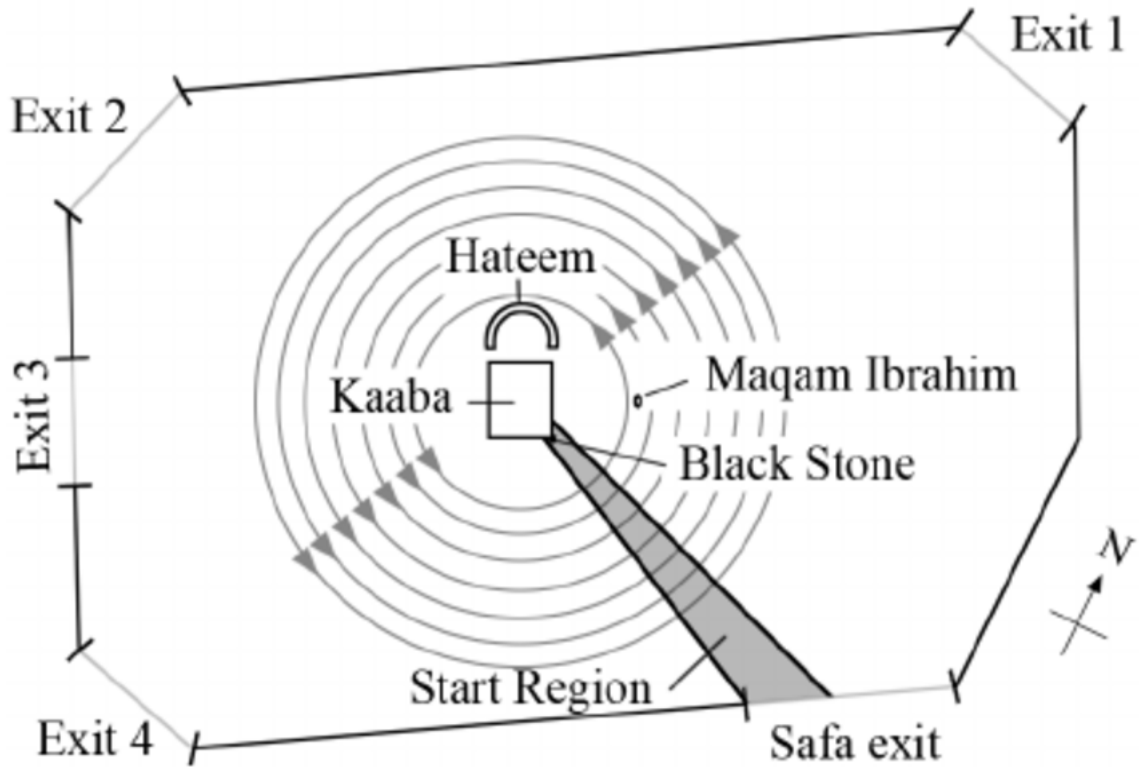


Gambar 2.4: Model partikel sebagai titik posisi

2.4 Model Ruang Partikel

Model ruang Partikel diformulasikan seperti gambar masjidil haram yang tertera pada gambar. Partikel bergerak berlawanan arah dengan ruang dibatasi boundary state yaitu dinding masjidil haram dan bagian dalam ada boundary state lagi berupa

dinding kaaba. Akan tetapi dalam simulasi ini model ruang partikel dibatasi hanya pada kaaba dan area tawaf kaaba.



Gambar 2.5: Model Area Masjidil Haram

2.5 Persamaan Distribusi Normal

Distribusi normal dalam program ini digunakan untuk menentukan nilai real dari koefisien yang ada dalam nilai introversi, rasisme dan ketangkasan(quirkness). Hal ini mempengaruhi bentuk dari inisial tawaf yang akan terjadi, dalam kasus ini secara acak.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (2.7)$$

Normal distribusi penting digunakan dalam statistik karena sering digunakan untuk representasi nilai real dari variabel random yang distribusinya tidak diketahui(Casella & Berger, 2001). Pada simulasi ini distribusi normal digunakan sebagai perbandingan untuk koefisien partikel agar dapat divariasikan.

2.6 Metode Runge Kutta

Metode Runge-Kutta adalah metode numerik yang banyak digunakan untuk menyelesaikan persamaan differensial. Metode ini adalah versi yang lebih kompleks dari metode euler yang banyak digunakan. Karena kompleksitasnya maka metode ini menawarkan grafik eksponensial yang lebih mendekati fungsi eksak.

Untuk fungsi y

$$\frac{dy}{dt} = f(y, t), y(t_0) = y_0 \quad (2.8)$$

$$y_{n+1} = y_n + \frac{1}{6}h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4), \quad (2.9)$$

$$Untuk n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots \quad (2.10)$$

$$k_1 = f(y_n, t_n), \quad (2.11)$$

$$k_2 = f(y_n + h\frac{k_1}{2}, t_n + \frac{h}{2}), \quad (2.12)$$

$$k_3 = f(y_n + h\frac{k_2}{2}, t_n + \frac{h}{2}), \quad (2.13)$$

$$k_4 = f(y_n + hk_1, t_n + h). \quad (2.14)$$

Untuk fungsi x

$$\frac{dx}{dt} = f(x, t), x(t_0) = x_0 \quad (2.15)$$

$$x_{n+1} = x_n + \frac{1}{6}h(k_1 + 2k_2 + 2k_3 + k_4), \quad (2.16)$$

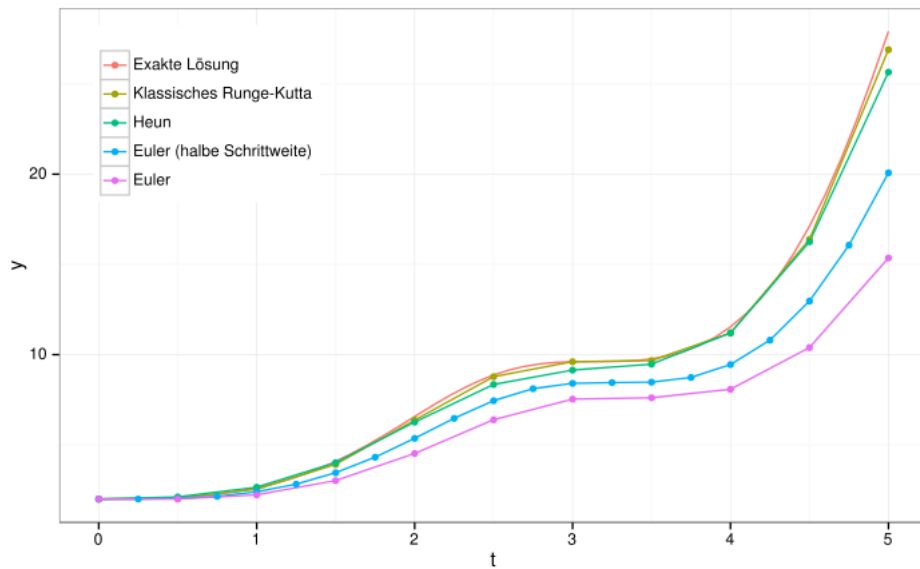
$$Untuk n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots \quad (2.17)$$

$$k_1 = f(x_n, t_n), \quad (2.18)$$

$$k_2 = f(x_n + h\frac{k_1}{2}, t_n + \frac{h}{2}), \quad (2.19)$$

$$k_3 = f(x_n + h\frac{k_2}{2}, t_n + \frac{h}{2}), \quad (2.20)$$

$$k_4 = f(x_n + hk_1, t_n + h). \quad (2.21)$$



Gambar 2.6: Perbandingan euler dan runge-kutta

Dalam simulasi ini penggunaan runge-kutta digunakan karena alokasi memori komputer yang digunakan tidak terlalu besar. Metode ini juga dipertimbangkan dengan metode euler dimana tingkat error yang lebih rendah. Mempertimbangkan jumlah partikel yang digunakan maka diambil metode ini. Metode runge-kutta digunakan karena kinerja pada komputer ringan.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alat yang Digunakan

3.1.1 Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan adalah sebuah laptop dengan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.1: Spesifikasi Perangkat Keras.

No	Komponen	Spesifikasi
1	Processor	Intel(R) Core(TM) i5-4300M CPU @ 2.60GHz 2.59
2	Memory	12GB
3	Display	Intel(R) HD Graphics 4600
4	Renderer	-
5	OS	Windows 10

3.1.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan :

Tabel 3.2: Spesifikasi Perangkat Lunak.

No	Komponen	Software
1	Text Editor	Sublime
2	Browser	Google Chrome
3	Library	victor js library

Perangkat keras pada Tabel 3.1 adalah milik pribadi penulis. Meninjau simulasi akan menggambar banyak partikel yang dihitung terus menerus maka graphic card dan RAM yang digunakan sebaiknya tidak jauh berbeda dengan yang dimiliki penulis. Adapun perangkat lunak pada Tabel 3.2 yang digunakan dapat ditemukan secara gratis di internet

3.2 Penerapan Gaya

3.2.1 Penerapan 3 gaya

Pola flocking dimana partikel diproyeksikan bergerak membentuk formasi berkelompok sesuai dengan groupnya. Untuk hal tersebut diterapkan partikel disimulasikan dalam kasus dimana partikel dimunculkan pada tempat yang acak. setelahnya partikel akan bergerak dipengaruhi 3 gaya yaitu alignment, cohesion, dan separation. Sampai pola gerak berkelompok terbentuk

3.2.2 Penerapan 3 gaya ditambah gaya circular

$$\vec{F}_i = \vec{F}_i^a + \vec{F}_i^k + \vec{F}_i^s + \vec{F}_i^c \quad (3.1)$$

Pada kasus dengan tambahan gaya circular, partikel akan diterapkan gaya pusat circular sebagai prioritas agar partikel bergerak didalam area tawaf. dan ketika berada di area tawaf partikel bergerak secara circular berlawanan arah jarum jam. dalam area tawaf ada gaya yang sama untuk mencegah agar partikel tetap berada di area tawaf. untuk prioritas gaya maka ada massa factor (m) sebagai besar factor prioritasnya.

$$\vec{F}_i = m^a \vec{F}_i^a + m^k \vec{F}_i^k + m^s \vec{F}_i^s + m^c \vec{F}_i^c \quad (3.2)$$

interaksi diluar zona tawaf

Maksud dari interaksi diluar tawaf. adalah partikel hanya bergerak menuju ke zona tawaf. Dengan gaya partikel lain yang minim. Hal ini menggiring partikel menuju pergerakan di area tawaf.

interaksi didalam zona tawaf

Pada kasus ini partikel berinteraksi dengan group partikel lain, juga berinteraksi dengan partikel yang berbeda group juga. Partikel dengan group sama diwakilkan dengan warna yang sama mempunyai gaya separasi yang lebih kecil dibandingkan dengan partikel yang berbeda groupnya.

Adapun gaya circular dalam simulasi digunakan untuk partikel melakukan putaran tawaf. Flocking juga dapat distabilkan jika kelompok partikel berkumpul dengan sejenisnya, Membentuk group sambil melakukan tawaf. Hal ini mencerminkan partikel menjaga eksistensi groupnya, sambil melakukan tawaf.

3.3 Simulasi Komputer

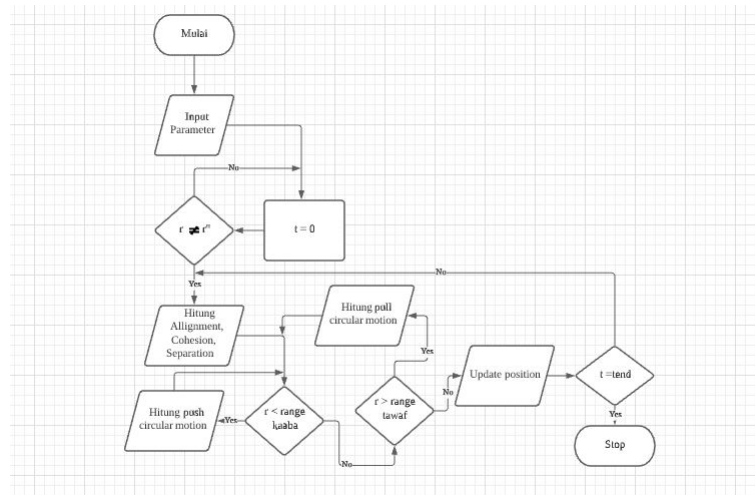
Simulasi dan program dibangun dalam bahasa JavaScript sebagai dasar codenya. secara visual menampilkan animasi dan grafik yang menghasilkan outputnya. Bentuk matematis program dimuat dalam library Victorjs. Dimana fungsi kalkulasi vektor terdapat dalamnya, sehingga dapat dipanggil dengan mudah.

Tabel 3.3: Sekilas tentang penggunaan library VictorJS .

Penulisan koordinat gaya menggunakan victorjs	Penulisan koordinat gaya tanpa victor js menggunakan array javascript
<code>var Vector = new Vector(diff.x,diff.y);</code>	<code>var Vector = [diff.y,diff.y]</code>
<code>sum.add(Vector)</code>	<code>Vector = [diff.y,diff.y] + [sum.y,sum.y]</code>

Tabel diatas menggambarkan penulisan Koordinat menggunakan library Victor.js(Kueng & Crabtree, 2014). Gaya berbentuk array dalam program biasa dapat dikonversi kedalam library menggunakan victor.js, di dalam victor.js juga terdapat perintah untuk menjumlahkan gaya dengan singkat seperti terdapat pada no 2.

Terdapat banyak lagi selain penjumlahan vector, pengurangan, akar kuadrat dan lain-lain.



Gambar 3.1: Algoritma Pemograman.

3.4 Parameter Gaya

3.4.1 Parameter dalam pergerakan gaya

Dalam penerapannya, hasil simulasi kaaba diletakan di pusat dengan titik (seki-an) dimana parameter penting lainnya adalah koordinat partikel yang dimunculkan secara acak dalam ruang interaksi zona tawaf maupun zona diluar tawaf. Partikel juga memiliki sebuah id untuk mengkatagorikan partikel dalam sebuah kelompok. Parameter selajutnya adalah gaya antar partikel yang diatur agar partikel membuat sebuah group, dalam hal ini, gaya separasi yang (koefisien boid < koefisien partikel lain) akan membuat partikel memilih jarak yang yang berbeda sesuai dengan gro-up partikelnya. parameter lain yang berpengaruh adalah gaya tarik kedalam zona tawaf agar partikel membuat gerakan tawaf. Jumlah partikel N ditentukan untuk menguji kestabilan simulasi dalam hal ini dibatasi dengan jumlah orde 3 digit untuk menghindari adanya laging dalam proses simulasinya.

Dalam interface, gaya separasi dibentuk dari salah satu variabel yaitu separasi distance(z_s) didalamnya dalam terdapat koefisien introversi dan koefisien rasis di-mana koefisien ini membentuk radius maksimum untuk melakukan gaya separasi dimana $\text{desiredSeparation} = \text{radius boid} + \text{radius boid lain} + (25 * \text{koefisien introversion}) + (50 * \text{racismMultiplier koefisien})$. Pada koefisien racism diterapkan

logika bahwa jika partikel memiliki warna sama maka koefisien racism akan menjadi nol, dan jika tidak maka akan mempunyai nilai. Nilai ini yang mengaktifkan gaya separasi.

Parameter lain yang mempengaruhi gaya adalah align jarak z_a , dimana ada aturan jarak yang dibutuhkan untuk gaya mempengaruhi boid agar melakukan pensejajaran dengan boid lain parameter jarak ini adalah 25.

Parameter lain yang mempengaruhi gaya adalah kohesi jarak z_k , dimana ada aturan jarak yang dibutuhkan untuk gaya mempengaruhi boid agar melakukan kompresi dengan boid lain parameter jarak ini adalah 25.

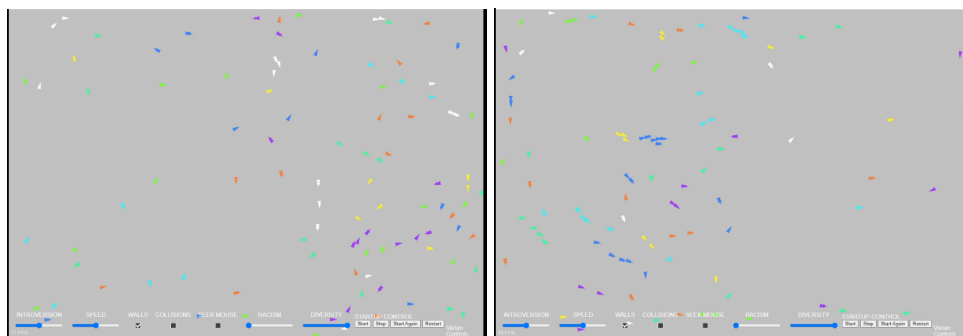
3.4.2 Parameter variasi partikel yang ditambahkan dalam simulasi

Pada simulasi ditambahkan partikel dengan speed yang berbeda. Terdapat 3 variasi kecepatan yang digunakan diantaranya $quickness = 1$, $agroQuickness = 1.25$ dan $blackQuickness = 0.5$. Pada partikel yang merah ditentukan parameter kecepatan yang 1.25 koefisien dari kecepatan normal. Pada partikel hitam ditentukan koefisien nya yaitu 0.45 dari kecepatan normal.

BAB 4

Hasil dan Pembahasan

4.1 Flocking tanpa Circular Motion

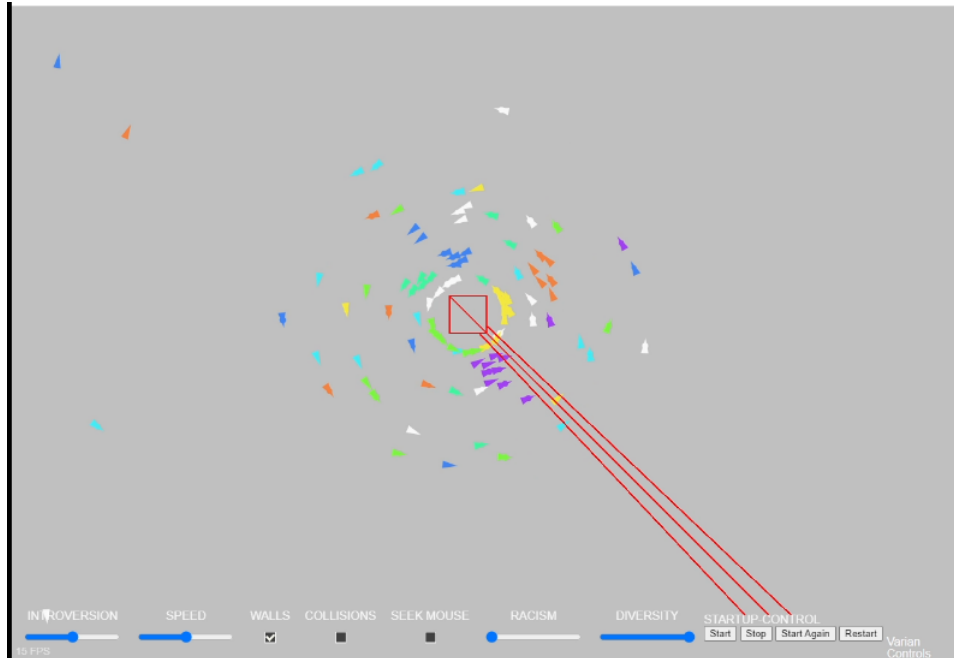


(a) Model Flocking dengan range 25 N=100 (b) Model Flocking dengan range 50 N=100

Gambar 4.1: Hasil Model allignment, separation dan kohesi dengan range 25 dan range 50

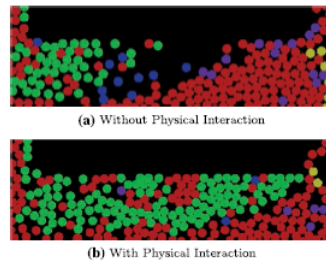
Hasil pada model flocking tanpa gerakan tawaf(*circular motion*) dengan range *flocking* yang berbeda pada kohesi dan pensejajarannya, dapat dibandingkan kedua pengoptimalan range dalam menentukan pergerakan partikel . Hal ini dapat dibandingkan dengan (Huth & Wissel, 1992) juga yang membuat *range*, agar perbedaan pergerakan partikel dapat terlihat. Pada gambar 4.1 partikel yang mempunyai *range* 50 cenderung lebih mudah berkelompok dari pada range 25. hal ini wajar karena semakin besar range dalam *flocking* yang digunakan maka semakin mudah dalam partikel berkelompok. Pada partikel dengan range 50 berkelompok adalah 4 partikel sedangkan pada partikel dengan range 25 rata2 berkelompok adalah 2 partikel.

4.2 Flocking dengan Gaya Dominan(Circular Motion)



Gambar 4.2: Hasil Model dengan ditambahkan gaya dominan, N=100

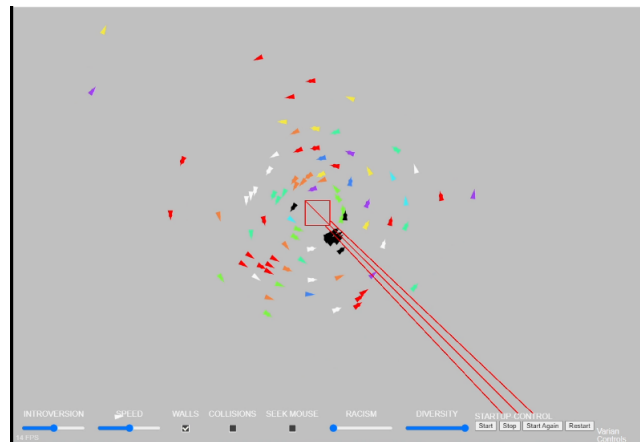
Pada bagian ini ditambahkan gaya dominan pada persamaan 2.5 dimana gaya dominan ini berfungsi mengikat partikel untuk berputar pada porosnya. Terdapat perbedaan antara pergerakan tanpa circular motion adalah flocking hanya bekerja pada area tawaf. Dan partikel diluar area tersebut akan perlahan mendekati area tawaf. Hal ini dilakukan untuk mendekati (Nasir & Sunar, 2016) dan (Kim *et al.*, 2014). Dimana apa yang dilakukan nasir adalah mengelompokkan agent(partikel) dalam sebuah group dikelilingi partikel yang homogen. sedangkan pada (Kim *et al.*, 2014) mengamplifikasi flocking ditambahkan dengan reciprocal coalition avoidance. untuk memperlihatkan interaksi partikel yang lebih tidak bersinggungan. Jika dapat dianalisis hasil pada 4.2 didapat konsep (Nasir & Sunar, 2016) yang menggolongkan partikel dan konsep dari (Kim *et al.*, 2014) untuk flocking berbasis kecepatan.



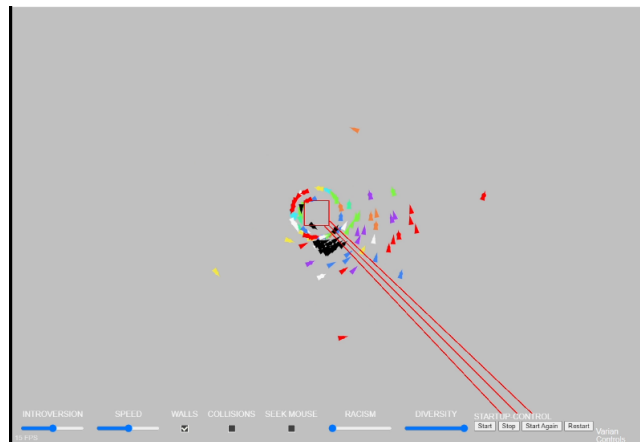
Gambar 4.3: hasil gerak partikel pada (Kim *et al.*, 2014)

Pada gambar 4.3 diperlihatkan hasil kim bahwa partikel (agen) terpadatkan di dekat pusat area gaya(kaaba). Hal ini dikarenakan terdorong oleh kerumunan agen. Pada gambar agen hijau menunjukkan agen yang menunggu menyentuh titik pusat gaya(hajar aswad). Diawal simulasi agent berada dalam keadaan tidak dapat bergerak dan menghasilkan kerumunan padat. Tanpa interaksi fisis meskipun ada ruang gerak, partikel agent tidak bisa memproses ke posisi selanjutnya. Dengan tambahan interaksi fisis dengan agent selanjutnya agent dapat terdorong oleh kerumunan.

4.3 Flocking dengan Gaya Dominan(Circular Motion) partikel dengan Karakteristik



(a) Model Flocking dengan range 25 N=100 gaya dominan tawaf



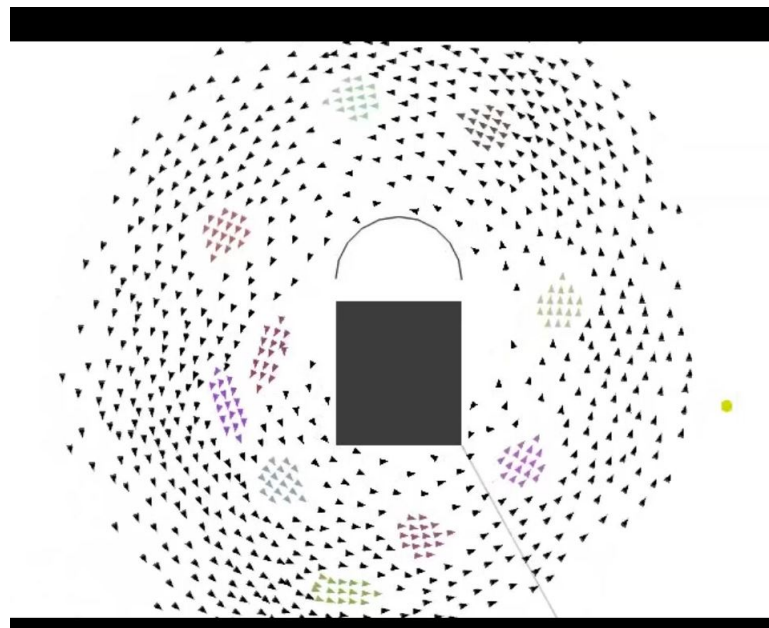
(b) Model Flocking dengan range 50 N=100 gaya dominan tawaf

Gambar 4.4: Hasil Model allignment,separation dan kohesi dengan range 25 dan range 50 ditambah dengan dominan force tawaf

Dan terakhir pada bagian ini kami menambahkan 2 jenis partikel dengan kecepatan yang berbeda di kedua sistem range yang berbeda. Disini dapat terlihat pada gambar 4.4 (kanan) ternyata range yang lebih besar mendistrupsi sistem flocking pada gerakan tawaf. Hal ini dapat terlihat dari partikel yang tertarik menuju pusat. Hasil yang berbeda didapat dari sistem yang menggunakan range lebih kecil 4.4(kiri).

Partikel cenderung melakukan menyebar dalam area tawaf dan melakukan flocking dengan lebih optimal.

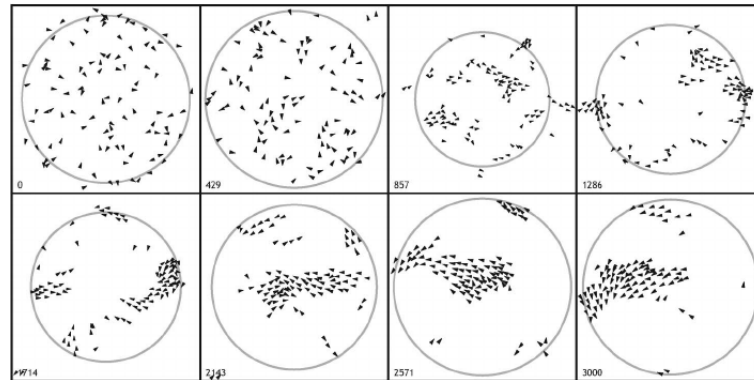
Penambahan variabel dari kecepatan partikel ini (merah dengan 1.25 kecepatan partikel biasa) dan (hitam dengan 0.75 partikel biasa). dapat memperlihatkan pada bagian optimal gambar 4.4(kiri). Bahwa partikel hitam cenderung bergerak di pusat sedangkan partikel merah berada di luar. Hal ini disebabkan karena gaya dominan melebihi gerak flocking.



Gambar 4.5: Hasil model oleh Nasir

Bentuk model tawaf dari nasir(Nasir & Sunar, 2016) ditunjukkan pada gambar diatas. Perilaku partikel berkelompok pada nasir memiliki kecepatan yang sama atau tidak lebih cepat dari partikel sekitarnya. Hal ini yang membuat formasi lebih solid, jika dibandingkan.

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Nasir & Sunar, 2016) ditunjukkan oleh 4.5. Lingkungan yang dimiliki partikel diletakan kabah berbentuk persegi bersama dengan area bidang perisai untuk hijir ismail. Partikel bergerak berkelompok bersama dengan partikel sejenis dan membuat gerakan tawaf. Hal ini jika dibandingkan dengan dengan hasil pada 4.4(kiri) terdapat banyak perbedaan, diantaranya pergerakan partikel yang cenderung lebih mendekati pusat gaya(kaaba) dan kelompok lebih dapat terpecah, kemudian membuat kelompok yang lebih kecil lagi.



Gambar 4.6: Hasil Flocking Bajec

Hasil penelitian yang telah dilakukan oleh (Bajec *et al.*, 2007) ditunjukkan oleh 4.6. Area bergerak yang dimiliki partikel berbentuk lingkaran, Ketika partikel melewati batas tersebut maka akan ada gaya yang memaksanya bergerak kembali ke dalam. Jika dibandingkan antara hasil pada Gambar 4.1 dengan Gambar 4.6, maka tidak jauh berbeda. Hal ini terlihat dari pola gerak partikel yang pada awalnya tidak berkelompok kemudian menjadi berkelompok dengan beberapa kelompok kecil dan satu kelompok terbesar.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan study literatur dapat disimpulkan sementara bahwa:

1. Pergerakan tawaf seperti nasir dengan partikel dapat flocking(mencapai kecepatan yang tetap), dapat membentuk group dan mengelilingi Kaaba, sedangkan skema dalam bergerak mendekati hasil dari kim
2. Pergerakan partikel berkelompok yang dapat mendekati Kaaba(terutama pada partikel hitam dalam optimasi).
3. Menggunakan runge-kutta,dikunakan untuk pemedatan data dalam bentuk grafik. Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan.

5.2 Saran

Penelitian ini hanya berfokus pada pembuatan mekanisme flocking pada gerak tawaf. Faktor-faktor fisis seperti gesekan partikel dengan medium yang dilalui dan bentuk skema sebelum tawaf terjadi tidak diperhitungkan. Begitu juga dengan object yang ada dalam garis tawaf sebenarnya kecuali kaaba sebagai pusat gaya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajec, I. Lebar, Zimic, N., & Mraz, M. 2007. The computational beauty of flocking: boids revisited. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*, **13**(4), 331–347.
- Bicho, Alessandro, Rodrigues, Rafael, Musse, Soraia, Jung, Claudio, Paravisi, Marcelo, & Magalhães, LÃ©o. 2012. Simulating crowds based on a space colonization algorithm. *Computers Graphics*, **36**(04), 70â€“79.
- Casella, George, & Berger, Roger. 2001. *Statistical Inference*. Duxbury Resource Center.
- Chat  , Hugues, Ginelli, Francesco, Grégoire, Guillaume, & Raynaud, Franck. 2008. Collective motion of self-propelled particles interacting without cohesion. *Phys. Rev. E*, **77**(Apr), 046113.
- Curtis, Sean, Guy, Stephen, Zafar, Basim, & Manocha, Dinesh. 2011 (11). Virtual Tawaf: A case study in simulating the behavior of dense, heterogeneous crowds.
- for Statistics Kingdom of Saudi Arabia, General Authority. 2018. Hajj Statistics. *Hajj statistics 1439*, **1**(12).
- Haghighati, Razieh, & Hassan, Adnan. 2013. MODELING THE FLOW OF CROWD DURING TAWAF AT MASJID AL-HARAM. *Jurnal Mekanikal*, 06.
- Huth, Andreas, & Wissel, Christian. 1992. The simulation of the movement of fish schools. *Journal of Theoretical Biology*, **156**(3), 365–385.
- Khan, Imran, & McLeod, Robert Donald. 2012. MANAGING HAJJ CROWD COMPLEXITY : SUPERIOR THROUGHPUT , SATISFACTION , HEALTH , & SAFETY.

- Kim, Sujeong, Guy, StephenJ., Hillesland, Karl, Zafar, Basim, Gutub, AdnanAbdul-Aziz, & Manocha, Dinesh. 2014. Velocity-based modeling of physical interactions in dense crowds. *The Visual Computer*, 1–15.
- Kueng, Max, & Crabtree, George. 2014. *Victor.js - 2D Vectors for JavaScript*.
- Lim, Eng Aik, & Zainuddin, Zarita. 2012. Response Surface Analysis of Crowd Dynamics during Tawaf. *Chinese Physics Letters*, **29**(7), 078901.
- Mulyana, Willy, & Gunawan, Teddy. 2010 (06). Hajj crowd simulation based on intelligent agent.
- Narain, Rahul, Golas, Abhinav, Curtis, Sean, & Lin, Ming. 2009. Aggregate Dynamics for Dense Crowd Simulation. *ACM Trans. Graph.*, **28**(12).
- Nasir, Fawwaz Mohd, & Sunar, Mohd Shahrizal. 2016. Simulating large group behaviour in tawaf crowd. *Pages 42–46 of: 2016 Asia Pacific Conference on Multimedia and Broadcasting (APMediaCast)*.
- Reynolds, Craig W. 1987. Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model. *In: (ACM SIGGRAPH Computer Graphics*. ACM.
- Saiwaki, N., Komatsu, T., Yoshida, T., & Nishida, S. 1997. Automatic generation of moving crowd using chaos model. *Pages 3715–3721 vol.4 of: 1997 IE-EE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics. Computational Cybernetics and Simulation*, vol. 4.
- Shuaibu, Aliyu. 2015. Simulation of Crowd Movement in Spiral Pattern during Tawaf, in Makkah, Saudi Arabia. *Modern Applied Science*, **9**(09), 192.
- Zainuddin, Zarita, Thinakaran, Kumatha, & Abu-Sulyman, Ibtesam. 2009. Simulating the Circumambulation of the Ka'aba using SimWalk. *European Journal of Scientific Research ISSN*, **38**(12), 1450–216.

INDEX

A

Alignment **bab 2**;

B

Boids **bab 1** behavioral system **bab**; bajec **bab 4**;

C

Craig Reynolds **bab 1**; Current State Properties **bab 2**; Cohesion **bab 2**; CSS **bab 3**; Circular Motion **bab 2, bab 4**

D

Distribusi Normal **bab 2**;

F

Flocking **bab 1**; fluid dynamic model **bab 1**;

G

Gaya Dominan **bab 2**;

H

HTML **bab 3**;

J

JavaScript **bab 3**;

O

Order Parameter **bab 2**;

P

victorjs **bab 2**;

R

Runge-Kutta **bab 2**;

S

SPP **bab 2**; Separation **bab 2**; Step Size **bab 2**;

T

Tawaf **bab 1**;

V

Vicsek **bab** 1;

W

Weighting Factor **bab** 2;

Lampiran A

sumber kode

A.1 Kode Program gambarBoids.js

```
function draw(){
    var c = arguments[0];
    var ctx = c.getContext("2d");
    let x=arguments[1];
    let y=arguments[2];
    let vx=arguments[3];
    let vy=arguments[4];
    let radius=arguments[5];
    let sudut1=arguments[6];
    let sudut2=arguments[7];
    let colored =arguments[8];
    let r=5; //3
    let theta=1*Math.atan2(vy,vx) + Math.PI / 2;
    ctx.save();
    ctx.beginPath();
    ctx.translate(x,y);
    ctx.rotate(theta);
    // ctx.fillStyle="rgba(255,000,000,1)"; // this.color
    ctx.fillStyle= colored;
    // ctx.arc(0,0,radius,-sudut1,-sudut2,true);
    // ctx.arc(0,0,radius,1.2*Math.PI,1.8*Math.PI);
    ctx.moveTo(0,-r*2);
```



```

        ctx.lineTo(r,r*2);
        ctx.lineTo(-r,r*2);
        ctx.lineTo(0,-r*2);
        ctx.fill();
        ctx.closePath();
        ctx.restore();
        // draw(caOut,X,Y,f[i].vx,f[i].vy,radiusA,sudut1,sudut2);
    }
    function clear(){
        var ca = arguments[0];
        var ctx = ca.getContext("2d");
        ctx.beginPath();
        ctx.clearRect(0,0,caOut.width,caOut.height);
        ctx.closePath();
    }

```

A.2 Kode Program sides2.js

```

class Sides2 {
    // create constructor
    constructor() {
        if(arguments.length == 0){
            this.p = [
                new Vect3(),
                new Vect3()
            ];
        } else if(arguments.length == 2) {
            this.p = [
                arguments[0],
                arguments[1]
            ];
        } else if(arguments.length == 1){
            if(arguments[0] instanceof Sides2)
                this.p = [
                    arguments[0].p[0],

```

```

                                arguments[0].p[1]
                                ];
                                }
                                }
// Get string value
strval() {
    var s = "(";
    s += this.p[0].strval() + ", ";
    s += this.p[1].strval() + ", ";
    // s += this.p[2].strval() + ", ";
    // s += this.p[3].strval() + ", ";
    s += ")";
    return s;
}

// Get center coordinate
center() {
    var N = this.p.length;
    var p0 = new Vect3();
    for(var i in this.p) {
        p0 = Vect3.add(p0, this.p[i]);
    }
    p0 = Vect3.div(p0, N);
    return p0;
}
}

```

A.3 vect3.js

```

/*
    vect3.js
    Vector in 3-d Cartesian coordinate system

    Sparisoma Viridi | dudung@gmail.com

```

```

20171226
Create this object (again).
20171227
Add some comments for clearer documentation.
*/

// Define class of Vect3
class Vect3 {
    // Create three different types of constructor
    constructor() {
        if(arguments.length == 0) {
            this.x = 0.0;
            this.y = 0.0;
            this.z = 0.0;
        } else if(arguments.length == 3) {
            this.x = arguments[0];
            this.y = arguments[1];
            this.z = arguments[2];
        } else if(arguments.length == 1) {
            if(arguments[0] instanceof Vect3)
                this.x = arguments[0].x;
            this.y = arguments[0].y;
            this.z = arguments[0].z;
        }
    }

    // Get string value
    strval() {
        var s = "(";
        s += this.x + ", ";
        s += this.y + ", ";
        s += this.z;
        s += ")";
        return s;
    }
}

```

```

// Add some Vect3
static add() {
    var N = arguments.length;
    var x = 0.0;
    var y = 0.0;
    var z = 0.0;
    for(var i = 0; i < N; i++) {
        x += arguments[i].x;
        y += arguments[i].y;
        z += arguments[i].z;
    }
    var p = new Vect3(x, y, z);
    return p;
}

// Subtract two Vect3
static sub() {
    var x = arguments[0].x - arguments[1].x;
    var y = arguments[0].y - arguments[1].y;
    var z = arguments[0].z - arguments[1].z;
    var p = new Vect3(x, y, z);
    return p;
}

// Multiply Vect3 with scalar or vice versa
static mul() {
    var a = arguments[0];
    var b = arguments[1];
    var x, y, z;
    if(a instanceof Vect3) {
        x = a.x * b;
        y = a.y * b;
        z = a.z * b;
    } else if(b instanceof Vect3) {
        x = a * b.x;
        y = a * b.y;

```

```

        z = a * b.z;
    }
    var p = new Vect3(x, y, z);
    return p;
}

// Divide Vect3 with scalar
static div() {
    var a = arguments[0];
    var b = arguments[1];
    var x = a.x / b;
    var y = a.y / b;
    var z = a.z / b;
    var p = new Vect3(x, y, z);
    return p;
}

// Dot two Vect3
static dot() {
    var a = arguments[0];
    var b = arguments[1];
    var xx = a.x * b.x;
    var yy = a.y * b.y;
    var zz = a.z * b.z;
    var d = xx + yy + zz;
    return d;
}

// Cross two Vect3
static cross() {
    var a = arguments[0];
    var b = arguments[1];
    var x = a.y * b.z - a.z * b.y;
    var y = a.z * b.x - a.x * b.z;
    var z = a.x * b.y - a.y * b.x;
    var p = new Vect3(x, y, z)

```

```

        return p;
    }

    // Get length of a Vect3
    len() {
        var l = Math.sqrt(Vect3.dot(this, this));
        return l;
    }

    // Get unit vector of a Vect3
    unit() {
        var l = this.len();
        var p = Vect3.div(this, l);
        return p;
    }

    // create for 2d cross
    static cross(){
        var a = arguments[1];
        var b = arguments[2];
        var x = (a.x*b.y) - (a.y*b.x);
        var p = new Vect3()
    }
}

```

Lampiran B

Riwayat Hidup

make as simple as possible