



TESIS - TE142599

**VARIASI PERILAKU NPC DI *COMBAT
DEFENSE* MENGGUNAKAN METODE
HIERARCHICAL FINITE STATE MACHINE
(HFSM)**

RAHMAT FAUZI

2213205027

DOSEN PEMBIMBING

Mochamad Hariadi, S.T, M. Sc, Ph. D

Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T, M.T

PROGRAM MAGISTER

BIDANG KEAHLIAN JARINGAN CERDAS MULTIMEDIA

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

INSITITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015



THESIS - TE142599

NPC BEHAVIOR VARIATION AT COMBAT DEFENSE USING HIERARCHICAL FINITE STATE MACHINE (HFSM)

RAHMAT FAUZI

2213205027

SUPERVISOR

Muchamad Hariadi, S.T, M. Sc, Ph. D

Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, S.T, M.T

MAGISTER PROGRAM

EXPERTISE FIELD OF MULTIMEDIA INTELLIGENT NETWORK

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING

FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY

INSTITUTE TECHNOLOGY OF SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2015

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (M.T.)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
Rahmat Fauzi
NRP. 2213205027

Tanggal Ujian : 17 Juni 2015
Periode Wisuda : September 2015

Disetujui oleh :


1. Mochamad Hariadi, S.T., M. Sc., Ph. D.
NIP. 196912091997031002 (Pembimbing 1)


2. Dr. Supeno Mardi Susiki N, S.T., M.T.
NIP. 197003131995121001 (Pembimbing II)


3. Dr. Surya Sumpeno, S.T., M.Sc.
NIP. 196906131997021003 (Penguji)


4. Dr. I Ketut Eddy Purnama, S.T., M.T.
NIP. 196907301995121001 (Penguji)


Direktorat Program Pasca Sarjana

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, M.T.
NIP. 196404051990021001

Variasi Perilaku NPC di *Combat Defense* Menggunakan *Hierarchical Finite State Machine* (HFSM)

Nama Mahasiswa : Rahmat Fauzi
NRP : 2213205027
Dosen Pembimbing : Mochamad Hariadi, ST., M.Sc., Ph.D
Dr. Supeno Mardi S N, S.T., M.T

ABSTRAK

Game RTS merupakan game yang paling diburu untuk dimainkan. Pada Game RTS, Pada umumnya NPC Bangunan Pertahanan (*Tower*) memiliki perilaku menyerang terdekat (*Attack nearest*) tanpa melihat parameter musuh. Hal ini menyebabkan NPC Tower lebih mudah ditebak oleh lawan dan mudah dikalahkan jika diserang oleh musuh secara berkelompok. Penelitian ini membuat simulasi NPC Tower dengan menggunakan metode *Hierarchical Finite State Machine*. Dalam penelitian ini, NPC Tower mendeteksi musuh dengan melihat empat parameter yakni Kesehatan NPC Tower, Kesehatan Musuh, Jenis Musuh, dan Jarak Tower terhadap musuh. NPC Tower menyerang musuh yang paling berbahaya sesuai parameter *Degree of Danger*. Kemudian digunakan logika pengambilan keputusan Sistem *rule based*. Adapun *Output* perilaku NPC Tower adalah perilaku Menyerang Agresif, menyerang biasa, dan menyerang dengan skill khusus.

Dari hasil pengujian terhadap 3 NPC Tower, NPC Tower Kamandaka dengan metode HFSM unggul 8,92 % dari Tower Kamandaka dengan metode FSM. Untuk NPC Tower Gayatri didapatkan hasil yang berimbang baik menggunakan HFSM maupun FSM. Sedangkan NPC Adikara dengan metode HFSM unggul 4,62 % dari Tower Adikara dengan metode FSM.

Kata Kunci: Agen, NPC, *Combat Defense*, *artificial intelligent*, HFSM.

Variety NPC Behavior in *Combat Defense* Using *Hierarchical Finite State Machine* (HFSM)

Student Name : Rahmat Fauzi
NRP : 2213205027
Supervisors : Mochamad Hariadi, ST., M.Sc., Ph.D
Dr. Supeno Mardi S N, S.T., M.T

ABSTRACT

RTS game is one of the famous game in the world. Defensive Building in RTS game usually only have one behavior which is attacking the nearest enemy. It make the NPC tower very vulnerable and easy to destroy when attacked by a group of enemy. Therefore in this research the behavior of NPC tower created using *Hierarchical Finite State Machine* to make NPC Tower more powerful. In this research NPC tower decide the target enemy by looking four parameters, which is Tower Health, Enemy Health, the type of the enemy, and the distance between tower and enemy. NPC Tower will attack the most dangerous enemy in group. The most dangerous enemy detected using degree of danger parameter, the highest one is the most dangerous. After tower get the target, the behavior of tower will decided using Rule Based System. The Output behavior are aggressive attack, normal attack, and attack with special skill.

The experiment with 3 NPC tower called kamandaka show that HFSM is better 8.92 % from FSM, when HFSM and FSM used in NPC Tower Gayatri, both methods show the same result. The last experiment using NPC tower Adikara show that HFSM is better 4.62 % than FSM.

Kata Kunci: Agen, NPC, *Combat Defense*, *artificial intelligent*, HFSM.

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL.....	xvi
1. BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
2. BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Game	5
2.1.1 Game <i>Role Playing Games</i> (RPG Game)	5
2.1.2 Game Aksi (Action Game)	6
2.1.3 Game Berpetualang (Adventure Game).....	6
2.1.4 Game Strategi (Strategy Game)	7
2.1.5 Game Olahraga (Sport)	8
2.1.6 Game Bertarung (Fighting).....	8
2.1.7 Game Papan (Board Game)	9
2.1.8 Game Puzzle	9
2.1.9 Game Simulasi	10
2.1.10 Game Serious	10
2.2 Perilaku	11
2.3 <i>Non Playable Character</i> (NPC).....	11
2.4 Kecerdasan Buatan (<i>Artificial Intelligence</i>).....	13
2.5 Strategi Bertahan (Defense).....	13
2.5.1 Strategi Bertahan dengan Menyerang	14
2.5.2 Strategi Bertahan dengan Menjebak musuh.....	14
2.5.3 Strategi Bertahan dengan Menghindar.....	14
2.6 Finite State Machine (FSM).....	14

2.7	<i>Hierarchical Finite State Machine (HFSM)</i>	18
2.8	<i>Decision Making (Membuat Keputusan)</i>	21
2.9	<i>Rule based System</i>	22
2.10	Permainan DWIPA YUDHA	25
2.11	NPC Bangunan Pertahanan (Tower) dalam <i>Clash Of Clans (CoC)</i>	27
2.11.1	Cannon	27
2.11.2	Archer Tower	28
2.11.3	Wizard Tower.....	28
2.11.4	Mortar (Pelontar).....	29
2.11.5	Air Defense	30
2.11.6	Hidden Tesla	31
2.11.7	X-Bow	31
2.11.8	Inferno Tower.....	32
2.11.9	Jebakan	32
3.	BAB III METODOLOGI PENELITIAN	33
3.1	<i>Test-bed</i> Penelitian	34
3.1.1	Deskripsi Permainan DWIPA YUDHA	35
3.1.2	Desain NPC Bangunan Pertahanan	35
3.1.3	Desain NPC Musuh	37
3.1.4	Desain Environment Game	39
3.1.5	Desain HFSM Agen NPC BangunanPertahanan.....	40
3.1.5.1	<i>State Idle</i>	41
3.1.5.2	<i>Scanning State (Memindai Area)</i>	42
3.1.5.3	<i>State Target Musuh</i>	43
3.1.5.4	<i>State Menghadap musuh</i>	45
3.1.5.5	<i>State Perilaku Menyerang (Attack behavior)</i>	46
3.1.6	Perancangan Perilaku NPC Bangunan Pertahanan.....	46
3.1.7	Perancangan <i>Rule Based</i> NPC Bangunan Pertahanan.....	47
3.1.7.1	Parameter Kesehatan NPC Bangunan	48
3.1.7.2	Parameter Kesehatan Musuh (<i>Health Enemy</i>).....	49
3.1.7.3	Parameter Jarak NPC terhadap musuh	49
3.1.7.4	Rule Based NPC Tower Kamandaka	50
3.1.7.5	Rule based NPC Gandewa Tower	53

3.1.7.6	Rule based NPC Gayatri Tower.....	55
3.1.7.7	Rule based NPC Adikara	57
3.2	Perancangan Skenario Percobaan	59
4.	BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	61
4.1	Pengujian NPC Bangunan Pertahanan.....	61
4.1.1	Pengujian skenario Kamandaka Melawan 3 Jenis Pasukan.....	62
4.1.2	Pengujian skenario 2 NPC Kamandaka vs 3 Jenis Pasukan.....	73
4.1.3	Pengujian skenario Gandewa Tower Melawan 3 Jenis Pasukan.....	88
4.1.4	Pengujian skenario 2 Gandewa Tower vs Tiga Jenis Musuh.....	98
4.1.5	Pengujian skenario NPC Adikara melawan 3 Jenis Musuh	111
4.1.6	Pengujian skenario 2 NPC Adikara melawan 3 Jenis Musuh	122
4.2	Rangkuman Pengujian	137
	BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	141
5.1	Kesimpulan	141
5.2	Saran	143
	DAFTAR PUSTAKA	145
	BIOGRAFI PENULIS	147

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 State Perpindahan FSM.....	17
Tabel 2.2 Trace dari Hierarchical FSM.....	19
Tabel 3.1 Statistik Nilai NPC Pertahanan	36
Tabel 3.2 Statistik kemampuan Hero	38
Tabel 3.3 Statistik Nilai Parameter NPC Pasukan	38
Tabel 3.4 Nilai Parameter Degree Of Danger	44
Tabel 3.5 Penjelasan <i>Degree of Danger</i>	45
Tabel 3.6 Interval Parameter Nyawa NPC Tower.....	48
Tabel 3.7 Interval Parameter Nyawa Musuh.....	49
Tabel 3.8 Interval Parameter Nyawa Musuh.....	50
Tabel 3.9 Rule Based NPC Tower Kamandaka	51
Tabel 3.10 Rule Based NPC Gandewa Tower	53
Tabel 3.11 Rule Based Gayatri Tower	55
Tabel 3.12 Rule based NPC Adikara	57
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan kuat HFSM	63
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Skenario NPC Tower melawan pasukan kuat FSM.....	63
Tabel 4.3 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	63
Tabel 4.4 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	64
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sedang HFSM	66
Tabel 4.6 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sedang FSM... 67	
Tabel 4.7 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	67
Tabel 4.8 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	68
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sihir HFSM....	70
Tabel 4.10 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sihir FSM.....	70
Tabel 4.11 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	71
Tabel 4.12 Perbandingan Waktu HFSM dan FSM.....	71
Tabel 4.13 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Kamandaka melawan pasukan kuat HFSM	74
Tabel 4.14 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan kuat FSM	75
Tabel 4.15 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	75
Tabel 4.16 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	75
Tabel 4.17 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah HFSM	79

Tabel 4.18 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah FSM	79
Tabel 4.19 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	80
Tabel 4.20 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	80
Tabel 4.21 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sihir HFSM..	84
Tabel 4.22 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sihir FSM.....	84
Tabel 4.23 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	85
Tabel 4.24 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	85
Tabel 4.25 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat HFSM.....	89
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat FSM	89
Tabel 4.27 Perbandingan Sisa Nyawa Tower	89
Tabel 4.28 Perbandingan Waktu.....	89
Tabel 4.29 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat HFSM.....	92
Tabel 4.30 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat FSM	92
Tabel 4.31 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	92
Tabel 4.32 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	93
Tabel 4.33 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir HFSM.....	95
Tabel 4.34 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir FSM	95
Tabel 4.35 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	96
Tabel 4.36 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	96
Tabel 4.37 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang HFSM.....	99
Tabel 4.38 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang FSM	99
Tabel 4.39 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	99
Tabel 4.40 Perbandingan Waktu HFSM dan FSM	100
Tabel 4.41 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah HFSM.....	103

Tabel 4.42 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah HFSM.....	103
Tabel 4.43 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	104
Tabel 4.44 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	104
Tabel 4.45 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat HFSM.....	107
Tabel 4.46 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat FSM.....	108
Tabel 4.47 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	108
Tabel 4.48 Perbandingan Waktu HFSM dan FSM.....	109
Tabel 4.49 Hasil Pengujian Skenario NPC adikara melawan pasukan pedang (kuat) HFSM.....	111
Tabel 4.50 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan pedang (kuat) FSM.....	112
Tabel 4.51 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	112
Tabel 4.52 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	112
Tabel 4.53 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sedang HFSM ..	115
Tabel 4.54 FSM Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sedang FSM	115
Tabel 4.55 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	116
Tabel 4.56 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	116
Tabel 4.57 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sihir (HFSM) ...	119
Tabel 4.58 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sihir (FSM)	119
Tabel 4.59 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	120
Tabel 4.60 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	120
Tabel 4.61 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan kuat (HFSM)....	123
Tabel 4.62 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan kuat (FSM).....	123
Tabel 4.63 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	124
Tabel 4.64 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	124
Tabel 4.65 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sedang HFSM ..	127
Tabel 4.66 FSM Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sedang FSM	128
Tabel 4.67 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	129
Tabel 4.68 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	129

Tabel 4.69 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sihir (HFSM) ...	132
Tabel 4.70 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sihir (FSM)	133
Tabel 4.71 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM	134
Tabel 4.72 Perbandingan waktu HFSM dan FSM	135

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Bangunan Pertahanan Pada Permainan <i>Clash of Clans</i> (CoC)	1
Gambar 1.2 Serangan NPC Bangunan Pertahanan terhadap musuh.....	2
Gambar 2.1 Contoh Game RPG Final Fantasy (kiri) dan Ragnarok (kanan)	5
Gambar 2.2 Game Metal Gear Solid (kiri) dan Game Tomb Rider (kanan).....	6
Gambar 2.3 Game The Longest Journey (kiri) dan Syberia II (kanan).....	7
Gambar 2.4 Game Civilisation Series (kiri) dan Command and Conquer series (kanan)...	7
Gambar 2.5 Game Basket ball (kiri) dan Game PES 2015 (kanan).....	8
Gambar 2.6 Game Street Fighter (kiri) dan Tekken (kanan)	9
Gambar 2.7 Game catur 3D (kiri) dan Game monopoli (kanan)	9
Gambar 2.8 Game puzzle (kiri) dan Game Tetris (kanan).....	10
Gambar 2.9 Game Driver Simulator (kiri) dan Flight Simulator (kanan).....	10
Gambar 2.10 Game Heifer Game (kiri) dan Game Re-mission (kanan).....	11
Gambar 2.11 Contoh FSM sederhana dengan Penjelasannya [10]	16
Gambar 2.12 Contoh FSM Dasar [2]	16
Gambar 2.13 Hierarchical Finite State Machine (HFSM) [2].....	18
Gambar 2.14 Finite State Machine Robot Pencari Sampah [1]	20
Gambar 2.15 Hierarchical Finite State Machine Robot Pencari Sampah [1].....	21
Gambar 2.16 Decision Making dalam game.....	21
Gambar 2.17 Blok Diagram Sistem <i>Rule Based</i>	24
Gambar 2.18 Logo game DwipaYudha	25
Gambar 2.19 Game Dwipa Yudha melambangkan keragaman suku Indonesia	26
Gambar 2.20 Cannon dalam game <i>Clash of Clans</i>	27
Gambar 2.21 Archer Tower dalam CoC	28
Gambar 2.22 Wizard Tower dalam Game CoC	29
Gambar 2.23 Mortar.....	30
Gambar 2.24 Air Defense	30
Gambar 2.25 Hidden Tesla	31
Gambar 2.26 X-bow dalam game <i>Clash of Clans</i> (CoC).....	32
Gambar 2.27 Inferno Tower dalam game <i>Clash of Clans</i> (CoC)	32
Gambar 2.28 Jebakan dalam game <i>Clash of Clans</i>	32
Gambar 3.1 Diagram Alur Metodologi penelitian	33
Gambar 3.2 Pohon Penelitian	34

Gambar 3.3 NPC Pertahanan dalam game Dwipa Yudha.....	36
Gambar 3.4 Desain Hero Pada Game Dwipa Yudha	37
Gambar 3.5 Karakter Pasukan.....	38
Gambar 3.6 Environment Game DWIPA YUDHA	39
Gambar 3.7 HFSM NPC Pertahanan.....	41
Gambar 3.8 State Idle.....	42
Gambar 3.9 <i>State Scanning</i> NPC (kiri) dan Ilustrasi NPC memindai musuh (kanan)	42
Gambar 3.10 State Targetting	43
Gambar 3.11 NPC Tower memilih musuh.....	44
Gambar 3.12 <i>State</i> dari <i>Facing to Enemy</i>	45
Gambar 3.13 State Menyerang.....	46
Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan Logika Tegas Parameter Nyawa NPC Tower.....	48
Gambar 3.15 Fungsi Keanggotaan Logika Tegas Parameter Nyawa Musuh.....	49
Gambar 3.16 Fungsi Keanggotaan Logika Tegas Parameter jarak	50
Gambar 3.17 Skenario pengujian Individu Tower	60
Gambar 4.1 Desain HFSM Agen NPC.....	61
Gambar 4.2 Desain FSM Agen NPC	62
Gambar 4.3 Skenario 1 NPC Kamandaka vs Pasukan Pedang (Sakera).....	62
Gambar 4.4 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan pedang	65
Gambar 4.5 Grafik perbandingan waktu tarung NPC Kamandaka melawan pasukan pedang	65
Gambar 4.6 Skenario 2 NPC Kamandaka vs 6 pasukan gabungan.....	66
Gambar 4.7 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan panah.....	68
Gambar 4.8 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan panah.....	69
Gambar 4.9 Skenario 3 NPC Tower Kamandaka vs 6 Pasukan Musuh Gayatri.....	70
Gambar 4.10 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan petir.....	73
Gambar 4.11 Grafik perbandingan waktu NPC Kamandaka melawan pasukan petir.....	73
Gambar 4.12 Dua NPC Kamandaka melawan pasukan pedang (kuat)	74
Gambar 4.13 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Kamandaka melawan pasukan pedang	77
Gambar 4.14 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan pedang	78
Gambar 4.15 Pengujian 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah (sedang)	78

Gambar 4.16 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah.....	82
Gambar 4.17 Grafik perbandingan waktu 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah .	83
Gambar 4.18 Pengujian 2 NPC Kamandaka melawan pasukan sihir (lemah).....	83
Gambar 4.19 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Kamandaka melawan pasukan sihir	86
Gambar 4.20 Grafik perbandingan waktu tarung 2 NPC Kamandaka melawan pasukan sihir	88
Gambar 4.21 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang (kuat).....	88
Gambar 4.22 Grafik perbandingan sisa health NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang.....	90
Gambar 4.23 Grafik perbandingan waktu NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang	91
Gambar 4.24 Pengujian Gandewa Tower melawan pasukan panah (sedang).....	91
Gambar 4.25 Grafik perbandingan sisa health NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah.....	94
Gambar 4.26 Grafik perbandingan waktu NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang	94
Gambar 4.27 NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir (lemah).....	95
Gambar 4.28 Grafik perbandingan sisa health NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir	97
Gambar 4.29 Grafik perbandingan waktu tarung NPC Kamandaka melawan pasukan pedang.....	98
Gambar 4.30 Pengujian 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang (kuat).....	98
Gambar 4.31 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang.....	101
Gambar 4.32 Grafik perbandingan waktu 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang.....	102
Gambar 4.33 Pengujian 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah (sedang).....	102
Gambar 4.34 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah.....	105
Gambar 4.35 Grafik perbandingan waktu 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah.....	106
Gambar 4.36 Pengujian skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir.....	107

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam ranah game modern, telah banyak penelitian mengenai Kecerdasan buatan untuk NPC (Non-playable Character). Perilaku NPC merupakan hal penting yang menjadikan permainan lebih menarik. Permainan *Real Time Strategy* (RTS) adalah salah satu genre game yang menerapkan Kecerdasan buatan untuk NPC.

Real Time Strategy (RTS) adalah genre game yang memiliki ciri khas permainan perang yang terdiri dari pembangunan gedung dan kekuatan pasukan. Selain itu, Pengumpulan sumber daya digunakan untuk pembangunan gedung, pertahanan dan memperkuat tentara tempur. Permainan RTS mempertimbangkan aspek seperti ekonomi, sumber daya yang dimiliki, kekuatan pasukan, strategi menyerang dan bertahan.

Salah satu contoh game RTS adalah Clash of Clans (CoC) yang dikembangkan oleh Supercell. Dalam game CoC, terdapat NPC Bangunan Pertahanan Seperti Cannon, Mortar, Archer Tower, dan Wizard Tower. Canon dan Mortar menyerang musuh di *ground*. Sedangkan Archer Tower dan Wizard Tower menembak musuh di area *ground* dan *air* (udara). Gambar 1.1 adalah NPC Bangunan Pertahanan (Tower) dalam game Clash of Clans (CoC).



Gambar 1.1 Bangunan Pertahanan Pada Permainan *Clash of Clans* (CoC)



Gambar 1.2 Serangan NPC Bangunan Pertahanan terhadap musuh

Gambar 1.2 memperlihatkan pola perilaku NPC Bangunan Pertahanan game CoC. Pola perilaku NPC Bangunan pertahanan yang tetap dengan satu perilaku mudah ditembus musuh. Terlebih apabila musuh menyerang secara berkelompok. Model perilaku NPC Tower yang tetap (statis) membuat pertarungan kurang variatif, mudah ditebak dan mudah dikalahkan oleh lawan. Salah satu solusinya adalah perilaku NPC beragam (dinamis) dengan pola penyerangan lebih beragam dan tidak mudah ditebak. Perilaku dinamis dapat dicapai dengan sifat adaptif dan cerdas dari pola perilaku NPC. Perilaku dinamis adalah suatu pola perilaku yang memperhitungkan beberapa faktor yang mempengaruhi keputusan perilaku tersebut dan bukan perilaku yang statis. Sebagai contoh NPC pertahanan tidak akan selalu menggunakan serangan kuat yang memerlukan energi besar jika kondisi kesehatan (*health*) yang dimiliki dalam keadaan baik atau juga tidak selalu menggunakan serangan normal yang memerlukan sedikit energi jika kondisi kesehatan sedang lemah.

Dalam sebuah game, Metode Finite State Machine (FSM) untuk menentukan perilaku sebuah agen banyak diterapkan dalam game. Hal ini dikarenakan FSM memiliki kesederhanaan dan kemudahan yang dapat diimplementasikan dalam game (Millington, 2006). Disisi lain, kehandalan FSM dalam penentuan perilaku agen atau NPC terhambat apabila perilaku agen tersebut memiliki beberapa perilaku (Millington, 2006). FSM juga memiliki sisi negatif karena metode ini memiliki jumlah state dan transisi yang banyak sehingga representasi dan analisa menjadi sulit (Alain, Bilung, & and Edward, 1999).

Sehingga untuk mendesain perilaku dinamis NPC yang memiliki beberapa perilaku digunakan metode *Hierarchical Finite State Machine* (HFSSM) dan untuk menentukan respon perilaku terhadap perubahan kondisi digunakan Sistem *rule based*. *Hierarchical Finite State Machine* (HFSSM) merupakan metode pengembangan dari FSM yang memiliki keunggulan dapat mengurangi kerumitan perancangan perilaku agen dan dapat menyederhanakan proses komputasi (Alain, Bilung, & and Edward, 1999).

Pada penelitian ini, kami mengembangkan riset game RTS yang berjudul DWIPA YUDHA konsepnya mengacu pada salah satu game bergenre RTS, Permainan *Clash Of Clans*. Permainan *Clash Of Clans* terdapat beberapa komponen, diantaranya: (1) Pasukan. (2) Bangunan Pertahanan. Dan (3) Sumber daya. Begitu juga dengan permainan DWIPA YUDHA, terdapat beberapa komponen pasukan, bangunan pertahanan, dan Sumber daya. Dari beberapa komponen permainan DWIPA YUDHA tersebut, ada satu hal yang ditekankan dalam penelitian ini yaitu perilaku NPC Bangunan Pertahanan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada permainan *Real Time Strategy* (RTS), Perilaku NPC Bangunan Pertahanan (*Tower*) dengan menyerang lawan dengan perilaku menyerang terdekat lebih mudah ditebak oleh lawan dan mudah dikalahkan jika diserang oleh musuh secara berkelompok.

1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang dibahas tidak bias dan Untuk menyederhanakan penelitian yang dilakukan, diberikan batasan – batasan sebagai berikut:

1. Permainan yang kami riset kali ini adalah Permainan DWIPA YUDHA dengan fokus penelitian pada NPC Pertahanan.
2. Pola perilaku NPC Pertahanan menggambarkan perilaku NPC yaitu Menyerang kuat, Menyerang normal dan Skill Tambahan.
3. NPC Bangunan Pertahanan statis dan musuh dinamis.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan NPC bangunan pertahanan (*Tower*) yang lebih kuat menghadapi musuh sehingga NPC tidak mudah dikalahkan.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan membuat NPC Pertahanan menjadi lebih menarik dan pola penyerangan yang variatif.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Pada bab ini dijelaskan mengenai teori – teori yang menunjang dalam menyelesaikan penelitian, diantaranya penjelasan tentang penelitian terkait, teori tentang Finite State Machine, *Hierarchical Finite State Machine* (HFSSM), Decision Making dan teori penunjang lainnya yang berkaitan.

2.1 Game

Pada umumnya game digolongkan menjadi beberapa genre, diantaranya : RPG, Adventure games, RTS, FPS, Platform games, shooter games, sport game, racing games, classic strategy games, fighting games, dan genre-genre lain yang tidak masuk dalam kategori yang sudah disebutkan.

2.1.1 Game Role Playing Games (RPG Game)



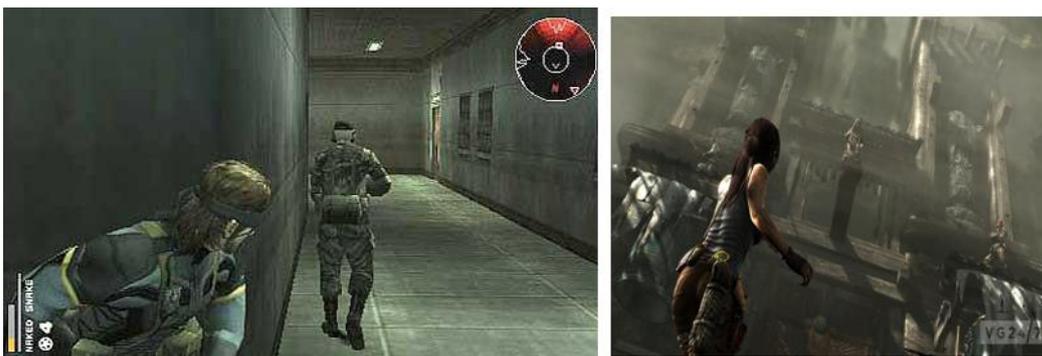
Gambar 2.1 Contoh Game RPG Final Fantasy (kiri) dan Ragnarok (kanan)

Dalam game RPG, *Player* diasumsikan bermain peran karakter NPC tertentu atau beberapa karakter yang akan menjelajahi dunia game yang sangat luas [7]. Game RPG sangat dipengaruhi oleh alur cerita sehingga memberi kesan immersif dalam permainan. Pemilihan karakter turut mempengaruhi jalan cerita game. Dalam permainan RPG, terdapat unsure level *experience point* dan sistem *equipment*. Experience point mempengaruhi kehebatan karakter NPC. Sedangkan equipment adalah kombinasi perlengkapan yang harus dimiliki karakter. Saat ini, RPG telah berkembang menjadi MMORPG (*Massive Multiplayer Online Role Playing Games*) dimana permainan telah menjamur dan game dimainkan secara

online. Game RPG sendiri Contoh game RPG adalah Ragnarok, Final Fantasy, dan Diablo.

2.1.2 Game Aksi (Action Game)

Game Action adalah salah satu genre permainan dimana sekelompok NPC saling bersaing dan berkompetisi di suatu lingkungan dengan tujuan utama adalah mencapai suatu *achievement* serta mengalahkan agen lawan [7]. Permainan ini berfokus pada pertempuran bersenjata dan yang paling populer dari game *action* adalah jenis game *shooter*. Dalam game *shooter*, NPC menggunakan berbagai jenis senjata untuk menyerang musuh. Game *shooter* bisa berupa First-person atau Third-Person. Diantara game action yang terkenal adalah : Doom, Quake, Tomb Raider dan Metal gear solid.



Gambar 2.2 Game Metal Gear Solid (kiri) dan Game Tomb Rider (kanan)

2.1.3 Game Berpetualang (Adventure Game)

Game *Adventure* berbeda dengan game action dimana sedikit peperangan dan banyak memecahkan teka-teki dan pengembangan plot. Game adventure serupa dengan game RPG dalam hal story telling, plot, dan pemecahan teka-teki (*puzzle*). Yang membedakan game RPG dengan Game *Adventure* adalah kelapangan permainan atau dunia permainan (*game world*). Game RPG umumnya memiliki *game world* yang sangat luas berkebalikan dengan Game *Adventure* [7]. Player game *Adventure* melakukan *quest* dimana player harus berinteraksi dengan NPC support untuk memecahkan *puzzle* dan mengungkap cerita game. Contoh *Adventure game* diantaranya adalah *The Longest Journey*, *Syberia I*, *Syberia II* dan *Broken Sword*.



Gambar 2.3 Game The Longest Journey (kiri) dan Syberia II (kanan)

2.1.4 Game Strategi (Strategy Game)



Gambar 2.4 Game Civilisation Series (kiri) dan Command and Conquer series (kanan)

Dalam Game Strategi pemain harus mengontrol unit pasukan untuk berperang melawan musuh dan beberapa komponen [7]. Dalam Game Strategi pemain harus memanen bahan baku yang menjadi bekal untuk membuat Unit pasukan. Seperti dalam game Clash of Clans pemain harus memanen Elixir untuk mem-*buildt* pasukan dan menambang emas untuk meng-*upgrade* bangunan – bangunan, merakit kapal untuk pertempuran. Karena dalam permainan ini memerlukan biaya, pemain harus mengatur strategi dan mengalokasi sumber daya yang tepat sesuai apa yang dibutuhkan pemain. Dalam permainan ini pemain tertantang untuk mengatur masalah jadwal, mengorganisir pertahanan dan penyerangan. Contoh permainan game strategi adalah *Civilisation Series* dan *Command and Conquer series*.

2.1.5 Game Olahraga (Sport)

Game *Sport* terdiri dari dua jenis. Yang pertama adalah olahraga individu (seperti olahraga Tinju, Golf, Snowboarding, Mengemudi, dll) dan yang kedua adalah olahraga tim (seperti sepak bola, basket, baseball, rugby, dll). Dalam permainan individu, pemain mengendalikan karakter tunggal untuk bersaing baik berhadapan dengan bot atau pemain yang dikendalikan oleh pemain lain [7]. Dalam olahraga tim, pemain memainkan peranan ganda yakni pembinaan sebuah peran dan peran pemain. Pemain dapat melatih dan membuat keputusan strategis seperti memilih formasi dan pemain untuk tim dan juga bermain dengan mengendalikan satu pemain kunci pada suatu waktu. Contoh Permainan Sport adalah Pro Evolution Soccer (PES) dan FIFA merupakan seri game yang populer untuk cabang sepakbola.



Gambar 2.5 Game Basket ball (kiri) dan Game PES 2015 (kanan)

2.1.6 Game Bertarung (Fighting)

Poin utama dalam permainan game ini adalah bertarung. Tujuan utama dari mengalahkan musuh dengan gaya dan jurus masing – masing karakter. *Player* diberi kebebasan memilih karakter yang ingin digunakan. Dalam permainan ini, pemain harus menguasai teknik bertarung seperti blocking, counter-attack, dan skill lainnya. Contoh game ini : Tekken 3 dan Street Fighter.



Gambar 2.6 Game Street Fighter (kiri) dan Tekken (kanan)

2.1.7 Game Papan (Board Game)

Game papan adalah game yang melibatkan papan sebagai arena permainan. Property lain yang digunakan adalah counter atau benda yang digunakan sebagai tanda pindah. Contoh permainan ini adalah Monopoli, Chess, Sudoku.



Gambar 2.7 Game catur 3D (kiri) dan Game monopoli (kanan)

2.1.8 Game Puzzle

Game ini bertujuan untuk mengasah kemampuan berpikir pemain dengan berbagai kode rahasia yang perlu dipecahkan. Game ini bersifat statis dibanding dengan game action. . Contoh : *Tetris*, *Bust A Move*, *Bejeweled*. Solusi dari *puzzle* membutuhkan pola (*pattern*) dan urutan tertentu yang harus diselesaikan dengan cepat.



Gambar 2.8 Game puzzle (kiri) dan Game Tetris (kanan)

2.1.9 Game Simulasi

Game ini adalah game ini adalah replica dari dunia nyata. Game ini sangat membantu bagi seseorang yang belum pernah mencoba dalam dunia nyata misalkan mengendalikan pesawat terbang. Game ini biasanya dibuat sedemikian realistis. Contoh game ini adalah Flight Simulator dan Driving Simulator.



Gambar 2.9 Game Driver Simulator (kiri) dan Flight Simulator (kanan)

2.1.10 Game Serius

Game ini bertujuan lebih dari sekedar entertainment, juga termasuk di dalamnya sisi pembelajaran, diskusi atau berdebat. Tujuan lain dari game ini adalah untuk kepentingan marketing dan advertising. Contoh game ini adalah MaxDebat, Nepal, dan Heifer Village. Contoh lain game bergenre serius adalah game Re-Mission. Game ini termasuk genre game Third-person shooter dimana tujuan game ini adalah member edukasi kepada pemuda seputar kanker serta bagaimana agar bisa bertahan dengan penyakit.



Gambar 2.10 Game Heifer Game (kiri) dan Game Re-mission (kanan)

2.2 Perilaku

Perilaku dapat didefinisikan sebagai cara di mana seorang individu berperilaku atau bertindak. Ini adalah cara seorang individu melakukan sendiri / dirinya sendiri. Perilaku harus dilihat dalam referensi untuk sebuah fenomena, suatu benda atau orang. Hal ini dapat dilihat dalam referensi untuk norma-norma masyarakat, atau cara di mana seseorang memperlakukan orang lain atau menangani benda. Perilaku, oleh karena itu, adalah cara seseorang bertindak terhadap orang-orang, masyarakat atau benda. Hal ini dapat baik buruk atau baik. Hal ini dapat normal atau abnormal sesuai dengan norma-norma masyarakat. Masyarakat akan selalu mencoba untuk memperbaiki perilaku buruk dan mencoba untuk membawa perilaku abnormal kembali normal [14].

2.3 *Non Playable Character* (NPC)

Non Playable Character (NPC) atau *Agent* adalah beberapa karakter dalam permainan computer modern yang tidak dapat dikontrol oleh player [7]. Karakter ini mempunyai kemampuan beradaptasi bereaksi sesuai dengan kondisi. Tujuan dari pengembangan kecerdasan buatan pada NPC ini adalah membuat NPC sebisa mungkin lebih *real* atau nyata sehingga pola dan perilaku NPC dari satu waktu ke waktu bisa menstimulasikan apa yang semestinya player lakukan dalam situasi yang sama [7]. Menurut Romi satria wahono, Karakteristik NPC atau *Agent* harus memenuhi tujuh karakteristik untuk bisa disebut NPC atau *agent* [7]. Ketujuh karakteristik tersebut dijelaskan kriteria – kriteria di bawah ini :

1. Autonomi

Yang dimaksud autonomi adalah *agent* dapat melakukan tugas secara individu dan tidak dipengaruhi oleh user, *agent* lain atau lingkungan [8]. Agar *agent* bisa melakukan tugas secara mandiri diperlukan kemampuan kontrol dari *agent* untuk dirinya sendiri untuk setiap aksi baik ke dalam maupun ke luar [Wooldridge et. Al. 1995].

2. *Intelligence, Reasoning, dan Learning*

Agent harus memiliki kriteria dan spesifikasi dasar agar bisa disebut agent, yakni harus memiliki inteligensi [8]. Inteligensi *agent* mencakup tiga hal yakni internal *knowledge base*, kemampuan *reasoning* berdasar pada *knowledge base*, dan kemampuan *learning* untuk beradaptasi dengan lingkungan.

3. *Mobility dan Stationary*

Mobilitas ditunjukkan khusus untuk *agent* yang bergerak. Dan itu merupakan karakteristik tertinggi yang ia miliki [8]. Sifat lawannya adalah *stationary agent*. Baik *mobile agent* maupun *stationary agent* keduanya harus memiliki kemampuan mengirim pesan dan berkomunikasi dengan *agent* lain.

4. *Delegation*

Delegasi didefinisikan sebagai sifat *agent* yang menjalankan tugas yang diperintah oleh *user* atau *player*. Fenomena pendelegasian adalah karakteristik utama dari sebuah *agent*.

5. *Reactivity*

Kemampuan lain yang dimiliki *agent* adalah kemampuan beradaptasi dengan lingkungan baru. Lingkungan itu mencakup *agent* lain, user, informasi dari luar, dll. [Brenner et. Al., 1998].

6. *Proactivity* dan *Goal-Oriented*

Proaktif adalah sifat kelanjutan dari sifat reaktif *agent*. *Agent* tidak hanya harus bisa beradaptasi dengan lingkungan tetapi juga dituntut berinisiatif dalam mengambil langkah [Brenner et. Al., 1998]. Oleh karena itu, *agent* juga harus memiliki tujuan yang jelas dan harus berorientasi pada *goal-oriented*.

7. *Communication* dan *Coordination Capability*

Karakteristik terakhir dari sebuah *agent* adalah kemampuan berkomunikasi baik komunikasi antar *agent* maupun *agent* dengan user. Masalah komunikasi, koordinasi, dan kolaborasi antar *agent* adalah masalah sentral penelitian Multi Agent System (MAS) [8].

2.4 Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*)

Kecerdasan buatan merupakan semua teknik yang digunakan dalam upaya untuk membuat unsur-unsur game (game elements) menjadi lebih pintar, lebih alami dan lebih hidup (lifelike). Salah satu kriteria untuk membuat AI yang sukses pada game adalah NPC (Non playable character) yang dapat menunjukkan perilaku yang menyerupai manusia, realistis dan cerdas [11].

Kecerdasan buatan pada game meniru kecerdasan manusia yang harapannya mampu membuat game menjadi lebih variatif dan kompleks untuk dimainkan.

Banyak acuan penelitian dalam hal kecerdasan buatan untuk NPC diantaranya adalah *paper* Craig W. Reinold. Dalam penelitian tersebut karakter animasi berjalan otonom dan mempunyai perilaku seperti *seek, flee, evasion, offset pursuit, arrival, obstacle, avoidance, wander, path following, wall following, containment, flow field following, unaligned collision, avoidance, separation, cohesion, alignment, flocking, dan leader following*.

2.5 Strategi Bertahan (*Defense*)

Dalam kamus besar bahasa Indonesia (KBBI) Bertahan berasal dari kata tahan. Kata tahan mendapat imbuhan awalan *ber-*. Kata Bertahan memiliki arti : (1) tetap pada tempatnya ; (2) mempertahankan diri terhadap serangan ; (3) tidak mau

menyerah. Strategi bertahan adalah strategi dalam permainan untuk mempertahankan diri dari serangan musuh. Ada banyak macam strategi bertahan dalam permainan. Adakalanya strategi bertahan dengan menyerang musuh, strategi bertahan dengan diam, strategi bertahan dengan menghindar.

2.5.1 Strategi Bertahan dengan Menyerang

Menyerang adalah salah satu strategi bertahan pada sebuah permainan (*game*). Dengan menyerang musuh, ruang gerak musuh dapat dipersempit, kesehatan musuh berkurang. Pola penyerangan terhadap musuh juga bervariasi bergantung strategi yang diterapkan. Penyerangan jarak jauh memperhitungkan aspek amunisi dan jarak. Sedangkan pertempuran jarak dekat melihat aspek kekuatan serangan dan pemilihan lawan yang tepat agar penyerangan efektif.

2.5.2 Strategi Bertahan dengan Menjebak musuh

Menjebak musuh merupakan bagian dari strategi bertahan dalam permainan. Diantara variasi jebakan adalah menaruh ranjau, meletakan bom, membikin lubang atau parit dan menaruh pagar agar sulit dilewati. Fungsi dari jebakan ini mengurangi kecepatan gerak musuh, menguras *health* musuh, atau merusak konsentrasi pemain (*player*).

2.5.3 Strategi Bertahan dengan Menghindar

Selain dua strategi Menyerang dan Diam, ada strategi bertahan lainnya yaitu dengan cara menghindar. Gaya menghindar bisa bervariasi misalnya dengan bersembunyi, atau menghindar dengan memutar rute yang dilalui. Strategi ini juga bisa dipake pada game pertarungan jarak dekat dengan melakukan gerakan mundur atau berpindah posisi.

2.6 Finite State Machine (FSM)

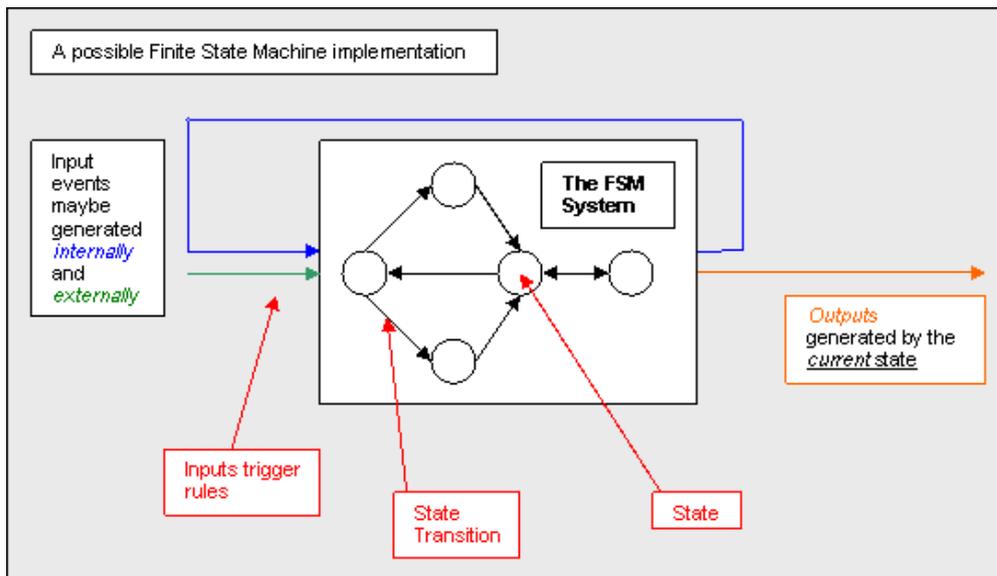
Finite State Machine (FSM) adalah Metode paling populer yang digunakan dalam game. *Finite State Machine* (FSM) adalah suatu model pemecahan *behavior* objek berdasarkan statenya. Sistem kerja FSM dengan menggunakan tiga hal berikut : *State* (Keadaan), *Event* (Kejadian), *Transition* (Transisi) dan *Action* (Aksi) [5]. Pada satu saat dalam periode waktu yang cukup signifikan, system akan berada pada salah satu state yang aktif. System dapat beralih atau bertransisi menuju state lain jika mendapatkan masukan atau event tertentu, baik yang berasal dari

perangkat luar atau komponen dalam sistemnya itu sendiri (misal : interupsi timer). Transisi keadaan ini umumnya juga disertai oleh aksi yang dilakukan oleh system ketika menanggapi masukan yang terjadi. Aksi yang dilakukan tersebut dapat berupa aksi yang sederhana atau melibatkan rangkaian proses yang relative kompleks.

Berdasarkan sifatnya, metode FSM ini sangat cocok digunakan sebagai basis perancangan perangkat lunak pengendalian yang bersifat reaktif dan real time. Salah satu keuntungan nyata penggunaan FSM adalah kemampuannya dalam mendekomposisi aplikasi yang relatif besar dengan hanya menggunakan sejumlah kecil item state. Selain untuk bidang kontrol, penggunaan metode ini pada kenyataannya juga umum digunakan sebagai basis untuk perancangan protokol-protokol komunikasi, perancangan perangkat lunak game, aplikasi web, dan sebagainya. Sebuah sistem kontrol dalam menentukan suatu output bergantung pada suatu input. Apabila nilai input yang sekarang dirasa sudah cukup untuk menentukan suatu output, maka sistem tersebut diberi nama sistem kombinasional, dan tidak memerlukan konsep State. Apabila suatu system control membutuhkan beberapa tambahan informasi mengenai serangkaian perubahan input untuk menentukan suatu output, maka system ini disebut sebagai system sekuensial [5].

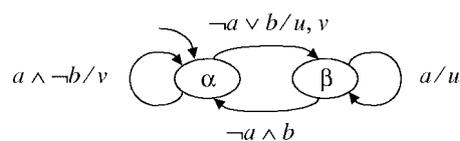
State adalah keadaan objek saat ini dan *transition* adalah suatu acuan kondisi objek yang dilakukan agar bisa berpindah dari suatu *state* ke *state* yang lain. Dari gambar 2.11 dapat dijelaskan bahwa komponen utama FSM adalah:

1. *State* mendefinisikan perilaku dan bisa menghasilkan aksi
2. Transisi *state* adalah perpindahan dari satu *state* ke *state* yang lain.
3. Kondisi atau aturan yang harus terpenuhi supaya ada transisi *state*.
4. *Event* atau kejadian yang merupakan *input* yang dipicu oleh aturan dan mengacu ke transisi *state*.



Gambar 2.11 Contoh FSM sederhana dengan Penjelasannya [10]

FSM digambarkan sebagai jaringan semantic yang merepresentasikan maksud dan hubungan dengan menggunakan kata. State dilambangkan dengan lingkaran. Sedangkan transition disimbolkan dengan anak panah dengan arah tertentu. Tiap lingkaran dan anak panah memiliki nama masing – masing yang menunjukkan status *state* atau transisi [2]. Menurut Jason Brownlee, komponen utama FSM secara sederhana ditunjukkan seperti gambar 2.12 dibawah ini :



Gambar 2.12 Contoh FSM Dasar [2]

Secara Teoritis, Finite State Machine (FSM) dapat dijelaskan seperti berikut. Pada gambar 2.12 di atas, merupakan contoh sederhana dari FSM dengan dua state. FSM di atas mempunyai lima definisi. Yakni $(Q, \Sigma, \Delta, \sigma, q_0)$ dimana

- Q : didefinisikan sebagai symbol suatu state;
- Σ : didefinisikan sebagai *Possible Input*;
- Δ : didefinisikan sebagai *Possible Output*;
- σ : didefinisikan fungsi transisi pemetaan misalkan $Q \times \Sigma$ menuju $Q \times \Delta$;
- $q_0 \in Q$: didefinisikan sebagai initial state (kondisi awal).

Jika kita melihat gambar 2.12 dapat dijelaskan bahwa gambar 2.12 adalah contoh sederhana dari FSM. Diumpamakan $Q = \{\alpha, \beta\}$, $\Sigma = \{a, b\}$, $\Delta = \{\varepsilon, u, v\}$, Dimana kondisi awal diumpamakan dengan ($q_0 = \alpha$). Dan fungsi pemetaannya adalah $\sigma : Q \times \Sigma \rightarrow Q \times \Delta$ dimana $\sigma(\alpha, b) = (\beta, v)$ menjelaskan bahwa *current state* $\alpha \in Q$ mendapatkan input $b \in \Sigma$ sehingga berpindah menuju *state* berikutnya $\beta \in Q$ dan simbol outputnya $v \in \Delta$. Fungsi pemetaan lainnya adalah $\sigma(\beta, a) = (\alpha, u)$. menjelaskan bahwa *current state* $\beta \in Q$ mendapatkan input $a \in \Sigma$ sehingga berpindah menuju *state* berikutnya $\alpha \in Q$ dan simbol outputnya $u \in \Delta$. Selain itu ada transisi diri sendiri $\sigma(\alpha, a) = (\alpha, \varepsilon)$ dan $\sigma(\beta, b) = (\beta, \varepsilon)$. Keterangan lebih lanjut dapat dijelaskan pada Tabel 2.1 di bawah ini :

Tabel 2.1 State Perpindahan FSM

Current State	α	α	β	β
Input Symbol	A	b	b	a
Next State	α	β	β	α
Output Symbol	ε	v	ε	u

Keunggulan FSM

1. Sederhana, sehingga mudah diimplementasikan bagi orang awam.
2. Dapat diprediksi, transisi *state* mudah diprediksi sehingga memudahkan untuk melakukan uji coba.
3. Komputasi Ringan,
4. Relatif Fleksible sehingga mudah untuk digabungkan dengan teknik yang lain.
5. Merupakan metode AI lama yang bisadigunakan pada berbagai sistem dan telah teruji sebagai teknik pengembangan AI.
6. Mudah ditransfer dari konsep abstrak menjadi kode program komputasi.

Kekurangan FSM

1. Karena FSM mudah diprediksi, maka implementasi pada game kurang disukai.
2. Pada sistem yang lebih besar, Implementasi FSM menjadi lebih

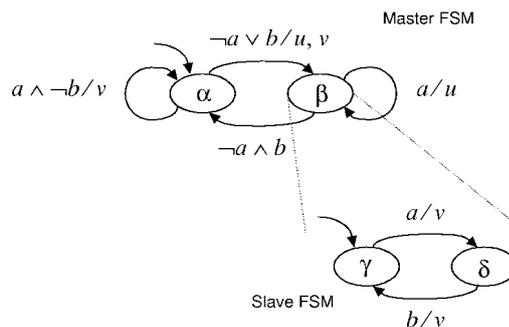
sulit karena system menjadi lebih kompleks. Transisi *state* yang banyak menyebabkan factor kerumitan jika mengikuti alurnya.

3. Sebaiknya hanya dipergunakan pada sistem dimana sifat sistem bisa didekomposisi menjadi state terpisah dengan definisi kondisi yang jelas untuk transisi state. Dalam artian, semua state, transisi dan kondisi harus diketahui sebelumnya dan terdefinisikan dengan baik.
4. Kondisi ntuk setiap transisi *state* adalah tetap.

2.7 Hierarchical Finite State Machine (HFSM)

Metode FSM sudah sangat familiar karena kehandalannya jika diterapkan dalam game. Namun, FSM sangat sulit dalam memperlihatkan agen yang terdiri dari beberapa perilaku. FSM juga memiliki kelemahan untuk menganalisa system jika memiliki banyak transisi dan *state*. Salah satu solusi untuk memperbaiki permasalahan ini adalah dengan menggunakan metode HFSM.

Dalam HFSM, satu *state* FSM didefinisikan kembali dalam FSM lain. FSM yang ada di dalam bisa kita sebut dengan *slave* dan FSM yang ada di luar kita sebut *master*.



Gambar 2.13 Hierarchical Finite State Machine (HFSM) [2]

Pada dasarnya, HFSM tidak menambahkan model komputasi. Juga tidak mengurangi jumlah *state*. Tetapi HFSM bisa mengurangi jumlah transisi secara signifikan dan membuat FSM lebih intuitif dan lebih mudah dipahami.

Pada gambar 2.13 di atas, diberikan contoh perpindahan *state* dari *state* α menuju *state* β . *state* γ menuju *state* α dan *state* δ menuju *state* α . Ruang *state* pada basic FSM bernilai $Q = \{\alpha, \beta, \delta\}$.

Alphabet Input FSM *Slave* adalah bagian dari alphabet input master. Pada FSM dasar, sinyal input untuk FSM *Slave* adalah *subset input* untuk FSM *Master*. Demikian juga, Output sinyal dari FSM *slave* adalah subset output dari sinyal FSM *Master*.

Semantik Hierarki mendefinisikan bagaimana reaksi FSM *Slave* saling berhubungan (relatif) terhadap reaksi FSM *Master*. Sebuah semantik proposional mendefinisikan HFSM seperti berikut : Jika *current state* tidak didefinisikan kembali, HFSM dianggap FSM biasa. Apabila *current state* didefinisikan ulang, mula – mula FSM *Slave* beraksi kemudian FSM *Master*. Kemudian, dua transisi dibangkitkan, dan dua aksi saling memberi reaksi. Dua aksi ini harus digabungkan menjadi satu.

Trace dari aksi HFSM yang mungkin terjadi dapat dilihat pada tabel 2.2. Dalam contoh tabel tersebut dijelaskan juga bahwa dalam *state* β dan substate γ dan sinyal input α dalam kondisi present, aksi yang memicu slave FSM adalah “v” dan aksi yang memicu master FSM adalah “u”. Output dari HFSM tersebut adalah u dan v, dimana output sinyal u dan v dalam kondisi present. [2]

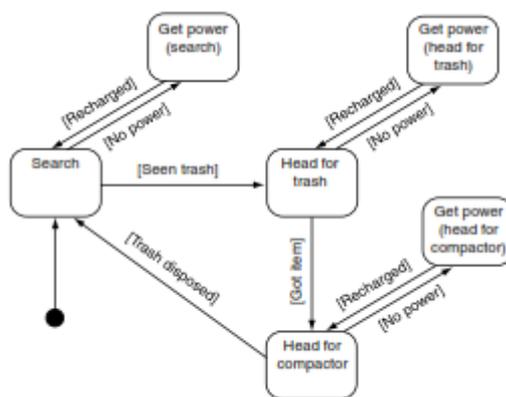
Tabel 2.2 Trace dari Hierarchical FSM

<i>Current State</i>	α	α	β, γ	β, δ	α	...
<i>a</i>	<i>present</i>	<i>absent</i>	<i>present</i>	<i>Absent</i>	<i>absent</i>	...
<i>b</i>	<i>absent</i>	<i>absent</i>	<i>absent</i>	<i>present</i>	<i>absent</i>	...
<i>Next State</i>	α	β, γ	β, δ	α	β, γ	...
<i>u</i>	<i>absent</i>	<i>present</i>	<i>present</i>	<i>absent</i>	<i>present</i>	...
<i>v</i>	<i>present</i>	<i>present</i>	<i>present</i>	<i>present</i>	<i>present</i>	...

Pada Gambar 2.13, HFSM hanya terdiri dari dua tingkatan. Namun, slave FSM dapat benar-benar menjadi HFSM yang lain. Dengan HFSM benar-benar mendorong setiap FSM yang ada didalamnya. Modularitas yang merupakan ciri

FSM tidak mengurangi kompleksitas dari desain, yang pada gilirannya mempermudah proses pembuatannya.[12]

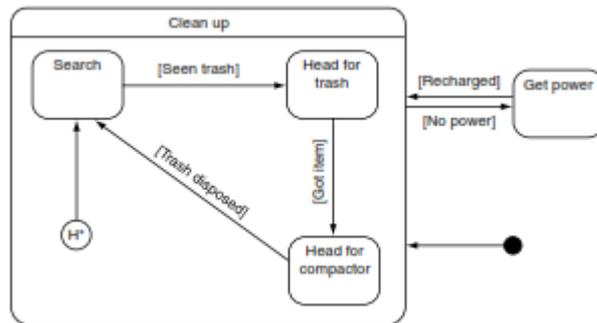
Contoh sederhana dari FSM dan HFSM adalah Alarm pada robot pembersih lantai. Robot pembersih lantai mempunyai *state machine* yang menggambarkan pola kerja robot yang ditunjukkan oleh Gambar 2.14. Robot pembersih lantai mempunyai *state* mencari objek sampah. Jika robot melihat sampah, robot akan menjalankan *state* berjalan menuju sampah. Jika sudah berada di posisi sampah, robot akan mengambil sampah dan menjalankan *state* berjalan menuju tempat sampah. Saat sampah sudah tidak ada di lantai, robot akan kembali menjalankan *state* mencari sampah. Gambar 2.14 merupakan gambar dari state robot pembersih sampah. Namun, robot bisa mendadak kehabisan power baterai. Sehingga robot akan mencari sumber listrik. Dalam kondisi ini, robot akan menjalankan *state* mencari sumber listrik. *State* mencari sumber listrik ini bisa muncul saat *state* mencari sampah, *state* berjalan menuju sampah, dan *state* mencari tempat sampah.



Gambar 2.14 Finite State Machine Robot Pencari Sampah [1]

Jika kita merujuk desain FSM awal yang ditunjukkan Gambar 2.14, kita akan melihat banyak transisi yang sama. Banyak sekali transisi yang *redundant* dan menyebabkan *Alarm Behaviour*. Karena menyebabkan banyak transisi perlu metode untuk meng-hierarki beberapa state dan membungkus dalam satu *state* besar. Mari kita lihat Gambar 2.15. Pada Gambar 2.15 *State* mencari sampah, *State*

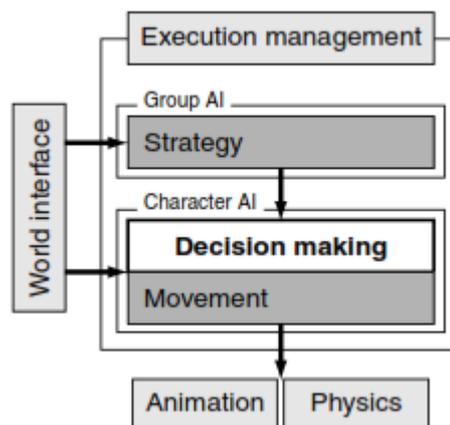
berjalan menuju sampah, *State* mencari tempat sampah disatukan dalam satu hierarki *State* besar yaitu *State Clean Up*.



Gambar 2.15 Hierarchical Finite State Machine Robot Pencari Sampah [1]

2.8 Decision Making (Membuat Keputusan)

Para *Developer* game terus berpikir mengenai *Artificial Intelligent* permainan dan mendesain *decision making* dari masing – masing karakter. *Decision making* merupakan bagian kecil agar permainan semakin *immersive* dan menarik. Gambar 2.16 merupakan gambaran umum *decision making* dalam pembuatan game. Metode yang sering dipakai untuk *Decision Making* adalah *state machine* dan *decision tree*. Namun dalam dekade terakhir ini kecendrungan itu bergeser ke metode fuzzy logic dan neural network. (Millington, 2006)



Gambar 2.16 Decision Making dalam game

Decision making adalah kajian mengidentifikasi dan pemilihan alternatif berdasarkan nilai dan prefensi (pilihan) dari pengambil keputusan.(Fulop). *Decision making* dapat juga diartikan sebagai proses pengurangan ketidakpastian dan keraguan dari alternatif untuk menghargai pilihan rasional yang harus diambil. (Harris, 1998). *Decision making* seharusnya diawali dengan identifikasi dari *decision makers* dan *stakeholder* di dalam keputusan, mengurangi kemungkinan pertentangan pendapat tentang persoalan definisi, syarat, goal, dan kriteria. Proses *decision making* secara umum dibagi dalam tahapan berikut.

Tahap 1. Menetapkan Persoalan

Tahap 2. Menetapkan Prasyarat

Tahap 3. Membuat goals.

Tahap 4. Mengedintifikasi alternatif

Tahap 5. Mendefinisikan kriteria

Tahap 6. Memilih alat *decision making*

Tahap 7. Evaluasi alternative terhadap kriteria

Tahap 8. Validasi solusi terhadap against pernyataan persoalan.

2.9 Rule based System

Rule based system digunakan sebagai cara untuk menyimpan dan memanipulasi data untuk menginterpretasikan informasi dalam cara yang bermanfaat. Rule based sering digunakan dalam aplikasi kecerdasan buatan dan penelitian [5]. Sedangkan menurut Ajitd Abraham, *Rule based* sistem sering juga disebut dengan *expert* sistem. Sistem *rule based* digunakan sebagai salah satu cara untuk menyimpan dan memanipulasi pengetahuan untuk diwujudkan suatu informasi yang dapat membantu dalam menyelesaikan berbagai permasalahan. Sistem *rule based* mampu menjelaskan proses penalaran dan menyelesaikan tingkat kepercayaan dan ketidakpastian, dimana algoritma konvensional tidak bisa

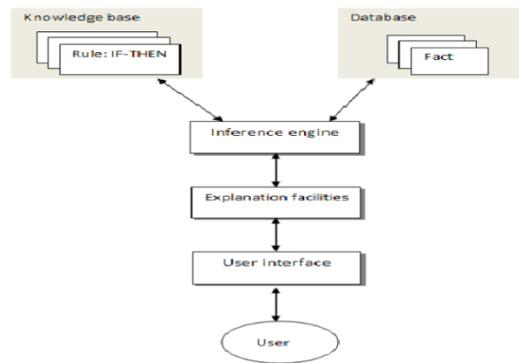
menyelesaikannya. [13]. Beberapa keuntungan penting dari sistem rule based adalah sebagai berikut:

1. Memiliki kemampuan untuk menangkap dan mempertahankan pengalaman manusia yang tak tergantikan.
2. Memiliki kemampuan untuk mengembangkan sistem yang lebih konsisten daripada manusia.
3. Mampu meminimalisir keahlian manusia yang diperlukan di sejumlah lokasi pada waktu yang sama (terutama di lingkungan yang berbahaya bagi kesehatan manusia).
4. Mampu memberikan solusi yang lebih cepat dari manusia

Sistem *rule based* adalah sebuah sistem *expert* yang menggunakan *rule* untuk membuat pemotongan atau pilihan. Sebagai contoh, sebuah sistem dapat membantu dokter memilih diagnosis yang benar berdasarkan pada sekelompok gejala, atau pemilihan langkah taktis untuk bermain game. Sebuah sistem rule based memiliki lima komponen dasar [15] :

1. *Knowledge base*: berisi aturan-aturan dasar pengetahuan ahli tentang dasar masalah. Knowledge base sering juga disebut dengan rule base.
2. Database : berisi kumpulan fakta yang diketahui tentang masalah yang sedang diselesaikan.
3. Mesin inference : melakukan proses *inference* dengan menghubungkan aturan dengan fakta yang diketahui untuk mendapatkan solusi.
4. *Explanation facilities*: memberikan informasi kepada pengguna tentang langkah-langkah penalaran yang sedang diikuti.
5. *User interface* : komunikasi antara pengguna dan sistem.

Diagram blok dari sistem *rule based* dapat dijelaskan pada Gambar 2.17 di bawah ini.



Gambar 2.17 Blok Diagram Sistem *Rule Based*

Bagian dari rule setelah if disebut premis yang berisi "subgoal". Bagian dari rule setelah then disebut kesimpulan. Kumpulan dari sebuah rule memungkinkan berisi beberapa subgoal yang dikombinasikan dengan and atau or. Dimana and dan or tidak bisa digunakan bersama dalam rule yang sama. Struktur dari rulebase terdiri atas [15]:

1. A set of rules,
2. A set of prompts untuk user input,
3. Satu atau lebih goals, dengan optional nilai default

Proses *inferensi* yang digunakan dalam sistem rulebase adalah inferensi deduktif. Disini berarti bahwa aturan logika yang digunakan untuk menyimpulkan pengetahuan baru dari pengetahuan dan rule yang ada. Sebuah sistem *rule based* terdiri dari aturan if-then, sekelompok fakta, dan seorang penerjemah yang mengendalikan penerapan rule-rule, memberikan fakta-fakta[13]. Dalam hal ini pernyataan aturan if-then digunakan untuk merumuskan laporan kondisional yang terdiri lengkap dasar pengetahuan. Sebuah aturan if-then mengasumsikan bentuk 'if x is A then y is B' dan bagian dari aturan 'x is A' disebut anteseden atau premis, sedangkan then merupakan bagian dari perintah 'y is B' yang disebut konsekuen atau kesimpulan. Ada dua jenis mesin inferensi yang digunakan dalam aturan berbasis sistem, yaitu: sistem forward chaining dan backward chaining.

Dalam sistem *forward chaining*, fakta-fakta awal diproses pertama, dan tetap menggunakan aturan untuk menarik kesimpulan baru mengenai fakta-fakta

tersebut. Dalam sistem *backward chaining*, hipotesis (solusi/tujuan) adalah hal pertama yang dilakukan dan terus mencari rule-rule yang memungkinkan dalam proses menyimpulkan hipotesis itu. Dalam proses pengolahan, sub tujuan baru juga ditetapkan untuk mendapatkan validasi. Forward chaining adalah sistem utama dari data-driven, sementara backward chaining adalah sistem utama dari goal-driven.

Langkah-langkah dalam proses pengembangan sistem rule based untuk menentukan persyaratan yang sebenarnya terdiri dari akuisisi pengetahuan, membangun komponen sistem rule based, mengimplementasikan hasil, dan merumuskan prosedur untuk pemeliharaan dan peninjauan [13].

2.10 Permainan DWIPA YUDHA

Permainan DWIPA YUDHA adalah game bergenre RTS (*Real Time Strategy*). Cara bermain Permainan DWIPA YUDHA seperti game RTS pada umumnya dimana pemain (*Player*) membangun sebuah desa dilengkapi *Castle*, bangunan sumber daya, bangunan pertahanan, pasukan perang. Pemain dituntut berpikir menggunakan strategi melibatkan pengaturan perang, pasukan, pembangunan gedung dan sebagainya.



Gambar 2.18 Logo game DwipaYudha

Permainan DWIPA YUDHA merujuk game RTS *Clash of Clans* namun memiliki ciri khas berbeda. Permainan DWIPA YUDHA mengadopsi budaya Indonesia dengan fokus suku - suku Indonesia. Dalam Permainan DWIPA YUDHA, terdapat beberapa suku dimana setiap suku memiliki Pahlawan. Selain memiliki pahlawan, Permainan DWIPA YUDHA juga memiliki bangunan pertahanan. Bangunan Pertahanan inilah yang menjadi bahan penelitian mengenai desain perilaku bangunan pertahanan. Bangunan Pertahanan dalam Permainan

DWIPA YUDHA berfungsi untuk menjaga desa pemain dari serangan musuh. Musuh kerap masuk ke desa untuk berbagai tujuan diantaranya mencuri sumber daya, mencari tropi piala, atau menaklukkan desa dalam status peperangan antar clan. Dalam Permainan DWIPA YUDHA, Bangunan Pertahanan memprioritaskan dalam memilih musuh terkuat kemudian musuh yang lemah.



Gambar 2.19 Game Dwipa Yudha melambangkan keragaman suku Indonesia

Skenario bangunan pertahanan dalam Permainan DWIPA YUDHA adalah mula - mula bangunan pertahanan terkunci (*locked*) dalam keranjang belanja permainan. Jika pemain (*Player*) sudah memiliki cukup gold, pemain bisa membeli bangunan pertahanan dan meletakkannya dalam base Permainan. Bangunan pertahanan sebaiknya diletakkan di samping *Town Hall* atau *Castle* Kerajaan. Hal ini bertujuan untuk menyelamatkan desa pemain dari sasaran pemain lain. Ataupun Bangunan Pertahanan bisa diletakkan di samping storage gold atau storage makanan untuk melindungi storage dari sergapan pencuri.

Pemain (*Player*) harus mempertahankan base permainannya agar *Town Hall* tidak hancur atau bangunan - bangunan lainnya tidak hancur mencapai 50 persen. Jika *Town Hall* hancur pemain kehilangan satu bintang begitu juga jika bangunan - bangunan hancur mencapai 50 persen, pemain juga kehilangan satu bintang.

2.11 NPC Bangunan Pertahanan (Tower) dalam *Clash Of Clans* (CoC)

Penelitian ini ditunjukkan pada NPC Pertahanan dengan pola penyerangan NPC yang variatif terhadap lawan dan *Clash of Clans* (CoC) adalah rujukan dalam penelitian ini. NPC Pertahanan digunakan untuk menyerang pasukan musuh untuk mempertahankan wilayah dari serangan lawan baik saat kondisi Farming Base maupun War Base. Dalam permainan CoC, terdapat beberapa NPC Pertahanan. Masing - masing NPC memiliki kemampuan dan ciri yang berbeda. Pemain dapat meningkatkan kemampuan agen atau NPC Pertahanan dengan mengumpulkan sejumlah Emas tertentu. Berikut adalah NPC pertahanan dalam game *Clash of Clans* (CoC) yang melakukan penyerangan terhadap musuh.

2.11.1 Cannon

Cannon adalah Bangunan pertahanan pertama dalam permainan CoC. *Cannon* memiliki kecepatan serangan tinggi dan memiliki daya jangkauan yang lumayan jauh. *Cannon* sangat berguna untuk menahan serangan pasukan musuh seperti *Giant* agar tidak menyerang bangunan pertahanan lain. Salah satu kelemahan *Cannon* adalah tidak bisa menyerang unit udara seperti Pasukan Naga dan Minion. Selain itu karena kemampuan *Cannon* hanya mampu menembak satu unit sekali waktu. Sehingga *Cannon* sangat mudah dihancurkan oleh sekelompok Barbarian atau Archer. Cannon dalam Game *Clash of Clans* (CoC) mempunyai tingkatan level. Kenaikan level yang cannon miliki merubah parameter besarnya *damage*, kekuatan Hitpoint (HP). Gambar 2.20 adalah gambar NPC Cannon dalam game *Clash of Clans* (CoC) beserta perubahan bentuk dalam berbagai tingkatan level.



Gambar 2.20 Cannon dalam game *Clash of Clans*

2.11.2 Archer Tower

Archer Tower adalah Bangunan pertahanan yang multifungsi. Mereka mampu menyerang musuh baik jenis darat maupun jenis udara. Karena memiliki kemampuan lebih dibandingkan Cannon, Alangkah baiknya meningkatkan kemampuan upgrade *Archer Tower* terlebih dahulu dibandingkan Cannon. Namun, karena kemampuan *Archer Tower* menembak satu unit dalam sekali waktu. *Archer Tower* dengan mudah dihancurkan segerombolan Pasukan Barbarian atau Segerombolan Pasukan Ballon. *Archer Tower* dalam Game *Clash of Clans* (CoC) mempunyai tingkatan level. Kenaikan level yang archer tower miliki merubah parameter besarnya *damage*, kekuatan *Hitpoint* (HP). Gambar 2.21 adalah gambar NPC Archer Tower dalam game *Clash of Clans* (CoC) beserta perubahan bentuk dalam berbagai tingkatan level.



Gambar 2.21 Archer Tower dalam CoC

2.11.3 Wizard Tower

Wizard Tower adalah menara kerucut berbalut kristal. Pada Ujung Menara, terdapat Seorang Wizard (penyihir) akan menyerang musuh. Wizard Tower menimbulkan kerusakan kuat pada unit darat maupun udara. Salah satu kekuatan Wizard Tower adalah kecepatan serangan yang tinggi dan daya rusak yang dahsyat. Selain itu, mampu merusakkan beberapa unit dalam sekali serangan (*splash attack*). Kelemahan Wizard Tower adalah daya jangkauan yang lebih terbatas dibandingkan Cannon. Wizard Tower dalam Game Clash Of Clans (CoC) mempunyai tingkatan level. Kenaikan level wizard tower merubah

parameter besarnya damage, dan kekuatan *Hitpoint* (HP). Gambar 2.22 adalah gambar NPC Wizard Tower dalam game *Clash of Clans* (CoC) beserta perubahan bentuk dalam berbagai tingkatan level.



Gambar 2.22 Wizard Tower dalam Game CoC

2.11.4 Mortar (Pelontar)

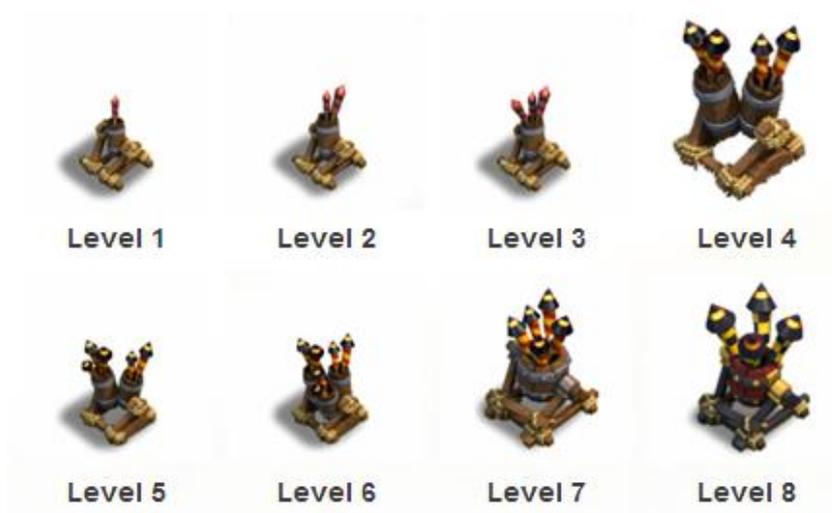
Mortar adalah Bangunan pertahanan berat. Mortar memiliki daya rusak tinggi per serangan dan dapat menyerang beberapa unit dalam sekali serang. Dengan kemampuan yang dimiliki, Mortar menjadi musuh utama bagi musuh lemah seperti Barbarian, Archer dan Goblin. Kelemahan Mortar adalah ketidakmampuan menyerang jarak dekat dan kecepatan serangan yang rendah. Serangan Mortar yang cenderung lama membuat pasukan yang bergerak cepat seperti goblin dapat dengan mudah menghindari serangannya. Kelemahan berikutnya adalah Mortar tidak bisa menyerang unit udara. Archer Tower dalam Game *Clash of Clans* (CoC) mempunyai tingkatan level. Kenaikan level mortar merubah parameter besarnya damage dan kekuatan *Hitpoint* (HP). Gambar 2.23 adalah gambar NPC Mortar dalam game *Clash of Clans* (CoC) beserta perubahan bentuk dalam berbagai tingkatan level.



Gambar 2.23 Mortar

2.11.5 Air Defense

Air Defense adalah bangunan pertahanan khusus udara. Kemampuan *Air Defense* dalam menyerang unit udara sangat kuat. *Air Defense* hanya dapat menembak satu pasukan udara tiap serangan. Serangan *Air Defense* cukup jauh dan memiliki daya rusak yang tinggi. Musuh utama *Air Defense* adalah segerombolan pasukan balon dan pasukan *Lava Hound*. NPC *Air Defense* dalam Game *Clash of Clans* (CoC) mempunyai tingkatan level. Kenaikan level NPC *Air Defense* merubah nilai parameter besarnya damage, kekuatan Hitpoint (HP). Gambar 2.24 adalah gambar NPC *Air Defense* dalam game *Clash of Clans* (CoC) beserta perubahan bentuk dalam berbagai tingkatan level.



Gambar 2.24 Air Defense

2.11.6 Hidden Tesla

Hidden Tesla adalah Unit Bangunan Pertahanan dengan senjata Listrik. Hidden Tesla dapat menyerang unit udara dan unit darat. Hidden Tesla tidak akan terlihat saat musuh telah mendekati wilayah areanya dan inilah salah satu keunggulan *Hidden Tesla*. *Hidden Tesla* memiliki daya rusak yang sangat tinggi dan akan menjadi 1,5 kali lebih tinggi jika berhadapan dengan pasukan P.E.K.K.A. NPC *Hidden Tesla* dalam Game *Clash Of Clans* (CoC) mempunyai tingkatan level. Kenaikan level NPC *Hidden Tesla* merubah nilai parameter besarnya damage, kekuatan Hitpoint (HP). Gambar 2.24 adalah gambar NPC *Hidden Tesla* dalam game *Clash of Clans* (CoC) beserta perubahan bentuk dalam berbagai tingkatan level.



Gambar 2.25 Hidden Tesla

2.11.7 X-Bow

X-Bow adalah Bangunan Defense yang memiliki kecepatan serangan sangat tinggi. X-Bow dapat diatur bisa menyerang unit udara dan darat atau hanya menyerang unit darat saja. Jika diatur menyerang darat, X-Bow memiliki daya jangkau lebih luas dibandingkan X-Bow yang diatur menyerang serangan udara dan darat. X-Bow menjadi musuh bagi semua pasukan baik pasukan kuat ataupun pasukan lemah. X-Bow bisa dikalahkan dengan sekelompok Giant, Golem, dan Wizard level tinggi.



Gambar 2.26 X-bow dalam game *Clash of Clans* (CoC)

2.11.8 Inferno Tower

Inferno Tower adalah Bangunan pertahanan dengan kekuatan cahaya cermin. Daya rusaknya sangat kuat dan hanya bisa dihancurkan dengan melemparkan spell Freze. *Inferno Tower* dapat dimainkan saat level permainan level sudah mencapai Town Hall Level 10 (Maksimal).



Gambar 2.27 Inferno Tower dalam game *Clash of Clans* (CoC)

2.11.9 Jebakan

Dalam Permainan *Clash of Clans*, Terdapat dua jenis jebakan. Jebakan Unit Darat dan Unit Udara. Jebakan Unit Darat terdiri dari *Spring Trap*, *Giant Bomb*, dan *Bomb*. Jebakan Unit Udara terdiri dari *Air Bomb* dan *Seeking Air Mine*. Dan jebakan yang bisa menyerang wilayah udara atau darat adalah *Skeleton Trap* berdasarkan pengaturan *player*. Jebakan dalam *Clash of Clans* bersifat hidden dan akan nampak saat memasuki wilayah jebakan.

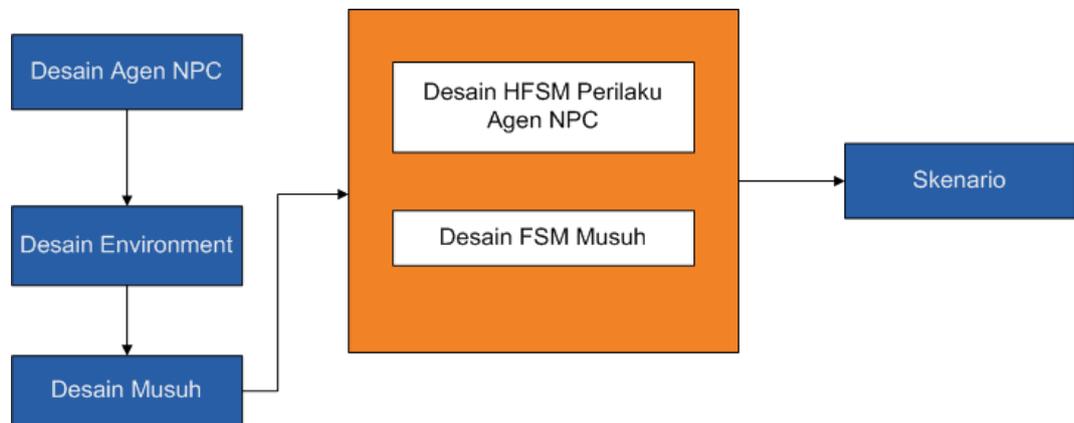


Gambar 2.28 Jebakan dalam game *Clash of Clans*

BAB III

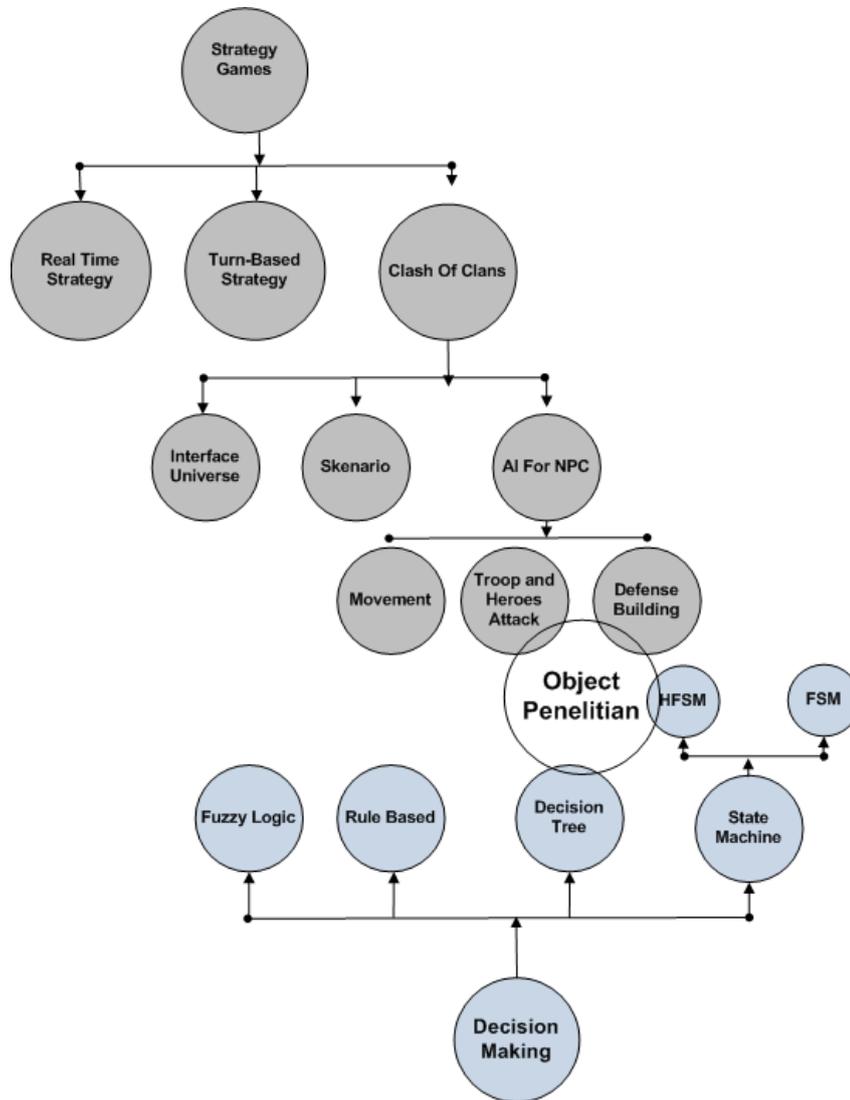
METODOLOGI PENELITIAN

Untuk menyelesaikan penelitian ini, diawali dengan mempelajari dan memahami beberapa teori yang berhubungan dengan konsep *artificial intelligent* meliputi tingkah laku NPC Banguna Pertahanan. Pada bab ini akan dijelaskan tentang metodologi penelitian yang digunakan untuk menyelesaikan penelitian ini. Tahapan-tahapan dari sistem sangat menentukan keberhasilan penelitian. Gambar 3.1 merupakan Diagram alur penelitian yang menggambarkan tahapan-tahapan yang dilakukan penulis untuk menyelesaikan penelitian ini.



Gambar 3.1 Diagram Alur Metodologi penelitian

Tujuan umum penelitian ini adalah membangun proyek besar permainan DWIPA YUDHA yang mengikuti *genre* permainan *Real Time Strategy* yang terdiri beberapa riset penelitian. Sedangkan tujuan khususnya adalah menciptakan pola perilaku NPC Saat *Combat Defense*. Penulis melakukan penelitian permainan DWIPA YUDHA sub-bagian *Attack – Defense* dengan penelitian khusus Bangunan Pertahanan (*Defense Building*). Pemberian ruang lingkup penelitian ditujukan agar penelitian lebih terarah dan lebih fokus. Gambar 3.2 merupakan pohon penelitian yang menjelaskan gambaran besar penelitian permainan DWIPA YUDHA. Sebagian besar rujukan permainan DWIPA YUDHA adalah game *Clash of Clans* (CoC), *Age of Empires* (AoE), dan game real time Bomb Beach.



Gambar 3.2 Pohon Penelitian

3.1 *Test-bed* Penelitian

Test-bed penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah simulasi permainan dengan menggunakan *Unity 5.0*, Sebuah *Game Engine* yang dikembangkan oleh *Unity Technologies*. Tujuan dari *Test-bed* ini adalah mensimulasi dan mengimplementasikan metode yang sedang dikembangkan sehingga diperoleh hasil pendekatan dari metode tersebut.

3.1.1 Deskripsi Permainan DWIPA YUDHA

Permainan DWIPA YUDHA adalah Permainan RTS (*Real Time Strategy*) yang terdiri dari *map*, sumber daya, tower, pasukan perang, *town hall*. Tujuan utama dari permainan ini seperti game RTS umumnya yakni *build and conquer* (Membangun desa semaksimal mungkin dan menaklukkan desa lain).

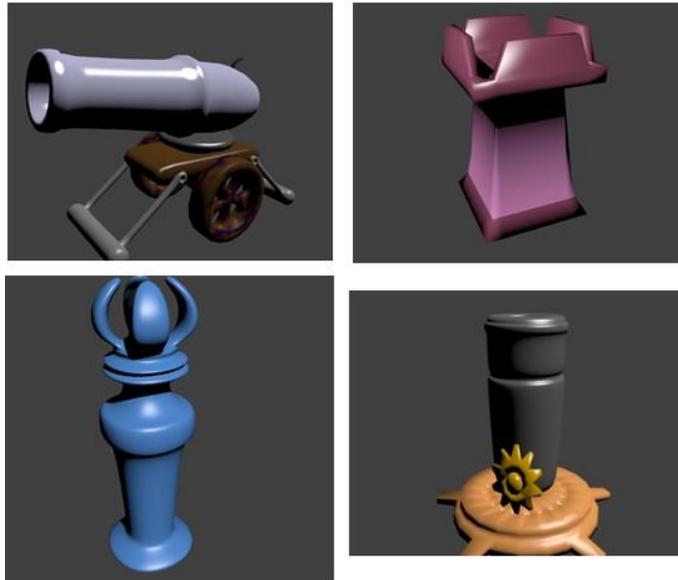
3.1.2 Desain NPC Bangunan Pertahanan

Test bed dalam penelitian ini dalam lingkup peperangan dalam permainan (combat) dengan spesifik project NPC Tower Bangunan Pertahanan (*Tower*). Setiap NPC memiliki property parameter *Damage*, *Attack speed*, *Attack ranged*, *Hitpoint*, Perilaku, dan Tipe serangan NPC terhadap musuh. Karena NPC Bangunan pertahanan permainan DWIPA YUDHA tower yang bersifat statis, NPC tidak memiliki parameter *speed*.

NPC Bangunan Pertahanan dalam permainan DWIPA YUDHA terdiri dari empat unit NPC yakni NPC Kamandaka, NPC Gandewa Tower, NPC Gayatri Tower, dan NPC Adikara. Keempat NPC Defense tersebut diilustrasikan pada Gambar 3.3.

NPC Defense Kamandaka adalah NPC Pertahanan Game Dwipa Yudha berjenis meriam. NPC Pertahanan Kamandaka berfungsi untuk menghadang musuh dari dekat dengan Damage per Shoot yang besar. NPC Pertahanan Kamandaka mempunyai wilayah jangkauan 10 Tiles. Perilaku NPC Pertahanan Kamandaka adalah menyerang kuat dan menyerang normal. Statistik kemampuan NPC Defense Kamandaka dijelaskan lebih detail pada tabel 3.1

NPC Defense Gandewa Tower adalah NPC Pertahanan Game Dwipa Yudha berjenis pemanah. NPC Oragstra terdiri dari pemanah yang berdiri di atas tower. NPC Pertahanan Gandewa Tower berfungsi untuk menghadang musuh dari jarak jauh namun memiliki Damage per Shoot lebih kecil dari Kamandaka. NPC Pertahanan Gandewa Tower mempunyai wilayah jangkauan 11 Tiles. Berbeda dengan Kamandaka, Gandewa Tower bisa menyerang musuh yang menyerang melalui udara. Perilaku NPC Pertahanan Gandewa Tower adalah menyerang kuat, menyerang normal dan Skill khusus.



Gambar 3.3 NPC Pertahanan dalam game Dwipa Yudha

NPC Defense Gayatri Tower adalah NPC Pertahanan Game Dwipa Yudha berjenis penyihir. NPC Gayatri Tower berbentuk Tower yang bisa mengeluarkan sihir saat musuh mendekatinya. NPC Gayatri Tower berfungsi untuk menghadang musuh dari jarak dekat dengan kemampuan splash area. NPC Defense Gayatri Tower mempunyai wilayah jangkauan 9 Tiles. Damage per Shoot (DPS) Gayatri Tower lebih besar dari NPC Gayatri Tower. Adapun Perilaku NPC Defense Gayatri Tower adalah menyerang kuat, menyerang normal dan skill khusus.

NPC Defense Adikara adalah NPC Pertahanan Game Dwipa Yudha berjenis Mortir. NPC Adikara menyerang musuh jarak jauh dengan daya rusak yang tinggi. Namun Adikara memiliki kecepatan serangan yang lebih lambat dibanding NPC lainnya. NPC Adikara mempunyai area jangkauan 13 Tile dengan Damage per Shoot 18.

Tabel 3.1 Statistik Nilai NPC Pertahanan

No	Parameter NPC	Kamandaka	Gandewa Tower	Gayatri Tower	Adikara
1	<i>Damage</i>	10	7	13	18
2	<i>Attack Speed</i>	0.9 s	0.5 s	1.2 s	4 s

No	Parameter NPC	Kamandaka	Gandewa Tower	Gayatri Tower	Adikara
3	<i>Attack Ranged</i>	10	11	8	15
4	Tipe Serangan	Single Attack	Single Attack	Splash Area	Splash Area
5	<i>Hit Point</i>	450	325	570	400
6	Perilaku NPC	Menyerang Normal, Menyerang Kuat, dan Skill Unik	Menyerang Normal, Menyerang Kuat, dan Skill Unik	Menyerang Normal, Menyerang Kuat, dan Skill Unik	Menyerang Normal, dan Menyerang Kuat

3.1.3 Desain NPC Musuh

Selain merancang NPC Bangunan Pertahanan, penelitian ini juga mendesain NPC Musuh untuk pengujian skenario peperangan (*battle*). Terdapat dua kategori NPC Musuh yakni NPC Musuh Prajurit dan NPC Musuh Pahlawan. NPC Musuh Prajurit terdapat 3 jenis item dan NPC Musuh Pahlawan terdapat 3 jenis item. Tiga jenis item NPC Prajurit adalah Prajurit pedang (*sakera*), prajurit panah (*gandewa*), dan prajurit sihir (*gayatri*). Dan tiga jenis NPC Pahlawan adalah Pahlawan Pedang (*Batara Maheswara*), Pahlawan Pemanah (*Wira Ogastra*), dan Pahlawan Penyembuh (*Kirna Warangani*).



Gambar 3.4 Desain Hero Pada Game Dwipa Yudha

Adapun statistik kemampuan masing – masing Pahlawan dan Pasukan musuh tersaji lengkap seperti yang ditunjukkan Tabel 3.2 di bawah ini:

Tabel 3.2 Statistik kemampuan Hero

	Batara Maheswara (Hero Pedang)		Wira Gayatri Tower (Hero Pemanah)		Kirna Waranggani (Hero Sihir)	
	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Damage	20	30	7	13	8	12
Armor	5	5	4	5	2	3
HP	100	120	50	70	50	60
Attack Speed	1/s	2/s	2/s	2/s	1/s	1/s
MS	1	2	2	2	2	3
Training Cost	-	-	-	-	-	-
Training Time	200s	-	40 s	45 s	20 s	30 s
Research Cost	-	5*Swordsman		5*Archer		5*Dukun
Research Time	-	500 s	-	500 s	-	215
Attack Range	1	1	6	6	6	8
Revival Time	250	350	250	350	250	350



Gambar 3.5 Karakter Pasukan

Tabel 3.3 Statistik Nilai Parameter NPC Pasukan

	Sakera (Pasukan Pedang)		Gandewa (Pasukan Panah)		Gayatri (Pasukan Sihir)	
	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Damage	10	12	7	8	5	5
Armor	5	5	2	3	2	3
HP	40	50	40	40	40	50
Attack Speed	1/s	2/s	1/s	1/s	1/s	1/s
MS	1	2	2	3	4	4

	Sakera (Pasukan Pedang)		Gandewa (Pasukan Panah)		Gayatri (Pasukan Sihir)	
	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2	Level 1	Level 2
Training Cost	-	-	-	-	-	-
Training Time	30 s	35 s	25 s	30 s	30 s	30 s
Research Cost						
Research Time	-	200 s	-	160 s	-	200 s
Attack Range	1	1	4	4	4	4

3.1.4 Desain Environment Game

Simulasi Permainan DWIPA YUDHA dijalankan pada *Game Engine Unity* dimensi 3. Permainan DWIPA YUDHA diumpamakan sebuah desa di tengah hutan. Desain *Environment* Permainan DWIPA YUDHA ditunjukkan Gambar 3.6. *Player* memainkan permainan ini merancang strategi membangun desa yang kokoh dan kuat. Di dalam desain *Environment* tersebut terdapat NPC Tower dan NPC Enemy untuk simulasi skenario *Combat Defense* penelitian ini.

Agen NPC bangunan defense diletakkan pada koordinat tertentu beserta agen NPC musuh. NPC musuh akan mencari NPC bangunan defense sedangkan NPC bangunan defense akan menembak NPC musuh tersebut.



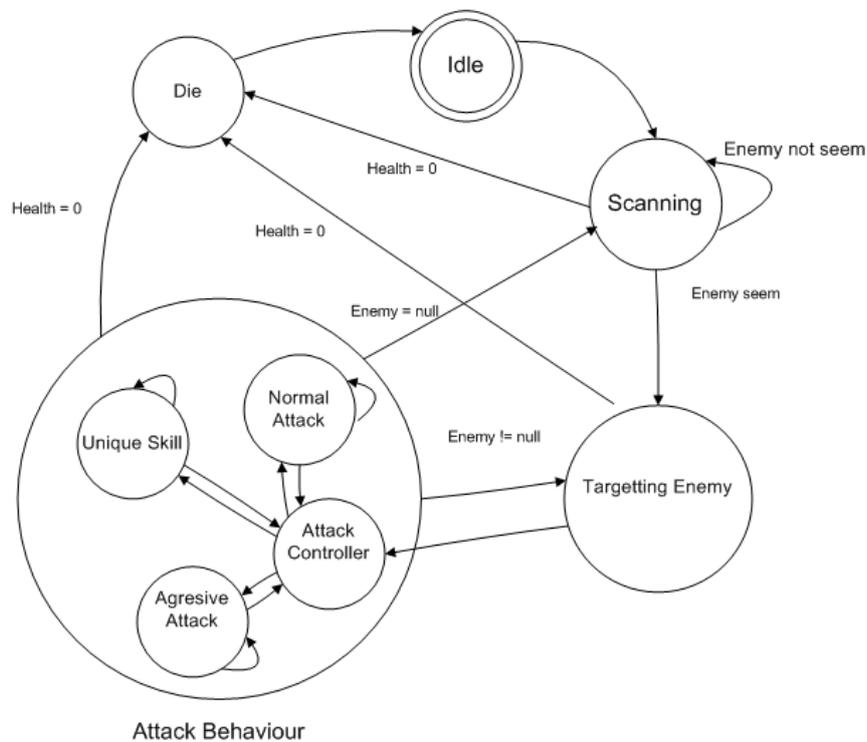
Gambar 3.6 Environment Game DWIPA YUDHA

3.1.5 Desain HFSM Agen NPC Bangunan Pertahanan

Penelitian ini menggunakan metode Hierarchical Finite State Machine (HFSM) untuk mendesain perilaku NPC. Selain Metode HFSM yang digunakan untuk merancang perilaku NPC, juga disematkan Sistem *Rule Based* sebagai *decision making* NPC ketika menghadapi berbagai jenis musuh yang berupaya menyerang desa. Bagaimanapun tidak hanya parameter nyawa, nyawa musuh, jenis musuh.

Dalam permainan Game Dwipa Yudha, Perilaku NPC Bangunan Pertahanan digambarkan dalam bentuk HFSM (*Hierarchical Finite State Machine*) proses permainannya. Berikut adalah HFSM dari NPC Bangunan Pertahanan Pada Game DWIPA YUDHA:

1. NPC Pertahanan diletakkan dalam posisi tertentu sesuai strategi pemain (*Player*) merupakan state awal dengan status *respawn*.
2. Ketika permainan sudah dimulai, NPC berpindah ke kondisi state pola bermain dengan beberapa kondisi state. Yaitu kondisi *idle*, *Scanning Area*, *Targetting Enemy*, *NPC Behaviour Selection*, dan *Attack Enemy*.
3. Saat state *Scanning Area*, NPC pertahanan yang bersifat statis menunggu musuh yang datang memasuki wilayah *Line of Sight (LOS)* NPC. State *Scanning Area* terdiri atas dua state yakni state menunggu musuh dan mengecek kondisi lingkungan.
4. State berikutnya adalah state saat NPC Musuh memasuki LOS NPC Pertahanan, NPC Pertahanan akan memilih musuh berdasarkan tingkat bahaya musuh (*Degree Of Danger*).
5. State berikutnya adalah pemilihan perilaku NPC Pertahanan dalam menghadapi NPC musuh. Pada kondisi State ini terdiri dari beberapa state Menyerang Kuat, Menyerang normal atau Menyerang dengan skill khusus.

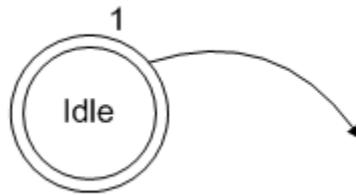


Gambar 3.7 HFSM NPC Pertahanan

6. Setelah memilih jenis perilaku yang tepat, state berikutnya adalah state menyerang musuh.
7. State berikutnya adalah state pengecekan nyawa NPC. Jika NPC masih memiliki nyawa, state berikutnya adalah kembali kepada state Scanning Area. Sebaliknya, Jika nyawa NPC habis atau NPC kalah saat bertarung, NPC akan mati.

3.1.5.1 State Idle

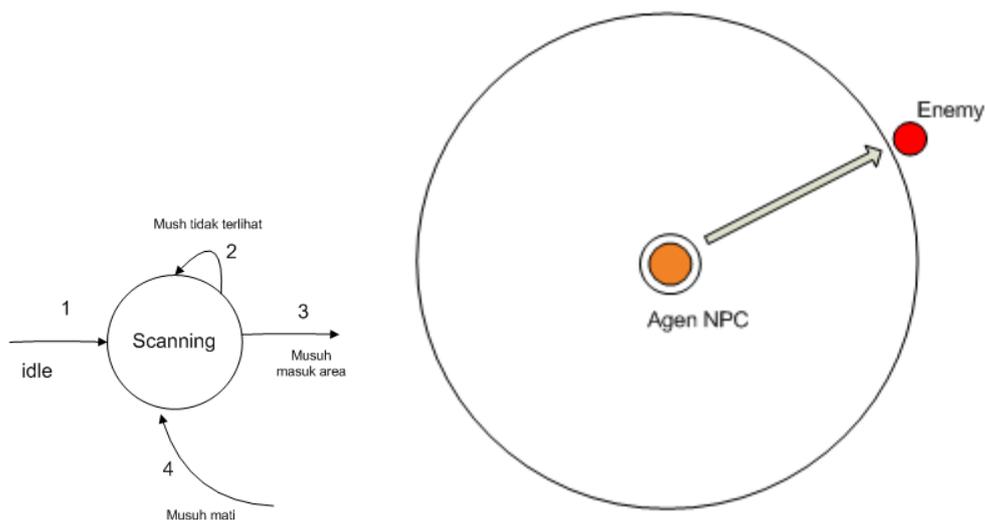
State ini adalah state mula – mula saat game dijalankan. Idle juga bisa diartikan State Default dari permainan. Saat state ini NPC tidak melakukan apa – apa. Tidak bergerak, tidak lari, tidak melompat, dan melakukan aksi apapun. Setelah state idle, NPC akan berpindah menuju state scanning. State Idle ditunjukkan Gambar 3.8



Gambar 3.8 State Idle

3.1.5.2 Scanning State (Memindai Area)

State Scanning adalah *state* memindai daerah. NPC pertahanan yang bersifat statis menunggu musuh yang datang memasuki wilayah *Line Of Sight* (LOS) NPC Seperti yang ditunjukkan Gambar 3.9. *State Scanning* merupakan luaran dari State Idle ditandai dengan nomor 1 sebagai rujukan. Jika tidak ada musuh yang datang, NPC akan tetap menjalankan perintah *scanning* hingga musuh masuk Seperti yang ditunjukkan nomor 2 pada gambar. Jika musuh sudah terlihat dan memasuki daerah, *State* akan berpindah ke *selecting state* seperti yang ditunjukkan nomor 3. Juga terdapat masukan lain yang menuju *State Scanning* yaitu nomor 4 yang menjelaskan bahwa ketika musuh ketika udah mati dan nyawa NPC masih ada maka akan kembali ke *State Scanning*.



Gambar 3.9 *State Scanning* NPC (kiri) dan Ilustrasi NPC memindai musuh (kanan)

NPC *Bangunan Defense* akan menghitung jarak magnitude dari posisi asal NPC dirinya terhadap NPC musuh. Untuk mencari nilai jarak

magnitude tersebut digunakan rumus akar dari penjumlahan kuadrat nilai x, nilai y, dan nilai z.

$$\text{Jarak Magnitude} = \sqrt{(x'_i - x_g)^2 + (y'_i - y_g)^2 + (z'_i - z_g)^2} \quad (3.1)$$

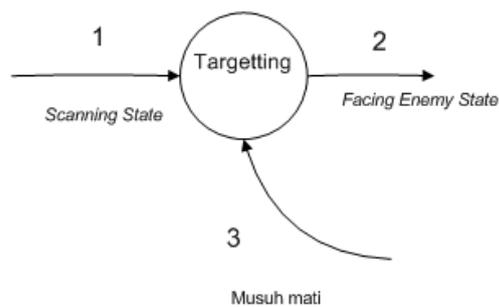
Dimana:

- x_i adalah koordinat posisi NPC Bangunan defense dalam koordinat x;
- y_i adalah koordinat posisi NPC Bangunan defense dalam koordinat y;
- z_i koordinat posisi NPC Bangunan defense dalam koordinat z;

Sedangkan x_g , y_g , dan z_g adalah koordinat posisi musuh dalam sumbu koordinat x,y, dan z.

3.1.5.3 State Target Musuh

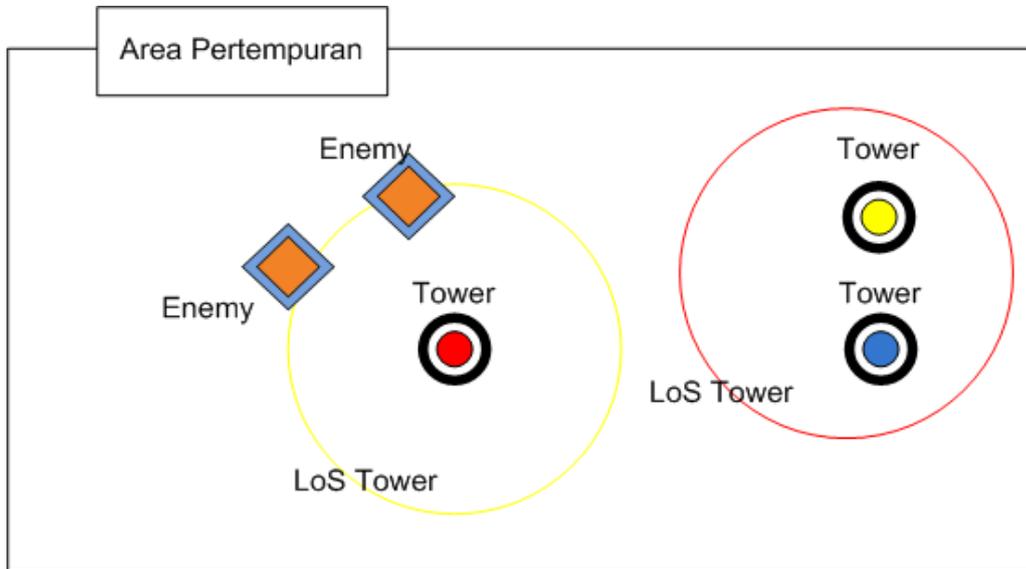
State targeting adalah *state* memilih musuh yang memasuki wilayah LOS NPC Tower jika banyak musuh yang ada dalam wilayah. Jika hanya ada satu, maka musuh tersebut yang menjadi target. Dalam *State targeting* terdapat masukan dari *State Scanning*. Setelah memilih musuh, sistem akan berpindah dari *state targeting* menuju *state facing enemy*. Jika dalam area NPC tersebut masih ada musuh, NPC akan kembali membidik musuh yang akan dijadikan target selanjutnya.



Gambar 3.10 State Targetting

NPC Bangunan Pertahanan (*Tower*) dalam permainan DWIPA YUDHA akan menghadapi musuh – musuh. Pada sistemnya, NPC Tower akan memilih musuh yang pertama kali masuk dan menyerang yang terdekat (*nearest*). Namun, jika dalam kurun waktu yang sama terdapat beberapa musuh dan berbeda jenis serta

memiliki nyawa yang berbeda – beda. Maka, NPC akan memilih target musuh berdasarkan tingkat bahaya musuh (*Degree of Danger*). Pemilihan target serangan juga saling berkaitan dengan jenis perilaku yang dipilih oleh NPC Tower.



Gambar 3.11 NPC Tower memilih musuh

Tingkat bahaya musuh (*degree of danger*) menggunakan tiga parameter yakni kesehatan musuh, jenis musuh dan jarak. Keterangan lebih lengkap mengenai tiga parameter degree of danger dapat dilihat pada table 3.4.

Tabel 3.4 Nilai Parameter Degree Of Danger

No	Parameter	Nilai Parameter	Nilai DoD
1	Nyawa Musuh (HP)	HP > 66	1
		33 < HP < 66	2
		HP < 33	3
2	Jenis Musuh (ID <i>Enemy</i>)	Pedang	1
		Pemananh	2
		Penyembuh (<i>Healer</i>)	3
		Hero	4
3	Jarak Musuh	Jauh	1
		Dekat	2

Ketiga parameter ini dijumlahkan dan akan menghasilkan nilai tertentu misalkan D_1 . Nilai D_1 akan dibandingkan dengan hasil penjumlahan nilai lainnya misalkan D_2 . Dari kedua nilai D_1 dan D_2 ini, diambil nilai yang paling besar. Dan berikutnya menjadi sasaran pertama yang diserang NPC *Tower*. Misalkan dalam suatu waktu Sebuah *Tower* menghadapi tiga musuh. Musuh pertama adalah pemanah dengan nyawa sebesar 20 dengan jarak jauh dan musuh kedua adalah jenis musuh pedang dengan nyawa sebesar 70 dengan jarak dekat. Musuh ketiga adalah Hero dengan nyawa sebesar 50 dengan jarak dekat. Untuk lebih mudah menganalisa, kita bisa melihat tabel 3.5 di bawah ini.

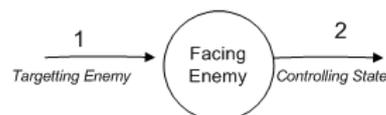
Tabel 3.5 Penjelasan *Degree of Danger*

No	Jenis parameter	Nilai Musuh pertama	Nilai Musuh Kedua	Nilai Musuh Ketiga
1	Jenis Musuh	2	1	4
2	Nyawa Musuh	3	1	2
3	Jarak	1	2	2
	Total DoD	6	4	8

Berdasarkan Tabel 3.5 *Tower* akan memilih musuh pertama karena musuh ketiga memiliki nilai *Degree of Danger* yang besar. Setelah musuh pertama, *Tower* akan memilih musuh pertama yang menjadi target serangan berikutnya. Dan terakhir adalah musuh kedua karena memiliki nilai DoD kecil.

3.1.5.4 *State* Menghadap musuh

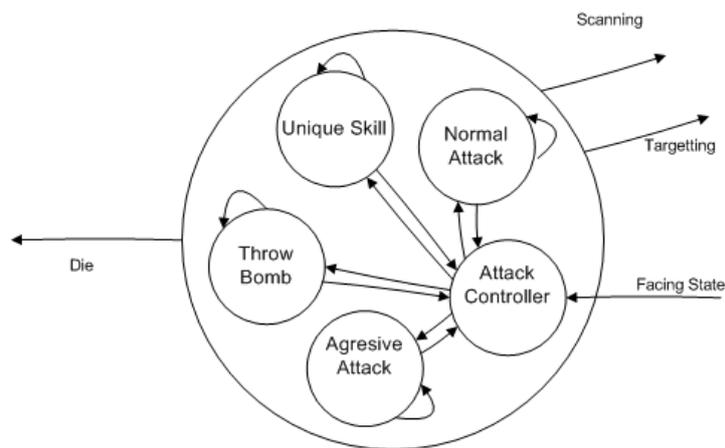
Sedangkan *state facing enemy* adalah *state* dimana NPC *Tower* akan menghadap musuh kemanapun musuh bergerak. Setelah menghadap musuh, *state* berikutnya adalah *state* perilaku menyerang. *State selecting* juga bisa berpindah menuju *State Die* saat nyawa NPC sudah habis.



Gambar 3.12 *State* dari *Facing to Enemy*

3.1.5.5 State Perilaku Menyerang (*Attack behavior*)

Dalam *state* ini, terdapat beberapa *state* yakni *attacking controller state* yang berfungsi untuk mengontrol pola serangan Agen NPC. *State controller* yang mengatur perpindahan antar *state* dalam *state* besar *Attack behavior*. *State controller* juga melihat tiap kondisi dari semua parameter untuk perilaku serangan menghadapi musuh. *State* berikutnya adalah *state* serangan agresif, *state* serangan normal, *state* melempar bom / jebakan, dan *state* skill unik. Perpindahan dari tiap pola serangan berdasarkan *rule based* Sistem dari masing – masing NPC Tower. *State* Perilaku Menyerang juga akan berpindah menuju *State Die* saat nyawa NPC sudah habis.



Gambar 3.13 State Menyerang

3.1.6 Perancangan Perilaku NPC Bangunan Pertahanan

Perilaku dari NPC pertahanan didesain dengan menggunakan metode pengambilan keputusan *rule based*. Dalam kasus ini, *rule based* mempunyai beberapa parameter yang mempengaruhinya. Parameter inilah yang mempengaruhi keputusan NPC adalah Parameter Jarak, Parameter Tipe Musuh, Parameter Nyawa NPC, dan Parameter Nyawa Musuh. Sedangkan perilaku NPC adalah Perilaku Serangan kuat, serangan normal

dan melempar jebakan. Keseluruhan Perilaku NPC Bangunan Pertahanan adalah :

1. **Menyerang Kuat.** Menyerang kuat adalah perilaku menyerang NPC dengan kekuatan besar. Dengan serangan ini, NPC Tower bisa menghancurkan pasukan musuh dalam skala besar atau mengurangi nyawa hero musuh dalam jumlah yang besar.
2. **Menyerang Normal.** Menyerang Normal adalah perilaku menyerang NPC dengan kekuatan sedang. Dengan serangan normal, NPC Tower bisa menghancurkan musuh dalam skala kecil.
3. **Skill Unik.** Skill Unik adalah perilaku menyerang NPC dengan skill khusus yang hanya dimiliki NPC tersebut. Perilaku ini menjadi senjata andalan dan bersifat rahasia.
4. **Diam.** Diam adalah perilaku NPC saat kondisi NPC dalam terjepit dan diperkirakan sudah tidak mungkin menang. Perilaku ini khusus NPC Tower Archer Tower dan Wizard Tower.

3.1.7 Perancangan *Rule Based* NPC Bangunan Pertahanan

Controller Attack adalah pengontrol perilaku serangan NPC Tower. Pada penelitian ini digunakan logika *rule based* untuk menentukan perilaku NPC Tower yang disematkan pada *State Controller Attack*. Dengan adanya *rule based knowledge*, masing – masing NPC dapat merespon perubahan variable masukan menjadi perilaku yang sudah didesain menggunakan HFSM.

Dari masing – masing NPC Bangunan *Defense* mempunyai 4 parameter yang menjadi masukan *rule based*. Keempat parameter tersebut adalah parameter Health NPC Bangunan, Health Musuh, Jarak dan Jenis Musuh. Keluaran dari *rule based* berupa respon perilaku NPC Defense terhadap musuh yakni perilaku NPC menyerang kuat (*agresive*), menyerang normal, menyerang dengan skill unik (khusus). Masing – masing parameter dibagi berdasarkan range. Dengan perincian sebagai berikut:

1. Nyawa Tower dibagi menjadi tiga bagian : Nyawa Lemah, Sedang, dan Kuat,
2. Nyawa Musuh dibagi menjadi tiga bagian : Nyawa Lemah, Sedang, dan Kuat.
3. Jarak dibagi menjadi dua bagian : jarak pendek dan jarak jauh.

3.1.7.1 Parameter Kesehatan NPC Bangunan

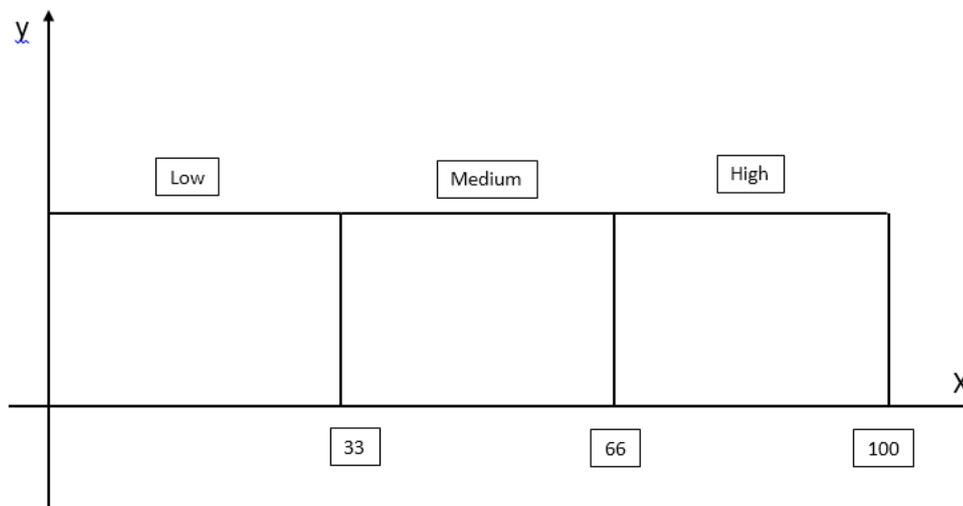
Parameter Nyawa NPC Bangunan mempunyai nilai skala 0 sampai 100 dari nilai Health NPC Bangunan sebenarnya. Jika NPC Kamandaka mempunyai nilai Maximal 425 maka nilai 425 tersebut bernilai 100 jika diskalakan terhadap nilai interval parameter Nyawa Bangunan. Jadi jika dituliskan matematis adalah:

$$\text{Nilai Parameter Nyawa NPC Bangunan} = \frac{\text{Nilai Health NPC}}{\text{Nilai Max Health NPC}} \times 100$$

Dari Nilai parameter Nyawa NPC bangunan ini akan dimasukkan dalam kategori parameter lemah, Sedang, atau kuat sesuai Tabel 3.6. Fungsi keanggotaan logika tegas Parameter nyawa NPC Tower ditunjukkan oleh Gambar 3.14.

Tabel 3.6 Interval Parameter Nyawa NPC Tower

Interval Nilai	Notasi
0 – 33	Lemah
34 – 66	Sedang
67 – 100	Kuat



Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan Logika Tegas Parameter Nyawa NPC Tower

3.1.7.2 Parameter Kesehatan Musuh (*Health Enemy*)

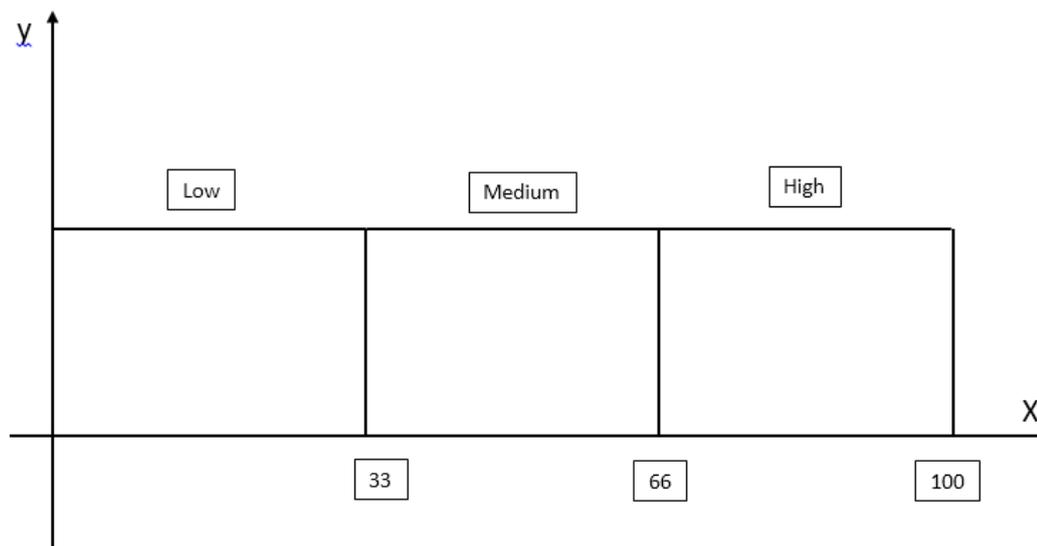
Parameter Nyawa musuh seperti parameter NPC Bangunan pertahanan mempunyai nilai skala 0 sampai 100 dari nilai Health NPC Bangunan sebenarnya. Misalkan musuh jenis pedang mempunyai nilai health 50 semetara itu nilai maksimal health-nya 60. bernilai 100 jika diskalakan terhadap nilai interval parameter Nyawa Bangunan. Jadi jika dituliskan matematis adalah:

$$\text{Nilai Parameter Nyawa musuh} = \frac{\text{Nilai Health Musuh}}{\text{Nilai Max Health Musuh}} \times 100$$

Dari Nilai parameter Nyawa NPC bangunan ini akan dimasukkan dalam kategori parameter lemah, Sedang, atau kuat sesuai Tabel 3.7. Fungsi keanggotaan logika tegas Parameter nyawa NPC Tower ditunjukkan oleh Gambar 3.15.

Tabel 3.7 Interval Parameter Nyawa Musuh

Interval Nilai	Notasi
0 – 33	Lemah
34 – 66	Sedang
67 – 100	Kuat



Gambar 3.15 Fungsi Keanggotaan Logika Tegas Parameter Nyawa Musuh

3.1.7.3 Parameter Jarak NPC terhadap musuh

Parameter jarak juga mempunyai skala 0 sampai 100. Cara Menghitung jarak NPC Tower terhadap musuh adalah dengan membagi nilai jarak NPC Tower

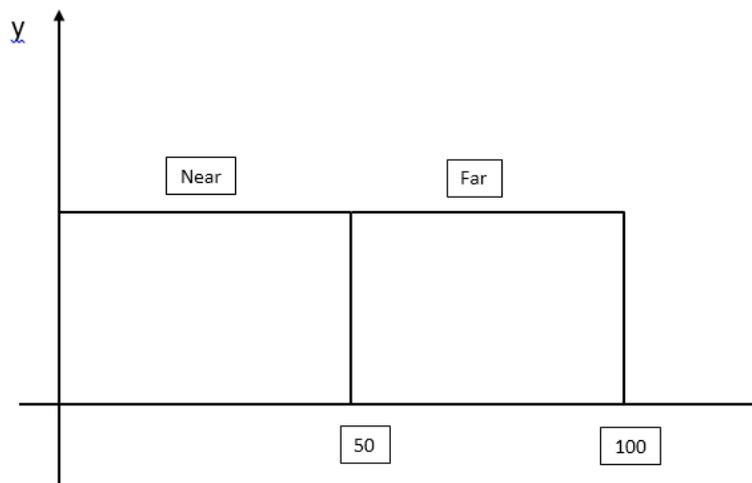
menuju musuh terhadap nilai Attack range Tower. Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Nilai parameter Jarak} = \frac{\text{Jarak Tower menuju musuh}}{\text{Nilai Attack range Tower}} \times 100$$

Parameter jarak dibagi berdasarkan Attack range dibagi menjadi dua yaitu jarak dekat dan jauh. Jika nilai parameter jarak 0 – 50 dinotasikan sebagai jarak dekat. Sementara nilai parameter jarak 51 – 100 didefinisikan sebagai jarak jauh seperti yang ditunjukkan Tabel 3.8 dan Gambar 3.16.

Tabel 3.8 Interval Parameter Nyawa Musuh

Interval Nilai	Notasi
0 – 50	Dekat
51 – 100	Jauh



Gambar 3.16 Fungsi Keanggotaan Logika Tegas Parameter jarak

Sebagai contoh Tower kamandaka mempunyai nilai Attack range 12 tile. Misalkan Pada suatu pertempuran, Tower Kamandaka menghadapi musuh pedang yang mempunyai nilai jarak 7 tile. Maka jika dihitung nilai parameter jarak = $\frac{7}{12} \times 100 = 58,33$. Karena nilai parameter jarak 58,33 maka termasuk jarak jauh.

3.1.7.4 Rule Based NPC Tower Kamandaka

Setelah parameter dijelaskan dalam sub bab 3.1.7.1, 3.1.7.2, 3.1.7.3 , Sub bab ini menjelaskan Rule based lengkap NPC Tower. Rule based Tower

Kamandaka merupakan gabungan rule IF THEN parameter – parameter. Sebagai Rule Based kamandaka no.1

“JIKA Health Tower Kamandaka Kuat DAN Health musuh kuat DAN tipe musuh Hero MAKA perilaku NPC kamandaka adalah Menyerang Kuat”.

Rule based lengkap dari NPC Kamandaka disebutkan Tabel 3.9 dibawah ini.

Tabel 3.9 Rule Based NPC Tower Kamandaka

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Tipe Musuh	Perilaku NPC Kamandaka
1	Kuat	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
2	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
3	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
4	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
5	Kuat	Kuat	Jauh	Hero	Unik skill
6	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
7	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
8	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
9	Kuat	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
10	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
11	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
12	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
13	Kuat	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang Kuat
14	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
15	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
16	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
17	Kuat	Lemah	Dekat	Hero	menyerang
18	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	menyerang
19	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	menyerang
20	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	menyerang
21	Kuat	Lemah	Jauh	Hero	menyerang
22	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	menyerang
23	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	menyerang
24	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	menyerang
25	Sedang	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
26	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
27	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
28	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
29	Sedang	Kuat	Jauh	Hero	Unik skill
30	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Tipe Musuh	Perilaku NPC Kamandaka
31	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
32	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
33	Sedang	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
34	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
35	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
36	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
37	Sedang	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang Kuat
38	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
39	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
40	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
41	Sedang	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang
42	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
43	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
44	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
45	Sedang	Lemah	Jauh	Hero	Menyerang
46	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
47	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
48	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
49	Lemah	Kuat	Dekat	Hero	Unik skill
50	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
51	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
52	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
53	Lemah	Kuat	Jauh	Hero	Menyerang
54	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
55	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
56	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
57	Lemah	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang
58	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
59	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
60	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
61	Lemah	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang
62	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
63	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
64	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
65	Lemah	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang
66	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
67	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
68	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
69	Lemah	Lemah	Jauh	Hero	Menyerang
70	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Tipe Musuh	Perilaku NPC Kamandaka
71	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
72	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang

3.1.7.5 Rule based NPC Gandewa Tower

Setelah parameter dijelaskan dalam sub-bab 3.1.7.1, 3.1.7.2, 3.1.7.3, Sub bab ini menjelaskan Rule based lengkap NPC Tower. Rule based Gandewa Tower merupakan gabungan rule IF THEN parameter – parameter. Sebagai Rule Based kamandaka no.1

“JIKA Health Tower Kamandaka Kuat DAN Health musuh kuat DAN tipe musuh Hero MAKA perilaku NPC kamandaka adalah Menyerang Kuat”.

Rule based lengkap dari NPC Kamandaka disebutkan Tabel 3.10 dibawah ini.

Tabel 3.10 Rule Based NPC Gandewa Tower

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Gandewa Tower
1	Kuat	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
2	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
3	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Meyerang Kuat
4	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
5	Kuat	Kuat	Jauh	Hero	Unik Skill
6	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
7	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
8	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
9	Kuat	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
10	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
11	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
12	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
13	Kuat	Sedang	Jauh	Hero	Melempar Bom
14	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Melempar Bom
15	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Melempar Bom
16	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Melempar Bom
17	Kuat	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang
18	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
19	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
20	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
21	Kuat	Lemah	Jauh	Hero	Melempar Bom

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Gandewa Tower
22	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Melempar Bom
23	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Melempar Bom
24	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Melempar Bom
25	Sedang	Kuat	Dekat	Hero	Unik Skill
26	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
27	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
28	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
29	Sedang	Kuat	Jauh	Hero	Menyerang
30	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
31	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
32	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
33	Sedang	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang
34	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
35	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
36	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
37	Sedang	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang
38	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
39	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
40	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
41	Sedang	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang
42	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
43	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
44	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
45	Sedang	Lemah	Jauh	Hero	Menyerang
46	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
47	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
48	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
49	Lemah	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
50	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
51	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
52	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
53	Lemah	Kuat	Jauh	Hero	Unik Skill
54	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
55	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
56	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
57	Lemah	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang
58	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
59	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
60	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Gandewa Tower
61	Lemah	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang
62	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
63	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
64	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
65	Lemah	Lemah	Dekat	Hero	Melempar Bom
66	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Melempar Bom
67	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Melempar Bom
68	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Melempar Bom
69	Lemah	Lemah	Jauh	Hero	Menyerang
70	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
71	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
72	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang

3.1.7.6 Rule based NPC Gayatri Tower

Setelah parameter dijelaskan dalam sub-bab 3.1.7.1, 3.1.7.2, 3.1.7.3, Sub bab ini menjelaskan Rule based lengkap NPC Tower. Rule based Gayatri Tower merupakan gabungan rule IF THEN parameter – parameter. Sebagai Rule Based kamandaka no.1

“JIKA Health Tower Kamandaka Kuat DAN Health musuh kuat DAN tipe musuh Hero MAKA perilaku NPC kamandaka adalah Menyerang Kuat”.

Rule based lengkap dari NPC Kamandaka disebutkan Tabel 3.11 dibawah ini.

Tabel 3.11 Rule Based Gayatri Tower

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Gayatri Tower
1	Kuat	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
2	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
3	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
4	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
5	Kuat	Kuat	Jauh	Hero	Unik Skill
6	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
7	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
8	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
9	Kuat	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
10	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
11	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
12	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
13	Kuat	Sedang	Jauh	Hero	Melempar Bom
14	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Melempar Bom

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Gayatri Tower
15	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Melempar Bom
16	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Melempar Bom
17	Kuat	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang
18	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
19	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
20	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
21	Kuat	Lemah	Jauh	Hero	Melempar Bom
22	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Melempar Bom
23	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Melempar Bom
24	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Melempar Bom
25	Sedang	Kuat	Dekat	Hero	Unik Skill
26	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
27	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
28	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
29	Sedang	Kuat	Jauh	Hero	Menyerang
30	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
31	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
32	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
33	Sedang	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang
34	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
35	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
36	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
37	Sedang	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang
38	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
39	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
40	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
41	Sedang	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang
42	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
43	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
44	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
45	Sedang	Lemah	Jauh	Hero	Menyerang
46	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
47	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
48	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
49	Lemah	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
50	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
51	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
52	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
53	Lemah	Kuat	Jauh	Hero	Unik Skill
54	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
55	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Gayatri Tower
56	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
57	Lemah	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang
58	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
59	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
60	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
61	Lemah	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang
62	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
63	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
64	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
65	Lemah	Lemah	Dekat	Hero	Melempar Bom
66	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Melempar Bom
67	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Melempar Bom
68	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Melempar Bom
69	Lemah	Lemah	Jauh	Hero	Menyerang
70	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
71	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
72	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang

3.1.7.7 Rule based NPC Adikara

Setelah parameter dijelaskan dalam sub-bab 3.1.7.1, 3.1.7.2, 3.1.7.3, Sub bab ini menjelaskan Rule based lengkap NPC Tower. Rule based Gayatri Tower merupakan gabungan rule IF THEN parameter – parameter. Sebagai Rule Based kamandaka no.1

“JIKA Health Tower Kamandaka Kuat DAN Health musuh kuat DAN tipe musuh Hero MAKA perilaku NPC kamandaka adalah Menyerang Kuat”.

Rule based lengkap dari NPC Kamandaka disebutkan Tabel 3.12 dibawah ini.

Tabel 3.12 Rule based NPC Adikara

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Perilaku Adikara
1	Kuat	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
2	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
3	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
4	Kuat	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
5	Kuat	Kuat	Jauh	Hero	Menyerang Kuat
6	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
7	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
8	Kuat	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
9	Kuat	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
10	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang

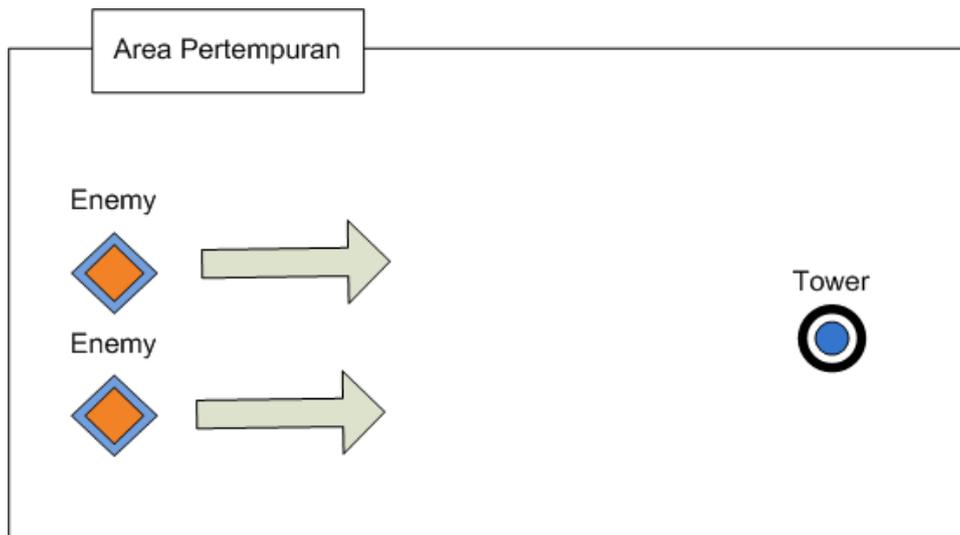
No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Perilaku Adikara
11	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
12	Kuat	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
13	Kuat	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang Kuat
14	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
15	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
16	Kuat	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
17	Kuat	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
18	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	menyerang
19	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	menyerang
20	Kuat	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	menyerang
21	Kuat	Lemah	Jauh	Hero	menyerang
22	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	menyerang
23	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	menyerang
24	Kuat	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	menyerang
25	Sedang	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
26	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
27	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
28	Sedang	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
29	Sedang	Kuat	Jauh	Hero	Unik skill
30	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang Kuat
31	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang Kuat
32	Sedang	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang Kuat
33	Sedang	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
34	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
35	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
36	Sedang	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
37	Sedang	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang Kuat
38	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
39	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
40	Sedang	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
41	Sedang	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang
42	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
43	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
44	Sedang	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
45	Sedang	Lemah	Jauh	Hero	Menyerang
46	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
47	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
48	Sedang	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
49	Lemah	Kuat	Dekat	Hero	Menyerang Kuat
50	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
51	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang

No	Health tower	Health enemy	Jarak	Musuh	Perilaku Adikara
52	Lemah	Kuat	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
53	Lemah	Kuat	Jauh	Hero	Menyerang
54	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
55	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
56	Lemah	Kuat	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
57	Lemah	Sedang	Dekat	Hero	Menyerang
58	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
59	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
60	Lemah	Sedang	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
61	Lemah	Sedang	Jauh	Hero	Menyerang
62	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
63	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
64	Lemah	Sedang	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang
65	Lemah	Lemah	Dekat	Hero	Menyerang
66	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Pedang	Menyerang
67	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Pasukan	Menyerang
68	Lemah	Lemah	Dekat	Pasukan Sihir	Menyerang
69	Lemah	Lemah	Jauh	Hero	Menyerang
70	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Pedang	Menyerang
71	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Pasukan	Menyerang
72	Lemah	Lemah	Jauh	Pasukan Sihir	Menyerang

3.2 Perancangan Skenario Percobaan

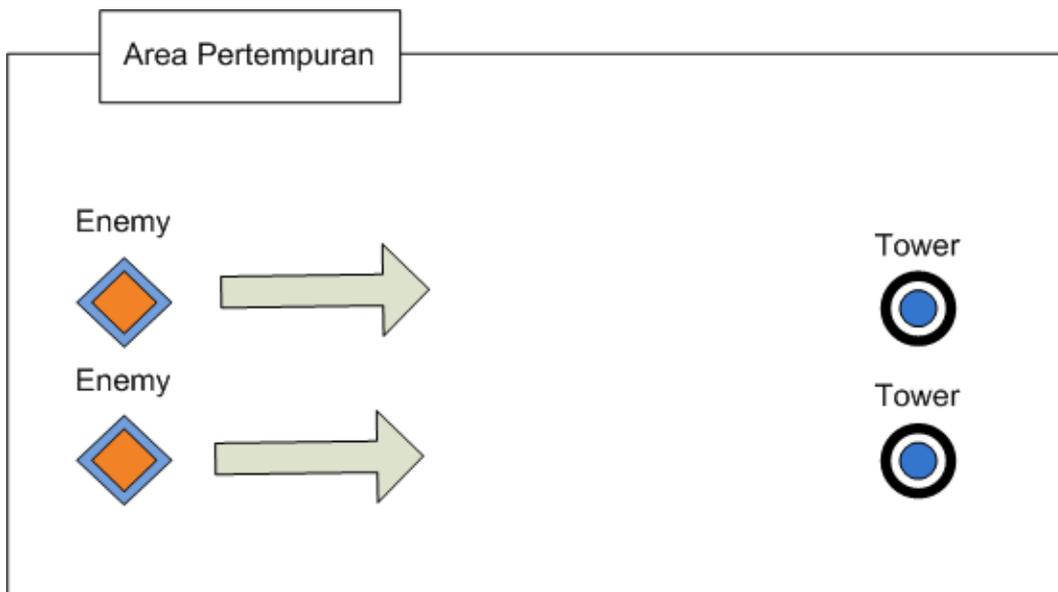
Hierarchical Finite State machine (HFSM) yang telah dirancang untuk NPC Tower diujikan dalam beberapa skenario. Skenario pengujian dilakukan untuk menganalisa keberhasilan sistem HFSM dalam NPC Tower dalam mencapai tujuan yaitu memperoleh NPC Pertahanan yang kuat dan tidak mudah dikalahkan oleh serangan NPC berkelompok. Skenario pengujian dilakukan untuk membandingkan metode FSM dan HFSM.

1. Pengujian Individu NPC Tower. Pengujian ini menguji ketahanan NPC Tower terhadap serangan pasukan musuh. Pengujian pertama Tower melawan pasukan kuat, pengujian kedua Tower pasukan sedang, pengujian terakhir Tower melawan pasukan lemah.



Tabel 3.11 Skenario pengujian Individu Tower

2. Pengujian dengan menambah jumlah NPC Tower. Pengujian ini menguji kekuatan NPC Tower secara berkelompok



Gambar 3.17 Skenario pengujian Individu Tower

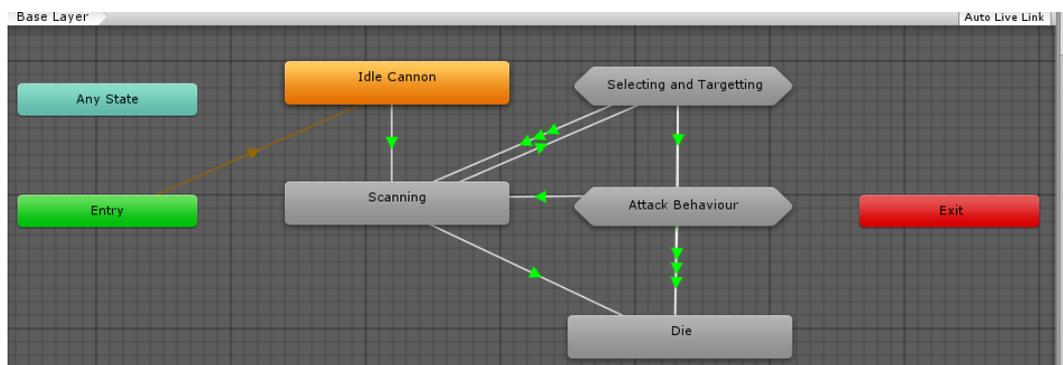
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Bab 4 ini, NPC Bangunan Pertahanan yang sudah didesain dan dijelaskan pada Bab 3 diimplementasikan dalam simulasi dengan menggunakan *Unity Game Engine*. Pengujian ini ditujukan untuk mengevaluasi metode pendekatan yang dikembangkan dan memberikan hasil *objective* yang didapatkan disertai analisa. Percobaan dilakukan dengan membandingkan antara metode biasa dan metode HFSM.

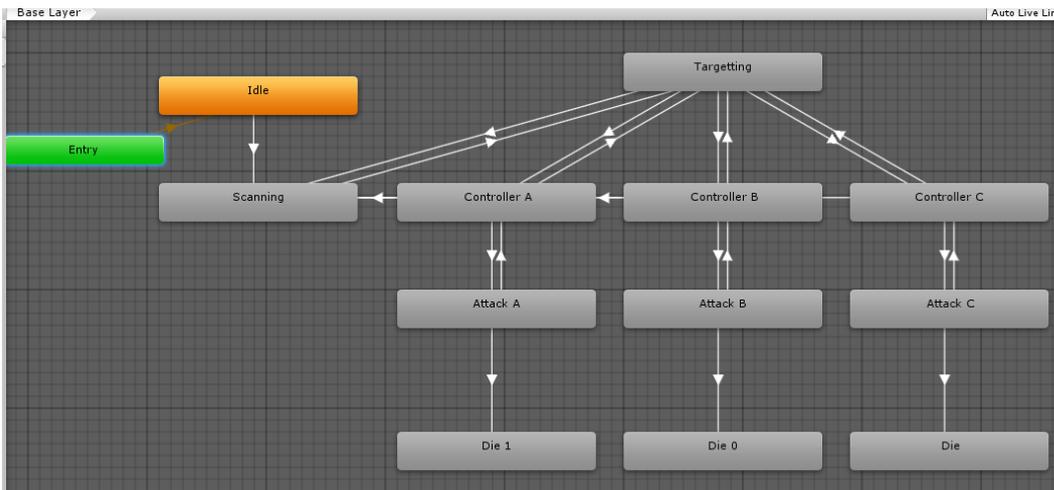
Beberapa point penting yang dilihat dalam parameter pengujian ini adalah jumlah sisa *health* Tower, waktu yang diperlukan NPC Tower untuk membunuh NPC musuh, jumlah pasukan yang berhasil dibunuh.

4.1 Pengujian NPC Bangunan Pertahanan

Pengujian NPC bangunan bertujuan melihat perilaku dan kemampuan NPC Tower terhadap musuh. Pengujian ini juga membandingkan NPC Tower game DWIPA YUDHA dengan HFSM dengan FSM. Adapun desain sistem HFSM dan FSM Agen NPC ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2. Pada pengujian ini diujikan 8 pengujian dengan kondisi sebuah tower dan 3 jenis pasukan musuh. NPC Tower diletakkan pada suatu koordinat pada lokasi sumbu transform x, y, dan z (-13.24 ,0, -7.23). Dan NPC musuh diletakkan berderet secara horizontal di koordinat (x, 0 , -3.87) dengan radius 36 *tiles*.



Gambar 4.1 Desain HFSM Agen NPC



Gambar 4.2 Desain FSM Agen NPC

4.1.1 Pengujian skenario Kamandaka Melawan 3 Jenis Pasukan

Pada pengujian skenario 1 ini terdapat 1 NPC Tower Kamandaka dengan pasukan musuh pedang (kuat). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan maksimal. Pasukan sakera mempunyai pedang memiliki daya rusak 10. Mula – mula Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.3 Skenario 1 NPC Kamandaka vs Pasukan Pedang (Sakera)

Dari hasil pengujian pada skenario 1 seperti gambar 4.3 menghasilkan perbandingan antara FSM dan HFSM dengan parameter acuan Sisa Health NPC Tower ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan kuat HFSM

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	Waktu	Sisa Tower	Sisa Musuh
1	1	1	450	12, 14	1	0
2	1	2	400	16, 54	1	0
3	1	3	310	21, 02	1	0
4	1	4	190	23, 82	1	0
5	1	5	60	27, 38	1	0
6	1	6	0	22, 53	0	3

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Skenario NPC Tower melawan pasukan kuat FSM

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	Waktu	Sisa Tower	Sisa Musuh
1	1	1	450	12, 14	1	0
2	1	2	390	16, 58	1	0
3	1	3	310	21	1	0
4	1	4	200	23, 84	1	0
5	1	5	60	27, 52	1	0
6	1	6	0	22, 58	0	3

Dari Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 dapat diamati bahwa NPC Tower Kamandaka saat menghadapi satu musuh (kuat) mempunyai waktu yang bernilai sama yaitu 12,14 detik. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu disajikan Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4.3 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	450	450
2	400	390
3	310	310
4	190	200
5	60	60
6	0	0
Rata - rata	235	235

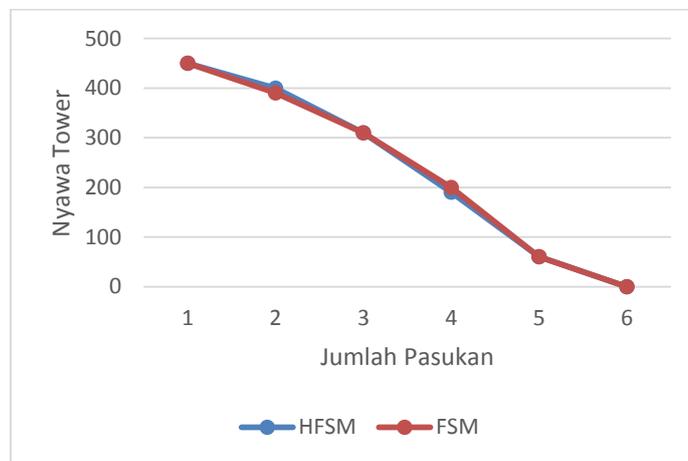
Tabel 4.4 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	12.14	12.14
2	16.54	16.58
3	21.02	21.00
4	23.82	23.84
5	27.38	27.52
6	22.53	22.58
Rata - rata	20.57	20.61

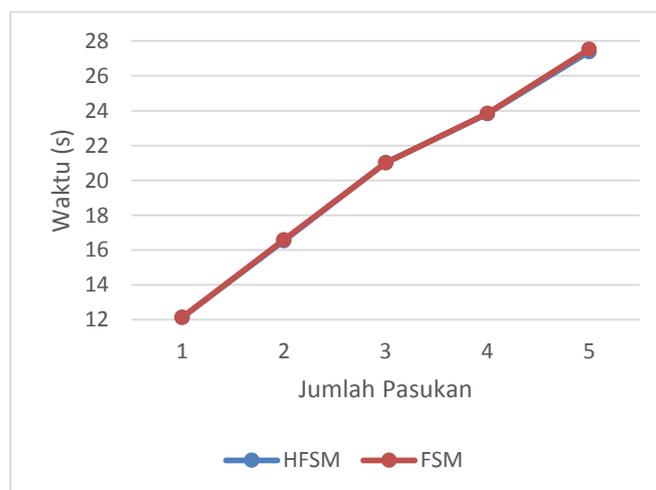
Dari Tabel 4.3, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 50 sedangkan dengan metode FSM adalah 60. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 90 dan 80 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 120 dan 110 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 130 dan 140 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 60 baik dengan metode HFSM atau FSM. Saat pengujian keenam Tower kamandaka hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Tower kamandaka menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari keenam pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower melawan kenaikan pasukan pedang adalah 75 baik HFSM maupun FSM. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.4

Dari Tabel 4.4, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 4,40 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 4,44 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 4,48 detik dan 4,42 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 2,80 detik dan 2,84 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode

HFSM adalah 3,56 dan 3,68 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 4,85 detik dengan metode HFSM dan 4,94 untuk FSM. Saat pengujian keenam Tower kamandaka hancur. Dari 6 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 3,35 detik untuk HFSM dan 3,95 untuk FSM. Dari pengujian ini membuktikan bahwa dengan FSM waktu combat NPC Kamandaka lebih lama 0,6 detik disbanding tower dengan HFSM. Dan juga Tower dengan HFSM lebih tahan lama disbanding Tower dengan FSM. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampir imbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.5



Gambar 4.4 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan pedang



Gambar 4.5 Grafik perbandingan waktu tarung NPC Kamandaka melawan pasukan pedang

Pengujian berikutnya Pengujian skenario 2 ini terdapat 1 NPC Tower Kamandaka dengan pasukan pemanah (sedang). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai maksimal. Pasukan gandewa mempunyai daya rusak 7 dengan jarak tembak 4 *tiles*. Keterangan gambar posisi NPC Tower kamandaka dan NPC musuh gandewa tertera pada gambar 4.6



Gambar 4.6 Skenario 2 NPC Kamandaka vs 6 pasukan gabungan

Dari hasil pengujian pada skenario 2 seperti gambar 4.6 menghasilkan perbandingan antara FSM dan Dengan Metode HFSM dengan parameter acuan Sisa Health NPC Tower ditunjukkan pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sedang HFSM

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	Sisa Musuh
1	1	1	443	10.52	1	0
2	1	2	415	14.14	1	0
3	1	3	352	17.76	1	0
4	1	4	282	20.16	1	0
5	1	5	205	21.54	1	0
6	1	6	121	23.44	1	0
7	1	7	9	25.7	1	0
8	1	8	0	20.6	0	4
9	1	9	0	18.56	0	6

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sedang FSM

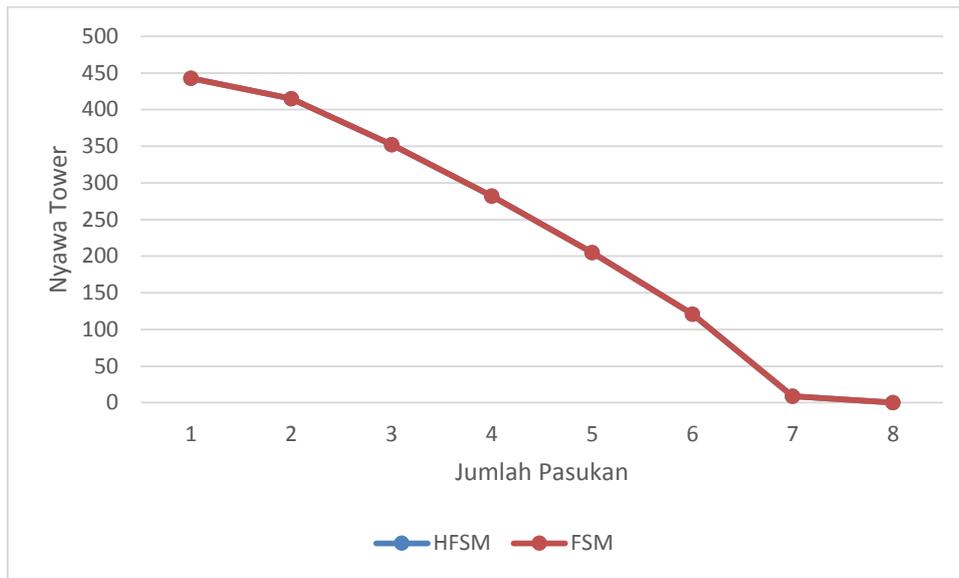
Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	443	10.56	1	0
2	1	2	415	14.08	1	0
3	1	3	352	17.98	1	0
4	1	4	282	20.22	1	0
5	1	5	205	21.64	1	0
6	1	6	121	23.36	1	0
7	1	7	9	25.76	1	0
8	1	8	0	20.58	0	4
9	1	9	0	18.62	0	6

Dari Tabel 4.5 dan Tabel 4.6 dapat diamati bahwa NPC Tower Kamandaka saat menghadapi satu panah (sedang) mempunyai waktu untuk bertahan dengan metode HFSM 10,52 detik dan sedangkan dengan metode FSM 10,56 detik. Adapun Sisa nyawa Tower Kamandaka bernilai sama 443 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	443	443
2	415	415
3	352	352
4	282	282
5	205	205
6	121	121
7	9	9
8	0	0
Rata - rata	228.375	228.375

Dari Tabel 4.7 bisa kita lihat bahwa baik menggunakan metode HFSM maupun dengan FSM. Perubahan nyawa NPC Tower kamandaka saat menghadapi musuh pasukan panah bernilai sama Seperti yang ditunjukkan grafik pada Gambar 4.7. Pengurangan nyawa Tower memiliki rata – rata 55,375.



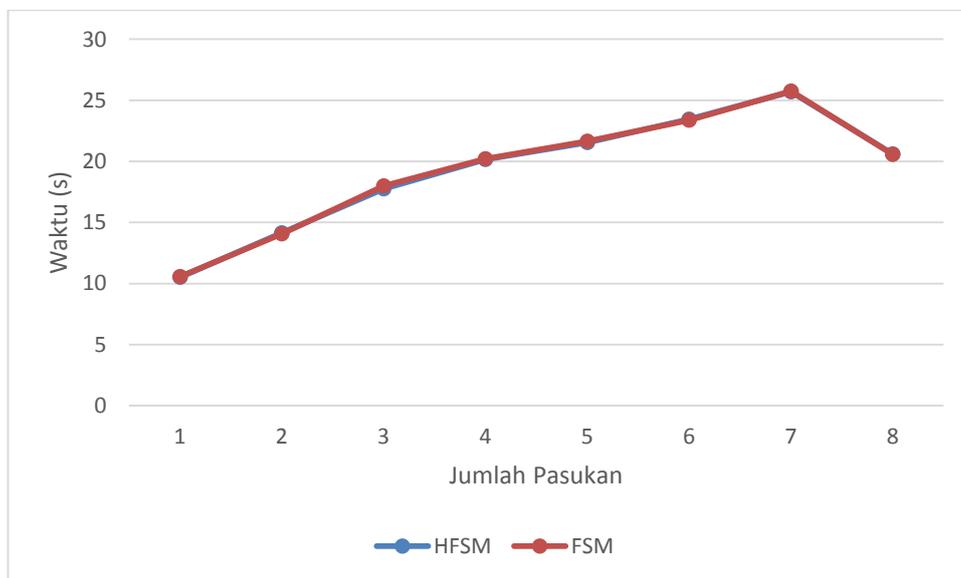
Gambar 4.7 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan panah

Tabel 4.8 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	10.52	10.56
2	14.14	14.08
3	17.76	17.98
4	20.16	20.22
5	21.54	21.64
6	23.44	23.36
7	25.7	25.76
8	20.6	20.58
Rata - rata	19.2325	19.2725

Dari Tabel 4.8, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 3,62 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 3,52 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 2,4 detik dan 2,24 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 1,38 detik dan 1,42 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 1,9 dan 1,72 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 2,26 detik dengan metode HFSM dan 2,4 untuk FSM. Selisih pengujian keenam dan

ketujuh bernilai 5,1 detik dengan metode HFSM dan 5,18 untuk FSM. Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 2,26 detik dengan metode HFSM dan 2,4 untuk FSM .Saat pengujian kedelapan Tower kamandaka hancur. Dari 8 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 2,535 detik untuk HFSM dan 2,5475 untuk FSM. Dari pengujian ini membuktikan bahwa dengan FSM waktu combat NPC Kamandaka lebih lama 0,0125 detik dibanding tower dengan HFSM. Dan juga Tower dengan HFSM lebih tahan lama dibanding Tower dengan FSM. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.8



Gambar 4.8 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan panah

Pengujian berikutnya skenario 3 ini ada 1 NPC Tower Kamandaka dengan pasukan pasukan gayatri (sihir). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan diacak. Pasukan gayatri mempunyai daya rusak bernilai 5 dengan jarak tembak 4. Keterangan gambar posisi NPC Tower kamandaka dan NPC musuh tertera pada gambar 4.9.

Dari hasil pengujian pada skenario 3 seperti gambar 4.7 menghasilkan perbandingan antara Tanpa HFSM dan Dengan Metode HFSM dengan parameter acuan Sisa Health NPC Tower ditunjukkan pada Tabel 4.9 dan 4.10



Gambar 4.9 Skenario 3 NPC Tower Kamandaka vs 6 Pasukan Musuh Gayatri

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sihir HFSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	445	11.06	1	0
2	1	2	425	14.6	1	0
3	1	3	380	18.24	1	0
4	1	4	320	21.84	1	0
5	1	5	260	22.9	1	0
6	1	6	185	24.64	1	0
7	1	7	130	26.16	1	0
8	1	8	40	28.46	1	0
9	1	9	0	23.86	0	3

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sihir FSM

pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	445	11.06	1	0
2	1	2	420	14.62	1	0
3	1	3	380	18.26	1	0
4	1	4	300	22.78	1	0
5	1	5	260	22.8	1	0
6	1	6	185	25.24	1	0
7	1	7	130	26.08	1	0
8	1	8	40	28.62	1	0
9	1	9	0	23.9	0	4

Dari Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 dapat diamati bahwa NPC Tower Kamandaka saat menghadapi satu petir (sedang) mempunyai waktu untuk bertahan dengan metode HFSM dan FSM 11,06 detik. Adapun Sisa nyawa Tower Kamandaka bernilai sama 445 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.11 dan Tabel 4.12.

Tabel 4.11 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	445	445
2	425	420
3	380	380
4	320	300
5	260	260
6	185	185
7	130	130
8	40	40
9	0.00	0.00
Rata - rata	242.78	240.00

Tabel 4.12 Perbandingan Waktu HFSM dan FSM

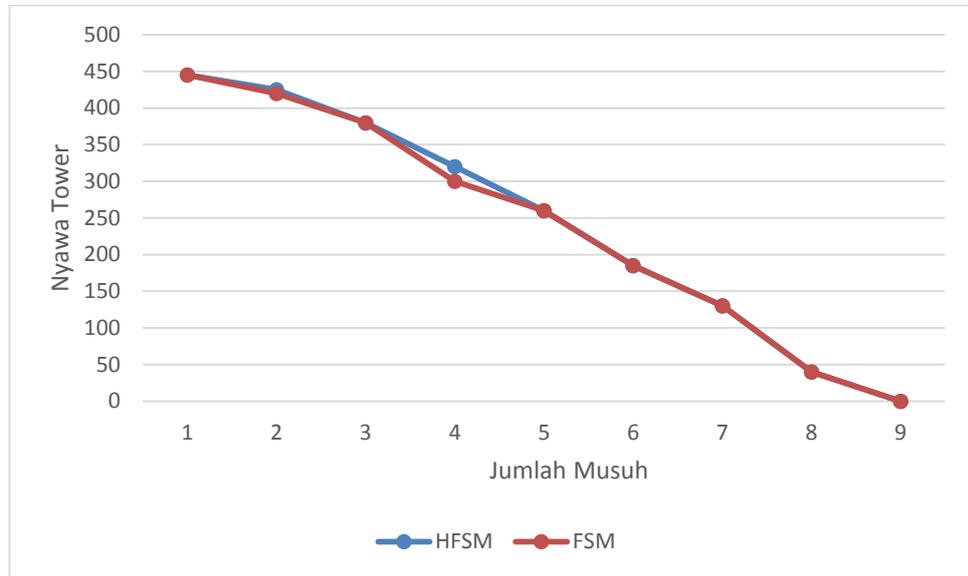
Percobaan	waktu	waktu
1	11.06	11.06
2	14.60	14.62
3	18.24	18.26
4	21.84	22.78
5	22.90	22.80
6	24.64	25.24
7	26.16	26.08
8	28.46	28.62
9	23.86	23.90
Rata - rata	21.31	21.48

Dari Tabel 4.11, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 20 sedangkan dengan metode FSM adalah 25. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 45 dan 40 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan

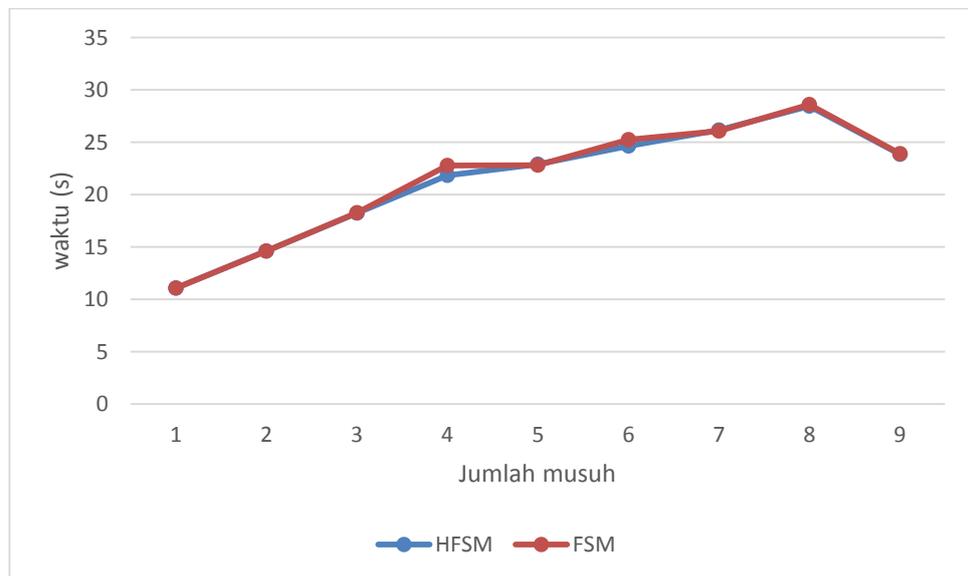
metode HFSM adalah 60 dan 80 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 60 dan 40 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 75 dengan metode HFSM dan 75 FSM. Selisih pengujian keenam dan ketujuh bernilai 55 dengan metode HFSM dan 55 FSM. Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 90 dengan metode HFSM dan 90 FSM. Selisih pengujian kedelapan dan kesembilan bernilai 40 dengan metode HFSM dan 40 FSM. Saat pengujian kesembilan Tower kamandaka hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Tower kamandaka menghadapi musuh pasukan sihir (lemah). Dari sembilan pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower melawan kenaikan pasukan pedang adalah 55,63 baik HFSM maupun FSM. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.10

Dari Tabel 4.12, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 3,54 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 3,56 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 3,64 detik dan 3,63 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 3,60 detik dan 4,52 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 1,06 dan 0,02 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 1,74 detik dengan metode HFSM dan 2,44 untuk FSM. Selisih pengujian keenam dan ketujuh bernilai 1,52 detik dengan metode HFSM dan 0,84 untuk FSM. Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 2,30 detik dengan metode HFSM dan 2,54 untuk FSM. Selisih pengujian kedelapan dan kesembilan bernilai 4,60 detik dengan metode HFSM dan 4,72 untuk FSM. Saat pengujian kesembilan Tower kamandaka hancur. Dari 9 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 2,44 detik untuk HFSM dan 2,48 untuk FSM. Dari pengujian ini membuktikan bahwa dengan FSM waktu combat NPC Kamandaka lebih lama 0,03 detik disbanding tower dengan HFSM. Dan juga Tower dengan HFSM lebih tahan lama disbanding Tower dengan FSM.

Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.11



Gambar 4.10 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan petir



Gambar 4.11 Grafik perbandingan waktu NPC Kamandaka melawan pasukan petir

4.1.2 Pengujian skenario 2 NPC Kamandaka vs 3 Jenis Pasukan

Pada pengujian skenario 1 ini, terdapat 2 NPC Tower Kamandaka dengan pasukan musuh pedang (kuat). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan diacak. Pasukan sakera mempunyai pedang sebagai senjata dengan daya

rusak 10. Mula – mula 2 Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.12 Dua NPC Kamandaka melawan pasukan pedang (kuat)

Dari hasil pengujian pada skenario 1 seperti gambar 4.12 menghasilkan perbandingan antara FSM dan Dengan Metode HFSM dengan parameter acuan Sisa Health NPC Tower ditunjukkan pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Kamandaka melawan pasukan kuat HFSM

pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	900	10.54	2	0
2	2	2	890	12.88	2	0
3	2	3	860	15.2	2	0
4	2	4	770	18	2	0
5	2	5	680	19.82	2	0
6	2	6	620	22	2	0
7	2	7	500	24.04	2	0
8	2	8	410	27.88	1	0
9	2	9	210	32.78	1	0
10	2	10	0	27.75566	0	4

Tabel 4.14 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan kuat FSM

pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	900	10.64	2	0
2	2	2	880	13.8	2	0
3	2	3	850	15.58	2	0
4	2	4	780	18.06	2	0
5	2	5	710	19.8	2	0
6	2	6	610	22.2	2	0
7	2	7	490	23.14	2	0
8	2	8	290	32.4	1	0
9	2	9	0	35.55671	0	1
10	2	10	0	27.68016	0	4

Dari Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 dapat diamati bahwa NPC Tower Kamandaka saat menghadapi satu pedang (kuat) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 10,54 detik dan untuk FSM 10,56 detik. Adapun Sisa nyawa Tower Kamandaka bernilai sama 900 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

Tabel 4.15 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	900	900
2	890	880
3	860	850
4	770	780
5	680	710
6	620	610
7	500	490
8	410	290
9	210	0
Rata - rata	648.89	612.22

Tabel 4.16 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

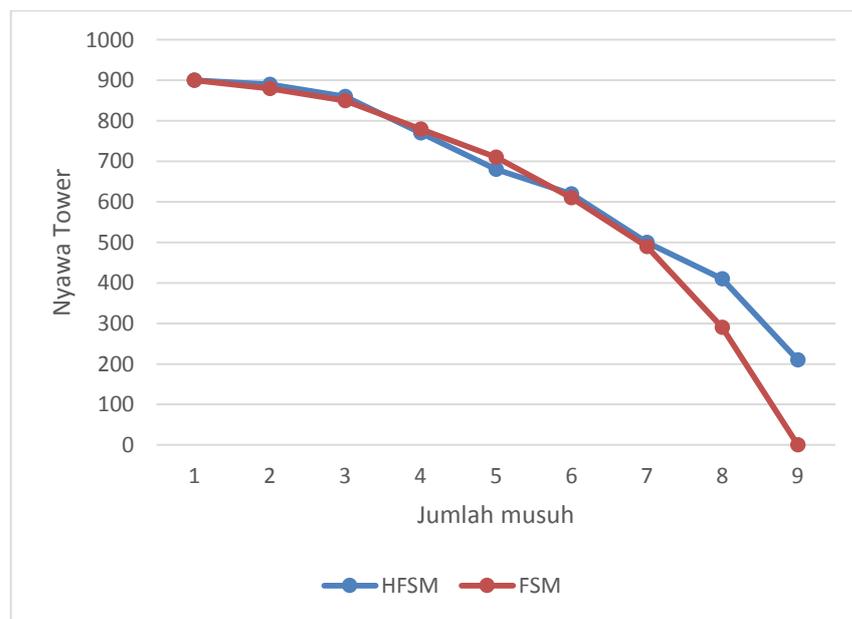
Percobaan	HFSM	FSM
1	10.54	10.64
2	12.88	13.8

Percobaan	HFSM	FSM
3	15.2	15.58
4	18	18.06
5	19.82	19.8
6	22	22.2
7	24.04	23.14
8	27.88	32.4
9	32.78	35.56
Rata - rata	20.35	21.24

Dari Tabel 4.15, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 10 sedangkan dengan metode FSM adalah 20. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 30 dan 30 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 90 dan 70 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 90 dan 70 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 60 dengan metode HFSM dan 100 FSM. Selisih pengujian keenam dan ketujuh bernilai 120 dengan metode HFSM dan 120 FSM. Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 90 dengan metode HFSM dan 200 FSM. Selisih pengujian kedelapan dan kesembilan bernilai 200 dengan metode HFSM dan 290 FSM. Saat pengujian kesepuluh Tower kamandaka hancur dan inilah titik maksimal ketahanan 2 NPC Tower kamandaka menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari sembilan pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower melawan kenaikan pasukan pedang adalah 86,25 dengan HFSM dan untuk FSM 112,5. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.13

Dari Tabel 4.16, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 2,34 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 3,16 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 2,32 detik dan 1,78 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 2,80 detik dan 2,48 untuk

metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 1,82 dan 1,72 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 2,18 detik dengan metode HFSM dan 2,4 untuk FSM. Selisih pengujian keenam dan ketujuh bernilai 2,04 detik dengan metode HFSM dan 0,94 untuk FSM. Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 3,84 detik dengan metode HFSM dan 9,26 untuk FSM. Selisih pengujian kedelapan dan kesembilan bernilai 4,9 detik dengan metode HFSM dan 3,16 untuk FSM. Saat pengujian kesepuluh Tower kamandaka hancur. Dari 9 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 2,78 detik untuk HFSM dan 3,12 untuk FSM. Dari pengujian ini membuktikan bahwa dengan FSM waktu combat NPC Kamandaka lebih lama 0,335 detik dibanding tower dengan HFSM. Dan juga Tower dengan HFSM lebih tahan lama dibanding Tower dengan FSM. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.14



Gambar 4.13 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Kamandaka melawan pasukan pedang



Gambar 4.14 Grafik perbandingan sisa health NPC Kamandaka melawan pasukan pedang

Pada pengujian skenario 2 ini, pengujian 2 buah NPC Tower Kamandaka dengan pasukan musuh pemanah (sedang). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan diacak. Pasukan sakera mempunyai pedang sebagai senjata dengan daya rusak 10. Mula – mula 2 Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.15 Pengujian 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah (sedang)

Dari hasil pengujian pada skenario 1 seperti gambar 4.15 menghasilkan perbandingan antara FSM dan Dengan Metode HFSM dengan parameter acuan Sisa Health NPC Tower ditujukan pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

Tabel 4.17 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah HFSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	900	9.64	2	0
2	2	2	879	11.52	2	0
3	2	3	837	14.24	2	0
4	2	4	802	15.4	2	0
5	2	5	739	16.94	2	0
6	2	6	669	20.72	2	0
7	2	7	613	20.2	2	0
8	2	8	529	21.88	2	0
9	2	9	380	28.96	1	0
10	2	10	247	30.96	1	0
11	2	11	135	31.56	1	0
12	2	12	0	28.28	0	3

Tabel 4.18 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah FSM

Pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	900	9.72	2	0
2	2	2	865	12.88	2	0
3	2	3	851	14.22	2	0
4	2	4	795	16.28	2	0
5	2	5	739	17.88	2	0
6	2	6	690	19.94	2	0
7	2	7	613	20.86	2	0
8	2	8	459	24.5	2	0
9	2	9	338	30.8	1	0
10	2	10	247	30.78	1	0
11	2	11	44	34.1	1	0
12	2	12	0	31.14	0	2

Dari Tabel 4.17 dan Tabel 4.18 dapat diamati bahwa NPC Tower Kamandaka saat menghadapi satu panah (sedang) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 9,64 detik dan untuk FSM 9,72 detik.

Adapun Sisa nyawa Tower Kamandaka bernilai sama 900 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.19 dan Tabel 4.20.

Tabel 4.19 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	900	900
2	879	865
3	837	851
4	802	795
5	739	739
6	669	690
7	613	613
8	529	459
9	380	338
10	247	247
11	135	44
12	0	0
rata - rata	560.8333	545.0833

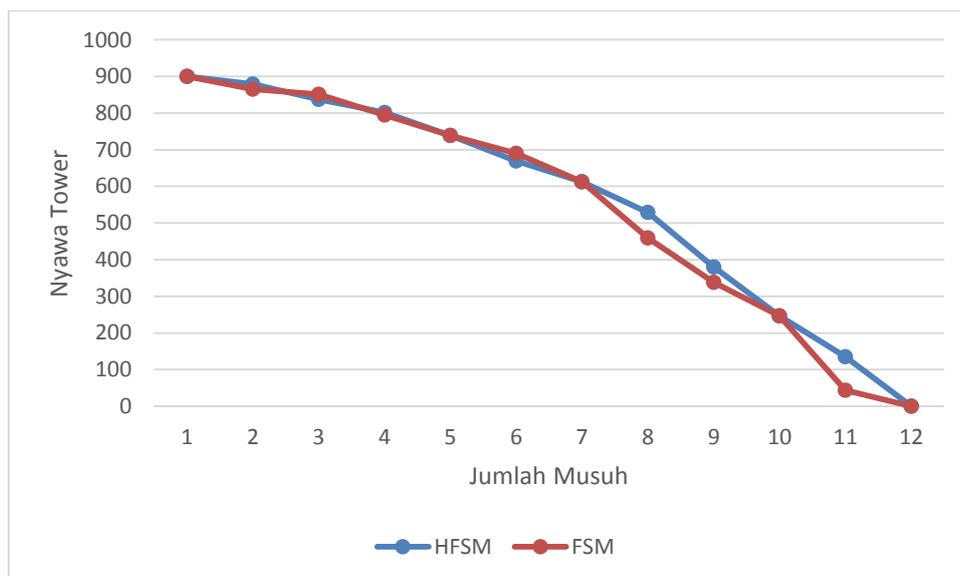
Tabel 4.20 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	9.64	9.72
2	11.52	12.88
3	14.24	14.22
4	15.4	16.28
5	16.94	17.88
6	20.72	19.94
7	20.2	20.86
8	21.88	24.5
9	28.96	30.8
10	30.96	30.78
11	31.56	34.1
12	28.28	31.14
rata - rata	20.85833	21.925

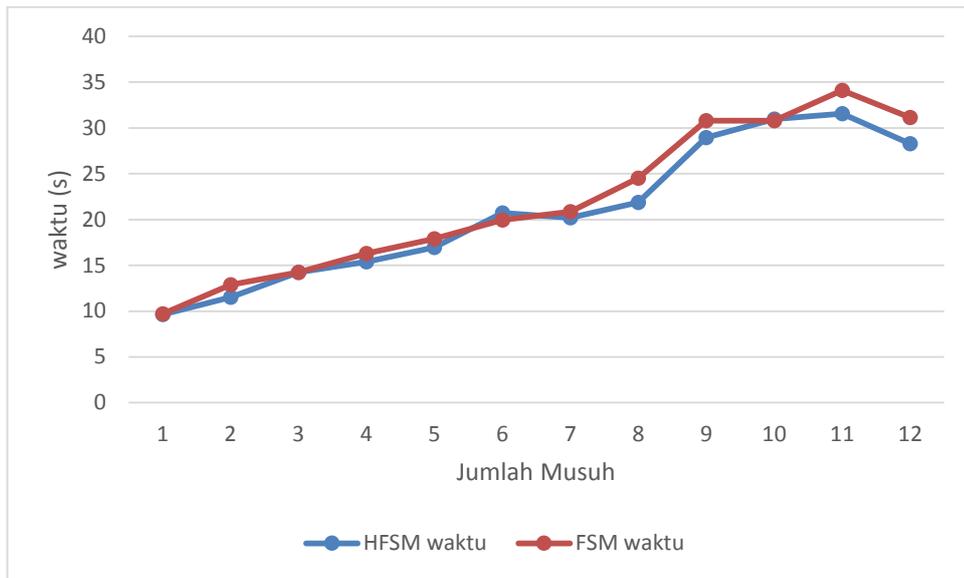
Dari Tabel 4.19, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 21 sedangkan dengan metode FSM adalah 35. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 42 dan 14 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 35 dan 56 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 63 dan 56 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 70 dengan metode HFSM dan 49 untuk FSM. Selisih pengujian keenam dan ketujuh bernilai 56 dengan metode HFSM dan 77 FSM. Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 84 dengan metode HFSM dan 154 FSM. Selisih pengujian kedelapan dan kesembilan bernilai 149 dengan metode HFSM dan 121 FSM. Selisih pengujian kesembilan dan kesepuluh bernilai 133 dengan metode HFSM dan 91 FSM. Selisih pengujian kesepuluh dan kesebelas bernilai 112 dengan metode HFSM dan 203 FSM. Selisih pengujian kesebelas dan duabelas bernilai 135 dengan metode HFSM dan 44 FSM. Saat pengujian duabelas Tower kamandaka hancur dan inilah titik maksimal ketahanan 2 NPC Tower kamandaka menghadapi musuh pasukan panah (sedang). Dari duabelas pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 81,81 dengan HFSM dan untuk FSM 81,81. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.16

Dari Tabel 4.20, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 1,88 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 3,16 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 2,72 detik dan 1,34 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 1,16 detik dan 2,06 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 1,54 dan 1,6 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 3,78 detik dengan metode HFSM dan 2,06 untuk FSM. Selisih pengujian keenam dan ketujuh bernilai 0,52 detik dengan metode HFSM dan 0,92 untuk FSM.

Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 1,68 detik dengan metode HFSM dan 3,64 untuk FSM. Selisih pengujian kedelapan dan kesembilan bernilai 7,08 detik dengan metode HFSM dan 6,3 untuk FSM. Selisih pengujian kesembilan dan kesepuluh bernilai 2 detik dengan metode HFSM dan 0,02 untuk FSM. Selisih pengujian kesepuluh dengan kesebelas bernilai 0,6 detik dengan metode HFSM dan 3,32 untuk FSM. Selisih pengujian kesebelas dengan keduabelas bernilai 3,28 detik dengan metode HFSM dan 2,96 untuk FSM. Saat pengujian keduabelas Tower kamandaka hancur. Dari 12 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 2,39 detik untuk HFSM dan 2,49 untuk FSM. Dari pengujian ini membuktikan bahwa dengan FSM waktu combat NPC Kamandaka lebih lama 0,10 detik dibanding tower dengan HFSM. Dan juga Tower dengan HFSM lebih tahan lama dibanding Tower dengan FSM. Sehingga didapatkan nilai grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.17



Gambar 4.16 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah



Gambar 4.17 Grafik perbandingan waktu 2 NPC Kamandaka melawan pasukan panah

Pada pengujian skenario 3 ini, pengujian 2 buah NPC Tower Kamandaka dengan pasukan musuh sihir (lemah). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai maksimal. Pasukan sihir mempunyai sihir sebagai senjata dengan daya rusak 5. Mula – mula 2 Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier. Dari hasil pengujian pada skenario 1 seperti gambar 4.17 menghasilkan perbandingan antara FSM dan Dengan Metode HFSM dengan parameter acuan Sisa Health NPC Tower ditujukan pada Tabel 4.21 dan Tabel 4.22.



Gambar 4.18 Pengujian 2 NPC Kamandaka melawan pasukan sihir (lemah)

Tabel 4.21 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sihir HFSM

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	Sisa Tower	SisaMusuh
1	2	1	900	10.06	2	0
2	2	2	875	12.78	2	0
3	2	3	850	15.52	2	0
4	2	4	830	15.64	2	0
5	2	5	765	19.44	2	0
6	2	6	730	18.48	2	0
7	2	7	650	23.22	2	0
8	2	8	575	25.46	2	0
9	2	9	520	23.46	2	0
10	2	10	365	34.76	1	0
11	2	11	295	36.1	1	0
12	2	12	180	36.6	1	0
13	2	13	40	37.34	1	0

Tabel 4.22 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan sihir FSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	900	10.26	2	0
2	2	2	880	13.36	2	0
3	2	3	855	14.62	2	0
4	2	4	815	16.88	2	0
5	2	5	750	21	2	0
6	2	6	695	22.68	2	0
7	2	7	645	23.7	2	0
8	2	8	575	26.02	2	0
9	2	9	515	24.8	2	0
10	2	10	425	29.9	1	0
11	2	11	295	36.26	1	0
12	2	12	170	37.1	1	0
13	2	13	0	38.44	-1	0

Dari Tabel 4.21 dan Tabel 4.22 dapat diamati bahwa NPC Tower Kamandaka saat menghadapi satu sihir (lemah) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 10,06 detik dan untuk FSM 10,26 detik. Adapun Sisa nyawa Tower Kamandaka bernilai sama 900 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan

antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.23 dan Tabel 4.24.

Tabel 4.23 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

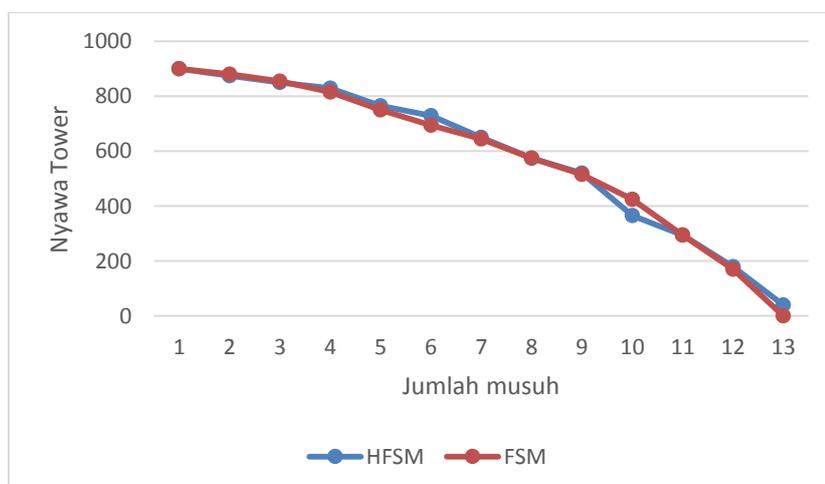
Percobaan	HFSM	FSM
1	900	900
2	875	880
3	850	855
4	830	815
5	765	750
6	730	695
7	650	645
8	575	575
9	520	515
10	365	425
11	295	295
12	180	170
13	40	0
Rata - rata	582.69	578.46

Tabel 4.24 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM
1	10.06	10.26
2	12.78	13.36
3	15.52	14.62
4	15.64	16.88
5	19.44	21
6	18.48	22.68
7	23.22	23.7
8	25.46	26.02
9	23.46	24.8
10	34.76	29.9
11	36.1	36.26
12	36.6	37.1
13	37.34	38.44
Rata - rata	23.76	24.23

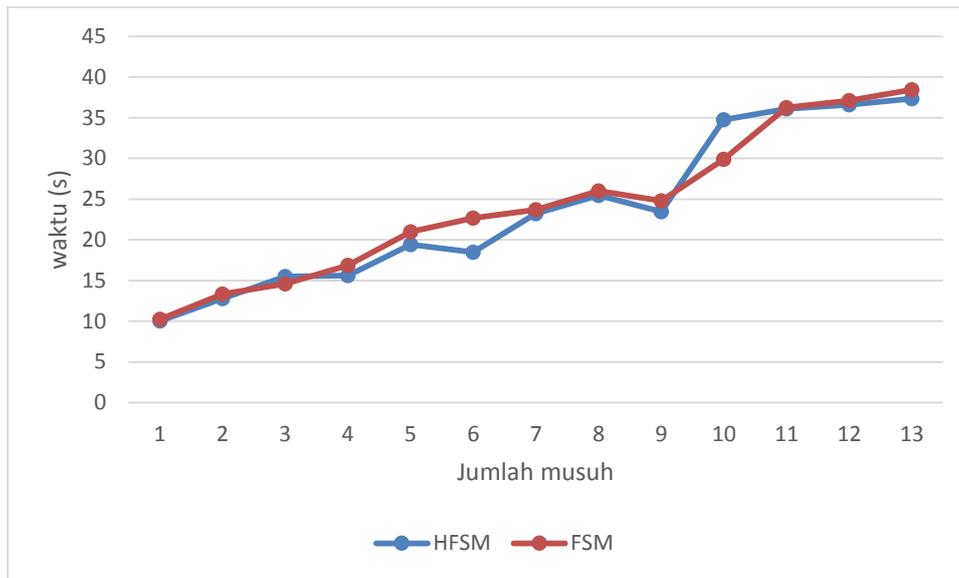
Dari Tabel 4.23, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 25 sedangkan dengan

metode FSM adalah 20. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 25 dan 25 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 20 dan 40 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 65 dan 65 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 35 dengan metode HFSM dan 55 untuk FSM. Selisih pengujian keenam dan ketujuh bernilai 80 dengan metode HFSM dan 50 FSM. Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 75 dengan metode HFSM dan 70 untuk FSM. Selisih pengujian kedelapan dan kesembilan bernilai 55 dengan metode HFSM dan 60 untuk FSM. Selisih pengujian kesembilan dan kesepuluh bernilai 155 dengan metode HFSM dan 90 untuk FSM. Selisih pengujian kesepuluh dan kesebelas bernilai 70 dengan metode HFSM dan 130 untuk FSM. Selisih pengujian kesebelas dan keduabelas bernilai 115 dengan metode HFSM dan 125 untuk FSM. Selisih pengujian keduabelas dan ketigabelas bernilai 140 dengan metode HFSM dan 170 untuk FSM. Saat pengujian ketigabelas Tower kamandaka dengan FSM hancur sedangkan Tower Kamandaka dengan HFSM hancur pada pengujian keempatbelas. inilah titik maksimal ketahanan 2 NPC Tower kamandaka menghadapi musuh pasukan sihir (lemah). Dari empatbelas pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 71,67 dengan HFSM dan untuk FSM 75. Sehingga didapatkan nilai grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.19



Gambar 4.19 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Kamandaka melawan pasukan sihir

Dari Tabel 4.24, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 2,72 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 3,1 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 2,74 detik dan 1,26 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 0,12 detik dan 2,26 untuk metode FSM. Sedangkan selisih pengujian keempat dan kelima dengan metode HFSM adalah 3,8 dan 4,12 untuk FSM. Selisih pengujian kelima dan keenam bernilai 0,96 detik dengan metode HFSM dan 1,68 untuk FSM. Selisih pengujian keenam dan ketujuh bernilai 4,74 detik dengan metode HFSM dan 1,02 untuk FSM. Selisih pengujian ketujuh dan kedelapan bernilai 2,24 detik dengan metode HFSM dan 2,32 untuk FSM. Selisih pengujian kedelapan dan kesembilan bernilai 2,00 detik dengan metode HFSM dan 1,22 untuk FSM. Selisih pengujian kesembilan dan kesepuluh bernilai 11,3 detik dengan metode HFSM dan 5,10 untuk FSM. Selisih pengujian kesepuluh dengan kesebelas bernilai 1,34 detik dengan metode HFSM dan 6,36 untuk FSM. Selisih pengujian kesebelas dengan duabelas bernilai 0,50 detik dengan metode HFSM dan 0,84 untuk FSM. Selisih pengujian duabelas dengan ketigabelas bernilai 0,74 detik dengan metode HFSM dan 1,34 untuk FSM. Saat pengujian ketigabelas Tower kamandaka dengan FSM hancur. Sedangkan Tower kamandaka dengan HFSM hancur saat menghadapi 14 pasukan sihir. Dari 14 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 2,76 detik untuk HFSM dan 2,55 untuk FSM. Dari pengujian ini membuktikan bahwa dengan HFSM waktu combat NPC Kamandaka lebih lama 0,215 detik dibanding tower dengan FSM. Dan juga Tower dengan FSM lebih tahan lama dibanding Tower dengan HFSM. Sehingga didapatkan nilai grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.20. Meskipun lebih lama tapi Tower kamandaka dengan HFSM memiliki keunggulan lebih banyak sisa nyawa.



Gambar 4.20 Grafik perbandingan waktu tarung 2 NPC Kamandaka melawan pasukan sihir

4.1.3 Pengujian skenario Gandewa Tower Melawan 3 Jenis Pasukan

Pengujian berikutnya adalah pengujian NPC Gandewa Tower melawan 3 jenis pasukan kuat (pedang), pasukan sedang (pedang), dan pasukan lemah (sihir). Untuk pengujian ini Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai maksimal. Mula – mula Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah secara linier. Skenario pertama Gandewa Tower melawan pasukan pedang, Dari pengujian Gandewa Tower melawan pasukan pedang didapatkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.25



Gambar 4.21 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang (kuat)

Tabel 4.25 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat HFSM

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	325	10.66	1	0
2	1	2	255	17.18	1	0
3	1	3	105	25.24	1	0
4	1	4	0	22.94	0	2

Tabel 4.26 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat FSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	325	10.7	1	0
2	1	2	255	17.26	1	0
3	1	3	105	25.26	1	0
4	1	4	0	23.02	0	2

Dari Tabel 4.25 dan Tabel 4.26 dapat diamati bahwa NPC Gandewa Tower saat menghadapi satu pedang (kuat) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 10,66 detik dan untuk FSM 10,7 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 325 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.27 dan Tabel 4.28.

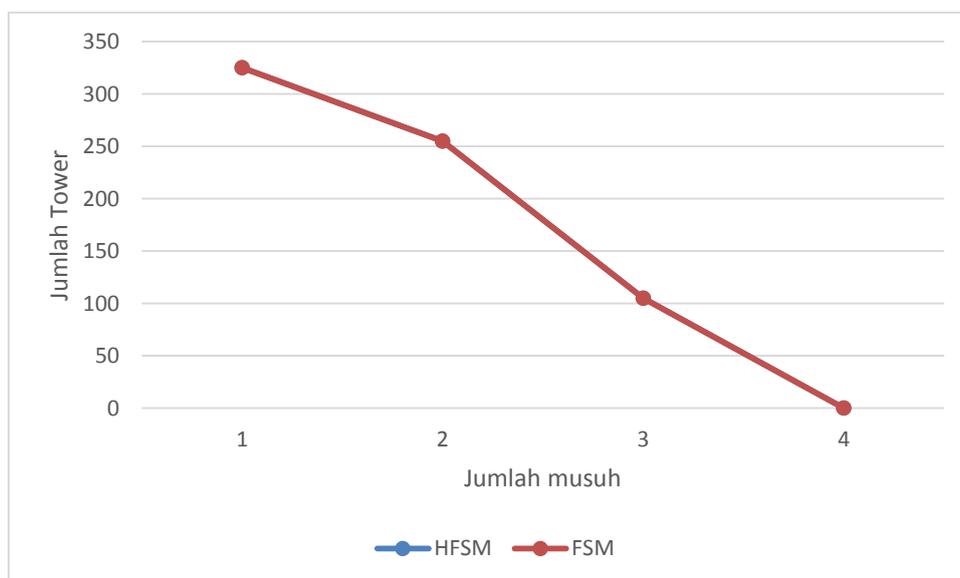
Tabel 4.27 Perbandingan Sisa Nyawa Tower

No	HFSM	FSM
1	325	325
2	255	255
3	105	105
4	0	0
Rata - rata	171.25	171.25

Tabel 4.28 Perbandingan Waktu

No	HFSM	FSM
1	10.66	10.7
2	17.18	17.26
3	25.24	25.26
4	22.94	23.02
Rata - rata	19.005	19.06

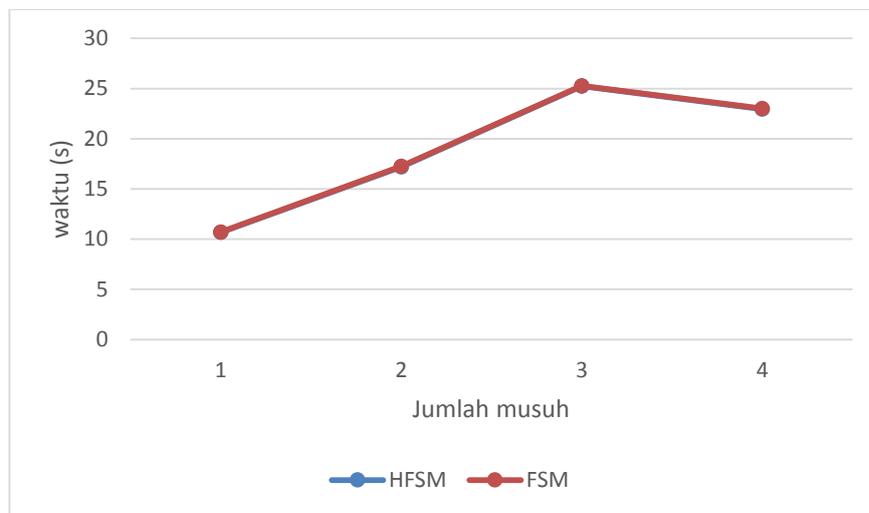
Dari Tabel 4.27, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 70 sedangkan dengan metode FSM adalah 70. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 150 dan 150 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 105 dan 105 untuk metode FSM. Saat pengujian keempat Gandewa Tower hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Gandewa Tower menghadapi musuh pasukan panah (sedang). Dari empat pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 108,33 dengan HFSM dan untuk FSM 108,33. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.22



Gambar 4.22 Grafik perbandingan sisa health NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang

Dari Tabel 4.28, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 6,52 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 6,56 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 8,06 detik dan 8,00 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 2,30 detik dan 2,24 untuk metode FSM. Saat pengujian keempat Gandewa Tower hancur. Dari 4 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan

jumlah pasukan 5,63 detik untuk HFSM dan 5,60 untuk FSM. Meskipun Dari pengujian ini membuktikan bahwa dengan HFSM waktu combat NPC Gandewa tower lebih lama 0,03 detik dibanding tower dengan FSM dan juga Tower dengan FSM lebih tahan lama dibanding Tower dengan HFSM, namun perbedaan ini sangat tipis sekali sehingga perlu penambahan jumlah Gandewa Tower agar semakin jelas perbedaannya. Dari 4 pengujian didapatkan nilai grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.23



Gambar 4.23 Grafik perbandingan waktu NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang

Skenario kedua Gandewa Tower melawan pasukan panah, Dari pengujian Gandewa Tower melawan pasukan pedang didapatkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.29



Gambar 4.24 Pengujian Gandewa Tower melawan pasukan panah (sedang)

Tabel 4.29 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat HFSM

Pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	325	6.68	1	0
2	1	2	297	11.18	1	0
4	1	3	241	15.44	1	0
5	1	4	157	20.08	1	0
6	1	5	0	23.74	0	1

Tabel 4.30 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat FSM

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	Sisa Tower	Sisa Musuh
1	1	1	325	6.78	1	0
2	1	2	297	11.44	1	0
3	1	3	255	14.22	1	0
4	1	4	164	20.32	1	0
5	1	5	0	23.32	0	2

Dari Tabel 4.29 dan Tabel 4.30 dapat diamati bahwa NPC Gandewa Tower saat menghadapi satu panah (sedang) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 6,68 detik dan untuk FSM 6,78 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 325 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.31 dan Tabel 4.32.

Tabel 4.31 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

No	HFSM	FSM
1	325	325
2	297	297
3	241	255
4	157	164
5	0	0
Rata - rata	204	208.2

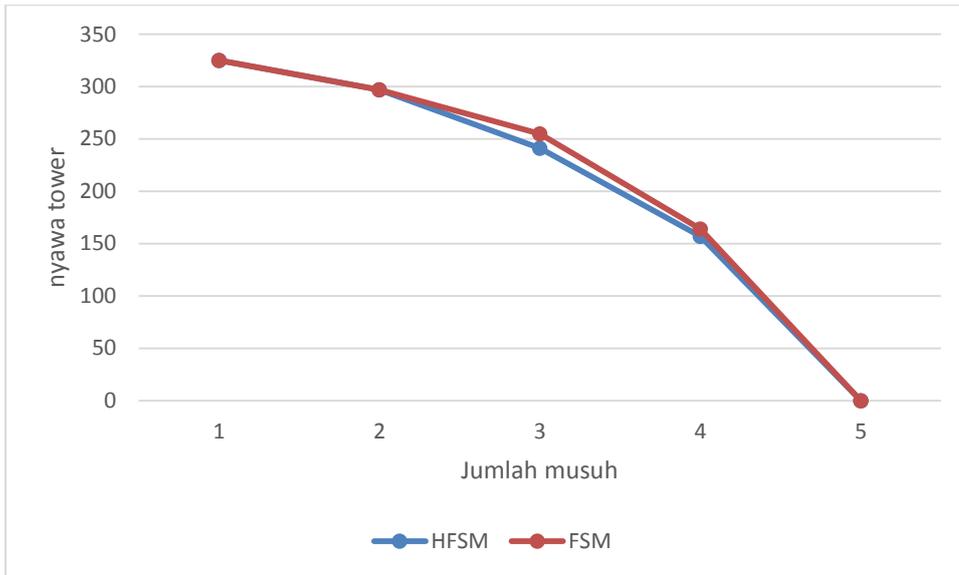
Tabel 4.32 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

No	HFSM	FSM
1	6.68	6.78
2	11.18	11.44
3	15.44	14.22
4	20.08	20.32
5	23.74	23.32
Rata - rata	15.424	15.216

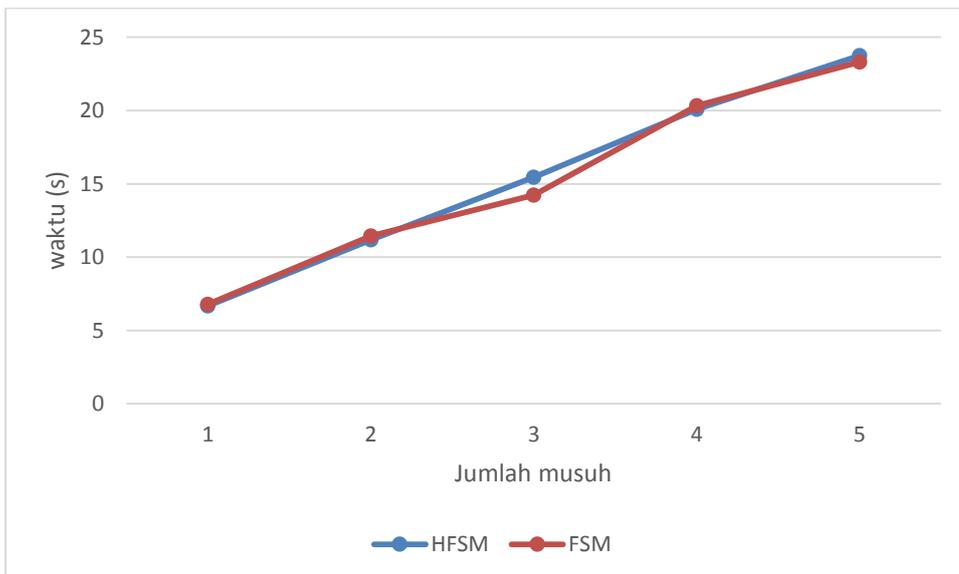
Dari Tabel 4.31, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 28 sedangkan dengan metode FSM adalah 28. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 56 dan 42 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 84 dan 91 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keempat dan pengujian kelima dengan metode HFSM adalah 157 dan 164 untuk metode FSM. Saat pengujian kelima Gandewa Tower hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Gandewa Tower menghadapi musuh pasukan panah (sedang). Dari empat pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 81,25 dengan HFSM dan untuk FSM 81,25. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.25

Dari Tabel 4.32, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 4,50 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 4,66 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 4,26 detik dan 2,78 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 4,64 detik dan 6,10 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 3,66 detik dan 3,00 untuk metode FSM. Saat pengujian kelima Gandewa Tower hancur. Dari 5 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 4,27 detik untuk HFSM dan 4,14 untuk FSM. Meskipun Dari pengujian ini membuktikan bahwa dengan HFSM waktu combat NPC Gandewa tower lebih lama 0,13 detik

dibanding tower dengan FSM dan juga Tower dengan FSM lebih tahan lama dibanding Tower dengan HFSM, namun perbedaan ini sangat tipis sekali sehingga perlu penambahan jumlah Gandewa Tower agar semakin jelas perbedaannya. Dari 5 pengujian didapatkan nilai grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.26



Gambar 4.25 Grafik perbandingan sisa health NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah



Gambar 4.26 Grafik perbandingan waktu NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang

Skenario ketiga Gandewa Tower melawan pasukan petir, Dari pengujian Gandewa Tower melawan pasukan pedang didapatkan hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.33 dan Tabel 4.34



Gambar 4.27 NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir (lemah)

Tabel 4.33 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir HFSM

Pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	325	8.7	1	0
2	1	2	305	13.18	1	0
3	1	3	260	17.76	1	0
4	1	4	195	22.2	1	0
5	1	5	85	28.78	1	0
6	1	6	0	26.6	0	2

Tabel 4.34 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir FSM

pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	325	8.72	1	0
2	1	2	305	13.2	1	0
3	1	3	255	17.76	1	0
4	1	4	195	22.28	1	0
5	1	5	85	28.8	1	0
6	1	6	0	26.62	0	2

Dari Tabel 4.33 dan Tabel 4.34 dapat diamati bahwa NPC Gandewa Tower saat menghadapi satu sihir (lemah) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 8,7 detik dan untuk FSM 8,72 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 325 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.35 dan Tabel 4.36

Tabel 4.35 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

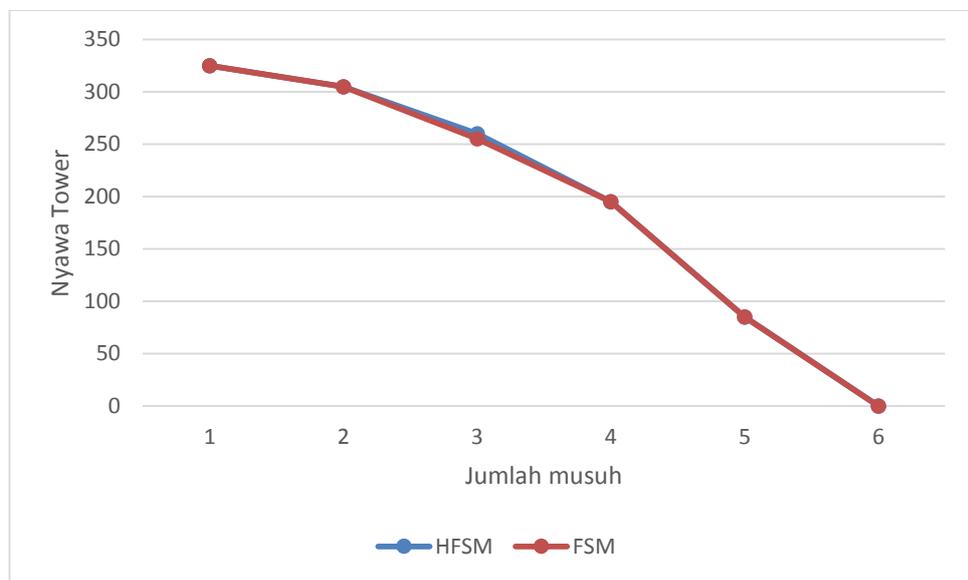
No	HFSM	FSM
1	325	325
2	305	305
3	260	255
4	195	195
5	85	85
6	0	0
Rata - rata	195	194.16

Tabel 4.36 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

No	HFSM	FSM
1	8.7	8.72
2	13.18	13.2
3	17.76	17.76
4	22.2	22.28
5	28.78	28.8
6	26.6	26.62
Rata - rata	19.54	19.56

Dari Tabel 4.35, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 20 sedangkan dengan metode FSM adalah 20. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 45 dan 50 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 65 dan 60 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keempat dan pengujian kelima dengan metode HFSM adalah 110

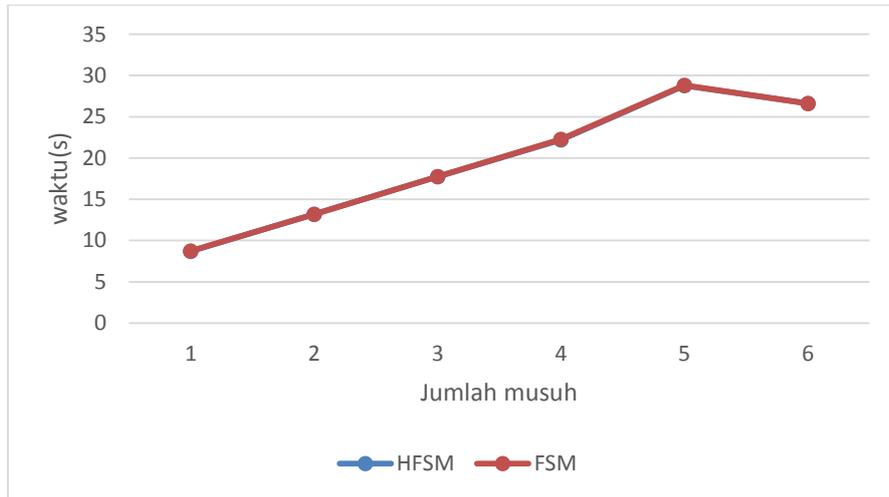
dan 110 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian kelima dan pengujian keenam dengan metode HFSM adalah 85 dan 85 untuk metode FSM. Saat pengujian keenam Gandewa Tower hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Gandewa Tower menghadapi musuh pasukan sihir (lemah). Dari enam pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 65 dengan HFSM dan untuk FSM juga 65. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.28



Gambar 4.28 Grafik perbandingan sisa health NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir

Dari Tabel 4.36, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 4,48 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 4,48 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 4,58 detik dan 4,56 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 4,44 detik dan 4,52 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keempat dan pengujian kelima dengan metode HFSM adalah 6,58 detik dan 6,52 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian kelima dan pengujian keenam dengan metode HFSM adalah 2,18 detik dan 2,18 untuk metode FSM. Saat pengujian keenam Gandewa Tower hancur. Dari 6 pengujian didapatkan nilai rata – rata

kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 4,45 detik untuk HFSM dan 4,45 untuk FSM. Nilai waktu antara Gandewa Tower dengan metode HFSM dan FSM adalah sama. Dari 6 pengujian didapatkan nilai grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.29



Gambar 4.29 Grafik perbandingan waktu tarung NPC Kamandaka melawan pasukan pedang

4.1.4 Pengujian skenario 2 Gandewa Tower vs Tiga Jenis Musuh

Pada pengujian skenario 1 ini, terdapat 2 NPC Gandewa Tower dengan pasukan musuh pedang (kuat). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan pedang mempunyai daya rusak 10. Mula – mula 2 Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.30 Pengujian 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang (kuat)

Tabel 4.37 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang HFSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	650	8.22	2	0
2	2	2	650	9.42	2	0
3	2	3	600	14.18	2	0
4	2	4	540	16.66	2	0
5	2	5	440	20.58	2	0
6	2	6	315	24.86	1	0
7	2	7	55	29.96	1	0
8	2	8	0	24.18141	0	4

Tabel 4.38 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang FSM

pengujian	Jumlah Tower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	650	8.24	2	0
2	2	2	650	9.44	2	0
3	2	3	600	14.22	2	0
4	2	4	540	16.68	2	0
5	2	5	440	20.64	2	0
6	2	6	235	28.5	1	0
7	2	7	35	32.04	1	0
8	2	8	0	24.20889	0	4

Dari Tabel 4.37 dan Tabel 4.38 dapat diamati bahwa 2 NPC Gandewa Tower saat menghadapi satu pedang (kuat) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 8,22 detik dan untuk FSM 8,24 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 650 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.39 dan tabel 4.40

Tabel 4.39 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

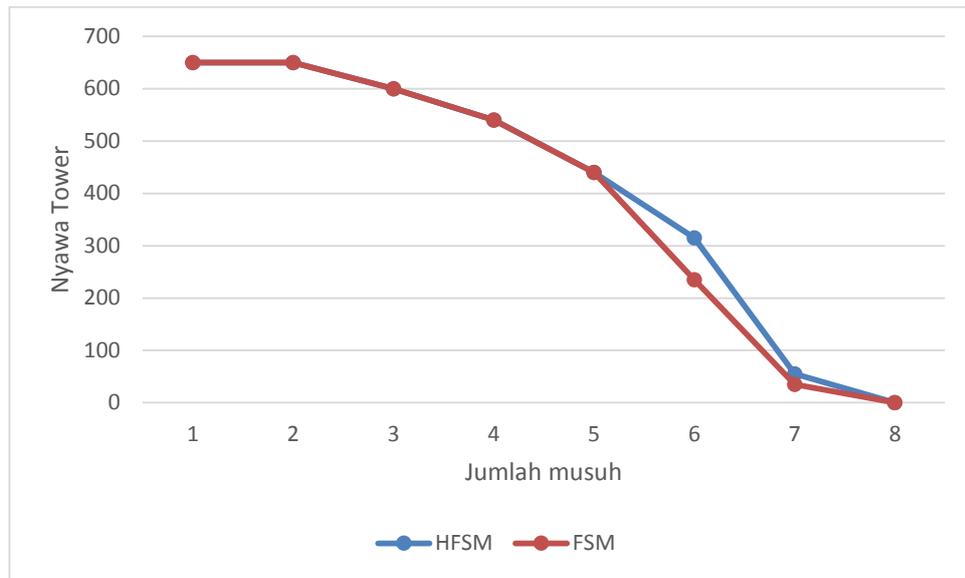
No	HFSM	FSM
1	650	650
2	650	650
3	600	600
4	540	540
5	440	440

6	315	235
7	55	35
8	0	0
Rata - rata	406.25	393.75

Tabel 4.40 Perbandingan Waktu HFSM dan FSM

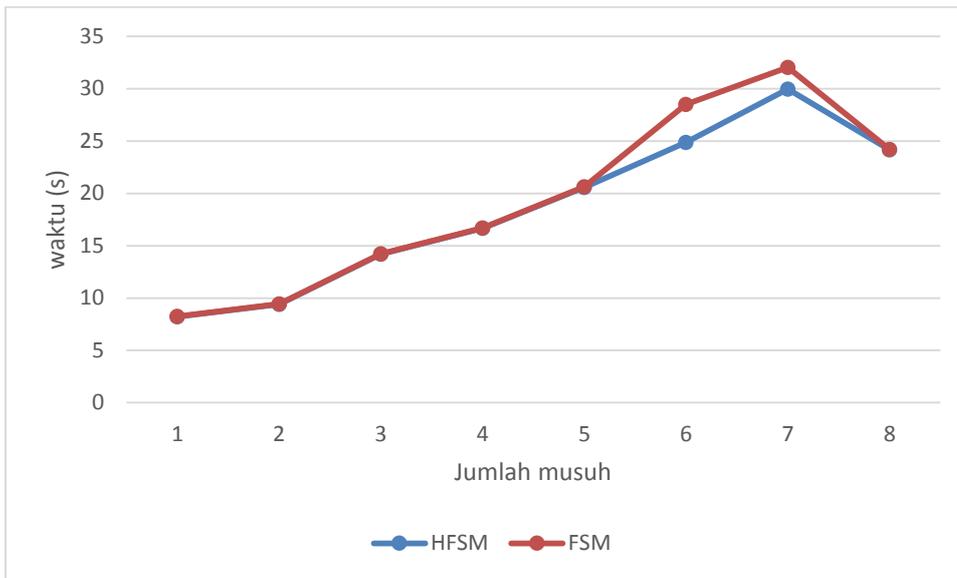
No	HFSM	FSM
1	8.22	8.24
2	9.42	9.44
3	14.18	14.22
4	16.66	16.68
5	20.58	20.64
6	24.86	28.5
7	29.96	32.04
8	24.18	24.21
Rata - rata	18.51	19.25

Dari Tabel 4.39, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 0 sedangkan dengan metode FSM adalah 0. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 50 dan 50 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 60 dan 60 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keempat dan pengujian kelima dengan metode HFSM adalah 100 dan 100 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian kelima dan pengujian keenam dengan metode HFSM adalah 125 dan 125 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keenam dan pengujian ketujuh dengan metode HFSM adalah 125 dan 200 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketujuh dan pengujian kedelapan dengan metode HFSM adalah 260 dan 200 untuk metode FSM. Saat pengujian kedelapan Gandewa Tower hancur dan inilah titik maksimal ketahanan 2 NPC Gandewa Tower menghadapi musuh pasukan sihir (lemah). Dari delapan pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 92.86 dengan HFSM dan untuk FSM juga 92.86. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.31



Gambar 4.31 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang

Dari Tabel 4.40, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 1,20 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 1,20 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 4,76 detik dan 4,78 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 2,48 detik dan 2,46 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keempat dan pengujian kelima dengan metode HFSM adalah 3,92 detik dan 3,96 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian kelima dan pengujian keenam dengan metode HFSM adalah 4,28 detik dan 7,86 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keenam dan pengujian ketujuh dengan metode HFSM adalah 5,10 detik dan 3,54 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketujuh dan pengujian kedelapan dengan metode HFSM adalah 5,78 detik dan 7,83 untuk metode FSM. Saat pengujian kedelaapan Gandewa Tower hancur. Dari 6 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 3,93 detik untuk HFSM dan 4,52 untuk FSM. Dari 8 pengujian didapatkan nilai grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.32



Gambar 4.32 Grafik perbandingan waktu 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan pedang

Pengujian berikutnya pengujian skenario 2, pada pengujian ini terdapat 2 NPC Gandewa Tower dengan pasukan musuh panah (sedang) ditunjukkan Gambar 4.33. Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan pedang mempunyai daya rusak 7. Mula – mula 2 Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.33 Pengujian 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah (sedang)

Tabel 4.41 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah HFSM

pengujian	Jumla Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	650	5.58	2	0
2	2	2	650	7.4	2	0
3	2	3	636	8.5	2	0
4	2	4	608	10.68	2	0
5	2	5	566	12.66	2	0
6	2	6	524	13.98	2	0
7	2	7	475	15.48	2	0
8	2	8	384	17.5	2	0
9	2	9	234	26.02	1	0
10	2	10	0	30.66	0	1

Tabel 4.42 Hasil Pengujian Skenario NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah FSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	Sisa Tower	Sisa Musuh
1	2	1	650	5.64	2	0
2	2	2	650	7.52	2	0
3	2	3	629	9.24	2	0
4	2	4	594	10.78	2	0
5	2	5	552	12.9	2	0
6	2	6	510	14.64	2	0
7	2	7	489	15.64	2	0
8	2	8	384	17.86	2	0
9	2	9	227	24.42	1	0
10	2	10	0	14.14	0	5

Dari Tabel 4.41 dan Tabel 4.42 dapat diamati bahwa 2 NPC Gandewa Tower saat menghadapi satu panah (kuat) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 5,58 detik dan untuk FSM 5,64 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 650 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.43 dan tabel 4.44

Tabel 4.43 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

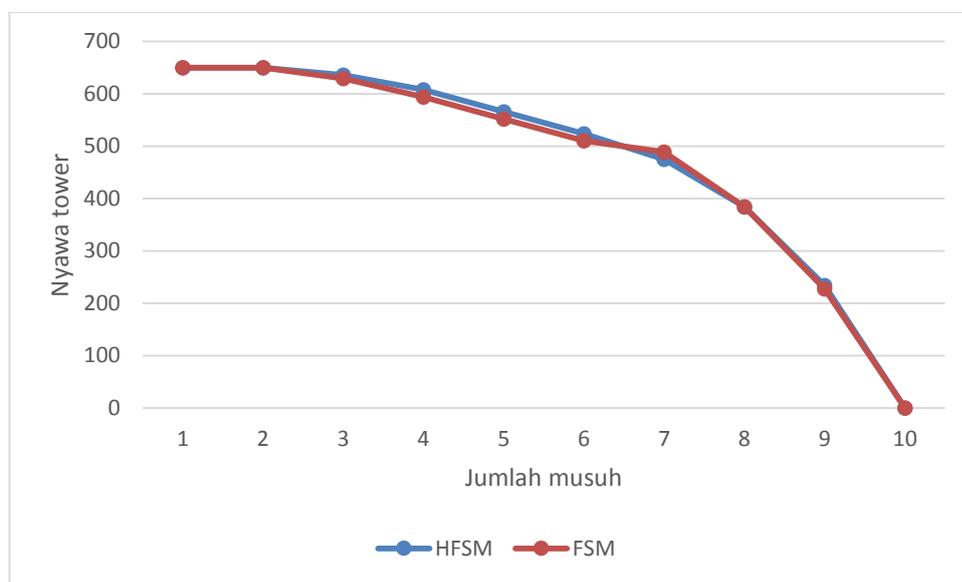
Percobaan	HFSM	FSM
1	650	650
2	650	650
3	636	629
4	608	594
5	566	552
6	524	510
7	475	489
8	384	384
9	234	227
10	0	0

Tabel 4.44 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

percobaan	HFSM	FSM
1	5.58	5.64
2	7.4	7.52
3	8.5	9.24
4	10.68	10.78
5	12.66	12.9
6	13.98	14.64
7	15.48	15.64
8	17.5	17.86
9	26.02	24.42
10	30.66	14.14

Dari Tabel 4.43, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 0 sedangkan dengan metode FSM adalah 0. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 14 dan 21 untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 28 dan 35 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keempat dan pengujian kelima dengan metode HFSM adalah 42 dan 42 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian kelima dan pengujian keenam dengan metode HFSM adalah 42 dan 42 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keenam dan pengujian ketujuh dengan metode HFSM adalah 49 dan 21 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketujuh dan pengujian kedelapan dengan metode HFSM adalah 91

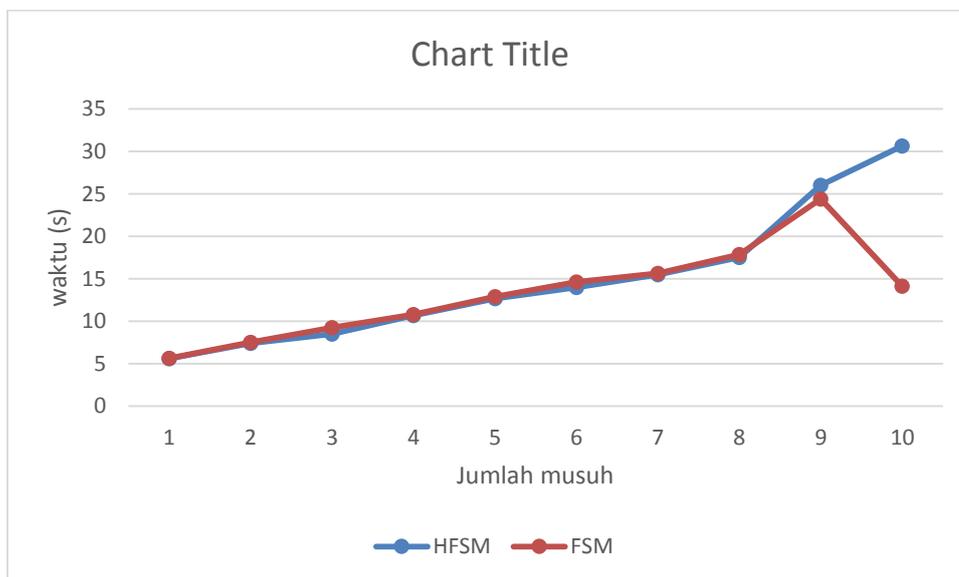
dan 105 untuk metode FSM. Selisih pengujian kedelapan kesembilan adalah 150 untuk HFSM dan 157 untuk FSM. Sedangkan dari Sembilan ke sepuluh masing – masing 234 dan 227. Saat pengujian kesepuluh 2 Gandewa Tower hancur dan inilah titik maksimal ketahanan 2 NPC Gandewa Tower menghadapi musuh pasukan sihir (lemah). Dari sepuluh pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 72,22 dengan HFSM dan untuk FSM juga 72,22. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.34



Gambar 4.34 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah

Dari Tabel 4.44, Untuk pengujian dengan metode HFSM didapatkan selisih nilai dari pengujian pertama dengan pengujian kedua adalah 1,82 detik sedangkan dengan metode FSM adalah 1,88 detik. Untuk pengujian kedua dengan pengujian ketiga dengan metode HFSM didapatkan nilai selisih 1,10 detik dan 1,72 detik untuk pengujian dengan FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketiga dan pengujian keempat dengan metode HFSM adalah 2,18 detik dan 1,54 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keempat dan pengujian kelima dengan metode HFSM adalah 1,98 detik dan 2,12 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian kelima dan pengujian keenam dengan metode HFSM adalah 1,32 detik dan 1,74 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian keenam dan pengujian ketujuh dengan metode HFSM

adalah 1,50 detik dan 1,00 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian ketujuh dan pengujian kedelapan dengan metode HFSM adalah 2,02 detik dan 2,22 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian kedelapan dan pengujian kekesembilan dengan metode HFSM adalah 8,52 detik dan 6,56 untuk metode FSM. Adapun selisih pengujian antara pengujian kesembilan dan pengujian kesepuluh dengan metode HFSM adalah 4,64 detik dan 10,28 untuk metode FSM. Saat pengujian kesepuluh Gandewa Tower hancur. Dari 10 pengujian didapatkan nilai rata – rata kenaikan waktu combat untuk setiap penambahan jumlah pasukan 2,79 detik untuk HFSM dan 3,23 untuk FSM. Dari 10 pengujian didapatkan nilai grafik seperti yang ditunjukkan Gambar 4.35



Gambar 4.35 Grafik perbandingan waktu 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan panah

Pada pengujian skenario 3 ini, terdapat 2 NPC Gandewa Tower dengan pasukan musuh petir (lemah). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan pedang mempunyai daya rusak 7. Mula – mula 2 Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier. Hasil pengujian 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan petir disajikan pada Tabel 4.45 Untuk Tower dengan Metode HFSM dan Tabel 4.46 untuk Tower dengan metode FSM.



Gambar 4.36 Pengujian skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir

Tabel 4.45 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat HFSM

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	Sisa Tower	SisaMusuh
1	2	1	650	7.44	2	0
2	2	2	650	9.059999	2	0
3	2	3	640	10.5	2	0
4	2	4	625	12.04	2	0
5	2	5	600	13.58	2	0
6	2	6	545	16.58	2	0
7	2	7	490	18.78	2	0
8	2	8	460	20.12	2	0
9	2	9	370	23.22	2	0
10	2	10	255	30.1	1	0
11	2	11	45	34.2	1	0
12	2	12	0	28.74	0	4

Tabel 4.46 Hasil Pengujian Skenario 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan kuat FSM

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	650	7.44	2	0
2	2	2	650	9.08	2	0
3	2	3	640	10.6	2	0
4	2	4	625	12.08	2	0
5	2	5	600	13.6	2	0
6	2	6	545	16.76	2	0
7	2	7	490	18.78	2	0
8	2	8	420	22.2	2	0
9	2	9	305	27.8	1	0
10	2	10	235	30.74	1	0
11	2	11	20	34.24	1	0
12	2	12	0	28.76	0	5

Dari Tabel 4.45 dan Tabel 4.46 dapat diamati bahwa 2 NPC Gandewa Tower saat menghadapi satu pedang (kuat) mempunyai waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 7,44 detik dan untuk FSM 7,44 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 650 baik menggunakan HFSM maupun FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.47 dan tabel 4.48

Tabel 4.47 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

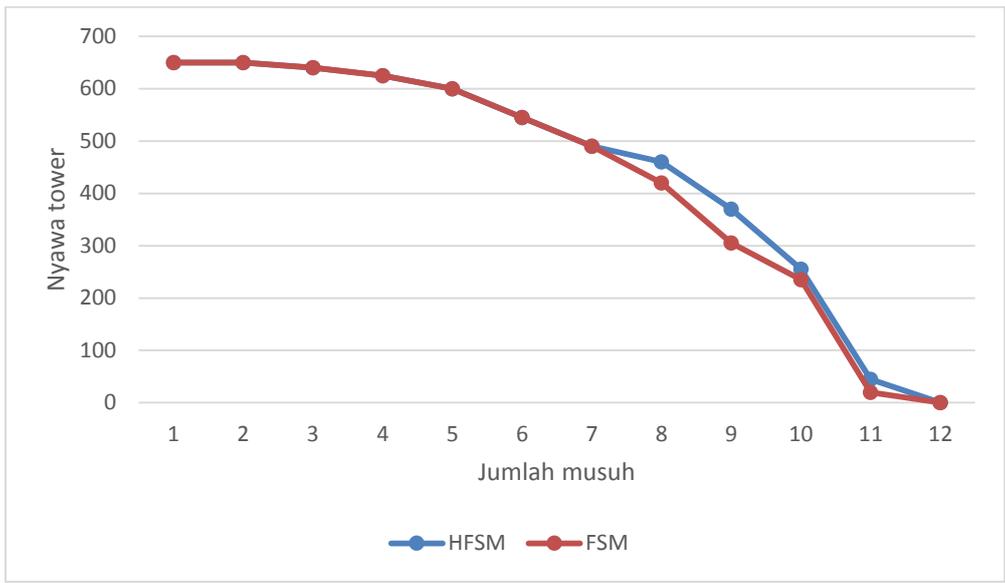
Percobaan	HFSM	FSM	Selisih setiap Percobaan HFSM	Selisih setiap Percobaan FSM
1	650	650	0	0
2	650	650	0	0
3	640	640	10	10
4	625	625	15	15
5	600	600	25	25
6	545	545	55	55
7	490	490	55	55
8	460	420	30	70
9	370	305	90	115

10	255	235	115	70
11	45	20	210	215
12	0	0	45	20
Rata - rata	444.1667	431.6667	59.09	59.09

Tabel 4.48 Perbandingan Waktu HFSM dan FSM

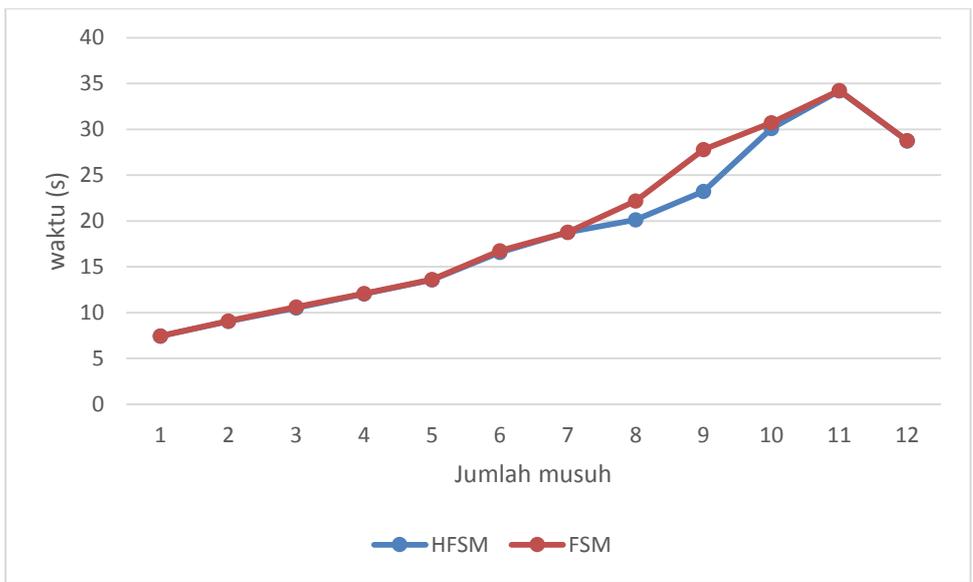
Percobaan	HFSM	FSM	Selisih Setiap Percobaan HFSM	Selisih Setiap Percobaan FSM
1	7.44	7.44	0	0
2	9.06	9.08	1.62	1.64
3	10.5	10.6	1.44	1.52
4	12.04	12.08	1.54	1.48
5	13.58	13.6	1.54	1.52
6	16.58	16.76	3	3.16
7	18.78	18.78	2.2	2.02
8	20.12	22.2	1.34	3.42
9	23.22	27.8	3.1	5.6
10	30.1	30.74	6.88	2.94
11	34.2	34.24	4.1	3.5
12	28.74	28.76	5.46	5.48
Rata - rata	18.69	19.34	2.929	2.934

Dari Tabel 4.39, didapatkan rata – rata selisih setiap percobaan adalah 59,09 untuk percobaan HFSM dan FSM. Saat pengujian keduabelas Gandewa Tower hancur dan inilah titik maksimal ketahanan 2 NPC Gandewa Tower menghadapi musuh pasukan sihir (lemah). Dari dua belas pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 59,09 dengan HFSM dan untuk FSM juga 59,09. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.31



Gambar 4.37 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir

Dari Tabel 4.40, didapatkan rata – rata waktu selisih dari tiap percobaan adalah 2,929 dan 2,934. Saat pengujian keduabelas Gandewa Tower hancur dan inilah titik maksimal ketahanan 2 NPC Gandewa Tower menghadapi musuh pasukan sihir (lemah). Dari dua belas pengujian tersebut didapatkan rata – rata waktu combat 2 NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 2,929 dengan HFSM dan untuk FSM juga 2,934. Sehingga didapatkan nilai grafik yang hampirimbang seperti yang ditunjukkan Gambar 4.31



Gambar 4.38 Grafik perbandingan waktu 2 NPC Gandewa Tower melawan pasukan sihir

4.1.5 Pengujian skenario NPC Adikara melawan 3 Jenis Musuh

Pada pengujian skenario 1 ini, terdapat NPC Adikara dengan pasukan musuh pedang (kuat). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan pedang mempunyai daya rusak 10. Mula – mula Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.39 Skenario Pengujian NPC Adikara melawan pasukan pedang

Tabel 4.49 Hasil Pengujian Skenario NPC adikara melawan pasukan pedang (kuat) HFSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	350	14.90741	1	0
2	1	2	300	14.88168	1	0
3	1	3	260	14.88085	1	0
4	1	4	210	14.8618	1	0
5	1	5	160	14.82681	1	0
6	1	6	160	14.90253	1	0
7	1	7	120	14.92708	1	0

Tabel 4.50 Hasil Pengujian Skenario NPC Kamandaka melawan pasukan pedang (kuat) FSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	340	16.46138	1	0
2	1	2	280	16.40442	1	0
3	1	3	220	16.39505	1	0
4	1	4	160	16.46396	1	0
5	1	5	100	16.36696	1	0
6	1	6	40	16.42117	1	0
7	1	7	0	15.90856	0	7

Dari Tabel 4.49 dan Tabel 4.50 dapat diamati bahwa NPC Adikara saat menghadapi satu pedang (kuat) mempunyai perbedaan waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 14,90 detik dan untuk FSM 16,46 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 350 menggunakan HFSM dan 340 untuk FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan yang mencolok antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.51 dan tabel 4.52

Tabel 4.51 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

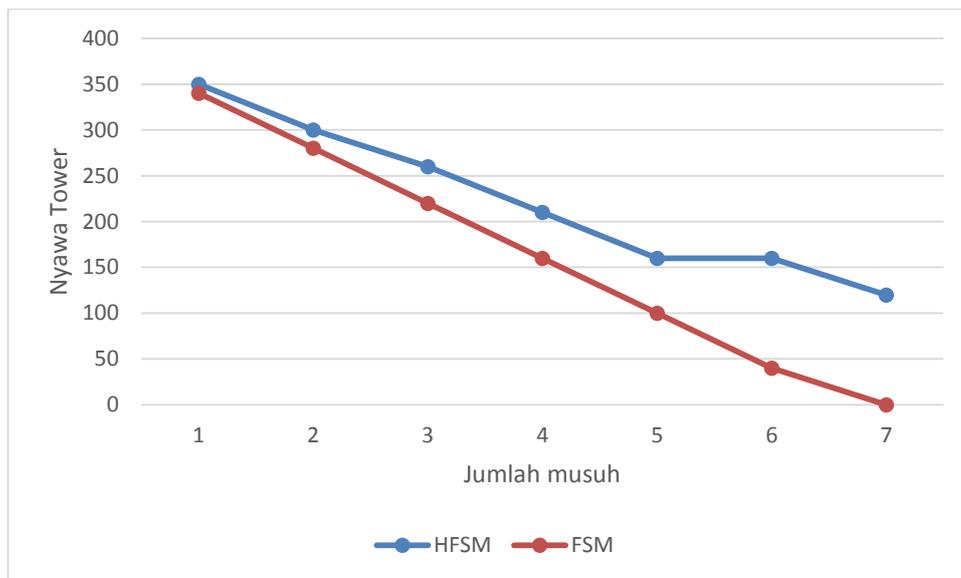
Pengujian	HFSM	FSM	Selisih Setiap Percobaan HFSM	Selisih Percobaan FSM
1	350	340	-	-
2	300	280	50.00	60.00
3	260	220	40.00	60.00
4	210	160	50.00	60.00
5	160	100	50.00	60.00
6	160	40	0.00	60.00
7	120	0	40.00	40.00
Rata - rata	222.8571	162.8571	38.33	56.67

Tabel 4.52 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

Pengujian	HFSM	FSM	Selisih Setiap Percobaan HFSM	Selisih Setiap Percobaan FSM
1	14.90741	16.46138	-	-
2	14.88168	16.40442	0.03	0.06
3	14.88085	16.39505	0.00	0.01

Pengujian	HFSM	FSM	Selisih Setiap Percobaan HFSM	Selisih Setiap Percobaan FSM
4	14.8618	16.46396	0.02	0.07
5	14.82681	16.36696	0.03	0.10
6	14.90253	16.42117	0.08	0.05
7	14.92708	15.90856	0.02	0.51
Rata - rata	14.88402	16.34593	0.03	0.13

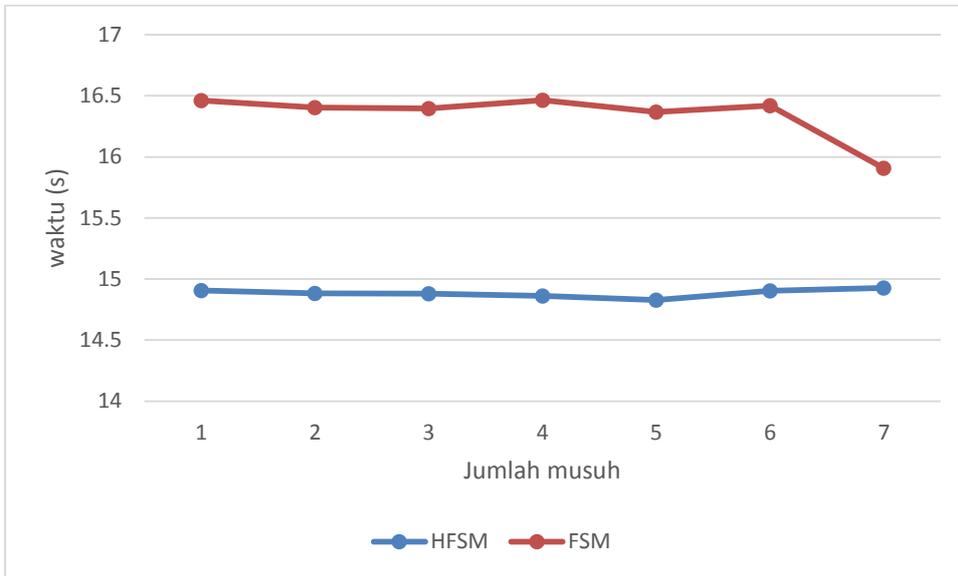
Dari Tabel 4.51, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian ketujuh NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari tujuh pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 38,33 dengan HFSM dan untuk FSM 56,67. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.40



Gambar 4.40 Grafik perbandingan sisa health NPC Adikara melawan pasukan pedang

Dari Tabel 4.52, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian ketujuh NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari tujuh pengujian tersebut didapatkan rata – rata waktu bertahan NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 0,03 detik dengan HFSM dan untuk FSM 0,13 detik. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.41. NPC

Adikara dengan metode HFSM lebih cepat membunuh musuh sehingga NPC Adikara lebih cepat bertahan dari serangan musuh.



Gambar 4.41 Grafik perbandingan waktu NPC Adikara melawan pasukan pedang

Pada pengujian skenario kedua ini, terdapat NPC Adikara dengan pasukan musuh panah (sedang). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan pedang mempunyai daya rusak 7. Mula – mula Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.42 Pengujian NPC Adikara melawan pasukan panah (sedang)

Tabel 4.53 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sedang HFSM

pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	365	14.04582	1	0
2	1	1	365	14.0575	1	0
3	1	2	330	13.86725	1	0
4	1	3	295	13.87024	1	0
5	1	4	260	13.9354	1	0
6	1	5	225	13.74953	1	0
7	1	6	190	13.71492	1	0
8	1	7	155	13.63973	1	0
9	1	8	120	13.68301	1	0
10	1	9	92	13.68426	1	0
11	1	10	50	13.64215	0	0

Tabel 4.54 FSM Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sedang FSM

pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	358	15.13732	1	0
2	1	1	358	15.03182	1	0
3	1	2	316	15.16333	1	0
4	1	3	274	14.87383	1	0

5	1	4	232	14.88229	1	0
6	1	5	190	14.70146	1	0
7	1	6	148	14.6829	1	0
8	1	7	106	14.69346	1	0
9	1	8	64	14.71097	1	0
10	1	9	22	14.73006	1	0
11	1	10	0	14.44	1	0

Dari Tabel 4.53 dan Tabel 4.54 dapat diamati bahwa NPC Adikara saat menghadapi satu panah (sedang) mempunyai perbedaan waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 14.04582 detik dan untuk FSM 15.13732 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 365 menggunakan HFSM dan 358 untuk FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan yang mencolok antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.55 dan tabel 4.56

Tabel 4.55 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

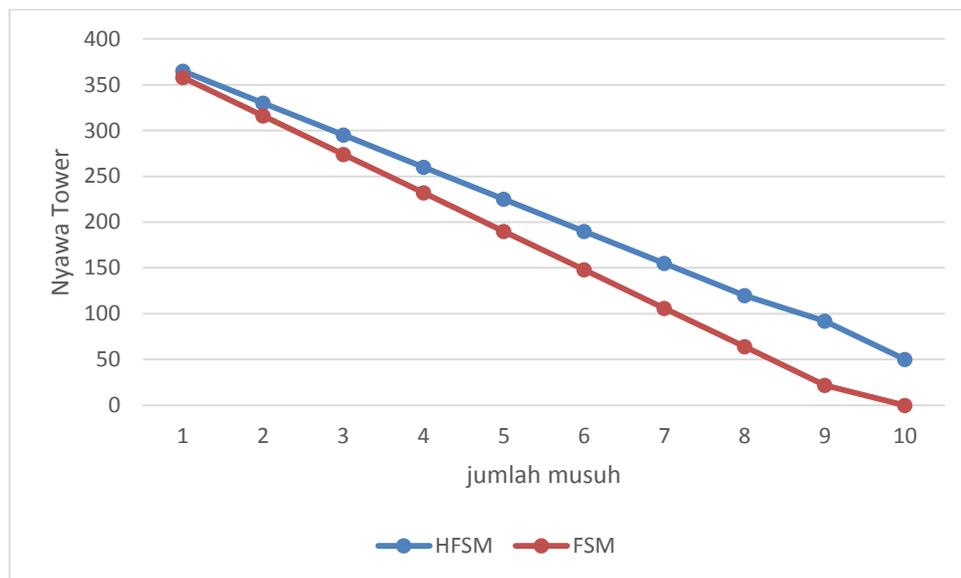
Percobaan	HFSM	FSM	Selisih Setiap Percobaan HFSM	Selisih Setiap Percobaan FSM
1	365	358	-	-
2	330	316	35	42
3	295	274	35	42
4	260	232	35	42
5	225	190	35	42
6	190	148	35	42
7	155	106	35	42
8	120	64	35	42
9	92	22	28	42
10	50	0	42	22
Rata - rat	208.2	171	35	39.77778

Tabel 4.56 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM	Selisih Percobaan HFSM	Selisih Percobaan FSM
1	14.0575	15.03182	-	-
2	13.86725	15.16333	0.19025	0.13151

3	13.87024	14.87383	0.00299	0.2895
4	13.9354	14.88229	0.06516	0.00846
5	13.74953	14.70146	0.18587	0.18083
6	13.71492	14.6829	0.03461	0.01856
7	13.63973	14.69346	0.07519	0.01056
8	13.68301	14.71097	0.04328	0.01751
9	13.68426	14.73006	0.00125	0.01909
10	13.64215	14.44	0.04211	0.29006
Rata - rat	13.7844	14.79101	0.07119	0.107342

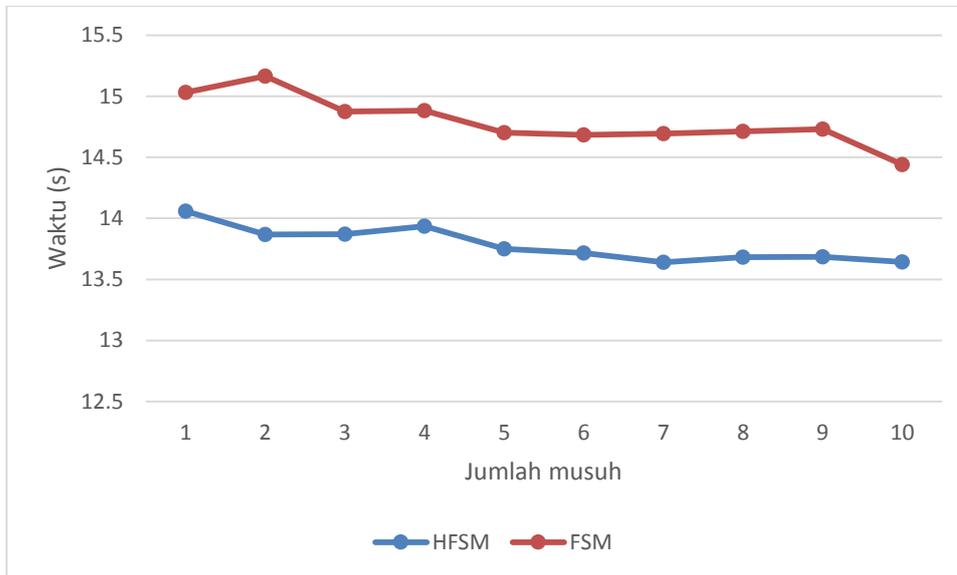
Dari Tabel 4.55, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian kesepuluh NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan panah (sedang). Dari sepuluh pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 35 dengan HFSM dan untuk FSM 39,778. Dengan Metode HFSM, NPC Tower masih memiliki sisa nyawa. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.43



Gambar 4.43 Grafik perbandingan sisa health NPC Adikara melawan pasukan panah

Dari Tabel 4.52, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian ketujuh NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari tujuh pengujian tersebut didapatkan rata – rata waktu bertahan NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 0,07119 detik dengan HFSM dan untuk FSM 0,107342 detik.

Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.44. NPC Adikara dengan metode HFSM lebih cepat membunuh musuh sehingga NPC Adikara lebih cepat bertahan dari serangan musuh.



Gambar 4.44 Grafik perbandingan waktu tarung NPC Adikara melawan pasukan panah

Pada pengujian skenario ketiga ini, terdapat NPC Adikara dengan pasukan musuh sihir (lemah). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan sihir mempunyai daya rusak 5. Mula – mula Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.45 Skenario Pengujian NPC Adikara melawan pasukan sihir (lemah)

Tabel 4.57 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sihir (HFSM)

pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	375	14.23928	1	0
2	1	2	350	14.16307	1	0
3	1	3	325	14.19596	1	0
4	1	4	300	14.24504	1	0
5	1	5	275	14.23143	1	0
6	1	6	250	14.2412	1	0
7	1	7	225	14.2024	1	0
8	1	8	205	14.24371	1	0
9	1	9	185	14.24293	1	0
10	1	10	115	19.75019	1	0
11	1	11	35	19.67146	1	0
12	1	12	5	19.70158	1	0

Tabel 4.58 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sihir (FSM)

pengujian	JumlaTower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	1	1	370	15.22448	1	0
2	1	2	340	15.25069	1	0
3	1	3	310	15.18513	1	0
4	1	4	280	15.21361	1	0
5	1	5	250	15.24627	1	0
6	1	6	220	15.18611	1	0
7	1	7	190	15.22811	1	0
8	1	8	165	15.20029	1	0
9	1	9	140	15.20312	1	0
10	1	10	70	20.70646	1	0
11	1	11	0	19.44	0	3
12	1	12	0	17.46	0	3

Dari Tabel 4.57 dan Tabel 4.58 dapat diamati bahwa NPC Adikara saat menghadapi satu sihir (sedang) mempunyai perbedaan waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 14.23928 detik dan untuk FSM 15.22448 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 375 menggunakan HFSM dan 370 untuk FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan yang

mencolok antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.59 dan tabel 4.60

Tabel 4.59 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

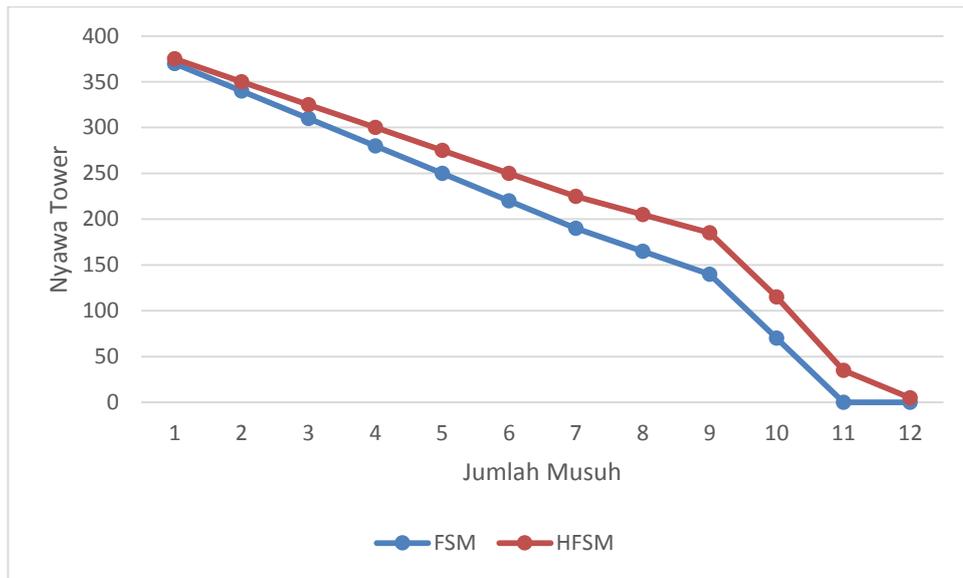
Percobaan	HFSM	FSM	Selisih Setiap Percobaan HFSM	Selisih Setiap Percobaan FSM
1	375	370	-	-
2	350	340	25	30
3	325	310	25	30
4	300	280	25	30
5	275	250	25	30
6	250	220	25	30
7	225	190	25	30
8	205	165	20	25
9	185	140	20	25
10	115	70	70	70
11	35	0	80	70
12	5	0	30	0
Rata - rata	192	162.5	35.55556	34.44444

Tabel 4.60 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

Percobaan	HFSM	FSM	Selisih Setiap Percobaan HFSM	Selisih Setiap Percobaan FSM
1	14.23928	15.22448	-	-
2	14.16307	15.25069	0.07621	0.02621
3	14.19596	15.18513	0.03289	0.06556
4	14.24504	15.21361	0.04908	0.02848
5	14.23143	15.24627	0.01361	0.03266
6	14.2412	15.18611	0.00977	0.06016
7	14.2024	15.22811	0.0388	0.042
8	14.24371	15.20029	0.04131	0.02782
9	14.24293	15.20312	0.00078	0.00283
10	19.75019	20.70646	5.50726	5.50334
11	19.67146	19.44	0.07873	1.26646
12	19.70158	17.46	0.03012	1.98
Rata - rata	15.87259	16.40691	0.641051	0.99375

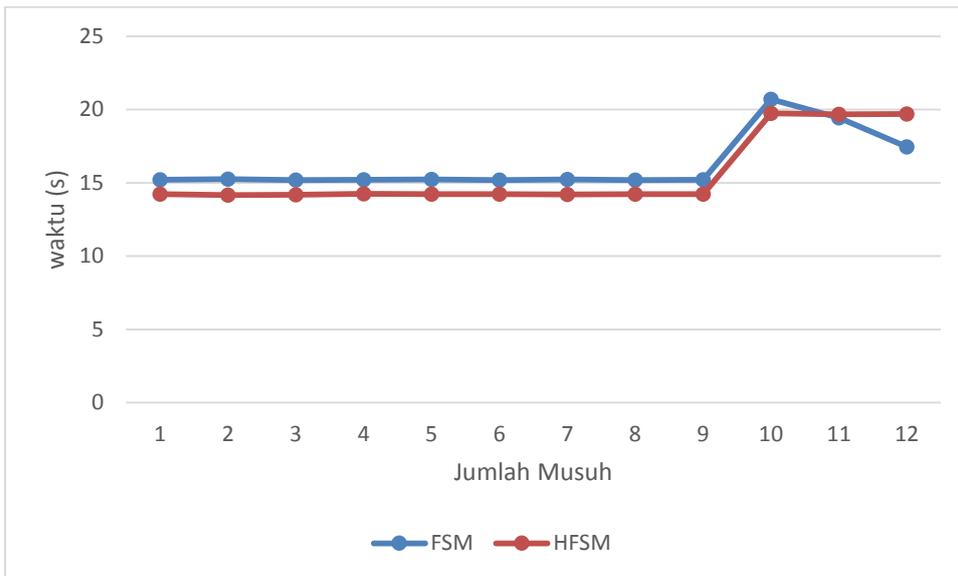
Dari Tabel 4.59, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian keduabelas NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan

NPC Adikara menghadapi musuh pasukan panah (sedang). Dari duabelas pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 35,56 dengan HFSM dan untuk FSM 34,44. Dengan Metode HFSM, NPC Tower masih memiliki sisa nyawa. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.46



Gambar 4.46 Grafik perbandingan sisa health NPC Adikara melawan pasukan sihir

Dari Tabel 4.60, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian keduabelas NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari duabelas pengujian tersebut didapatkan rata – rata waktu bertahan NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 0.641051 detik dengan HFSM dan untuk FSM 0.99375 detik. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.47. NPC Adikara dengan metode HFSM lebih cepat membunuh musuh sehingga NPC Adikara lebih cepat bertahan dari serangan musuh.



Gambar 4.47 Grafik perbandingan waktu NPC Adikara melawan pasukan sihir

4.1.6 Pengujian skenario 2 NPC Adikara melawan 3 Jenis Musuh

Pada pengujian skenario 1 ini, terdapat 2 NPC Adikara dengan pasukan musuh pedang (kuat). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan pedang mempunyai daya rusak 10. Mula – mula Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.48 Skenario Pengujian 2 NPC Adikara melawan pasukan pedang (kuat)

Tabel 4.61 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan kuat (HFSM)

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	760	13.87569	2	0
2	2	2	720	13.86043	2	0
3	2	3	690	13.86448	2	0
4	2	4	650	13.8898	2	0
5	2	5	610	13.91977	2	0
6	2	6	560	13.98717	2	0
7	2	7	540	13.85375	2	0
8	2	8	540	13.92303	2	0
9	2	9	470	13.96447	2	0
10	2	10	440	13.86755	2	0
11	2	11	410	13.86872	2	0
12	2	12	405	13.97638	1	0
13	2	13	400	13.81998	2	0
14	2	14	390	15.46686	1	0
15	2	15	330	16.28487	1	0
16	2	16	260	16.27106	1	0

Tabel 4.62 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan kuat (FSM)

Pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	760	13.82951	2	0
2	2	2	700	15.37312	2	0
3	2	3	650	15.45754	2	0
4	2	4	600	15.36923	2	0
5	2	5	550	15.36245	2	0
6	2	6	500	15.44019	2	0
7	2	7	450	15.52737	2	0
8	2	8	400	15.34105	1	0
9	2	9	390	16.82048	1	0
10	2	10	310	15.90674	1	0
11	2	11	290	15.87698	1	0
12	2	12	285	15.84354	1	0
13	2	13	280	15.95679	1	0
14	2	14	260	15.83669	1	0

15	2	15	200	15.6212	1	0
16	2	16	0	13.12945	0	0

Dari Tabel 4.61 dan Tabel 4.62 dapat diamati bahwa NPC Adikara saat menghadapi satu pedang (kuat) mempunyai perbedaan waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 13.87569 detik dan untuk FSM 13.82951 detik. Adapun Sisa nyawa Adikara Tower bernilai sama 760 menggunakan HFSM dan 760 untuk FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan yang mencolok antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.63 dan 4.64

Tabel 4.63 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

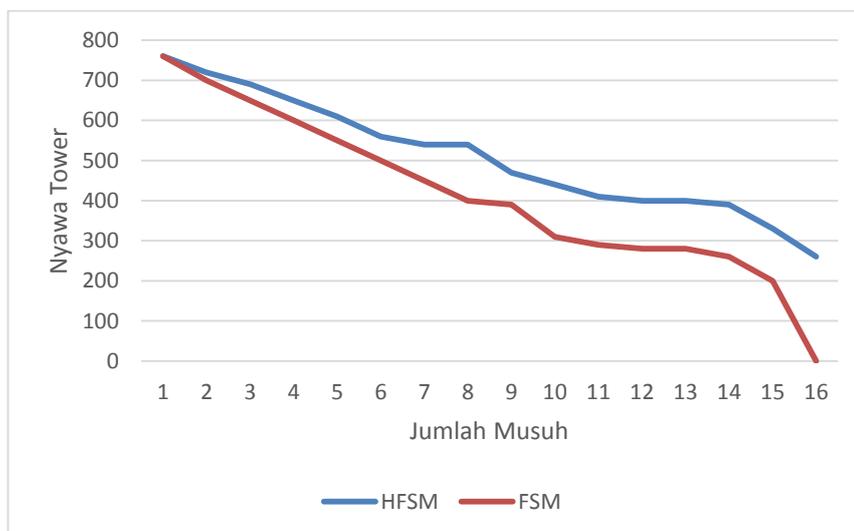
percobaan	HFSM	FSM	Selisih Percobaan HFSM	Selisih Percobaan FSM
1	760	760	0.00	0.00
2	720	700	40.00	60.00
3	690	650	30.00	50.00
4	650	600	40.00	50.00
5	610	550	40.00	50.00
6	560	500	50.00	50.00
7	540	450	20.00	50.00
8	540	400	0.00	50.00
9	470	390	70.00	10.00
10	440	310	30.00	80.00
11	410	290	30.00	20.00
12	400	280	10.00	10.00
13	400	280	0.00	0.00
14	390	260	10.00	20.00
15	330	200	60.00	60.00
16	260	0	70.00	200.00
Rata - rata	510.625	413.75	33.33	50.67

Tabel 4.64 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

percobaan	HFSM	FSM	Selisih Percobaan HFSM	Selisih Percobaan FSM
1	13.87569	13.82951	0.00	0.00

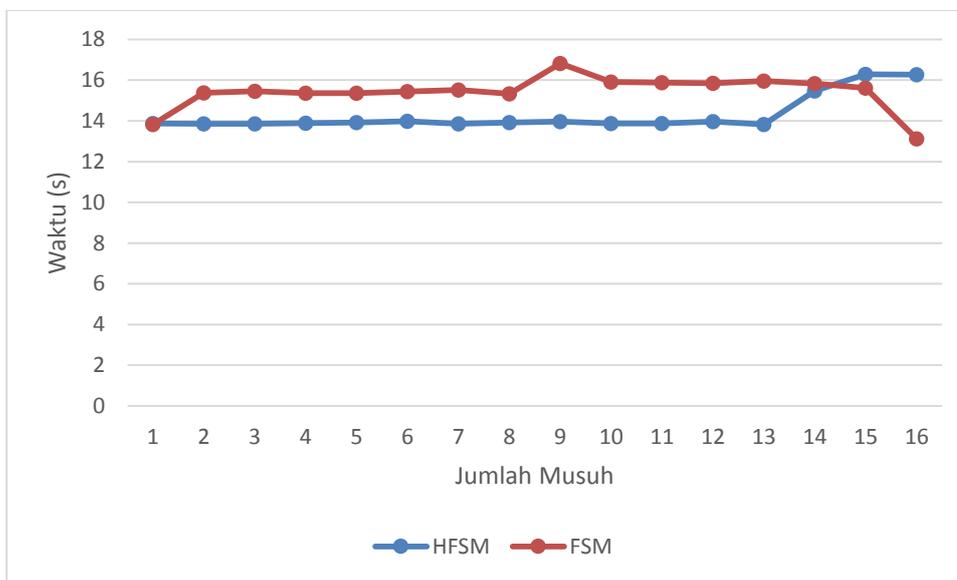
2	13.86043	15.37312	0.02	1.54
3	13.86448	15.45754	0.00	0.08
4	13.8898	15.36923	0.03	0.09
5	13.91977	15.36245	0.03	0.01
6	13.98717	15.44019	0.07	0.08
7	13.85375	15.52737	0.13	0.09
8	13.92303	15.34105	0.07	0.19
9	13.96447	16.82048	0.04	1.48
10	13.86755	15.90674	0.10	0.91
11	13.86872	15.87698	0.00	0.03
12	13.97638	15.84354	0.11	0.03
13	13.81998	15.95679	0.16	0.11
14	15.46686	15.83669	1.65	0.12
15	16.28487	15.6212	0.82	0.22
16	16.27106	13.12945	0.01	2.49
Rata - rata	14.29338	15.41827	0.215133	0.498088

Dari Tabel 4.63, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian keenambelas NPC Adikara dengan FSM hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari enambelas pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 33,33 dengan HFSM dan untuk FSM 50,67. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.4



Gambar 4.49 Grafik perbandingan sisa health 2 NPC Adikara melawan pasukan pedang

Dari Tabel 4.64, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian keenambelas NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari enam belas pengujian tersebut didapatkan rata – rata waktu bertahan NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 0,21 detik dengan HFSM dan untuk FSM 0,49 detik. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.41. NPC Adikara dengan metode HFSM lebih cepat membunuh musuh sehingga NPC Adikara lebih cepat bertahan dari serangan musuh.



Gambar 4.50 Grafik perbandingan waktu 2 NPC Adikara melawan pasukan pedang

Pada pengujian skenario kedua ini, terdapat NPC Gandewa Tower dengan pasukan musuh panah (sedang). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan panah mempunyai daya rusak 7. Mula – mula Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.51 Pengujian NPC Adikara melawan pasukan panah (sedang)

Tabel 4.65 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sedang HFSM

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	772	13.00653	2	0
2	2	2	744	12.83742	2	0
3	2	3	716	12.8475	2	0
4	2	4	688	12.86511	2	0
5	2	5	660	12.74001	2	0
6	2	6	632	13.62361	2	0
7	2	7	576	13.62334	2	0
8	2	8	534	13.71816	2	0
9	2	9	513	13.69294	2	0
10	2	10	485	13.71598	2	0
11	2	11	457	13.66607	2	0
12	2	12	429	13.94424	1	0
13	2	13	401	13.98334	1	0
14	2	14	379	16.86658	1	0
15	2	15	358	16.88654	1	0
16	2	16	323	16.91392	1	0
17	2	17	274	17.96497	1	0
18	2	18	246	17.88241	1	0
19	2	19	176	19.45012	1	0
20	2	20	218	20.94309	1	0
21	2	21	1	21.4041	1	0

Tabel 4.66 FSM Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sedang FSM

pengujian	Jumla Tower	JumlahMusuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	772	12.72882	2	0
2	2	2	751	12.28451	2	0
3	2	3	723	12.28456	2	0
4	2	4	702	12.28801	2	0
5	2	5	660	12.99484	2	0
6	2	6	569	14.72113	2	0
7	2	7	520	14.70369	2	0
8	2	8	499	14.66936	2	0
9	2	9	478	14.64502	2	0
10	2	10	415	14.72968	2	0
11	2	11	401	14.64306	2	0
12	2	12	400	15.07694	2	0
13	2	13	379	15.07761	2	0
14	2	14	372	15.00428	1	0
15	2	15	323	16.95315	1	0
16	2	16	246	16.88185	1	0
17	2	17	218	16.93784	1	0
18	2	18	169	17.96088	1	0
19	2	19	134	18.00837	1	0
20	2	20	57	20.46429	1	0
21	2	21	1	20.46656	1	0

Dari Tabel 4.65 dan Tabel 4.66 dapat diamati bahwa NPC Adikara saat menghadapi satu panah (sedang) mempunyai perbedaan waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 14.04582 detik dan untuk FSM 15.13732 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 365 menggunakan HFSM dan 358 untuk FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan yang mencolok antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.67 dan tabel 4.68

Tabel 4.67 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

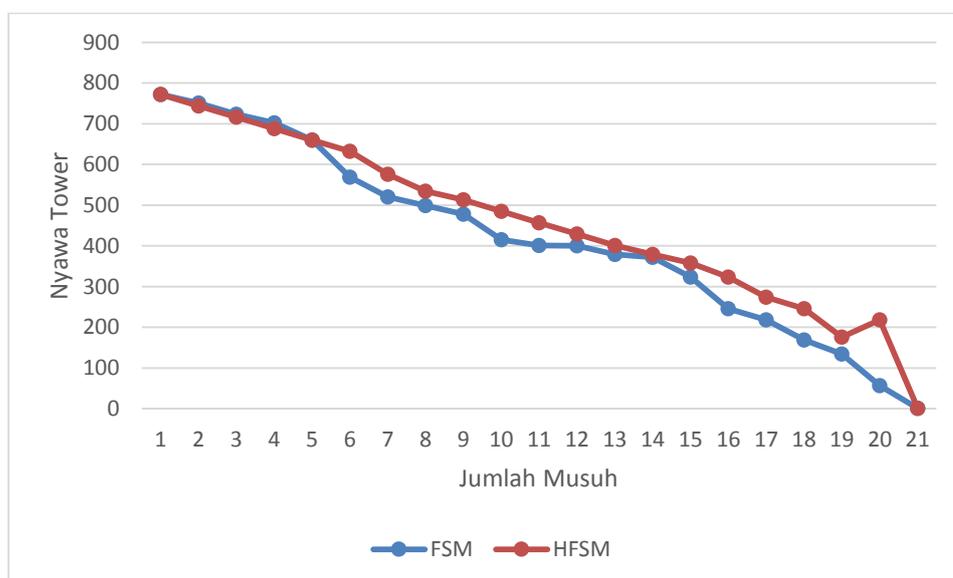
Pengujian	FSM	HFSM	Selisih Percobaan FSM	Selisih Percobaan HFSM
1	772	772	0.00	0.00
2	751	744	21.00	28.00
3	723	716	28.00	28.00
4	702	688	21.00	28.00
5	660	660	42.00	28.00
6	569	632	91.00	28.00
7	520	576	49.00	56.00
8	499	534	21.00	42.00
9	478	513	21.00	21.00
10	415	485	63.00	28.00
11	401	457	14.00	28.00
12	400	429	1.00	28.00
13	379	401	21.00	28.00
14	372	379	7.00	22.00
15	323	358	49.00	21.00
16	246	323	77.00	35.00
17	218	274	28.00	49.00
18	169	246	49.00	28.00
19	134	176	35.00	70.00
20	57	218	77.00	42.00
21	1	1	56.00	217.00
Rata - rata	323.8125	375.125	37.86667	47.66667

Tabel 4.68 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

pengujian	FSM	HFSM	Selisih Percobaan FSM	Selisih Percobaan HFSM
1	12.72882	13.00653	0.00	0.00
2	12.28451	12.83742	0.44	0.17
3	12.28456	12.8475	0.00	0.01
4	12.28801	12.86511	0.00	0.02
5	12.99484	12.74001	0.71	0.13
6	14.72113	13.62361	1.73	0.88
7	14.70369	13.62334	0.02	0.00
8	14.66936	13.71816	0.03	0.09
9	14.64502	13.69294	0.02	0.03
10	14.72968	13.71598	0.08	0.02

11	14.64306	13.66607	0.09	0.05
12	15.07694	13.94424	0.43	0.28
13	15.07761	13.98334	0.00	0.04
14	15.00428	16.86658	0.07	2.88
15	16.95315	16.88654	1.95	0.02
16	16.88185	16.91392	0.07	0.03
17	16.93784	17.96497	0.06	1.05
18	17.96088	17.88241	1.02	0.08
19	18.00837	19.45012	0.05	1.57
20	20.46429	20.94309	2.46	1.49
21	20.46656	21.4041	0.00	0.46
Rata - rata	16.30898	16.14246	0.42401	0.539761

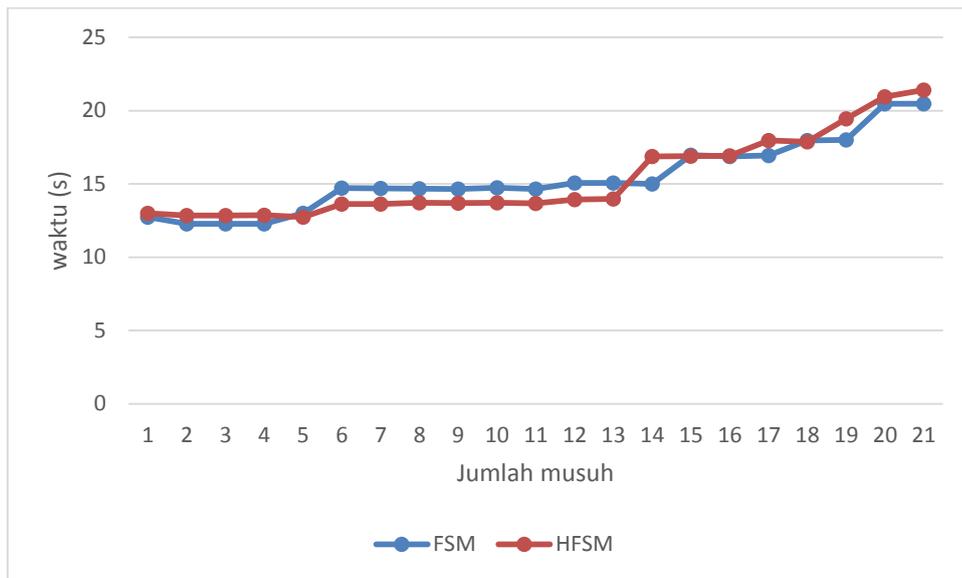
Dari Tabel 4.67, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian kesepuluh NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan panah (sedang). Dari sepuluh pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 47,67 dengan HFSM dan untuk FSM 37,867. Dengan Metode HFSM, NPC Tower masih memiliki sisa nyawa. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.52



Gambar 4.52 Grafik perbandingan sisa health NPC Adikara melawan pasukan panah

Dari Tabel 4.68, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian ketujuh NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC

Adikara menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari tujuh pengujian tersebut didapatkan rata – rata waktu bertahan NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 0.539761detik dengan HFSM dan untuk FSM 0.42401 detik. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.53. NPC Adikara dengan metode HFSM lebih cepat membunuh musuh sehingga NPC Adikara lebih cepat bertahan dari serangan musuh.



Gambar 4.53 Grafik perbandingan waktu tarung NPC Adikara melawan pasukan panah

Pada pengujian skenario ketiga ini, terdapat NPC Gandewa Tower dengan pasukan musuh sihir (lemah). Nilai kesehatan (health) dari NPC Tower dan NPC pasukan bernilai paling tinggi (maksimal). Pasukan sihir mempunyai daya rusak 5. Mula – mula Tower berhadapan dengan 1 pasukan musuh. Kemudian jumlah musuh bertambah satu secara linier.



Gambar 4.54 Skenario Pengujian 2 NPC Adikara melawan pasukan sihir (lemah)

Tabel 4.69 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sihir (HFSM)

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	780	13.2009	2	0
2	2	2	760	13.19185	2	0
3	2	3	740	13.22625	2	0
4	2	4	720	13.2315	2	0
5	2	5	700	13.23074	2	0
6	2	6	680	13.21189	2	0
7	2	7	660	13.22216	2	0
8	2	8	645	13.28192	2	0
9	2	9	630	13.25359	2	0
10	2	10	590	14.64663	2	0
11	2	11	565	14.50627	2	0
12	2	12	545	14.50834	2	0
13	2	13	505	14.51542	2	0
14	2	14	480	14.50587	2	0
15	2	15	470	14.54024	2	0
16	2	16	445	14.51611	2	0
17	2	17	405	14.53873	2	0
18	2	18	390	14.54396	1	0
19	2	19	360	17.46392	1	0
20	2	20	355	16.43186	1	0
21	2	21	325	18.45306	1	0

22	2	22	315	17.46423	1	0
23	2	23	305	17.45984	1	0
24	2	24	290	17.43443	1	0
25	2	25	175	22.00786	1	0
26	2	26	85	24.50155	1	0
27	2	27	85	23.0116	1	0
28	2	28	65	24.47078	1	0

Tabel 4.70 Hasil Pengujian Skenario NPC Adikara melawan pasukan sihir (FSM)

pengujian	Jumlah Tower	Jumlah Musuh	Sisa Nyawa Tower	waktu	SisaTower	SisaMusuh
1	2	1	775	14.16189	2	0
2	2	2	750	14.20385	2	0
3	2	3	725	14.19892	2	0
4	2	4	700	14.24246	2	0
5	2	5	675	14.24297	2	0
6	2	6	650	14.20565	2	0
7	2	7	630	14.17437	2	0
8	2	8	605	14.22813	2	0
9	2	9	585	14.21124	2	0
10	2	10	565	14.66143	2	0
11	2	11	510	15.61407	2	0
12	2	12	485	15.62102	2	0
13	2	13	455	15.70893	2	0
14	2	14	405	15.66409	2	0
15	2	15	395	15.60187	1	0
16	2	16	375	15.58448	1	0
17	2	17	375	15.60554	1	0
18	2	18	335	17.5994	1	0
19	2	19	305	18.60214	1	0
20	2	20	290	18.56664	1	0
21	2	21	225	21.08143	1	0
22	2	22	210	18.59512	1	0
23	2	23	185	18.55729	1	0
24	2	24	170	18.56465	1	0
25	2	25	130	19.59442	1	0
26	2	26	100	20.62103	1	0
27	2	27	95	20.65601	1	0
28	2	28	0	21.72	0	3

Dari Tabel 4.69 dan Tabel 4.70 dapat diamati bahwa 2 NPC Adikara saat menghadapi satu sihir (sedang) mempunyai perbedaan waktu untuk membunuh musuh dengan metode HFSM 13.2009 detik dan untuk FSM 14.16189 detik. Adapun Sisa nyawa Gandewa Tower bernilai sama 780 menggunakan HFSM dan 775 untuk FSM. Namun saat jumlah musuh bertambah tampak perbedaan yang mencolok antara HFSM dan FSM. Data Perbedaan selisih nyawa dan waktu lengkap disajikan Tabel 4.71 dan tabel 4.72

Tabel 4.71 Perbandingan Sisa Nyawa HFSM dan FSM

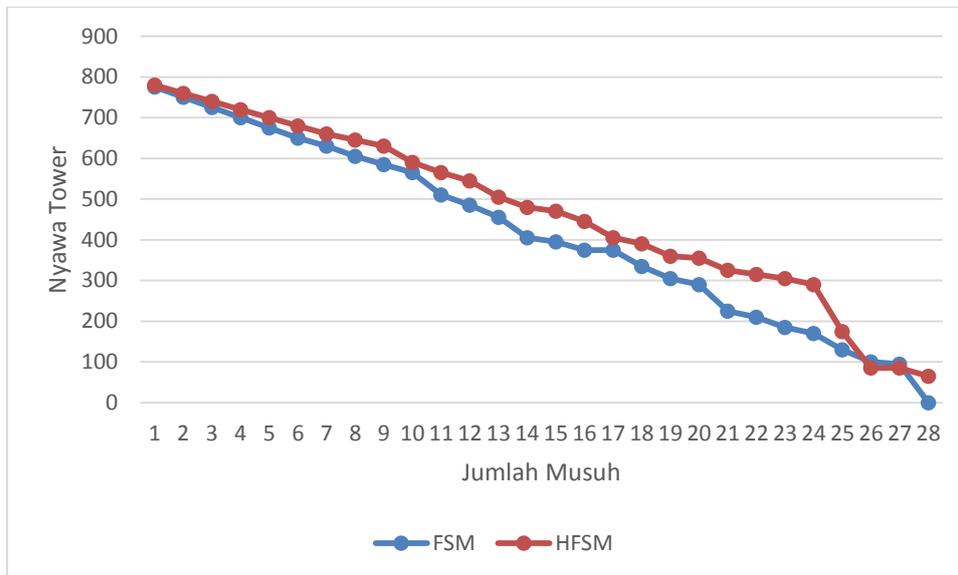
Pengujian	FSM	HFSM	Selisih Percobaan FSM	Selisih Percobaan HFSM
1	775	780	0.00	0.00
2	750	760	25.00	20.00
3	725	740	25.00	20.00
4	700	720	25.00	20.00
5	675	700	25.00	20.00
6	650	680	25.00	20.00
7	630	660	20.00	20.00
8	605	645	25.00	15.00
9	585	630	20.00	15.00
10	565	590	20.00	40.00
11	510	565	55.00	25.00
12	485	545	25.00	20.00
13	455	505	30.00	40.00
14	405	480	50.00	25.00
15	395	470	10.00	10.00
16	375	445	20.00	25.00
17	375	405	0.00	40.00
18	335	390	40.00	15.00
19	305	360	30.00	30.00
20	290	355	15.00	5.00
21	225	325	65.00	30.00
22	210	315	15.00	10.00
23	185	305	25.00	10.00
24	170	290	15.00	15.00
25	130	175	40.00	115.00
26	100	85	30.00	90.00
27	95	85	5.00	0.00
28	0	65	95.00	20.00
Rata - rata	253.125	315.9375	30.33333	29.33333

Tabel 4.72 Perbandingan waktu HFSM dan FSM

Pengujian	FSM	HFSM	Selisih Percobaan FSM	Selisih Percobaan HFSM
1	14.16189	13.2009	0	0
2	14.20385	13.19185	0.04196	0.00905
3	14.19892	13.22625	0.00493	0.0344
4	14.24246	13.2315	0.04354	0.00525
5	14.24297	13.23074	0.00051	0.00076
6	14.20565	13.21189	0.03732	0.01885
7	14.17437	13.22216	0.03128	0.01027
8	14.22813	13.28192	0.05376	0.05976
9	14.21124	13.25359	0.01689	0.02833
10	14.66143	14.64663	0.45019	1.39304
11	15.61407	14.50627	0.95264	0.14036
12	15.62102	14.50834	0.00695	0.00207
13	15.70893	14.51542	0.08791	0.00708
14	15.66409	14.50587	0.04484	0.00955
15	15.60187	14.54024	0.06222	0.03437
16	15.58448	14.51611	0.01739	0.02413
17	15.60554	14.53873	0.02106	0.02262
18	17.5994	14.54396	1.99386	0.00523
19	18.60214	17.46392	1.00274	2.91996
20	18.56664	16.43186	0.0355	1.03206
21	21.08143	18.45306	2.51479	2.0212
22	18.59512	17.46423	2.48631	0.98883
23	18.55729	17.45984	0.03783	0.00439
24	18.56465	17.43443	0.00736	0.02541
25	19.59442	22.00786	1.02977	4.57343
26	20.62103	24.50155	1.02661	2.49369
27	20.65601	23.0116	0.03498	1.48995
28	21.72	24.47078	1.06399	1.45918
Rata - rata	18.27019	17.86622	0.758617	1.140267

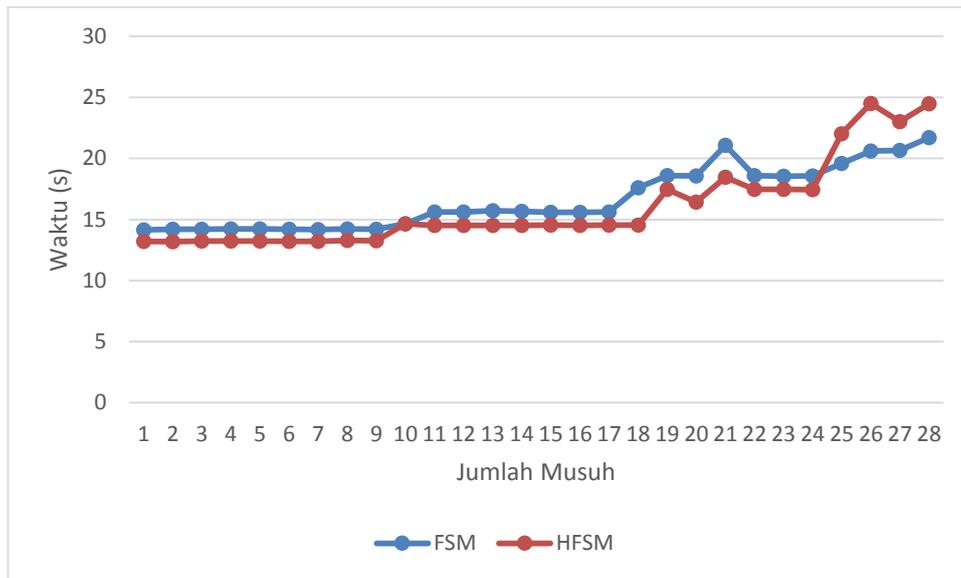
Dari Tabel 4.71, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian dua puluh delapan NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan panah (sedang). Dari dua puluh delapan pengujian tersebut didapatkan rata – rata penurunan nyawa NPC

Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 29,33 dengan HFSM dan untuk FSM 30,33. Dengan Metode HFSM, NPC Tower masih memiliki sisa nyawa. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.55



Gambar 4.55 Grafik perbandingan sisa health NPC Adikara melawan pasukan sihir

Dari Tabel 4.60, didapatkan rata – rata selisih dari setiap percobaan. Saat pengujian ke dua puluh delapan NPC Adikara hancur dan inilah titik maksimal ketahanan NPC Adikara menghadapi musuh pasukan pedang (kuat). Dari dua puluh delapan pengujian tersebut didapatkan rata – rata waktu bertahan NPC Tower terhadap kenaikan pasukan pedang adalah 1.140267detik dengan HFSM dan untuk FSM 0.758617 detik. Sehingga didapatkan nilai grafik yang mencolok seperti yang ditunjukkan Gambar 4.56. NPC Adikara dengan metode HFSM lebih cepat membunuh musuh sehingga NPC Adikara lebih cepat bertahan dari serangan musuh.



Gambar 4.56 Grafik perbandingan waktu NPC Adikara melawan pasukan sihir

4.2 Rangkuman Pengujian

Skenario pertama, Pengujian 1 buah NPC Tower terhadap pasukan kuat didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 3,81 pada pengujian dengan HFSM dan 3,845 pada pengujian dengan FSM. Penambahan jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario kedua, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan kuat didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 2,78 pada pengujian HFSM dan 3,1145 pada pengujian dengan FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 10 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM maksimal 9 pasukan musuh.

Skenario ketiga, Pengujian 1 buah NPC Tower terhadap pasukan sedang didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 1,005 pada pengujian HFSM dan 1,0075 pada pengujian FSM. Penambahan jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario keempat, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan sedang didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan 1,69 pada pengujian HFSM dan 1,95 pada pengujian FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 11 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM maksimal 10 pasukan musuh.

Skenario kelima, Pengujian 1 buah NPC Tower terhadap pasukan lemah didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 1,6 pada pengujian HFSM dan 1,605 pada pengujian FSM. Penambahan jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario keenam, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan lemah didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan 2,27 pada pengujian HFSM dan 2,34 pada pengujian FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 13 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM maksimal 12 pasukan musuh.

Skenario ketujuh, Pengujian 1 buah NPC Gandewa Tower terhadap pasukan kuat didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 5,63 pada pengujian dengan HFSM dan 5,60 pada pengujian dengan FSM. Penambahan jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario kedelapan, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan kuat didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 3,93 pada pengujian HFSM dan 4,52 pada pengujian dengan FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 8 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM maksimal 8 pasukan musuh.

Skenario kesembilan, Pengujian 1 buah NPC Gandewa Tower terhadap pasukan sedang didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 4,27 pada pengujian dengan HFSM dan 4,14 pada pengujian dengan FSM. Penambahan jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario kesepuluh, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan sedang didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 2,79 pada pengujian HFSM dan 3,23 pada pengujian dengan FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 10 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM juga 10.

Skenario kesebelas, Pengujian 1 buah NPC Gandewa Tower terhadap pasukan lemah didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 4,45 pada pengujian dengan HFSM dan 4,45 pada pengujian dengan FSM. Penambahan

jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario kedua belas, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan lemah didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 2,92 pada pengujian HFSM dan 3,93 pada pengujian dengan FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 10 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM juga 10 pasukan.

Skenario ketiga belas, Pengujian 1 buah NPC Tower Adikara terhadap pasukan kuat didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 0,03 pada pengujian dengan HFSM dan 0,13 pada pengujian dengan FSM. Penambahan jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario keempat belas, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan kuat didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 0,2155 pada pengujian HFSM dan 0,498 pada pengujian dengan FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 16 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM 15 pasukan.

Skenario kelima belas, Pengujian 1 buah NPC Tower Adikara terhadap pasukan sedang didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 0,07 pada pengujian dengan HFSM dan 0,107 pada pengujian dengan FSM. Penambahan jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario keenam belas, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan sedang didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 0,42 pada pengujian HFSM dan 0,53 pada pengujian dengan FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 21 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM juga 20 pasukan.

Skenario ketujuh belas, Pengujian 1 buah NPC Tower Adikara terhadap pasukan lemah didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 0,64 pada pengujian dengan HFSM dan 0,99 pada pengujian dengan FSM. Penambahan jumlah 1 buah NPC Tower sebagai Skenario kedelapan belas, Pengujian 2 buah NPC Tower terhadap pasukan lemah didapatkan hasil rata – rata waktu membunuh 1 pasukan musuh 0,75 pada pengujian HFSM dan 1,14 pada pengujian dengan FSM. Pada pengujian ini NPC Tower dengan metode HFSM mampu membunuh maksimal 28 pasukan musuh sedangkan NPC Tower dengan FSM juga 27 pasukan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pengujian pertama dengan menggunakan 1 NPC Tower kamandaka dan 3 jenis pasukan musuh yang memiliki daya serang berbeda yaitu pasukan kuat (pedang), pasukan sedang (panah), pasukan lemah (sihir).

Pada kondisi pertahanan yang hanya menggunakan 1 Tower didapatkan hasil yang seimbang antara metode HFSM dengan metode FSM. Didapatkan bahwa 1 NPC Tower mampu bertahan terhadap serangan pasukan kuat sebanyak 6 pasukan. Untuk pasukan sedang, 1 NPC Tower mampu bertahan terhadap serangan pasukan sedang sebanyak 8 pasukan. Sedangkan untuk pasukan lemah, 1 NPC Tower mampu bertahan dari 9 pasukan.

Penambahan jumlah NPC Tower Kamandaka memberikan hasil pertahanan yang lebih baik pada metode HFSM jika dibandingkan dengan metode FSM. Pada kondisi pertahanan dengan 2 NPC Tower, Tower dengan HFSM dapat menahan serangan 10 pasukan kuat unggul 10 % dibanding Tower dengan FSM. Tower dengan HFSM dapat menahan serangan 11 pasukan sedang unggul 9,09 % dibanding Tower dengan FSM. Tower dengan HFSM mampu menahan 13 pasukan lemah unggul 7,69 % dibanding Tower dengan FSM.

Pengujian kedua dengan menggunakan 1 NPC Tower Gayatri dan 3 jenis pasukan musuh yang memiliki daya serang berbeda yaitu pasukan kuat (pedang), pasukan sedang (panah), pasukan lemah (sihir).

Pada kondisi pertahanan yang hanya menggunakan 1 Tower didapatkan hasil yang seimbang antara metode HFSM dengan metode FSM. Didapatkan bahwa 1 NPC Tower mampu bertahan terhadap serangan pasukan kuat sebanyak 3 pasukan. Untuk pasukan sedang, 1 NPC Tower mampu bertahan terhadap serangan pasukan sedang sebanyak 4 pasukan.

Sedangkan untuk pasukan lemah, 1 NPC Tower mampu bertahan dari 5 pasukan.

Penambahan jumlah NPC Tower Gayatri memberikan hasil pertahanan berimbang antara metode HFSM dibandingkan dengan metode FSM. Tower gayatri dengan metode HFSM unggul dalam segi sisa nyawa setelah bertarung melawan musuh disbanding Tower gayatri dengan metode FSM.

Pengujian ketiga dengan menggunakan 1 NPC Tower Adikara dan 3 jenis pasukan musuh yang memiliki daya serang berbeda yaitu pasukan kuat (pedang), pasukan sedang (panah), pasukan lemah (sihir).

Pada kondisi pertahanan yang hanya menggunakan 1 Tower Adikara didapatkan hasil metode HFSM lebih unggul dibanding metode FSM. Didapatkan bahwa 1 NPC Tower dengan HFSM mampu bertahan terhadap serangan pasukan kuat sebanyak 8 pasukan unggul 12,5% dibanding Tower FSM. Untuk pasukan sedang, 1 NPC Tower mampu bertahan terhadap serangan pasukan sedang sebanyak 12 pasukan unggul 8,33 % disbanding Tower FSM. Sedangkan untuk pasukan lemah, 1 NPC Tower dengan HFSM mampu bertahan dari 13 pasukan unggul 15,38 % dibanding Tower FSM..

Penambahan jumlah NPC Tower Kamandaka memberikan hasil pertahanan yang lebih baik pada metode HFSM jika dibandingkan dengan metode FSM. Pada kondisi pertahanan dengan 2 NPC Tower, Tower dengan HFSM dapat menahan serangan 17 pasukan kuat unggul 5,88 % dibanding Tower dengan FSM. Tower dengan HFSM dapat menahan serangan 22 pasukan sedang unggul 4,54 % disbanding Tower dengan FSM. Tower dengan HFSM mampu menahan 29 pasukan lemah unggul 3,44 % disbanding Tower dengan FSM.

Dari hasil pengujian yang dilakukan telah dibuktikan bahwa Metode *Hierarchical Finite State Machine* (HFSM) mampu membuat NPC Bangunan Pertahanan (Tower) lebih unggul dari Metode FSM.

5.2 Saran

Pada penelitian ini penggunaan metode HFSSM yang diimplementasikan pada NPC Bangunan Pertahanan (Tower) masih memiliki kemungkinan untuk dikembangkan lagi. Menambahkan parameter waktu permainan seperti dalam permainan DoTA, dan jumlah peluru NPC. Selain itu, NPC Bangunan Pertahanan (Tower) masih memiliki peluang dengan menggunakan metode *Fuzzy Logic* dan dapat dioptimalkan dengan metode *Genetic Algorithm* (GA), NSGA – II.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Millington, Ian. (2006). *Artificial Intelligence For Games*. San Francisco : Morgan Kaufman Publisher.
- [2] Girault, Alain. Bilung Lee, dan Edward A. Lee. (1999). *Hierarchical Finite State Machines with Multiple Concurrency Models*. IEEE Transactions on Computer-Aided Design Of Integrated Circuits And Systems, Vol. 18, No. 6, hal 742 – 760.
- [3] Mallouk, William. Esteban Clua. *An Object-Oriented Approach For Hierarchical State Machine*. Wet Productions LLC – Departamento de Informatica – PUC – Rio / Vision Lab.
- [4] Majid, Nur Kholis, Supeno Mardi S.N, Moch Hariadi, dan Mauridhi Hery P. (2010). *Variasi Perilaku Tarung Non Player Character Prajurit Berbasis Distribusi Gaussian pada Real Time Strategy*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [5] Arif, Yunifa Miftachul, Supeno Mardi S.N, dan Mochamad Hariadi. (2010). *Strategi Menyerang Pada Game FPS Menggunakan Hierarchical Finite State Machine dan Logika Fuzzy*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [6] Tremblay, Jonathan, Christopher Dragert, Clark Verbrugge. *Target Selection for AI Companions in FPS Games*. Canada: School of Computer Science , McGill University, Montreal, Quebec.
- [7] Doherty, Darren dan Colm O’Riordan. *The Design Goals and Implementation of AI in Modern Computer Games*. Galway: Departemen Of Information Technology National University Of Ireland.
- [8] Wahono, Romi Satria. (2001). *Pengantar Software Agent : Teori dan Aplikasi*. IECI Chapter Japan Series, Vol.3 No. 1.
- [9] Adisusilo, Anang Kukuh. (2013). *Optimization Agent Behaviour On Boxing Game Using Genetic Algorithm*. Surabaya : Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [10] <http://ai-depot.com/FiniteStateMachines/FSM.html>

- [11] Widyastuti, Ika. (2012). *Pemilihan Perilaku NPC Pada Game Pertarungan Jarak Dekat Menggunakan Fuzzy Coordinator*. Surabaya: Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [12] Seland, Jorgen Havsberg. (2007). *A Visual Programming Language for Hierarchical Finite State Machine in Game AI*.
- [13] Abraham, Ajith. (2005). "Rule-based Expert System". Oklahoma State University, USA
- [14] Jost, Monika. (2000). *Behaviour Modification*."

BIOGRAFI PENULIS



Rahmat Fauzi adalah Putra terakhir dari 3 bersaudara. Lahir di Indramayu Jawa Barat. Mengenyam pendidikan dasar di SDN I Sliyeg Indramayu Jawa Barat, lalu melanjutkan ke SMPN Ar-Risalah dan SMAN Ar-Risalah Lirboyo Kota Kediri. Tahun 2008 menempuh pendidikan S1 di Jurusan Teknik Elektro di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan pemilihan bidang studi Elektronika dan lulus tahun 2012. Merasa Ilmunya kurang dan Untuk mencapai cita - cita penulis untuk menjadi pengajar di lingkup Perguruan Tinggi, penulis kembali meneruskan pendidikan mengambil jenjang Magister pada tahun 2013 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dengan mengambil bidang studi Jaringan Cerdas Multimedia dan mempelajari bidang keahlian Teknologi Permainan dan menyelesaikannya pada tahun 2015.

Contact person:

Email : rahmatfauzi.its@gmail.com

“Seek Knowledges from The Cradle To The Grave”