



**TUGAS AKHIR - TJ 141502**

**PENENTUAN FUNGSI *UTILITY* TERBAIK BERBASIS *GENETIC ALGORITHM* UNTUK PERILAKU NPC MENGGUNAKAN *UTILITY-BASED AI* DALAM *FIGHTING GAME***

Lazuardi Ya'qub Affan  
NRP 0721 14 4000 0016

Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.  
Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.

DEPARTEMEN TEKNIK KOMPUTER  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2018



**FINAL PROJECT - TJ 141502**

**DETERMINATION OF THE BEST UTILITY FUNCTIONS  
BASED ON GENETIC ALGORITHM FOR NPC BEHAVIOUR  
USING UTILITY-BASED AI IN FIGHTING GAME**

Lazuardi Ya'qub Affan  
NRP 0721 14 4000 0016

Advisor

Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.  
Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.

Department of Computer Engineering  
Faculty of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2018

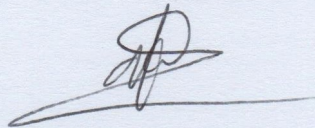
## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul "**Penentuan Fungsi Utility Terbaik Berbasis *Genetic Algorithm* untuk Perilaku NPC Menggunakan *Utility-Based AI* dalam *Fighting Game***" adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 24 Juli 2018



Lazuardi Ya'qub Affan

NRP. 07211440000016



# LEMBAR PENGESAHAN

Penentuan Fungsi *Utility* Terbaik Berbasis *Genetic Algorithm* untuk Perilaku NPC Menggunakan *Utility-Based AI* dalam *Fighting Game*

Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh: Lazuardi Ya'qub Affan (NRP: 0721144000016)

Tanggal Ujian : 28 Juni 2018

Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh:

(Pembimbing I)

Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery P., M.Eng.  
NIP. 195809161986011001

(Pembimbing II)

Dr. Supeno Mardi Susiki N., ST., MT.  
NIP. 197003131995121001

(Penguji I)

Dr. Surya Sumpeno, ST., M.Sc.

NIP. 196906131997021003

(Penguji II)

Dr. Eko Mulyanto Yuniarno, ST., MT.

NIP: 196806011995121009

(Penguji III)

Eko Premunanto, ST., MT.

NIP: 196612031994121001

Mengetahui  
Kepala Departemen Teknik Komputer

Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.

DEP/ NIP. 196907301995121001

TEKNIK KOMPUTER



# ABSTRAK

- Nama Mahasiswa : Lazuardi Ya'qub Affan  
Judul Tugas Akhir : Penentuan Fungsi *Utility* Terbaik Berbasis *Genetic Algorithm* untuk Perilaku NPC Menggunakan *Utility-Based AI* dalam *Fighting Game*  
Pembimbing : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.  
2. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.

Dalam *fighting game*, fitur bermain dengan *Non-Player Character* (NPC) merupakan suatu keharusan. Salah satu metode desain AI untuk NPC pada *game* adalah *utility-based AI*. *Utility-based AI* bekerja dengan cara mengambil pilihan aksi terbaik melalui pemberian skor kebergunaan pada setiap aksi berdasarkan keadaan tertentu, yang disebut dengan nilai *utility*. Hal ini menyebabkan AI menjadi lebih mudah didesain, dan pengambilan keputusan juga lebih variatif, karena pengevaluasian pilihan dihitung dengan fungsi yang bersifat kontinu. Namun, karena nilai *utility* dihitung dengan fungsi yang ditentukan secara bebas, maka akan terdapat banyak kemungkinan bentuk fungsi, sehingga pada penelitian ini digunakanlah metode *genetic algorithm* (GA) untuk menentukan fungsi-fungsi *utility* terbaik pada setiap aksi suatu NPC, yang setiap kromosomnya tersusun atas gen-gen berupa fungsi-fungsi *utility*. Fungsi *fitness* yang digunakan adalah dengan perhitungan *ELO Ratings*. Setelah dilakukan pelatihan dengan GA, AI cenderung bertambah kuat seiring bertambahnya generasi. Dari hasil pengujian terhadap manusia, rata-rata tingkat kesulitan dan tingkat kepuasan cenderung naik seiring bertambahnya generasi, yang diikuti dengan turunnya rata-rata status kemenangan. Dengan perhitungan koefisien korelasi *Pearson*, status kemenangan dan tingkat kesulitan memiliki korelasi -0,504, status kemenangan dan tingkat kepuasan memiliki korelasi -0,037, sedangkan tingkat kesulitan dan tingkat kepuasan memiliki korelasi 0,426.

Kata Kunci: Kecerdasan Buatan; *Utility-Based AI*; *Genetic Algorithm*; *ELO Ratings*; Koefisien Korelasi *Pearson*;

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# ABSTRACT

Name : Lazuardi Ya'qub Affan  
Title : *Determination of The Best Utility Functions Based on Genetic Algorithm for NPC Behaviour using Utility-Based AI in Fighting Game*  
Advisors : 1. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.  
2. Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT.

*In fighting games, a feature to play with Non-Player Character (NPC) is required, that the NPC would be more challenging when its behaviour is more unpredictable. One of the game AI designing methods is utility-based AI. Utility-based AI works by identifying action options and then choosing the best option through usefulness scoring of each action based on certain conditions, which is called utility value. This causes AI to be easier to design, and enabling more various decision making, because the decision evaluation is calculated by continuous function. But, since the utility calculation is based on functions those are defined manually by the AI designer, there will be too many possibilities of functions used. So, in this final project, genetic algorithm (GA) was implemented to determine the best utility functions on each action of the NPC, where each chromosome consists of utility functions as its genes. The fitness function is obtained from the ELO Ratings calculation. As the result of the GA implementation after training, the AIs tend to be stronger as the generation iterates. As the result of testing against human players, the mean of the difficulty level and satisfaction level of the AIs tend to increase as the generation iterates, followed by the decreasing of the mean of victory status. Using Pearson's correlation coefficient, victory status and difficulty level have correlation value of -0.504, victory status and satisfaction level have correlation value of -0.037, while difficulty level and satisfaction level have correlation value of 0.426.*

*Keywords: Artificial Intelligence; Utility-Based AI; Genetic Algorithm; ELO Ratings; Pearson's Correlation Coefficient*



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan berkah, rahmat, serta hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan judul **Penentuan Fungsi *Utility* Terbaik Berbasis *Genetic Algorithm* untuk Perilaku NPC Menggunakan *Utility-Based AI* dalam *Fighting Game*.**

Penelitian ini disusun dalam rangka pemenuhan bidang riset di Departemen Teknik Komputer ITS serta digunakan sebagai persyaratan menyelesaikan pendidikan S1. Penelitian ini dapat terselesaikan tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga, Ibu, dan Ayah yang telah memberikan dorongan spiritual dan material dalam penyelesaian buku penelitian ini.
2. Kepala Departemen Teknik Komputer ITS, Dr. I Ketut Eddy Purnama, ST., MT.
3. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng. dan Dr. Supeno Mardi Susiki Nugroho, ST., MT. atas bimbingan selama mengerjakan penelitian.
4. Bapak-ibu dosen pengajar Bidang Departemen Teknik Komputer, atas pengajaran, bimbingan, dan perhatian yang diberikan kepada penulis selama ini.
5. Seluruh teman-teman asisten Laboratorium Telematika B201.

Kesempurnaan hanya milik Allah SWT, untuk itu penulis memohon segenap kritik dan saran yang membangun. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kita semua. Aamiin.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# DAFTAR ISI

Abstrak	i
Abstract	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xxi
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar belakang . . . . .	1
1.2 Permasalahan . . . . .	2
1.3 Tujuan . . . . .	2
1.4 Batasan masalah . . . . .	2
1.5 Sistematika Penulisan . . . . .	3
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>5</b>
2.1 <i>Fighting Game</i> . . . . .	5
2.2 <i>Artificial Intelligence</i> . . . . .	6
2.3 <i>Utility-Based AI</i> . . . . .	6
2.4 <i>Genetic Algorithm</i> . . . . .	8
2.5 <i>ELO Ratings</i> . . . . .	10
2.6 Koefisien Korelasi <i>Pearson</i> . . . . .	11
<b>3 DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM</b>	<b>13</b>
3.1 Desain Sistem . . . . .	13
3.1.1 Desain Sistem Permainan <i>Fighting</i> . . . . .	13
3.1.2 Desain Sistem Perilaku NPC dengan <i>Utility-Based AI</i> . . . . .	15
3.1.3 Desain Sistem Pencarian Fungsi <i>Utility</i> Terbaik dengan <i>Genetic Algorithm</i> . . . . .	17
3.2 Alur Kerja . . . . .	19
3.3 Pembuatan Desain Permainan . . . . .	19
3.3.1 Unsur Permainan . . . . .	20

3.3.2	Kondisi Permainan . . . . .	27
3.3.3	Antar Muka Permainan . . . . .	27
3.3.4	Antar Muka Permainan untuk Penelitian . . . . .	29
3.4	Implementasi <i>Utility-Based AI</i> . . . . .	31
3.4.1	Penentuan Parameter-Parameter Pertimbangan Setiap Aksi . . . . .	31
3.4.2	Penentuan Fungsi-Fungsi <i>Utility</i> . . . . .	32
3.5	Implementasi <i>Genetic Algorithm</i> . . . . .	36
3.5.1	Pembuatan Populasi Awal . . . . .	36
3.5.2	Pendefinisian <i>Fitness Function</i> . . . . .	37
3.5.3	Pendefinisian Metode Seleksi . . . . .	38
3.5.4	Pendefinisian Metode <i>Crossover</i> . . . . .	39
3.5.5	Pendefinisian Metode Mutasi . . . . .	39
<b>4</b>	<b>PENGUJIAN DAN ANALISIS</b>	<b>41</b>
4.1	Pengujian Kesesuaian Sistem Permainan . . . . .	41
4.2	Pengujian Sistem <i>Artificial Intelligence</i> . . . . .	42
4.2.1	Analisis Perbedaan Perilaku Kromosom Awal yang Dibuat Manual dengan Kromosom Terbaik pada Generasi Terakhir . . . . .	47
4.3	Pengujian Sistem <i>Artificial Intelligence</i> terhadap Manusia . . . . .	55
4.3.1	Analisis Gerakan Pemain dan Lawan Berdasarkan Status Kemenangan Pemain . . . . .	58
4.3.2	Analisis Gerakan Pemain dan Lawan Berdasarkan Tingkat Kesulitan . . . . .	61
4.3.3	Analisis Gerakan Pemain dan Lawan Berdasarkan Tingkat Kepuasan . . . . .	69
<b>5</b>	<b>PENUTUP</b>	<b>77</b>
5.1	Kesimpulan . . . . .	77
5.2	Penelitian Selanjutnya . . . . .	78
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>79</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>81</b>
	<b>Biografi Penulis</b>	<b>145</b>

# DAFTAR GAMBAR

2.1	Contoh <i>fighting game</i> : <i>Street Fighter II</i> [3] . . . . .	5
3.1	Desain sistem permainan . . . . .	14
3.2	Desain sistem perilaku NPC dengan <i>Utility-Based AI</i>	16
3.3	Desain sistem pencarian fungsi <i>utility</i> terbaik dengan <i>genetic algorithm</i> . . . . .	18
3.4	Alur kerja . . . . .	20
3.5	Karakter dalam <i>game</i> : <i>Gatotkaca</i> . . . . .	21
3.6	Animasi serangan kuat pertama . . . . .	23
3.7	Animasi serangan kuat kedua . . . . .	23
3.8	Animasi serangan normal pertama . . . . .	23
3.9	Animasi serangan normal kedua . . . . .	24
3.10	Animasi serangan normal ketiga . . . . .	24
3.11	Animasi serangan udara . . . . .	24
3.12	Animasi berlari . . . . .	25
3.13	Animasi menolak serangan . . . . .	25
3.14	Animasi serangan jurus . . . . .	26
3.15	<i>Stage</i> bertarung . . . . .	26
3.16	<i>Item</i> penyembuhan . . . . .	27
3.17	Tampilan antar muka untuk permainan sesungguhnya	28
3.18	Tampilan antar muka untuk membantu penelitian .	30
3.19	Pembuatan fungsi <i>utility</i> menggunakan <i>Animation Curve</i> . . . . .	33
3.20	Fungsi-fungsi <i>utility</i> pada aksi merangkai serangan kuat. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan ja- rak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbang- an selang waktu serangan musuh. . . . .	33
3.21	Fungsi-fungsi <i>utility</i> pada aksi merangkai serangan normal. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertim- bangan selang waktu serangan musuh. . . . .	34
3.22	Fungsi-fungsi <i>utility</i> pada aksi mengejar musuh. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan nyawa. . .	34



3.23	Fungsi-fungsi <i>utility</i> pada aksi mengejar <i>item</i> penyembuhan. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan nyawa. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan nyawa musuh. (c) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak <i>item</i> penyembuhan terdekat. . . . .	35
3.24	Fungsi-fungsi <i>utility</i> pada aksi menolak serangan. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan selang waktu serangan musuh. . . . .	35
3.25	Fungsi-fungsi <i>utility</i> pada aksi serangan jurus. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan <i>power</i> . . .	36
3.26	Gen-gen yang terdapat dalam satu kromosom . . . .	37
3.27	Turnamen <i>round robin</i> . . . . .	38
3.28	<i>Offspring</i> hasil dari <i>crossover</i> . . . . .	39
4.1	Turnamen <i>round robin</i> perwakilan kromosom-kromosom terkuat pada setiap generasi . . . . .	43
4.2	Grafik hasil <i>ELO Ratings (fitness)</i> melalui turnamen <i>round robin</i> dari setiap perwakilan kromosom terbaik pada setiap generasi . . . . .	45
4.3	Grafik persentase kemenangan melalui turnamen <i>round robin</i> dari setiap perwakilan kromosom terbaik pada setiap generasi . . . . .	46
4.4	Fungsi <i>utility</i> pada aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	47
4.5	Fungsi <i>utility</i> pada aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	48
4.6	Fungsi <i>utility</i> pada aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	49
4.7	Fungsi <i>utility</i> pada aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	49

4.8	Fungsi <i>utility</i> pada aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	50
4.9	Fungsi <i>utility</i> pada aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	51
4.10	Fungsi <i>utility</i> pada aksi mengejar <i>item</i> penyembuhan berdasarkan parameter nyawa. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.	51
4.11	Fungsi <i>utility</i> pada aksi mengejar <i>item</i> penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.	52
4.12	Fungsi <i>utility</i> pada aksi mengejar <i>item</i> penyembuhan berdasarkan parameter jarak <i>item</i> penyembuhan terdekat. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	52
4.13	Fungsi <i>utility</i> pada aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . .	53
4.14	Fungsi <i>utility</i> pada aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	54
4.15	Fungsi <i>utility</i> pada aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru. . . . .	54
4.16	Empat sampel kromosom yang dipilih untuk mewakili kromosom dari generasi terdahulu hingga terbaru ditandai dengan lingkaran merah . . . . .	56
4.17	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memenangkan permainan . . . . .	58
4.18	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memenangkan permainan . . . . .	59
4.19	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain mengalami kekalahan dalam permainan . . . . .	60
4.20	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain mengalami kekalahan dalam permainan . . . . .	61

4.21	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai satu pada tingkat kesulitan lawan .	62
4.22	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai satu pada tingkat kesulitan lawan . .	63
4.23	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kesulitan lawan .	64
4.24	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kesulitan lawan . . .	64
4.25	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kesulitan lawan .	65
4.26	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kesulitan lawan . . .	66
4.27	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kesulitan lawan	67
4.28	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kesulitan lawan .	67
4.29	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kesulitan lawan .	68
4.30	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kesulitan lawan . .	69
4.31	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kepuasan lawan .	70
4.32	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kepuasan lawan . . .	71
4.33	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kepuasan lawan .	72
4.34	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kepuasan lawan . . .	72
4.35	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kepuasan lawan	73
4.36	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kepuasan lawan .	74
4.37	Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kepuasan lawan .	75
4.38	Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kepuasan lawan . .	75



1	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-1 . . . . .	81
2	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-2 . . . . .	82
3	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-3 . . . . .	83
4	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-4 . . . . .	84
5	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-5 . . . . .	85
6	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-6 . . . . .	86
7	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-7 . . . . .	87
8	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-8 . . . . .	88
9	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-9 . . . . .	89
10	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-10 . . . . .	90
11	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-11 . . . . .	91
12	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-12 . . . . .	92
13	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-13 . . . . .	93
14	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-14 . . . . .	94
15	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-15 . . . . .	95
16	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-16 . . . . .	96
17	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-17 . . . . .	97
18	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-18 . . . . .	98
19	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-19 . . . . .	99

20	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-20 . . . . .	100
21	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-21 . . . . .	101
22	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-22 . . . . .	102
23	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-23 . . . . .	103
24	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-24 . . . . .	104
25	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-25 . . . . .	105
26	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-26 . . . . .	106
27	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-27 . . . . .	107
28	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-28 . . . . .	108
29	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-29 . . . . .	109
30	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-30 . . . . .	110
31	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-31 . . . . .	111
32	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-32 . . . . .	112
33	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-33 . . . . .	113
34	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-34 . . . . .	114
35	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-35 . . . . .	115
36	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-36 . . . . .	116
37	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-37 . . . . .	117
38	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-38 . . . . .	118

39	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-39 . . . . .	119
40	Fungsi-fungsi <i>utility</i> kromosom terbaik pada generasi ke-40 . . . . .	120
41	Jenis kelamin . . . . .	121
42	Umur . . . . .	121
43	Frekuensi bermain <i>video game</i> . . . . .	121
44	Rata-rata waktu bermain per hari . . . . .	122
45	Jenis-jenis <i>game</i> yang dimainkan . . . . .	122
46	<i>Platform game</i> yang pernah digunakan . . . . .	122
47	Pertanyaan ke-1 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	124
48	Pertanyaan ke-2 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	124
49	Pertanyaan ke-3 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	125
50	Pertanyaan ke-4 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	125
51	Pertanyaan ke-5 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	125
52	Pertanyaan ke-6 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	126
53	Pertanyaan ke-7 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	126
54	Pertanyaan ke-8 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	126
55	Pertanyaan ke-9 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	127
56	Pertanyaan ke-10 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	127
57	Pertanyaan ke-11 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	127
58	Pertanyaan ke-12 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	128
59	Pertanyaan ke-13 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	128
60	Pertanyaan ke-14 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	128

61	Pertanyaan ke-1 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1 . . . . .	129
62	Pertanyaan ke-2 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	129
63	Pertanyaan ke-3 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	130
64	Pertanyaan ke-4 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	130
65	Pertanyaan ke-5 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	130
66	Pertanyaan ke-6 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	131
67	Pertanyaan ke-7 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	131
68	Pertanyaan ke-8 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	131
69	Pertanyaan ke-9 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	132
70	Pertanyaan ke-10 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	132
71	Pertanyaan ke-11 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	132
72	Pertanyaan ke-12 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	133
73	Pertanyaan ke-13 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	133
74	Pertanyaan ke-14 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13 . . . . .	133
75	Pertanyaan ke-1 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	134
76	Pertanyaan ke-2 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	134
77	Pertanyaan ke-3 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	135
78	Pertanyaan ke-4 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	135
79	Pertanyaan ke-5 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	135

80	Pertanyaan ke-6 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	136
81	Pertanyaan ke-7 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	136
82	Pertanyaan ke-8 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	136
83	Pertanyaan ke-9 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	137
84	Pertanyaan ke-10 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	137
85	Pertanyaan ke-11 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	137
86	Pertanyaan ke-12 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	138
87	Pertanyaan ke-13 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	138
88	Pertanyaan ke-14 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27 . . . . .	138
89	Pertanyaan ke-1 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	139
90	Pertanyaan ke-2 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	139
91	Pertanyaan ke-3 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	140
92	Pertanyaan ke-4 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	140
93	Pertanyaan ke-5 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	140
94	Pertanyaan ke-6 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	141
95	Pertanyaan ke-7 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	141
96	Pertanyaan ke-8 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	141
97	Pertanyaan ke-9 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	142
98	Pertanyaan ke-10 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	142

99	Pertanyaan ke-11 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	142
100	Pertanyaan ke-12 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	143
101	Pertanyaan ke-13 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	143
102	Pertanyaan ke-14 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40 . . . . .	143

## DAFTAR TABEL

2.1	Pedoman kekuatan korelasi antara dua variabel . . .	12
4.1	Hasil pengujian fitur . . . . .	41
4.1	Hasil pengujian fitur . . . . .	42
4.2	Hasil <i>ELO Ratings</i> dan persentase kemenangan setiap generasi melalui turnamen <i>round robin</i> . . . . .	43
4.2	Hasil <i>ELO Ratings</i> dan persentase kemenangan setiap generasi melalui turnamen <i>round robin</i> . . . . .	44
4.2	Hasil <i>ELO Ratings</i> dan persentase kemenangan setiap generasi melalui turnamen <i>round robin</i> . . . . .	45
4.3	Hasil rata-rata status kemenangan, tingkat kesulitan, dan tingkat kepuasan . . . . .	56
4.4	Korelasi antara status kemenangan, tingkat kesulitan, dan tingkat kepuasan . . . . .	57
1	Daftar pertanyaan untuk masing-masing kromosom yang diuji . . . . .	123

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar belakang

Dalam suatu *game*, khususnya yang memiliki genre aksi seperti *fighting*, fitur bermain dengan *Non-Player Character* (NPC) merupakan suatu keharusan agar seorang pemain dapat tetap memainkan *game* tersebut walau tanpa ada pemain yang lain. NPC akan terasa lebih alami dan menarik (*engaging*) apabila gerakannya tidak mudah diprediksi, seperti kapan dia akan mengejar, menyerang, bertahan, atau mengeluarkan jurus. Semakin tingginya permintaan pemain akan *gameplay* yang lebih menantang dengan interaksi cerdas dengan NPC seiring waktu menyebabkan semakin berkembangnya metode yang digunakan oleh para *game developer* dalam mengimplementasikan *Artificial Intelligence* (AI) dalam *game*. Pada metode AI yang sudah populer seperti *Behaviour Tree* (BT), pendefinisian perilaku NPC yang kompleks akan menyebabkan desain struktur AI perilaku tersebut menjadi rumit yang ditandai dengan semakin banyaknya percabangan dan tidak fleksibel akan adanya perubahan (sedikit perubahan pada suatu *node* bisa jadi akan menyebabkan perubahan pada *nodes* lainnya). Selain itu, pengambilan keputusan juga kurang variatif karena terbatas hanya pada percabangan kondisi setiap *node*. Oleh karena itu diperlukan suatu metode AI untuk *game* yang lebih mudah untuk didesain, namun dapat mengekspresikan perilaku yang kompleks dengan pengambilan keputusan yang lebih variatif sehingga tidak mudah diprediksi [1].

Salah satu pengembangan AI untuk *game* selanjutnya adalah *utility-based AI*. *Utility-based AI* bekerja dengan cara mengidentifikasi pilihan aksi yang terdapat pada AI dan mengambil pilihan terbaik (prioritas) melalui pemberian skor *usefulness* (kebergunaan) pada setiap pilihan aksi berdasarkan keadaan tertentu, yang disebut dengan nilai *utility* [2]. Hal ini menyebabkan *utility-based AI* menjadi lebih mudah didesain, karena perhitungan skor untuk setiap aksinya tidak memiliki hubungan dengan aksi lain. Selain itu, pengambilan keputusan juga lebih variatif, karena proses evaluasi pilihan dihitung menggunakan fungsi yang bersifat kontinu.

Namun, karena perhitungan nilai *utility* didasarkan pada fungsi yang telah ditentukan oleh *AI designer*, maka akan terdapat banyak sekali kemungkinan fungsi yang dapat digunakan oleh setiap aksinya, sehingga diperlukan suatu metode untuk menentukan fungsi *utility* terbaik untuk fungsi-fungsi pada setiap aksi suatu NPC.

## 1.2 Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Adanya keharusan fitur bermain dengan NPC pada *fighting game* sehingga dibutuhkan interaksi cerdas dengan NPC yang lebih menantang.
2. Penggunaan metode *utility-based AI* memudahkan pendefinisian struktur AI pada NPC, namun memiliki banyak kemungkinan dalam pemilihan fungsi-fungsi *utility* yang digunakan oleh setiap aksi dari NPC tersebut sehingga sangat sulit untuk menentukan fungsi-fungsi yang terbaik.

## 1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengimplementasikan *utility-based AI* pada perilaku karakter NPC dalam *fighting game* dan menentukan fungsi-fungsi *utility* terbaik pada setiap aksinya dengan *genetic algorithm*, untuk menghasilkan perilaku NPC yang menantang. Dalam hal ini, yang dimaksud menantang adalah NPC dengan tingkat kesulitan pada batas tertentu untuk memperoleh tingkat kepuasan tertinggi oleh pemain.

## 1.4 Batasan masalah

Untuk memfokuskan permasalahan yang akan diangkat maka dilakukan pembatasan masalah. Batasan-batasan masalah tersebut di antaranya adalah:

1. *Utility-based AI* dan *genetic algorithm* hanya diimplementasikan pada perilaku satu jenis karakter NPC musuh dalam *game* bergenre *fighting*.
2. Penelitian berbasis pada prototipe permainan *fighting game*.

3. *Game engine* yang digunakan untuk mengembangkan *fighting game* beserta implementasi *utility-based AI* dan *genetic algorithm* adalah Unity 3D.

## 1.5 Sistematika Penulisan

Laporan penelitian Tugas akhir ini tersusun dalam sistematika dan terstruktur sehingga mudah dipahami dan dipelajari oleh pembaca maupun seseorang yang ingin melanjutkan penelitian ini. Alur sistematika penulisan laporan penelitian ini yaitu :

1. BAB I Pendahuluan  
Bab ini berisi uraian tentang latar belakang permasalahan, penegasan dan alasan pemilihan judul, sistematika laporan, tujuan dan metodologi penelitian.
2. BAB II Tinjauan Pustaka  
Pada bab ini berisi tentang uraian secara sistematis teori-teori yang berhubungan dengan permasalahan yang dibahas pada penelitian ini. Teori-teori ini digunakan sebagai dasar dalam penelitian, yaitu mengenai *Fighting Game*, *Artificial Intelligence*, *Utility-Based AI*, *Genetic Algorithm*, *ELO Ratings*, koefisien korelasi *Pearson*, dan teori-teori penunjang lainnya.
3. BAB III Desain dan Implementasi Sistem  
Bab ini berisi tentang penjelasan-penjelasan terkait perencanaan sistem yang dibuat. Guna mendukung itu digunakanlah blok diagram atau *work flow* agar sistem yang dibuat dapat terlihat dan mudah dibaca untuk diimplementasikan pada pembuatan permainan. Selain itu digunakan juga gambar-gambar yang merepresentasikan bentuk permainan serta antar muka permainan yang dibuat.
4. BAB IV Pengujian dan Analisis  
Bab ini menjelaskan tentang pengujian yang dilakukan terhadap sistem hasil dari tugas akhir ini dan menganalisis sistem tersebut. Spesifikasi perangkat lunak yang digunakan juga disebutkan dalam bab ini, sehingga ketika akan dikembangkan lebih jauh, spesifikasi perlengkapannya dapat dipenuhi tanpa harus melakukan uji coba perangkat lunak lagi.
5. BAB V Penutup

Bab ini merupakan penutup yang berisi kesimpulan yang diambil dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Penelitian lanjutan merupakan langkah-langkah untuk pengembangan lebih lanjut yang juga ditulis pada bab ini.

## BAB 2

# TINJAUAN PUSTAKA

Demi mendukung penelitian ini, dibutuhkan beberapa teori penunjang sebagai bahan acuan dan referensi. Dengan demikian penelitian ini menjadi lebih terarah.

### 2.1 *Fighting Game*

*Fighting game* tergolong dalam genre aksi karena melibatkan kemampuan fisik pemain seperti waktu reaksi (*reaction time*) dan ketepatan waktu (*timing*). Jenis *game* ini menyimulasikan pertarungan dengan karakter yang berhadap-hadapan dan biasanya ditambahkan dengan gerakan-gerakan yang berlebihan. Dalam permainannya, setiap serangan yang sukses mengenai musuh akan menyebabkan energi musuh tersebut berkurang, dan permainan akan terus berlangsung hingga energi dari salah satu karakter mencapai nol, sehingga strategi yang umum dilakukan oleh pemain dalam *fighting game* mirip dengan bermain batu kertas gunting, yaitu dengan menebak-nebak gerakan apa yang selanjutnya akan dilakukan oleh musuh, dan memanfaatkan fitur yang umumnya berada dalam



Gambar 2.1: Contoh *fighting game*: *Street Fighter II* [3]

jenis *game* tersebut, yaitu serangan kombo [4]. Salah satu contoh *fighting game* yang populer dengan ciri-ciri *fighting game* yang telah dijelaskan adalah *Street Fighter II*, seperti pada Gambar 2.1. Dalam *game Street Fighter II* tersebut juga terdapat ciri *fighting game* lain yang seringkali ada dalam *fighting game* pada umumnya, yaitu kondisi kemenangan berdasarkan sisa nyawa ketika waktu habis, serta serangan-serangan jurus yang unik untuk setiap karakter.

## 2.2 *Artificial Intelligence*

*Artificial Intelligence* (AI) membahas mengenai cara mengaplikasikan kemampuan berpikir pada komputer seperti yang dapat dilakukan oleh manusia. Di bidang *game*, ketertarikan para peneliti umumnya adalah pada sisi *engineering* seperti bagaimana cara membangun algoritma agar karakter dalam *game* dapat berperilaku seperti manusia. AI pada *game-game* modern umumnya mengarah pada tiga kebutuhan, yaitu kemampuan untuk menggerakkan karakter, kemampuan untuk mengambil keputusan gerakan atau aksi, dan kemampuan untuk berpikir taktis atau strategis [5].

Pada karakter *virtual*, hal-hal yang paling dibutuhkan untuk dikembangkan pada AI adalah sebagai berikut.

1. *Autonomous*, yaitu dapat berfungsi secara efektif bahkan tanpa input dari manusia pada saat *run time*.
2. *Reactive*, yaitu sadar dan responsif pada situasi yang berubah-ubah.
3. *Nondeterministic*, yaitu pemain semestinya tidak pernah melihat hal yang sama untuk kedua kalinya.
4. *Cultural Authentic*, yaitu berperilaku sebagai individu dari budaya yang digambarkan.
5. *Believable*, yaitu menjaga *immersion* dengan berperilaku seayaknya manusia [6].

## 2.3 *Utility-Based AI*

Teori *utility* merupakan konsep yang sudah lama ada sebelum sebelum *game*, bahkan sebelum komputer. Inti dari konsep ini adalah bahwa setiap aksi atau keadaan yang memungkinkan dari suatu model dapat diekspresikan dengan sebuah nilai *uniform*. Nilai inilah yang biasa disebut *utility*, yang mendeskripsikan kebergunaan suatu aksi pada konteks tertentu. Misal, seseorang dihadapkan pada sua-

tu pilihan ketika ia harus memesan makanan A dengan harga yang lebih murah dari makanan B, maka makanan A memiliki nilai *utility* yang lebih tinggi apabila orang tersebut memiliki prioritas untuk memilih makanan yang lebih murah. Namun, situasi ini menjadi lebih sulit untuk dibandingkan ketika terdapat pembanding baru, misal durasi pengiriman makanan. Apabila makanan A memiliki durasi pengiriman lebih lama daripada B, maka makanan B memiliki nilai *utility* lebih tinggi karena urgensi durasi pengiriman lebih penting, sehingga skornya lebih tinggi dalam perhitungan nilai *utility*.

Konsistensi juga perlu diperhatikan dalam memperhitungkan nilai *utility*, karena nilai tersebut harus dibandingkan satu sama lain untuk mencapai keputusan akhir. Oleh karena itu, nilai-nilai tersebut perlu dinormalisasi (0-1) agar memiliki rentang nilai yang sama.

Kunci pengambilan keputusan pada *Utility-Based AI* adalah dengan menghitung skor *utility* untuk setiap aksi yang dapat dilakukan agen, dan memilih aksi dengan skor tertinggi. Hal ini memungkinkan untuk menciptakan pengambilan keputusan yang kompleks dengan desain yang lebih sederhana daripada harus mendefinisikan *states* beserta transisinya seperti pada *Finite State Machine* (FSM), atau mendefinisikan setiap percabangan kondisi seperti pada *Behaviour Tree* (BT). Bahkan dengan sistem perhitungan skor, *Utility-Based AI* menjadi lebih baik dalam menentukan perkiraan terbaik bahkan dengan informasi yang tidak lengkap. Teknik yang umumnya digunakan untuk menghitung *expected utility* adalah sebagai berikut.

$$EU = \sum_{i=1}^n D_i P_i \quad (2.1)$$

$D$  merupakan nilai *utility* aksi terhadap setiap parameter ( $i$ ), dan  $P$  adalah probabilitas *utility* pada aksi dengan parameter ( $i$ ) tersebut. Probabilitas ini juga dinormalisasi sehingga jumlah semua probabilitasnya adalah 1. Perhitungan ini dilakukan untuk setiap aksi yang ada, dan aksi dengan *expected utility* terbesar lah yang akan dipilih. Hal ini disebut dengan *Principle of Maximum Expected Utility* [2].

Dalam perhitungan *utility* sendiri terdapat berbagai macam cara. Salah satunya adalah menggunakan fungsi linear. Kurva linear membentuk garis lurus dengan kemiringan yang konstan, sehingga nilai *utility* ( $U$ ) adalah nilai *input* ( $x$ ) dibagi dengan nilai maksimal dari *input* ( $m$ ), yang mana nilai ini hanyalah sekedar fungsi normalisasi.

$$U = x/m \quad (2.2)$$

Namun dalam beberapa kasus, nilai suatu *utility* tidak selalu linear. Nilai *utility* juga dapat dihitung dengan fungsi kuadrat seperti berikut.

$$U = \left(\frac{x}{m}\right)^k \quad (2.3)$$

Selain itu, fungsi yang umum digunakan dalam membuat kurva *utility* adalah fungsi logistik. Fungsi tersebut merupakan salah satu dari fungsi *sigmoid* yang memiliki laju perubahan terbesar pada bagian tengah pada *input*.

$$U = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (2.4)$$

Setiap perhitungan dan pengevaluasian pilihan aksi harus dilakukan pada saat *run time*, dalam artian nilai *utility* tidak ditentukan pada saat skenario sedang didesain, melainkan dievaluasi berdasarkan detail situasi yang terjadi pada saat simulasi [7].

## 2.4 Genetic Algorithm

*Genetic Algorithm* (GA) merupakan metode penyelesaian masalah yang menggunakan genetika sebagai model penyelesaian masalahnya. Metode ini merupakan teknik untuk menemukan perkiraan solusi dalam permasalahan optimalisasi dan pencarian.

Pada dasarnya, permasalahan optimalisasinya terlihat sederhana. Semua solusi yang memungkinkan terkait dengan pertanyaan telah diketahui. Himpunan dari semua solusi yang ditemukan tersebut merupakan ruang pencariannya. Permasalahannya ada pada pencarian solusi yang terbaik, yaitu misalnya yang memiliki hasil yang lebih baik dari solusi-solusi lainnya. Jika memungkinkan un-



tuk mengenumerasi semua solusi dengan cepat, maka permasalahan tersebut menjadi tidak begitu sulit. Namun, ketika ruang pencarian menjadi sangat besar, maka enumerasi tidak lagi memungkinkan untuk dilakukan karena akan sangat menghabiskan banyak waktu. Maka diperlukan suatu teknik pencarian solusi optimal, yaitu salah satunya adalah GA.

GA menangani populasi dari solusi yang memungkinkan. Setiap solusi direpresentasikan sebagai kromosom, yang mana itu hanyalah representasi abstrak. Melakukan pengodean dari semua solusi yang memungkinkan pada kromosom adalah langkah awalnya. Kumpulan dari operator reproduksi juga harus ditentukan. Operator reproduksi kemudian diaplikasikan pada kromosom-kromosom, dan juga digunakan untuk menjalankan mutasi serta rekombinasi dari solusi permasalahan. Representasi dan operator reproduksi yang tepat merupakan sesuatu yang sangat menentukan, karena perilaku GA sangat tergantung pada hal-hal tersebut. Seringkali, sangat sulit untuk menemukan representasi yang mewakili struktur dari ruang pencarian dan operasi reproduksi, yang sesuai dengan sifat-sifat permasalahan.

Seleksi diharapkan dapat membandingkan setiap individu dari populasi. Seleksi dilakukan menggunakan *fitness function*. Setiap kromosom memiliki nilai yang berhubungan dengan *fitness* dari solusi yang direpresentasikan. *Fitness* harus sesuai dengan pengevaluasian seberapa baik kandidat suatu solusi. Solusi optimalnya adalah solusi yang memaksimalkan *fitness function*. GA menangani masalah yang memaksimalkan *fitness function*. Namun, jika permasalahannya melibatkan pencarian nilai yang minimal, maka cara adaptasinya cukup mudah, misalkan dengan cara membalikinya, atau dibuat sedemikian rupa sehingga individu yang memiliki nilai hasil perhitungan fungsi yang lebih rendah dinyatakan lebih baik.

Setelah operator reproduksi dan *fitness function* didefinisikan, GA berevolusi berdasarkan struktur dasar yang sama. Dimulai dari menghasilkan generasi awal dari populasi kromosom. Populasi pertama harus memberikan variasi bahan genetika yang luas. Gen-gen harus dikumpulkan sebesar-besarnya agar solusi dari ruang pencarian dapat dilahirkan. Umumnya, populasi awal dihasilkan secara acak.

Kemudian, GA dilakukan secara berulang-ulang dalam suatu proses iterasi untuk mengevolusikan populasi. Setiap iterasi terdiri dari langkah-langkah berikut:

1. Seleksi: Memilih individu untuk berreproduksi. Seleksi dilakukan secara acak dengan probabilitas yang tergantung pada *fitness* dari individu, sehingga individu terbaiklah yang lebih sering dipilih untuk reproduksi dibandingkan individu yang buruk.
2. Reproduksi: *Offspring* (keturunan) adalah hasil yang dilahirkan dari individu-individu yang terpilih melalui seleksi. Untuk menghasilkan kromosom-kromosom baru, pada algoritma ini dapat digunakan juga rekombinasi dan mutasi.
3. Evaluasi: *Fitness* dari kromosom-kromosom baru dievaluasi.
4. Penggantian: Individu-individu dari populasi yang lama kemudian dimusnahkan dan diganti dengan yang baru.

Algoritma ini berhenti ketika populasi menjumpai solusi yang optimal, atau ketika telah mencapai batas iterasi tertentu [8].

## 2.5 *ELO Ratings*

*ELO Ratings* adalah sistem peringkat yang digunakan oleh *United States Chess Federation* untuk menentukan peringkat kemampuan pemain di seluruh dunia. Sistem ini juga telah diadopsi oleh banyak *multiplayer game* kompetitif yang populer seperti *Bac-kgamon*, *Go*, *Scrabble*, dan banyak *video game* pada beberapa genre, termasuk (namun tidak terbatas pada) *League of Legends*, *Counterstrike*, dan *Pokemon*, dengan beberapa variasi dalam implementasinya. Sistem ELO bekerja dengan dasar bahwa performa dari pemain pada pertandingan apa pun merupakan variabel acak pada suatu distribusi normal, bahwa *rating* secara keseluruhan dari pemain harus dipertimbangkan juga dengan kemampuan dari musuh, beserta hasil menang dan kalahnya. Sebuah persamaan kemudian diaplikasikan pada *rating* tersebut untuk memprediksi probabilitas dari pemain mendapatkan kemenangan. Hasil dari persamaan tersebut kemudian digunakan untuk menghitung berapa banyak poin yang akan ditambahkan pada *rating* si pemenang dan berapa banyak poin yang akan dikurangkan dari *rating* si pemain yang kalah. Untuk menghitung *expected score* dari pemain, maka digunakanlah

rumus berikut.

$$E_{P1} = \frac{1}{1 + 10^{(R_{P2} - R_{P1})/400}} \quad (2.5)$$

$$E_{P2} = \frac{1}{1 + 10^{(R_{P1} - R_{P2})/400}} \quad (2.6)$$

P1 dan P2 secara urut adalah pemain pertama dan pemain kedua. R1 dan R2 secara urut adalah *rating* dari keduanya. Setelah pertandingan antar dua pemain dimainkan, *rating* akan disesuaikan dengan jumlah yang proporsional dengan selisih antara *expected score* dengan hasil yang sesungguhnya. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$R'_{P1} = R_{P1} + K(S_{P1} - E_{P1}) \quad (2.7)$$

K adalah faktor yang mengendalikan kekuatan dari penyesuaian, dan S adalah *boolean* (nol atau satu) yang mengindikasikan kemenangan atau kekalahan. Ini merupakan standar dari rumus *ELO* [9].

## 2.6 Koefisien Korelasi *Pearson*

Dalam statistika, koefisien korelasi *Pearson* adalah pengukuran untuk korelasi linier antara dua variabel  $x$  dan  $y$ . Pengukuran ini sering digunakan dalam sains, dan dikembangkan oleh Karl Pearson melalui gagasan terkait yang diperkenalkan oleh Francis Galton pada tahun 1880 [10]. Pengukuran tersebut memiliki nilai antara 1 dan -1, dengan nilai 1 berarti memiliki korelasi linier sepenuhnya positif, 0 berarti tidak memiliki korelasi linier, dan -1 berarti memiliki korelasi linier sepenuhnya negatif. Dengan kata lain, semakin dekat nilainya dengan 1 atau -1, maka semakin kuat pula korelasi antar dua variabel tersebut. Sebagai aturan praktis, pedoman akan kekuatan korelasi adalah seperti pada Tabel 2.1 [11].

**Tabel 2.1:** Pedoman kekuatan korelasi antara dua variabel

Nilai Korelasi ( $r$ )	Kekuatan Korelasi
-1,0 hingga -0,5 atau 1,0 hingga 0,5	Kuat
-0,5 hingga -0,3 atau 0,3 hingga 0,5	Sedang
-0,3 hingga -0,1 atau 0,1 hingga 0,3	Lemah
-0.1 hingga 0.1	Tidak berkorelasi, atau sangat lemah

Ketika koefisien korelasi *Pearson* diaplikasikan pada suatu sampel, umumnya direpresentasikan dengan lambang  $r$ . Rumus perhitungan nilai koefisien korelasi *Pearson* antara suatu *dataset*  $\{x_1, \dots, x_n\}$  dan *dataset* lain  $\{y_1, \dots, y_n\}$  yang memiliki nilai sebanyak  $n$  adalah sebagai berikut [12].

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\sqrt{[n \sum x^2 - (\sum x)^2][n \sum y^2 - (\sum y)^2]}} \quad (2.8)$$

# BAB 3

## DESAIN DAN IMPLEMENTASI SISTEM

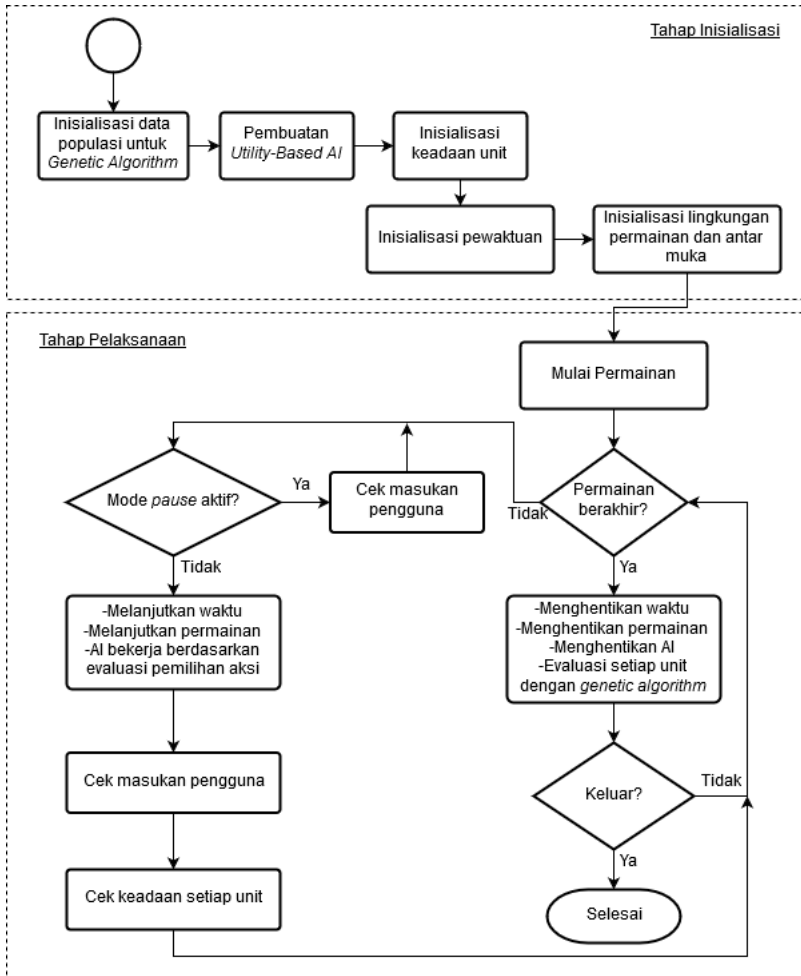
### 3.1 Desain Sistem

Desain sistem dibagi menjadi tiga sistem besar, yaitu desain sistem permainan *fighting*, desain sistem perilaku *non-player character* (NPC) dengan menggunakan *utility-based AI*, dan desain sistem pencarian fungsi *utility* terbaik dengan menggunakan *genetic algorithm*.

#### 3.1.1 Desain Sistem Permainan *Fighting*

Sistem permainan yang didesain merupakan sebuah permainan dengan genre *fighting*. Dalam sistem ini terdapat dua bagian utama, yaitu tahap inisialisasi, dan tahap pelaksanaan seperti terlihat pada Gambar 3.1. Dalam tahap inisialisasi, proses dimulai dengan inisialisasi data populasi untuk diolah dengan menggunakan *genetic algorithm*. Selanjutnya adalah proses pembuatan *Utility-Based AI* sebagai pengevaluasi dalam pengambilan keputusan aksi yang akan dilakukan oleh NPC. Kemudian dilakukan proses inisialisasi keadaan awal untuk setiap unit. Selain itu, dalam tahap ini disiapkan juga berbagai komponen sistem yang digunakan seperti pewaktu-an, lingkungan atau *stage* permainan, dan antar muka. Di dalam antar muka, pengguna dapat melihat atribut-atribut yang dimiliki oleh setiap NPC, meliputi indeks kromosom (dari populasi), *ELO Ratings*, nilai-nilai *utility* setiap aksi, nilai-nilai setiap parameter pertimbangan, dan riwayat aksi-aksi yang telah dan sedang dilakukan.

Tahap selanjutnya adalah pelaksanaan, yaitu tahap inti dari bagaimana permainan ini bekerja. Pada tahap ini terjadi putaran sistem yang akan terus mengecek hal-hal yang menjadi inti permainan, antara lain: perintah masukan pemain, kalkulasi pewaktu-an, proses kecerdasan buatan dengan *utility-based AI*, proses evaluasi populasi dengan *genetic algorithm*, dan kejadian-kejadian lain yang meliputi pemunculan *item* penyembuhan (*item* yang digunakan untuk menambah nyawa unit) yang juga merupakan unsur yang memengaruhi alur permainan. Pada tahap pelaksanaan juga terdapat



**Gambar 3.1:** Desain sistem permainan

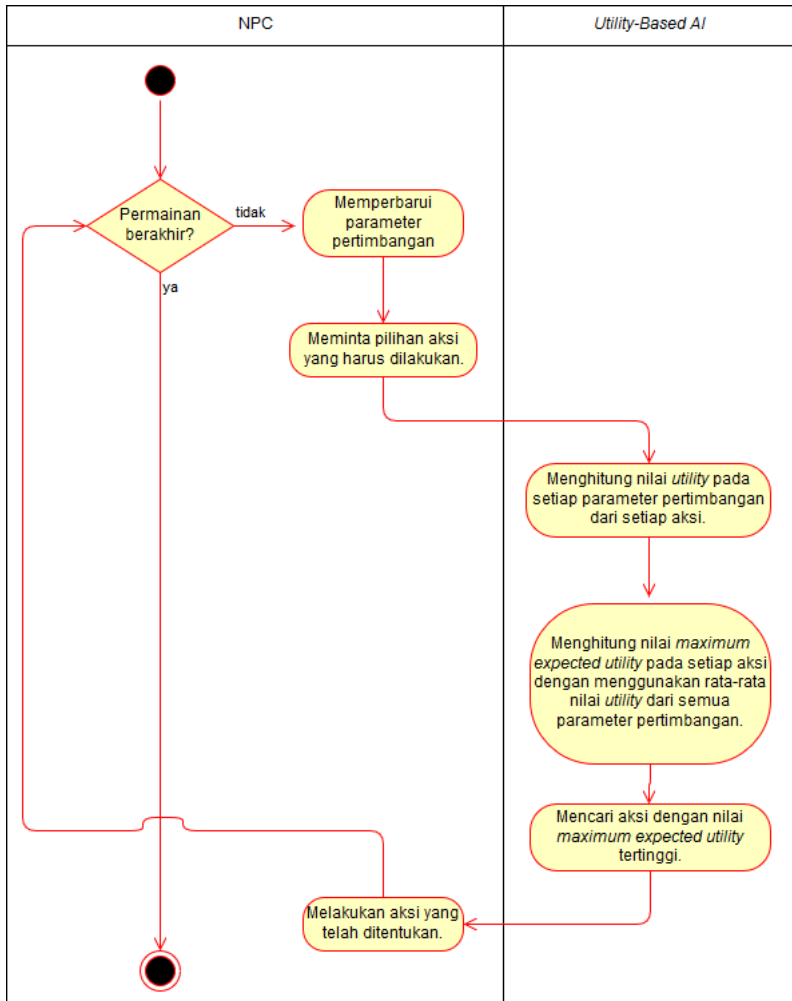
proses interupsi yang dapat digunakan untuk menghentikan permainan sejenak dan atau menghentikan permainan. Dalam proses *training*, pengecekan masukan pemain antara lain adalah perintah untuk melakukan *pause* permainan, dan juga interaksi dengan antar

muka atribut-atribut *utility-based AI*. Pengecekan keadaan setiap unit digunakan untuk menentukan kejadian yang terjadi dalam permainan, misalnya adalah penentuan apakah sedang dalam kondisi pertarungan atau tidak, dan pengecekan apakah permainan telah selesai atau belum yang ditentukan dari nilai nyawa setiap pemain. Apabila terdapat salah satu unit yang memiliki nyawa senilai nol, atau apabila waktu habis, maka permainan berakhir.

### 3.1.2 Desain Sistem Perilaku NPC dengan *Utility-Based AI*

NPC bertindak sebagai lawan dalam permainan yang digunakan dalam penelitian ini. Untuk dapat bekerja sesuai dengan fungsinya sebagai lawan, dibutuhkan kecerdasan buatan (AI) yang akan berperan sebagai otak dari NPC tersebut. Dalam penelitian ini diterapkan proses AI untuk pengambilan keputusan aksi menggunakan *utility-based AI* seperti pada gambar 3.2. Proses evaluasi pengambilan keputusan aksi dilaksanakan dengan interval setiap *frame*.

Proses awal dimulai dari memperbarui parameter pertimbangan berdasarkan kondisi sesungguhnya pada *frame* saat itu juga. Setelah parameter pertimbangan diperbarui, NPC kemudian meminta pilihan aksi yang harus dilakukan yang dievaluasi dengan *utility-based AI*. Lalu nilai *utility* untuk setiap parameter pertimbangannya dihitung pada setiap aksi. Nilai *utility* berdasarkan parameter pertimbangan dihitung menggunakan fungsi *utility* yang telah ditentukan secara manual sebelumnya. Setelah itu, untuk menentukan nilai *utility* sebenarnya pada setiap aksi, dilakukan perhitungan nilai *maximum expected utility* dengan cara menghitung nilai rata-rata nilai *utility* dari semua parameter pertimbangan dalam setiap aksi. Setelah semua *maximum expected utility* dihitung, aksi dengan nilai *maximum expected utility* tertinggi dipilih sebagai aksi yang akan dilakukan oleh NPC. NPC kemudian melakukan aksi yang telah ditentukan. Proses tersebut dilakukan terus menerus setiap *frame* selama permainan belum berakhir dan AI bersifat aktif.



**Gambar 3.2:** Desain sistem perilaku NPC dengan *Utility-Based AI*

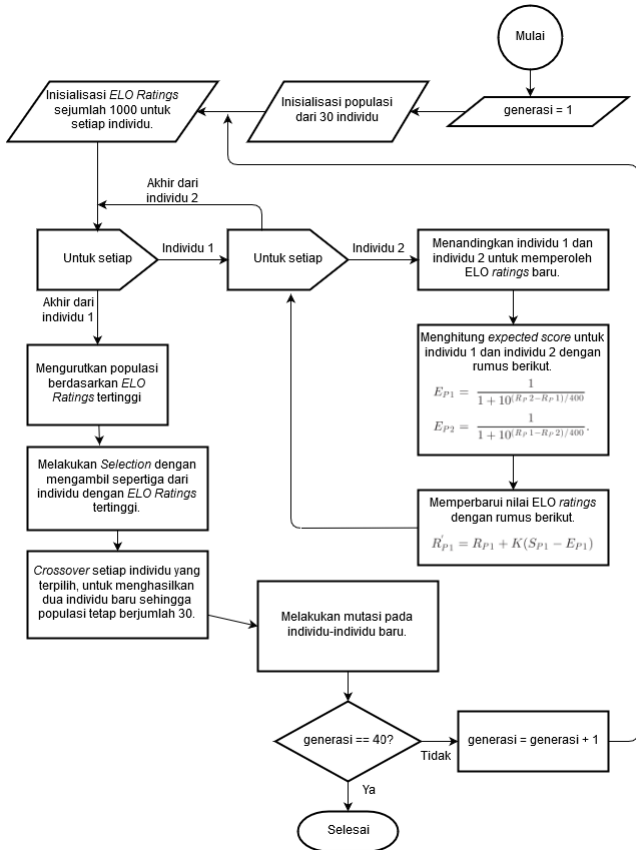


### 3.1.3 Desain Sistem Pencarian Fungsi *Utility* Terbaik dengan *Genetic Algorithm*

Dengan sistem perilaku NPC yang telah dijelaskan sebelumnya, setiap nilai *utility* pada suatu aksi berdasarkan parameter pertimbangan tertentu dihitung dengan fungsi *utility* yang telah ditentukan secara manual. Untuk memperoleh performa AI yang sebaik mungkin, maka perlu dicari fungsi *utility* yang sebaik mungkin pula untuk setiap aksi dengan masing-masing parameter pertimbangannya. Untuk itu, *genetic algorithm* digunakan untuk mencari *fungsi utility* terbaik untuk setiap aksi dengan masing-masing parameter pertimbangannya.

Pemodelan sistem genetika dilakukan dengan menjadikan unit karakter NPC sebagai kromosom, dan menjadikan setiap fungsi *utility* sebagai gen dari kromosom tersebut. Fungsi *utility* dibuat menggunakan *Animation Curve* pada Unity 3D yang terkonstruksi dari beberapa titik *keyframe* pembentuk fungsi, yang dalam setiap *keyframe* terdapat data berupa *time* (posisi titik pada sumbu x), *value* (posisi titik pada sumbu y), serta nilai *in-tangent* dan *out-tangent* untuk menentukan kemiringan pada titik tersebut. Karena setiap gennya adalah fungsi *utility*, maka setiap gen berisi kumpulan data *keyframe*.

Proses dimulai dari tahap inisialisasi, yaitu menetapkan nilai awal generasi senilai satu, dan menginisialisasi populasi sebanyak tiga puluh individu (atau yang selanjutnya akan disebut sebagai kromosom). Setiap tiga puluh kromosom tersebut diberi nilai *ELO Ratings* awal sejumlah seribu. Kemudian, untuk setiap tiga puluh kromosom tersebut ditandingkan dengan tiga puluh kromosom lainnya kecuali kromosom yang sama (dengan kata lain dirinya sendiri) untuk menghitung *ELO Ratings* dari setiap kromosom tersebut. *ELO Ratings* dihitung dengan rumus yang telah dijelaskan pada bab dua. Setelah *ELO Ratings* pada semua kromosom dihitung, populasi kemudian diurutkan berdasarkan *ELO Ratings* tertinggi. Dari populasi yang telah diurutkan tersebut kemudian dilakukan *selection* dengan cara mengambil sepertiga dari kromosom-kromosom dengan *ELO Ratings* tertinggi. Dari kromosom-kromosom yang telah diambil dilakukan *crossover*, yaitu mengawin-silangkan setiap kromosom terpilih sebanyak sepuluh pasangan secara acak. Seti-



**Gambar 3.3:** Desain sistem pencarian fungsi *utility* terbaik dengan *genetic algorithm*

ap pasangan tersebut menghasilkan dua *offspring* (kromosom baru) sebanyak dua kromosom, sehingga pada akhirnya populasi akan tetap berjumlah tiga puluh kromosom. Mutasi kemudian dilakukan pada setiap kromosom-kromosom baru. Proses tersebut dilakukan berulang kali hingga generasi mencapai tiga puluh.

## 3.2 Alur Kerja

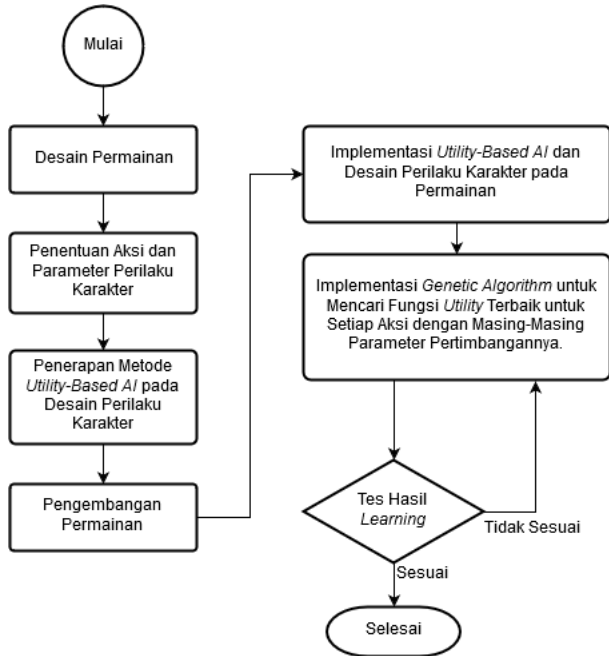
Alur kerja terbagi oleh enam tahapan proses. Dalam masing-masing proses memiliki luaran yang dihasilkan dan dijadikan masukan untuk proses pada sistem yang dibuat. Tahapan-tahapan prosesnya adalah sebagai berikut.

1. Desain Permainan.  
Mendesain *game* sesuai dengan genre yang telah ditentukan, yaitu *fighting*.
2. Penentuan Aksi dan Parameter Perilaku Karakter.  
Menentukan aksi-aksi yang dapat dilakukan oleh karakter dalam *game* yang akan dikembangkan beserta parameter-parameter kondisi yang menentukan pilihan aksi tersebut.
3. Penerapan Metode *Utility-Based AI* pada Desain Perilaku Karakter.  
Mendesain perilaku karakter dan menentukan fungsi-fungsi perhitungan *utility* untuk setiap aksi berdasarkan *utility-based AI* sebagai metode pengambilan keputusan aksi pada karakter.
4. Pengembangan Permainan.  
Mengembangkan permainan berdasarkan desain yang ditentukan di awal.
5. Implementasi *Utility-Based AI* dan Desain Perilaku Karakter pada Permainan.  
Mengimplementasikan *utility-based AI* dan desain perilaku karakternya pada permainan yang telah dikembangkan.
6. Implementasi *Genetic Algorithm*.  
Mengimplementasikan *genetic algorithm* untuk mencari fungsi-fungsi *utility* terbaik untuk setiap aksi dengan masing-masing parameter pertimbangannya.

Keseluruhan dari alur kerja dapat dilihat pada Gambar 3.4.

## 3.3 Pembuatan Desain Permainan

Prototipe permainan *fighting game* yang dibuat dalam penelitian ini ditujukan untuk platform *smartphone* dengan sistem operasi *Android* dengan persyaratan minimal *Android* versi 4.1 atau disebut juga *Jelly Bean*. Pembuatan desain permainan dibagi menjadi tiga tahap yang akan membentuk suatu permainan secara utuh. Tahap-



**Gambar 3.4:** Alur kerja

tahap tersebut meliputi unsur permainan, kondisi permainan, dan antar muka permainan.

### 3.3.1 Unsur Permainan

Pada model permainan yang dibuat, unsur yang digunakan dalam permainan ini dibagi menjadi tiga unsur besar, yaitu karakter, *stage*, dan *item*. Masing-masing unsur dapat dijelaskan sebagai berikut.

#### 1. Karakter.

Dalam model permainan yang digunakan terdapat karakter yang akan bertarung di dalam *stage*, bernama *Gatokaca*. Penggambaran karakter tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5. Karakter dalam *game* memiliki daftar atribut-atribut serta daftar aksi-aksi yang dapat dilakukan. Atribut-atribut yang dimiliki oleh karakter adalah sebagai berikut.



**Gambar 3.5:** Karakter dalam *game*: *Gatotkaca*

- (a) Jarak Musuh.  
Jarak dari posisi dirinya sendiri menuju posisi musuh, yang dinormalisasi menjadi nilai antara nol hingga satu. Apabila jarak asli melebihi batas jarak maksimal yang telah ditentukan, maka nilai normalisasinya ditetapkan sebagai satu.
- (b) Nyawa.  
Persentase sisa nyawa dirinya sendiri, yang dinormalisasi menjadi nilai antara nol hingga satu.
- (c) Nyawa Musuh.  
Persentase sisa nyawa musuh, yang dinormalisasi menjadi nilai antara nol hingga satu.
- (d) Selang Waktu Serangan Musuh.  
Selang waktu yang telah berlalu sejak musuh memulai serangan, yang dinormalisasi menjadi nilai antara nol hingga satu. Nilai nol berarti animasi serangan musuh baru dimulai, sedangkan nilai satu berarti animasi serangan musuh telah berakhir. Sedangkan nilai di antara nol hingga satu berarti animasi serangan musuh sedang di tengah proses.
- (e) Jarak *Item* Penyembuhan Terdekat.  
Jarak dari posisi dirinya sendiri menuju posisi *item* penyembuhan terdekat, yang dinormalisasi menjadi nilai

antara nol hingga satu. Apabila jarak asli melebihi batas jarak maksimal yang telah ditentukan, atau sedang tidak ada *item* penyembuhan di dalam *stage*, maka nilai normalisasinya ditetapkan sebagai satu.

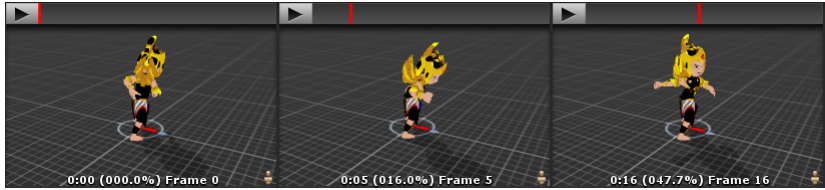
(f) *Power*.

Jumlah *power* yang dimiliki. Apabila *power* mencapai nilai maksimal, maka karakter dapat mengeluarkan serangan jurus. Nilai ini dinormalisasi menjadi bilangan bulat nol dan satu. Apabila nilai *power* tidak maksimal, maka nilainya dinormalisasi menjadi nol, sedangkan apabila nilai *power* mencapai nilai maksimal, maka nilainya dinormalisasi menjadi satu. Khusus untuk atribut *power* digunakan bilangan bulat, karena serangan jurus hanya bisa digunakan jika *power* mencapai nilai maksimal saja, sehingga nilai *power* antara nol hingga satu tidak dibutuhkan. Nilai *power* bertambah ketika serangan karakter mengenai musuh, atau ketika karakter terkena serangan musuh. Namun, *power* yang didapatkan dari terkenanya serangan musuh lebih besar nilainya daripada *power* yang didapatkan dari serangan yang mengenai musuh.

Atribut-atribut tersebut yang kemudian digunakan sebagai parameter-parameter pertimbangan setiap aksi yang dapat dilakukan oleh karakter. Aksi-aksi yang dimiliki oleh karakter adalah sebagai berikut.

(a) Merangkai Serangan Kuat.

Terdapat beberapa macam serangan yang dapat dilakukan oleh karakter. Salah satunya adalah serangan kuat. Pada nama aksi ini digunakan kata "merangkai" karena serangan-serangan yang dilancarkan karakter bersifat dapat dirangkai menjadi suatu kombo. Animasi-animasi yang dijalankan pada aksi merangkai serangan kuat dapat dilihat seperti pada Gambar 3.6, dan Gambar 3.7.



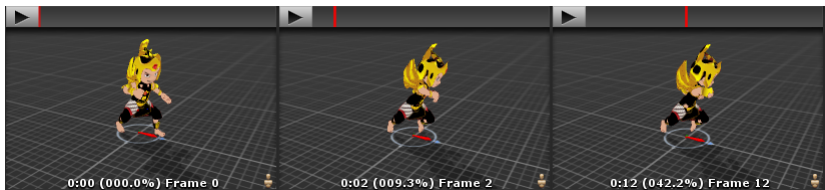
**Gambar 3.6:** Animasi serangan kuat pertama



**Gambar 3.7:** Animasi serangan kuat kedua

(b) Merangkai Serangan Normal.

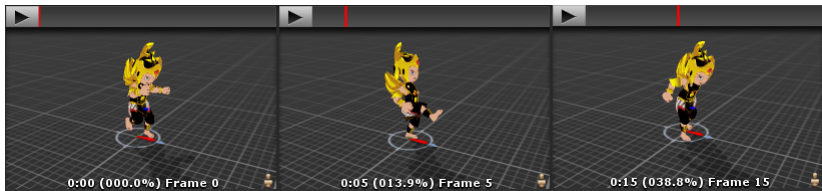
Jenis serangan karakter yang lainnya adalah serangan normal. Serangan ini memiliki *damage* lebih rendah daripada serangan kuat. Namun, sama dengan serangan kuat, serangan ini juga dapat dirangkai menjadi suatu kombo. Animasi-animasi yang dijalankan pada aksi merangkai serangan normal dapat dilihat seperti pada Gambar 3.8, Gambar 3.9, dan Gambar 3.10.



**Gambar 3.8:** Animasi serangan normal pertama

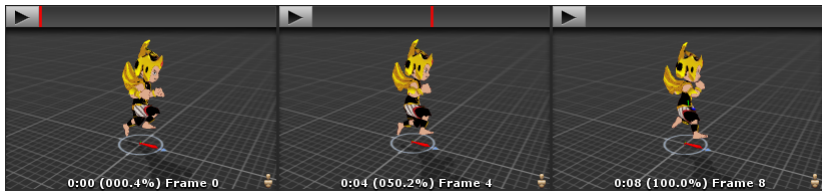


**Gambar 3.9:** Animasi serangan normal kedua



**Gambar 3.10:** Animasi serangan normal ketiga

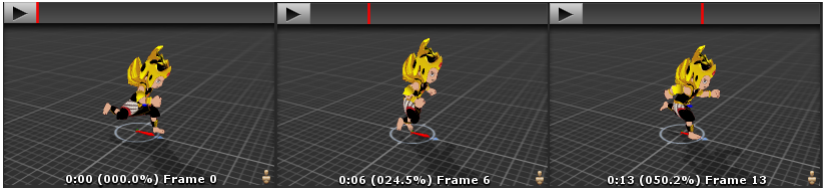
Ketika karakter sedang melompat atau sedang berada di udara (tidak menyentuh tanah), maka serangan yang dihasilkan menjadi serangan udara. Animasi yang dijalankan saat melakukan serangan udara dapat dilihat seperti pada Gambar 3.11.



**Gambar 3.11:** Animasi serangan udara

- (c) Mengejar Musuh.  
Berlari menuju posisi musuh. Animasi yang dijalankan pada aksi mengejar musuh dapat dilihat seperti pada Gambar 3.12.





**Gambar 3.12:** Animasi berlari

- (d) Mengejar *Item* Penyembuhan.  
 Berlari menuju posisi *item* penyembuhan. *Item* penyembuhan akan secara otomatis terambil oleh karakter ketika karakter menyentuh *item* tersebut. Animasi yang dijalankan pada aksi mengejar *item* penyembuhan sama dengan animasi yang dijalankan pada aksi mengejar musuh seperti pada Gambar 3.12.
- (e) Menolak Serangan.  
 Menggagalkan serangan yang dilancarkan musuh. Animasi yang dijalankan pada aksi menolak serangan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.13.



**Gambar 3.13:** Animasi menolak serangan

- (f) Serangan Jurus.  
 Melancarkan serangan jurus. Berbeda dengan serangan-serangan biasa, serangan ini tidak bisa membentuk suatu kombo dan hanya bisa dilancarkan ketika atribut *power* telah penuh. Namun, serangan jurus memiliki *damage* yang jauh lebih besar dari serangan biasa. Animasi yang dijalankan pada aksi serangan jurus dapat dilihat seperti pada Gambar 3.14.

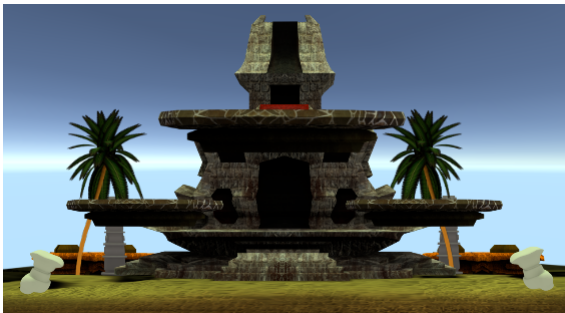


**Gambar 3.14:** Animasi serangan jurus

Terdapat tiga macam rangkaian serangan kombo. Pertama yaitu rangkaian kombo tiga serangan normal berturut-turut. Rangkaian kedua adalah kombo dua serangan kuat berturut-turut. Rangkaian ketiga adalah kombo dua serangan normal berturut-turut, dilanjutkan dengan satu serangan kuat.

2. *Stage*.

*Stage* yang digunakan dalam *game* ini berupa lingkungan luas dengan beberapa pijakan melayang (*platform*) yang dapat diraih dan dipijaki oleh unit karakter dengan cara melompat. Tampilan *stage* tempat bertarung karakter dapat dilihat seperti pada Gambar 3.15.



**Gambar 3.15:** *Stage* bertarung

3. *Item*.

Di dalam *game* ini terdapat *item* penyembuhan yang berguna untuk menambah nyawa bagi karakter yang mengambilnya. *Item* ini diletakkan ke dalam *stage* pada posisi acak dan dikeluarkan sewaktu-waktu. Namun, dalam satu waktu, hanya

akan ada satu *item* penyembuhan di dalam *stage*. Tampilan *item* penyembuhan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.16.



**Gambar 3.16:** *Item* penyembuhan

### 3.3.2 Kondisi Permainan

Dalam permainan ini terdapat dua macam kondisi yang merepresentasikan keadaan berakhirnya permainan. Pada akhir permainan akan ditentukan salah satu pemenang dari dua karakter yang telah bertarung. Dua kondisi permainan tersebut yaitu:

1. Kondisi Nyawa.

Merupakan kondisi pada saat salah satu unit karakter memiliki nyawa yang mencapai nol. Kondisi ini akan memicu berhentinya permainan sekaligus pewaktuan dalam permainan. Dengan kondisi ini, unit karakter yang memiliki nyawa yang telah mencapai nol dinyatakan kalah, dan unit karakter yang satu lagi dinyatakan sebagai pemenang.

2. Kondisi Batas Waktu.

Sebelumnya telah disebutkan bahwa dalam permainan ini terdapat sistem pewaktuan. Pada awal mula pertarungan, ditetapkan nilai awal pewaktuan sebanyak seratus dua puluh detik. Nilai waktu tersebut akan dihitung secara mundur seiring waktu. Apabila waktu telah mencapai nol, maka selesai atau tidak, pertarungan akan dihentikan secara paksa. Apabila tidak ada unit karakter yang nyawanya mencapai nol, maka unit karakter dengan jumlah nyawa paling sedikit dinyatakan kalah. Sebaliknya, unit karakter dengan jumlah nyawa paling banyak dinyatakan sebagai pemenang.

### 3.3.3 Antar Muka Permainan

Untuk dapat menampilkan informasi dan interaksi kepada pemain dibuatlah tampilan antar muka dalam permainan ini. Tampil-



**Gambar 3.17:** Tampilan antar muka untuk permainan sesungguhnya

an antar muka seperti pada Gambar 3.17 memiliki delapan macam unsur informasi yang ditampilkan dijelaskan sesuai dengan nomor yang ada, yaitu:

1. Informasi Nyawa Unit Karakter.  
Bar berwarna hijau menyimpan informasi nyawa dari unit karakter.
2. Informasi *Power* Unit Karakter.  
Bar berwarna kuning (mengelilingi bar berwarna hijau) menyimpan informasi *power* yang dimiliki unit karakter.
3. Pewaktu (*Timer*).  
Pewaktu digunakan untuk menampilkan informasi berapa lama sisa waktu pertarungan.
4. Informasi Nama Karakter.  
Nama dari unit karakter.
5. Informasi Gambar Karakter.  
Gambar wajah unit karakter secara *close-up*.
6. Tombol Gerakan Horizontal.  
Tombol yang digunakan pemain untuk menggerakkan karakter ke kanan dan ke kiri.

7. Tombol Melompat.

Tombol yang digunakan pemain untuk memerintahkan karakter untuk lompat.

8. Tombol *Pause*.

Tombol untuk melakukan jeda pada permainan.

Seluruh antar muka ini bertujuan untuk dapat memberikan informasi yang jelas kepada pemain sehingga pemain dapat mengendalikan karakter dan mengerti kondisi yang ada dalam permainan. Namun, untuk fitur tombol pergerakan horizontal dan tombol melompat hanya bisa digunakan untuk hasil permainan yang sebenarnya. Fitur ini tidak digunakan ketika menjalankan pelatihan GA karena seluruh unit karakter akan dikendalikan oleh AI baik karakter kiri maupun karakter kanan.

### 3.3.4 Antar Muka Permainan untuk Penelitian

Untuk memudahkan penelitian, maka dibuat antar muka khusus untuk peneliti agar dapat dengan mudah memantau variabel-variabel yang sedang diteliti. Tampilan antar muka permainan untuk penelitian seperti pada Gambar 3.18 memiliki sepuluh macam unsur informasi yang ditampilkan dijelaskan sesuai dengan nomor yang ada, yaitu:

1. Daftar Unit Karakter.

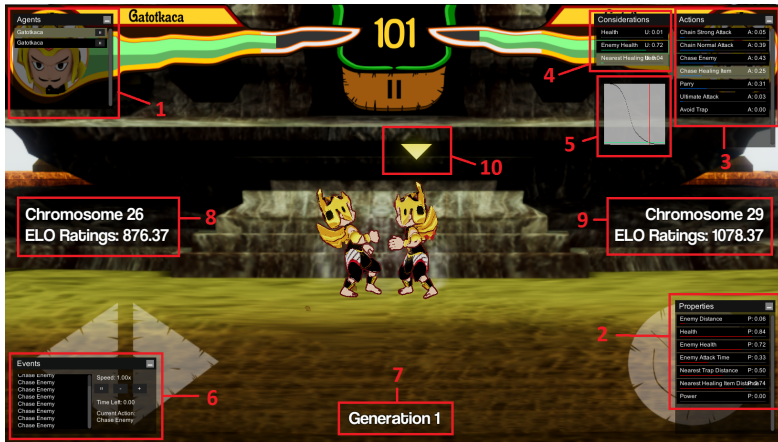
Berisi daftar dari semua unit karakter yang terdapat dalam *stage*. Apabila salah satu tombol *agent* ditekan, maka informasi-informasi unit karakter yang tampil di antar-muka adalah informasi-informasi mengenai unit karakter yang telah dipilih dengan cara ditekan.

2. Daftar Atribut Unit Karakter.

Berisi semua atribut dari unit karakter yang dipilih. Nilai ini akan selalu dimuat ulang setiap *frame* selama *run-time* berdasarkan kondisi sesungguhnya yang ada dalam permainan. Nilai yang berada di sebelah kanan nama atribut merupakan nilai normalisasi dari atribut tersebut.

3. Daftar Aksi Unit Karakter.

Berisi semua aksi yang dapat dilakukan oleh unit karakter. Nilai yang berada di sebelah kanan nama aksi merupakan nilai *maximum expected utility* aksi tersebut terhadap kondisi atribut-atribut yang menjadi parameter pertimbangan dari



Gambar 3.18: Tampilan antar muka untuk membantu penelitian

aksi tersebut. Apabila tombol salah satu aksi ditekan, maka akan muncul panel daftar atribut yang menjadi parameter pertimbangan aksi yang dipilih.

4. Daftar Atribut yang Menjadi Parameter Pertimbangan Aksi. Berisi semua atribut yang menjadi parameter pertimbangan aksi yang dipilih. Nilai di sebelah kanan nama atribut merupakan nilai *utility* aksi yang dipilih berdasarkan atribut tersebut. Nilai-nilai *utility* itulah yang apabila dirata-rata akan menghasilkan nilai *maximum expected utility* dari aksi yang dipilih. Apabila salah satu tombol atribut tersebut ditekan, maka akan muncul tampilan kurva dari fungsi *utility* aksi yang dipilih berdasarkan atribut yang telah ditekan.
5. Kurva Fungsi *Utility* Suatu Aksi Berdasarkan Suatu Atribut. Tampilan kurva yang merepresentasikan fungsi *utility* aksi yang dipilih berdasarkan atribut yang telah dipilih juga. Di dalamnya juga terdapat indikator letak titik saat ini, dengan sumbu x yang merupakan nilai atributnya, dan sumbu y yang merupakan nilai *utility*-nya.
6. Riwayat Aksi. Berisi riwayat aksi-aksi yang pernah dilakukan setiap frame, termasuk keputusan aksi yang sedang dilakukan.

7. Informasi Generasi.  
Memberikan informasi status generasi saat ini.
8. Informasi Kromosom Karakter Kiri.  
Memberikan informasi indeks kromosom dari populasi yang ada, yang sedang bertarung dalam *stage* sebagai unit karakter yang berdiri di sebelah kiri pada awal pertarungan.
9. Informasi Kromosom Karakter Kanan.  
Memberikan informasi indeks kromosom dari populasi yang ada, yang sedang bertarung dalam *stage* sebagai unit karakter yang berdiri di sebelah kanan pada awal pertarungan.
10. Indikator Unit Karakter Terpilih.  
Menandakan unit karakter yang terpilih.

### 3.4 Implementasi *Utility-Based AI*

Proses implementasi *utility-based AI* dibagi menjadi dua tahap. Pertama, proses dimulai dari penentuan atribut-atribut yang menjadi parameter-parameter pertimbangan dari setiap aksi. Setelah itu, baru ditentukan bentuk-bentuk fungsi *utility* dari setiap aksi untuk setiap parameter-parameter pertimbangannya.

#### 3.4.1 Penentuan Parameter-Parameter Pertimbangan Setiap Aksi

Setiap aksi memiliki nilai *utility* terhadap satu parameter pertimbangannya. Namun, bukan tidak mungkin suatu aksi juga memiliki lebih dari satu parameter pertimbangan. Oleh karena itulah dibutuhkan perhitungan *maximum expected utility* yang merupakan nilai rata-rata dari nilai-nilai *utility* suatu aksi untuk semua parameter pertimbangannya seperti yang telah dijelaskan di bab Tinjauan Pustaka. Berikut ini adalah daftar aksi yang dapat dilakukan karakter beserta atribut-atribut yang menjadi parameter pertimbangannya.

1. Merangkai Serangan Kuat.  
Parameter-parameter pertimbangannya sebagai berikut.
  - (a) Jarak Musuh
  - (b) Selang Waktu Serangan Musuh
2. Merangkai Serangan Normal.  
Parameter-parameter pertimbangannya sebagai berikut.
  - (a) Jarak Musuh

- (b) Selang Waktu Serangan Musuh
- 3. Mengejar Musuh.  
Parameter-parameter pertimbangannya sebagai berikut.
  - (a) Jarak Musuh
  - (b) Nyawa
- 4. Mengejar *Item* Penyembuhan.  
Parameter-parameter pertimbangannya sebagai berikut.
  - (a) Nyawa
  - (b) Nyawa Musuh
  - (c) Jarak *Item* Penyembuhan Terdekat
- 5. Menolak Serangan.  
Parameter-parameter pertimbangannya sebagai berikut.
  - (a) Jarak Musuh
  - (b) Selang Waktu Serangan Musuh
- 6. Serangan Jurus.  
Parameter-parameter pertimbangannya sebagai berikut.
  - (a) Jarak Musuh
  - (b) *Power*

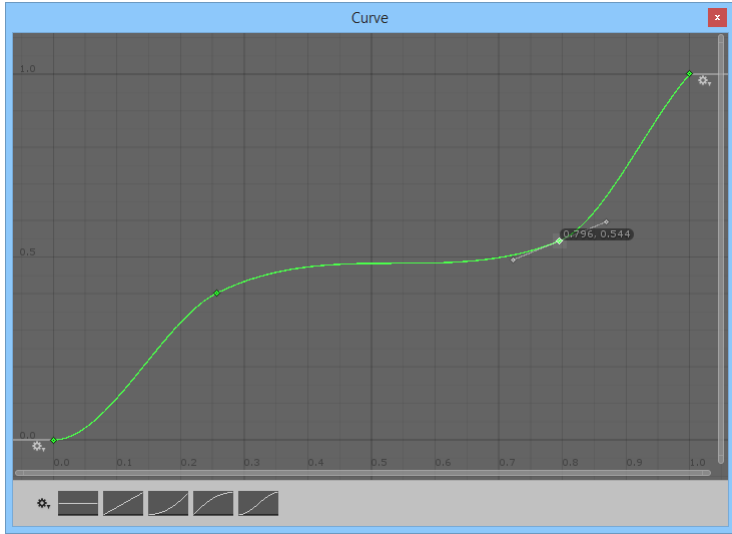
### 3.4.2 Penentuan Fungsi-Fungsi *Utility*

Setelah atribut-atribut sebagai parameter-parameter pertimbangan setiap aksi ditentukan, maka perlu juga ditentukan bentuk-bentuk fungsi perhitungan nilai *utility* untuk setiap parameter pertimbangan pada semua aksi. Fungsi-fungsi ini tentu nantinya akan diubah-ubah dengan menggunakan *genetic algorithm*. Namun, bentuk awal fungsi-fungsi tersebut tetap harus dibuat secara manual.

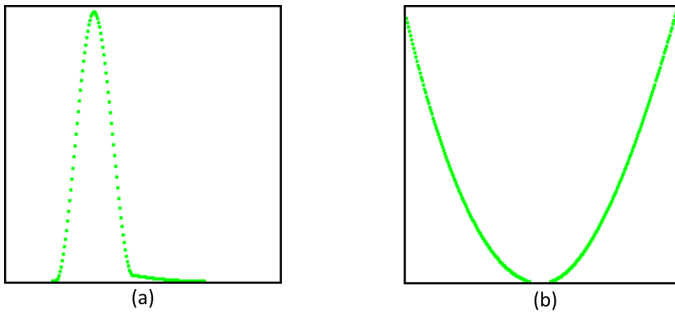
Seperti yang dijelaskan pada sub bab Desain Sistem, pembuatan fungsi *utility* memanfaatkan fitur *Animation Curve* yang ada pada *game engine Unity 3D*. *Animation Curve* merupakan suatu objek yang menyimpan kumpulan objek *keyframe* yang dapat dievaluasi seiring waktu. Tampilan pembuatan fungsi menggunakan *Animation Curve* dapat dilihat seperti pada Gambar 3.19. Dengan menggunakan *Animation Curve* tersebut, dibentuk fungsi-fungsi *utility* untuk semua aksi dengan setiap parameter pertimbangannya sebagai berikut.

1. Merangkai Serangan Kuat.  
Bentuk-bentuk fungsi *utility* pada aksi merangkai serangan kuat dapat dilihat seperti pada Gambar 3.20.





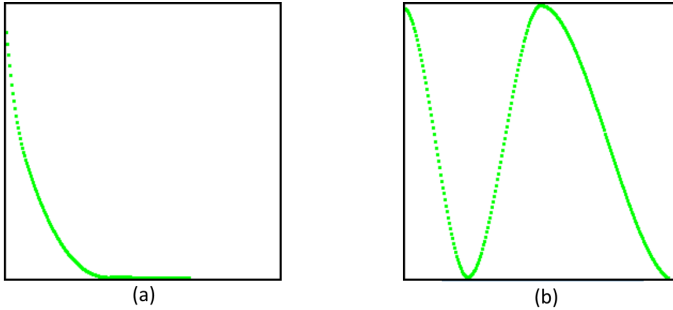
**Gambar 3.19:** Pembuatan fungsi *utility* menggunakan *Animation Curve*



**Gambar 3.20:** Fungsi-fungsi *utility* pada aksi merangkai serangan kuat. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan selang waktu serangan musuh.

## 2. Merangkai Serangan Normal.

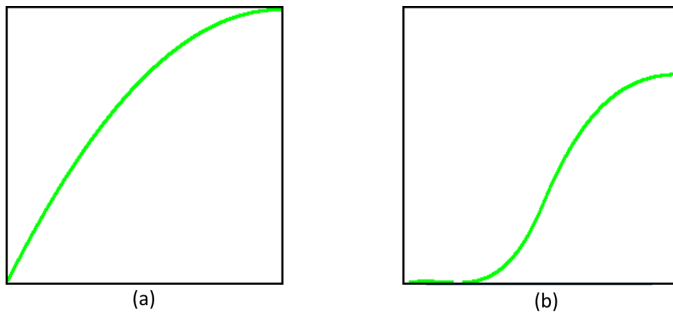
Bentuk-bentuk fungsi *utility* pada aksi merangkai serangan normal dapat dilihat seperti pada Gambar 3.21.



**Gambar 3.21:** Fungsi-fungsi *utility* pada aksi merangkai serangan normal. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan selang waktu serangan musuh.

### 3. Mengejar Musuh.

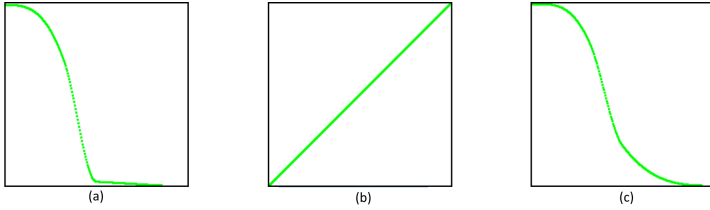
Bentuk-bentuk fungsi *utility* pada aksi mengejar musuh dapat dilihat seperti pada Gambar 3.22.



**Gambar 3.22:** Fungsi-fungsi *utility* pada aksi mengejar musuh. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan nyawa.

### 4. Mengejar *Item* Penyembuhan.

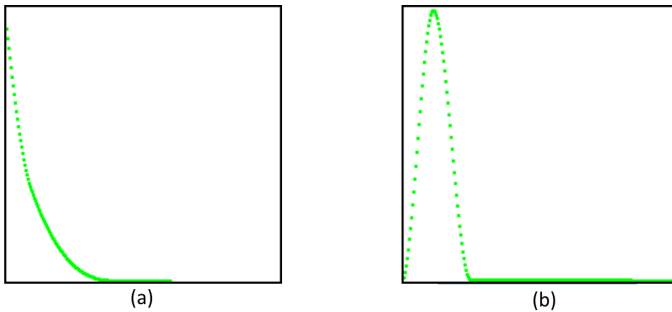
Bentuk-bentuk fungsi *utility* pada aksi mengejar *item* penyembuhan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.23.



**Gambar 3.23:** Fungsi-fungsi *utility* pada aksi mengejar *item* penyembuhan. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan nyawa. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan nyawa musuh. (c) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak *item* penyembuhan terdekat.

5. Menolak Serangan.

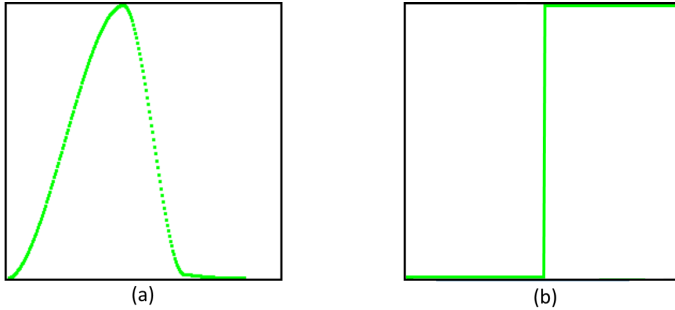
Bentuk-bentuk fungsi *utility* pada aksi menolak serangan dapat dilihat seperti pada Gambar 3.24.



**Gambar 3.24:** Fungsi-fungsi *utility* pada aksi menolak serangan. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan selang waktu serangan musuh.

6. Serangan Jurus.

Bentuk-bentuk fungsi *utility* pada aksi serangan jurus dapat dilihat seperti pada Gambar 3.25.



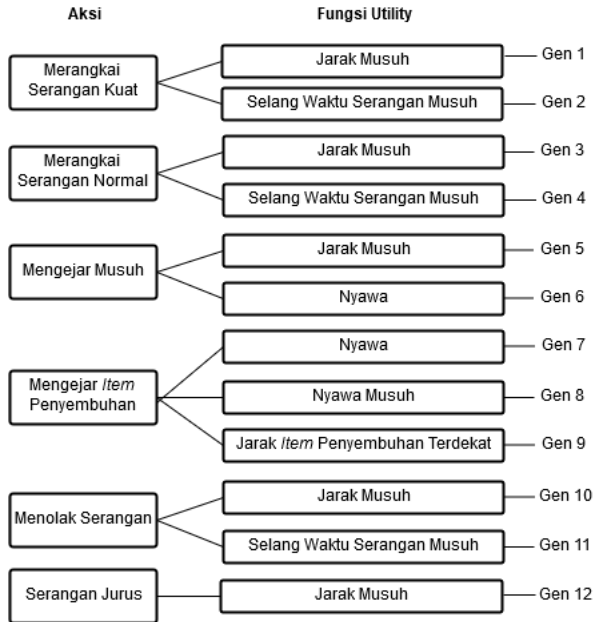
**Gambar 3.25:** Fungsi-fungsi *utility* pada aksi serangan jurus. (a) Berdasarkan parameter pertimbangan jarak musuh. (b) Berdasarkan parameter pertimbangan *power*.

### 3.5 Implementasi *Genetic Algorithm*

Dalam kasus AI dari unit karakter NPC dalam permainan ini, kromosom dimodelkan sebagai objek yang menyimpan kumpulan fungsi *utility* untuk semua aksi berdasarkan setiap parameter-parameter pertimbangannya. Sehingga, setiap fungsi *utility* tersebut dapat disebut sebagai gen. Dalam satu kromosom, dapat dijabarkan gen-gen yang terdapat di dalamnya seperti pada Gambar 3.26. Komponen-komponen penyusun *genetic algorithm* (yang selanjutnya disebut sebagai GA) diimplementasikan pada sistem permainan sebagai berikut.

#### 3.5.1 Pembuatan Populasi Awal

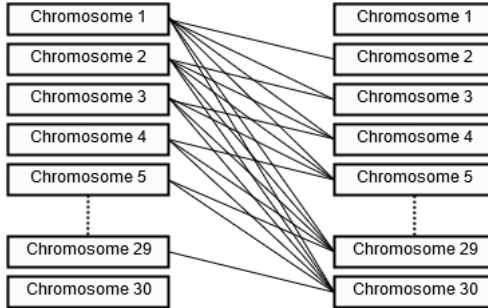
Dalam implementasi GA, digunakan populasi sebanyak tiga puluh kromosom. Pada sub bab Implementasi *Utility-Based AI* telah dijelaskan pembuatan individu (kromosom) awal dengan masing-masing fungsi *utility* pada setiap aksinya terhadap parameter-parameter pertimbangan masing-masing yang dibuat secara manual. Untuk membuat dua puluh sembilan kromosom lainnya dilakukan penyalinan kromosom awal sebanyak dua puluh sembilan kali. Pada dua puluh sembilan kromosom baru tersebut kemudian diaplikasikan mutasi ringan dengan cara mengubah salah satu gen (bentuk fungsi) dari setiap kromosom baru.



Gambar 3.26: Gen-gen yang terdapat dalam satu kromosom

### 3.5.2 Pendefinisian *Fitness Function*

Untuk mengevaluasi apakah AI berjalan dengan baik, maka didefinisikanlah sistem *fitness function*. Sistem tersebut haruslah kuat, yang dirancang untuk memberikan evaluasi kemampuan secara komparatif dan mampu berfungsi dalam lingkungan dengan individu baru yang sering kali ditambahkan atau dihapus. Sistem ini juga harus memungkinkan variasi kinerja individu, yang menyimpulkan hasil dari banyak pertandingan daripada sekedar mengandalkan satu kondisi kinerja (menang atau kalah) sebagai dasar peringkatnya. Hal ini disebabkan karena suatu pertandingan itu sendiri tidak sepenuhnya bergantung pada tindakan satu karakter. Reaksi karakter kedua juga sangat berperan terhadap kesuksesan atau kegagalan. Selain itu, tindakan setiap karakter akan berbeda-beda sehingga setiap pertarungan antara setiap pasangan karakter yang diberikan akan berbeda juga.



**Gambar 3.27:** Turnamen *round robin*

Oleh karena itu digunakanlah sistem *ELO Ratings* seperti yang telah dijelaskan pada bab Tinjauan Pustaka. Setiap tiga puluh kromosom yang ada dalam populasi akan diberikan *ELO Ratings* sebanyak seribu. Unit karakter yang lebih kuat diharapkan mencapai *ELO Ratings* hingga lebih dari seribu. Sebaliknya, unit karakter yang lebih lemah memiliki *ELO Ratings* di bawah seribu. Untuk menemukan nilai *ELO Ratings* yang sebenarnya dari masing-masing kromosom, maka dilakukanlah turnamen *round robin* antar seluruh kromosom yang ada. Masing-masing 29 kromosom akan melawan 29 kromosom yang lain dengan urutan seperti pada Gambar 3.27. Setiap kemenangan suatu kromosom akan berakibat pada bertambahnya *ELO Ratings* dari kromosom tersebut. Sebaliknya, *ELO Ratings* akan dikurangi apabila kromosom tersebut kalah. Selisih penambahan atau pengurangan *ELO Ratings* didapatkan dari pengaplikasian rumus *ELO Ratings* yang telah dijelaskan, dengan menggunakan nilai faktor K sebesar lima puluh.

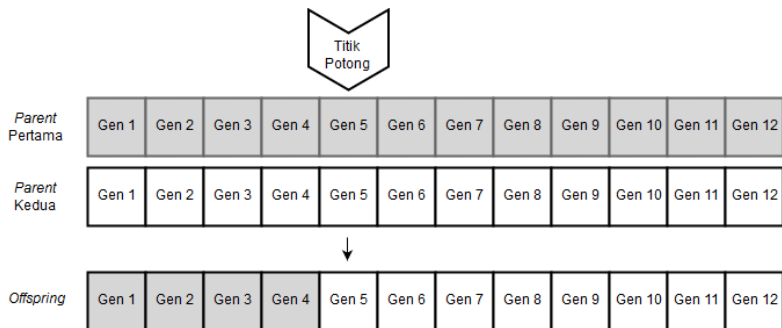
### 3.5.3 Pendefinisian Metode Seleksi

Untuk menentukan kromosom mana yang akan bertahan menuju generasi berikutnya, dan untuk menentukan kromosom mana saja yang akan digunakan untuk *crossover*, maka dilakukan *selection* dengan cara mengurutkan populasi berdasarkan *ELO Ratings* setelah dihitung melalui turnamen. Dari populasi yang sudah terurutkan tersebut kemudian diambil sepertiga kromosom dengan *ELO Ratings* tertinggi untuk membentuk populasi baru. Dalam hal ini,

dari sepertiga populasi sebanyak tiga puluh kromosom, berarti populasi baru terdiri dari sepuluh kromosom.

### 3.5.4 Pendefinisian Metode *Crossover*

Setelah mendapatkan sepertiga kromosom terbaik sebagai populasi baru melalui proses seleksi, kemudian dipilihlah sebanyak sepuluh pasang kromosom secara acak. Terhadap sepuluh pasang kromosom tersebut akan dilakukan *crossover* untuk mendapatkan dua *offspring* (anak) baru. Dengan begitu, maka populasi yang berjumlah sepertiga populasi awal yaitu sepuluh kromosom, akan ditambahkan dengan dua *offspring* baru dari masing-masing pasangan kromosom yang totalnya menjadi dua puluh *offspring*, sehingga jumlah populasi menjadi sebanyak jumlah semula, yaitu tiga puluh kromosom. *Crossover* dilakukan dengan cara menentukan satu gen sebagai titik potong secara acak. Gen-gen di sebelah kiri titik potong akan disalin dari gen-gen *parent* pertama dari pasangan yang ditentukan, dan gen-gen di sebelah kanan titik potong (termasuk titik potong itu sendiri) disalin dari gen-gen *parent* kedua dari pasangan yang ditentukan. Pembuatan *offspring* melalui *crossover* dapat diilustrasikan seperti pada Gambar 3.28.



Gambar 3.28: *Offspring* hasil dari *crossover*

### 3.5.5 Pendefinisian Metode Mutasi

Setelah mendapatkan dua puluh kromosom baru melalui proses *crossover*, kromosom-kromosom tersebut tidak langsung ditambahkan ke dalam populasi, melainkan dilakukan mutasi terlebih da-

hulu. Mutasi dilakukan dengan cara mengubah gen, yaitu mengubah bentuk fungsi *utility* dengan cara memindah-mindahkan posisi dan gradien *keyframe* secara acak dari *animation curve* fungsi yang dipilih. Nilai *mutation rate* yang digunakan dalam pengimplementasian GA ini adalah 0,25. Hal ini berarti akan ada seperempat dari semua gen dalam kromosom-kromosom baru yang diubah bentuk fungsinya. Seperempat gen-gen tersebut dipilih secara acak dari kromosom mana pun, sehingga bisa jadi setiap kromosom memiliki jumlah gen mutasi yang berbeda-beda. Setelah mutasi dilakukan, barulah kromosom-kromosom baru tersebut dimasukkan ke dalam populasi, sehingga dihasilkan populasi baru untuk generasi berikutnya. *ELO Ratings* dari populasi baru tersebut dikembalikan menjadi seribu untuk kemudian dilakukan turnamen lagi untuk menghasilkan *ELO Ratings baru*. Setiap proses GA yang telah dijabarkan akan diulang terus menerus hingga mencapai empat puluh generasi.



## BAB 4

### PENGUJIAN DAN ANALISIS

Pada bab ini akan dipaparkan hasil pengujian dan analisis dari desain sistem dan implementasi yang telah dibahas pada bab tiga. Pengujian ditujukan untuk memperlihatkan apakah sistem permainan dan implementasi *utility-based AI* telah berjalan dengan baik serta apakah implementasi GA telah memberikan hasil pencarian fungsi-fungsi *utility* yang terbaik. Untuk dapat memperlihatkan hasil AI menggunakan fungsi-fungsi *utility* terbaik yang telah didapat melalui GA, akan dilakukan perbandingan *ELO Ratings* antar kromosom-kromosom terbaik dari setiap generasi. Pengujian dilakukan menggunakan *editor* pada perangkat lunak *Unity 3D* versi 5.6.2 pada sistem operasi *Windows 7*. Selain itu, dari kromosom-kromosom AI yang telah ada, untuk mencari AI yang menantang untuk dilawan manusia dengan batas tingkat kesulitan tertentu, maka dilakukanlah pengujian terhadap manusia. Bentuk pengujian yang dilakukan penulis untuk menguji kemampuan AI dengan fungsi-fungsi *utility* yang didapatkan melalui GA adalah sebagai berikut.

#### 4.1 Pengujian Kesesuaian Sistem Permainan

Pada pengujian kesesuaian sistem permainan, hal yang diamati adalah apakah permainan telah bekerja sesuai dengan desain sistem yang diinginkan. Pengujian ini dilakukan dengan mencoba seluruh proses dalam permainan dan mencoba fitur-fitur yang ada, apakah telah berjalan dengan baik atau tidak. Hasil dari pengujian seluruh fitur berjalan sesuai seperti pada desain sistem. Hasil yang didapatkan dari pengujian kesesuaian sistem permainan ini terdapat pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1:** Hasil pengujian fitur

No.	Jenis Fitur	Fitur Dapat Berjalan
1	Tombol Pergerakan Horizontal	Ya

**Tabel 4.1:** Hasil pengujian fitur

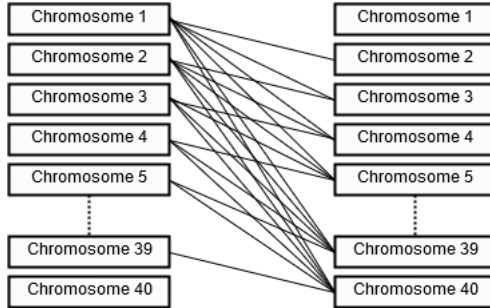
No.	Jenis Fitur	Fitur Dapat Berjalan
2	Tombol Melompat	Ya
3	Pewaktu	Ya
4	Tombol <i>Pause</i>	Ya
5	Kondisi Selesai	Ya
6	Aksi Merangkai Serangan Kuat	Ya
7	Aksi Merangkai Serangan Normal	Ya
8	Aksi Mengejar Musuh	Ya
9	Aksi Mengejar <i>Item</i> Penyembuhan	Ya
10	Aksi Menolak Serangan	Ya
11	Aksi Serangan Jurus	Ya

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa keseluruhan sistem permainan telah dapat berjalan dengan baik sehingga permainan dapat menjadi representasi dari permainan bergenre *fighting*. Dengan berjalannya semua aksi pada karakter NPC juga menandakan bahwa implementasi *utility-based AI* telah berjalan dengan baik.

## 4.2 Pengujian Sistem *Artificial Intelligence*

Pengujian sistem AI dilakukan untuk memberikan data apakah karakter NPC yang mengimplemetasikan *utility-based AI* dengan memanfaatkan GA telah memberikan bentuk-bentuk fungsi *utility* yang terbaik pada setiap aksinya untuk menghasilkan perilaku yang terbaik juga. Oleh karena itu pada pengujian sistem AI dilakukan pengujian kemampuan AI dengan membandingkan nilai *fitness* setiap kromosom terbaik pada setiap generasinya dengan kembali mengadakan turnamen *round robin* seperti pada Gambar 4.1. Kromosom terbaik pada suatu generasi adalah kromosom yang memiliki *ELO Ratings* tertinggi. Bentuk-bentuk kurva fungsi *utility* dari setiap kromosom terbaik pada setiap generasi ditampilkan pada bagian lampiran.

Turnamen *round robin* tersebut perlu dilakukan kembali karena nilai *ELO Ratings* yang digunakan sebagai *fitness* hanya ber-



**Gambar 4.1:** Turnamen *round robin* perwakilan kromosom-kromosom terkuat pada setiap generasi

laku untuk perbandingan kromosom pada satu generasi yang telah menjalani turnamen *round robin* pada generasi tersebut. Sehingga untuk membandingkan *fitness* (*ELO Ratings*) pada semua generasi, maka diperlukan representasi sampel kromosom terbaik pada setiap generasinya untuk kemudian diadakan turnamen *round robin* agar menghasilkan *ELO Ratings* pada setiap kromosom tersebut. Setelah turnamen *round robin* dilakukan, grafik *ELO Ratings* dari kromosom-kromosom representasi setiap generasinya ditampilkan seperti pada Gambar 4.2 berdasarkan data yang tercantum pada Tabel 4.2. Grafik persentase kemenangan juga ditampilkan pada Gambar 4.3 untuk menganalisis hubungan antara *ELO Ratings* dan persentase kemenangan dari suatu kromosom. Hasil yang diharapkan adalah semakin naiknya nilai *ELO Ratings* dari generasi pertama hingga generasi terakhir (generasi empat puluh) yang disebabkan oleh AI yang terus memperbaiki fungsi-fungsi *utility* pada setiap aksinya, di setiap iterasi generasinya.

**Tabel 4.2:** Hasil *ELO Ratings* dan persentase kemenangan setiap generasi melalui turnamen *round robin*

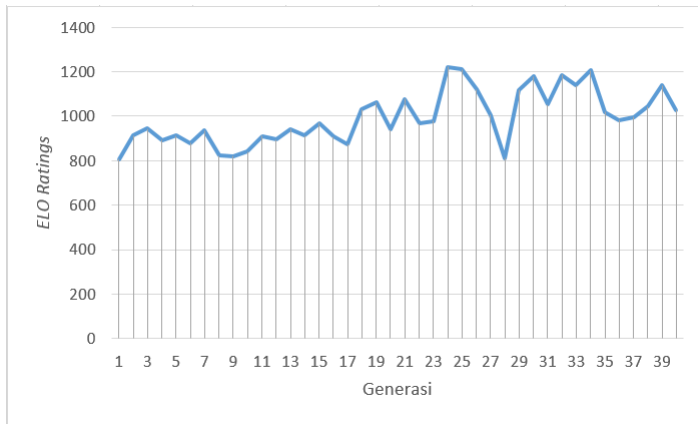
Generasi	<i>ELO Ratings</i>	Persentase Kemenangan Kromosom
1	807,842	23,077 %
2	913,542	41,026 %

**Tabel 4.2:** Hasil *ELO Ratings* dan persentase kemenangan setiap generasi melalui turnamen *round robin*

<b>Generasi</b>	<b><i>ELO Ratings</i></b>	<b>Persentase Kemenangan Kromosom</b>
3	944,442	48,718 %
4	893,536	43,590 %
5	912,060	38,462 %
6	879,707	38,462 %
7	934,667	48,718 %
8	822,793	30,769 %
9	821,599	30,769 %
10	841,782	33,333 %
11	911,057	43,590 %
12	894,735	33,333 %
13	941,914	46,154 %
14	913,814	43,590 %
15	968,849	38,462 %
16	908,872	33,333 %
17	873,991	38,462 %
18	1030,655	51,282 %
19	1062,786	53,846 %
20	939,222	41,026 %
21	1077,800	61,538 %
22	967,994	35,897 %
23	979,134	51,282 %
24	1221,293	74,359 %
25	1209,779	71,795 %
26	1120,278	58,974 %
27	1005,463	53,846 %
28	812,022	30,769 %
29	1117,670	69,231 %
30	1178,301	69,231 %
31	1051,855	64,103 %
32	1185,387	69,231 %
33	1138,419	61,538 %

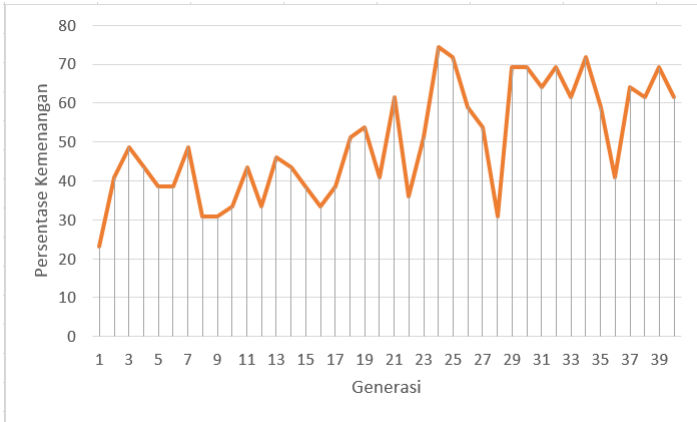
**Tabel 4.2:** Hasil *ELO Ratings* dan persentase kemenangan setiap generasi melalui turnamen *round robin*

Generasi	<i>ELO Ratings</i>	Persentase Kemenangan Kromosom
34	1206,778	71,795 %
35	1018,567	58,974 %
36	982,837	41,026 %
37	997,144	64,103 %
38	1043,464	61,538 %
39	1139,469	69,231 %
40	1028,482	61,538 %



**Gambar 4.2:** Grafik hasil *ELO Ratings* (*fitness*) melalui turnamen *round robin* dari setiap perwakilan kromosom terbaik pada setiap generasi

Pada Gambar 4.2, terlihat bahwa nilai *ELO Ratings* seiring bertambahnya generasi berkembang secara fluktuatif, namun menghasilkan titik puncak atau nilai maksimum yang baru pada titik-titik tertentu. Hal ini menunjukkan bahwa proses pelatihan menggunakan GA dapat menghasilkan kromosom-kromosom dengan kemampuan yang lebih kuat seiring bertambahnya generasi, walau-



**Gambar 4.3:** Grafik persentase kemenangan melalui turnamen *round robin* dari setiap perwakilan kromosom terbaik pada setiap generasi

pun beberapa generasi di antaranya justru mengalami penurunan kemampuan.

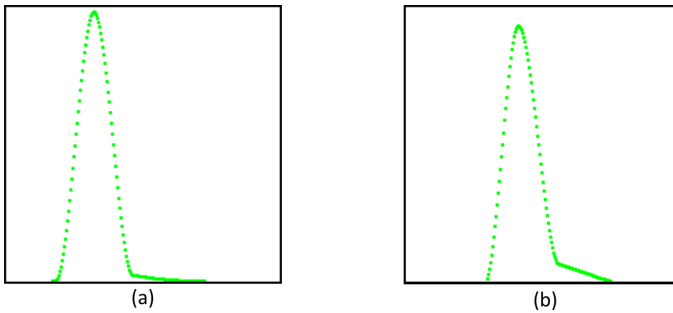
Grafik pada Gambar 4.3 juga memiliki pola yang mirip dengan grafik *ELO Ratings* pada Gambar 4.2 di mana persentase kemenangan pada setiap kromosom seiring bertambahnya generasi berkembang secara fluktuatif, namun menghasilkan titik puncak atau nilai maksimum baru pada titik-titik tertentu. Walaupun memiliki pola yang sama, dua grafik tersebut tidak selalu memiliki perilaku naik turun yang sama. Misal, peningkatan nilai antara generasi ke-4 menuju generasi ke-5 pada grafik *ELO Ratings* justru diikuti dengan turunnya nilai persentase kemenangan dari generasi ke-4 menuju generasi ke-5. Hal ini terjadi sesuai dengan prinsip *ELO Ratings* bahwa performa dari suatu pemain (dalam konteks ini adalah AI) merupakan variabel acak pada suatu distribusi normal, di mana selain mempertimbangkan hasil menang dan kalah, *rating* atau kemampuan secara keseluruhan dari pemain harus dipertimbangkan juga dengan kemampuan dari musuh. Maka dengan prinsip tersebut, AI terkuat tidak ditentukan dari tingginya persentase kemenangan, melainkan dari tingginya *ELO Ratings*.

### 4.2.1 Analisis Perbedaan Perilaku Kromosom Awal yang Dibuat Manual dengan Kromosom Terbaik pada Generasi Terakhir

Fungsi-fungsi *utility* dari setiap kromosom berubah-ubah seiring generasi. Untuk lebih mengetahui sejauh mana perilaku AI mengalami penyempurnaan, maka dilakukan analisis perbedaan perilaku kromosom awal yang dibuat manual (yang selanjutnya disebut dengan kromosom awal) dengan kromosom terbaik dengan *ELO Ratings* tertinggi pada generasi terakhir (yang selanjutnya disebut dengan kromosom terbaru).

1. Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh.

Pada Gambar 4.4, fungsi *utility* pada kromosom terbaru me-

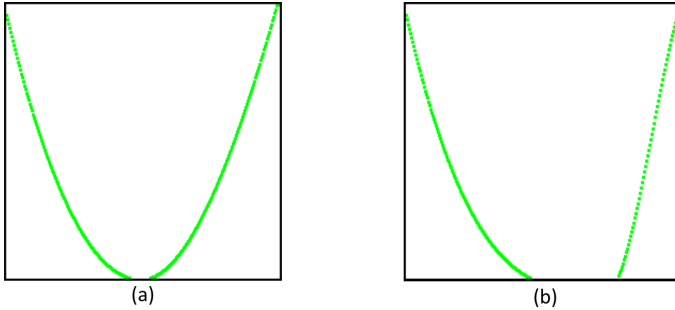


**Gambar 4.4:** Fungsi *utility* pada aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

miliki puncak nilai *utility* yang lebih rendah daripada kromosom awal, dan semakin bergeser ke kanan. Hal ini menandakan bahwa pada kromosom terbaru, AI lebih memilih untuk mengambil jarak lebih jauh dengan lawan untuk melakukan aksi merangkai serangan kuat.

2. Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh.

Pada Gambar 4.5, fungsi *utility* pada kromosom terbaru memiliki lebih banyak titik dengan nilai *utility* nol di tengah-tengah setelah kurva mengalami penurunan. Kurva baru mu-



**Gambar 4.5:** Fungsi *utility* pada aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

lai naik kembali ketika mendekati ujung saat selang waktu serangan musuh hampir mencapai akhir. Hal ini menandakan bahwa kromosom terbaru lebih memilih mengambil momen untuk melakukan aksi merangkai serangan kuat ketika lawan sudah benar-benar hampir selesai melancarkan serangan, namun serangan tersebut tidak mengenai dirinya. Momen itulah kesempatan AI tersebut untuk melakukan serangan balik ketika lawan sudah tidak dapat melakukan tindakan lain selain menunggu gerakan animasi serangannya selesai.

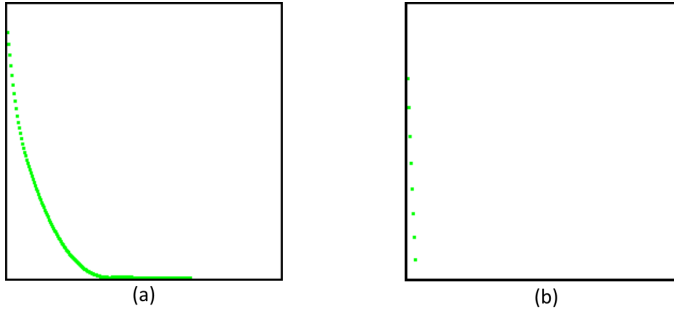
3. Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh.

Pada Gambar 4.6, perbedaan yang sangat terlihat dari bentuk fungsi *utility* pada kromosom awal dan kromosom terbaru adalah bahwa pada kromosom terbaru, nilai *utility* tertinggi untuk melakukan aksi merangkai serangan normal benar-benar dimampatkan ke kiri, yaitu ketika jarak musuh sudah benar-benar dekat dengannya.

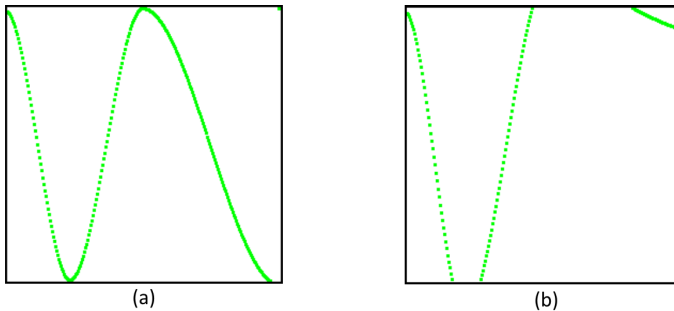
4. Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh.

Pada Gambar 4.7, perbedaan yang mencolok dari fungsi *utility* pada kromosom awal dengan kromosom terbaru adalah bahwa nilai *utility* pada kromosom awal ketika nilai parameter mencapai lebih dari setengah menurun sangat curam hingga





**Gambar 4.6:** Fungsi *utility* pada aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

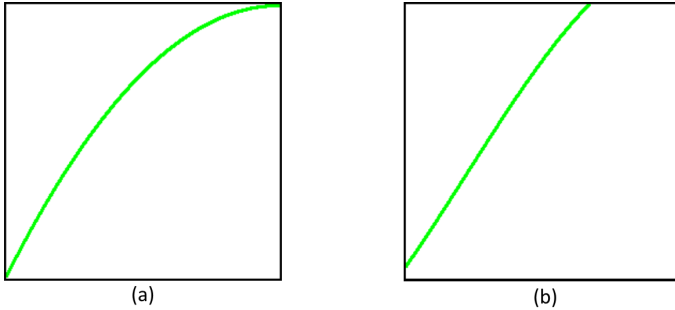


**Gambar 4.7:** Fungsi *utility* pada aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

mencapai nol pada saat parameter bernilai satu. Namun, pada kromosom terbaru, penurunan nilai *utility* ketika nilai parameter mencapai lebih dari setengah tidak menurun terlalu curam. Bahkan nilai *utility* untuk melakukan aksi merangkai serangan normal masih tinggi ketika nilai parameter mencapai maksimal. Hal ini menandakan bahwa selain mempertimbangkan untuk melakukan serangan kuat, AI juga mempertimbangkan untuk melakukan serangan normal ketika lawan hampir selesai

menjalankan gerakan animasi serangannya yang gagal mengenai dirinya.

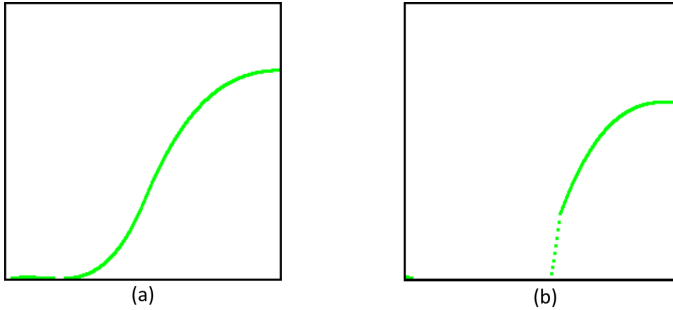
5. Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh.  
Pada Gambar 4.8, bentuk kurva fungsi *utility* pada kromo-



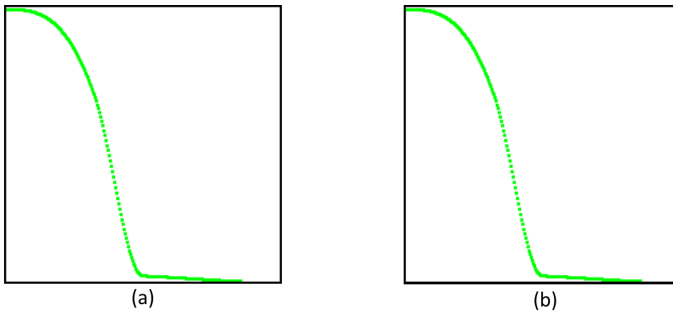
**Gambar 4.8:** Fungsi *utility* pada aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

som terbaru terdapat pergeseran nilai *utility* maksimal yang semakin ke kiri, dan terdapat kenaikan nilai *utility* minimal di ujung kiri (saat parameter bernilai nol). Hal ini menunjukkan sifat ofensif kromosom baru bahwa kromosom terbaru lebih meninggikan prioritas untuk mengejar lawan baik itu ketika posisi lawan sangat jauh maupun saat posisi lawan agak jauh.

6. Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa.  
Pada Gambar 4.9, terlihat bahwa fungsi *utility* pada kromosom awal masih mempertimbangkan aksi mengejar musuh walaupun nyawa AI tersebut mencapai kurang dari setengah. Namun pada kromosom terbaru, AI sama sekali tidak mempertimbangkan untuk mengejar musuh ketika nyawanya kurang dari setengah. Hal ini menunjukkan sifat defensif dari kromosom terbaru yang memilih aman untuk tidak mendekati musuh saat ia tidak memiliki cukup nyawa untuk melawan.
7. Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa.  
Pada Gambar 4.10, fungsi *utility* baik pada kromosom awal maupun kromosom terbaru tidak mengalami perubahan. Hal



**Gambar 4.9:** Fungsi *utility* pada aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

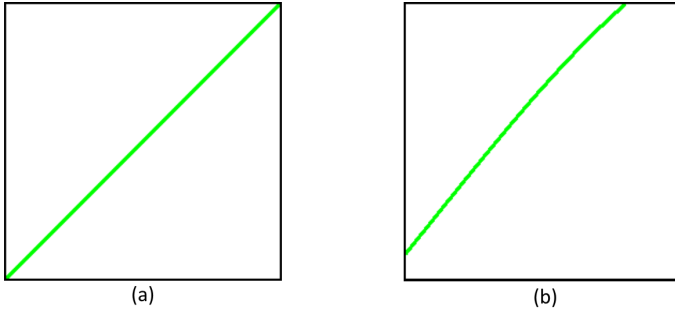


**Gambar 4.10:** Fungsi *utility* pada aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

ini menandakan bahwa strategi untuk mengejar *item* penyembuhan saat nyawa mencapai kurang dari setengah sudah merupakan pertimbangan yang tepat.

8. Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh.

Pada Gambar 4.11, fungsi *utility* pada kromosom awal berbentuk linier. Fungsi *utility* pada kromosom terbaru juga hampir berbentuk linier, namun ditambahkan dengan nilai konstanta tertentu sehingga nilai *utility* minimal dan nilai

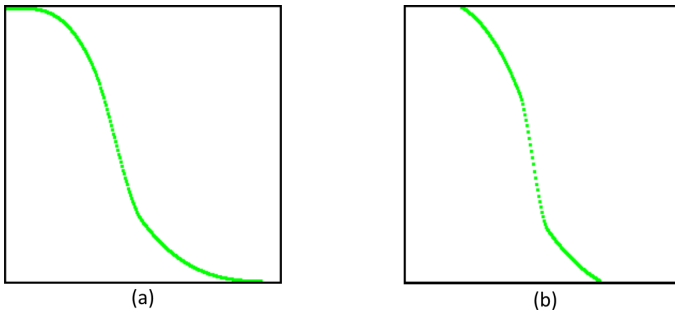


**Gambar 4.11:** Fungsi *utility* pada aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

*utility* maksimal menjadi lebih tinggi dibandingkan dengan kromosom awal. Hal ini menunjukkan sifat defensif dari kromosom terbaru yang lebih meninggikan prioritas untuk mengambil *item* penyembuhan, daripada *item* tersebut diambil oleh lawannya.

9. Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat.

Pada Gambar 4.12, perbedaan kedua fungsi tidak terlihat

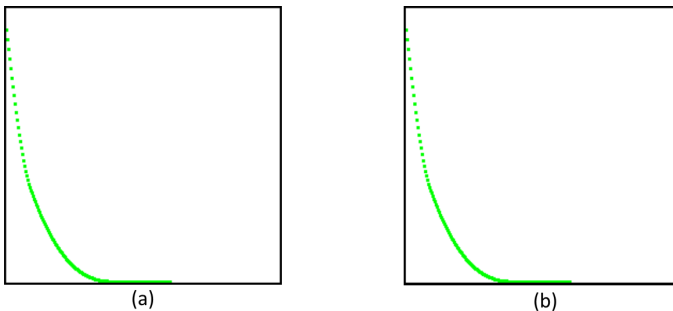


**Gambar 4.12:** Fungsi *utility* pada aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

secara signifikan. Perbedaannya yaitu bahwa pada kromosom

terbaru, posisi titik nilai *utility* maksimal lebih bergeser ke kanan, dan posisi titik nilai *utility* minimal lebih bergeser ke kiri. Hal ini menunjukkan sifat kromosom terbaru yang lebih bersifat terang-terangan, yaitu ia lebih memilih mengambil *item* penyembuhan walau jaraknya tidak terlalu dekat, dan sama sekali tidak mempertimbangkan untuk mengambil *item* penyembuhan ketika jaraknya jauh.

10. Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh.  
 Pada Gambar 4.13, fungsi *utility* baik pada kromosom awal

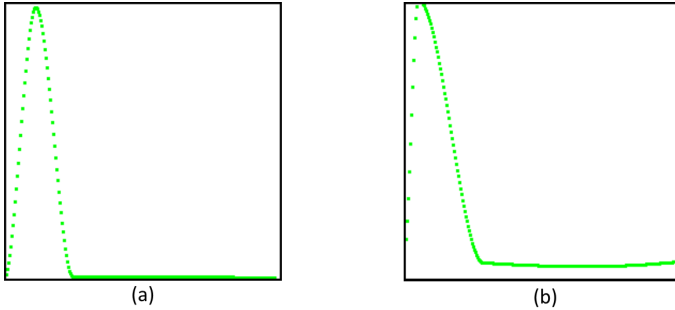


**Gambar 4.13:** Fungsi *utility* pada aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

maupun kromosom terbaru tidak mengalami perubahan. Hal ini berarti strategi bahwa aksi menolak serangan dilakukan ketika jarak musuh sudah dekat merupakan pertimbangan yang tepat.

11. Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh.

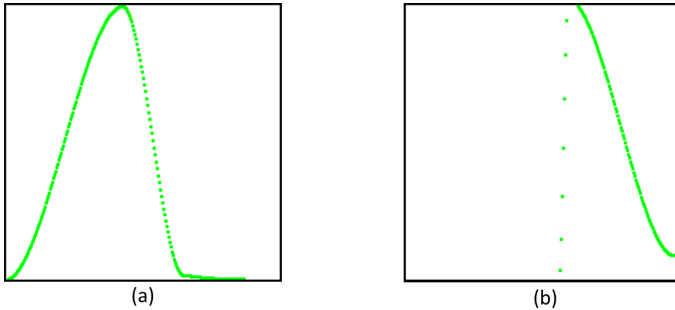
Pada Gambar 4.14, fungsi *utility* pada kromosom terbaru terlihat lebih bergeser ke kiri dan ke atas. Hal ini berarti kromosom terbaru mempertimbangkan untuk menolak serangan ketika lawan benar-benar dekat dengannya. Kromosom terbaru juga tetap mempertimbangkan untuk melakukan aksi menolak serangan walau jarak lawan jauh, yang dapat berguna untuk menolak serangan jurus dari lawan, karena serangan jurus memiliki luasan serangan yang lebih jauh.



**Gambar 4.14:** Fungsi *utility* pada aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

12. Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh.

Pada Gambar 4.9, terdapat perbedaan yang bertolak bel-



**Gambar 4.15:** Fungsi *utility* pada aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh. (a) Fungsi pada kromosom awal. (b) Fungsi pada kromosom terbaru.

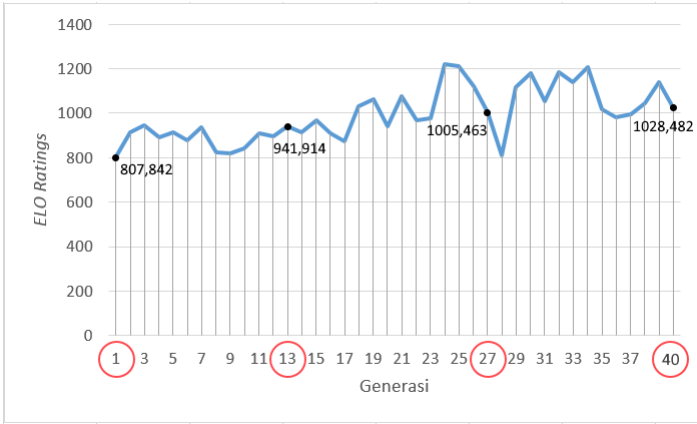
kang pada fungsi *utility* kromosom awal dan kromosom terbaru. Pada kromosom awal, AI lebih mempertimbangkan untuk melakukan serangan jurus ketika lawan sudah dekat. Sedangkan pada kromosom terbaru, AI lebih mempertimbangkan untuk melakukan serangan jurus justru ketika lawan berposisi agak jauh namun tidak terlalu jauh. Hal ini dikarenakan untuk mengeluarkan serangan jurus terdapat *delay* di awal (aba-aba

untuk mengeluarkan jurus) sehingga sangat beresiko untuk digagalkan ketika serangan jurus dilakukan dengan jarak yang terlalu dekat dengan lawan.

Secara keseluruhan, hasil penyempurnaan fungsi-fungsi *utility* oleh GA memperkuat sifat AI dari berbagai macam sisi, yaitu penguatan sifat ofensif, penguatan sifat defensif, dan penguatan sifat terang-terangan (*straightforward*) dalam mengambil keputusan.

### 4.3 Pengujian Sistem *Artificial Intelligence* terhadap Manusia

Setelah dihasilkan beberapa sampel kromosom setiap generasi (yaitu kromosom-kromosom yang terdapat pada Tabel 4.2), untuk mencari AI yang menantang ketika dilawankan oleh pemain manusia maka dilakukanlah pengujian terhadap manusia yang berjumlah dua puluh lima responden dengan rentang umur antara dua puluh hingga dua puluh enam tahun. Rentang umur tersebut dipilih karena tingkat kesulitan permainan ditujukan untuk manusia di atas tiga belas tahun, dan agar pemain dapat ikut menganalisis dan menilai perilaku AI yang diujikan. Dari empat puluh sampel kromosom setiap generasi diambil empat sampel yang mewakili kromosom dari generasi terdahulu hingga yang terbaru, yaitu pada kromosom-kromosom pada generasi ke-1, ke-13, ke-27, dan ke-40, seperti pada Gambar 4.16. Empat kromosom tersebut yang kemudian harus dilawan oleh setiap penguji (pemain manusia). Setiap alur pengujian dijelaskan secara langsung oleh peneliti. Penguji tidak mengetahui mana di antara empat kromosom tersebut yang generasinya lebih dahulu atau lebih baru untuk menjaga validitas penilaian. Setiap penguji tersebut kemudian diberikan kuesioner. Dalam kuesioner tersebut, untuk setiap kromosomnya, penguji harus mencatat status menang atau kalahnya, memberikan skor tingkat kesulitan (dalam skala lima), dan skor tingkat kepuasan (dalam skala lima). Detail demografi penguji serta pertanyaan-pertanyaan yang digunakan untuk mengukur tingkat kesulitan dan tingkat kepuasan ditampilkan pada bagian lampiran. Hasil rata-rata dari nilai status kemenangan, tingkat kesulitan, dan tingkat kepuasan dari data hasil kuesioner tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.



**Gambar 4.16:** Empat sampel kromosom yang dipilih untuk mewakili kromosom dari generasi terdahulu hingga terbaru ditandai dengan lingkaran merah

**Tabel 4.3:** Hasil rata-rata status kemenangan, tingkat kesulitan, dan tingkat kepuasan

-	Generasi 1	Generasi 13	Generasi 27	Generasi 40
<b>Status Kemenangan</b>	0,64	0,36	0,44	0,4
<b>Tingkat Kesulitan</b>	2,777	3,343	3,811	3,868
<b>Tingkat Kepuasan</b>	3,406	3,49	3,708	3,839

Berdasarkan data pada Tabel 4.3, kromosom dari generasi paling dahulu menuju generasi paling baru cenderung mengalami peningkatan nilai tingkat kesulitan. Hal ini sesuai dengan yang diharapkan bahwa pelatihan menggunakan GA mampu menghasilkan kromosom-kromosom yang memiliki kemampuan yang semakin kuat seiring bertambahnya generasi. Semakin naiknya nilai tingkat kesulitan juga diikuti oleh semakin turunnya status kemenangan pemain manusia, walaupun nilai status kemenangan dari generasi ke-13 menuju generasi ke-27 justru mengalami peningkatan, namun



pada nilai-nilai setelahnya terus mengalami penurunan. Sedangkan nilai tingkat kepuasan terus meningkat seiring bertambahnya generasi.

Agar korelasi antara variabel status kemenangan, tingkat kesulitan, dan tingkat kepuasan lebih dapat diukur, maka melalui data yang telah diambil kemudian dihitung koefisien korelasi antara status kemenangan dan tingkat kesulitan, status kemenangan dan tingkat kepuasan, serta tingkat kesulitan dan tingkat kepuasan. Berdasarkan perhitungan koefisien korelasi tersebut kemudian dianalisis untuk dapat menyimpulkan kriteria AI yang menantang untuk dimainkan oleh pemain manusia. Adapun rumus yang digunakan untuk menghitung koefisien korelasi adalah korelasi *Pearson* seperti yang dijelaskan pada bab dua.

Melalui perhitungan tersebut dihasilkan data korelasi antara status kemenangan, tingkat kesulitan, dan tingkat kesulitan yang terdapat pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4:** Korelasi antara status kemenangan, tingkat kesulitan, dan tingkat kepuasan

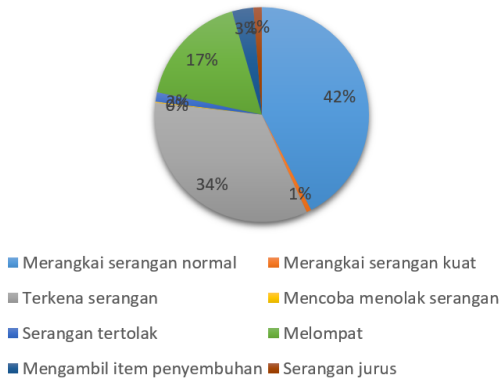
<b>Korelasi yang Diukur</b>	<b>Korelasi</b>
Status Kemenangan dan Tingkat Kesulitan	-0,504
Status Kemenangan dan Tingkat Kepuasan	-0,037
Tingkat Kesulitan dan Tingkat Kepuasan	0,426

Berdasarkan Tabel 4.4, status kemenangan dan tingkat kesulitan memiliki korelasi linier negatif yang kuat (-0,504), sehingga semakin sulit suatu AI, maka semakin rendah pula kemungkinan pemain manusia untuk memenangkan pertandingan. Status kemenangan dan tingkat kepuasan memiliki korelasi linier negatif yang sangat lemah (-0,037). Hampir tidak adanya korelasi tersebut menandakan bahwa status kemenangan hampir tidak memiliki pengaruh terhadap tingkat kepuasan, karena terdapat sebagian penguji yang merasa puas ketika menang, sedangkan sebagian yang lain justru tidak merasa puas ketika menang. Sedangkan tingkat kesulitan dan tingkat kepuasan memiliki korelasi linier positif yang sedang

(0,455), yang berarti pengujian lebih merasa puas ketika berhadapan dengan lawan yang lebih sulit.

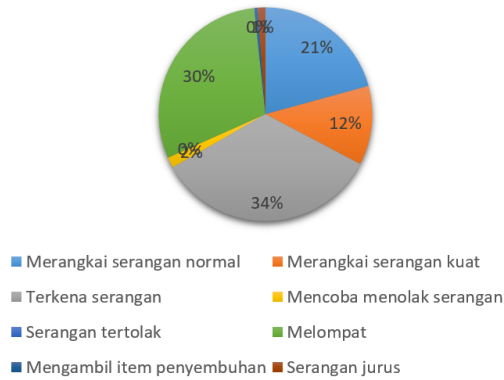
### 4.3.1 Analisis Gerakan Pemain dan Lawan Berdasarkan Status Kemenangan Pemain

Berdasarkan data historis pergerakan semua pemain dan lawan ketika permainan berlangsung, didapatkan persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain mengalami kemenangan yang ditampilkan pada Gambar 4.17. Aksi merangkai serangan normal



**Gambar 4.17:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memenangkan permainan

dengan persentase sebesar 42,4% muncul paling sering, yang menandakan keagresifan pemain. Hal ini juga didukung dengan munculnya aksi-aksi serangan lain seperti serangan jurus sebesar 1,25%, dan aksi merangkai serangan kuat sebesar 0,72%. Selain menyerang, pemain juga seringkali terkena serangan dengan persentase kemunculan sebesar 33,63%. Kemudian aksi melompat sebesar 17,17% menandakan bahwa pemain tidak hanya terfokus pada penyerangan, namun juga memanfaatkan lingkungan atau *stage* yang ada. Tidak hanya bermain secara agresif, pemain juga mengambil tindakan defensif yang dibuktikan dengan munculnya aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 3,22% dan munculnya aksi mencoba menolak

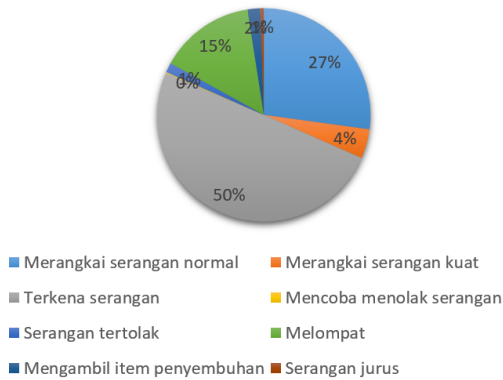


**Gambar 4.18:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memenangkan permainan

serangan sebesar 0,18%. Namun demikian, pemain juga mengalami penolakan serangan dengan persentase kemunculan sebesar 1,43%.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain mengalami kemenangan ditampilkan pada Gambar 4.18. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan sebesar 34,02%, diikuti aksi melompat sebesar 29,97%. Setelah itu baru diikuti dengan tindakan ofensif dengan aksi merangkai serangan normal sebesar 20,73%, merangkai serangan kuat sebesar 11,97%, dan serangan jurus sebesar 1,13%. Serangan-serangan tersebut tidak pernah tertolak, terbukti dengan persentase kemunculan aksi serangan tertolak sebesar 0%. Selain itu, lawan juga melakukan tindakan defensif dengan cara melakukan aksi mencoba menolak serangan dengan persentase sebesar 1,6%, dan aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 0,56%.

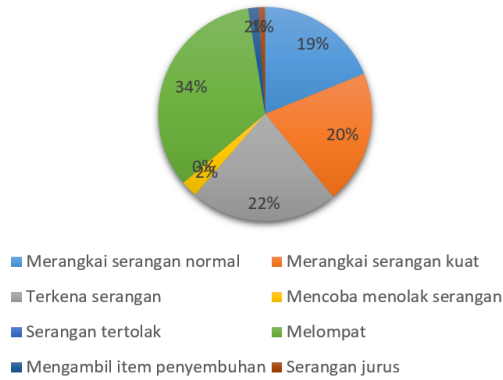
Persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain mengalami kekalahan ditampilkan pada Gambar 4.19. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan sebesar 49,81% yang tentu merupakan penyebab utama kekalahan pemain. Aksi-aksi penyerangan yang dilakukan pemain antara lain merangkai serangan normal sebesar 27,17%, merangkai serangan kuat sebesar 4,45%, dan serangan jurus sebesar 0,54%. Namun, pemain juga mengala-



**Gambar 4.19:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain mengalami kekalahan dalam permainan

mi aksi penolakan serangan sebesar 1,46%. Persentase munculnya aksi melompat pada pemain sebesar 14,5%. Pemain juga melakukan tindakan defensif dengan melakukan aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 1,92%, dan mencoba menolak serangan sebesar 0,15%.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain mengalami kekalahan ditampilkan pada Gambar 4.20. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi melompat dengan persentase sebesar 33,52%, yang berarti lawan sangat memanfaatkan lingkungan dengan melompati berbagai *platform* yang ada di dalam *stage*. Aksi yang paling muncul selanjutnya adalah aksi terkena serangan sebesar 22,34%. Jenis gerakan kombo yang dilakukan lawan cukup seimbang, yaitu dengan persentase kemunculan aksi merangkai serangan kuat sebesar 20,2%, dan aksi merangkai normal sebesar 18,85%. Selain dengan gerakan kombo, lawan juga menyerang menggunakan serangan jurus dengan persentase kemunculan sebesar 0,98%. Lawan tidak mengalami penolakan serangan yang dibuktikan dengan persentase aksi serangan tertolak sebesar 0%. Lawan juga melakukan tindakan defensif dengan aksi mencoba menolak serangan dengan persentase sebesar 2,52% dan mengambil *item* penyembuhan sebesar 1,6%.

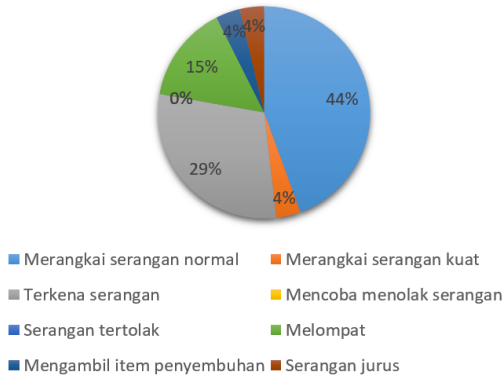


**Gambar 4.20:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain mengalami kekalahan dalam permainan

Ditinjau dari data-data yang telah disajikan mengenai gerakan pemain dan lawan berdasarkan status kemenangan pemain, pemain yang kalah memiliki persentase aksi terkena serangan lebih banyak. Selain itu, pemain yang menang melakukan jenis gerakan kombo yang lebih tidak variatif (hampir selalu menggunakan aksi merangkai serangan normal). Hal ini bisa disebabkan oleh sulitnya pemain dalam berkonsentrasi untuk mencoba gerakan kombo yang berbeda-beda. Sedangkan pada gerakan lawan, lawan yang dapat dikalahkan pemain memiliki persentase aksi mengambil *item* penyembuhan yang lebih kecil.

### 4.3.2 Analisis Gerakan Pemain dan Lawan Berdasarkan Tingkat Kesulitan

Berdasarkan data histori pergerakan semua pemain dan lawan ketika permainan berlangsung, didapatkan persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai satu pada tingkat kesulitan lawan yang ditampilkan pada Gambar 4.21. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi merangkai serangan normal dengan persentase sebesar 44,44%. Aksi-aksi serangan lain di antaranya adalah aksi merangkai serangan kuat dengan persentase sebesar 3,7%, dan serangan jurus juga sebesar 3,7%, tanpa ada serangan yang tertol-

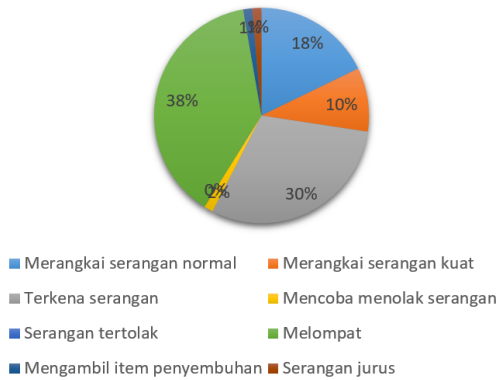


**Gambar 4.21:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai satu pada tingkat kesulitan lawan

lak. Namun pemain juga mengalami aksi terkena serangan sebesar 29,63%. Kemudian aksi melompat muncul dengan persentase sebesar 14,81%. Tindakan defensif yang dilakukan pemain adalah aksi mengambil *item* penyembuhan dengan persentase kemunculan sebesar 3,7%, namun sama sekali tidak melakukan aksi mencoba menolak serangan.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai satu pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.22. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi melompat dengan persentase sebesar 38,36%. Diikuti dengan persentase kemunculan aksi terkena serangan sebesar 30,14%. Namun terkenanya serangan tersebut tidak diimbangi dengan tindakan agresif yang dibuktikan dengan persentase munculnya aksi merangkai serangan normal sebesar 17,8%, merangkai serangan kuat sebesar 9,59%, dan serangan jurus sebesar 1,37% tanpa ada serangan yang tertolak. Tindakan defensifnya antara lain aksi mencoba menolak serangan sebesar 1,37% dan mengambil *item* penyembuhan 1,37%.

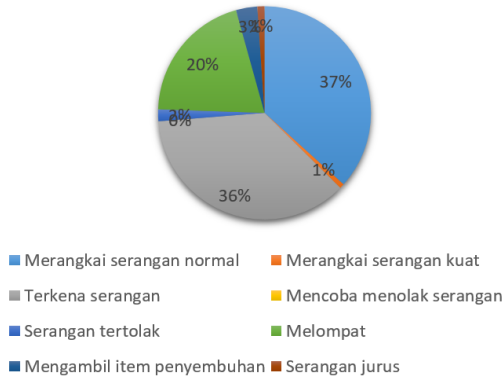
Persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.23. Aksi serangan yang paling sering muncul adalah aksi merangkai serangan normal 36,69%, sedangkan aksi merangkai se-



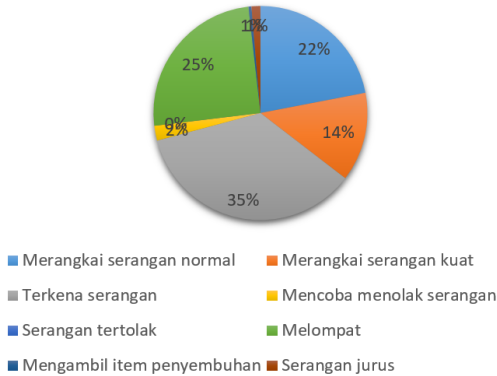
**Gambar 4.22:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai satu pada tingkat kesulitan lawan

rangan kuat lebih jarang digunakan, yaitu dengan persentase sebesar 0,72%. Aksi serangan lain yang dilakukan adalah aksi serangan jurus dengan persentase sebesar 1,08%. Namun, pemain juga mengalami penolakan serangan dengan persentase sebesar 1,8%. Pemain juga mengalami aksi terkena serangan dengan persentase sebesar 36,33%. Aksi melompat muncul dengan persentase sebesar 20,14%. Pemain juga melakukan tindakan defensif dengan cara melakukan aksi mengambil *item* penyembuhan 3,24%, namun sama sekali tidak melakukan aksi mencoba menolak serangan.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.24. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan dengan persentase sebesar 35,43%, diikuti dengan aksi melompat sebesar 25,11%. Kemudian diikuti dengan tindakan ofensif berupa aksi-aksi gerakan kombo, yaitu merangkai serangan normal sebesar 21,97% dan merangkai serangan kuat sebesar 13,45%. Tindakan ofensif lainnya yaitu aksi serangan jurus sebesar 1,35%. Aksi-aksi serangan tersebut tidak pernah mengalami penolakan, yang dibuktikan dengan persentase munculnya aksi serangan tertolak sebesar 0%. Lawan juga melakukan tindakan defensif



**Gambar 4.23:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kesulitan lawan

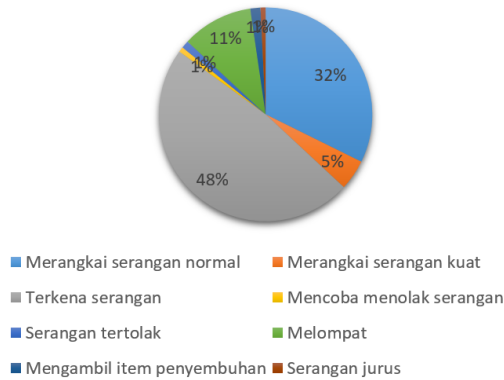


**Gambar 4.24:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kesulitan lawan

berupa aksi mencoba menolak serangan dengan persentase sebesar 2,24%, dan aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 0,45%.

Persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.25. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena se-

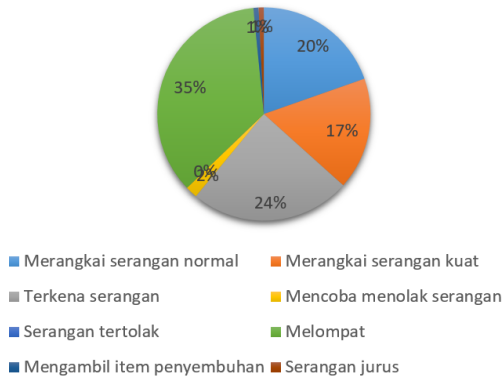




**Gambar 4.25:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kesulitan lawan

rangan dengan persentase sebesar 48,08%. Tindakan ofensif yang dilakukan berupa aksi merangkai serangan normal dengan persentase sebesar 32,3%, merangkai serangan kuat sebesar 4,62%, dan serangan jurus sebesar 0,77%. Namun, pemain juga mengalami aksi serangan tertolak 1,15%. Pemain memanfaatkan lingkungan dengan cara melakukan aksi melompat dengan persentase sebesar 10,77%. Pemain juga melakukan tindakan defensif dengan cara melakukan aksi mengambil *item* penyembuhan dengan persentase sebesar 1,54%, dan aksi mencoba menolak serangan sebesar 0,77%.

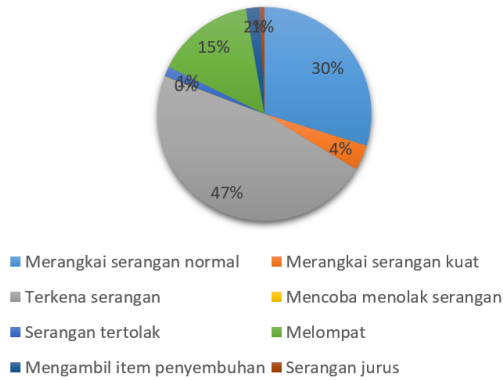
Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.26. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi melompat dengan persentase sebesar 35,6%. Kemudian diikuti dengan aksi terkena serangan sebesar 24,35%. Tindakan ofensif yang dilakukan lawan adalah aksi merangkai serangan normal sebesar 19,63%, aksi merangkai serangan kuat sebesar 17,02%, dan serangan jurus sebesar 0,79%, tanpa mengalami penolakan serangan. Lawan juga melakukan tindakan defensif berupa aksi mencoba menolak serangan dengan persentase sebesar 1,83 dan aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 0,79%.



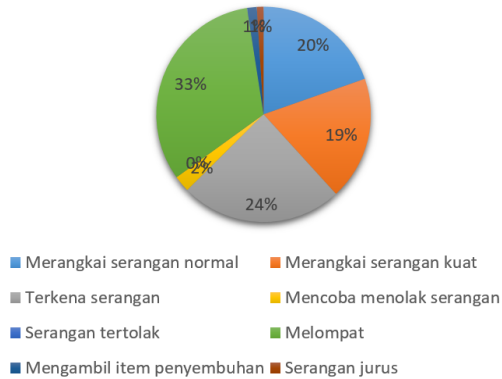
**Gambar 4.26:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kesulitan lawan

Persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.27. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan dengan persentase sebesar 46,16%. Pemain juga melakukan aksi melompat dengan persentase sebesar 19,03%. Tindakan ofensif yang dilakukan pemain adalah dengan melakukan aksi merangkai serangan normal dengan persentase sebesar 26,05%, merangkai serangan kuat sebesar 4%, dan serangan jurus sebesar 0,76%. Pemain juga mengalami aksi serangan tertolak dengan persentase sebesar 1,3%. Tindakan defensif yang dilakukan pemain adalah dengan aksi mengambil *item* penyembuhan dengan persentase sebesar 2,49% dan aksi mencoba menolak serangan sebesar 0,22%.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.28. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi melompat dengan persentase sebesar 32,47%. Diikuti dengan aksi terkena serangan sebesar 24,38%. Tindakan ofensif yang dilakukan adalah aksi merangkai serangan normal sebesar 19,65%, merangkai serangan kuat sebesar 18,57%, dan serangan jurus sebesar 1,01%, tanpa mengalami penolakan serangan. Tindakan defensif yang di-



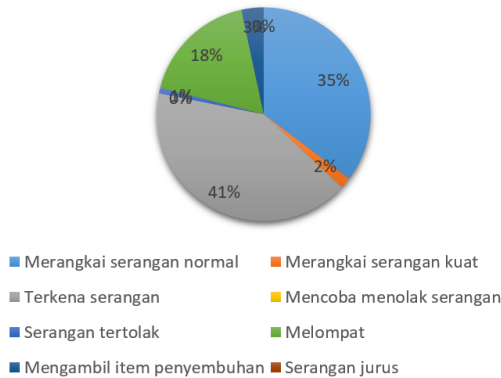
**Gambar 4.27:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kesulitan lawan



**Gambar 4.28:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kesulitan lawan

lakukan berupa aksi mencoba menolak serangan dengan persentase sebesar 2,46%, dan aksi mengambil *item* penyembuhan 1,45%.

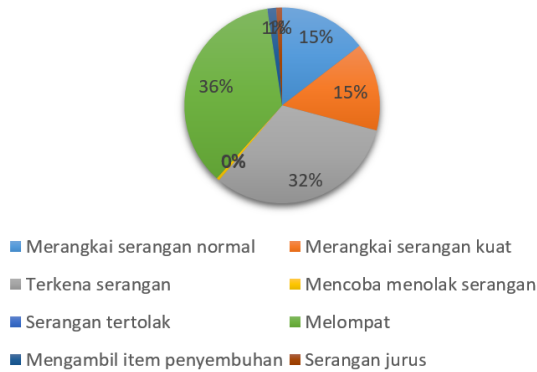
Persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.29. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena se-



**Gambar 4.29:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kesulitan lawan

rangan dengan persentase sebesar 41,18%. Pemain juga melakukan aksi melompat dengan persentase sebesar 17,65%. Tindakan ofensif yang dilakukan berupa aksi merangkai serangan normal dengan persentase sebesar 35,29%, merangkai serangan kuat sebesar 1,68%, tanpa pernah mengeluarkan serangan jurus sama sekali. Pemain juga mengalami aksi serangan tertolak dengan persentase sebesar 0,84%. Tindakan defensif yang dilakukan pemain adalah aksi mengambil *item* penyembuhan dengan persentase sebesar 3,36%, tanpa melakukan aksi mencoba menolak serangan.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kesulitan lawan ditampilkan pada Gambar 4.30. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi melompat sebesar 35,92%, diikuti dengan aksi terkena serangan sebesar 32,04%. Tindakan ofensif yang dilakukan lawan berupa aksi merangkai serangan normal dengan persentase kemunculan sebesar 14,56%, aksi merangkai serangan kuat sebesar 14,56%, dan aksi serangan jurus sebesar 0,97%, tanpa mengalami penolakan serangan. Tindakan defensif yang dilakukan lawan berupa aksi mengambil *item* penyembuhan dengan persentase kemunculan sebesar 1,46%, dan aksi mencoba menolak serangan sebesar 0,49%.

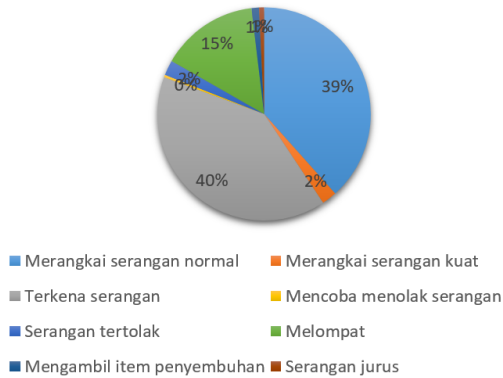


**Gambar 4.30:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kesulitan lawan

Ditinjau dari data-data yang telah disajikan mengenai gerakan pemain dan lawan berdasarkan tingkat kesulitan, persentase munculnya aksi terkena serangan dari lawan dengan tingkat kesulitan terendah hingga yang tertinggi cenderung menurun, dan variasi serangan dari lawan dengan tingkat kesulitan terendah hingga yang tertinggi cenderung lebih variatif dan berimbang, yang ditandai dengan semakin berimbangnya persentase aksi merangkai serangan normal dan aksi merangkai serangan kuat. Gerakan pemain pada lawan dengan tingkat kesulitan satu menunjukkan bahwa serangan pemain tidak pernah ditolak oleh lawan, yang menyebabkan lawan lebih mudah untuk diserang. Gerakan pemain pada lawan dengan tingkat kesulitan lima menunjukkan bahwa pemain sama sekali tidak memiliki kesempatan untuk mengeluarkan serangan jurus.

### 4.3.3 Analisis Gerakan Pemain dan Lawan Berdasarkan Tingkat Kepuasan

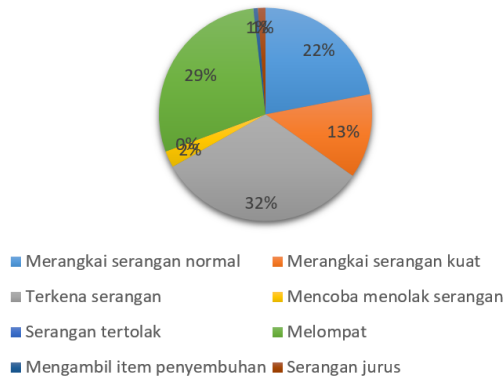
Berdasarkan data histori pergerakan semua pemain dan lawan ketika permainan berlangsung, didapatkan persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kepuasan lawan yang ditampilkan pada Gambar 4.31. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan dengan persentase kemunculan sebesar 39,92%. Aksi melompat muncul dengan persen-



**Gambar 4.31:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kepuasan lawan

tase sebesar 14,83%. Tindakan ofensif yang dilakukan pemain yaitu aksi merangkai serangan normal dengan persentase kemunculan sebesar 38,4%, merangkai serangan kuat sebesar 2,28%, dan serangan jurus sebesar 0,76%. Namun pemain juga mengalami aksi serangan tertolak dengan persentase sebesar 2,28%. Tindakan defensif yang dilakukan pemain adalah aksi mengambil *item* penyembuhan dengan persentase kemunculan sebesar 1,14%, dan aksi mencoba menolak serangan sebesar 0,38%.

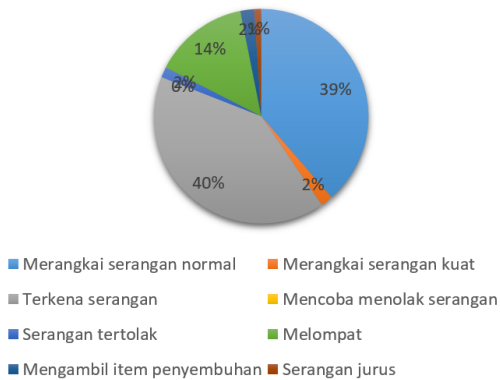
Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kepuasan lawan ditampilkan pada Gambar 4.32. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan dengan persentase kemunculan sebesar 32,04%, diikuti dengan aksi melompat dengan persentase kemunculan sebesar 28,83%. Tindakan ofensif yang dilakukan lawan adalah dengan melakukan aksi merangkai serangan normal dengan persentase kemunculan sebesar 21,97%, aksi merangkai serangan kuat sebesar 12,81%, dan serangan jurus sebesar 1,14%, tanpa mengalami penolakan serangan. Adapun tindakan defensif yang dilakukan lawan yaitu aksi mencoba menolak serangan dengan persentase kemunculan sebesar 2,52% dan aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 0,69%.



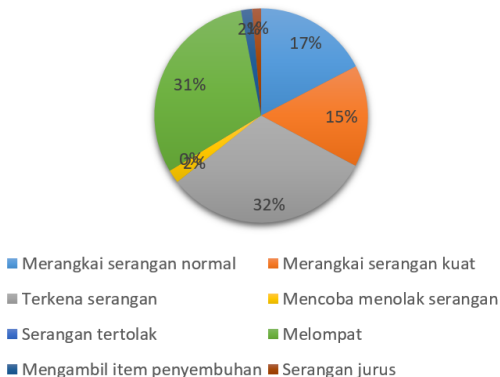
**Gambar 4.32:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai dua pada tingkat kepuasan lawan

Persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kepuasan lawan ditampilkan pada Gambar 4.33. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan dengan persentase kemunculan sebesar 40,47%. Tindakan ofensif yang dilakukan pemain adalah dengan melakukan aksi merangkai serangan normal sebesar 38,64%, merangkai serangan kuat sebesar 1,83%, dan serangan jurus sebesar 1,04%. Namun pemain juga mengalami aksi serangan tertolak dengan persentase kemunculan sebesar 1,57%. Pemain juga melakukan aksi melompat dengan persentase kemunculan sebesar 14,36%. Tindakan defensif yang dilakukan oleh pemain adalah dengan melakukan aksi mengambil *item* penyembuhan dengan persentase sebesar 2,09%, tanpa melakukan aksi mencoba menolak serangan.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kepuasan lawan ditampilkan pada Gambar 4.34. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan dengan persentase kemunculan sebesar 31,59%, diikuti dengan aksi melompat dengan persentase sebesar 30,57%. Tindakan ofensif yang dilakukan lawan adalah dengan aksi merangkai serangan normal sebesar 17,4%, aksi merangkai serangan kuat sebesar 15,37%, dan aksi serangan jurus sebesar 1,35%, tanpa



**Gambar 4.33:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kepuasan lawan



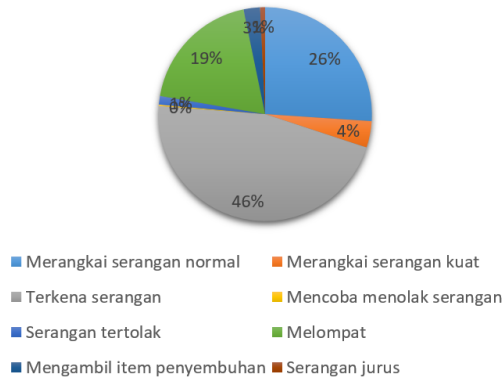
**Gambar 4.34:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai tiga pada tingkat kepuasan lawan

pernah mengalami penolakan serangan. Adapun tindakan defensif yang dilakukan lawan adalah aksi mencoba menolak serangan sebesar 2,03%, dan aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 1,69%.

Persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kepuasan lawan ditampilkan pada



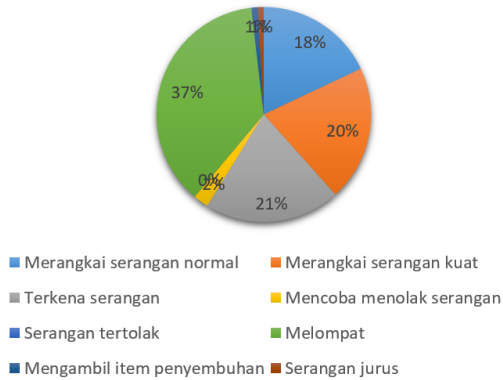
Gambar 4.35. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena



**Gambar 4.35:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kepuasan lawan

serangan dengan persentase sebesar 46,16%. Tindakan ofensif yang dilakukan pemain adalah dengan melakukan aksi serangan normal dengan persentase kemunculan sebesar 26,05%, merangkai serangan kuat sebesar 4%, dan serangan jurus sebesar 0,76%. Namun, pemain juga mengalami penolakan serangan dengan persentase kemunculan sebesar 2,49%. Pemain juga mengandalkan kelincahannya dalam memanfaatkan lingkungan dengan cara melakukan aksi melompat dengan persentase kemunculan sebesar 19,03%. Tindakan defensif yang dilakukan pemain berupa melakukan aksi mengambil *item* penyembuhan dengan persentase kemunculan sebesar 2,49%, dan aksi mencoba menolak serangan sebesar 0,22%.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kepuasan lawan ditampilkan pada Gambar 4.36. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi melompat dengan persentase kemunculan sebesar 37,02%, diikuti dengan aksi terkena serangan dengan persentase sebesar 20,46%. Tindakan ofensif yang dilakukan lawan adalah dengan melakukan aksi merangkai serangan kuat dengan persentase kemunculan sebesar 20,37%, aksi merangkai serangan normal sebesar 18%, dan aksi serangan jurus sebesar 0,85%, tanpa ada serangan yang tertolak.

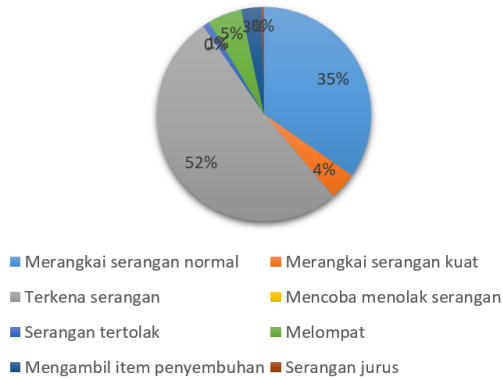


**Gambar 4.36:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai empat pada tingkat kepuasan lawan

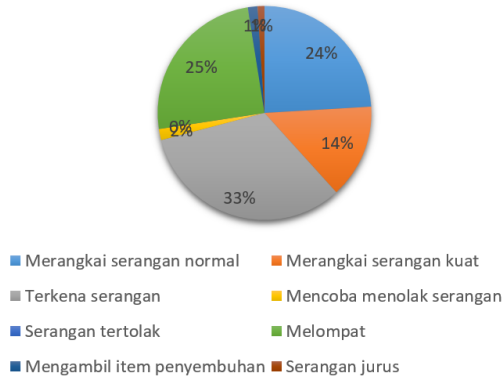
Tindakan defensif yang dilakukan lawan antara lain aksi mencoba menolak serangan dengan persentase kemunculan sebesar 2,28%, dan aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 1,01%.

Persentase kemunculan aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kepuasan lawan ditampilkan pada Gambar 4.37. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan dengan persentase kemunculan sebesar 51,55%. Tindakan ofensif yang dilakukan pemain yaitu aksi merangkai serangan normal dengan persentase kemunculan sebesar 34,71%, aks merangkai serangan kuat sebesar 4,12%, dan aksi serangan jurus sebesar 0,34%, namun mengalami penolakan serangan dengan persentase kemunculan sebesar 1,03%. Pemain juga melakukan aksi melompat dengan persentase sebesar 5,15%. Adapun tindakan defensif yang dilakukan pemain yaitu dengan melakukan aksi mengmabil *item* penyembuhan dengan persentase kemunculan sebesar 3,09%, tanpa pernah melakukan aksi mencoba menolak serangan.

Sedangkan persentase kemunculan aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kepuasan lawan ditampilkan pada Gambar 4.38. Aksi yang paling sering muncul adalah aksi terkena serangan dengan persentase kemunculan sebesar 32,64%. Lawan juga mengandalkan kelincihan dengan melakukan aksi melom-



**Gambar 4.37:** Persentase munculnya aksi-aksi pemain ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kepuasan lawan



**Gambar 4.38:** Persentase munculnya aksi-aksi lawan ketika pemain memberi nilai lima pada tingkat kepuasan lawan

pat dengan persentase kemunculan sebesar 24,9%. Tindakan ofensif yang dilakukan oleh lawan yaitu dengan melakukan aksi merangkai serangan normal dengan persentase kemunculan sebesar 24,06%, aksi merangkai serangan kuat sebesar 14,23%, dan aksi serangan jurus sebesar 1,05%, tanpa pernah mengalami penolakan serangan. Tin-

dakan defensif yang dilakukan oleh lawan yaitu dengan melakukan aksi mencoba menolak serangan dengan persentase kemunculan sebesar 1,67%, dan aksi mengambil *item* penyembuhan sebesar 1,46%.

Ditinjau dari data-data yang telah disajikan mengenai gerakan pemain dan lawan berdasarkan tingkat kepuasan, persentase kemunculan aksi terkena serangan dari lawan dengan tingkat kesulitan terendah hingga tertinggi cenderung meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa pemain lebih merasa puas apabila melawan AI yang lebih menantang. Selain itu persentase kemunculan aksi mengambil *item* penyembuhan pada pemain juga cenderung meningkat, yang menandakan bahwa pemain lebih banyak mengeluarkan usahanya untuk meningkatkan nyawanya kembali walau seringkali terkena serangan oleh lawan. Sedangkan aksi melompat pada gerakan lawan dari tingkat kepuasan terendah hingga tertinggi cenderung meningkat, walaupun dari tingkat kepuasan empat menuju tingkat kepuasan lima justru menurun. Hal ini menandakan bahwa pemain juga merasa puas ketika bermain dengan lawan yang tidak hanya bersifat ofensif, namun juga mengandalkan kelincahan dan lebih banyak memanfaatkan lingkungan.

# BAB 5

## PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil implementasi dan pengujian yang sudah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian kesesuaian sistem permainan menunjukkan bahwa pengimplementasian desain AI menggunakan *utility-based AI* yang fungsi-fungsinya dibuat secara manual sudah dapat menjalankan perilaku NPC sesuai skenario yang diinginkan, sehingga *genetic algorithm* hanya berperan sebagai proses penyempurnaan AI (mencari fungsi-fungsi *utility* terbaik).
2. Hasil pengujian sistem AI menunjukkan bahwa proses pelatihan menggunakan GA sebanyak empat puluh generasi, dengan NPC sebagai model kromosom dan fungsi-fungsi *utility* dari setiap aksi-aksinya dimodelkan sebagai gen-gennya, dan perhitungan *ELO Ratings* sebagai *fitness function* dapat menghasilkan kromosom-kromosom AI dengan kemampuan yang lebih kuat seiring iterasi generasi. Walaupun beberapa generasi di antaranya justru mengalami penurunan kemampuan berdasarkan *ELO Ratings*, tetapi seiring iterasi generasi menghasilkan nilai *ELO Ratings* tertinggi yang baru pada generasi-generasi tertentu.
3. Hasil pengujian sistem AI terhadap manusia yang berjumlah dua puluh lima responden menunjukkan bahwa status kemenangan dan tingkat kesulitan memiliki korelasi linier negatif yang kuat, status kemenangan dan tingkat kepuasan memiliki korelasi linier negatif yang sangat lemah atau hampir tidak berkorelasi, sedangkan tingkat kesulitan dan tingkat kepuasan memiliki korelasi linier positif yang sedang. Semakin tinggi generasi dari suatu AI, maka tingkat kesulitannya cenderung semakin meningkat yang diikuti dengan status kemenangan pemain yang cenderung semakin menurun, dan diikuti dengan meningkatnya tingkat kepuasan dari pemain.

## 5.2 Penelitian Selanjutnya

Penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan beberapa langkah lanjutan sebagai berikut:

1. Pembuatan *utility-based AI* dengan aksi-aksi yang lebih detail dan parameter-parameter pertimbangan yang lebih banyak, agar keputusan yang dipilih lebih presisi.
2. Memperbanyak jenis karakter dengan kemampuan yang seimbang, karena banyaknya macam pilihan karakter merupakan fitur penting dalam *fighting game*.

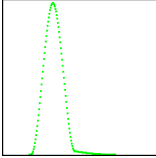
## DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Rasmussen, “Are behavior trees a thing of the past?.” [https://www.gamasutra.com/blogs/JakobRasmussen/20160427/271188/Are\\_Behavior\\_Trees\\_a\\_Thing\\_of\\_the\\_Past.php](https://www.gamasutra.com/blogs/JakobRasmussen/20160427/271188/Are_Behavior_Trees_a_Thing_of_the_Past.php). Accessed: 2017-11-16. (Dikutip pada halaman 1).
- [2] J. Norstad, “An Introduction to Utility Theory,” pp. 1–26, 1999. (Dikutip pada halaman 1, 7).
- [3] M. Bowe, “Hear ryan hemsworth, knwledge and more remix the street fighter ii soundtrack.” <http://www.factmag.com/>. Accessed: 2018-6-5. (Dikutip pada halaman xi, 5).
- [4] E. Adams, Fundamentals of Game Design 2nd Edition. (Dikutip pada halaman 6).
- [5] I. Millington and J. D. Funge, Artificial intelligence for games. 2009. (Dikutip pada halaman 6).
- [6] K. Dill and L. Martin, “A Game AI Approach to Autonomous Control of Virtual Characters,” (Dikutip pada halaman 6).
- [7] K. Dill, E. R. Pursel, P. Garrity, and G. Fragomeni, “Design Patterns for the Configuration of Utility-Based AI,” Itsec, no. 12146, pp. 1–12, 2012. (Dikutip pada halaman 8).
- [8] S. N. Sivanandam and S. N. Deepa, Introduction to Genetic Algorithms. 2008. (Dikutip pada halaman 10).
- [9] G. Martinez-Arellano, R. Cant, and D. Woods, “Creating AI Characters for Fighting Games Using Genetic Programming,” IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games, vol. 9, no. 4, pp. 423–434, 2017. (Dikutip pada halaman 11).
- [10] K. Yeager, “Spss tutorials.” <https://libguides.library.kent.edu/SPSS>. Accessed: 2018-6-5. (Dikutip pada halaman 11).

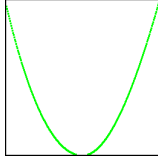
- [11] L. T. Wilson, “Statistical correlation.” <https://explorable.com/statistical-correlation>. Accessed: 2018-6-5. (Dikutip pada halaman 11).
- [12] C. Zaiontz, “Basic concepts of correlation.” <http://www.real-statistics.com/correlation/basic-concepts-correlation/>. Accessed: 2018-6-5. (Dikutip pada halaman 12).



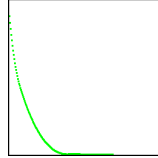
# LAMPIRAN



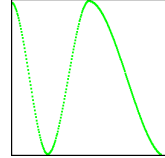
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



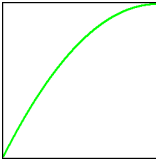
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



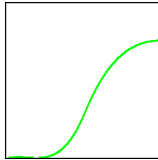
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



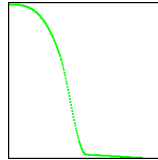
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



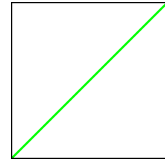
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



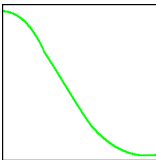
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



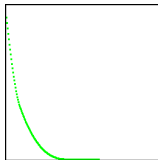
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



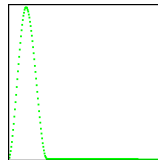
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



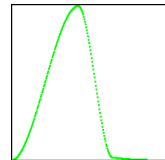
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

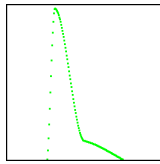


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

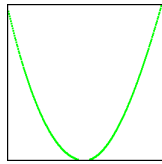


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

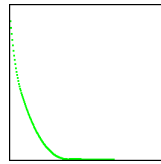
**Gambar 1:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-1



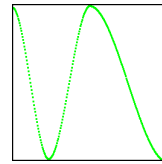
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



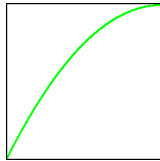
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



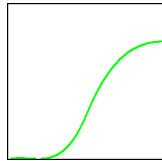
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



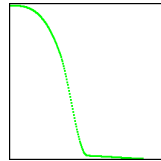
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



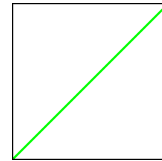
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



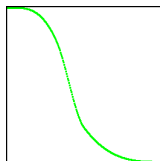
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



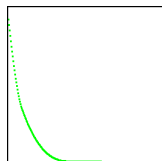
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



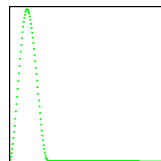
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



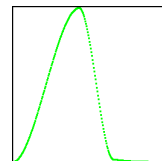
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

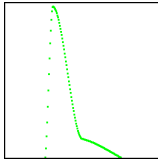


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

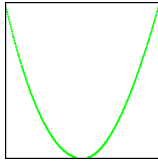


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

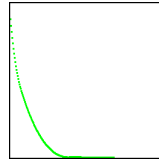
**Gambar 2:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-2



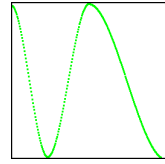
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



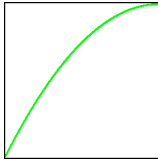
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



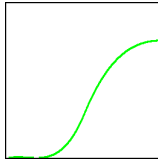
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



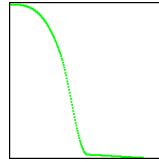
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



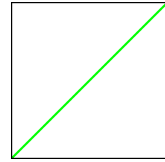
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



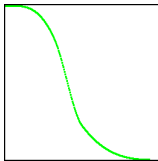
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



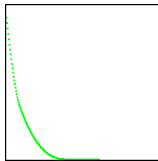
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



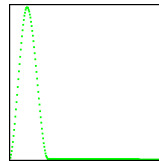
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



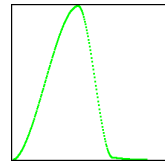
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

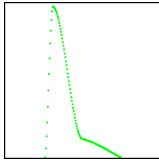


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

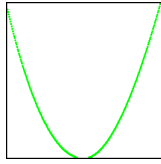


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

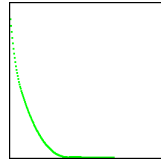
**Gambar 3:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-3



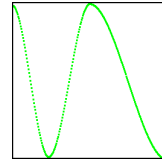
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



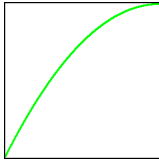
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



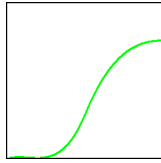
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



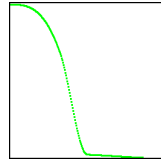
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



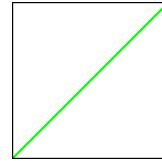
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



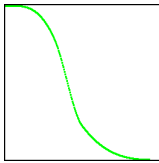
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter parameter nyawa



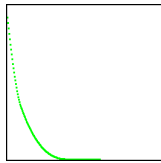
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



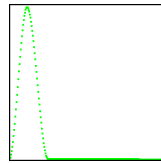
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



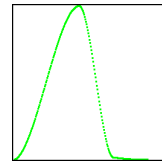
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

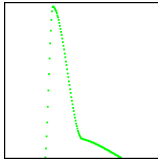


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

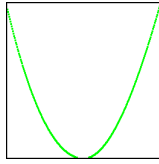


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

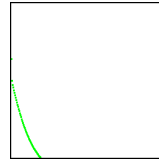
**Gambar 4:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-4



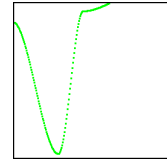
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



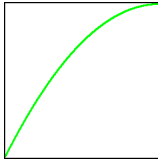
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



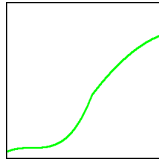
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



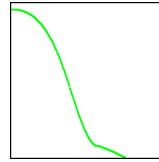
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



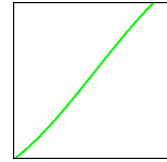
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



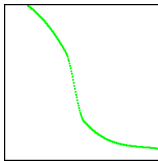
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



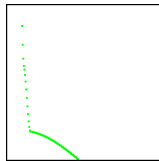
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



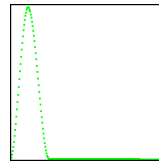
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



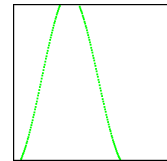
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

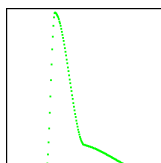


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

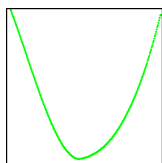


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

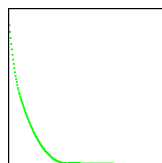
**Gambar 5:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-5



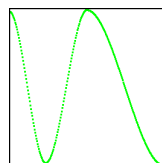
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



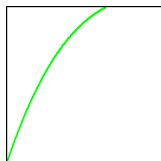
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



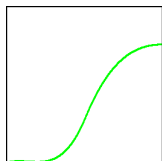
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



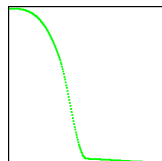
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



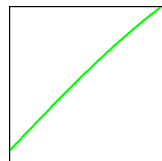
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



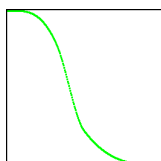
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



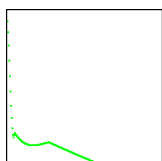
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



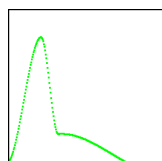
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



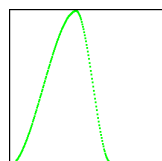
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

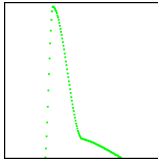


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

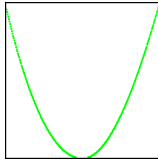


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

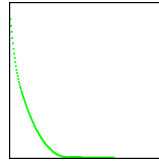
**Gambar 6:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-6



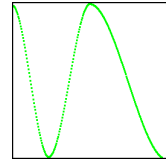
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



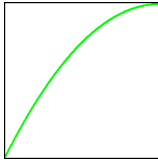
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



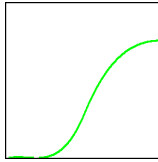
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



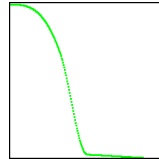
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



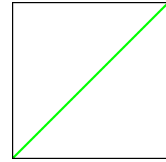
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



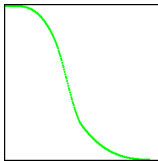
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



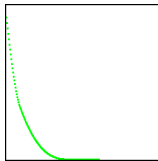
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



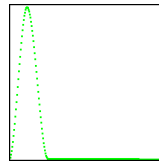
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



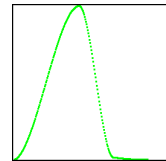
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

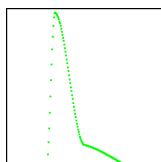


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

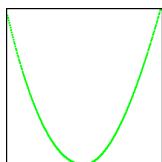


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

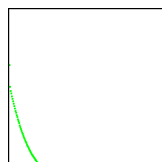
**Gambar 7:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-7



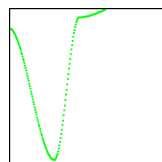
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



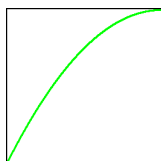
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



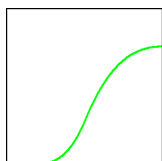
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



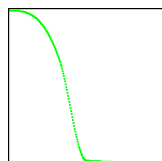
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



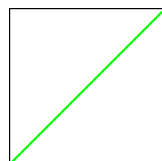
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



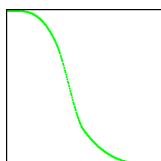
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter parameter nyawa



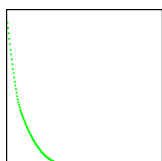
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



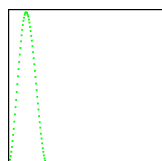
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



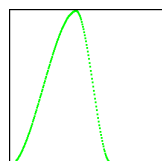
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh



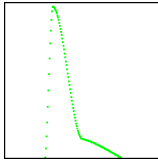
(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



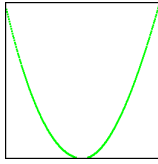
(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

**Gambar 8:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-8

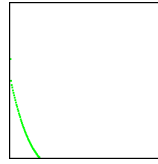




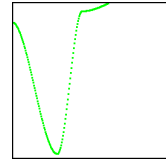
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



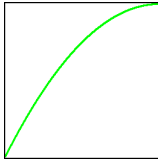
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



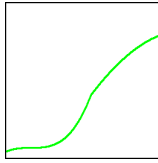
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



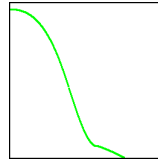
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



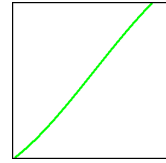
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



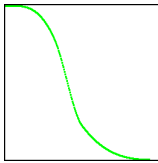
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



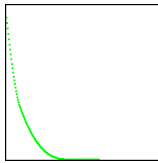
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



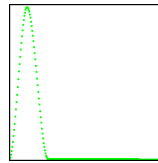
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



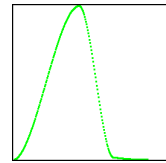
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

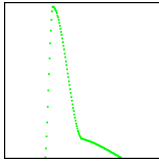


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

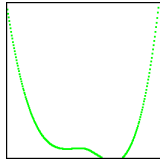


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

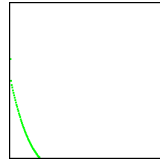
**Gambar 9:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-9



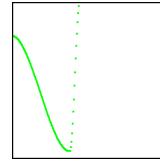
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



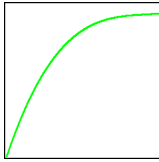
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



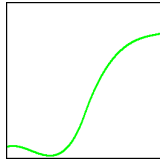
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



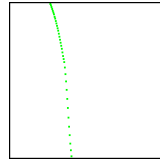
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



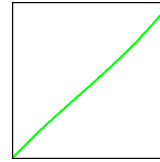
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



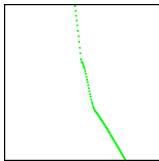
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



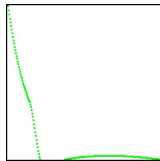
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



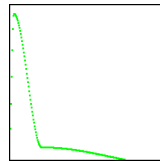
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



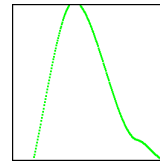
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

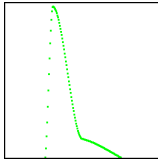


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

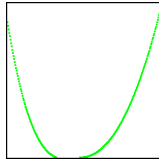


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

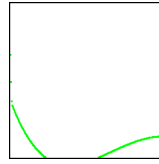
**Gambar 10:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-10



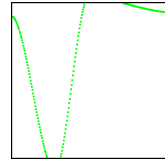
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



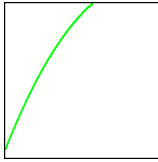
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



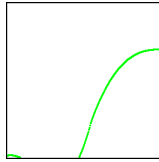
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



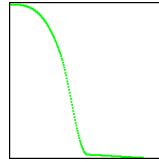
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



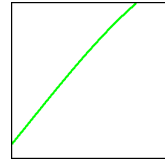
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



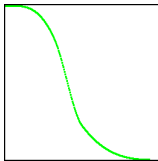
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



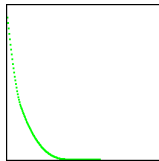
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



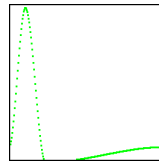
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



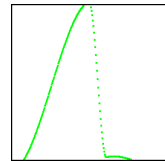
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

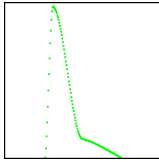


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

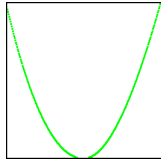


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

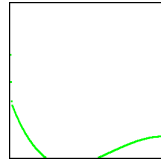
**Gambar 11:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-11



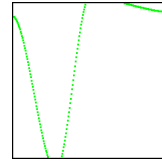
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



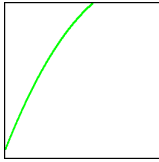
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



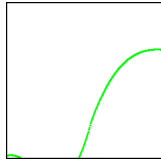
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



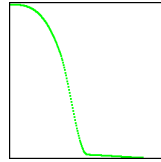
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



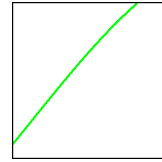
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



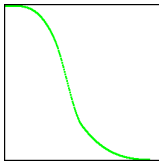
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



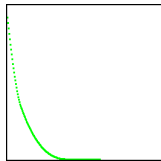
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



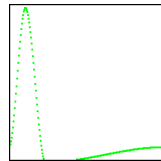
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



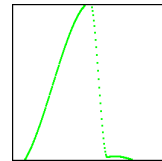
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

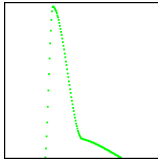


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

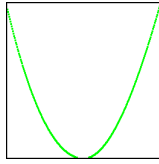


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

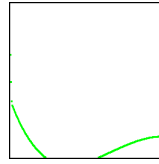
**Gambar 12:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-12



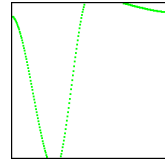
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



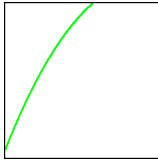
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



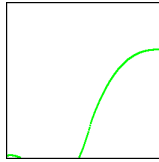
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



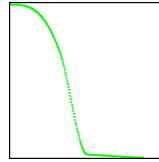
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



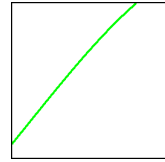
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



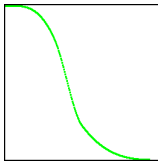
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



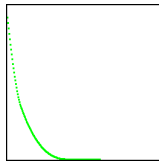
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



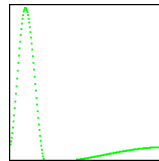
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



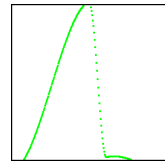
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

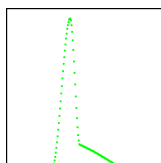


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

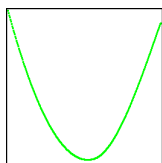


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

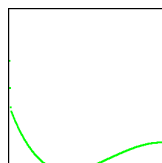
**Gambar 13:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-13



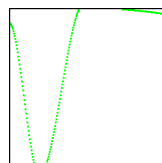
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



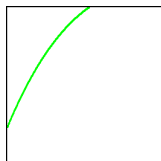
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



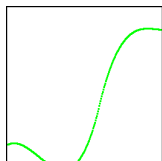
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



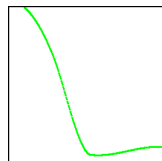
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



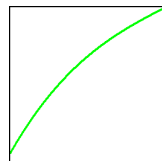
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



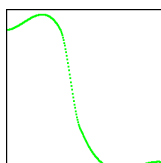
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



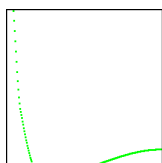
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



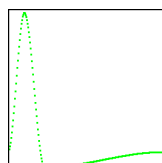
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



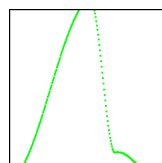
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

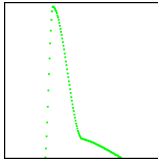


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

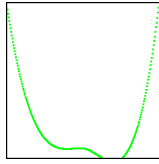


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

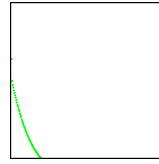
**Gambar 14:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-14



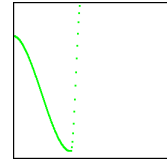
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



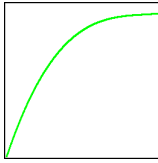
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



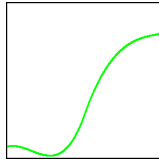
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



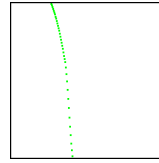
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



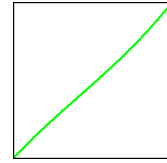
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



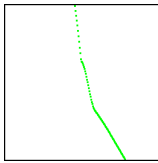
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



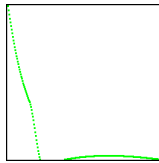
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



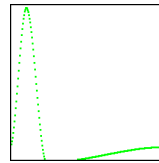
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



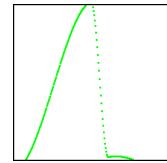
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

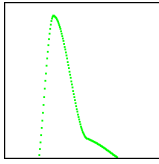


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

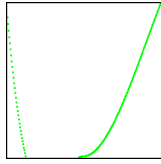


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

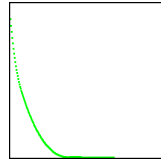
**Gambar 15:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-15



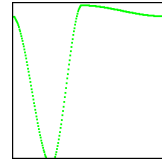
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



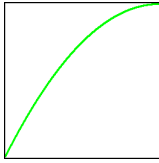
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



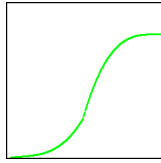
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



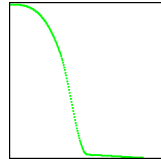
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



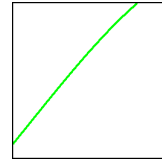
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



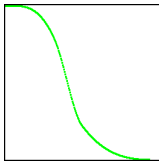
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak nyawa



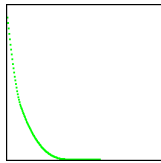
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



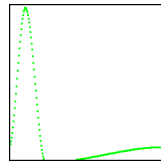
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



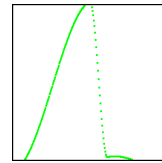
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh



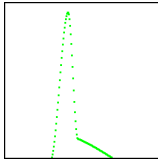
(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



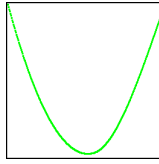
(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

**Gambar 16:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-16

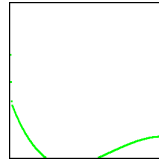




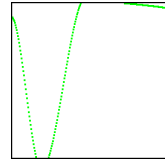
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



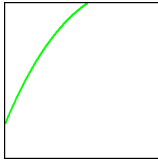
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



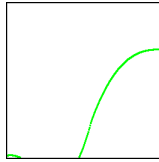
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



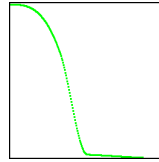
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



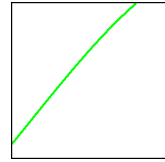
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



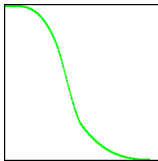
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



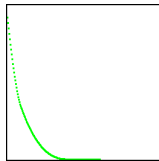
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



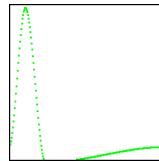
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



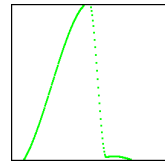
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

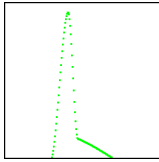


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

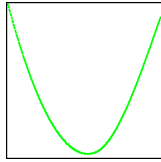


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

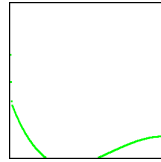
**Gambar 17:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-17



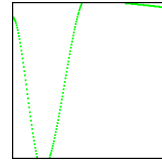
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



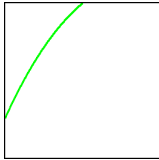
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



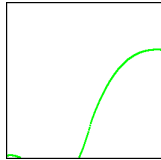
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



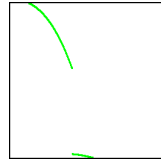
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



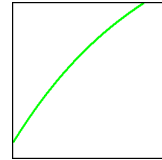
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



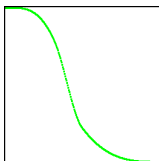
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



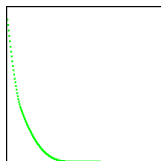
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



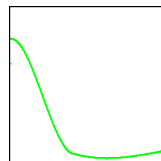
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



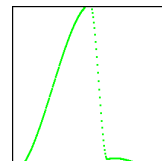
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

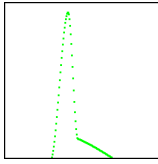


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

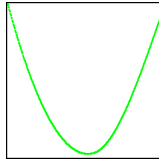


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

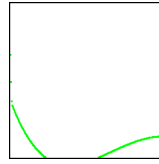
**Gambar 18:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-18



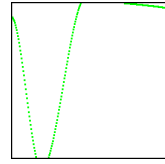
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



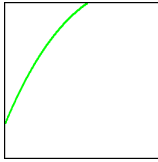
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



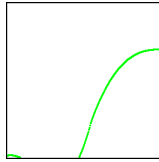
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



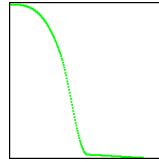
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



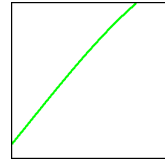
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



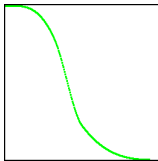
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



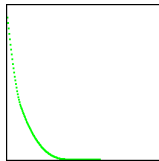
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



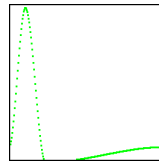
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



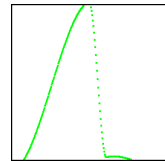
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

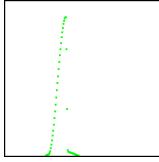


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

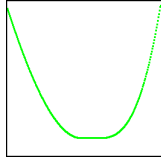


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

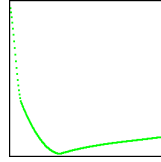
**Gambar 19:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-19



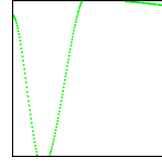
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



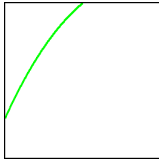
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



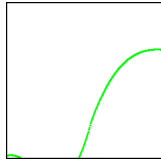
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



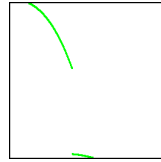
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



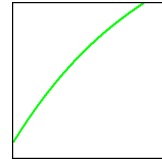
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



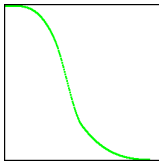
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



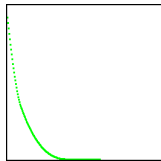
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



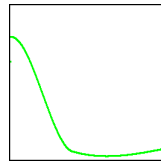
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



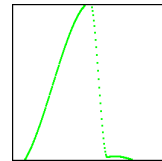
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

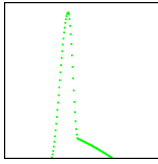


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

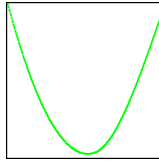


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

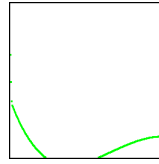
**Gambar 20:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-20



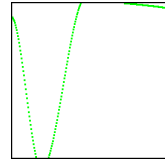
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



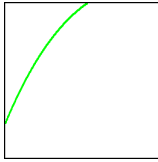
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



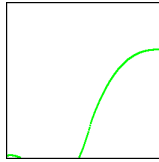
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



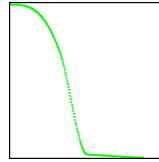
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



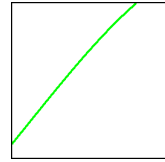
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



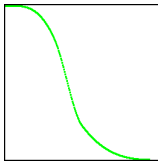
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



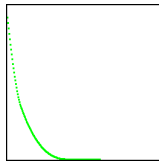
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



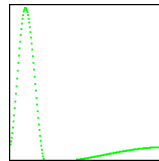
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



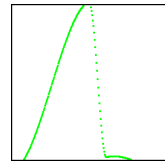
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

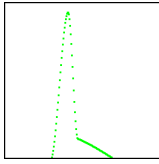


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

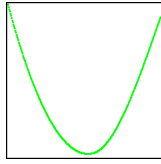


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

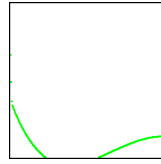
**Gambar 21:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-21



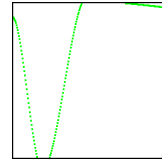
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



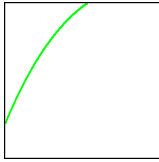
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



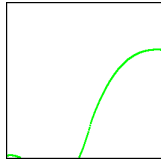
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



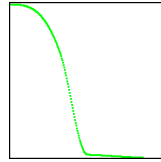
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



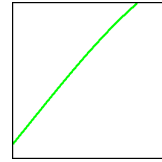
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



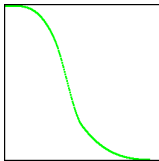
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



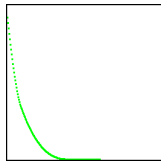
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



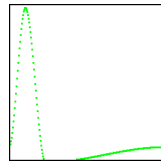
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



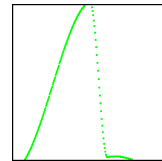
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

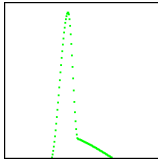


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

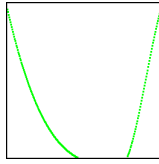


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

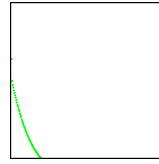
**Gambar 22:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-22



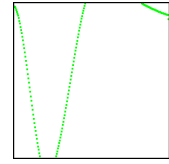
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



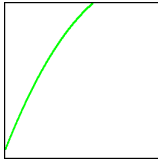
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



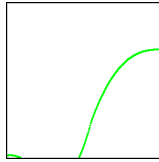
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



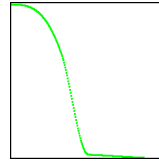
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



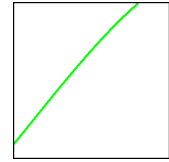
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



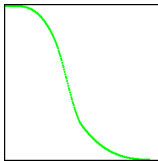
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



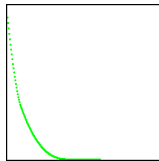
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



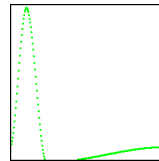
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



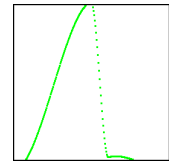
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

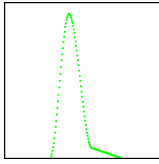


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

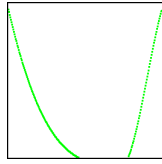


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

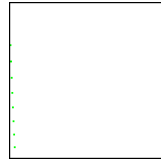
**Gambar 23:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-23



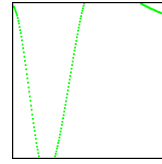
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



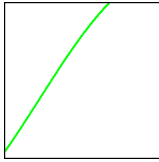
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



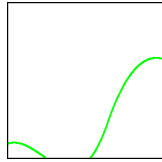
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



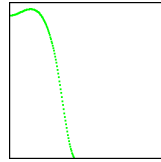
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



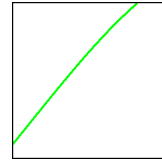
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



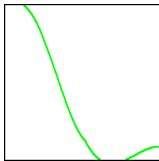
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



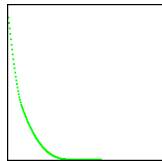
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



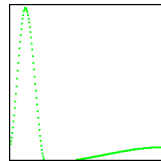
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



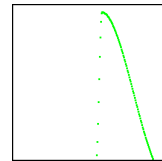
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh



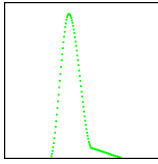
(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



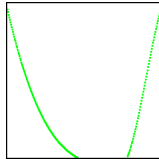
(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

**Gambar 24:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-24

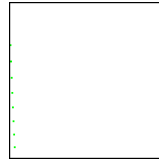




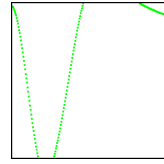
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



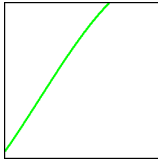
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



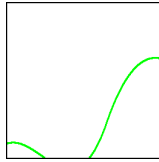
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



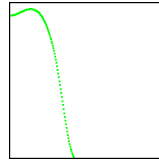
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



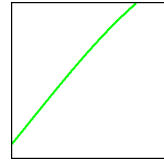
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



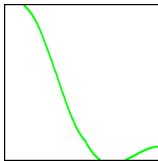
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



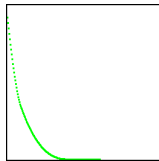
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



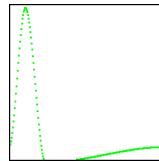
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



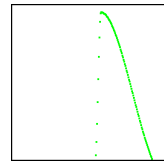
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

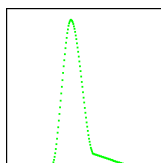


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

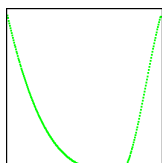


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

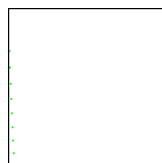
**Gambar 25:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-25



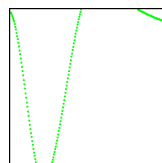
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



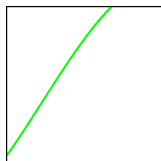
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



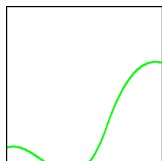
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



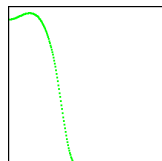
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



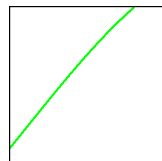
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



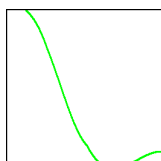
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



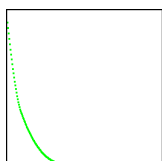
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



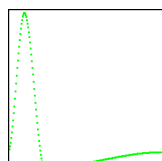
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



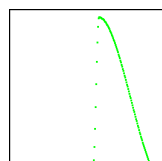
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

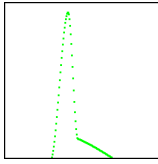


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

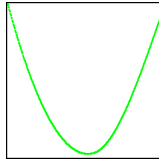


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

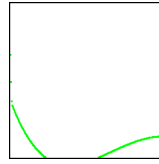
**Gambar 26:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-26



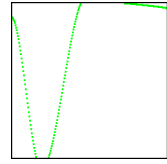
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



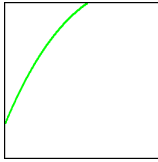
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



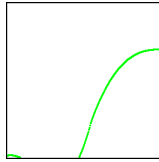
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



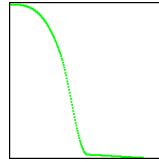
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



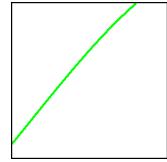
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



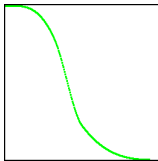
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



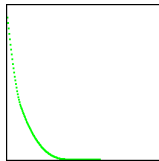
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



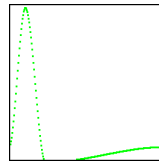
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



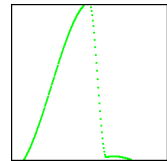
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

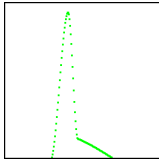


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

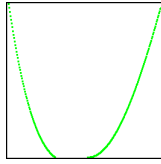


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

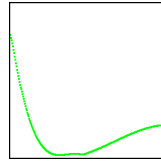
**Gambar 27:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-27



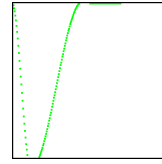
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



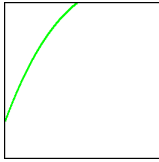
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



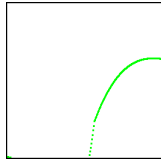
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



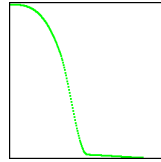
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



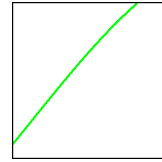
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



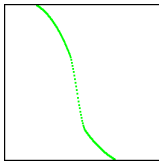
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



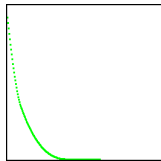
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



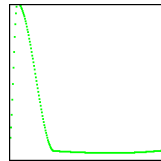
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



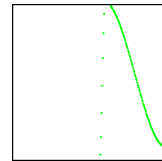
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

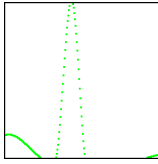


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

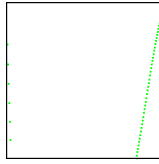


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

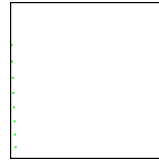
**Gambar 28:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-28



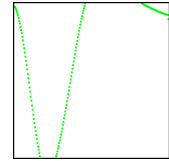
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



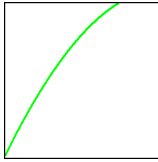
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



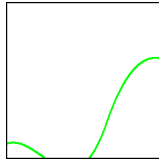
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



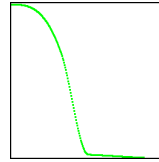
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



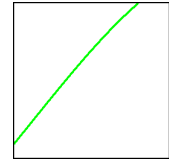
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



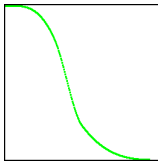
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



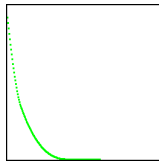
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



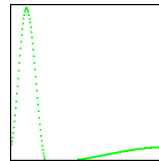
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



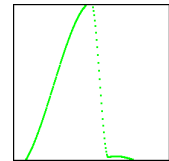
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

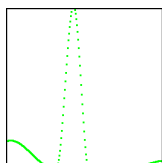


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

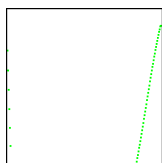


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

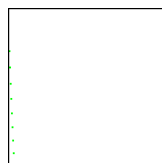
**Gambar 29:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-29



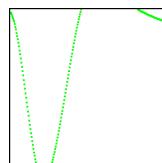
(a) Aksi merang-kai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



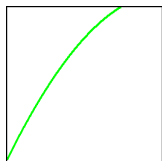
(b) Aksi merang-kai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



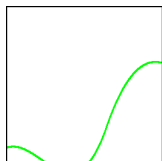
(c) Aksi merang-kai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



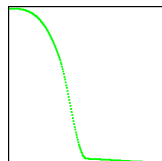
(d) Aksi merang-kai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



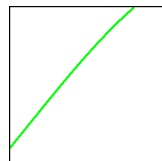
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



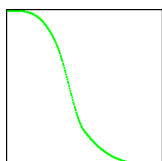
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



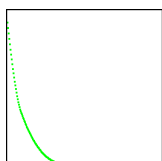
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



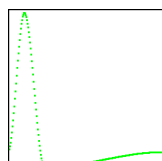
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



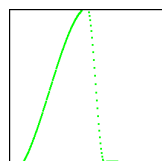
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

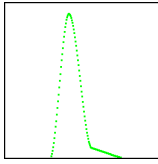


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

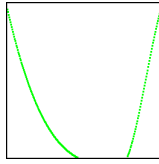


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

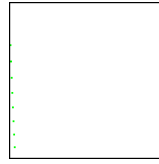
**Gambar 30:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-30



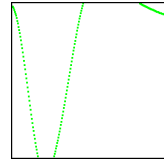
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



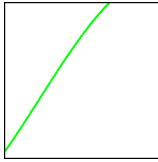
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



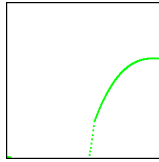
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



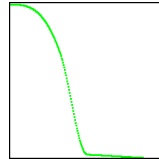
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



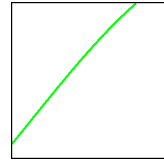
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



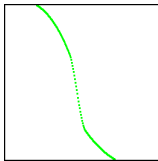
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



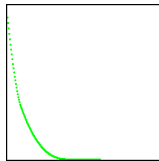
(g) Aksi mengejar musuh berdasarkan *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



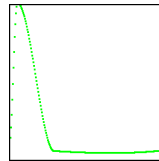
(h) Aksi mengejar musuh berdasarkan *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



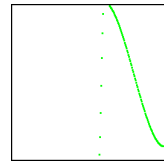
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

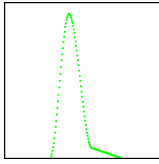


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

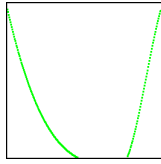


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

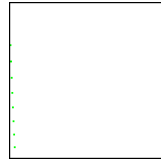
**Gambar 31:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-31



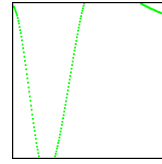
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



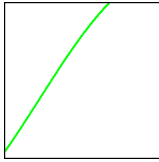
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



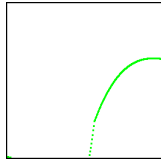
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



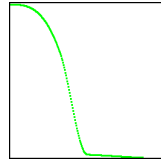
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



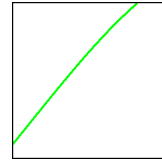
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



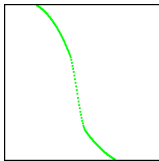
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak nyawa



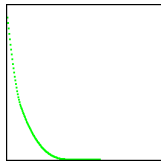
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



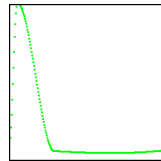
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



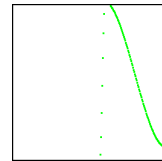
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh



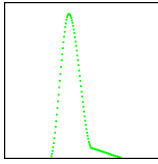
(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



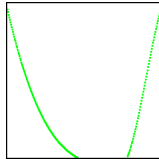
(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

**Gambar 32:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-32

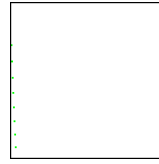




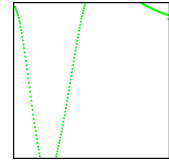
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



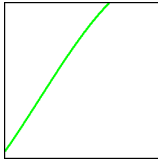
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



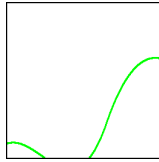
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



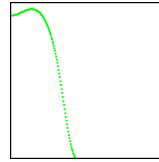
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



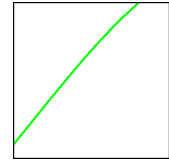
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



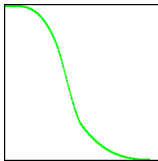
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



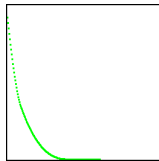
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



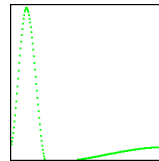
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



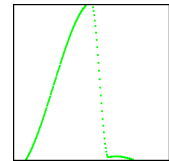
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

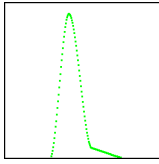


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

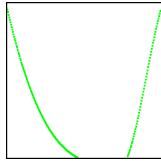


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

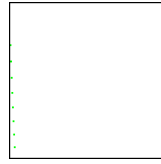
**Gambar 33:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-33



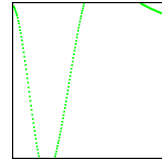
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



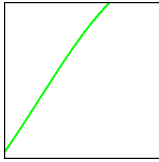
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



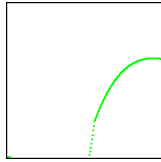
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



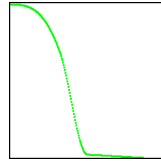
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



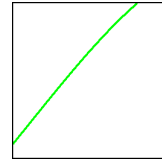
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



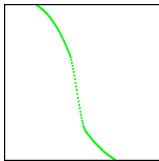
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak nyawa



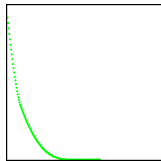
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



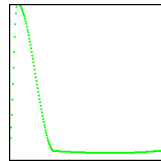
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



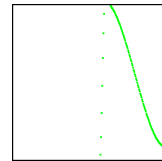
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

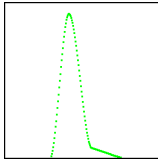


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

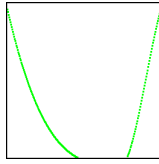


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

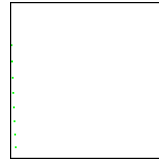
**Gambar 34:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-34



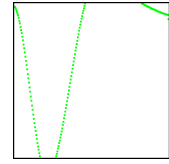
(a) Aksi merang-kai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



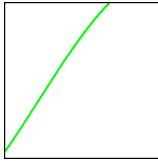
(b) Aksi me-rangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



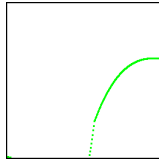
(c) Aksi merang-kai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



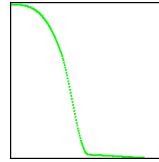
(d) Aksi me-rangkai serangan normal berda-sarkan parameter selang waktu serangan musuh



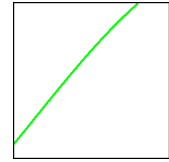
(e) Aksi menge-jar musuh berda-sarkan parameter jarak musuh



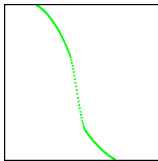
(f) Aksi menge-jar musuh berda-sarkan parameter nyawa



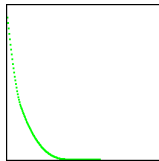
(g) Aksi menge-jar *item* pe-nyembuhan berda-sarkan parameter nyawa



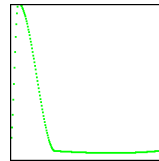
(h) Aksi menge-jar *item* pe-nyembuhan berda-sarkan parameter nyawa musuh



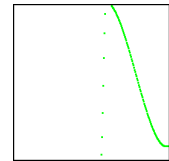
(i) Aksi menge-jar *item* penyem-buhan berda-sarkan parameter ja-rak *item* penyem-buhan terdekat



(j) Aksi menol-ak serangan berda-sarkan paramete-r jarak musuh

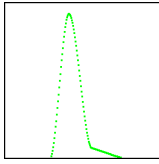


(k) Aksi menol-ak serangan berda-sarkan paramete-r selang waktu serangan musuh

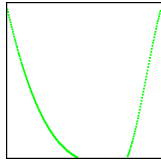


(l) Aksi serang-an jurus berda-sarkan paramete-r jarak musuh

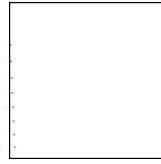
**Gambar 35:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-35



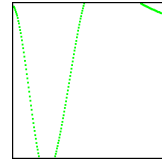
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



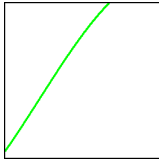
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



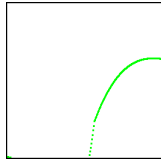
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



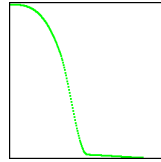
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



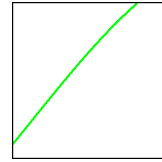
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



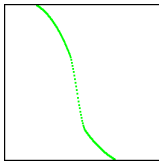
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



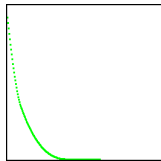
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



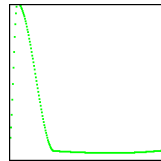
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



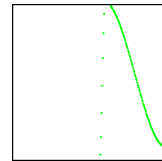
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

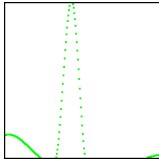


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

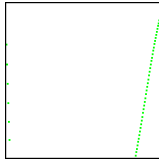


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

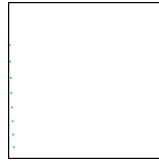
**Gambar 36:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-36



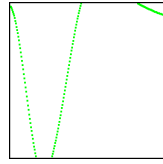
(a) Aksi merang-kai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



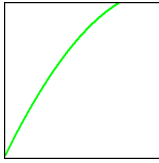
(b) Aksi merang-kai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



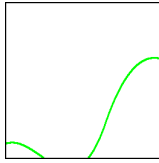
(c) Aksi merang-kai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



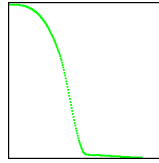
(d) Aksi merang-kai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



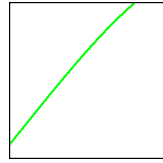
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



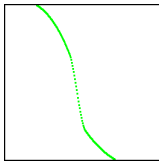
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



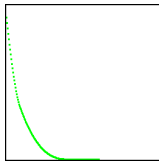
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



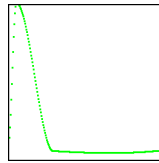
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



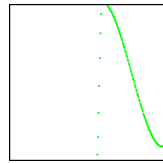
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

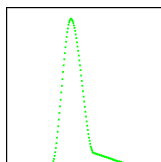


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

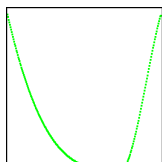


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

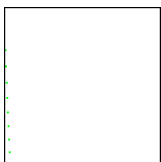
**Gambar 37:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-37



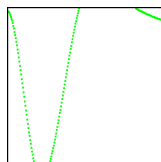
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



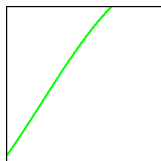
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



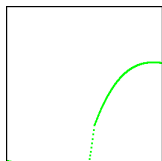
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



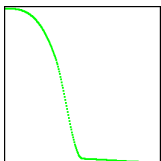
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



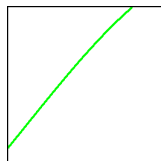
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



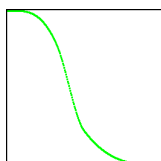
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



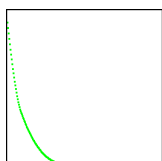
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



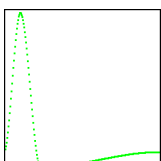
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



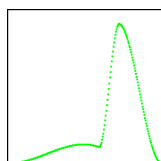
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

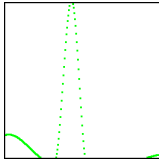


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

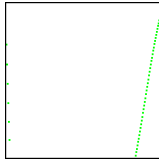


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

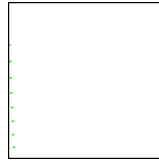
**Gambar 38:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-38



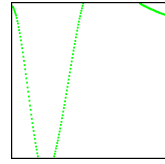
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



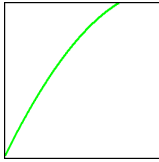
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



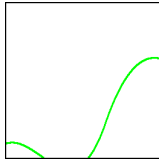
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



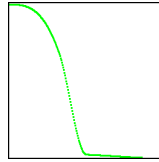
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



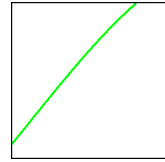
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



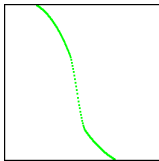
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter nyawa



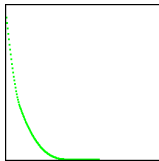
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



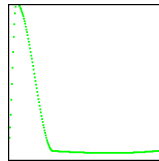
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



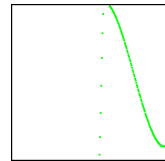
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh

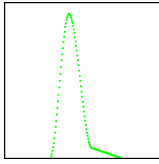


(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

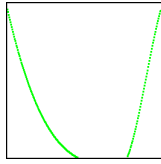


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

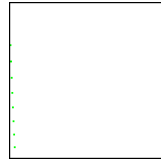
**Gambar 39:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-39



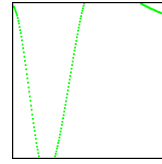
(a) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter jarak musuh



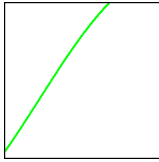
(b) Aksi merangkai serangan kuat berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



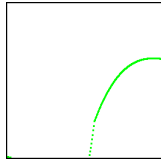
(c) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter jarak musuh



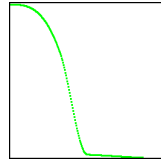
(d) Aksi merangkai serangan normal berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh



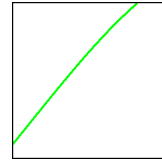
(e) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak musuh



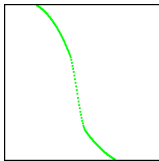
(f) Aksi mengejar musuh berdasarkan parameter jarak nyawa



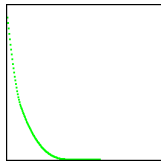
(g) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa



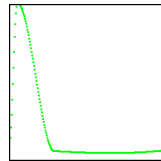
(h) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter nyawa musuh



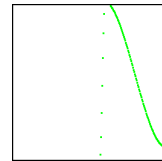
(i) Aksi mengejar *item* penyembuhan berdasarkan parameter jarak *item* penyembuhan terdekat



(j) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter jarak musuh



(k) Aksi menolak serangan berdasarkan parameter selang waktu serangan musuh

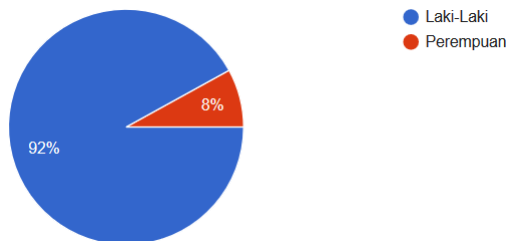


(l) Aksi serangan jurus berdasarkan parameter jarak musuh

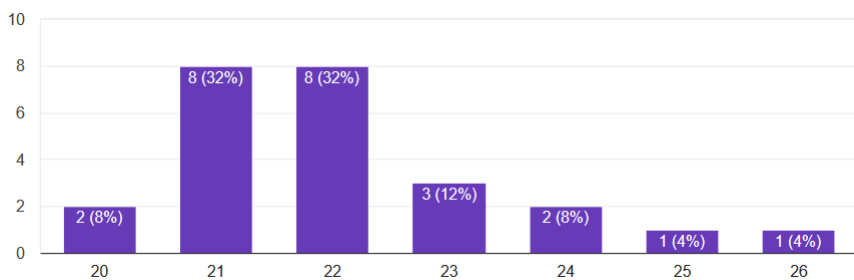
**Gambar 40:** Fungsi-fungsi *utility* kromosom terbaik pada generasi ke-40



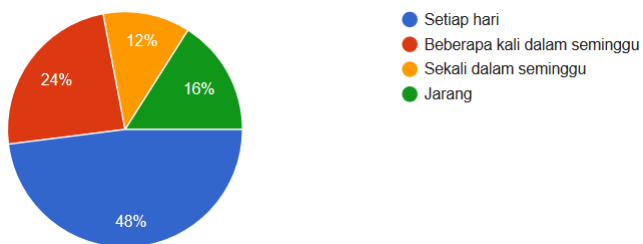
## Demografi Penguji



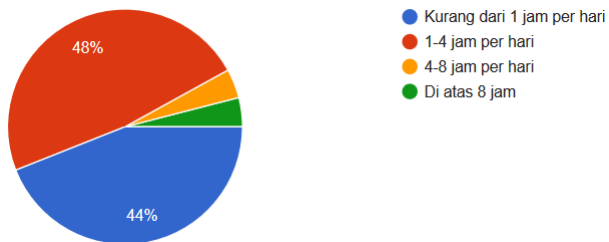
**Gambar 41:** Jenis kelamin



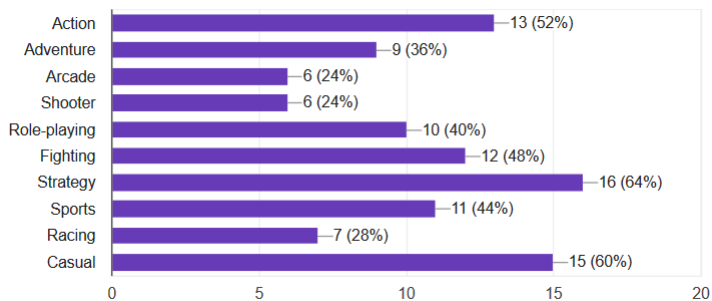
**Gambar 42:** Umur



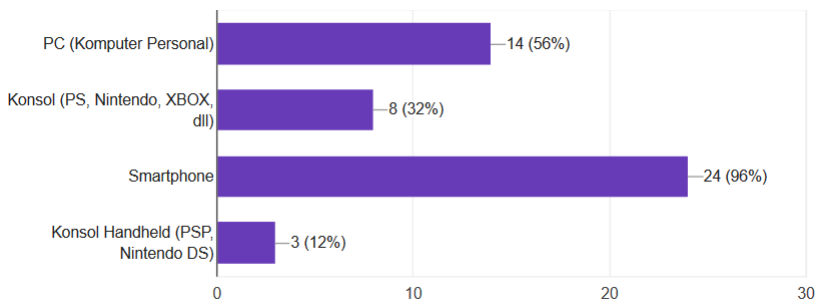
**Gambar 43:** Frekuensi bermain *video game*



**Gambar 44:** Rata-rata waktu bermain per hari



**Gambar 45:** Jenis-jenis *game* yang dimainkan



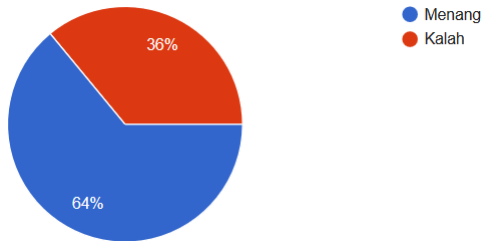
**Gambar 46:** Platform *game* yang pernah digunakan

## Daftar Pertanyaan dan Hasil Rekapitulasi Kuesioner

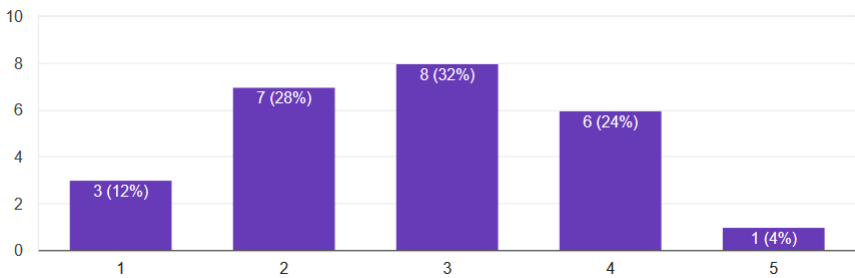
**Tabel 1:** Daftar pertanyaan untuk masing-masing kromosom yang diuji

No.	Kategori	Pertanyaan	Bobot
1	Status kemenangan	Status kemenangan	1
2	Tingkat kesulitan lawan	Seberapa agresif gerakan lawan?	0,157
3		Seberapa cepat lawan bereaksi terhadap aksimu?	0,14
4		Seberapa baik lawan dalam memanfaatkan lingkungan?	0,138
5		Seberapa baik lawan dalam memperhitungkan jarak serangan?	0,105
6		Seberapa baik <i>timing</i> lawan dalam melakukan serangan?	0,095
7		Seberapa sulit gerakan lawan untuk diprediksi?	0,165
8		Berapa skor keseluruhan yang anda berikan untuk tingkat kesulitan lawan?	0,2
9		Tingkat kepuasan terhadap lawan	Seberapa besar perhatian yang anda berikan terhadap lawan?
10	Seberapa terserap/tertarik anda ketika bermain dengan lawan?		0,105
11	Seberapa besar dedikasi yang anda berikan saat bermain dengan lawan?		0,129
12	Seberapa antusias/bersemangat anda ketika bermain dengan lawan?		0,167
13	Seberapa senang anda ketika berinteraksi dengan lawan?		0,205
14	Berapa skor keseluruhan yang anda berikan untuk tingkat kepuasan anda terhadap lawan?		0,2

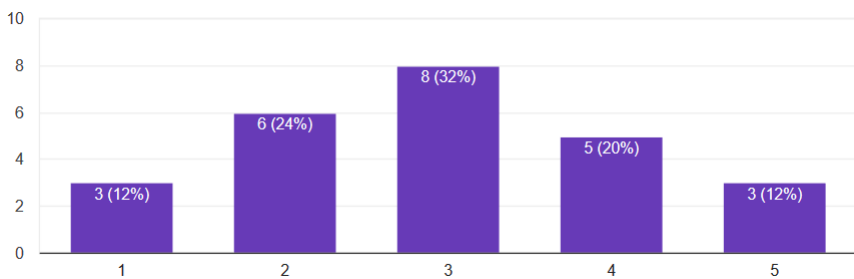
1. Pertanyaan dan hasil penilaian terkait kromosom pada generasi ke-1.



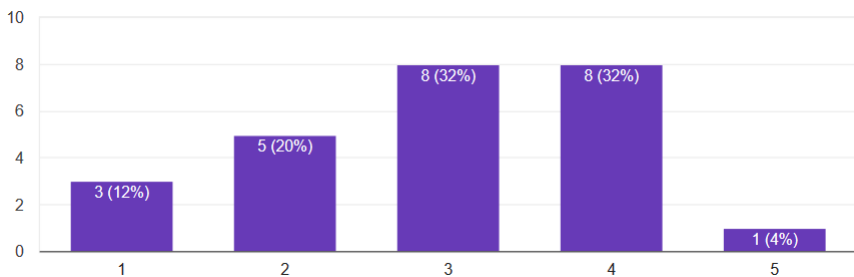
**Gambar 47:** Pertanyaan ke-1 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



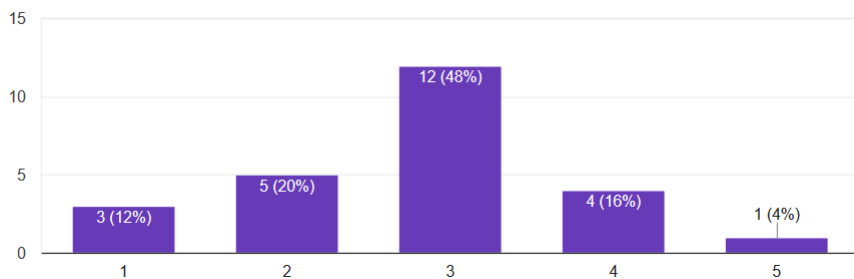
**Gambar 48:** Pertanyaan ke-2 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



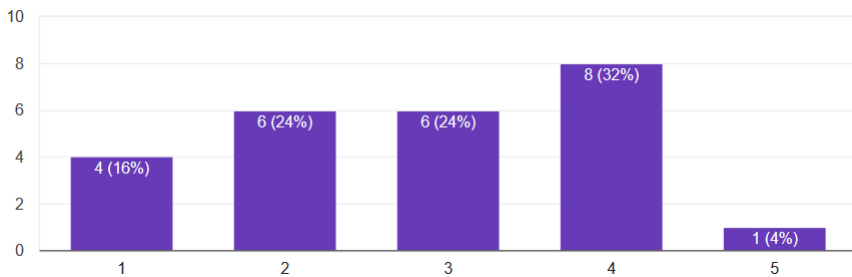
**Gambar 49:** Pertanyaan ke-3 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



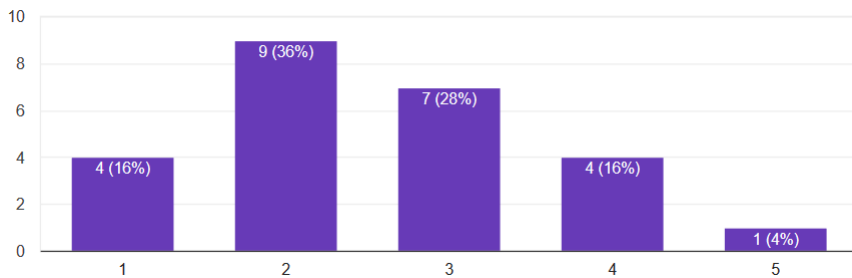
**Gambar 50:** Pertanyaan ke-4 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



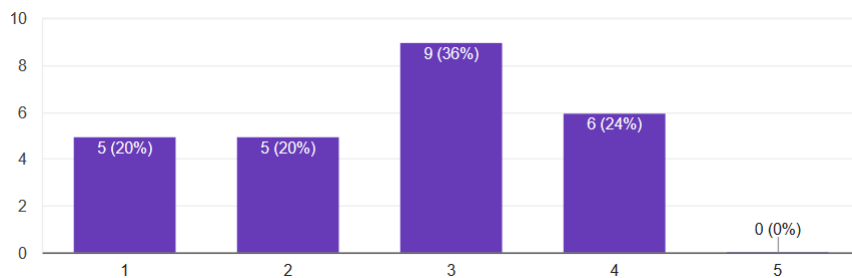
**Gambar 51:** Pertanyaan ke-5 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



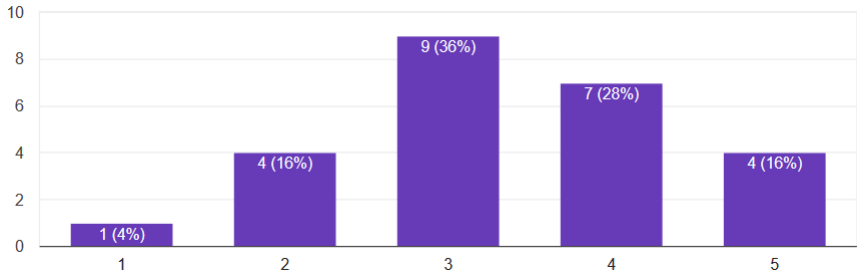
**Gambar 52:** Pertanyaan ke-6 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



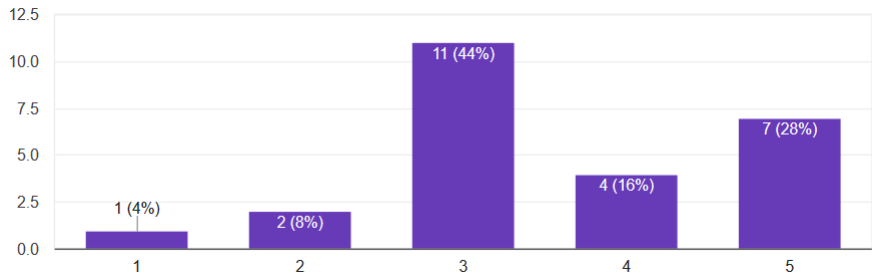
**Gambar 53:** Pertanyaan ke-7 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



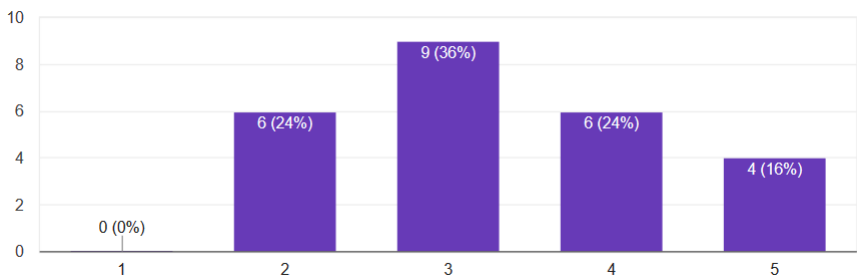
**Gambar 54:** Pertanyaan ke-8 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



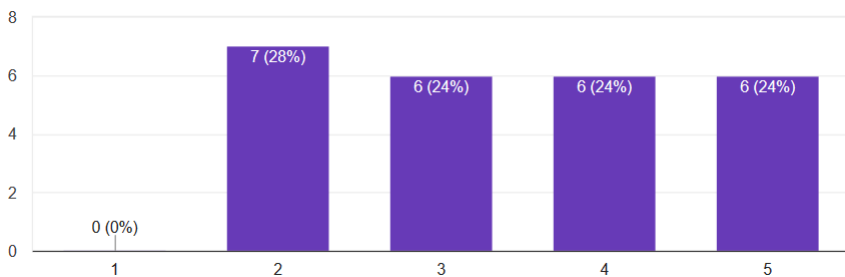
**Gambar 55:** Pertanyaan ke-9 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



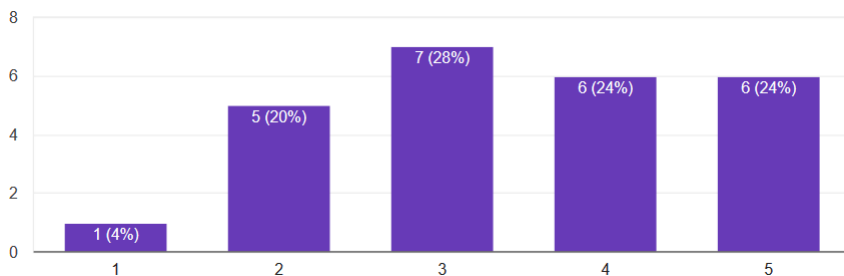
**Gambar 56:** Pertanyaan ke-10 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



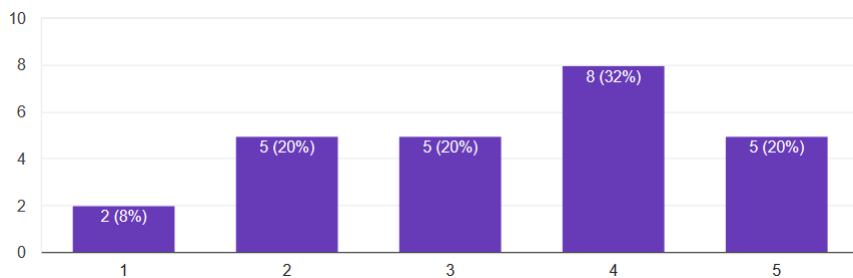
**Gambar 57:** Pertanyaan ke-11 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



**Gambar 58:** Pertanyaan ke-12 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



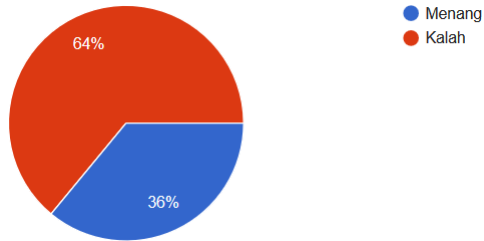
**Gambar 59:** Pertanyaan ke-13 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



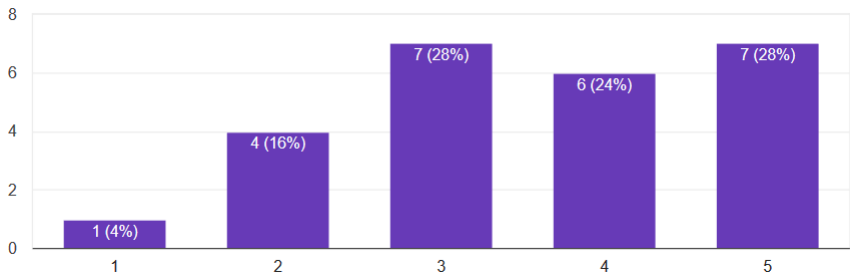
**Gambar 60:** Pertanyaan ke-14 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



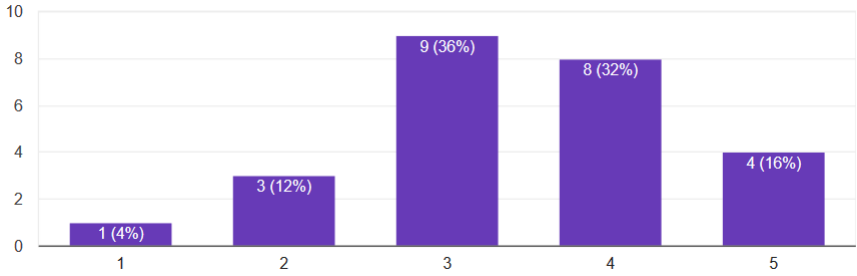
2. Pertanyaan dan hasil penilaian terkait kromosom pada generasi ke-13.



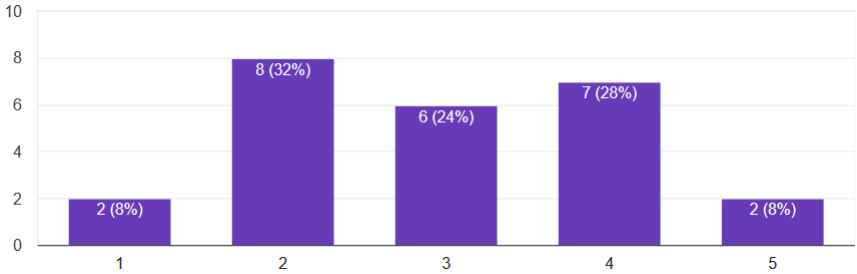
**Gambar 61:** Pertanyaan ke-1 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-1



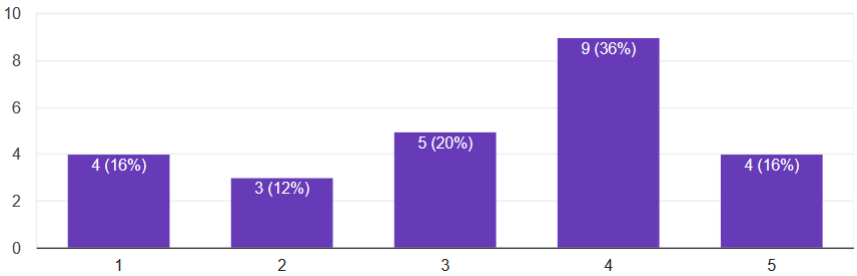
**Gambar 62:** Pertanyaan ke-2 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



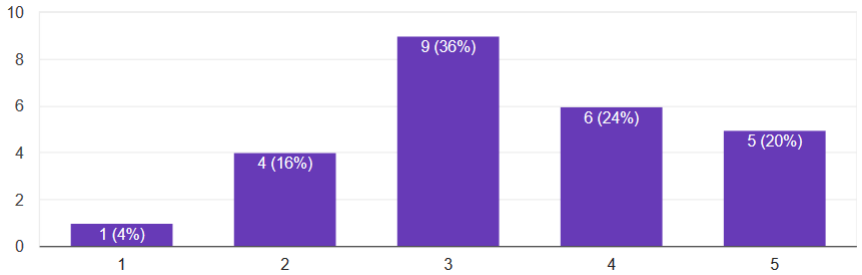
**Gambar 63:** Pertanyaan ke-3 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



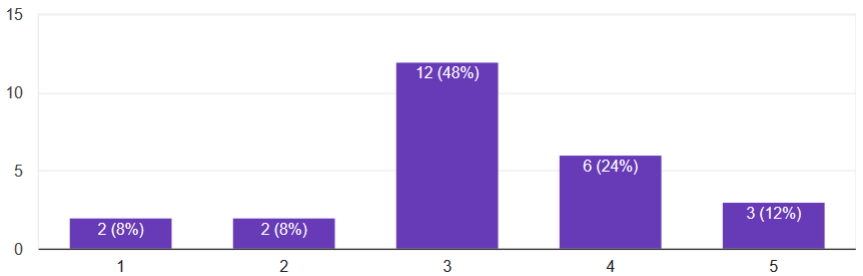
**Gambar 64:** Pertanyaan ke-4 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



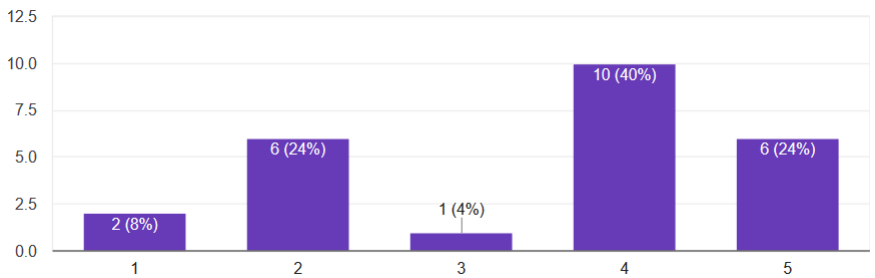
**Gambar 65:** Pertanyaan ke-5 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



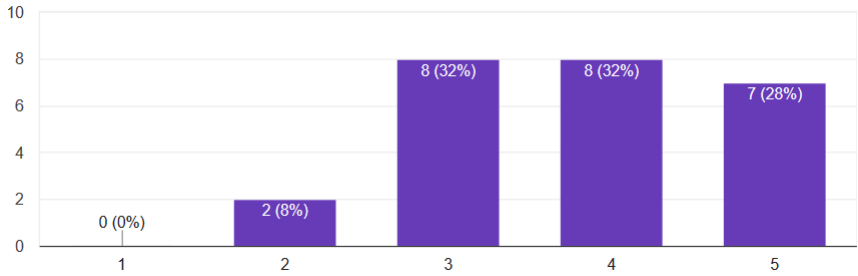
**Gambar 66:** Pertanyaan ke-6 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



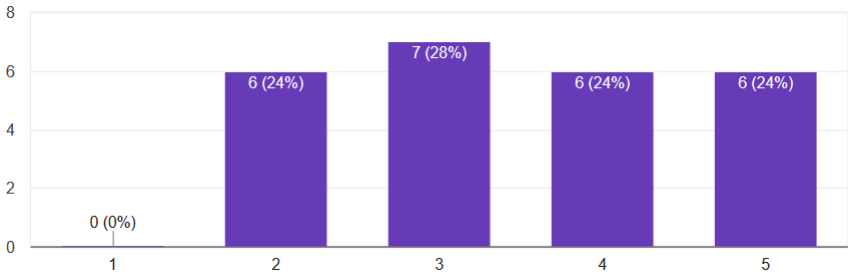
**Gambar 67:** Pertanyaan ke-7 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



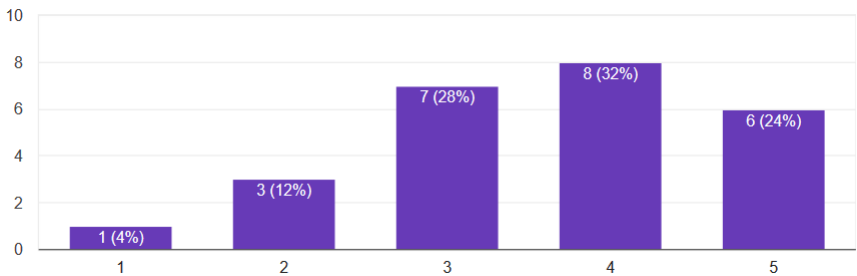
**Gambar 68:** Pertanyaan ke-8 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



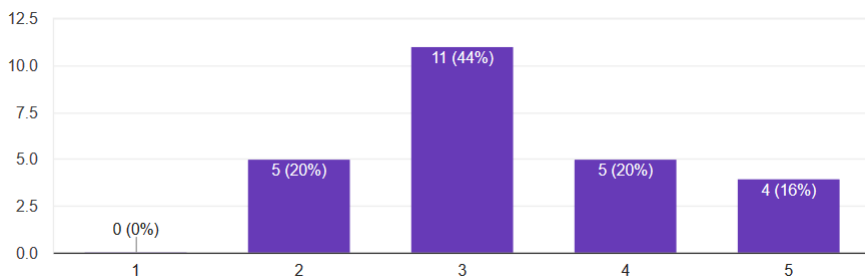
**Gambar 69:** Pertanyaan ke-9 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



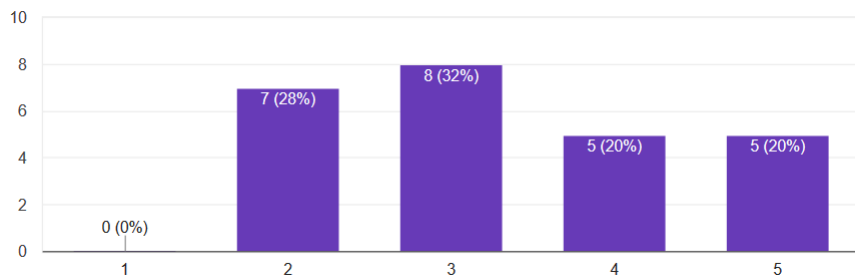
**Gambar 70:** Pertanyaan ke-10 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



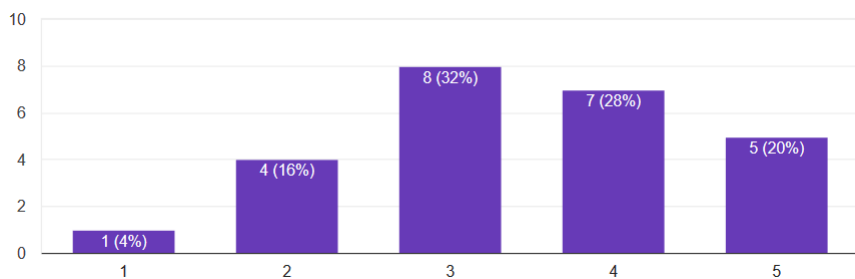
**Gambar 71:** Pertanyaan ke-11 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13



**Gambar 72:** Pertanyaan ke-12 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13

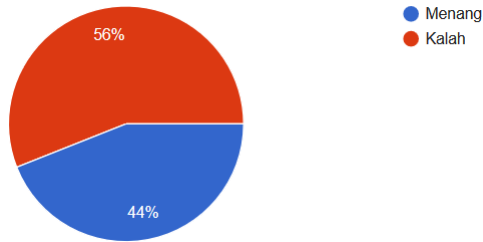


**Gambar 73:** Pertanyaan ke-13 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13

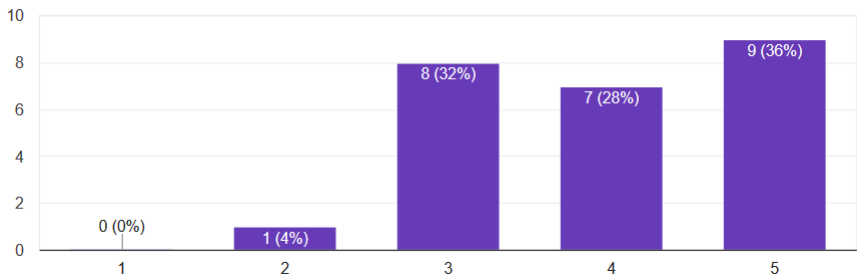


**Gambar 74:** Pertanyaan ke-14 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-13

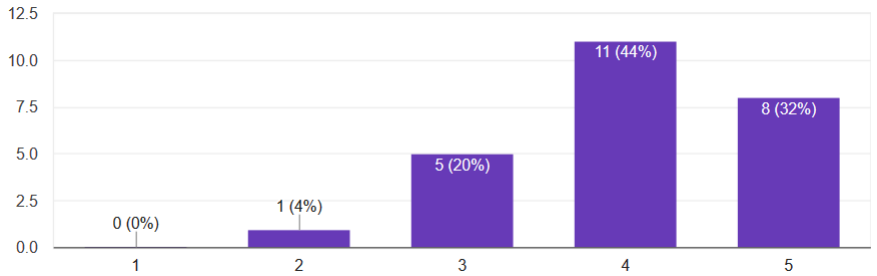
3. Pertanyaan dan hasil penilaian terkait kromosom pada generasi ke-27.



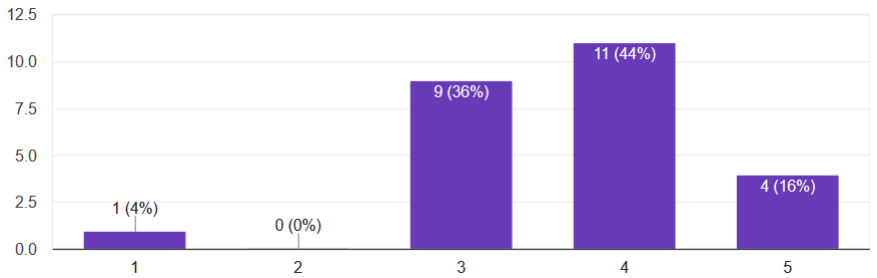
**Gambar 75:** Pertanyaan ke-1 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27



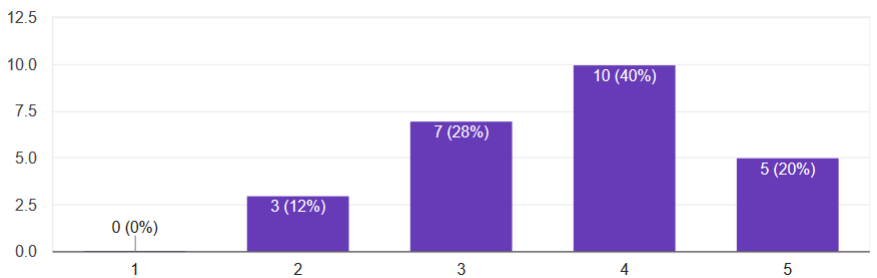
**Gambar 76:** Pertanyaan ke-2 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27



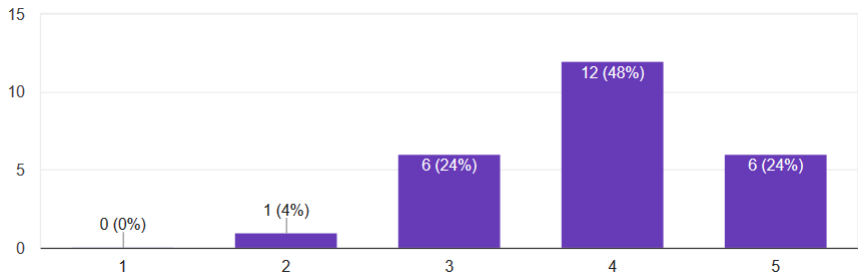
**Gambar 77:** Pertanyaan ke-3 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27



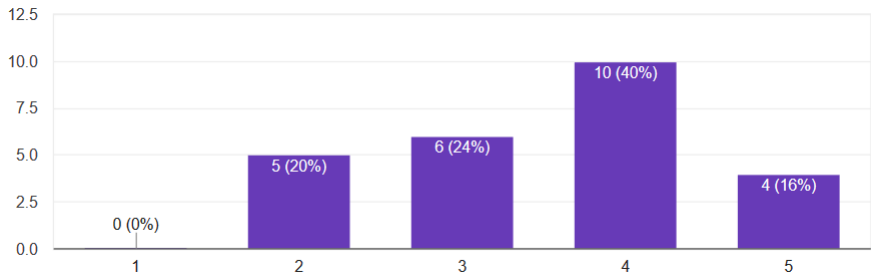
**Gambar 78:** Pertanyaan ke-4 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27



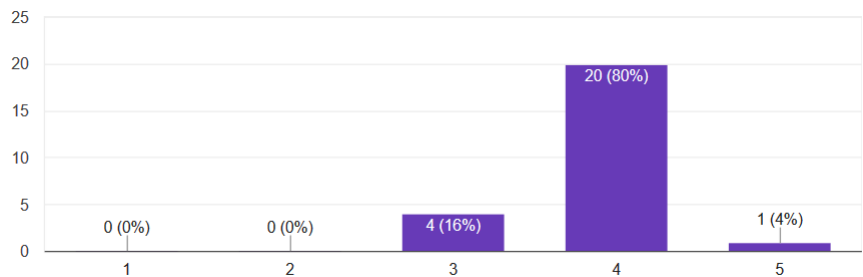
**Gambar 79:** Pertanyaan ke-5 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27



**Gambar 80:** Pertanyaan ke-6 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27

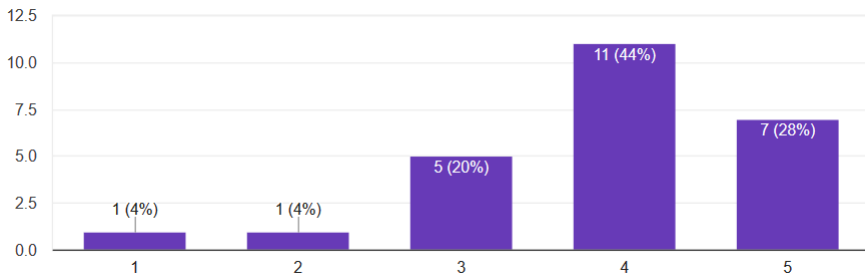


**Gambar 81:** Pertanyaan ke-7 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27

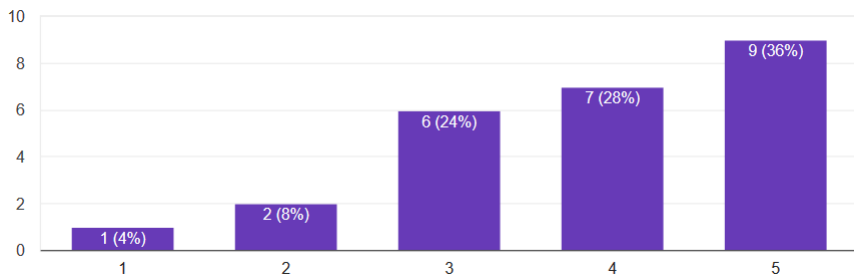


**Gambar 82:** Pertanyaan ke-8 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27

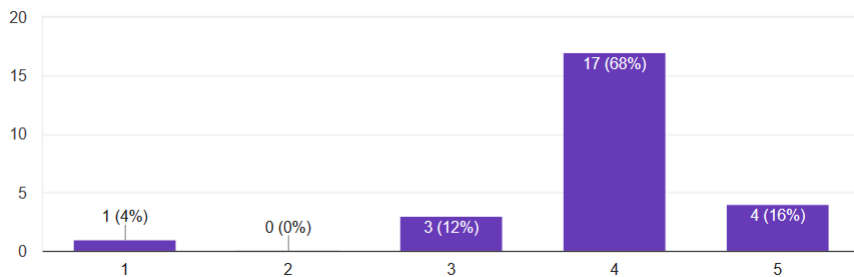




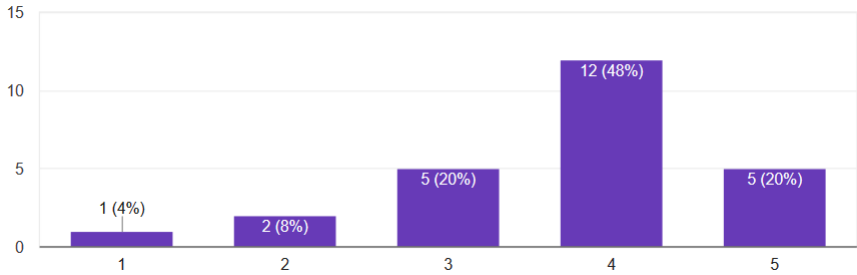
**Gambar 83:** Pertanyaan ke-9 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27



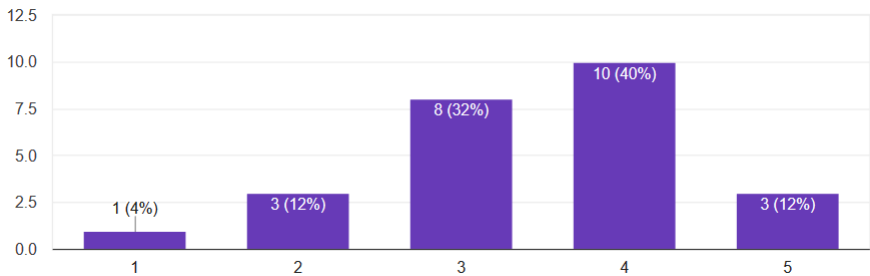
**Gambar 84:** Pertanyaan ke-10 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27



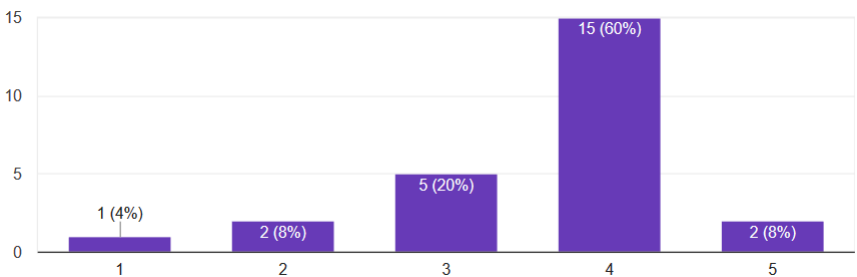
**Gambar 85:** Pertanyaan ke-11 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27



**Gambar 86:** Pertanyaan ke-12 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27

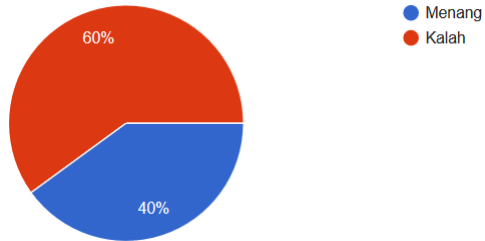


**Gambar 87:** Pertanyaan ke-13 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27

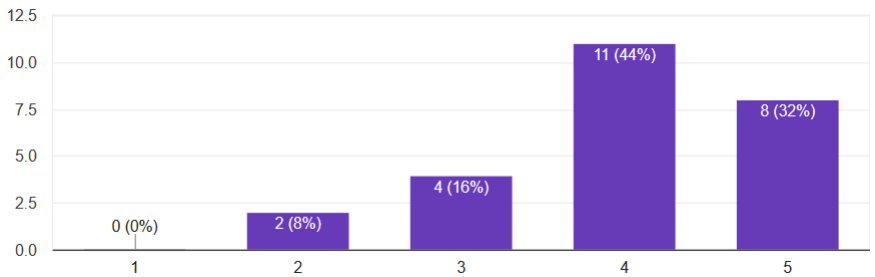


**Gambar 88:** Pertanyaan ke-14 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-27

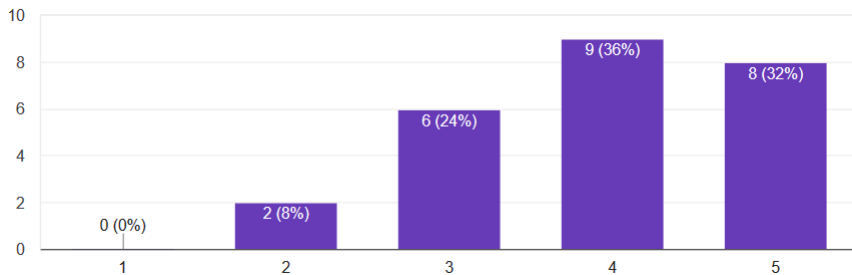
4. Pertanyaan dan hasil penilaian terkait kromosom pada generasi ke-40.



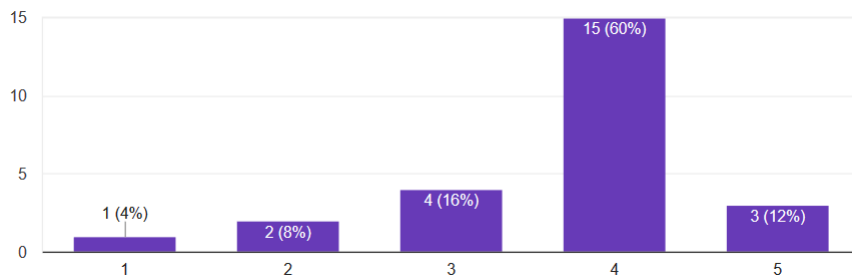
**Gambar 89:** Pertanyaan ke-1 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



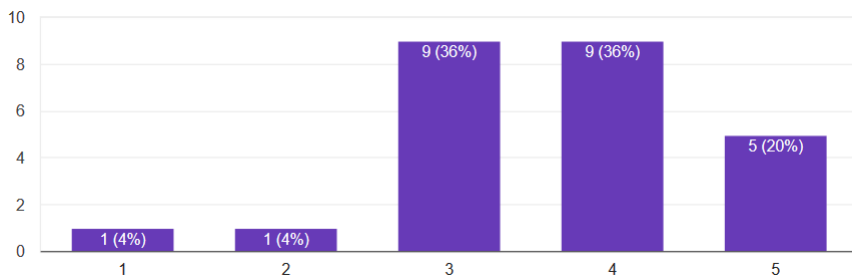
**Gambar 90:** Pertanyaan ke-2 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



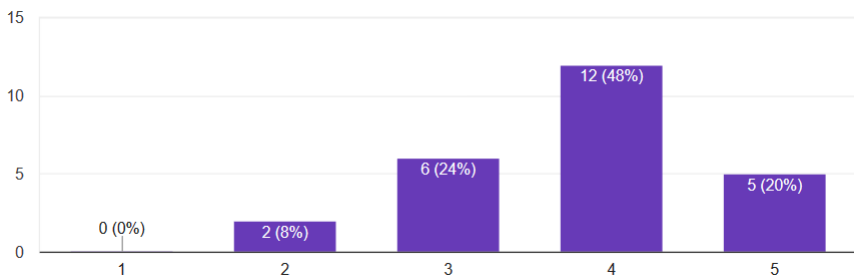
**Gambar 91:** Pertanyaan ke-3 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



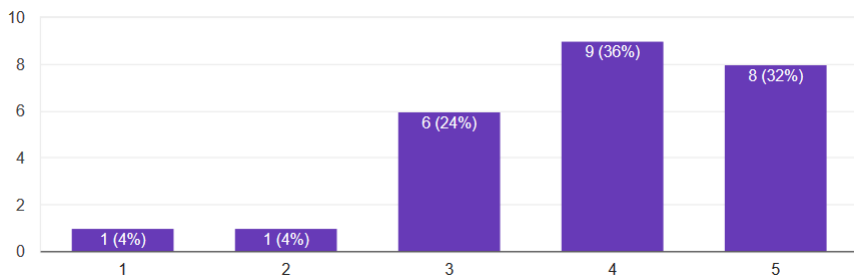
**Gambar 92:** Pertanyaan ke-4 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



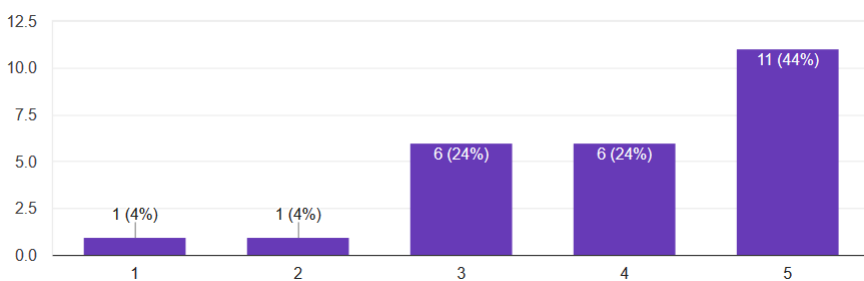
**Gambar 93:** Pertanyaan ke-5 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



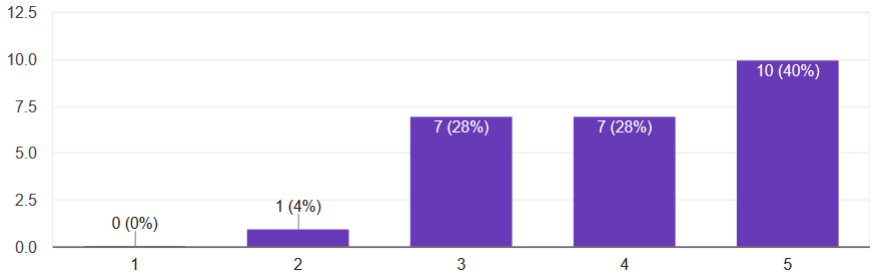
**Gambar 94:** Pertanyaan ke-6 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



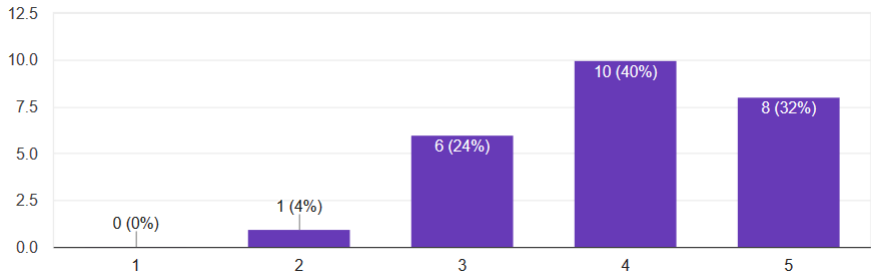
**Gambar 95:** Pertanyaan ke-7 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



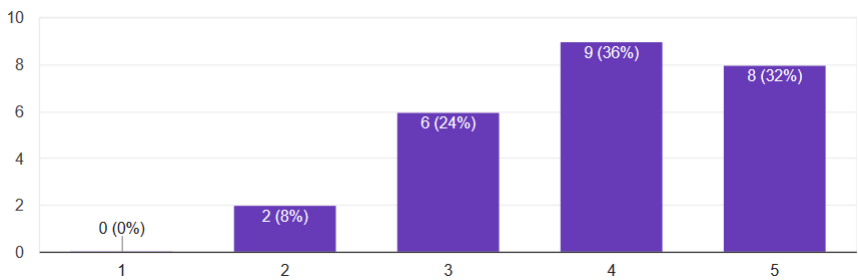
**Gambar 96:** Pertanyaan ke-8 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



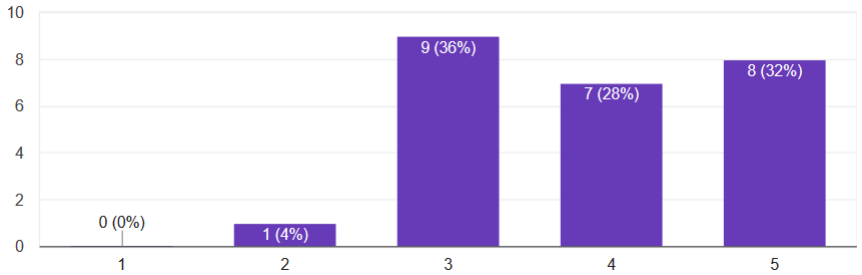
**Gambar 97:** Pertanyaan ke-9 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



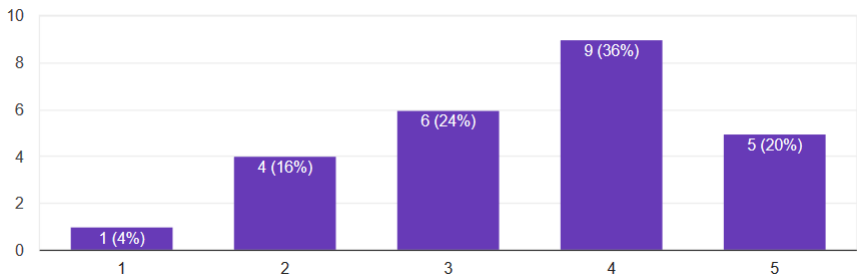
**Gambar 98:** Pertanyaan ke-10 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



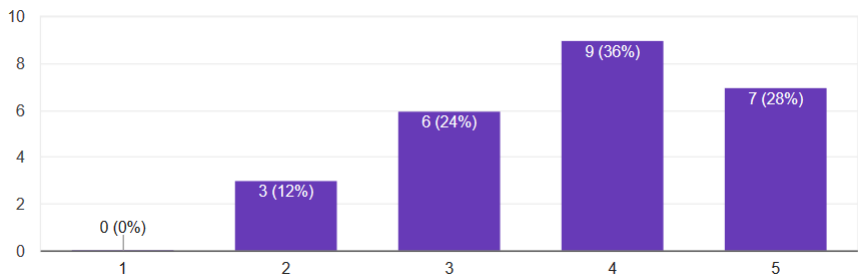
**Gambar 99:** Pertanyaan ke-11 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



**Gambar 100:** Pertanyaan ke-12 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



**Gambar 101:** Pertanyaan ke-13 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40



**Gambar 102:** Pertanyaan ke-14 terkait penilaian kromosom pada generasi ke-40

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



## BIOGRAFI PENULIS



Lazuardi Ya'qub Affan, lahir pada 3 April 1996 di Malang, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan S1 Departemen Teknik Komputer bidang studi *Game Technology* Fakultas Teknologi Elektro ITS. Selama masa perkuliahan, penulis menjadi anggota aktif Lab-B201 crew, dan pernah menjadi ketua *game developer group* di laboratorium tersebut.

Penulis pernah bertugas menjadi ketua panitia pada acara *Global Game Jam Surabaya 2016* dan menjadi panitia kesekretariatan pada acara *Global Game Jam Surabaya 2017* yang diselenggarakan oleh komunitas *Game Developer Arek Suroboyo (GADAS)*. Penulis juga bertugas sebagai panitia acara pada acara *Multimedia and Game Event (MAGE)* yang diselenggarakan oleh Departemen Teknik Komputer ITS pada tahun 2016 dan 2017. Penulis juga aktif dalam mengisi workshop dan seminar, di antaranya adalah workshop *2D Platformer Game* dalam acara *Community and Technological Camp (CommTECH) 2016*, *Multiplayer FPS Game Workshop* yang diselenggarakan oleh MAGE 2017, workshop *Unity 3D for Dummies* yang diselenggarakan oleh Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro ITS pada tahun 2017, dan seminar *Life of Game Developer* yang diselenggarakan oleh UKM Stikom Cyber Sport. Selain itu, penulis juga aktif dalam mengikuti perlombaan selama masa perkuliahan. Penulis pernah meraih juara favorit dalam Sayembara Revolusi Mental, *Game Concept Competition*. Kemudian penulis juga pernah meraih juara dua dalam Samsung Indonesia Next App 4.0 kategori *Gear VR Challenge* pada tahun 2017 bersama dengan timnya. Penulis menghabiskan banyak waktu untuk mendalami *Game Technology*, *Artificial Intelligence*, dan *Virtual Reality*.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*