

SKRIPSI

**PERBANDINGAN ALGORITMA BACKTRACKING
DENGAN ALGORITMA HYBRID GENETIC UNTUK
MENYELESAIKAN PERMAINAN CALCUDOKU**



MICHAEL ADRIAN

NPM: 2013730039

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2017**

UNDERGRADUATE THESIS

**COMPARISON OF THE BACKTRACKING ALGORITHM
AND THE HYBRID GENETIC ALGORITHM TO SOLVE THE
CALCUDOKU PUZZLE**



MICHAEL ADRIAN

NPM: 2013730039

**DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND
SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2017**

LEMBAR PENGESAHAN

PERBANDINGAN ALGORITMA BACKTRACKING DENGAN ALGORITMA HYBRID GENETIC UNTUK MENYELESAIKAN PERMAINAN CALCUDOKU

MICHAEL ADRIAN

NPM: 2013730039

Bandung, «tanggal» «bulan» 2017

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping

Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni

«pembimbing 2»

Ketua Tim Penguji

Anggota Tim Penguji

«penguji 1»

«penguji 2»

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

PERBANDINGAN ALGORITMA BACKTRACKING DENGAN ALGORITMA HYBRID GENETIC UNTUK MENYELESAIKAN PERMAINAN CALCUDOKU

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
Tanggal «tanggal» «bulan» 2017

Meterai
Rp. 6000

Michael Adrian
NPM: 2013730039

ABSTRAK

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Typi non habent claritatem insitam; est usus legentis in iis qui facit eorum claritatem. Investigationes demonstraverunt lectores legere me lius quod ii legunt saepius. Claritas est etiam processus dynamicus, qui sequitur mutationem consuetudium lectorum. Mirum est notare quam littera gothica, quam nunc putamus parum claram, anteposuerit litterarum formas humanitatis per seacula quarta decima et quinta decima. Eodem modo typi, qui nunc nobis videntur parum clari, fiant sollemnes in futurum.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Kata-kata kunci: lorem, ipsum

ABSTRACT

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut labore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Typi non habent claritatem insitam; est usus legentis in iis qui facit eorum claritatem. Investigationes demonstraverunt lectores legere me lius quod ii legunt saepius. Claritas est etiam processus dynamicus, qui sequitur mutationem consuetudium lectorum. Mirum est notare quam littera gothica, quam nunc putamus parum claram, anteposuerit litterarum formas humanitatis per seacula quarta decima et quinta decima. Eodem modo typi, qui nunc nobis videntur parum clari, fiant sollemnes in futurum.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Keywords: lorem, ipsum

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetur adipiscing elit.

KATA PENGANTAR

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit, sed diam nonummy nibh euismod tincidunt ut laoreet dolore magna aliquam erat volutpat. Ut wisi enim ad minim veniam, quis nostrud exerci tation ullamcorper suscipit lobortis nisl ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis autem vel eum iriure dolor in hendrerit in vulputate velit esse molestie consequat, vel illum dolore eu feugiat nulla facilisis at vero eros et accumsan et iusto odio dignissim qui blandit praesent luptatum zzril delenit augue duis dolore te feugait nulla facilisi. Nam liber tempor cum soluta nobis eleifend option congue nihil imperdiet doming id quod mazim placerat facer possim assum. Typi non habent claritatem insitam; est usus legentis in iis qui facit eorum claritatem. Investigationes demonstraverunt lectores legere me lius quod ii legunt saepius. Claritas est etiam processus dynamicus, qui sequitur mutationem consuetudium lectorum. Mirum est notare quam littera gothica, quam nunc putamus parum claram, anteposuerit litterarum formas humanitatis per seacula quarta decima et quinta decima. Eodem modo typi, qui nunc nobis videntur parum clari, fiant sollemnes in futurum.

Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit, sed do eiusmod tempor incididunt ut labore et dolore magna aliqua. Ut enim ad minim veniam, quis nostrud exercitation ullamco laboris nisi ut aliquip ex ea commodo consequat. Duis aute irure dolor in reprehenderit in voluptate velit esse cillum dolore eu fugiat nulla pariatur. Excepteur sint occaecat cupidatat non proident, sunt in culpa qui officia deserunt mollit anim id est laborum.

Bandung, «bulan» 2017

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xx
DAFTAR TABEL	xxiv
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Metodologi Penelitian	4
1.6 Sistematika Pembahasan	4
2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Calcudoku [1] [2]	7
2.2 Algoritma <i>Backtracking</i> [1]	9
2.3 Algoritma <i>Hybrid Genetic</i> [2]	16
2.3.1 Algoritma <i>Rule Based</i>	16
2.3.2 Algoritma Genetik	18
2.3.3 Algoritma <i>Hybrid Genetic</i>	18
3 ANALISIS	23
3.1 Analisis Algoritma <i>Backtracking</i>	23
3.2 Analisis Algoritma <i>Hybrid Genetic</i>	28
3.2.1 Algoritma <i>Rule Based</i>	28
3.2.2 Algoritma Genetik	28
3.3 Perangkat Lunak	44
3.3.1 Diagram <i>Use Case</i> dan Skenario	45
3.3.2 Diagram Kelas	48
3.4 Diagram <i>Sequence</i>	50
4 PERANCANGAN	63
4.1 Perancangan Masukan	63
4.2 Perancangan Keluaran	63
4.3 Perancangan Antarmuka	63
4.4 Diagram Kelas	66
4.4.1 Kelas Grid	67
4.4.2 Kelas Cage	72
4.4.3 Kelas Cell	74
4.4.4 Kelas SolverBacktracking	75

4.4.5	Kelas SolverHybridGenetic	76
4.4.6	Kelas SolverRuleBased	77
4.4.7	Kelas SolverGenetic	81
4.4.8	Kelas Chromosome	84
4.4.9	Kelas ChromosomeComparator	84
4.4.10	Kelas Controller	85
4.4.11	Kelas Calcudoku	86
4.4.12	Kelas WindowListener	89
4.4.13	Kelas PuzzleFileFilter	90
4.4.14	Kelas GUI	90
4.4.15	Kelas CellKeyListener	92
4.4.16	Kelas PopupMenuItemListener	94
4.4.17	Kelas CellTextFieldListener	94
4.4.18	Kelas GeneticParameters	95
5	IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	97
5.1	Lingkungan untuk Pengujian	97
5.2	Implementasi	97
5.2.1	Kode Program	97
5.2.2	Antarmuka Perangkat Lunak	98
5.3	Pengujian Fungsional	101
5.4	Pengujian Keakuratan	110
5.5	Pengujian Algoritma <i>Backtracking</i>	113
5.6	Pengujian dan Eksperimen Algoritma <i>Hybrid Genetic</i>	113
5.6.1	Skenario 1	114
5.6.2	Skenario 2	115
5.6.3	Skenario 3	115
5.6.4	Skenario 4	115
5.6.5	Skenario 5	116
5.6.6	Skenario 6	116
5.6.7	Skenario 7	116
5.6.8	Skenario 8	117
5.6.9	Skenario 9	117
5.6.10	Skenario 10	117
5.6.11	Skenario 11	118
5.6.12	Skenario 12	118
5.6.13	Skenario 13	118
5.6.14	Skenario 14	119
5.6.15	Skenario 15	119
5.6.16	Skenario 16	119
5.6.17	Hasil Eksperimen	120
6	SIMPULAN DAN SARAN	121
6.1	Simpulan	121
6.2	Saran	121
DAFTAR REFERENSI	123	
A ANALISIS ALGORITMA <i>Backtracking</i>	125	
B HASIL PENGUJIAN	139	
B.1 Algoritma <i>Backtracking</i>	139	

B.2	Algoritma <i>Hybrid Genetic</i>	144
C	File TEKS SOAL-SOAL PERMAINAN CALCUDOKU UNTUK PENGUJIAN	153
C.1	File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran 4×4	153
C.2	File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran 5×5	161
C.3	File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran 6×6	167
C.4	File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran 7×7	178
C.5	File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran 8×8	184
C.6	File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran 9×9	190
D	KODE PROGRAM	193

DAFTAR GAMBAR

1.1	Contoh permainan teka-teki Sudoku dengan solusinya	1
1.2	Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan penjelasan tentang elemen-elemen dari teka-teki ini [2]	2
2.1	Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 4 x 4 yang belum diselesaikan. [1]	8
2.2	Solusi untuk permainan teka-teki Calcudoku yang diberikan pada Gambar 2.1 [1]	8
2.3	Ilustrasi <i>State space tree</i> yang digunakan dalam algoritma <i>backtracking</i> [1]	11
2.4	Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 3 x 3 [1]	12
2.5	Ilustrasi <i>state</i> 3, 4, dan 5 pada sebuah <i>grid</i> teka-teki Calcudoku [1]	13
2.6	Ilustrasi <i>state</i> 19 pada sebuah <i>grid</i> teka-teki Calcudoku [1]	14
2.7	<i>State</i> 25, simpul tujuan, sebagai hasil yang dicapai [1]	14
2.8	<i>State space tree</i> yang dikembangkan dalam proses menyelesaikan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar 2.4 [1]	15
2.9	Contoh bagaimana cara mendeteksi aturan <i>naked pair</i> [2]	16
2.10	Contoh aturan <i>evil twin</i> [2]	17
2.11	Contoh aturan <i>hidden single</i> [2]	17
2.12	Contoh aturan <i>killer combination</i> untuk <i>cage</i> dengan ukuran 2 sel dengan operasi matematika penjumlahan [2]	17
2.13	Contoh aturan <i>X-wing</i> [2]	18
2.14	Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 6 x 6 [2]	19
2.15	Contoh proses kawin silang antara dua kromosom [2]	20
2.16	Contoh proses mutasi [2]	20
2.17	Alur penyelesaian permainan teka-teki Calcudoku dengan menggunakan algoritma <i>hybrid genetic</i> [2]	21
3.1	Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 4 x 4 yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1. [1]	23
3.2	<i>State</i> 4	24
3.3	<i>State</i> 11	24
3.4	<i>State</i> 12	24
3.5	<i>State</i> 17	25
3.6	<i>State</i> 18	25
3.7	<i>State</i> 19	25
3.8	<i>State</i> 23	26
3.9	<i>State</i> 93	26
3.10	<i>State space tree</i> yang dikembangkan dalam proses menyelesaikan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar A.1	27
3.11	Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 6 x 6 yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar 1.2. [2]	28
3.12	Permainan teka-teki Calcudoku setelah diselesaikan dengan algoritma <i>rule based</i>	29
3.13	Kromosom 1 dalam Generasi ke-1	30
3.14	Kromosom 2 dalam Generasi ke-1	30

3.15 Kromosom 3 dalam Generasi ke-1	30
3.16 Kromosom 4 dalam Generasi ke-1	31
3.17 Kromosom 5 dalam Generasi ke-1	31
3.18 Kromosom 6 dalam Generasi ke-1	31
3.19 Kromosom 7 dalam Generasi ke-1	32
3.20 Kromosom 8 dalam Generasi ke-1	32
3.21 Kromosom 9 dalam Generasi ke-1	32
3.22 Kromosom 10 dalam Generasi ke-1	33
3.23 Kromosom 11 dalam Generasi ke-1	33
3.24 Kromosom 12 dalam Generasi ke-1	33
3.25 Kromosom 1 dalam Generasi ke-2	35
3.26 Kromosom 2 dalam Generasi ke-2	35
3.27 Kromosom 3 dalam Generasi ke-2	35
3.28 Kromosom 4 dalam Generasi ke-2	36
3.29 Kromosom 5 dalam Generasi ke-2	36
3.30 Kromosom 6 dalam Generasi ke-2	36
3.31 Kromosom 7 dalam Generasi ke-2	37
3.32 Kromosom 8 dalam Generasi ke-2	37
3.33 Kromosom 9 dalam Generasi ke-2	37
3.34 Kromosom 10 dalam Generasi ke-2	38
3.35 Kromosom 11 dalam Generasi ke-2	38
3.36 Kromosom 12 dalam Generasi ke-2	38
3.37 Kromosom 1 dalam Generasi ke-3	40
3.38 Kromosom 2 dalam Generasi ke-3	40
3.39 Kromosom 3 dalam Generasi ke-3	40
3.40 Kromosom 4 dalam Generasi ke-3	41
3.41 Kromosom 5 dalam Generasi ke-3	41
3.42 Kromosom 6 dalam Generasi ke-3	41
3.43 Kromosom 7 dalam Generasi ke-3	42
3.44 Kromosom 8 dalam Generasi ke-3	42
3.45 Kromosom 9 dalam Generasi ke-3	42
3.46 Kromosom 10 dalam Generasi ke-3	43
3.47 Kromosom 11 dalam Generasi ke-3	43
3.48 Kromosom 12 dalam Generasi ke-3	43
3.49 Diagram <i>use case</i> untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku	46
3.50 Diagram kelas untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku	49
3.51 Diagram <i>sequence</i> saat perangkat lunak dibuka	51
3.52 Diagram <i>sequence</i> saat menu item "Load Puzzle File" dalam menu "File" dipilih	52
3.53 Diagram <i>sequence</i> saat file yang ingin dibuka dalam <i>file chooser</i> dipilih	53
3.54 Diagram <i>sequence</i> saat file permainan yang sudah dipilih dibuka	54
3.55 Diagram <i>sequence</i> saat menu item "Reset Puzzle" dalam menu "File" dipilih	55
3.56 Diagram <i>sequence</i> saat menu item "Close Puzzle File" dalam menu "File" dipilih	56
3.57 Diagram <i>sequence</i> saat menu item "Check Puzzle File" dalam menu "File" dipilih	57
3.58 Diagram <i>sequence</i> saat menu item "Backtracking" dalam menu "Solve" dipilih	58
3.59 Diagram <i>sequence</i> saat menu item "Hybrid Genetic" dalam menu "Solve" dipilih	59
3.60 Diagram <i>sequence</i> saat menu item "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih	60
3.61 Diagram <i>sequence</i> saat button "OK" dalam form "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih	60
3.62 Diagram <i>sequence</i> saat button "Cancel" dalam form "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih	61

3.63 Diagram <i>sequence</i> saat perangkat lunak ditutup	61
4.1 Contoh <i>file</i> masukan	64
4.2 Contoh keluaran	64
4.3 Perancangan GUI sebelum <i>file</i> permainan dibuka	64
4.4 Perancangan GUI sesudah <i>file</i> permainan dibuka	65
4.5 Perancangan GUI sesudah permainan berdasarkan <i>file</i> permainan yang dibuka diselesaikan	65
4.6 Menu <i>File</i>	66
4.7 Menu <i>Solve</i>	66
4.8 Diagram kelas untuk perangkat lunak Calcudoku	68
4.9 Diagram kelas Grid	73
4.10 Diagram kelas Cage	74
4.11 Diagram kelas Cell	75
4.12 Diagram kelas SolverBacktracking	76
4.13 Diagram kelas SolverHybridGenetic	77
4.14 Diagram kelas SolverRuleBased	82
4.15 Diagram kelas SolverGenetic	84
4.16 Diagram kelas Chromosome	85
4.17 Diagram kelas ChromosomeComparator	85
4.18 Diagram kelas Controller	86
4.19 Diagram kelas Calcudoku	89
4.20 Diagram kelas WindowListener	90
4.21 Diagram kelas PuzzleFileFilter	90
4.22 Diagram kelas GUI	93
4.23 Diagram kelas CellKeyListener	93
4.24 Diagram kelas PopupMenuItemListener	94
4.25 Diagram kelas JTextFieldListener	95
4.26 Diagram kelas GeneticParameters	96
5.1 Antarmuka perangkat lunak saat pertama kali dibuka	98
5.2 Kotak dialog untuk memilih <i>file</i> permainan yang akan dibuka	99
5.3 Antarmuka perangkat lunak sesudah membuka <i>file</i> permainan yang dipilih	99
5.4 Kotak dialog untuk mengatur nilai dari parameter-parameter algoritma genetik	100
5.5 Antarmuka perangkat lunak setelah permainan berdasarkan <i>file</i> permainan yang telah dibuka diselesaikan	100
5.6 Kotak pesan error " <i>Puzzle file not loaded</i> "	101
5.7 Kotak pemilihan <i>file</i> permainan	102
5.8 Kotak dialog "Are you sure you want to load another puzzle file?"	102
5.9 Pesan error " <i>Invalid puzzle file</i> "	102
5.10 Pesan error " <i>Invalid cages</i> "	103
5.11 Pesan error " <i>Error in loading puzzle file</i> "	103
5.12 Pesan informasi " <i>Congratulations, you have successfully solved the puzzle</i> "	104
5.13 Kotak dialog "Are you sure you want to reset this puzzle?"	104
5.14 Pesan informasi " <i>Row</i> (nomor baris) has duplicate numbers"	105
5.15 Pesan informasi " <i>Column</i> (nomor kolom) has duplicate numbers"	105
5.16 Pesan informasi " <i>Values of cells in the cage do not reach the target number</i> "	105
5.17 Pesan informasi " <i>There are cells with incorrect values in the grid</i> "	106
5.18 Pesan informasi " <i>There are empty cells in the grid</i> "	106
5.19 Pesan informasi " <i>The backtracking algorithm has successfully solved the puzzle</i> "	107
5.20 Pesan informasi " <i>The backtracking algorithm has failed to solve the puzzle</i> "	107
5.21 Pesan informasi " <i>Genetic algorithm parameters have not been set</i> "	108

5.22 Pesan informasi "The hybrid genetic algorithm has successfully solved the puzzle" . . .	108
5.23 Pesan informasi "The hybrid genetic algorithm has failed to solve the puzzle"	109
5.24 Form untuk mengatur nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik	109
5.25 Pesan error "Invalid number format"	109
5.26 Kotak dialog "Are you sure you want to close this puzzle file?"	110
5.27 Kotak dialog "Are you sure you want to exit the application?"	110
5.28 File masukan untuk pengujian keakuratan	111
5.29 GUI permainan berdasarkan file masukan yang dapat dilihat pada Gambar 5.28 . .	111
5.30 Solusi untuk permainan berdasarkan file masukan yang dapat dilihat pada Gambar 5.28	113
A.1 Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran grid 4 x 4 yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1. [1]	125
A.2 State 4	126
A.3 State 11	126
A.4 State 12	126
A.5 State 17	127
A.6 State 18	127
A.7 State 19	127
A.8 State 23	128
A.9 State 24	128
A.10 State 31	129
A.11 State 32	129
A.12 State 34	129
A.13 State 37	130
A.14 State 47	130
A.15 State 48	131
A.16 State 52	131
A.17 State 53	131
A.18 State 68	132
A.19 State 69	133
A.20 State 71	133
A.21 State 72	133
A.22 State 74	134
A.23 State 75	134
A.24 State 76	134
A.25 State 77	135
A.26 State 78	135
A.27 State 81	135
A.28 State 83	136
A.29 State 85	136
A.30 State 88	136
A.31 State 92	137
A.32 State 93	137

DAFTAR TABEL

3.1	Tabel parameter untuk algoritma genetik yang akan digunakan untuk menyelesaikan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar 3.12	29
3.2	Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-1	34
3.3	Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-1	39
3.4	Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-3	44
3.5	Skenario me- <i>load file</i>	45
3.6	Skenario memilih salah satu dari dua <i>solver</i> yang disediakan	46
3.7	Skenario me- <i>reset</i> permainan	47
3.8	Skenario meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan	47
3.9	Skenario menutup <i>file</i> masukan	48
3.10	Skenario menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri	48
3.11	Skenario mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik	49
5.1	Lingkungan perangkat keras untuk pengujian perangkat lunak	97
5.2	Lingkungan perangkat lunak untuk pengujian perangkat lunak	98
5.3	Hasil pengujian algoritma <i>backtracking</i> untuk Calcudoku	113
5.4	Nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik untuk setiap percobaan yang dilakukan	114
5.5	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 1)	114
5.6	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 2)	115
5.7	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 3)	115
5.8	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 4)	115
5.9	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 5)	116
5.10	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 6)	116
5.11	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 7)	116
5.12	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 8)	117
5.13	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 9)	117
5.14	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 10)	117
5.15	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 11)	118
5.16	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 12)	118
5.17	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 13)	118
5.18	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 14)	119
5.19	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 15)	119
5.20	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku (Skenario 16)	119
B.1	Hasil pengujian algoritma <i>backtracking</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 4×4 .	140
B.2	Hasil pengujian algoritma <i>backtracking</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 5×5 .	141
B.3	Hasil pengujian algoritma <i>backtracking</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 6×6 .	142
B.4	Hasil pengujian algoritma <i>backtracking</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 7×7 .	143
B.5	Hasil pengujian algoritma <i>backtracking</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 8×8 .	143
B.6	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 4×4 (Skenario 1-4)	145

B.7 Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 4×4 (Skenario 5-8)	146
B.8 Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 4×4 (Skenario 9-12)	147
B.9 Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 4×4 (Skenario 13-16)	148
B.10 Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 5×5 (Skenario 1-4)	149
B.11 Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 5×5 (Skenario 5-8)	150
B.12 Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 5×5 (Skenario 9-12)	151
B.13 Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> 5×5 (Skenario 13-16)	152

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika pembahasan dari skripsi ini.

1.1 Latar Belakang

Calcudoku, atau dikenal juga sebagai KenKen, atau Mathdoku, adalah sebuah permainan teka-teki (*puzzle*) angka yang untuk menyelesaiakannya memerlukan perpaduan dari logika dan kemampuan aritmatika yang sederhana. Permainan ini adalah sebuah permainan teka-teki logika yang sederhana, namun, untuk menemukan solusinya cukup rumit, terutama untuk masalah yang lebih susah.

Teka-teki ini mirip dengan Sudoku. Sudoku adalah sebuah permainan teka-teki angka dengan *grid* berukuran n^2 , di mana dalam setiap baris, kolom, dan n^2 area yang berukuran $n \times n$ tidak boleh ada angka yang berulang, dengan n adalah ukuran area. Biasanya, $n = 3$, sehingga *grid* berukuran 9×9 , dan ada 9 area yang berukuran 3×3 . Contoh permainan teka-teki Sudoku dapat dilihat pada Gambar 1.1.

Persamaannya, tujuan dari teka-teki ini adalah mengisi setiap sel (*cell*) dalam (*grid*) dengan angka 1 sampai n tanpa pengulangan angka dalam setiap kolomnya dan barisnya untuk *grid* berukuran $n \times n$, dengan n adalah ukuran *grid*. Tidak ada angka yang boleh muncul lebih dari sekali dalam setiap baris atau kolom dalam *grid*.

Perbedaannya, jika pada Sudoku *grid* berukuran $n \times n$ dibagi menjadi n (*cage*) dengan setiap *cage* terdiri atas n sel, pada Calcudoku *grid* dibagi menjadi sejumlah *cage* yang jumlah selnya bervariasi. Setiap *cage* dibatasi oleh garis yang lebih tebal daripada garis pembatas antar sel. Angka-angka dalam satu *cage* yang sama harus menghasilkan angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operasi matematika yang telah ditentukan (penjumlahan, pengurangan, perkalian, atau pembagian). Angka-angka dalam satu *cage* juga boleh berulang, selama pengulangan tidak terjadi dalam satu kolom atau baris yang sama. Jika *cage* hanya berisi satu sel, maka satu-satunya kemungkinan jawaban untuk sel tersebut adalah angka tujuan dari *cage* tersebut. Angka tujuan dan operasi matematika dituliskan di sudut kiri atas *cage*. Pada awalnya,

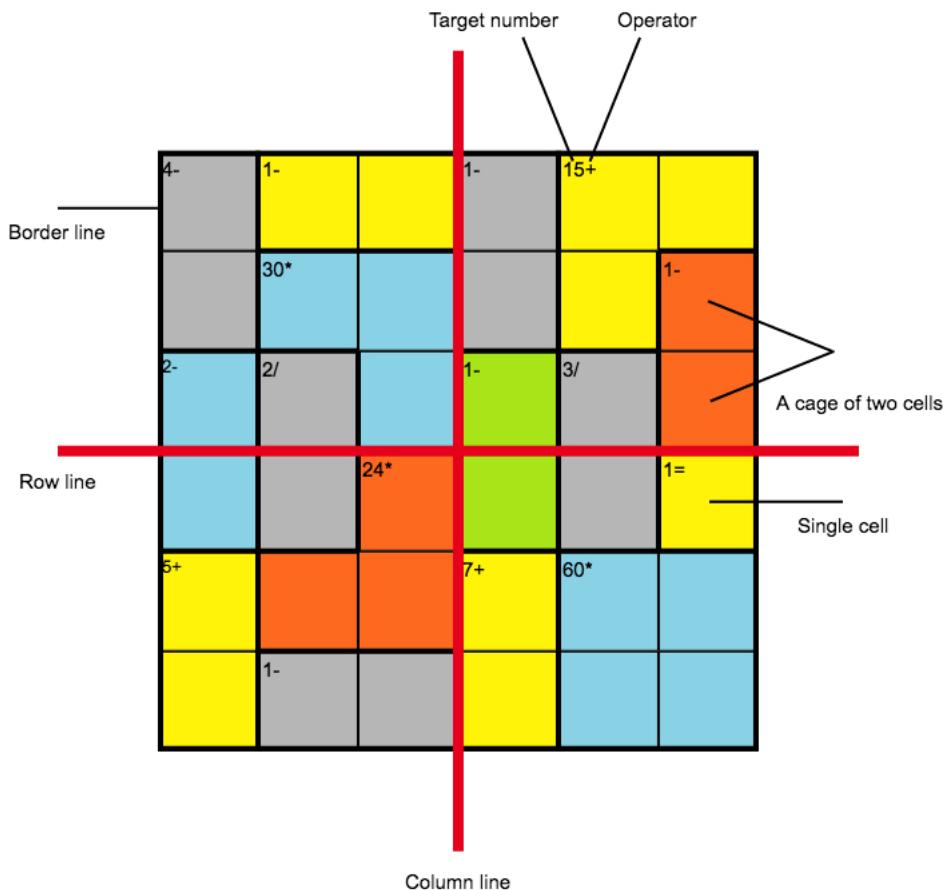
2	5	1	9
8		2	3
3		6	7
	1		6
5	4		1 9
	2		7
9		3	8
2		8	4
1	9	7	6

Unsolved Sudoku

4	2	6	5	7	1	3	9	8
8	5	7	2	9	3	1	4	6
1	3	9	4	6	8	2	7	5
9	7	1	3	8	5	6	2	4
5	4	3	7	2	6	8	1	9
6	8	2	1	4	9	7	5	3
7	9	4	6	3	2	5	8	1
2	6	5	8	1	4	9	3	7
3	1	8	9	5	7	4	6	2

Solved Sudoku

Gambar 1.1: Contoh permainan teka-teki Sudoku dengan solusinya



Gambar 1.2: Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan penjelasan elemen-elemen dari teka-teki ini [2]

setiap sel dalam setiap *cage* dalam teka-teki ini kosong, belum terisi oleh angka-angka. *Border line* adalah garis pembatas terluar, *row line* adalah garis pembatas antar baris, dan *column line* adalah garis pembatas antar kolom. Gambar 1.2 menggambarkan contoh sebuah permainan teka-teki Calcudoku [1] [2].

Calcudoku dapat diselesaikan menggunakan beberapa algoritma. Skripsi ini membahas tentang penyelesaian Calcudoku menggunakan algoritma *backtracking* dan algoritma *hybrid genetic*, dan perbandingan performansi *performance* antara kedua algoritma tersebut dalam hal kecepatan dan kesuksesan dalam menyelesaikan Calcudoku.

Algoritma *backtracking* adalah sebuah algoritma umum yang mencari solusi dengan mencoba salah satu dari beberapa pilihan, jika pilihan yang dipilih ternyata salah, komputasi dimulai lagi pada titik pilihan dan mencoba pilihan lainnya. Untuk bisa melacak kembali langkah-langkah yang telah dipilih, maka algoritma harus secara eksplisit menyimpan jejak dari setiap langkah yang sudah pernah dipilih, atau menggunakan rekursi (*recursion*). Rekursi dipilih karena jauh lebih mudah daripada harus menyimpan jejak setiap langkah yang pernah dipilih, hal ini menyebabkan algoritma ini biasanya berbasis DFS (*Depth First Search*) [1].

Algoritma *rule based* adalah sebuah algoritma berbasis aturan logika untuk menyelesaikan permainan teka-teki Sudoku dan variasinya, termasuk Calcudoku. Beberapa aturan logika yang digunakan dalam algoritma ini adalah *single square rule*, *naked subset rule*, *hidden single rule*, *evil twin rule*, *killer combination*, dan *X-wing*.

Pencarian heuristik adalah sebuah teknik pencarian kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang menggunakan heuristik dalam langkah-langkahnya. Heuristik adalah semacam aturan tidak tertulis yang mungkin menghasilkan solusi. Heuristik kadang-kadang efektif, tetapi tidak dijamin akan berhasil. dalam setiap kasus. Heuristik memerlukan peran penting dalam strategi pencarian

karena sifat eksponensial dari kebanyakan masalah. Heuristik membantu mengurangi jumlah alternatif solusi dari angka yang bersifat eksponensial menjadi angka yang bersifat polinomial. Contoh teknik pencarian heuristik adalah *Generate and Test*, *Hill Climbing*, dan *Best First Search*.

Algoritma genetik adalah salah satu teknik heuristik *Generate and Test* yang terinspirasi oleh sistem seleksi alam. Algoritma ini adalah perpaduan dari bidang biologi dan ilmu komputer. Algoritma ini adalah salah satu dari teknik pencarian heuristik.

Algoritma ini memanipulasi informasi, biasanya disebut sebagai kromosom. Kromosom ini mengkodekan kemungkinan jawaban untuk sebuah masalah yang diberikan. Kromosom dievaluasi dan diberi *fitness value* berdasarkan seberapa baikkah kromosom dalam menyelesaikan masalah yang diberikan berdasarkan kriteria yang ditentukan oleh pembuat program. Nilai kelayakan ini digunakan sebagai probabilitas kebertahanan hidup kromosom dalam satu siklus reproduksi. Kromosom baru (kromosom anak, *child chromosome*) diproduksi dengan menggabungkan dua (atau lebih) kromosom orang tua (*parent chromosome*). Proses ini dirancang untuk menghasilkan kromosom-kromosom keturunan yang lebih layak, kromosom-kromosom ini menyandikan jawaban yang lebih baik, sampai solusi yang baik dan yang bisa diterima ditemukan.

Algoritma *hybrid genetic* adalah gabungan antara algoritma genetik dan algoritma-algoritma lainnya. Dalam kasus ini, algoritma genetik digabungkan dengan algoritma *rule based*. Algoritma *rule based* akan dijalankan sampai pada titik dimana algoritma tidak bisa menyelesaikan permainan teka-teki Calcudoku. Jika algoritma sudah tidak bisa menyelesaikan permainan, maka algoritma genetik akan mulai dijalankan [2].

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana cara mengimplementasikan perangkat lunak (*software*) permainan teka-teki Calcudoku?
2. Bagaimana cara mengimplementasikan algoritma *backtracking* untuk menyelesaikan Calcudoku?
3. Bagaimana cara mengimplementasikan algoritma *hybrid genetic* untuk menyelesaikan Calcudoku?
4. Bagaimana perbandingan performansi algoritma *backtracking* dengan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan Calcudoku?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dirumuskan, maka tujuan dari pembuatan skripsi ini adalah:

1. Membuat perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku yang menerima input berupa soal teka-teki dan mampu menyelesaikan soal teka-teki tersebut menggunakan algoritma *backtracking* dan *hybrid genetic*.
2. Membandingkan performansi algoritma *backtracking* dengan algoritma *hybrid genetic* dalam hal kecepatan dan kesuksesan dalam menyelesaikan Calcudoku.

1.4 Batasan Masalah

Ruang lingkup dari skripsi ini dibatasi oleh batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Ukuran *grid* untuk permainan teka-teki Calcudoku adalah antara 4×4 sampai dengan 8×8 . Pada awalnya, ukuran *grid* direncanakan akan dibatasi dari 3×3 sampai dengan 9×9 , tetapi karena kurangnya contoh soal teka-teki Calcudoku dengan ukuran 3×3 , dan ada masalah saat pengujian (keluar pesan error "*Memory full*" saat menguji *solver* dengan algoritma *backtracking* pada *grid* yang berukuran 9×9 , maka ukuran *grid* dibatasi dari 4×4 sampai dengan 8×8 .
2. Pada algoritma *rule based*, yang merupakan bagian dari algoritma *hybrid genetic*, aturan-aturan logika yang digunakan dibatasi hanya pada aturan *single square*, *naked single*, *naked double*, *hidden single*, dan *killer combination*.

1.5 Metodologi Penelitian

Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam pembuatan skripsi ini adalah:

1. Studi literatur
 - (a) Melakukan studi literatur tentang permainan teka-teki Calcudoku.
 - (b) Melakukan studi literatur tentang algoritma *backtracking*.
 - (c) Melakukan studi literatur tentang algoritma *rule based* dan algoritma genetik.
2. Analisis, perancangan, dan pengembangan perangkat lunak
 - (a) Melakukan analisis dan menentukan fitur-fitur yang diperlukan dalam perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku.
 - (b) Membuat perangkat lunak Calcudoku dengan fitur-fitur yang telah ditentukan.
 - (c) Mengimplementasikan algoritma *backtracking* untuk Calcudoku.
 - (d) Mengimplementasikan algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku.
 - (e) Membandingkan performansi algoritma *backtracking* dengan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan Calcudoku.
3. Melakukan pengujian dan eksperimen terhadap perangkat lunak Calcudoku yang telah dibuat.
4. Membuat kesimpulan berdasarkan hasil pengujian perangkat lunak yang telah dibuat.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika pembahasan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Bab 1 berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan masalah, metodologi penelitian, dan sistematika pembahasan dari skripsi ini.
2. Bab 2 membahas tentang landasan teori yang digunakan dalam skripsi ini, yaitu tentang permainan teka-teki Calcudoku, algoritma *backtracking* dan algoritma *hybrid genetic*.
3. Bab 3 membahas tentang analisis perangkat lunak Calcudoku dan analisis algoritma *backtracking* dan algoritma *hybrid genetic*.
4. Bab 4 membahas tentang perancangan dan pembuatan perangkat lunak Calcudoku dan algoritma *backtracking* dan algoritma *hybrid genetic* untuk menyelesaikan permainan, perancangan antarmuka (*interface*), input dan output, diagram kelas (*class diagram*), dan diagram aktivitas (*activity diagram*).

5. Bab 5 membahas tentang implementasi dari perangkat lunak Calcudoku dan algoritma *backtracking* dan algoritma *hybrid genetic* yang telah dirancang, implementasi antarmuka, input dan output yang telah dirancang, dan pengujian perangkat lunak Calcudoku dalam hal perbandingan performansi algoritma *backtracking* dan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan.
6. Bab 6 berisi simpulan dari pembuatan perangkat lunak Calcudoku dan hasil pengujinya, dan saran untuk penelitian pengembangan perangkat lunak selanjutnya.

BAB 2

LANDASAN TEORI

Bab ini membahas tentang landasan teori yang akan digunakan dalam skripsi ini yang diambil dari dua sumber, yaitu "KenKen Puzzle Solver using Backtracking Algorithm" karya Asanilta Fahda [1] dan "Solving and Modeling Ken-ken Puzzle by Using Hybrid Genetics Algorithm" karya Olivia Johanna, Samuel Lukas, dan Kie Van Ivanký Saputra [2].

2.1 Calcudoku [1] [2]

Sebagai salah satu jenis permainan teka-teki aritmatika dan *grid*, Calcudoku, atau dikenal juga sebagai KenKen, KenDoku, atau Mathdoku, diciptakan pada tahun 2004 oleh seorang guru matematika dari Jepang yang bernama Tetsuya Miyamoto untuk memenuhi tujuannya untuk melatih kemampuan matematika dan logika siswa-siswinya dengan cara yang menyenangkan. Nama KenKen diambil dari kata bahasa Jepang yang berarti kepandaian. Permainan yang mengasah otak ini dengan cepat menyebar ke seluruh Jepang dan Amerika Serikat, mengantikan permainan teka-teki silang di banyak koran. Permainan ini kemudian menjadi sensasi di seluruh dunia setelah munculnya versi *online* dan *mobile* dari permainan teka-teki ini, khususnya menarik untuk pecinta permainan teka-teki angka seperti Sudoku.

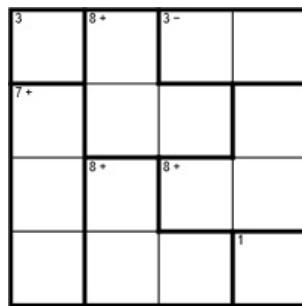
Seperti dalam Sudoku, dalam teka-teki ini, pemain diberikan sebuah *grid* dengan ukuran $n \times n$, dengan n biasanya $3 \leq n \leq 9$. *Grid* ini harus diisi dengan angka 1 sampai dengan n sehingga dalam setiap baris setiap angka hanya muncul sekali, dalam setiap kolom setiap angka hanya muncul sekali. Perbedaannya dengan Sudoku adalah, Calcudoku dibagi ke dalam *cage* (sekelompok sel yang dibatasi oleh garis yang lebih tebal daripada garis pembatas antar sel, setiap *cage* mempunyai angka tujuan dan operator yang telah ditentukan), dan angka-angka dalam setiap *cage* harus mencapai angka tujuan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan. Angka tujuan dan operasi yang telah ditentukan ditulis di sudut kiri atas *cage*. Ada lima kemungkinan operator:

1. $+$, sebuah operator n -ary yang menandakan penjumlahan.
2. $-$, sebuah operator biner yang menandakan pengurangan.
3. \times , sebuah operator n -ary yang menandakan perkalian.
4. \div sebuah operator biner yang menandakan pembagian.
5. $=$, (simbol ini biasanya dihilangkan), sebuah operator uner yang menandakan persamaan.

Jika operasi matematika yang ditentukan adalah pengurangan atau pembagian, maka ukuran *cage* harus berukuran dua sel. Pada beberapa versi dari teka-teki ini, hanya angka tujuan yang diberikan, dan pemain harus menebak operator dari setiap *cage* untuk menyelesaikan teka-tekiya [1] [2].

Untuk menyelesaikan sebuah teka-teki Calcudoku, pemain pertama-tama harus memahami dua permasalahan utama dari teka-teki ini, yaitu:

1. Angka-angka mana yang harus dimasukkan ke dalam sebuah *cage*



Gambar 2.1: Contoh permainan teka-teki dengan ukuran *grid* 4×4 yang belum diselesaikan. [1]

3	8+	3-	
1	4	2	3
4	1	3	2
2	3	4	1

Gambar 2.2: Solusi untuk permainan teka-teki Calcudoku yang diberikan pada Gambar 2.1.

2. Dalam urutan apa angka-angka tersebut harus dimasukkan ke dalam sebuah *cage*

Seperti kebanyakan permainan teka-teki angka, cara yang paling mudah untuk menyelesaikan teka-teki ini adalah dengan mengeliminasi angka-angka yang sudah digunakan dan mencoba satu per satu angka yang mungkin (*trial and error*).

Dalam pengisian teka-teki ini ada dua tahapan, yaitu:

1. Mencari *cage* yang hanya berukuran 1 sel, karena *cage* ini tidak menghasilkan pertanyaan angka apa dan urutan apa. Tahap ini adalah tahap yang paling jelas. Contoh, pada Gambar 2.1, *cage* pada sudut kiri atas dan *cage* pada sudut kanan bawah hanya berukuran 1 sel, dan dapat langsung diisi dengan angka tujuannya.
2. Mencari *cage* yang hanya mempunyai satu kemungkinan kombinasi angka, sehingga masalah angka-angka apa yang harus diisi dalam *cage* tersebut terjawab. Contoh, *cage* pada sudut kanan atas mempunyai aturan "3-", artinya angka tujuannya adalah 3 dengan menggunakan operasi pengurangan. Satu-satunya pasangan angka dari himpunan $\{1,2,3,4\}$ yang akan menghasilkan angka 3 saat satu angka dikurangkan dari angka yang lainnya adalah $\{1,4\}$. Namun masalahnya adalah urutan angka-angka yang harus dimasukkan. Dalam kasus ini, untungnya, sel pada sudut kanan bawah sudah diisi dengan angka 1, maka angka 1 tidak bisa digunakan lagi pada kolom yang paling kanan. Jadi, dengan menggunakan cara eliminasi, sel pada sudut kanan atas harus diisi dengan angka 4 dan sel di sebelah kirinya, yaitu sel pada baris yang paling atas dan kolom ketiga dari kiri, harus diisi dengan angka 1. Hal ini memberikan solusi untuk sel pada baris yang paling atas dan kolom kedua dari kiri, yaitu angka 2, karena angka 2 adalah angka yang belum pernah dipakai dalam baris tersebut. Proses ini berlanjut sampai semua sel dalam *grid* terisi dan menghasilkan solusi pada Gambar 2.2 [1].

Seiring dengan meningkatnya tingkat kesulitan, langkah berikutnya tidak akan langsung muncul dengan jelas. Kadang-kadang, pemain mencapai titik dimana langkah berikutnya tidak pasti. Pemain harus menebak langkah-langkah berikutnya dan melihat apakah langkah ini akan menghasilkan solusinya. Jika tidak, pemain harus mundur kembali ke titik ketidakpastian tersebut.

Sebuah teka-teki Calcudoku dengan ukuran $n \times n$, dengan n melambangkan jumlah sel dalam satu baris atau kolom, mempunyai n^2 sel dalam sebuah *grid*. Sel yang terletak dalam baris b dan kolom k diberi label $C_{b,k} = bn + k$ dan nilai dari sel tersebut adalah $V(C_{b,k}) \in \{1, 2, \dots, n\}$. Nomor baris b memiliki *range* $0 \leq b \leq n - 1$. Nomor kolom k memiliki *range* $0 \leq k \leq n - 1$. Nomor sel C memiliki *range* $0 \leq C \leq n^2 - 1$. Nomor sel adalah hasil perkalian dari nomor baris tempat sebuah sel berada dikalikan dengan banyaknya sel dalam sebuah baris, lalu dijumlahkan dengan nomor kolom tempat sebuah sel berada. Sebuah *cage*, yang diberi label A_i adalah sebuah himpunan dari sel, yaitu $A_i = \{C_{b,k}\}$. Setiap *cage* terhubung dengan satu operator aritmatika $O_i \in \{+, -, \times, \div, =\}$, artinya operator aritmatika adalah salah satu dari penjumlahan, pengurangan, perkalian, pembagian, dan sama dengan, dan satu angka tujuan $H_i \in N$, artinya angka tujuan adalah sebuah bilangan asli. Tiga aturan dalam mendefinisikan masalah dalam Calcudoku adalah sebagai berikut [2]:

1. $|A_i| = 1 \rightarrow O_i = \phi$, artinya setiap *cage* yang jumlah selnya 1 dengan operasi matematika yang terkait dengan *cage* tersebut memiliki hubungan korespondensi satu ke satu.
2. $O_i \in \{-, \div\} \rightarrow |A_i| = 2$, artinya jika operasi yang digunakan dalam sebuah *cage* adalah pengurangan atau pembagian, maka jumlah sel dalam *cage* tersebut harus 2.
3. $\forall C_{b,k} \rightarrow C_{b,k} \in \exists! A_i$, artinya setiap sel hanya boleh menjadi anggota dari satu dan hanya satu *cage*.

Tujuan dari teka-teki ini adalah untuk mencari nilai $V(C_{b,k})$ dan memenuhi persyaratan berikut [2]:

1. $|A_i| = 1 \wedge C_{b,k} \in A_i \rightarrow V(C_{b,k}) = H_i$, artinya jika sel adalah bagian dari sebuah *cage* yang jumlah selnya 1, maka nilai dari sel tersebut adalah angka tujuan dari *cage* tersebut.
2. $O_i \in \{-\} \wedge A_i = \{C_{a,b}, C_{p,q}\} \rightarrow |V(C_{a,b}) - V(C_{p,q})| = H_i$, artinya jika sebuah *cage* yang operasi matematikanya adalah pengurangan, maka nilai absolut dari hasil pengurangan nilai kedua sel di dalam *cage* tersebut adalah angka tujuan dari *cage* tersebut.
3. $O_i \in \{\div\} \wedge A_i = \{C_{a,b}, C_{p,q}\} \rightarrow V(C_{a,b})/V(C_{p,q}) = H_i$, artinya jika sebuah *cage* yang operasi matematikanya adalah pembagian, maka nilai dari hasil pembagian nilai kedua sel di dalam *cage* tersebut adalah angka tujuan dari *cage* tersebut.
4. $O_i \in \{+\} \rightarrow \sum_{C_{b,k} \in A_i} V(C_{b,k}) = H_i$, artinya jika sebuah *cage* yang operasi matematikanya adalah penjumlahan, maka nilai dari hasil penjumlahan dari nilai semua sel di dalam *cage* tersebut adalah angka tujuan dari *cage* tersebut.
5. $O_i \in \{\times\} \rightarrow \prod_{C_{b,k} \in A_i} V(C_{b,k}) = H_i$, artinya jika sebuah *cage* yang operasi matematikanya adalah perkalian, maka nilai dari hasil perkalian dari nilai semua sel di dalam *cage* tersebut adalah angka tujuan dari *cage* tersebut.

2.2 Algoritma Backtracking [1]

Algoritma *backtracking* adalah sebuah algoritma umum yang mencari solusi dengan mencoba salah satu dari beberapa pilihan, jika pilihan yang dipilih ternyata salah, komputasi dimulai lagi pada titik pilihan dan mencoba pilihan lainnya. Untuk bisa melacak kembali langkah-langkah yang telah dipilih, maka algoritma harus secara eksplisit menyimpan jejak dari setiap langkah yang sudah pernah dipilih, atau menggunakan rekursi (*recursion*). Rekursi dipilih karena jauh lebih mudah daripada harus menyimpan jejak setiap langkah yang pernah dipilih. Hal ini menyebabkan algoritma ini biasanya berbasis DFS (*Depth First Search*).

Algoritma *backtracking* pertama kali diperkenalkan pada tahun 1950 oleh D.H. Lehmer sebagai perbaikan algoritma *brute force*. Algoritma ini lalu dikembangkan lebih lanjut oleh R.J. Walker, S.W. Golomb, dan L.D. Baumert. Algoritma ini terbukti efektif untuk menyelesaikan banyak

permainan logika (misalnya *tic tac toe*, *maze*, catur, dan lain-lain) karena algoritma itu terutama berguna untuk menyelesaikan masalah-masalah *constraint satisfaction*, di mana sekumpulan objek harus memenuhi sejumlah batasan.

Implementasi algoritma *backtracking* memiliki tiga sifat umum, yaitu [1]:

1. *Solution space*

Solusi untuk masalah ini dinyatakan sebagai sebuah vektor X dengan n -tuple:

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n), x_i \in S_i$$

di mana adalah mungkin bahwa:

$$S_1 = S_2 = \dots = S_n$$

2. Fungsi pembangkit X_k (*generating function*)

Fungsi pembangkit X_k dinyatakan sebagai:

$$T(k)$$

di mana $T(k)$ membangkitkan nilai X_k , dari 1 sampai n , yang merupakan komponen dari vektor solusi.

3. Fungsi pembatas (*bounding function*)

Fungsi pembatas dinyatakan sebagai:

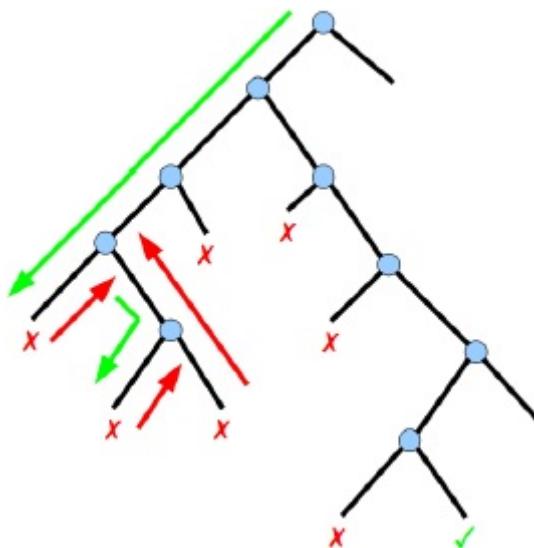
$$B(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

di mana B bernilai *true* jika (x_1, x_2, \dots, x_k) mengarah ke solusi. Jika B bernilai *true*, maka nilai $x_k + 1$ akan terus dibangkitkan, dan jika B bernilai *false*, maka (x_1, x_2, \dots, x_k) akan dibuang.

Ruang solusi untuk algoritma *backtracking* disusun dalam sebuah struktur berbentuk pohon (*tree*), di mana setiap simpul (*node*) merepresentasikan keadaan masalah dan sisi (*edge*) diberi label x_i . Jalur dari akar (*root*) ke daun (*leaf*) merepresentasikan sebuah jawaban yang mungkin, dan semua jalur yang dikumpulkan bersama-sama membentuk ruang solusi. Struktur pohon ini disebut sebagai *state space tree*. Gambar 2.3 menggambarkan contoh sebuah *state space tree*.

Langkah-langkah dalam menggunakan *state space tree* untuk mencari solusi adalah [1]:

1. Solusi dicari dengan membangun jalur dari akar ke daun menggunakan algoritma DFS.
2. Simpul yang terbentuk disebut sebagai simpul hidup (*live nodes*).
3. Simpul yang sedang diperluas disebut sebagai *expand nodes* atau *E-nodes*.
4. Setiap kali sebuah *E-node* sedang diperluas, jalur yang dikembangkannya menjadi lebih panjang.
5. Jika jalur yang sedang dikembangkan tidak mengarah ke solusi, maka *E-node* dimatikan dan menjadi simpul mati (*dead node*).
6. Fungsi yang digunakan untuk mematikan *E-node* adalah implementasi dari fungsi pembatas.
7. Simpul mati tidak akan diperluas.
8. Jika jalur yang sedang dibangun berakhir dengan simpul mati, proses akan mundur ke simpul sebelumnya.



Gambar 2.3: Ilustrasi *State space tree* yang digunakan dalam algoritma *backtracking* [1]

9. Simpul sebelumnya terus membangkitkan simpul anak (*child node*) lainnya, yang kemudian menjadi *E-node* baru.
10. Pencarian selesai jika simpul tujuan tercapai.

Setiap simpul di dalam *state space tree* terkait dengan panggilan rekursif. Jika jumlah simpul di dalam pohon $2n$ atau $n!$, maka pada kasus terburuk untuk algoritma *backtracking* ini memiliki kompleksitas waktu $O(p(n)2n)$ atau $O(q(n)n!)$, dengan $p(n)$ dan $q(n)$ sebagai polinomial dengan n -derajat menyatakan waktu komputasi untuk setiap simpul.

Ruang solusi untuk sebuah permainan teka-teki Calcudoku dengan *grid* yang berukuran $n \times n$ adalah $X = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, $x_i \in \{1, 2, \dots, n\}$, dengan $m = n^2$. Jadi, n adalah jumlah sel dalam satu baris atau kolom, X adalah sebuah himpunan yang merepresentasikan isi dari setiap sel dalam *grid*, dimulai pada sel pada sudut kiri atas, lalu bergerak ke sel di sebelah kanannya dalam baris yang sama, jika sudah mencapai sel yang paling kanan maka bergerak ke sel yang paling kiri pada baris dibawahnya, hingga berakhir pada sel pada sudut kanan bawah, dan S_i adalah sebuah himpunan yang berisi angka-angka dari 1 sampai n .

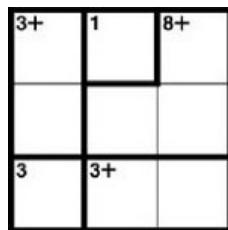
Fungsi pembangkit membangkitkan sebuah integer secara berurutan dari 1 sampai n sebagai x_k . Fungsi pembatas menggabungkan tiga fungsi pemeriksa pembatas (*constraint checking*), yaitu fungsi pemeriksa kolom (*column checking*), fungsi pemeriksa baris (*row checking*), dan fungsi pemeriksa *grid* (*grid checking*).

Fungsi pemeriksa kolom menghasilkan nilai *true* jika x_k belum ada di dalam kolom dan menghasilkan nilai *false* jika x_k sudah ada di dalam kolom.

Fungsi pemeriksa baris menghasilkan nilai *true* jika x_k belum ada di dalam baris dan menghasilkan nilai *false* jika x_k sudah ada di dalam baris.

Fungsi pemeriksa *grid* memeriksa operator pada *grid* dan memeriksa berdasarkan operator yang telah ditentukan. Ada 5 operator yang digunakan dalam fungsi ini, yaitu:

1. Operator penjumlahan (+), fungsi menghasilkan nilai *true* jika hasil penjumlahan semua nilai yang ada pada *grid* ditambah dengan x_k kurang dari atau sama dengan nilai tujuan, dan menghasilkan nilai *false* jika jumlah semua nilai yang ada pada *grid* ditambah x_k lebih dari nilai tujuan.
2. Operator pengurangan (-), fungsi menghasilkan nilai *true* jika kedua sel dalam *grid* kosong, atau jika ada satu sel yang kosong dan hasil dari x_k dikurangi dengan nilai dari sel yang lainnya atau hasil dari nilai dari sel yang lainnya dikurangi dengan x_k menghasilkan nilai



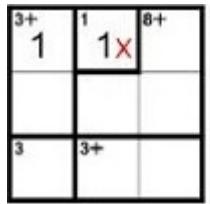
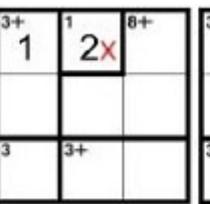
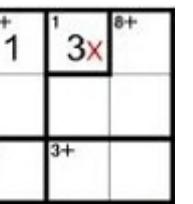
Gambar 2.4: Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran $grid$ 3×3 [1]

tujuan, dan menghasilkan nilai *false* jika ada satu sel kosong dan hasil dari x_k dikurangi dengan nilai dari sel yang lainnya atau hasil dari nilai dari sel yang lainnya dikurangi dengan x_k tidak menghasilkan nilai tujuan.

3. Operator perkalian (\times), fungsi menghasilkan nilai *true* jika hasil perkalian dari semua nilai yang ada pada $grid$ dikali dengan x_k kurang dari atau sama dengan nilai tujuan, dan menghasilkan nilai *false* jika hasil perkalian dari semua nilai yang ada pada $grid$ dikali dengan x_k lebih dari nilai tujuan.
4. Operator pembagian (\div), fungsi menghasilkan nilai *true* jika kedua sel dalam $grid$ kosong, atau jika ada satu sel yang kosong dan hasil dari x_k dibagi dengan nilai dari sel yang lainnya atau hasil dari nilai dari sel yang lainnya dibagi dengan x_k menghasilkan nilai tujuan, dan menghasilkan nilai *false* jika ada satu sel yang kosong dan hasil dari x_k dibagi dengan nilai dari sel yang lainnya atau hasil dari nilai dari sel yang lainnya dibagi dengan x_k tidak menghasilkan nilai tujuan.
5. Operator $=$, fungsi akan menghasilkan nilai *true* jika x_k sama dengan nilai tujuan, dan menghasilkan nilai *false* jika x_k tidak sama dengan nilai tujuan.

State space tree bersifat dinamis, berkembang secara terus-menerus sampai solusi ditemukan. Untuk mengilustrasikan berkembangnya *state space tree*, teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar 2.4 akan digunakan. Berikut ini adalah tahap-tahap berkembangnya *state space tree* untuk teka-teki tersebut.

1. *State space tree* dimulai dengan *state 1* yang merepresentasikan sebuah $grid$ yang kosong.
2. Fungsi pembangkit pertama-tama akan membangkitkan angka 1 sebagai x_1 , yang akan diisi pada sel pertama yang kosong, yaitu sel yang terletak di sudut kiri atas $grid$, atau sel pada kolom ke-1 dan baris ke-1 (*state 2*). Fungsi pembatas akan memeriksa jika langkah ini adalah langkah yang berlaku, dan ternyata langkah ini berlaku.
3. Untuk sel yang kosong berikutnya, yaitu x_2 , atau sel pada kolom ke-2 dan baris ke-1, fungsi pembangkit akan membangkitkan angka 1 (*state 3*), tetapi langkah ini gagal dalam pemeriksaan baris dalam fungsi pembatas karena angka 1 sudah pernah digunakan pada baris tersebut, ini membentuk sebuah simpul mati.
4. Fungsi pembangkit akan mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 4*), tetapi langkah ini gagal dalam pemeriksaan $grid$ dalam fungsi pembatas karena angka 2 tidak sama dengan angka tujuan, yaitu angka 1.
5. Fungsi pembangkit akan mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 5*), tetapi langkah ini juga gagal dalam pemeriksaan $grid$ dalam fungsi pembatas karena angka 3 tidak sama dengan angka tujuan, yaitu angka 1. Gambar 2.5 menggambarkan *state 3*, *state 4*, dan *state 5* dalam penyelesaian teka-teki Calcudoku ini.

		
---	---	--

Gambar 2.5: Ilustrasi *state* 3, 4, dan 5 pada sebuah *grid* teka-teki Calcudoku [1]

6. Karena tidak ada solusi yang mungkin, maka mundur ke *state* 1. Fungsi pembangkit akan membangkitkan kemungkinan angka berikutnya sebagai x_1 , yaitu 2, dan ternyata angka 2 berlaku sebagai x_1 (*state* 6), sehingga bisa maju ke x_2 , yaitu sel pada kolom ke-2 dan baris ke-1.
7. Fungsi pembangkit akan membangkitkan angka 1 (*state* 7), dan ini memenuhi syarat yang ditentukan dalam fungsi pembatas, karena angka 1 sama dengan angka tujuan, yaitu angka 1, sehingga bisa maju ke x_3 , yaitu sel pada kolom ke-3 dan baris ke-1.
8. Angka 1 (*state* 8) gagal dalam pemeriksaan baris karena angka 1 sudah pernah digunakan pada baris tersebut.
9. Angka 2 (*state* 9) juga gagal dalam pemeriksaan baris karena angka 2 sudah pernah digunakan pada baris tersebut.
10. Hal ini menyebabkan hanya tersisa angka 3 sebagai angka yang bisa dimasukkan ke dalam x_3 (*state* 10). Karena *state* 10 ternyata berlaku, baris ke-1 telah selesai diisi, dan bisa maju ke baris ke-2.
11. Langkah berikutnya adalah membuat *state* baru dengan mengisikan angka 1 pada x_4 , yaitu sel pada kolom ke-1 dan baris ke-2 (*state* 11). Ini memenuhi pemeriksaan pembatas, karena $2 + 1 = 3$, sehingga akan maju ke sel berikutnya, yaitu x_5 , atau sel pada kolom ke-2 dan baris ke-2.
12. Angka 1 (*state* 12) jelas tidak bisa digunakan karena gagal dalam pemeriksaan kolom dan pemeriksaan baris; angka 1 sudah pernah digunakan pada kolom dan baris tersebut.
13. Angka 2 (*state* 13) adalah langkah yang berlaku, sehingga bisa maju ke sel berikutnya, yaitu x_6 , atau sel pada kolom ke-3 dan baris ke-2.
14. Langkah berikutnya adalah mengisikan x_6 dengan angka 1 (*state* 14), tetapi gagal dalam pemeriksaan baris karena angka 1 sudah pernah digunakan pada baris tersebut.
15. Langkah berikutnya adalah mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state* 15), tetapi juga gagal dalam pemeriksaan baris karena angka 2 sudah pernah digunakan pada baris tersebut.
16. Langkah berikutnya adalah mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state* 16), tetapi juga gagal, kali ini angka 3 gagal dalam pemeriksaan kolom karena angka 3 sudah pernah digunakan pada kolom tersebut.
17. Karena semua kemungkinan angka gagal dalam pemeriksaan baris dan kolom, maka akan mundur ke *state* 11 dan mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state* 17), dan ternyata angka 3 berlaku sebagai x_5 , sehingga bisa maju ke sel berikutnya, yaitu x_6 .
18. Langkah berikutnya adalah mencoba angka 1 (*state* 18) sebagai x_6 , tetapi gagal dalam pemeriksaan baris karena angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.

$3+$	1	$8+$
2	1	3
1	3	2
3	$3+$	

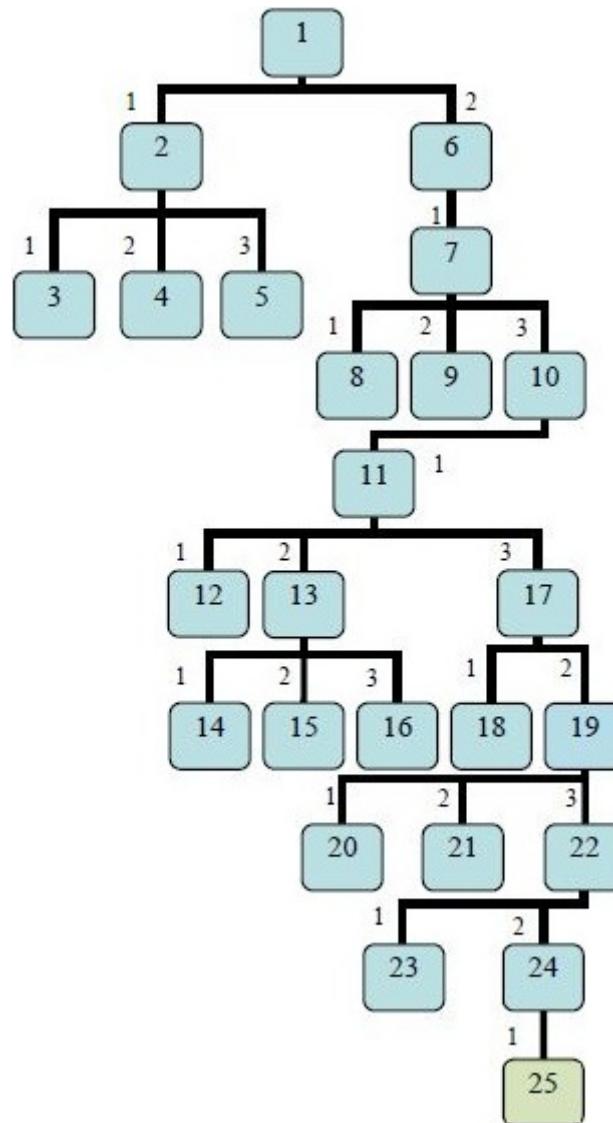
Gambar 2.6: Ilustrasi *state* 19 pada sebuah *grid* teka-teki Calcudoku [1]

$3+$	1	$8+$
2	1	3
1	3	2
3	$3+$	1

Gambar 2.7: *State* 25, simpul tujuan, sebagai hasil yang dicapai [1]

19. Langkah berikutnya adalah mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state* 19), dan ternyata angka 2 berlaku. Baris ke-2 telah selesai diisi. Gambar 2.6 menggambarkan *state* 19 dalam penyelesaian teka-teki Calcudoku ini.
20. Langkah berikutnya adalah mulai mengisikan sel-sel yang terletak pada baris ke-3, dari kolom yang paling kiri ke kolom yang paling kanan, dimulai dengan mengisikan x_7 , yaitu sel pada kolom ke-1 dan baris ke-3 dengan angka 1 (*state* 20), tetapi gagal dalam pemeriksaan kolom, karena angka 1 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
21. Langkah berikutnya adalah mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state* 21), tetapi juga gagal dalam pemeriksaan kolom, karena angka 2 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
22. Langkah berikutnya adalah mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state* 22), dan ternyata berhasil, sehingga bisa maju ke sel berikutnya, yaitu x_8 , atau sel pada kolom ke-2 dan baris ke-3.
23. Langkah berikutnya adalah mencoba mengisikan angka 1 pada x_8 (*state* 23), tetapi gagal dalam pemeriksaan kolom, karena angka 1 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
24. Langkah berikutnya adalah mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state* 24), dan ternyata berhasil, sehingga bisa maju ke sel berikutnya, yaitu x_9 , atau sel pada kolom ke-3 dan baris ke-3.
25. x_9 adalah sel terakhir, terletak pada sudut kanan bawah *grid*. Langkah berikutnya adalah mencoba mengisikan x_9 dengan angka 1 (*state* 25), dan ternyata berhasil. Algoritma *backtracking* telah selesai mengisikan seluruh sel dalam *grid* dengan benar. Gambar 2.7 menggambarkan *state* 25 dalam penyelesaian teka-teki Calcudoku ini. Algoritma *backtracking* ini mencapai solusinya pada *state* 25, seperti pada *state space tree* yang digambarkan dalam Gambar 2.8. *State space tree* ini telah mencapai simpul tujuannya, yaitu simpul 25, dengan jalur 2-1-3-1-3-2-3-2-1.

Tinggi pohon yang dikembangkan untuk menyelesaikan sebuah teka-teki dengan ukuran $n \times n$ akan memiliki tinggi $n^2 + 1$ saat mencapai simpul tujuannya, dengan jalur dari simpul akar ke simpul tujuan merepresentasikan semua angka yang digunakan untuk mengisi *grid* dari sel pada sudut kiri atas ke sel pada sudut kanan bawah.



Gambar 2.8: *State space tree* yang dikembangkan dalam proses menyelesaikan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar 2.4 [1]

3	9	4	17	6	17	18	27	5
---	---	---	----	---	----	----	----	---

Gambar 2.9: Contoh bagaimana cara mendeteksi aturan *naked pair* [2]

Singkatnya, langkah-langkah dasar dari implementasi algoritma *backtracking* dapat dijelaskan sebagai berikut [1]:

1. Carilah sel pertama atau sel yang kosong di dalam *grid*.
2. Isilah sel dengan sebuah angka dimulai dari 1 sampai n sampai sebuah angka yang berlaku (*valid*) ditemukan atau sampai angka sudah melebihi n .
3. Jika angka untuk sel berlaku, ulangi langkah 1 dan 2.
4. Jika angka untuk sel sudah melebihi n dan tidak ada angka dari 1 sampai n yang berlaku untuk sel tersebut, mundur ke sel sebelumnya dan cobalah kemungkinan angka berikutnya yang berlaku untuk sel tersebut.
5. Jika tidak ada lagi sel yang kosong, solusi sudah ditemukan.

2.3 Algoritma *Hybrid Genetic* [2]

Dalam kasus ini, algoritma *hybrid genetic* adalah gabungan dari algoritma *rule based* dan algoritma genetik. Algoritma *rule based* akan dijalankan sampai pada titik dimana algoritma tidak bisa menyelesaikan permainan teka-teki Calcudoku. Jika algoritma sudah tidak bisa menyelesaikan permainan, maka algoritma genetik akan mulai dijalankan.

2.3.1 Algoritma *Rule Based*

Algoritma *rule based* adalah sebuah algoritma berbasis aturan logika untuk menyelesaikan teka-teki Sudoku dan variasinya, termasuk Calcudoku. Beberapa aturan logika yang digunakan dalam algoritma ini adalah *single square rule*, *naked subset rule*, *hidden single rule*, *evil twin rule*, *killer combination*, dan *X-wing* [2].

Aturan *single square rule* digunakan jika sebuah *cage* hanya berisi satu sel. Hal ini berarti nilai dari sel tersebut sama dengan angka tujuan yang telah ditentukan.

Aturan *naked subset* digunakan jika ada n sel dalam kolom atau baris yang sama yang mempunyai n kemungkinan nilai yang sama persis untuk mengisikannya, dengan $n \geq 2$. Hal ini berarti sel-sel lainnya dalam baris dan kolom tersebut tidak mungkin diisi dengan nilai yang sama dengan nilai milik n sel tersebut. Gambar 2.9 menunjukkan bagaimana cara kerja aturan ini. Sel-sel pada kolom ke-4 dan ke-6 mempunyai tepat dua kemungkinan nilai (1 atau 7). Ini disebut sebagai *naked pair*. Karena angka 1 dan 7 harus diisi pada sel-sel pada kolom ke-4 dan ke-6, maka angka 1 dan 7 bisa dieliminasi dari sel-sel pada kolom ke-7 dan ke-8.

Aturan *evil twin* digunakan jika sebuah *cage* berisikan dua sel, dan salah satu dari kedua sel sudah terisi, maka sel yang satunya lagi diisi dengan angka yang jika kedua angka dihitung dengan operasi matematika yang ditentukan maka akan menghasilkan angka tujuan yang ditentukan. Aturan ini adalah aturan yang paling mudah. Kenyataannya, aturan ini bisa digeneralisasikan untuk *cage* yang berukuran lebih dari 2 sel. Sel yang belum terisi yang terakhir dalam sebuah area diisi oleh sebuah nilai yang diperlukan untuk mencapai nilai tujuan menggunakan operasi matematika yang telah ditentukan. Contohnya, pada Gambar 2.10, begitu sel di sudut kiri bawah diisi oleh angka 4, maka sel diatasnya harus diisi oleh angka 9.

Aturan *hidden single* digunakan jika sebuah angka hanya bisa diisikan dalam satu sel dalam sebuah baris atau kolom. Aturan ini secara konsep cukup mudah, tetapi kadang-kadang sulit untuk

Gambar 2.10: Contoh aturan *evil twin* [2]Gambar 2.11: Contoh aturan *hidden single* [2]

diamati. Pada Gambar 2.11, nilai-nilai yang mungkin untuk sel yang paling kiri adalah 3, 5, dan 7, tetapi dalam baris ini, angka 7 harus muncul dalam salah satu selnya, dan hanya sel yang paling kiri tersebut yang memiliki kemungkinan nilai 7. Ini disebut sebagai *hidden single*. Sel tersebut harus diisi dengan angka 7.

Aturan *killer combination* adalah aturan yang paling krusial. Aturan ini digunakan jika sebuah *cage* berisikan sel-sel yang berada dalam baris atau kolom yang sama dan operasi yang ditentukan adalah penjumlahan. Kemungkinan angka yang unik untuk aturan *killer combination* berhubungan dengan ukuran *cage*. Contoh, jika sebuah *cage* memiliki dua sel dan angka tujuannya adalah 3, maka kemungkinan angka yang bisa diisikan ke dalam kedua sel tersebut adalah 1 atau 2. Hal ini berarti semua angka lainnya tidak mungkin diisikan ke dalam kedua sel tersebut. Contoh lain, jika sebuah *cage* memiliki tiga sel dan angka tujuannya adalah 24, maka kemungkinan angka yang bisa diisikan ke dalam ketiga sel tersebut adalah 7, 8, atau 9. Gambar 2.12 menampilkan contoh penerapan aturan *killer combination* untuk *cage* dengan ukuran 2 sel. Tabel ini juga bisa diperluas untuk ukuran *cage* lainnya.

Aturan *X-wing* digunakan jika hanya ada dua kemungkinan angka yang bisa diisikan ke dalam dua sel yang berada di dalam dua baris yang berbeda, dan dua kemungkinan angka tersebut juga berada di dalam kolom yang sama maka sel-sel lainnya dalam kolom tersebut tidak mungkin diisi oleh dua kemungkinan angka tersebut, atau jika hanya ada dua kemungkinan angka yang bisa diisikan ke dalam dua sel yang berada di dalam dua kolom yang berbeda, dan dua kemungkinan angka tersebut juga berada di dalam baris yang sama maka sel-sel lainnya dalam baris tersebut tidak mungkin diisi oleh dua kemungkinan angka tersebut. Gambar 2.13 menampilkan contoh penggunaan aturan *X-wing*. Misalnya, jika sel A diisi oleh angka 7, maka angka 7 akan dieliminasi dari sel B dan sel C. Karena sel A dengan sel C dan sel D 'terkunci', maka sel D harus diisi oleh angka 7. Jadi, angka 7 harus diisi pada sel A dan sel D atau pada sel B dan sel C. Angka 7 bisa dieliminasi dari sel-sel yang berwarna hijau.

Cage size	Cage value	Combination
2	3	1/2
2	4	1/3
2	17	8/9
2	16	7/9

Gambar 2.12: Contoh aturan *killer combination* untuk *cage* dengan ukuran 2 sel dengan operasi matematika penjumlahan [2]



Gambar 2.13: Contoh aturan *X-wing* [2]

2.3.2 Algoritma Genetik

Pencarian heuristik adalah sebuah teknik pencarian kecerdasan buatan (*artificial intelligence*) yang menggunakan heuristik dalam langkah-langkahnya. Heuristik adalah semacam aturan tidak tertulis yang mungkin menghasilkan solusi. Heuristik kadang-kadang efektif, tetapi tidak dijamin akan berhasil. dalam setiap kasus. Heuristik memerlukan peran penting dalam strategi pencarian karena sifat eksponensial dari kebanyakan masalah. Heuristik membantu mengurangi jumlah alternatif solusi dari angka yang bersifat eksponensial menjadi angka yang bersifat polinomial. Contoh teknik pencarian heuristik adalah *Generate and Test*, *Hill Climbing*, dan *Best First Search*.

Algoritma genetik adalah salah satu teknik heuristik *Generate and Test* yang terinspirasi oleh sistem seleksi alam. Algoritma ini adalah perpaduan dari bidang biologi dan ilmu komputer. Algoritma ini memanipulasi informasi, biasanya disebut sebagai kromosom. Kromosom ini meng-*encode* kemungkinan jawaban untuk sebuah masalah yang diberikan. Kromosom dievaluasi dan diberi *fitness value* berdasarkan seberapa baik kromosom dalam menyelesaikan masalah yang diberikan berdasarkan kriteria yang ditentukan oleh pembuat program. Nilai kelayakan ini digunakan sebagai probabilitas keberlanjutan hidup kromosom dalam satu siklus reproduksi. Kromosom baru (kromosom anak, *child chromosome*) diproduksi dengan menggabungkan dua (atau lebih) kromosom orang tua (*parent chromosome*). Proses ini dirancang untuk menghasilkan kromosom-kromosom keturunan yang lebih layak, kromosom-kromosom ini meng-*encode* jawaban yang lebih baik, sampai solusi yang baik dan yang bisa diterima ditemukan.

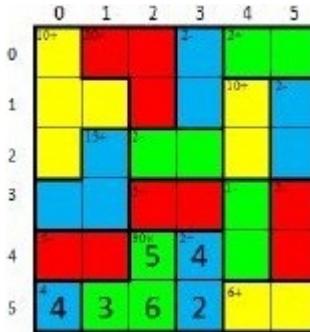
Cara kerja algoritma genetik adalah sebagai berikut [2]:

1. Menentukan populasi kromosom kemungkinan jawaban awal.
2. Membangkitkan populasi kemungkinan jawaban awal secara acak.
3. Mengevaluasi fungsi objektif.
4. Melakukan operasi terhadap kromosom menggunakan operator genetik (reproduksi, kawin silang, dan mutasi).
5. Ulangi langkah 3 dan 4 sampai mencapai kriteria untuk menghentikan algoritma.

Langkah-langkah utama dalam penggunaan algoritma genetik adalah membangkitkan populasi kemungkinan jawaban, mencari fungsi objektif dan fungsi kelayakan, dan penggunaan operator genetik.

2.3.3 Algoritma *Hybrid Genetic*

Pencarian *rule based* dimulai dengan mengasumsikan semua nilai sel yang tidak diketahui dengan semua kemungkinan nilai untuk mengisi sel tersebut tanpa melanggar batasan, dengan $P(C_{b,k}) =$



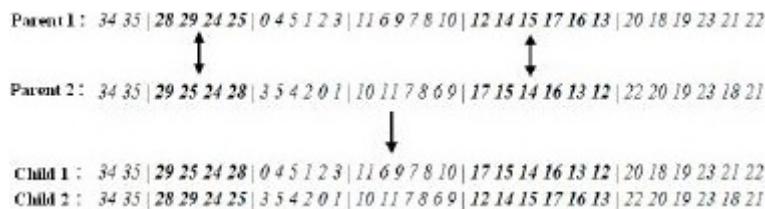
Gambar 2.14: Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran grid 6 x 6 [2]

1, 2, ..., n . Setelah nilai dari satu sel sudah ditentukan, kemungkinan nilai untuk beberapa sel tertentu diperbaharui. Misalnya, penggunaan aturan *naked single* yang dinyatakan dalam persamaan 1 di bawah ini, akan mengakibatkan semua kemungkinan nilai untuk semua sel lain dalam baris yang sama dan dalam kolom yang sama harus diperbaharui, seperti dinyatakan dalam persamaan 2 dan 3 di bawah ini. Aturan *naked pair*, salah satu dari aturan jenis *naked subset*, dinyatakan dalam persamaan 4 untuk baris dan persamaan 5 untuk kolom. [2]

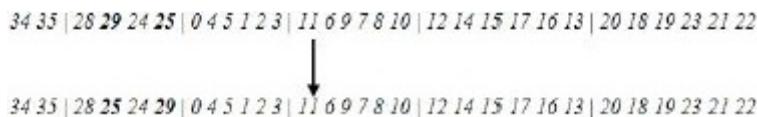
1. $|P(C_{b,k})| = 1 \wedge x \in P(C_{b,k}) \rightarrow V(C_{b,k}) = x$, artinya jika sebuah *cage* berukuran 1 sel, dan x adalah nilai tujuan dari *cage* tersebut, maka nilai dari sel tersebut adalah x .
2. $(V(C_{b,k}) = x) \wedge (\forall a \in \{1, 2, \dots, n\}) \rightarrow P(C_{a,k}) = P(C_{a,k}) - \{x\}$, artinya jika nilai suatu sel pada baris b dan kolom k adalah x , maka x dihapus dari kemungkinan angka-angka yang bisa digunakan untuk mengisi sel-sel lain pada baris b .
3. $(V(C_{b,k}) = x) \wedge (\forall q \in \{1, 2, \dots, n\}) \rightarrow P(C_{b,q}) = P(C_{b,q}) - \{x\}$ artinya jika nilai suatu sel pada baris b dan kolom k adalah x , maka x dihapus dari kemungkinan angka-angka yang bisa digunakan untuk mengisi sel-sel lain pada kolom k .
4. $|P(C_{b,k1})| = |P(C_{b,k2})| = 2 \wedge P(C_{b,k1}) = P(C_{b,k2}) \rightarrow P(C_{b,q}) = P(C_{b,q}) - P(C_{b,k1})$, artinya jika ada dua sel dalam satu baris yang hanya bisa diisi oleh dua kemungkinan angka, maka kedua angka tersebut dihapus dari kemungkinan angka-angka yang bisa digunakan untuk mengisi sel-sel lain pada baris tersebut.
5. $|P(C_{b1,k})| = |P(C_{b2,k})| = 2 \wedge P(C_{b1,k}) = P(C_{b2,k}) \rightarrow P(C_{p,k}) = P(C_{p,k}) - P(C_{b1,k})$, artinya jika ada dua sel dalam satu kolom yang hanya bisa diisi oleh dua kemungkinan angka, maka kedua angka tersebut dihapus dari kemungkinan angka-angka yang bisa digunakan untuk mengisi sel-sel lain pada kolom tersebut.

Algoritma genetik digunakan saat teka-teki masih tidak bisa diselesaikan setelah mengerjakan semua aturan logika secara berulang-ulang. Algoritma ini dimulai dengan meng-*encode* kromosom. Satu kromosom terdiri dari k segmen, dengan $m \leq n$. Satu segmen berisikan sekumpulan gen yang belum diselesaikan yang berada di dalam segmen tersebut. Sebuah segmen merepresentasikan sebuah baris atau kolom. Dalam sebuah kromosom, segmen diurutkan dari baris yang paling atas ke baris yang paling bawah atau dari kolom yang paling kiri ke kolom yang paling kanan. Contoh, salah satu kromosom dari permainan teka-teki Calcudoku pada Gambar 2.14 adalah 34 35 | 28 29 24 25 | 0 4 5 1 2 3 | 11 6 9 7 8 10 | 12 14 15 17 16 13 | 20 18 19 23 21 22. Setiap segmen dalam contoh kromosom ini merepresentasikan sebuah baris yang belum terselesaikan.

Fungsi objektif, yang direpresentasikan dengan x_j , akan dihitung setelah pembangkitan nilai dari gen pada kromosom sudah dilakukan. Nilai untuk gen ke- j pada sebuah kromosom direpresentasikan dengan w_j . x_j akan bernilai 0 jika belum diselesaikan ($w_j = 0$), dan bernilai 1 jika sudah diselesaikan ($w_j \neq 0$). Untuk kromosom dengan jumlah gen k , fungsi kelayakan, yaitu hasil



Gambar 2.15: Contoh proses kawin silang antara dua kromosom [2]



Gambar 2.16: Contoh proses mutasi [2]

penjumlahan dari hasil fungsi objektif untuk setiap gen dibagi dengan jumlah gen, dinyatakan dalam persamaan di bawah ini [2]:

$$x_j = \{ 0 , w_j = 01, w_j \neq 0 \}$$

$$\text{fitness} = \frac{\sum_{j=0}^k x_j}{k}$$

Jadi, solusi dari teka-teki ini adalah mencari kromosom yang nilai kelayakannya 1.

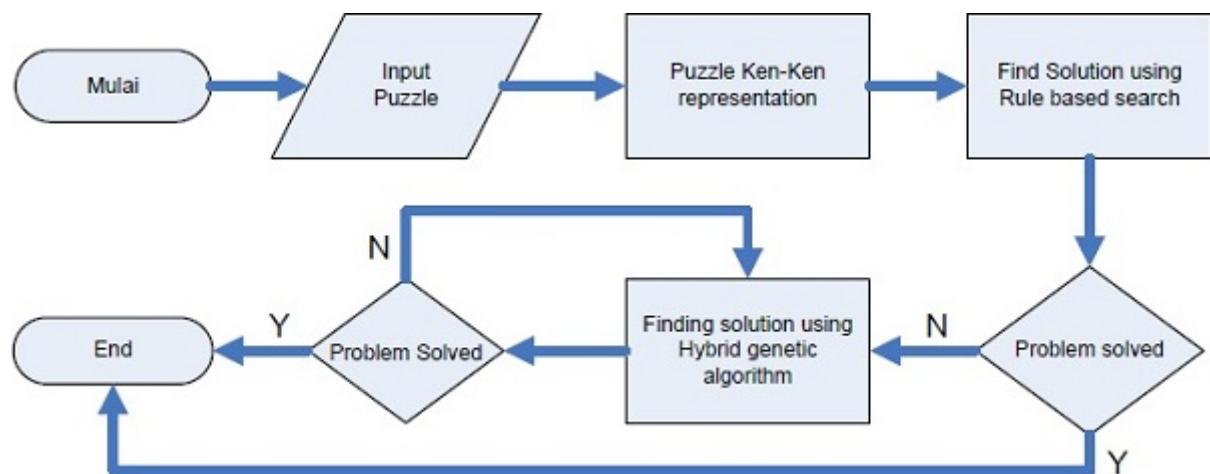
Dalam proses reproduksi kawin silang, dua kromosom, yaitu kromosom orang tua, disilangkan untuk membuat dua kromosom yang baru, yaitu kromosom anak, dengan metodologi kawin silang *N-segments*. Gambar 2.15 menggambarkan contoh proses kawin silang antara dua kromosom.

Pertukaran mutasi digunakan untuk mendapatkan kemungkinan kromosom yang lain. Mutasi dilakukan di antara gen yang berada dalam segmen yang sama. Gambar 2.16 adalah contoh proses mutasi antara dua gen dalam segmen yang sama.

Cara kerja algoritma *hybrid genetic* adalah sebagai berikut [2]:

1. Masukkan teka-teki yang akan diselesaikan sebagai input. Teka-teki Calcudoku diinputkan oleh pemain dalam bentuk *file*.
2. Representasikan input yang dimasukkan ke dalam format teka-teki Calcudoku. File teka-teki Calcudoku yang telah diinputkan oleh pemain ditampilkan ke layar sebagai teka-teki Calcudoku.
3. Algoritma *hybrid genetic* akan mencoba menyelesaikan teka-teki tersebut dengan menggunakan algoritma *rule based* terlebih dahulu.
4. Jika berhasil menyelesaikan teka-teki tersebut dengan menggunakan algoritma *rule based*, maka algoritma selesai.
5. Jika gagal dengan menggunakan algoritma *rule based*, maka algoritma *hybrid genetic* akan mencoba menyelesaikan teka-teki tersebut dengan menggunakan algoritma genetik.
6. Jika berhasil menyelesaikan teka-teki tersebut dengan menggunakan algoritma genetik, maka algoritma selesai.
7. Jika gagal dalam menyelesaikan teka-teki tersebut setelah menggunakan algoritma genetik, artinya algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan teka-teki tersebut.

Alur (*flow chart*) penyelesaian permainan teka-teki Calcudoku dengan menggunakan algoritma *hybrid genetic* dapat dilihat di Gambar 2.17.



Gambar 2.17: Alur penyelesaian permainan teka-teki Calcudoku dengan menggunakan algoritma *hybrid genetic* [2]

BAB 3

ANALISIS

Bab ini membahas tentang analisis cara kerja algoritma *backtracking* dan algoritma *hybrid genetic* untuk menyelesaikan permainan teka-teki Calcudoku, dan analisis kebutuhan perangkat lunak Calcudoku.

3.1 Analisis Algoritma *Backtracking*

Untuk mengilustrasikan cara kerja algoritma *backtracking*, akan digunakan permainan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar A.1 sebagai contoh.

1. Algoritma *backtracking* dimulai dengan teka-teki yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar A.1 (*state 1*).
2. Algoritma mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-1 dengan angka 1 (*state 2*), tetapi angka 1 tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
3. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 3*), tetapi angka 2 juga tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
4. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 4*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.2, dan ternyata angka 3 sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, sehingga algoritma dapat maju ke sel berikutnya.
5. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-2 dengan angka 1 (*state 5*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
6. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 6*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
7. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 7*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.

3	8+	3-	
7+			
	8+	8+	
			1

Gambar 3.1: Contoh permainan teka-teki dengan ukuran *grid* 4 x 4 yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1. [1]

³ 3	⁸⁺	³⁻	
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar 3.2: *State 4*

³ 3	⁸⁺ 1	³⁻ 2	4
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar 3.3: *State 11*

8. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 8*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
9. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 9*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
10. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 10*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
11. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 11*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.3, tetapi hasilnya tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
12. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-1 dan kolom ke-4 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 7*). Algoritma mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 12*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.4, tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
13. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 13*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
14. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 14*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.

³ 3	⁸⁺ 1	³⁻ 3	
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar 3.4: *State 12*

³ 3	⁸⁺ 1	³⁻ 4	4
7+			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar 3.5: *State 17*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻	
7+			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar 3.6: *State 18*

15. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 15*), tetapi hasilnya tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
16. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 16*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
17. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 17*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.5, tetapi angka 4 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
18. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-1 dan kolom ke-3 dan ke-4 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 5*). Algoritma mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 18*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.6. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
19. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 19*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.7. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
20. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 20*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
21. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 21*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	
7+			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar 3.7: *State 19*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

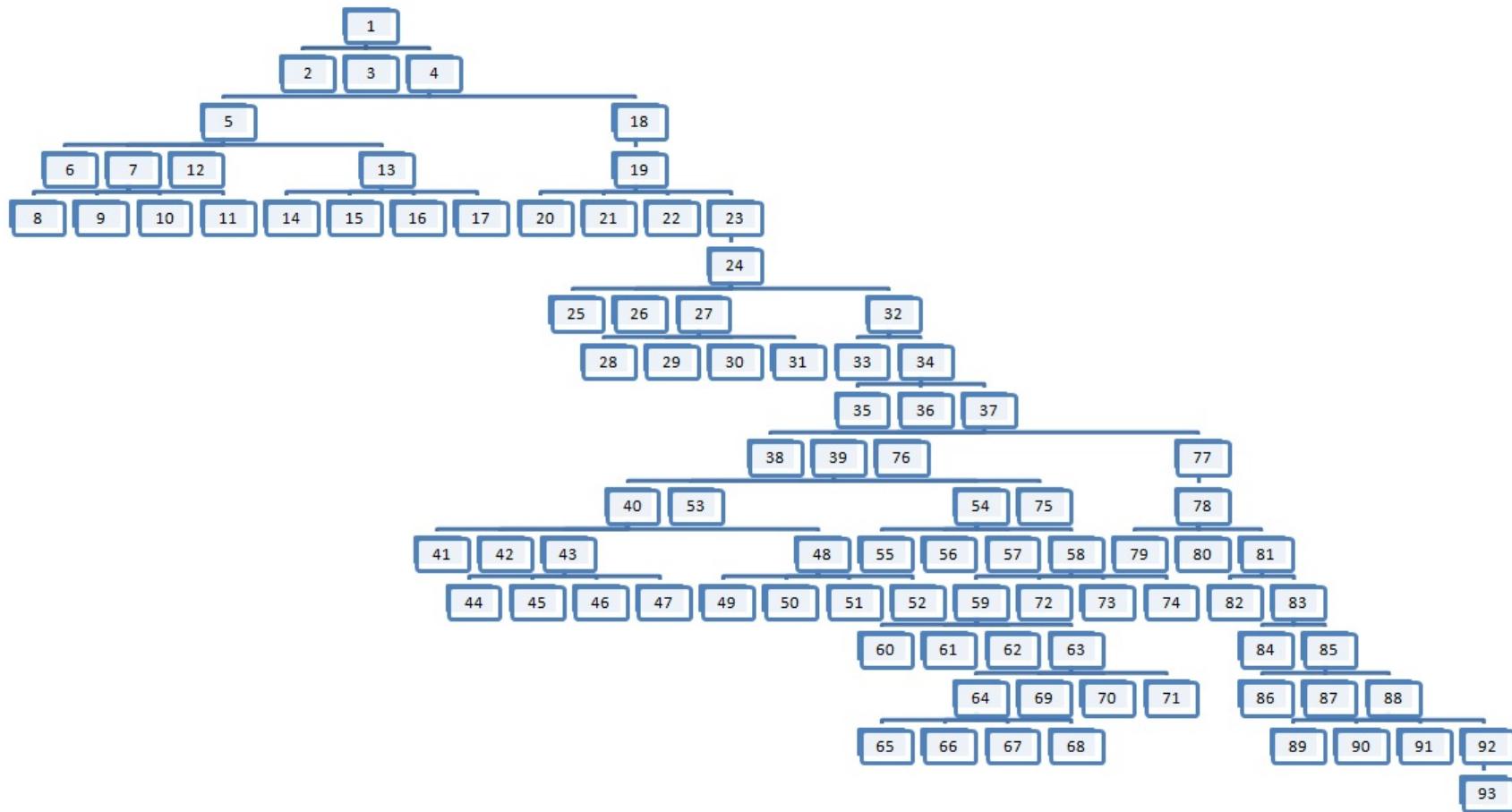
Gambar 3.8: *State 23*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺ 1	⁸⁺ 3	2
2	3	4	¹ 1

Gambar 3.9: *State 93*

22. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 22*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
23. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 23*), dan ternyata hasilnya sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar A.8. Algoritma telah selesai mengisi baris ke-1, sehingga bisa maju ke baris berikutnya.
24. Langkah-langkah di atas diulang untuk mengisi sel-sel pada baris-baris selanjutnya. Algoritma *backtracking* berhasil mengisi semua sel dalam permainan teka-teki Calcudoku ini dengan benar pada *state 93*, seperti dapat dilihat pada Gambar A.32.

Algoritma ini mencapai solusinya pada state 93, seperti pada *state space tree* yang digambarkan dalam Gambar 3.10. *State space tree* ini telah mencapai simpul tujuannya, yaitu simpul 93, dengan jalur 3-2-1-4-1-4-2-3-4-1-3-2-2-3-4-1. Penjelasan tentang analisis algoritma *backtracking* secara lengkap dapat dilihat di Lampiran A.



Gambar 3.10: *State space tree* yang dikembangkan dalam proses menyelesaikan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar A.1

4-	1-		1-	15+	
	30*				1-
2-	2/		1-	3/	
		24*			1
5+			7+	60*	
	1-				

Gambar 3.11: Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran *grid* 6 x 6 yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar 1.2. [2]

3.2 Analisis Algoritma *Hybrid Genetic*

Untuk mengilustrasikan cara kerja algoritma *hybrid genetic*, akan digunakan permainan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar 3.11 sebagai contoh. Algoritma *hybrid genetic* dimulai dengan mencoba menyelesaikan permainan teka-teki Calcudoku dengan algoritma *rule based*.

3.2.1 Algoritma *Rule Based*

Sel pada baris ke-4 dan kolom ke-6 adalah bagian dari sebuah *cage* yang berukuran hanya 1 sel, dan oleh karena itu, angka tujuan dari sel tersebut adalah angka tujuan dari *cage* tersebut (aturan *single square*). Angka tujuan dari *cage* tersebut adalah 1, dan oleh karena itu sel tersebut dapat langsung diisi dengan angka 1, seperti dapat dilihat pada Gambar 3.12.

Sayangnya, algoritma *rule based* gagal dalam mengisi sel-sel lainnya berdasarkan aturan-aturan yang telah didefinisikan setelah beberapa kali percobaan, sehingga algoritma *hybrid genetic* akan mencoba menyelesaikan teka-teki Calcudoku dengan algoritma genetik.

3.2.2 Algoritma Genetik

Dalam contoh ini, parameter-parameter untuk algoritma genetik yang akan digunakan untuk teka-teki Calcudoku ini ditunjukkan pada Tabel 3.1. Dalam kasus ini, parameter ditentukan oleh pembuat program (penulis). Setiap generasi terdiri dari 12 kromosom. $40\% \times 12 \approx 5$ kromosom diambil dari generasi sebelumnya (*elitism*). $50\% \times 12 \approx 6$ kromosom adalah hasil dari pembentukan kromosom-kromosom baru dengan operasi kawin silang, dan $10\% \times 12 \approx 1$ kromosom adalah hasil dari pembentukan kromosom-kromosom baru dengan operasi mutasi. Untuk mengilustrasikan cara kerja algoritma genetik, hanya 3 generasi pertama yang akan dibahas.

Setiap sel mempunyai nilai kelayakan. Nilai kelayakan dari sebuah sel akan bernilai 1 jika nilai dari semua sel yang merupakan bagian dari *cage* yang salah satu selnya adalah sel tersebut menghasilkan nilai tujuan setelah dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan dan tidak ada pengulangan angka di dalam baris tersebut maupun kolom tersebut, dan bernilai 0 jika nilai dari semua sel yang merupakan bagian dari *cage* yang salah satu selnya adalah sel tersebut tidak menghasilkan nilai tujuan setelah dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan atau ada pengulangan angka di dalam baris tersebut maupun kolom tersebut. Nilai kelayakan sel untuk setiap sel dalam sebuah baris dijumlahkan, lalu dibagi dengan jumlah kolom dalam baris tersebut, dan hasilnya adalah nilai kelayakan baris. Nilai kelayakan baris untuk setiap baris dalam sebuah teka-teki dijumlahkan, lalu dibagi dengan jumlah baris dalam teka-teki tersebut, dan hasilnya adalah nilai kelayakan teka-teki.

4-	1-		1-	15+	
	30*				1-
2-	2/		1-	3/	
		24*			1 1
5+			7+	60*	
	1-				

Gambar 3.12: Permainan teka-teki Calcudoku setelah diselesaikan dengan algoritma *rule based*

Tabel 3.1: Tabel parameter untuk algoritma genetik yang akan digunakan untuk menyelesaikan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar 3.12

Parameter	Nilai
Ukuran Populasi	12
Probabilitas <i>Elitism</i>	40%
Probabilitas Kawin Silang	50%
Probabilitas Mutasi	10%

Algoritma genetik dimulai dengan membangkitkan kromosom-kromosom baru sebanyak ukuran populasi yang telah ditentukan. Dalam contoh ini, ukuran populasi adalah 12, maka algoritma akan membangkitkan 12 kromosom baru. Ke-12 kromosom awal ini adalah bagian dari generasi pertama. Gambar 3.13 menggambarkan Kromosom 1, gambar 3.14 menggambarkan Kromosom 2, gambar 3.15 menggambarkan Kromosom 3, gambar 3.16 menggambarkan Kromosom 4, gambar 3.17 menggambarkan Kromosom 5, gambar 3.18 menggambarkan Kromosom 6, gambar 3.19 menggambarkan Kromosom 7, gambar 3.20 menggambarkan Kromosom 8, gambar 3.21 menggambarkan Kromosom 9, gambar 3.22 menggambarkan Kromosom 10, gambar 3.23 menggambarkan Kromosom 11, dan gambar 3.24 menggambarkan Kromosom 12.

⁴⁻ 1	¹⁻ 3	5	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
3	^{30*} 4	2	5	1	¹⁻ 6
²⁻ 2	^{2/} 1	6	¹⁻ 4	^{3/} 3	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹⁻ 1
⁵⁺ 4	6	1	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
5	¹⁻ 2	3	1	6	4

Gambar 3.13: Kromosom 1 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 3	¹⁻ 2	1	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 5	4
1	^{30*} 6	2	5	4	¹⁻ 3
²⁻ 5	^{2/} 3	6	¹⁻ 4	^{3/} 1	2
6	5	^{24*} 4	3	2	¹⁻ 1
⁵⁺ 4	1	3	⁷⁺ 2	^{60*} 6	5
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.14: Kromosom 2 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 4	¹⁻ 3	6	¹⁻ 2	¹⁵⁺ 1	5
6	^{30*} 5	1	3	2	¹⁻ 4
²⁻ 5	^{2/} 1	4	¹⁻ 6	^{3/} 3	2
3	6	^{24*} 2	5	4	¹⁻ 1
⁵⁺ 1	2	3	⁷⁺ 4	^{60*} 5	6
2	¹⁻ 4	5	1	6	3

Gambar 3.15: Kromosom 3 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 5	¹⁻ 1	4	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 2	3
1	^{30*} 2	3	4	5	¹⁻ 6
²⁻ 6	^{2/} 3	5	¹⁻ 2	^{3/} 1	4
2	4	^{24*} 6	5	3	¹ 1
⁵⁺ 4	5	1	⁷⁺ 6	^{60*} 3	2
3	¹⁻ 6	2	1	4	5

Gambar 3.16: Kromosom 4 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 5	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 1	4
1	^{30*} 6	3	5	4	¹⁻ 2
²⁻ 3	^{2/} 2	1	¹⁻ 4	^{3/} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	1	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.17: Kromosom 5 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 6	¹⁻ 3	5	¹⁻ 2	¹⁵⁺ 1	4
5	^{30*} 1	4	6	2	¹⁻ 3
²⁻ 2	^{2/} 4	6	¹⁻ 1	^{3/} 3	5
3	6	^{24*} 2	5	4	¹ 1
⁵⁺ 1	2	3	⁷⁺ 4	^{60*} 5	6
4	¹⁻ 5	1	3	6	2

Gambar 3.18: Kromosom 6 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 1	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	5
3	^{30*} 4	1	5	6	¹⁻ 2
²⁻ 5	^{2/} 2	6	¹⁻ 4	^{3/} 1	3
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	3	1	⁷⁺ 2	^{60*} 5	6
2	¹⁻ 6	5	1	3	4

Gambar 3.19: Kromosom 7 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 3	¹⁻ 1	5	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
2	^{30*} 6	3	5	1	¹⁻ 4
²⁻ 1	^{2/} 2	6	¹⁻ 4	^{3/} 3	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 5	4	1	⁷⁺ 2	^{60*} 6	3
4	¹⁻ 3	2	1	5	6

Gambar 3.20: Kromosom 8 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 4	¹⁻ 6	5	¹⁻ 3	¹⁵⁺ 1	2
3	^{30*} 5	1	6	2	¹⁻ 4
²⁻ 6	^{2/} 1	4	¹⁻ 2	^{3/} 3	5
2	3	^{24*} 6	5	4	¹ 1
⁵⁺ 1	2	3	⁷⁺ 4	⁶⁰⁺ 5	6
5	¹⁻ 4	2	1	6	3

Gambar 3.21: Kromosom 9 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 5	¹⁻ 1	3	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
3	^{30*} 6	2	5	1	¹⁻ 4
²⁻ 2	^{2/} 3	1	¹⁻ 4	^{3/} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹⁻ 1
⁵⁺ 1	4	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
4	¹⁻ 2	5	1	3	6

Gambar 3.22: Kromosom 10 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 5	¹⁻ 1	6	¹⁻ 2	¹⁵⁺ 4	3
1	^{30*} 2	3	4	5	¹⁻ 6
²⁻ 4	^{2/} 3	5	¹⁻ 6	^{3/} 1	2
6	4	^{24*} 2	5	3	¹⁻ 1
⁵⁺ 2	5	1	⁷⁺ 3	^{60*} 6	4
3	¹⁻ 6	4	1	2	5

Gambar 3.23: Kromosom 11 dalam Generasi ke-1

⁴⁻ 1	¹⁻ 5	6	¹⁻ 4	¹⁵⁺ 3	2
3	^{30*} 6	1	2	4	¹⁻ 5
²⁻ 4	^{2/} 1	5	¹⁻ 3	^{3/} 2	6
2	3	^{24*} 4	5	6	¹⁻ 1
⁵⁺ 5	4	2	⁷⁺ 6	^{60*} 1	3
6	¹⁻ 2	3	1	5	4

Gambar 3.24: Kromosom 12 dalam Generasi ke-1

Tabel 3.2: Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-1

Nomor Kromosom	Nilai Kelayakan
1	0,3333
2	0,3056
3	0,25
4	0,2222
5	0,4444
6	0,1389
7	0,3889
8	0,25
9	0,1389
10	0,3056
11	0,3889
12	0,5556

Berdasarkan nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-1 yang ditampilkan pada Tabel 3.2, 5 kromosom terbaik akan diambil untuk menjadi bagian dari Generasi ke-2. Ke-5 kromosom yang terpilih adalah Kromosom 12, Kromosom 5, Kromosom 7, Kromosom 11, dan Kromosom 1.

Untuk Generasi ke-2, 5 kromosom adalah 5 kromosom terbaik dari Generasi ke-1, 6 kromosom adalah hasil kawin silang dari 2 kromosom dari Generasi ke-1, dan 1 kromosom adalah hasil mutasi dari 1 kromosom dari Generasi ke-1.

Gambar 3.25 menggambarkan Kromosom 1, yaitu Kromosom 12 dari Generasi ke-1, gambar 3.26 menggambarkan Kromosom 2, yaitu Kromosom 5 dari Generasi ke-1, gambar 3.27 menggambarkan Kromosom 3, yaitu Kromosom 7 dari Generasi ke-1, gambar 3.28 menggambarkan Kromosom 4, yaitu Kromosom 11 dari Generasi ke-1, gambar 3.29 menggambarkan Kromosom 5, yaitu Kromosom 1 dari Generasi ke-1, gambar 3.30 menggambarkan Kromosom 6, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 5 dan Kromosom 12 dari Generasi ke-1, gambar 3.31 menggambarkan Kromosom 7, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 3 dan Kromosom 8 dari Generasi ke-1, gambar 3.32 menggambarkan Kromosom 8, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 7 dan Kromosom 10 dari Generasi ke-1, gambar 3.33 menggambarkan Kromosom 9, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 7 dan Kromosom 10 dari Generasi ke-1, gambar 3.34 menggambarkan Kromosom 10, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 2 dan Kromosom 5 dari Generasi ke-1, gambar 3.35 menggambarkan Kromosom 11, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 2 dan Kromosom 5 dari Generasi ke-1, dan gambar 3.36 menggambarkan Kromosom 12, yaitu hasil mutasi dari Kromosom 12 dari Generasi ke-1.

1	¹⁻ 5	6	4	¹⁵⁺ 3	2
3	^{30*} 6	1	2	4	¹⁻ 5
²⁻ 4	^{2/} 1	5	¹⁻ 3	^{3/} 2	6
2	3	^{24*} 4	5	6	¹ 1
⁵⁺ 5	4	2	⁷⁺ 6	^{60*} 1	3
6	¹⁻ 2	3	1	5	4

Gambar 3.25: Kromosom 1 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 5	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 1	4
1	^{30*} 6	3	5	4	¹⁻ 2
²⁻ 3	^{2/} 2	1	¹⁻ 4	^{3/} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	1	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.26: Kromosom 2 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 1	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	5
3	^{30*} 4	1	5	6	¹⁻ 2
²⁻ 5	^{2/} 2	6	¹⁻ 4	^{3/} 1	3
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	1	3	⁷⁺ 2	^{60*} 5	6
2	¹⁻ 6	5	1	3	4

Gambar 3.27: Kromosom 3 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 5	¹⁻ 1	6	¹⁻ 2	¹⁵⁺ 4	3
1	^{30*} 2	3	4	5	¹⁻ 6
²⁻ 4	^{2/} 3	5	¹⁻ 6	^{3/} 1	2
6	4	^{24*} 2	5	3	¹ 1
⁵⁺ 2	5	1	⁷⁺ 3	^{60*} 6	4
3	¹⁻ 6	4	1	2	5

Gambar 3.28: Kromosom 4 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 1	¹⁻ 3	5	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
3	^{30*} 4	2	5	1	¹⁻ 6
²⁻ 2	^{2/} 1	6	¹⁻ 4	^{3/} 3	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	6	1	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
5	¹⁻ 2	3	1	6	4

Gambar 3.29: Kromosom 5 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 3	¹⁻ 2	1	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 5	4
1	^{30*} 6	2	5	4	¹⁻ 3
²⁻ 2	^{2/} 3	1	¹⁻ 4	^{3/} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 1	4	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.30: Kromosom 6 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 5	¹⁻ 1	3	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
3	^{30*} 6	2	5	1	¹⁻ 4
²⁻ 5	^{2/} 3	6	¹⁻ 4	^{3/} 1	2
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	1	3	⁷⁺ 2	^{60*} 6	5
4	¹⁻ 2	5	1	3	6

Gambar 3.31: Kromosom 7 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 1	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	5
3	^{30*} 4	1	5	6	¹⁻ 2
²⁻ 2	^{2/} 3	1	¹⁻ 4	^{3/} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 1	4	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
2	¹⁻ 6	1	5	3	4

Gambar 3.32: Kromosom 8 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 5	¹⁻ 1	3	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
3	^{30*} 6	2	5	1	¹⁻ 4
²⁻ 5	^{2/} 2	6	¹⁻ 4	^{3/} 1	3
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	3	1	⁷⁺ 2	^{60*} 5	6
4	¹⁻ 2	5	1	3	6

Gambar 3.33: Kromosom 9 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 3	¹⁻ 2	1	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 5	4
1	^{30*} 6	3	5	4	¹⁻ 2
²⁻ 3	^{2/-} 2	1	¹⁻ 4	^{3/-} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹⁻ 1
⁵⁺ 4	1	3	⁷⁺ 2	^{60*} 6	5
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.34: Kromosom 10 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 5	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 1	4
1	^{30*} 6	2	5	4	¹⁻ 3
²⁻ 5	^{2/-} 3	6	¹⁻ 4	^{3/-} 1	2
6	5	^{24*} 4	3	2	¹⁻ 1
⁵⁺ 4	1	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.35: Kromosom 11 dalam Generasi ke-2

⁴⁻ 1	¹⁻ 5	6	¹⁻ 4	¹⁵⁺ 3	2
3	^{30*} 6	1	2	4	¹⁻ 5
²⁻ 4	^{2/-} 1	5	¹⁻ 3	^{3/-} 2	6
2	3	^{24*} 4	5	6	¹⁻ 1
⁵⁺ 5	4	2	⁷⁺ 6	^{60*} 1	3
1	¹⁻ 2	3	6	5	4

Gambar 3.36: Kromosom 12 dalam Generasi ke-2

Tabel 3.3: Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-2

Nomor Kromosom	Nilai Kelayakan
1	0,5556
2	0,4444
3	0,3889
4	0,3889
5	0,3333
6	0,1944
7	0,1389
8	0,0833
9	0,25
10	0,1944
11	0,1944
12	0,5

Berdasarkan nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-2 yang ditampilkan pada Tabel 3.3, 5 kromosom terbaik akan diambil untuk menjadi bagian dari Generasi ke-3. Ke-5 kromosom yang terpilih adalah Kromosom 1, Kromosom 12, Kromosom 2, Kromosom 3, dan Kromosom 4.

Untuk Generasi ke-3, 5 kromosom adalah 5 kromosom terbaik dari Generasi ke-2, 6 kromosom adalah hasil kawin silang dari 2 kromosom dari Generasi ke-2, dan 1 kromosom adalah hasil mutasi dari 1 kromosom dari Generasi ke-2.

Gambar 3.37 menggambarkan Kromosom 1, yaitu Kromosom 1 dari Generasi ke-2, Gambar 3.38 menggambarkan Kromosom 2, yaitu Kromosom 12 dari Generasi ke-2, Gambar 3.39 menggambarkan Kromosom 3, yaitu Kromosom 2 dari Generasi ke-2, Gambar 3.40 menggambarkan Kromosom 4, yaitu Kromosom 3 dari Generasi ke-2, Gambar 3.41 menggambarkan Kromosom 5, yaitu Kromosom 4 dari Generasi ke-2, Gambar 3.42 menggambarkan Kromosom 6, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 2 dan Kromosom 12 dari Generasi ke-2, Gambar 3.43 menggambarkan Kromosom 7, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 2 dan Kromosom 12 dari Generasi ke-2, Gambar 3.44 menggambarkan Kromosom 8, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 5 dan Kromosom 9 dari Generasi ke-2, Gambar 3.45 menggambarkan Kromosom 9, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 5 dan Kromosom 9 dari Generasi ke-2, Gambar 3.46 menggambarkan Kromosom 10, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 5 dan Kromosom 6 dari Generasi ke-2, Gambar 3.47 menggambarkan Kromosom 11, yaitu hasil kawin silang dari Kromosom 5 dan Kromosom 6 dari Generasi ke-2, dan Gambar 3.48 menggambarkan Kromosom 12, yaitu hasil mutasi dari Kromosom 2 dari Generasi ke-2.

⁴⁻ 1	¹⁻ 5	6	¹⁻ 4	¹⁵⁺ 3	2
3	^{30*} 6	1	2	4	¹⁻ 5
²⁻ 4	^{2/-} 1	5	¹⁻ 3	^{3/-} 2	6
2	3	^{24*} 4	5	6	¹ 1
⁵⁺ 5	4	2	⁷⁺ 6	^{60*} 1	3
6	¹⁻ 2	3	1	5	4

Gambar 3.37: Kromosom 1 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 1	¹⁻ 5	6	4	¹⁵⁺ 3	2
3	^{30*} 6	1	2	4	¹⁻ 5
²⁻ 4	^{2/-} 1	5	¹⁻ 3	^{3/-} 2	6
2	3	^{24*} 4	5	6	¹ 1
⁵⁺ 5	4	2	⁷⁺ 6	^{60*} 1	3
1	¹⁻ 2	3	6	5	4

Gambar 3.38: Kromosom 2 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 5	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 1	4
1	^{30*} 6	3	5	4	¹⁻ 2
²⁻ 3	^{2/-} 2	1	¹⁻ 4	^{3/-} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	1	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.39: Kromosom 3 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 1	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	5
3	^{30*} 4	1	5	6	¹⁻ 2
²⁻ 5	^{2/} 2	6	¹⁻ 4	^{3/} 1	3
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	1	3	⁷⁺ 2	^{60*} 5	6
2	¹⁻ 6	5	1	3	4

Gambar 3.40: Kromosom 4 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 5	¹⁻ 1	6	¹⁻ 2	¹⁵⁺ 4	3
1	^{30*} 2	3	4	5	¹⁻ 6
²⁻ 4	^{2/} 3	5	¹⁻ 6	^{3/} 1	2
6	4	^{24*} 2	5	3	¹ 1
⁵⁺ 2	5	1	⁷⁺ 3	^{60*} 6	4
3	¹⁻ 6	4	1	2	5

Gambar 3.41: Kromosom 5 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 5	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 1	4
3	^{30*} 6	1	2	4	¹⁻ 5
²⁻ 4	^{2/} 1	5	¹⁻ 3	^{3/} 2	6
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	1	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
1	¹⁻ 2	3	6	5	4

Gambar 3.42: Kromosom 6 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 1	¹⁻ 5	6	¹⁻ 4	¹⁵⁺ 3	2
1	^{30*} 6	3	5	4	¹⁻ 2
²⁻ 3	^{2/} 2	1	¹⁻ 4	^{3/} 6	5
2	3	^{24*} 4	5	6	¹ 1
⁵⁺ 5	4	2	⁷⁺ 6	^{60*} 3	1
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.43: Kromosom 7 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 1	¹⁻ 3	5	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
3	^{30*} 4	2	5	1	¹⁻ 6
²⁻ 2	^{2/} 1	6	¹⁻ 4	^{3/} 3	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	3	1	⁷⁺ 2	^{60*} 5	6
4	¹⁻ 2	5	1	3	6

Gambar 3.44: Kromosom 8 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 5	¹⁻ 1	3	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
3	^{30*} 6	2	5	1	¹⁻ 4
²⁻ 5	^{2/} 2	6	¹⁻ 4	^{3/} 1	3
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	6	1	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
5	¹⁻ 2	3	1	6	4

Gambar 3.45: Kromosom 9 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 1	¹⁻ 3	5	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 4	2
1	^{30*} 6	2	5	4	¹⁻ 3
²⁻ 2	^{2/} 1	6	¹⁻ 4	^{3/} 3	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 1	4	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
2	¹⁻ 4	5	1	3	6

Gambar 3.46: Kromosom 10 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 3	¹⁻ 2	1	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 5	4
3	^{30*} 4	2	5	1	¹⁻ 6
²⁻ 2	^{2/} 3	1	¹⁻ 4	^{3/} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	6	1	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
5	¹⁻ 2	3	1	6	4

Gambar 3.47: Kromosom 11 dalam Generasi ke-3

⁴⁻ 5	¹⁻ 3	2	¹⁻ 6	¹⁵⁺ 1	4
1	^{30*} 6	3	5	4	¹⁻ 2
²⁻ 3	^{2/} 2	1	¹⁻ 4	^{3/} 6	5
6	5	^{24*} 4	3	2	¹ 1
⁵⁺ 4	1	6	⁷⁺ 2	^{60*} 5	3
1	¹⁻ 4	5	2	3	6

Gambar 3.48: Kromosom 12 dalam Generasi ke-3

Tabel 3.4: Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-3

Nomor Kromosom	Nilai Kelayakan
1	0,5556
2	0,5
3	0,4444
4	0,3889
5	0,3889
6	0,2778
7	0,1389
8	0,1389
9	0,1389
10	0,1389
11	0,1944
12	0,3889

Berdasarkan nilai kelayakan untuk kromosom-kromosom pada Generasi ke-3 yang ditampilkan pada Tabel 3.4, 5 kromosom terbaik akan diambil untuk menjadi bagian dari Generasi ke-4. Ke-5 kromosom yang terpilih adalah Kromosom 1, Kromosom 2, Kromosom 3, Kromosom 4, dan Kromosom 12.

Proses ini diulang untuk menghasilkan generasi-generasi berikutnya, sampai algoritma genetik dapat menemukan solusi dari teka-teki Calcudoku tersebut.

3.3 Perangkat Lunak

Berdasarkan landasan teori dan analisis algoritma *backtracking* dan *hybrid genetic* untuk menyelesaikan permainan teka-teki Calcudoku yang telah dilakukan, perangkat lunak Calcudoku akan dibuat. Perangkat lunak ini akan menerima masukan dalam bentuk *file* yang berisi:

1. Ukuran *grid*.
2. Jumlah *cage*.
3. Matriks *cage assignment*, yang merepresentasikan posisi dari setiap *cage* dalam *grid*.
4. Matriks *cage objectives*, yang berisikan angka tujuan dan operasi matematika yang telah ditentukan untuk setiap *cage*.

Perangkat lunak ini akan menghasilkan keluaran berupa antarmuka grafis permainan teka-teki Calcudoku berdasarkan isi *file* yang di-*load* oleh pengguna. Permainan ini dapat diselesaikan oleh pengguna dengan usahanya sendiri, atau menggunakan salah satu dari dua *solver* yang disediakan. Kedua *solver* tersebut yaitu:

1. Algoritma *backtracking*, dan
2. Algoritma *hybrid genetic*.

Pengguna dapat me-*load* file masukan untuk memulai permainan, me-*reset* permainan untuk mengulang permainan berdasarkan file masukan yang sudah di-*load* dari awal, dan menutup file masukan untuk mengakhiri permainan, atau jika ingin me-*load* file masukan yang lain. Pengguna juga dapat meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan jika ada masukan yang salah di dalam *grid*, misalnya ada angka yang berulang dalam sebuah baris atau kolom, atau angka-angka

Tabel 3.5: Skenario me-load file

Nama	Membuka file masukan
Aktor	Pengguna
Deskripsi	Memembuka file masukan untuk memulai permainan.
Kondisi Awal	Perangkat lunak belum membuka file masukan.
Kondisi Akhir	Perangkat lunak sudah membuka file masukan .
Skenario Utama	Pengguna masuk ke dalam menu "File", lalu memilih menu item "Load Puzzle File", lalu memilih file masukan yang akan dibuka, dan mengklik tombol "OK". Jika perangkat lunak sudah membuka file masukan, dan ingin membuka file masukan yang baru, akan keluar kotak dialog "Are you sure you want to load another puzzle file?", klik tombol "Yes" untuk membuka file masukan baru, atau klik tombol "No" untuk membatalkan.

dalam sebuah *cage* tidak mencapai angka tujuan yang ditentukan setelah dihitung dengan operasi matematika yang ditentukan. Pemain juga dapat mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik.

Kebutuhan-kebutuhan yang diperlukan oleh perangkat lunak ini akan dijelaskan menggunakan diagram *use cage*, dan skenario.

3.3.1 Diagram *Use Case* dan Skenario

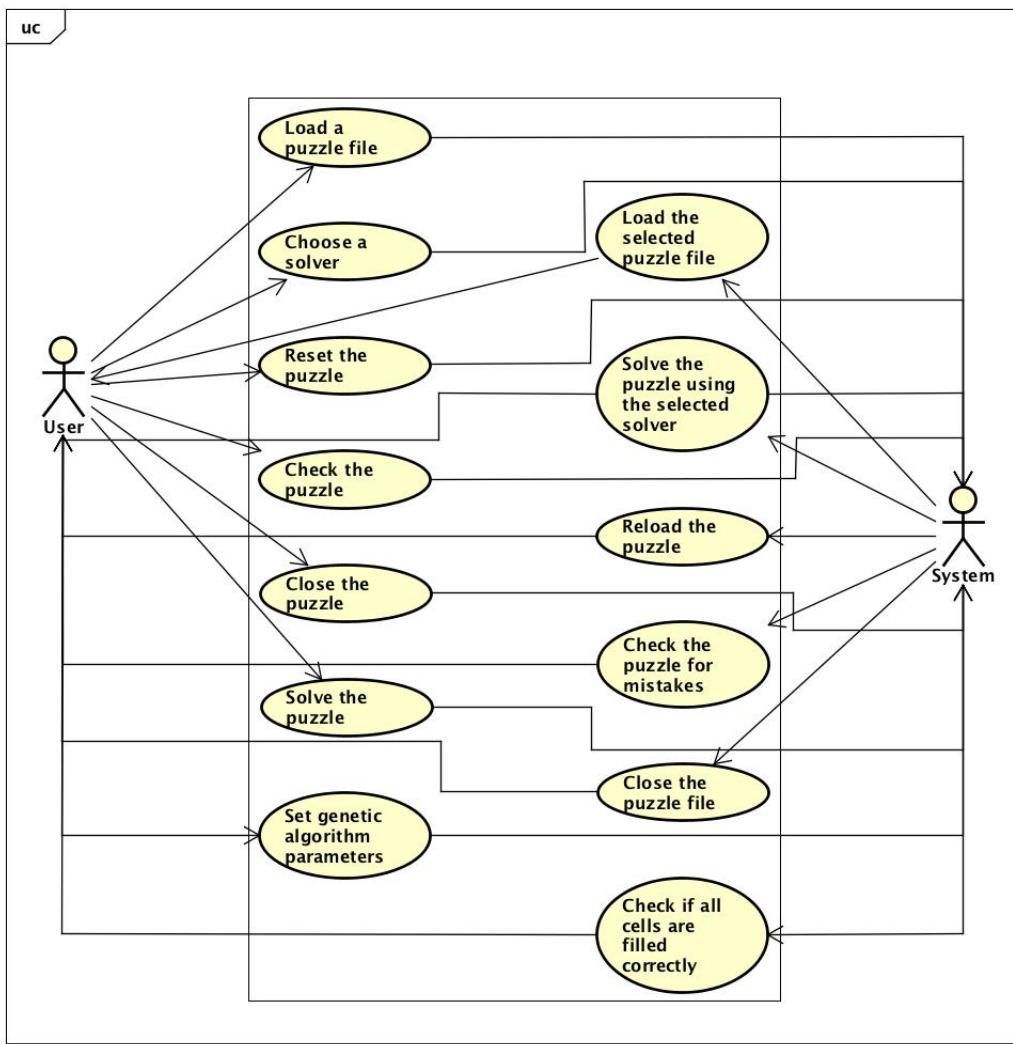
Diagram *use case* adalah diagram yang menggambarkan interaksi antara sistem (perangkat lunak) dengan pengguna. Berdasarkan analisis perangkat lunak yang telah dilakukan, maka pengguna dapat:

1. Membuka file masukan untuk memulai permainan.
2. Memilih salah satu dari dua *solver* yang disediakan untuk menyelesaikan permainan berdasarkan *file* yang sudah di-load.
3. Me-reset permainan untuk mengulang permainan berdasarkan *file* masukan yang sudah di-load dari awal.
4. Meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan jika ada masukan yang salah di dalam *grid*.
5. Menutup *file* masukan untuk mengakhiri permainan.
6. Menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri.
7. Mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik.

Diagram *use case* untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku dapat dilihat pada Gambar 3.49.

Berdasarkan diagram *use case* yang dapat dilihat pada Gambar 3.49, skenario-skenario yang dapat dilakukan oleh pengguna adalah:

1. Membuka file masukan. Penjelasan untuk skenario ini dapat dilihat pada Tabel 3.5.
2. Memilih salah satu dari dua *solver* yang disediakan. Penjelasan untuk skenario ini dapat dilihat pada Tabel 3.6
3. Me-reset permainan. Penjelasan untuk skenario ini dapat dilihat pada Tabel 3.7.



powered by Astah

Gambar 3.49: Diagram *use case* untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku

Tabel 3.6: Skenario memilih salah satu dari dua *solver* yang disediakan

Nama	Memilih salah satu dari dua <i>solver</i> yang disediakan
Aktor	Pengguna
Deskripsi	Memilih salah satu dari dua <i>solver</i> yang disediakan untuk menyelesaikan permainan berdasarkan <i>file</i> yang sudah di-load.
Kondisi Awal	<i>Solver</i> belum menyelesaikan permainan.
Kondisi Akhir	<i>Solver</i> berhasil atau gagal dalam menyelesaikan permainan.
Skenario Utama	Pengguna masuk ke dalam menu "Solve", lalu memilih salah satu dari dua <i>solver</i> yang disediakan. Pemain memilih menu item "Backtracking" untuk memilih <i>solver</i> dengan algoritma <i>backtracking</i> , atau menu item "Hybrid Genetic" untuk memilih <i>solver</i> dengan algoritma <i>hybrid genetic</i> .

Tabel 3.7: Skenario me-reset permainan

Nama	Me-reset permainan
Aktor	Pengguna
Deskripsi	Me-reset permainan untuk mengulang permainan berdasarkan <i>file</i> masukan yang sudah di-load dari awal.
Kondisi Awal	Permainan belum di-reset, sel-sel dalam <i>grid</i> mungkin masih berisi angka-angka.
Kondisi Akhir	Permainan sudah di-reset, semua sel-sel dalam <i>grid</i> sudah dalam keadaan kosong.
Skenario Utama	Pengguna masuk ke dalam menu "File", lalu memilih menu item "Reset Puzzle File". Akan keluar kotak dialog " <i>Are you sure you want to reset this puzzle?</i> ", klik tombol "Yes" untuk me-reset permainan, atau klik tombol "No" untuk membatalkan. Jika perangkat lunak belum me-load <i>file</i> masukan, maka akan keluar pesan <i>error</i> "Puzzle file not loaded".

Tabel 3.8: Skenario meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan

Nama	Meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan
Aktor	Pengguna
Deskripsi	Meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan jika ada masukan yang salah di dalam <i>grid</i> .
Kondisi Awal	Permainan belum diperiksa oleh perangkat lunak.
Kondisi Akhir	Permainan sudah diperiksa oleh perangkat lunak. Pengguna akan diberitahu oleh perangkat lunak jika ada masukan yang salah di dalam <i>grid</i> , misalnya ada angka yang berulang dalam sebuah baris atau kolom, atau angka-angka dalam sebuah <i>cage</i> tidak mencapai angka tujuan yang ditentukan setelah dihitung dengan operasi matematika yang ditentukan.
Skenario Utama	Pengguna masuk ke dalam menu "File", lalu memilih menu item "Check Puzzle File". Jika perangkat lunak belum me-load <i>file</i> masukan, maka akan keluar pesan <i>error</i> "Puzzle file not loaded".

Tabel 3.9: Skenario menutup *file* masukan

Nama	Menutup <i>file</i> masukan
Aktor	Pengguna
Deskripsi	Menutup <i>file</i> masukan untuk mengakhiri permainan.
Kondisi Awal	Perangkat lunak belum menutup <i>file</i> masukan.
Kondisi Akhir	Perangkat lunak sudah menutup <i>file</i> masukan.
Skenario Utama	Pengguna masuk ke dalam menu " <i>File</i> ", lalu memilih menu <i>item</i> " <i>Close Puzzle File</i> ". Jika perangkat lunak belum me- <i>load</i> <i>file</i> masukan, maka akan keluar pesan <i>error</i> " <i>Puzzle file not loaded</i> ".

Tabel 3.10: Skenario menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri

Nama	Menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri.
Aktor	Pengguna
Deskripsi	Pemain menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri. Pemain mengisikan sel-sel dalam <i>grid</i> dengan angka 1 sampai <i>n</i> , dengan <i>n</i> merupakan ukuran dari <i>grid</i> . Perangkat lunak dapat secara otomatis memeriksa <i>grid</i> jika ada masukan yang salah di dalam <i>grid</i> , misalnya ada angka yang berulang dalam sebuah baris atau kolom, atau angka-angka dalam sebuah <i>cage</i> tidak mencapai angka tujuan yang ditentukan setelah dihitung dengan operasi matematika yang ditentukan.
Kondisi Awal	Semua sel-sel dalam <i>grid</i> dalam keadaan kosong.
Kondisi Akhir	Semua sel-sel dalam <i>grid</i> sudah terisi dengan angka-angka, dengan rincian tidak ada angka yang berulang dalam sebuah baris atau kolom, dan angka-angka dalam setiap <i>cage</i> mencapai angka tujuan yang ditentukan setelah dihitung dengan operasi matematika yang ditentukan.
Skenario Utama	Pemain mengisikan sel-sel dalam <i>grid</i> dengan angka 1 sampai <i>n</i> , dengan <i>n</i> merupakan ukuran dari <i>grid</i> .

4. Meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan. Penjelasan untuk skenario ini dapat dilihat pada Tabel 3.8.
5. Menutup *file* masukan. Penjelasan untuk skenario ini dapat dilihat pada Tabel 3.9.
6. Menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri. Penjelasan untuk skenario ini dapat dilihat pada Tabel 3.10.
7. Mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik. Penjelasan untuk skenario ini dapat dilihat pada Tabel 3.11.

3.3.2 Diagram Kelas

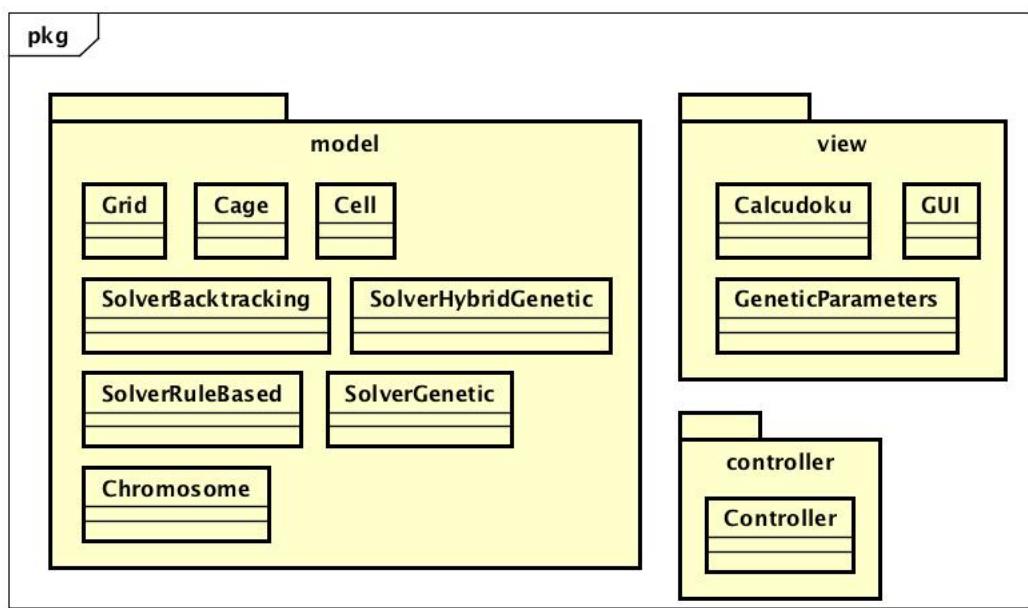
Berdasarkan diagram *use case* yang telah dibuat, maka diagram kelas dapat dibuat. Diagram kelas untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku dapat dilihat pada Gambar 3.50.

Berdasarkan diagram kelas yang dapat dilihat pada Gambar ??, kelas-kelas yang digunakan dalam perangkat lunak Calcudoku adalah:

1. *Package* model, yaitu *package* yang berisi kelas-kelas yang merepresentasikan permainan teka-teki Calcudoku. *Package* ini terdiri dari 8 kelas, yaitu:
 - (a) Kelas Grid, yaitu kelas yang merepresentasikan sebuah *grid* dalam permainan Calcudoku.

Tabel 3.11: Skenario mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik

Nama	Mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik
Aktor	Pengguna
Deskripsi	Pemain mengatur atau mengubah nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik dengan mengisi <i>form</i> yang telah disediakan. Pemain menekan tombol "OK" untuk mengatur atau mengubah nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik.
Kondisi Awal	Parameter-parameter untuk algoritma genetik belum diatur, atau sudah diatur tetapi belum diubah.
Kondisi Akhir	Parameter-parameter untuk algoritma genetik sudah diatur jika belum diatur sebelumnya, atau sudah diubah jadi sudah diatur sebelumnya.
Skenario Utama	Pemain mengisikan <i>form</i> yang telah disediakan, lalu menekan tombol "OK".



powered by Astah

Gambar 3.50: Diagram kelas untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku

- (b) Kelas Cell, yaitu kelas yang merepresentasikan sebuah sel dalam *grid*.
 - (c) Kelas Cage, yaitu kelas yang merepresentasikan sebuah *cage* dalam *grid*.
 - (d) Kelas SolverBacktracking, yaitu kelas yang merepresentasikan *solver* untuk permainan Calcudoku dengan algoritma *backtracking*.
 - (e) Kelas SolverHybridGenetic, yaitu kelas yang merepresentasikan *solver* untuk permainan Calcudoku dengan algoritma *hybrid genetic*.
 - (f) Kelas SolverRuleBased, yaitu kelas yang merepresentasikan *solver* untuk permainan Calcudoku dengan algoritma *rule based*, bagian pertama dari algoritma *hybrid genetic*.
 - (g) Kelas SolverGenetic, yaitu kelas yang merepresentasikan *solver* untuk permainan Calcudoku dengan algoritma genetik, bagian kedua dari algoritma *hybrid genetic*.
 - (h) Kelas Chromosome, yaitu kelas yang merepresentasikan sebuah kromosom dalam algoritma genetik.
2. *Package view*, yaitu *package* yang merepresentasikan GUI untuk permainan Calcudoku. *Package* ini terdiri dari 2 kelas, yaitu:
- (a) Kelas Calcudoku, yaitu kelas yang merepresentasikan *frame* untuk GUI permainan Calcudoku. Kelas ini berisi menu *bar*, dan panel yang merepresentasikan *grid* untuk permainan Calcudoku (kelas GUI).
 - (b) Kelas GUI, yaitu kelas yang merepresentasikan *grid* untuk permainan Calcudoku.
 - (c) Kelas GeneticParameters, yaitu kelas yang berisi *form* untuk mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik.
3. *Package controller*, yaitu penghubung antara kelas-kelas yang ada di dalam *package* model dengan kelas-kelas yang ada di dalam *package view*. *Package* ini terdiri dari 1 kelas, yaitu kelas Controller. Kelas ini menghubungkan kelas-kelas yang ada di dalam *package* model dengan kelas-kelas yang ada di dalam *package view*.

Penjelasan tentang variabel-variabel dan *method-method* yang ada di dalam kelas-kelas di atas akan dijelaskan di dalam bab Perancangan.

3.4 Diagram Sequence

Diagram *sequence* adalah diagram yang menggambarkan interaksi antar kelas dalam suatu skenario.

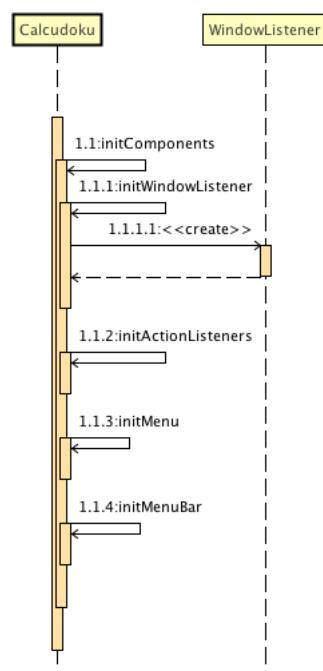
Gambar 3.51 menunjukkan diagram *sequence* saat perangkat lunak dibuka.

Gambar 3.52 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Load Puzzle File" dalam menu "File" dipilih.

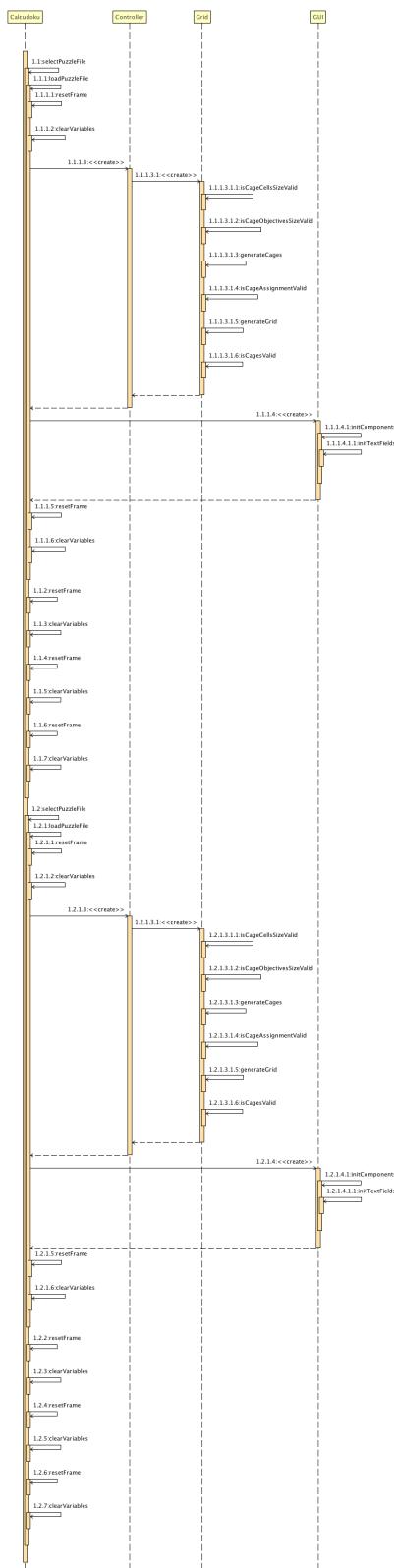
Gambar 3.53 menunjukkan diagram *sequence* saat file permainan yang ingin dibuka dalam *file chooser* dipilih.

Gambar 3.54 menunjukkan diagram *sequence* saat file permainan yang sudah dipilih dibuka.

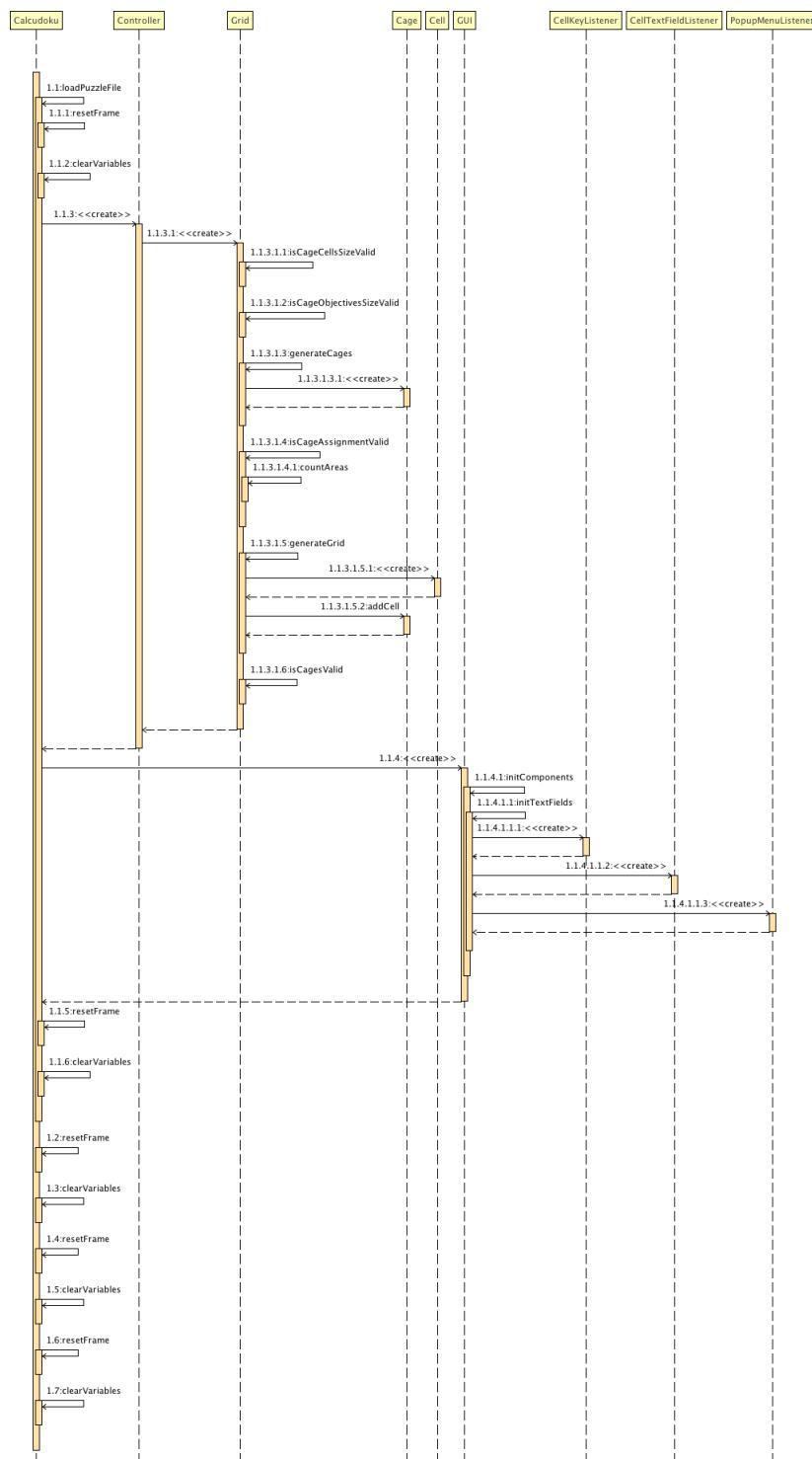
Gambar 3.55 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Reset Puzzle" dalam menu "File" dipilih.



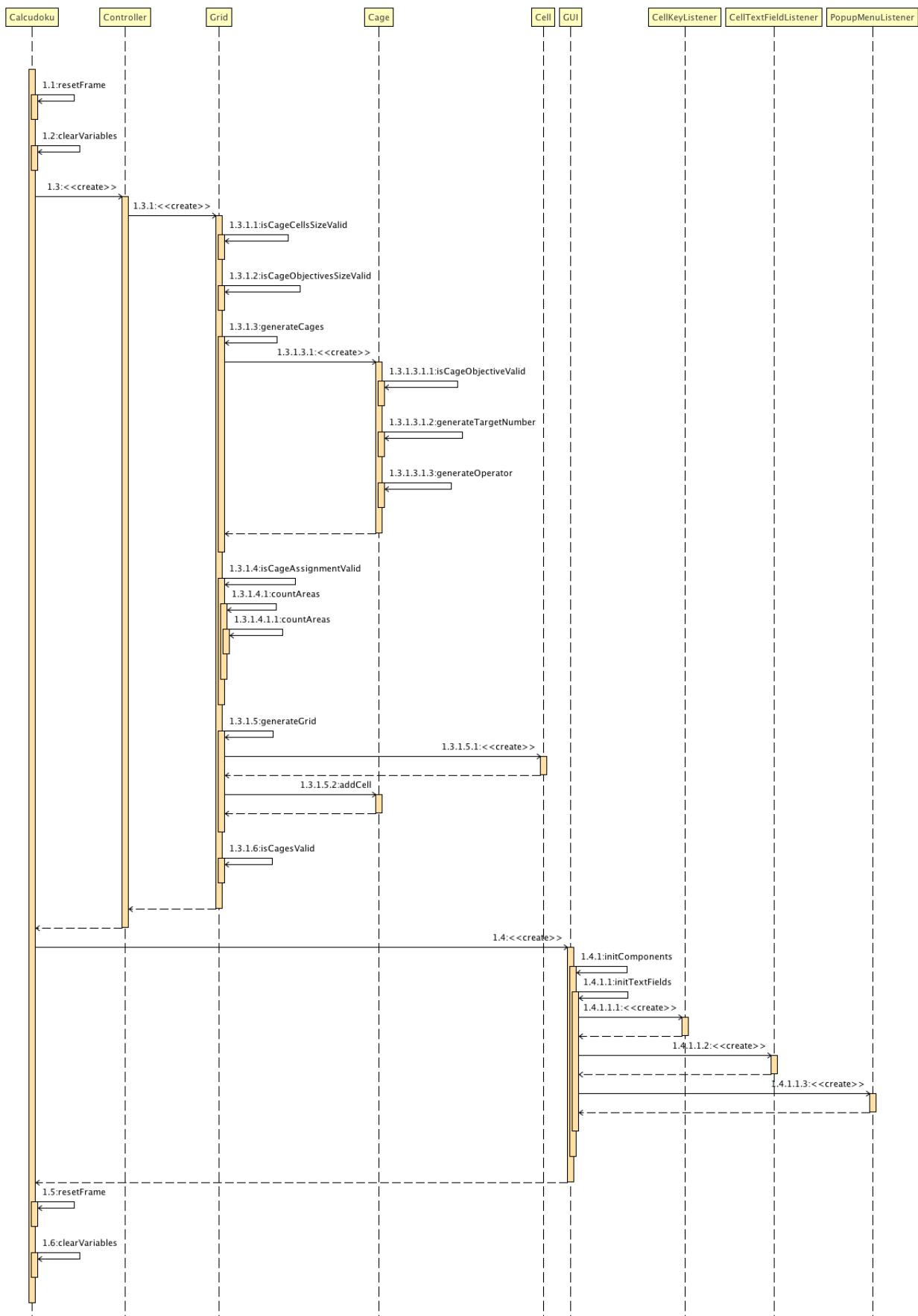
Gambar 3.51: Diagram *sequence* saat perangkat lunak dibuka



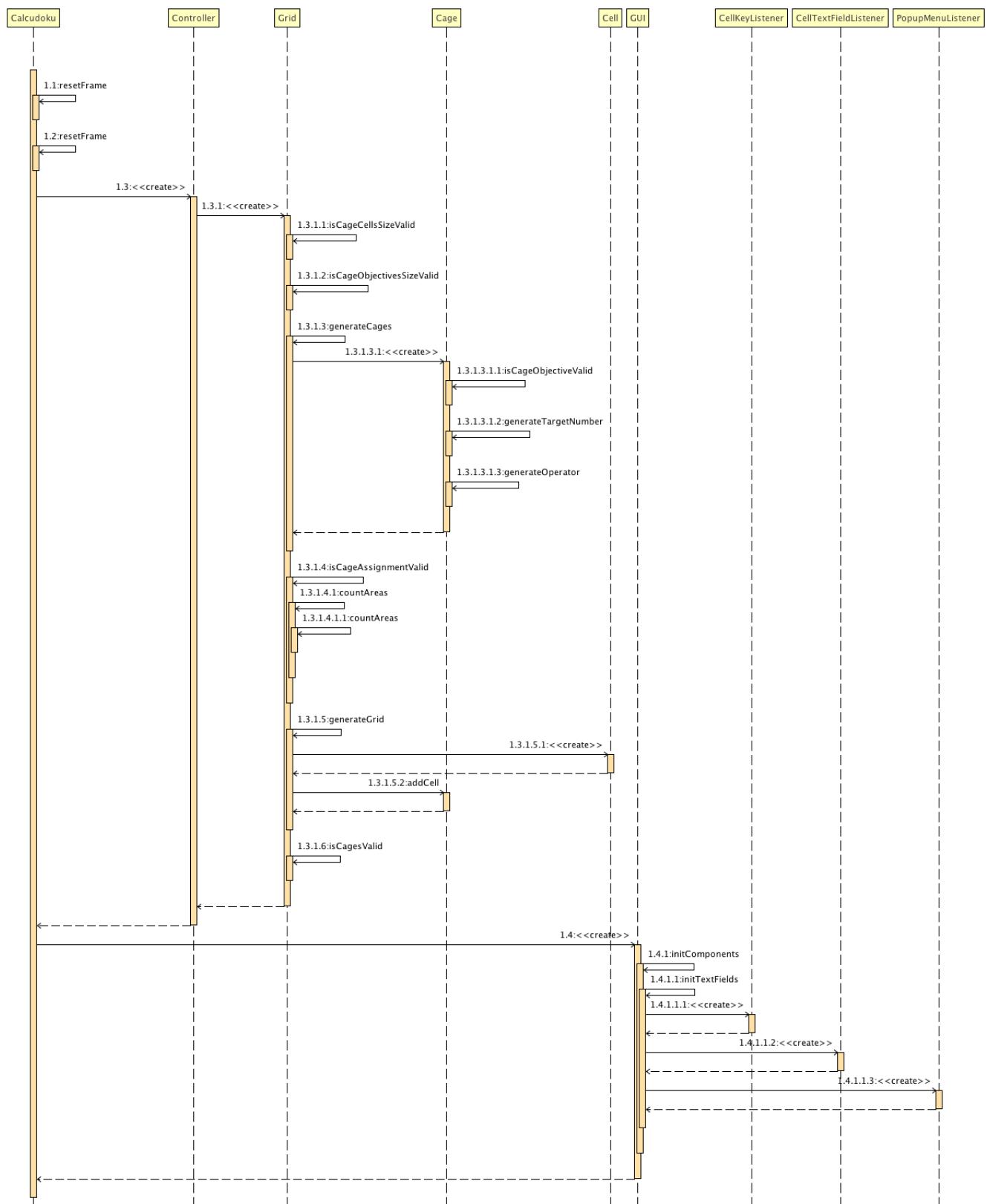
Gambar 3.52: Diagram sequence saat menu item "Load Puzzle File" dalam menu "File" dipilih



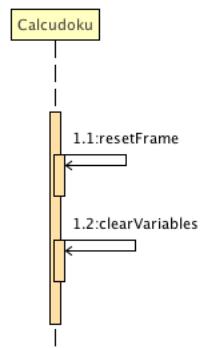
Gambar 3.53: Diagram *sequence* saat file yang ingin dibuka dalam *file chooser* dipilih



Gambar 3.54: Diagram *sequence* saat file permainan yang sudah dipilih dibuka



Gambar 3.55: Diagram *sequence* saat menu item "Reset Puzzle" dalam menu "File" dipilih



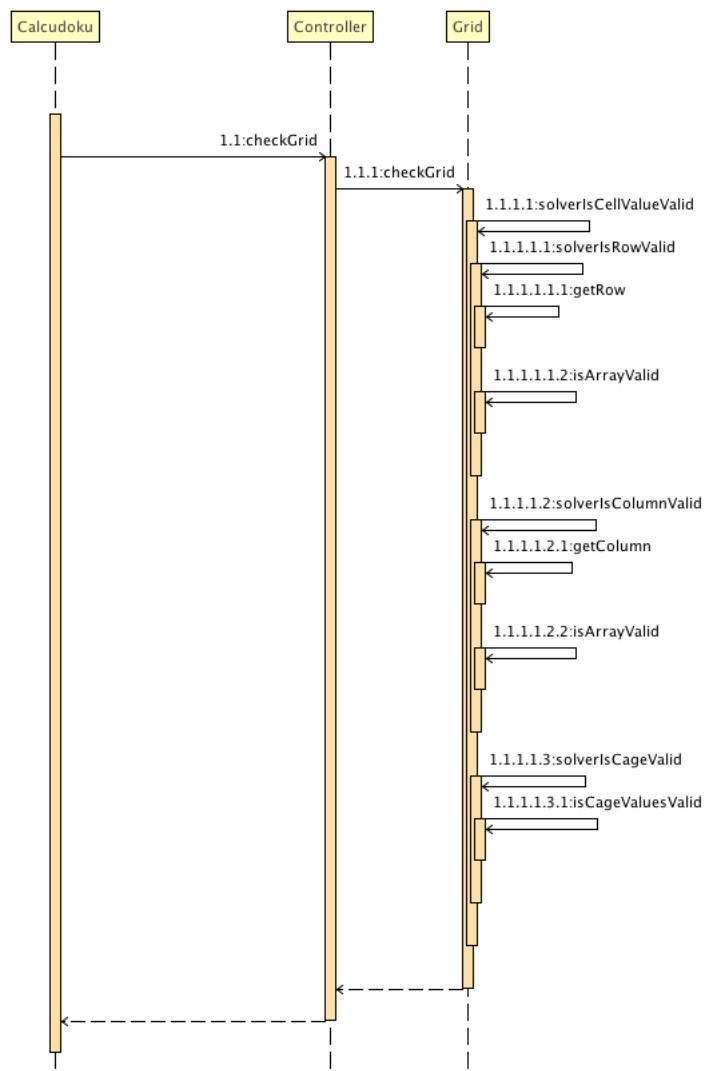
Gambar 3.56: Diagram *sequence* saat menu item "Close Puzzle File" dalam menu "File" dipilih

Gambar 3.56 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Close Puzzle File" dalam menu "File" dipilih.

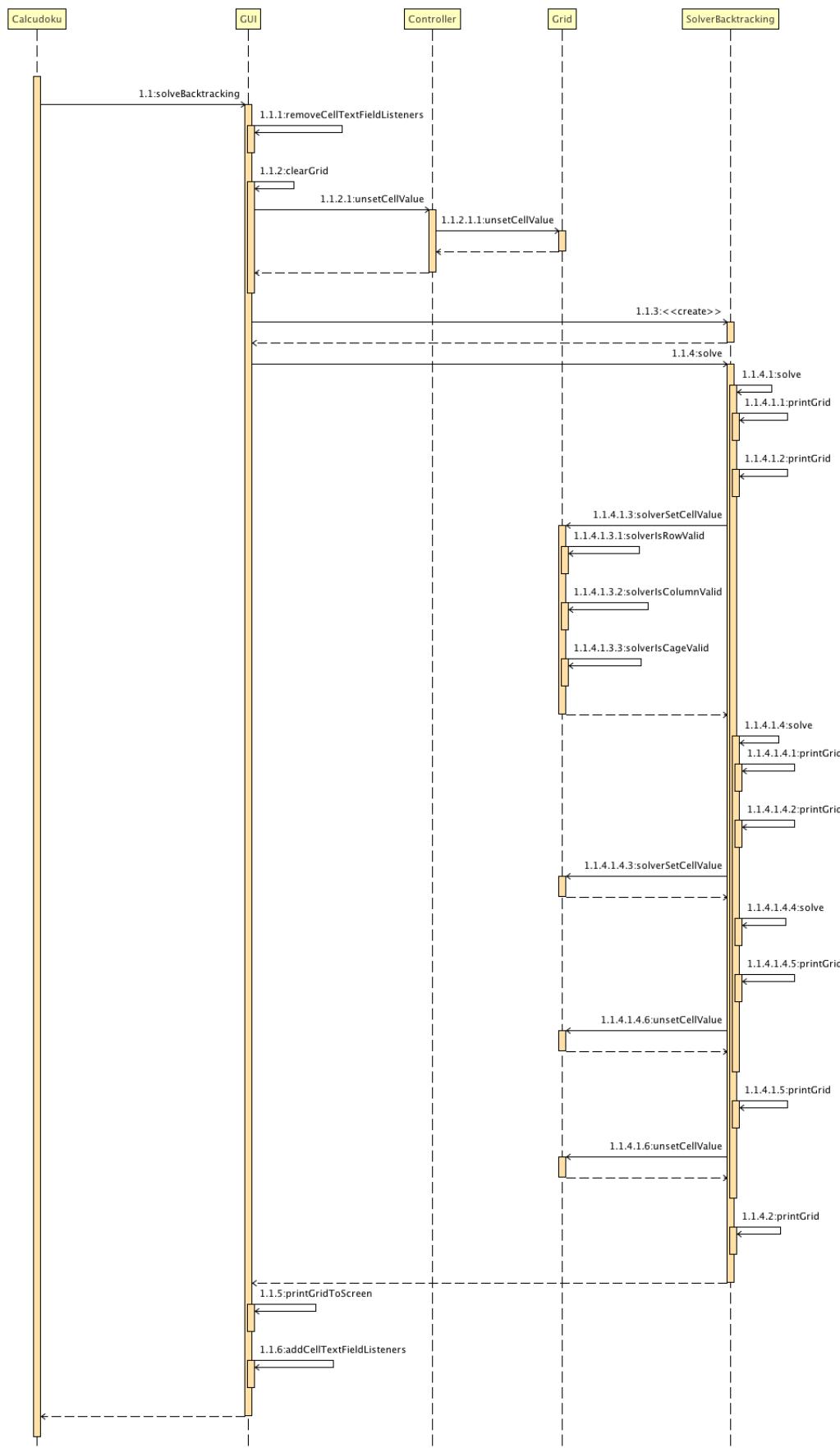
Gambar 3.57 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Check Puzzle File" dalam menu "File" dipilih.

Gambar 3.58 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Backtracking" dalam menu "Solve" dipilih.

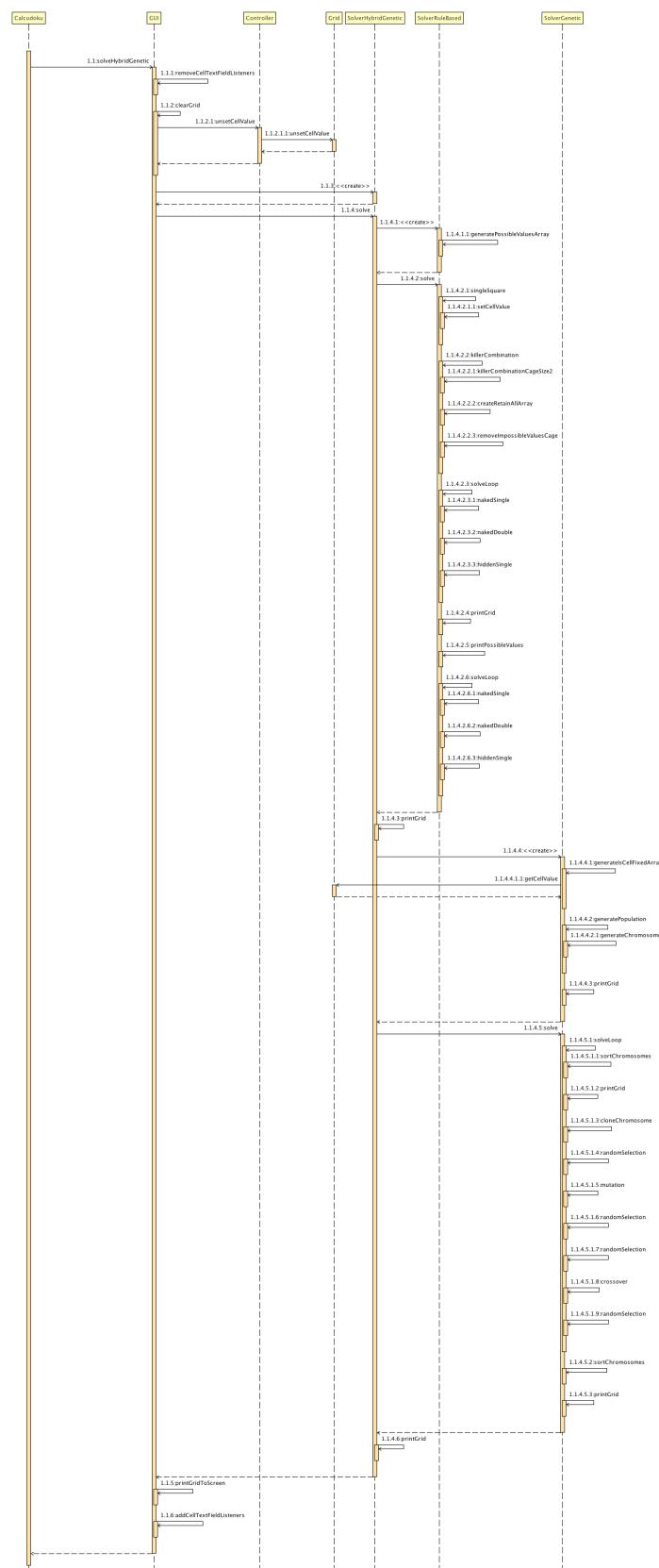
Gambar 3.59 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Hybrid Genetic" dalam menu "Solve" dipilih.



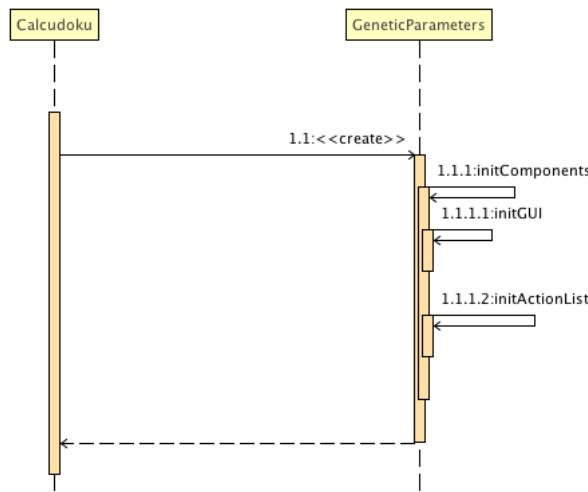
Gambar 3.57: Diagram *sequence* saat menu item "Check Puzzle File" dalam menu "File" dipilih



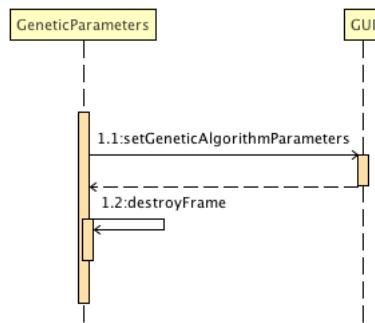
Gambar 3.58: Diagram *sequence* saat menu "item" "Backtracking" dalam menu "Solve" dipilih



Gambar 3.59: Diagram *sequence* saat menu item "Hybrid Genetic" dalam menu "Solve" dipilih



Gambar 3.60: Diagram *sequence* saat menu item "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih



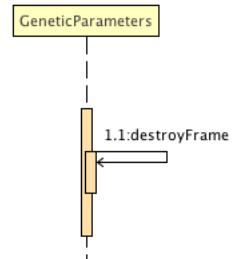
Gambar 3.61: Diagram *sequence* saat button "OK" dalam form "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih

Gambar 3.60 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih.

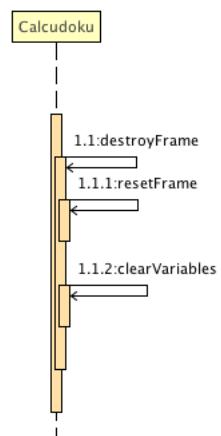
Gambar 3.61 menunjukkan diagram *sequence* saat button "OK" dalam form "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih.

Gambar 3.62 menunjukkan diagram *sequence* saat button "Cancel" dalam form "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih.

Gambar 3.63 menunjukkan diagram *sequence* saat perangkat lunak ditutup.



Gambar 3.62: Diagram *sequence* saat button "Cancel" dalam form "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih



Gambar 3.63: Diagram *sequence* saat perangkat lunak ditutup

BAB 4

PERANCANGAN

Bab ini membahas tentang perancangan perangkat lunak yang dibuat. Bab ini juga akan membahas tentang perancangan masukan, perancangan keluaran, diagram kelas, diagram *use case*, diagram aktivitas, dan diagram *sequence* untuk perangkat lunak tersebut.

4.1 Perancangan Masukan

Masukan untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku ini berupa sebuah *file* teks, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.

Adapun rincian dari *file* teks masukan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Baris pertama berisi ukuran *grid* dan banyaknya *cage* dari teka-teki Calcudoku tersebut. Angka pertama adalah ukuran *grid*, dan angka kedua adalah banyaknya *cage*.
2. Baris kedua sampai ke baris ke- $2 + (n - 1)$, dengan n adalah ukuran *grid*, berisi matriks *cage assignment*. Matriks ini merepresentasikan posisi dari setiap *cage* dalam *grid*. Setiap *cage* direpresentasikan dengan angka yang berbeda. Setiap *cage* dapat mempunyai ukuran (jumlah sel yang terdapat dalam *cage*) yang bervariasi. Setiap sel dalam sebuah *cage* harus berhubungan secara horizontal atau vertikal dengan sel lain dalam *cage* yang sama.
3. Baris ke- $2+n$ dan seterusnya berisi *cage objectives* untuk setiap *cage*. *Cage objectives* berisikan angka tujuan dan operasi matematika yang telah ditentukan. Angka-angka dalam sebuah *cage* harus mencapai angka tujuan jika dihitung menggunakan operasi matematika yang telah ditentukan.

4.2 Perancangan Keluaran

Keluaran untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku ini berupa sebuah matriks yang berisi solusi dari teka-teki Calcudoku yang sudah diselesaikan oleh program, seperti dapat dilihat pada Gambar 4.2.

4.3 Perancangan Antarmuka

Antarmuka untuk perangkat lunak ini terdiri dari sebuah *frame* yang berisi sebuah menu *bar* dan GUI dari permainan teka-teki Calcudoku. GUI hanya akan ditampilkan jika perangkat lunak sudah membuka *file* permainan. Jika *file* permainan ditutup, maka GUI juga akan ditutup.

Gambar 4.3 menunjukkan perancangan GUI sebelum *file* permainan dibuka. Gambar 4.4 menunjukkan perancangan GUI sesudah *file* permainan dibuka. Gambar 4.5 menunjukkan perancangan GUI sesudah permainan berdasarkan *file* permainan yang dibuka diselesaikan.

Menu *bar* untuk perangkat lunak ini terdiri dari dua menu, yaitu:

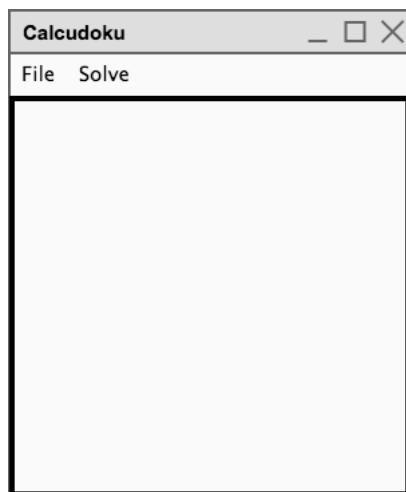
1. *File*, yaitu menu yang berisi *item-item* menu yang terkait dengan *file* permainan.

```
4
9
1 2 3 3
1 4 4 5
6 7 7 5
8 8 9 9
7+
2=
2-
3-
2/
1=
6*
3+
7+
```

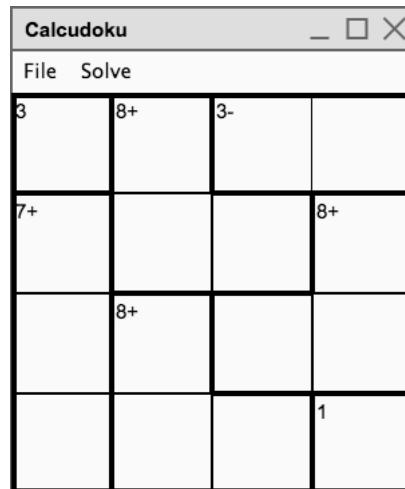
Gambar 4.1: Contoh *file* masukan.

```
4 2 3 1
3 4 1 2
1 3 2 4
2 1 4 3
```

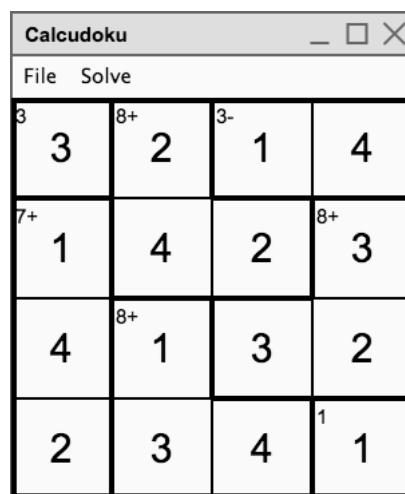
Gambar 4.2: Contoh keluaran.



Gambar 4.3: Perancangan GUI sebelum membuka *file* permainan



Gambar 4.4: Perancangan GUI sesudah membuka *file* permainan



Gambar 4.5: Perancangan GUI sesudah permainan berdasarkan *file* permainan yang dibuka diselesaikan.

Gambar 4.6: Menu *File*Gambar 4.7: Menu *Solve*

2. *Solve*, yaitu menu yang berisi *item-item* menu yang terkait dengan *solver*.

Menu *File* mempunyai beberapa menu *item*, yaitu:

1. *Load Puzzle File*, yaitu menu *item* untuk membuka *file* permainan.
2. *Reset Puzzle*, yaitu menu *item* untuk me-reset permainan.
3. *Close Puzzle File*, yaitu menu *item* untuk menutup *file* permainan.
4. *Check Puzzle*, yaitu menu *item* untuk memeriksa permainan jika ada masukan yang salah di dalam *grid*.
5. *Exit*, yaitu menu *item* untuk menutup perangkat lunak.

Gambar 4.6 menunjukkan isi dari menu *File*.

Menu *Solve* mempunyai beberapa menu *item*, yaitu:

1. *Backtracking*, yaitu menu *item* untuk menyelesaikan permainan berdasarkan *file* permainan yang dibuka dengan algoritma *backtracking*.
2. *Hybrid Genetic*, yaitu menu *item* untuk menyelesaikan permainan berdasarkan *file* permainan yang dibuka dengan algoritma *hybrid genetic*.
3. *Set Genetic Algorithm Parameters*, yaitu menu *item* untuk mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik.

Gambar 4.7 menunjukkan isi dari menu *Solve*.

4.4 Diagram Kelas

Perangkat lunak teka-teki Calcudoku ini terdiri dari beberapa kelas, yang dikelompokkan dalam tiga package, yaitu:

1. Model, yaitu *engine* dari perangkat lunak ini. Package ini memiliki beberapa kelas, yaitu:
 - (a) Grid, yaitu kelas yang merepresentasikan *grid* dalam teka-teki Calcudoku.
 - (b) Cell, yaitu kelas yang merepresentasikan sel dalam teka-teki Calcudoku.
 - (c) Cage, yaitu kelas yang merepresentasikan *cage* dalam teka-teki Calcudoku.

- (d) SolverBacktracking, yaitu kelas *solver* untuk teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma backtracking.
 - (e) SolverHybridGenetic, yaitu kelas *solver* untuk teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma *hybrid genetic*. Algoritma ini akan mencoba menyelesaikan teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma *rule based* terlebih dahulu. Algoritma genetik baru akan dijalankan jika algoritma *rule based* gagal dalam menyelesaikan teka-teki Calcudoku.
 - (f) SolverRuleBased, yaitu kelas *solver* untuk teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma *rule based*. Dalam algoritma *hybrid genetic*, algoritma akan mencoba menyelesaikan teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma *rule based* terlebih dahulu.
 - (g) SolverGenetic, yaitu kelas *solver* untuk teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma genetik. Dalam algoritma *hybrid genetic*, algoritma genetik baru akan dijalankan jika algoritma *rule based* gagal dalam menyelesaikan teka-teki Calcudoku.
 - (h) Chromosome, yaitu kelas yang merepresentasikan sebuah kromosom untuk algoritma genetik dalam solver *hybrid genetic*.
 - (i) ChromosomeComparator, yaitu kelas pembanding *custom (custom comparator)* yang berfungsi untuk mengurutkan kromosom berdasarkan nilai kelayakkannya (*fitness value*).
2. View, yaitu GUI dari perangkat lunak ini. Package ini memiliki beberapa kelas, yaitu:
- (a) Calcudoku, yaitu kelas *frame* yang berisi menu *bar* dan instansiasi kelas panel GUI.
 - (b) WindowListener, yaitu kelas *listener* untuk kelas Calcudoku. *Listener* ini berfungsi untuk menambahkan pesan peringatan saat akan menutup perangkat lunak.
 - (c) PuzzleFileFilter, yaitu kelas filter untuk *file chooser*. Filter ini membatasi agar *file chooser* hanya bisa membuka *file* teks.
 - (d) GUI, yaitu kelas panel yang merepresentasikan GUI dari permainan teka-teki Calcudoku.
 - (e) CellKeyListener, yaitu kelas *listener* untuk kelas GUI. *Listener* ini berfungsi untuk menggerakkan kurSOR dari sebuah sel ke sel di sebelahnya menggunakan tombol-tombol panah ke kiri, ke atas, ke bawah, dan ke kanan. Listener ini juga berfungsi untuk membatasi agar sel hanya bisa diisi oleh satu angka.
 - (f) PopupMenuItemListener, yaitu kelas *listener* untuk kelas GUI. *Listener* ini berfungsi untuk mengisi sel dengan angka menggunakan menu *pop up*, sel akan diisi dengan angka yang dipilih.
 - (g) CellTextFieldListener, yaitu kelas *listener* untuk kelas GUI. *Listener* ini berfungsi untuk mengisikan sel dalam kelas Grid dengan angka yang diisikan ke dalam sel dalam GUI.
 - (h) GeneticParameters, yaitu kelas yang berisi *form* untuk mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik.
3. Controller, yaitu penghubung antara *package model* dan *package view*. Package ini hanya berisi satu kelas, yaitu kelas Controller.

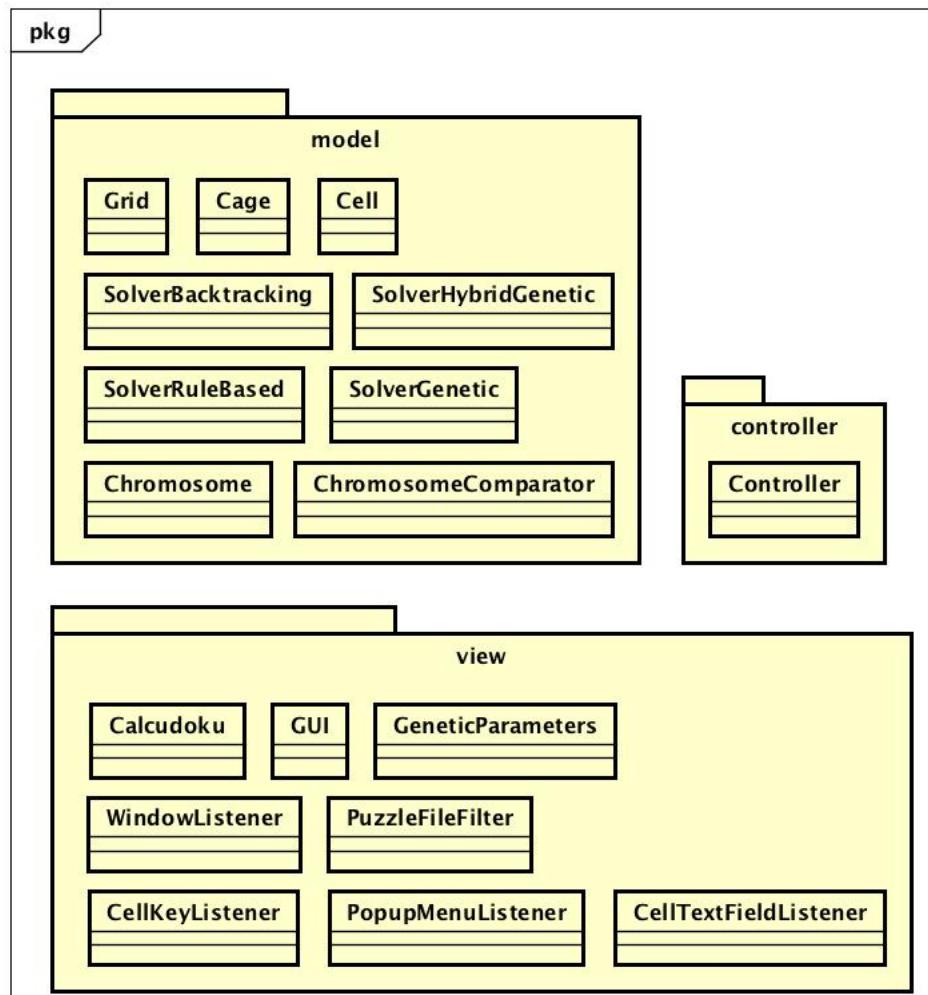
Diagram kelas untuk perangkat lunak ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.

Berikut ini adalah rincian dari setiap kelas, dengan setiap atribut dan setiap *method* yang dimilikinya.

4.4.1 Kelas Grid

Kelas Grid mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. size, yaitu ukuran dari matriks *grid*.



Gambar 4.8: Diagram kelas untuk perangkat lunak Calcudoku.

2. `numberOfCages`, yaitu banyaknya *cage* yang terdapat dalam *grid*.
3. `cageCells`, yaitu sebuah matriks *cage assignment*. Matriks ini merepresentasikan posisi dari setiap *cage* dalam *grid*.
4. `cageObjectives`, yaitu sebuah *array* yang berisi *cage objectives* untuk setiap *cage*. *Cage objectives* berisikan angka tujuan dan operasi matematika yang telah ditentukan.
5. `grid`, yaitu representasi dari *grid* dalam teka-teki Calcudoku. *grid* adalah sebuah matriks yang berisi sel-sel. Matriks ini berukuran $n \times n$.
6. `cages`, yaitu representasi dari sebuah *cage* dalam sebuah *grid*.

Kelas Grid mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. `Grid(Integer size, Integer numberOfCages, Integer[][] cageCells, String[] cageObjectives)`, yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa ukuran dari matriks *grid*, banyaknya *cage* yang terdapat dalam *grid*, matriks *cage assignment*, dan array *cage objectives*.
2. `countAreas(Integer[][] array)`, yaitu *method* pembungkus dari *method* `countAreas(int[][] array, boolean[][] checked)`. *Method* ini menerima masukan berupa array *cage assignment* untuk sebuah *cage*, dan menghasilkan keluaran berupa jumlah area dari *cage* tersebut.
3. `countAreas(Integer[][] array, boolean[][] checked)`, yaitu *method* yang menghitung jumlah area dari sebuah *cage* secara rekursif dengan menggunakan algoritma *flood fill*. *Method* ini menerima masukan berupa array *cage assignment* untuk sebuah *cage* dan sebuah array *checked* yang berfungsi untuk menandai sel-sel yang sudah pernah dikunjungi atau belum, dan menghasilkan keluaran berupa jumlah area dari *cage* tersebut.
4. `floodFill(int i, int j, Integer[][] array, boolean[][] checked)`, yaitu implementasi dari algoritma *flood fill* untuk menghitung jumlah area dari sebuah *cage*. *Method* ini menerima masukan berupa posisi baris dan kolom dari sebuah sel, array *cage assignment* untuk sebuah *cage* dan sebuah array *checked* yang berfungsi untuk menandai sel-sel yang sudah pernah dikunjungi atau belum.
5. `isCageCellsSizeValid(Integer[][] cageCells)`, yaitu *method* yang memeriksa apakah ukuran matriks *cage assignment* valid atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa matriks *cage assignment*, dan menghasilkan keluaran apakah matriks tersebut *valid* atau tidak. Matriks tersebut *valid* jika ukuran barisnya dan kolomnya sama dengan variabel *size*.
6. `isCageObjectivesSizeValid(String[] cageObjectives)`, yaitu *method* yang memeriksa apakah ukuran matriks *cage objectives* valid atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa array *cage objectives*, dan menghasilkan keluaran apakah array tersebut *valid* atau tidak. Array tersebut *valid* jika ukuran dari array tersebut sama dengan variabel *numberOfCages*.
7. `isCageAssignmentValid(Integer[][] array)`, yaitu *method* yang memeriksa apakah *cage assignment* untuk sebuah *cage* *valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa matriks *cage assignment* untuk sebuah *cage* dan menghasilkan keluaran apakah matriks tersebut atau tidak. Matriks tersebut *valid* jika jumlah area dari *cage* tersebut adalah satu.
8. `isCagesValid(Cage[] cages)`, yaitu *method* yang memeriksa apakah setiap *cage* yang ada di dalam *grid* *valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa array *cage*, dan menghasilkan keluaran apakah array tersebut *valid* atau tidak. Array tersebut *valid* jika setiap *cage* dengan operator = hanya berukuran satu sel, setiap *cage* dengan operator + atau \times berukuran minimal dua sel, dan setiap *cage* dengan operator - atau \div berukuran tepat dua sel.

9. generateCages(Cage[] cages), yaitu *method* yang membangkitkan *cage-cage* dalam sebuah *grid*. *Method* ini menerima masukan berupa sebuah array *Cage* yang kosong.
10. generateGrid(Cell[][] grid, Cage[] cages), yaitu *method* yang membangkitkan *grid* dan *cage assignment* dari *grid* tersebut.. *Method* ini menerima masukan berupa sebuah matriks sel yang kosong dan sebuah array *cage* yang kosong.
11. getRow(int rowNumber), yaitu *method* untuk mendapatkan isi dari sebuah baris yang diminta. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris yang diminta dan menghasilkan keluaran berupa isi baris yang diminta.
12. getColumn(int columnNumber), yaitu *method* untuk mendapatkan isi dari sebuah kolom yang diminta. *Method* ini menerima masukan berupa nomor kolom yang diminta dan menghasilkan keluaran berupa isi kolom yang diminta dalam bentuk *ArrayList*.
13. getCageValues(int cageNumber), yaitu *method* untuk mendapatkan isi dari sebuah *cage* yang diminta. *Method* ini menerima masukan berupa nomor *cage* yang diminta dan menghasilkan keluaran berupa isi *cage* yang diminta dalam bentuk *ArrayList*.
14. isArrayValid(ArrayList<Integer> array), yaitu *method* untuk memeriksa apakah sebuah *array valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa *array* yang akan diperiksa dan menghasilkan keluaran apakah *array* tersebut *valid* atau tidak. *Array* tersebut *valid* jika tidak ada angka yang berulang dalam *array* tersebut.
15. isRowValid(int row), yaitu *method* untuk memeriksa apakah sebuah baris *valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris yang diminta dan menghasilkan keluaran apakah baris yang diminta tersebut *valid* atau tidak. Baris tersebut *valid* jika tidak ada angka yang berulang dalam baris tersebut.
16. solverIsRowValid(int column), yaitu *method* yang sama dengan *isRowValid*, tetapi *method* ini hanya untuk dipanggil oleh *solver*.
17. isColumnValid(int column), yaitu *method* untuk memeriksa apakah sebuah kolom *valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa nomor kolom yang diminta dan menghasilkan keluaran apakah kolom yang diminta tersebut *valid* atau tidak. Kolom tersebut *valid* jika tidak ada angka yang berulang dalam kolom tersebut.
18. solverIsColumnValid(int column), yaitu *method* yang sama dengan *isColumnValid*, tetapi *method* ini hanya untuk dipanggil oleh *solver*.
19. isCageValuesValid(int cageNumber), yaitu *method* untuk memeriksa apakah nilai dari setiap sel yang berada dalam sebuah *cage valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa nomor *cage* yang diminta dan menghasilkan keluaran apakah nilai dari setiap sel yang berada dalam *cage* yang diminta tersebut *valid* atau tidak. *Cage* tersebut *valid* jika nilai dari setiap sel yang berada di dalam *cage* tersebut mencapai angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan.
20. isCageValid(int row, int column), yaitu *method* untuk memeriksa apakah sebuah *cage valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sebuah sel yang diminta dan menghasilkan keluaran apakah *cage* yang berisi sel tersebut *valid* atau tidak. *Cage* tersebut *valid* jika angka-angka dalam *cage* tersebut mencapai angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan.
21. solverIsCageValid(int column), yaitu *method* yang sama dengan *isCageValid*, tetapi *method* ini hanya untuk dipanggil oleh *solver*.

22. `isCellValueValid(int row, int column)`, yaitu *method* untuk memeriksa apakah nilai dari sel tersebut *valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang akan diperiksa dan menghasilkan keluaran apakah nilai dari sel tersebut *valid* atau tidak. Nilai dari sebuah sel *valid* jika nilai dari sel tersebut tidak berulang dalam baris dan kolom tempat sel tersebut berada, dan angka-angka dari *cage* yang berisi sel tersebut mencapai angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan.
23. `solverIsCellValueValid(int column)`, yaitu *method* yang sama dengan `isCellValueValid`, tetapi *method* ini hanya untuk dipanggil oleh solver.
24. `setCellValue(int row, int column, Integer value)`, yaitu *method* untuk mengisi sebuah sel dengan nilai yang telah ditentukan. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang akan diisi dan nilai dari sel tersebut, dan menghasilkan keluaran apakah nilai dari sel tersebut *valid* atau tidak. Nilai dari sebuah sel *valid* jika nilai dari sel tersebut tidak berulang dalam baris dan kolom tempat sel tersebut berada, dan angka-angka dari *cage* yang berisi sel tersebut mencapai angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan.
25. `solverSetCellValue(int row, int column, Integer value)`, yaitu *method* yang sama dengan `setCellValue`, tetapi *method* ini hanya untuk dipanggil oleh solver.
26. `unsetCellValue(int row, int column)`, yaitu *method* untuk menghapus isi dari sebuah sel. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang akan dihapus isinya.
27. `isWin()`, yaitu *method* yang memeriksa apakah semua sel sudah diisi dengan nilai yang *valid* atau tidak. *Method* ini menghasilkan keluaran apakah semua sel sudah diisi dengan nilai yang *valid* atau tidak. *Method* ini menghasilkan *null* jika ada sel yang belum diisi.
28. `checkGrid()`, yaitu *method* yang memeriksa apakah ada sel yang berisi nilai yang tidak *valid* atau tidak. *Method* ini akan menghasilkan apakah ada sel yang berisi nilai yang tidak *valid* atau tidak. Nilai dari sebuah sel *valid* jika nilai dari sel tersebut tidak berulang dalam baris dan kolom tempat sel tersebut berada, dan angka-angka dari *cage* yang berisi sel tersebut mencapai angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan. *Method* ini juga memeriksa apakah ada sel yang kosong atau tidak.
29. `isFilled()`, yaitu *method* yang memeriksa apakah semua sel sudah diisi atau tidak. *Method* ini menghasilkan keluaran apakah semua sel sudah diisi atau tidak.
30. `getCellValue(int row, int column)`, yaitu *method* untuk mendapatkan isi dari sebuah sel. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang diminta dan menghasilkan keluaran berupa isi dari sel yang diminta tersebut.
31. `getSize()`, yaitu *method* untuk mendapatkan ukuran dari *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa ukuran dari *grid*.
32. `getNumberOfCages()`, yaitu *method* untuk mendapatkan jumlah *cage* yang ada di dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa jumlah *cage* yang ada di dalam *grid*.
33. `getCageCells()`, yaitu *method* untuk mendapatkan matriks *cage assignment* dari *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa matriks *cage assignment* dari *grid*.
34. `getCageObjectives()`, yaitu *method* untuk mendapatkan *cage objectives* dari setiap *cage* dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa sebuah array yang berisi *cage objectives* dari setiap *cage* dalam *grid*.

35. `getGridContents()`, yaitu *method* untuk mendapatkan nilai dari setiap sel *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa sebuah matriks yang berisi nilai dari setiap sel *grid*.
36. `getCages()`, yaitu *method* untuk mendapatkan semua *cage* dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa array yang berisi semua *cage* dalam *grid*.
37. `getGame()`, yaitu *method* untuk mendapatkan instansiasi saat ini dari kelas *Grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa instansiasi saat ini dari kelas *Grid*.

Diagram kelas Grid dapat dilihat pada Gambar 4.9.

4.4.2 Kelas Cage

Kelas Cage mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. `objective`, yaitu angka tujuan dan operator yang ditentukan untuk *cage* tersebut.
2. `targetNumber`, yaitu angka tujuan dari *cage* tersebut.
3. `operator`, yaitu operator yang ditentukan untuk *cage* tersebut.
4. `cells`, yaitu sebuah array yang berisi sel-sel yang merupakan anggota dari *cage* tersebut.

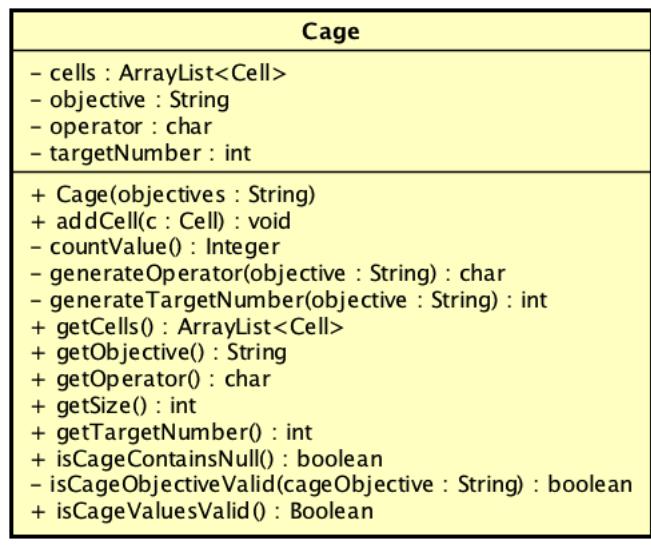
Kelas Cage mempunyai *method-method* berikut:

1. `Cage(String objectives)`, yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa *cage objectives* dari *cage* tersebut.
2. `isCageObjectiveValid(String cageObjective)`, yaitu *method* yang memeriksa apakah *cage objective* dari *cage* tersebut *valid* atau tidak. *Method* ini menerima masukan berupa String yang berisi *cage objective* dan menghasilkan keluaran apakah String tersebut valid atau tidak. *Cage objective valid* jika isi dari *cage objective* tersebut adalah satu angka tujuan dari *cage* tersebut dan diikuti oleh satu operator yang telah ditentukan untuk *cage* tersebut.
3. `generateTargetNumber(String objective)`, yaitu *method* yang membangkitkan angka tujuan dari sebuah *cage* dari *cage objective* yang diberikan. *Method* ini menerima masukan berupa String yang berisi *cage objective* dari sebuah *cage* dan menghasilkan keluaran berupa angka tujuan dari *cage* tersebut.
4. `generateOperator(String objective)`, yaitu *method* yang membangkitkan operator yang telah ditentukan untuk sebuah *cage* dari *cage objective* yang diberikan. *Method* ini menerima masukan berupa String yang berisi *cage objective* dari sebuah *cage* dan menghasilkan keluaran berupa operator yang telah ditentukan untuk *cage* tersebut.
5. `addCell(Cell c)`, yaitu *method* untuk menambahkan sebuah sel kedalam sebuah *cage*. *Method* ini menerima masukan berupa sel yang akan dimasukkan ke dalam *cage*.
6. `isCageContainsNull()`, yaitu *method* yang memeriksa apakah sebuah *cage* mempunyai sel yang belum diisi. *Method* ini menghasilkan keluaran apakah *cage* tersebut mempunyai sel yang belum terisi.
7. `isCageValuesValid()`, yaitu *method* yang memeriksa apakah angka-angka dalam sebuah *cage* mencapai angka tujuan dari *cage* tersebut jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan untuk *cage* tersebut. *Method* ini menghasilkan keluaran apakah angka-angka dalam *cage* tersebut mencapai angka tujuan dari *cage* tersebut jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan untuk *cage* tersebut. *Method* ini menghasilkan *null* jika ada sel di dalam *cage* yang belum diisi.



powered by Astah

Gambar 4.9: Diagram kelas Grid.



powered by Astah

Gambar 4.10: Diagram kelas Cage.

8. `countValue()`, yaitu *method* yang menghitung angka-angka di dalam sebuah *cage* menggunakan operator yang telah ditentukan untuk *cage* tersebut. *Method* ini menghasilkan keluaran hasil perhitungan dari angka-angka di dalam sebuah *cage* menggunakan operator yang telah ditentukan untuk *cage* tersebut. *Method* ini menghasilkan *null* jika ada sel di dalam *cage* yang belum diisi.
9. `getTargetNumber()`, yaitu *method* untuk mendapatkan angka tujuan dari sebuah *cage*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa angka tujuan dari *cage* tersebut.
10. `getOperator()`, yaitu *method* untuk mendapatkan operator yang telah ditentukan untuk sebuah *cage*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa operator yang telah ditentukan untuk *cage* tersebut.
11. `getCells()`, yaitu *method* untuk mendapatkan sel-sel anggota sebuah *cage*. *Method* ini menghasilkan keluaran sebuah `ArrayList` yang berisi sel-sel anggota *cage* tersebut.
12. `getSize()`, yaitu *method* untuk mendapatkan jumlah dari sel-sel anggota sebuah *cage*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa jumlah dari sel-sel anggota *cage* tersebut.

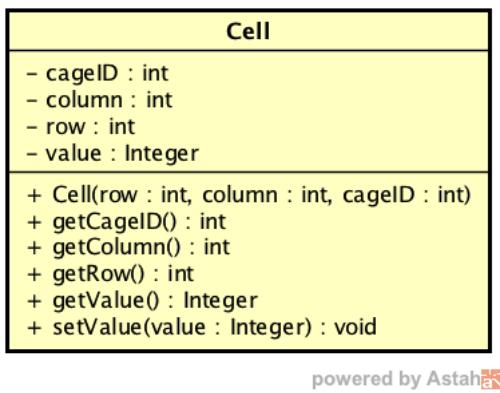
Diagram kelas Cage dapat dilihat pada Gambar 4.10.

4.4.3 Kelas Cell

Kelas Cell mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. row, yaitu posisi baris dari sel tersebut.
2. column, yaitu posisi kolom dari sel tersebut.
3. cageID, yaitu nomor *cage* yang berisi sel tersebut.
4. value, yaitu nilai dari sel tersebut.

Kelas Cell mempunyai beberapa *method*, yaitu:



Gambar 4.11: Diagram kelas Cell.

1. `Cell(int row, int column, int cageID)`, yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa nomor baris, dan nomor kolom dari sel tersebut, dan nomor *cage* yang berisi sel tersebut.
2. `setValue(Integer value)`, yaitu *method* untuk mengisi sebuah sel tersebut dengan nilai yang telah ditentukan. *Method* ini menerima masukan berupa nilai yang akan diisikan ke dalam sel tersebut.
3. `getValue()`, yaitu *method* untuk mendapatkan nilai dari sel tersebut. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa nilai dari sel tersebut.
4. `getRow()`, yaitu *method* untuk mendapatkan nomor baris dari sebuah sel. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa nomor baris dari sel tersebut.
5. `getColumn()`, yaitu *method* untuk mendapatkan nomor kolom dari sebuah sel. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa nomor kolom dari sel tersebut.
6. `getCageID()`, yaitu *method* untuk mendapatkan nomor *cage* yang berisi sebuah sel. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa nomor *cage* yang berisi sel tersebut.

Diagram kelas Cell dapat dilihat pada Gambar 4.11.

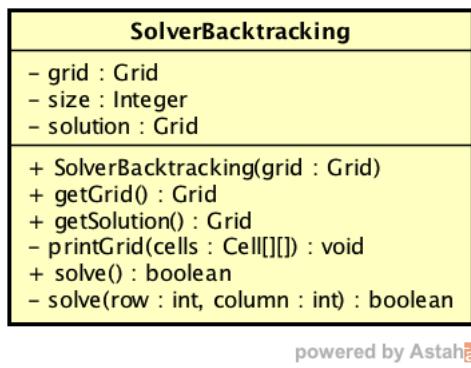
4.4.4 Kelas SolverBacktracking

Kelas SolverBacktracking mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. `grid`, yaitu *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *backtracking*.
2. `size`, yaitu ukuran dari *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *backtracking*.
3. `solution`, yaitu *grid* yang sudah diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *backtracking*.

Kelas SolverBacktracking mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. `SolverBacktracking(Grid grid)`, yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *backtracking*.
2. `solve()`, yaitu *method* pembungkus dari *method* `solve(int row, int column)`. *Method* ini menghasilkan keluaran apakah *solver* berhasil menyelesaikan teka-teki Calcudoku atau tidak. *Solver* bekerja mulai dari sel pada sudut kiri atas, lalu bergerak ke kanan sampai ke sel yang paling kanan, lalu bergerak ke baris berikutnya sampai ke baris yang paling bawah, selesai pada sel pada sudut kanan bawah.



Gambar 4.12: Diagram kelas SolverBacktracking.

3. `solve(int row, int column)`, yaitu *method* yang mencoba untuk menyelesaikan teka-teki Calcuudoku menggunakan algoritma *backtracking*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom yang akan diisi oleh *solver* dan menghasilkan keluaran apakah nilai yang diisi oleh *solver valid* atau tidak. *Solver* akan mulai mengisi sel dari angka 1. Jika berhasil, maka *solver* akan maju ke sel berikutnya. Jika gagal, maka *solver* akan mencoba kemungkinan angka berikutnya. Jika semua kemungkinan angka gagal, maka *solver* akan mundur ke sel sebelumnya dan mencoba kemungkinan angka berikutnya.
4. `getGrid()`, yaitu *method* untuk mendapatkan *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa *grid*.
5. `getSolution()`, yaitu *method* untuk mendapatkan solusi dari *grid* yang sudah diselesaikan oleh *solver*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa solusi dari *grid* tersebut.
6. `printGrid()`, yaitu *method* untuk mencetak isi *grid* ke layar. *Method* ini menerima masukan berupa *grid* yang akan dicetak isinya ke layar.

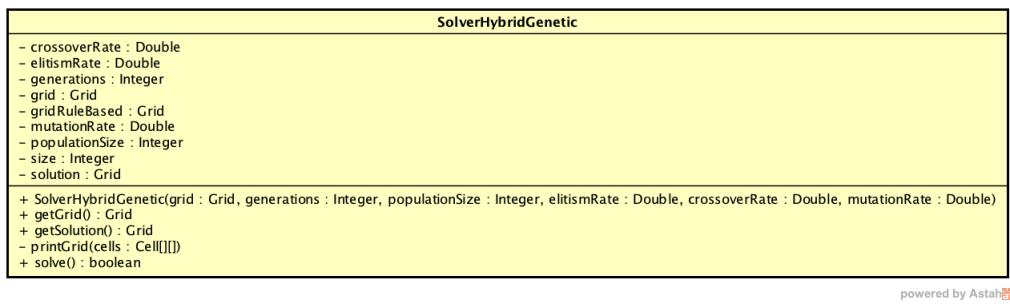
Diagram kelas SolverBacktracking dapat dilihat pada Gambar 4.12.

4.4.5 Kelas SolverHybridGenetic

Kelas SolverHybridGenetic mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. `grid`, yaitu *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *hybrid genetic*.
2. `gridRuleBased`, yaitu *grid* yang telah diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
3. `size`, yaitu ukuran dari *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *hybrid genetic*.
4. `solution`, yaitu *grid* yang sudah diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *hybrid genetic*.
5. `generations`, yaitu jumlah generasi maksimum yang akan dibangkitkan oleh algoritma genetik.
6. `populationSize`, yaitu jumlah kromosom yang akan dibangkitkan dalam sebuah generasi.
7. `elitismRate`, yaitu parameter tingkat *elitism* dalam algoritma genetik..
8. `crossoverRate`, yaitu parameter tingkat kawin silang dalam algoritma genetik.
9. `mutationRate`, yaitu parameter tingkat mutasi dalam algoritma genetik.

Kelas SolverHybridGenetic mempunyai beberapa *method*, yaitu:



Gambar 4.13: Diagram kelas SolverHybridGenetic.

1. SolverHybridGenetic(Grid grid, Integer generations, Integer populationSize, Double elitismRate, Double crossoverRate, Double mutationRate), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *hybrid genetic*, dan parameter-parameter algoritma genetik, yaitu jumlah generasi, jumlah populasi dalam sebuah generasi, tingkat *elitism*, tingkat kawin silang, dan tingkat mutasi.
2. getGrid(), yaitu *method* untuk mendapatkan *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *hybrid genetic*.
3. getSolution(), yaitu *method* untuk mendapatkan *grid* yang sudah diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *hybrid genetic*.
4. solve(), yaitu *method* yang mencoba untuk menyelesaikan teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma *hybrid genetic*. *Method* ini akan memanggil solver algoritma *rule based*. Jika algoritma *rule based* gagal dalam menyelesaikan teka-teki Calcudoku, maka *method* akan memanggil solver algoritma genetik. *Method* ini menghasilkan keluaran apakah *solver* berhasil menyelesaikan teka-teki Calcudoku atau tidak.
5. printGrid(), yaitu *method* untuk mencetak isi *grid* ke layar. *Method* ini menerima masukan berupa *grid* yang akan dicetak isinya ke layar.

Diagram kelas SolverHybridGenetic dapat dilihat pada Gambar 4.13.

4.4.6 Kelas SolverRuleBased

Kelas SolverRuleBased mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. grid, yaitu *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *rule based*.
2. size, yaitu ukuran dari *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *rule based*.
3. solution, yaitu *grid* yang sudah diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *rule based*.
4. possibleValues, yaitu sebuah *array* yang menampung semua kemungkinan angka yang mungkin untuk setiap sel yang ada di dalam *grid*

Kelas SolverRuleBased mempunyai *method-method* berikut:

1. SolverRuleBased(Grid grid), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma *rule based*, dan parameter-parameter algoritma genetik, yaitu jumlah generasi, jumlah populasi dalam sebuah generasi, tingkat *elitism*, tingkat kawin silang, dan tingkat mutasi.

2. generatePossibleValuesArray(), yaitu *method* yang membangkitkan kemungkinan angka-angka yang mungkin untuk setiap sel yang ada di dalam *grid*. Angka-angka yang mungkin adalah dari 1 sampai ke ukuran dari *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa array yang menampung semua kemungkinan angka yang mungkin untuk setiap sel yang ada di dalam *grid*.
3. solve(), yaitu *method* yang mencoba untuk menyelesaikan teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma *rule based*. *Method* ini menghasilkan keluaran apakah *solver* berhasil menyelesaikan teka-teki Calcudoku atau tidak. *Solver* akan mencoba menyelesaikan teka-teki Calcudoku menggunakan aturan-aturan logika, misalnya *single square rule*, *killer combination rule*, *naked subset rule*, *hidden subset rule*, dan *evil twin rule*. Aturan *single square* dan *killer combination* hanya dipakai sekali, dan dilakukan oleh *method* ini, sedangkan aturan *naked subset*, *hidden subset*, dan *evil twin* dapat dipakai berkali-kali, dan dilakukan oleh *method* solveLoop().
4. solveLoop(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked subset*, *hidden subset*, dan *evil twin* kepada *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa *array* kemungkinan angka yang mungkin untuk setiap sel yang ada di dalam *grid*. *Method* ini akan diulang sampai *method* ini tidak bisa mengisi sel-sel yang ada di dalam *grid*.
5. getRowPossibleValues(int rowNumber), yaitu *method* untuk mendapatkan kemungkinan angka-angka yang mungkin dari sel-sel yang ada di dalam baris yang diminta. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris yang diminta dan menghasilkan keluaran berupa kemungkinan angka-angka yang mungkin dari sel-sel yang ada di dalam baris yang diminta.
6. getColumnPossibleValues(int rowNumber), yaitu *method* untuk mendapatkan kemungkinan angka-angka yang mungkin dari sel-sel yang ada di dalam kolom yang diminta. *Method* ini menerima masukan berupa nomor kolom yang diminta dan menghasilkan keluaran berupa kemungkinan angka-angka yang mungkin dari sel-sel yang ada di dalam kolom yang diminta.
7. singleSquare(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *single square* kepada *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
8. killerCombination(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. Dalam perangkat lunak ini aturan ini dibatasi hanya untuk *cage* yang berukuran dua sel.
9. killerCombinationCageSize2(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada setiap *cage* yang berukuran 2 di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
10. killerCombinationCageSize2GridSize3(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada setiap *cage* yang berukuran 2 sel di dalam *grid* yang berukuran 3×3 yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
11. killerCombinationCageSize2GridSize4(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada setiap *cage* yang berukuran 2 sel di dalam *grid* yang berukuran 4×4 yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
12. killerCombinationCageSize2GridSize5(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada setiap *cage* yang berukuran 2 sel di dalam *grid* yang berukuran 5×5 yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
13. killerCombinationCageSize2GridSize6(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada setiap *cage* yang berukuran 2 sel di dalam *grid* yang berukuran 6×6 yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.

14. killerCombinationCageSize2GridSize7(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada setiap *cage* yang berukuran 2 sel di dalam *grid* yang berukuran 7×7 yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
15. killerCombinationCageSize2GridSize8(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada setiap *cage* yang berukuran 2 sel di dalam *grid* yang berukuran 8×8 yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
16. killerCombinationCageSize2GridSize9(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *killer combination* kepada setiap *cage* yang berukuran 2 sel di dalam *grid* yang berukuran 9×9 yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
17. nakedSingle(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked single* kepada *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. Aturan ini diaplikasikan untuk baris (*nakedSingleRow()*) dan untuk kolom (*nakedSingleColumn()*).
18. nakedSingleRow(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked single* kepada baris-baris yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
19. nakedSingleRow(int row), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked single* kepada sebuah baris yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris yang akan diaplikasikan dengan aturan *naked single*.
20. nakedSingleColumn(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked single* kepada kolom-kolom yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
21. nakedSingleColumn(int column), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked single* kepada sebuah kolom yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor kolom yang akan diaplikasikan dengan aturan *naked single*.
22. nakedSingle(int row, int column), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked single* kepada sebuah sel yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang akan diaplikasikan dengan aturan *naked single*.
23. nakedDouble(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked double* kepada *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. Aturan ini diaplikasikan untuk baris (*nakedSingleDouble()*) dan untuk kolom (*nakedSingleDouble()*).
24. nakedDoubleRow(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked double* kepada baris-baris yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
25. nakedDoubleRow(int row), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked double* kepada sebuah baris yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris yang akan diaplikasikan dengan aturan *naked double*.
26. nakedDoubleRow(int row, ArrayList<Integer> doublePossibleValues, ArrayList<Integer> doublePossibleIndexes), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked double* kepada baris-baris yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menyimpan nilai-nilai yang disimpan pada *doublePossibleValues* pada kolom-kolom yang nomor kolomnya disimpan pada *array doublePossibleIndexes* dan menghapus nilai-nilai tersebut dari kolom-kolom lainnya. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris yang akan diaplikasikan dengan aturan *naked double*, sebuah *array* yang berisi nilai-nilai, dan sebuah *array* yang berisi nomor-nomor kolom.

27. nakedDoubleColumn(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked double* kepada kolom-kolom yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
28. nakedDoubleColumn(int column), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked double* kepada sebuah kolom yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor kolom yang akan diaplikasikan dengan aturan *naked double*.
29. nakedDoubleColumn(int column, ArrayList<Integer> doublePossibleValues, ArrayList<Integer> doublePossibleIndexes), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *naked double* kepada kolom-kolom yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menyimpan nilai-nilai yang disimpan pada *doublePossibleValues* pada baris-baris yang nomor barisnya disimpan pada *array doublePossibleIndexes* dan menghapus nilai-nilai tersebut dari baris-baris lainnya. *Method* ini menerima masukan berupa nomor kolom yang akan diaplikasikan dengan aturan *naked double*, sebuah *array* yang berisi nilai-nilai, dan sebuah *array* yang berisi nomor-nomor baris.
30. hiddenSingle(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *hidden single* kepada *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. Aturan ini diaplikasikan untuk baris (*hiddenSingleRow()*) dan untuk kolom (*hiddenSingleColumn()*).
31. hiddenSingleRow(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *hidden single* kepada baris-baris yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
32. hiddenSingleRow(int row), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *hidden single* kepada sebuah baris yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris yang akan diaplikasikan dengan aturan *hidden single*.
33. hiddenSingleColumn(), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *hidden single* kepada kolom-kolom yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
34. hiddenSingleColumn(int column), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *hidden single* kepada sebuah kolom yang ada di dalam *grid* yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor kolom yang akan diaplikasikan dengan aturan *hidden single*.
35. hiddenSingle(int row, int column), yaitu *method* yang mengaplikasikan aturan *hidden single* kepada sebuah sel yang sedang diselesaikan oleh algoritma *rule based*. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang akan diaplikasikan dengan aturan *hidden single*.
36. setCellValue(int row, int column, int value), yaitu *method* untuk mengisi sebuah sel dengan nilai yang telah ditentukan. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang akan diisi dan nilai dari sel tersebut.
37. removePossibleValues(int row, int column, int value), yaitu *method* untuk menghapus kemungkinan nilai yang sudah digunakan dalam sebuah sel. *Method* ini menghapus nilai tersebut dari baris yang sama dan kolom yang sama. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris, nomor kolom, dan nilai yang akan dihapus dari sel-sel lain dalam baris dan kolom tempat sel tersebut berada.
38. removeImpossibleValuesCage(Cage cage, ArrayList<Integer> values), yaitu *method* untuk menghabus kemungkinan nilai yang tidak mungkin dari sel-sel di dalam sebuah *cage*. *Method* ini menerima masukan berupa sebuah *cage* dan sebuah *array* yang berisi nilai-nilai yang mungkin.

39. removeImpossibleValuesCell(int row, int column, ArrayList<Integer> values), yaitu *method* untuk menghabus kemungkinan nilai yang tidak mungkin dari sebuah sel yang diminta. Method ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang diminta, dan sebuah *array* yang berisi nilai-nilai yang mungkin.
40. createRetainAllArray(), yaitu *method* yang menghasilkan *array* yang berisi semua angka dari 1 sampai ukuran dari *grid*. Method ini menghasilkan keluaran berupa *array* yang berisi semua angka dari 1 sampai ukuran dari *grid*.
41. getGridArrayList(), yaitu *method* untuk mendapatkan isi dari *grid* dalam bentuk *ArrayList*. Method ini menghasilkan keluaran berupa isi dari *grid* dalam bentuk *ArrayList*.
42. getGrid, yaitu *method* untuk mendapatkan *grid*. Method ini menghasilkan keluaran berupa *grid*.
43. getSolution, yaitu *method* untuk mendapatkan *grid* yang sudah diselesaikan oleh algoritma *rule based*. Method ini menghasilkan keluaran berupa *grid* yang sudah diselesaikan oleh algoritma *rule based*.
44. printGrid(), yaitu *method* untuk mencetak isi *grid* ke layar.
45. printPossibleValues(), yaitu *method* untuk mencetak kemungkinan angka-angka yang valid untuk setiap sel di dalam *grid* ke layar.

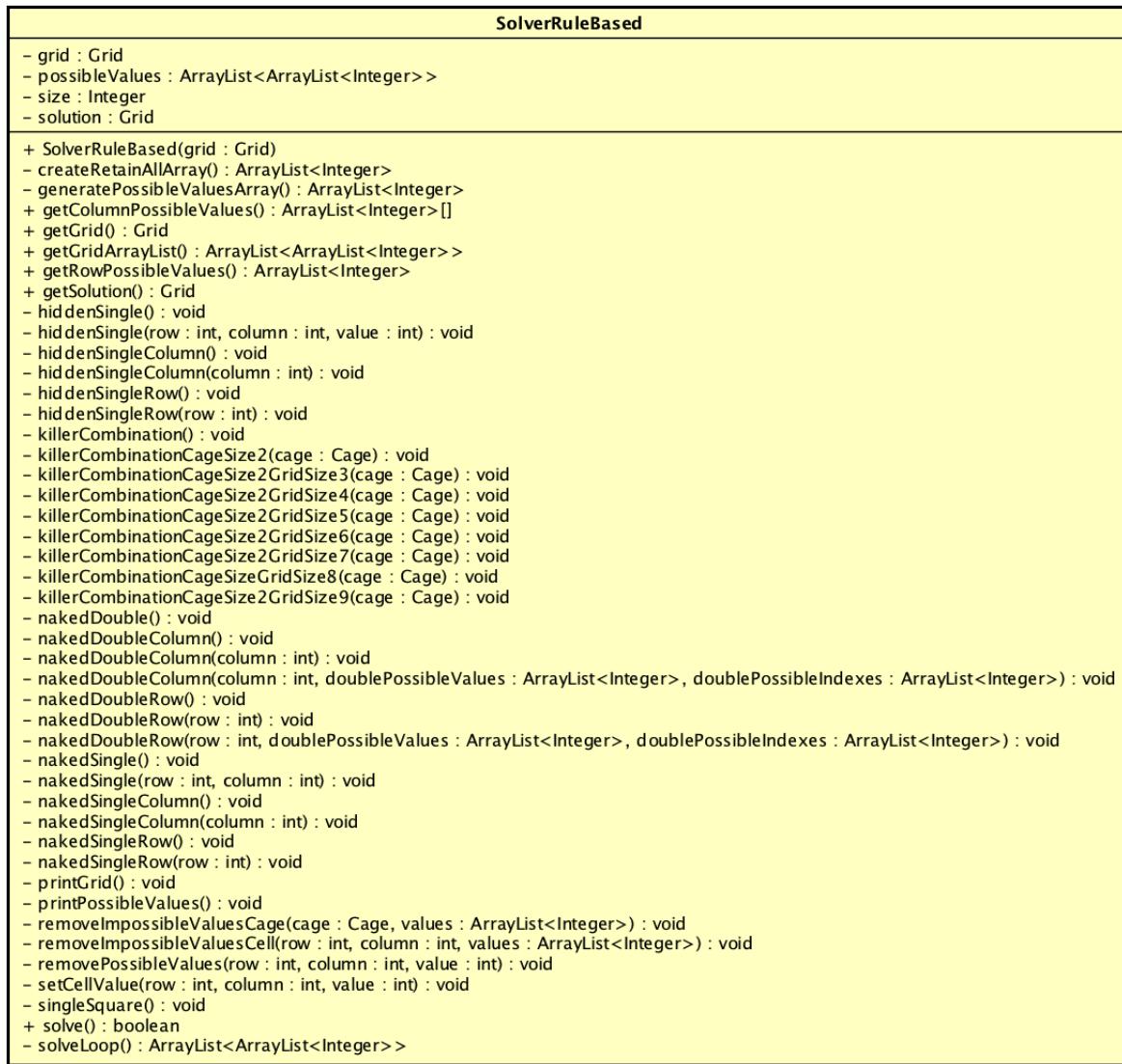
Diagram kelas SolverRuleBased dapat dilihat pada Gambar 4.14.

4.4.7 Kelas SolverGenetic

Kelas SolverGenetic mempunyai atribut-atribut berikut, yaitu:

1. grid, yaitu *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma genetik.
2. size, yaitu ukuran dari *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma genetik.
3. isGridFixed, yaitu sebuah matriks yang berisi apakah sel tersebut sudah diisi oleh algoritma *rule based* atau belum. Nilai dari sel yang sudah diisi oleh *rule based* tidak boleh diganti atau dihapus.
4. randomGenerator, yaitu pembangkit angka acak.
5. generations, yaitu jumlah generasi maksimum yang akan dibangkitkan oleh algoritma genetik.
6. populationSize, yaitu jumlah kromosom yang akan dibangkitkan dalam sebuah generasi.
7. elitismRate, yaitu parameter tingkat *elitism* dalam algoritma genetik.
8. crossoverRate, yaitu parameter tingkat kawin silang dalam algoritma genetik.
9. mutationRate, yaitu parameter tingkat mutasi dalam algoritma genetik.
10. solution, yaitu *grid* yang sudah diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma genetik.
11. currentGeneration, yaitu generasi saat ini dalam algoritma genetik. Algoritma genetik akan membangkitkan generasi baru (*nextGeneration*), dan generasi baru ini akan menjadi generasi saat ini, dan algoritma akan membangkitkan generasi baru berikutnya.
12. nextGeneration, yaitu generasi berikutnya dalam algoritma genetik.

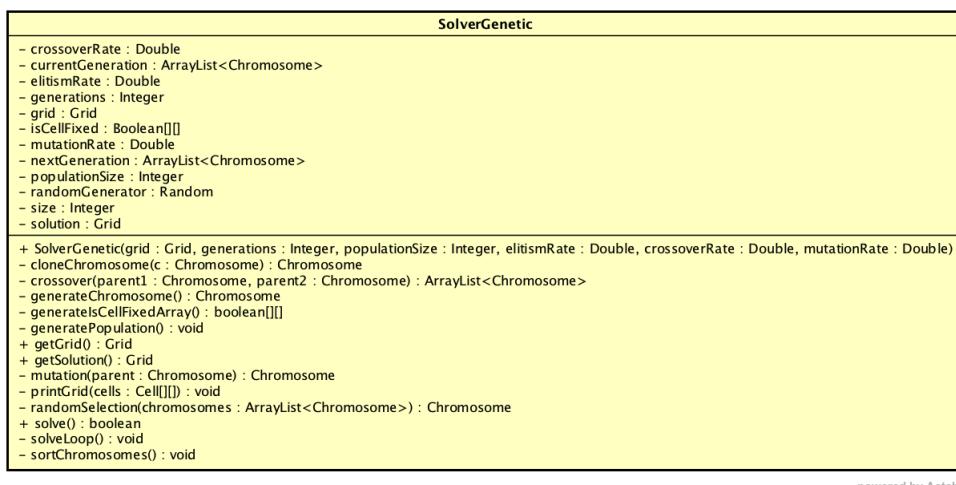
Kelas SolverGenetic mempunyai *method-method* berikut:



powered by Astah

Gambar 4.14: Diagram kelas SolverRuleBased.

1. SolverGenetic(Grid grid, Integer generations, Integer populationSize, Double elitismRate, Double crossoverRate, Double mutationRate), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* dengan algoritma genetik.
2. solve(), yaitu *method* yang mencoba untuk menyelesaikan teka-teki Calcudoku menggunakan algoritma genetik. *Method* ini menghasilkan keluaran apakah *solver* berhasil menyelesaikan teka-teki Calcudoku atau tidak. Algoritma genetik berhasil menyelesaikan teka-teki Calcudoku jika ada kromosom yang nilai kelayakannya 1. *Solver* akan membangkitkan generasi pertama, sedangkan generasi-generasi berikutnya akan dibangkitkan oleh *method* solveLoop().
3. solveLoop(), yaitu *method* yang membangkitkan generasi berikutnya dari generasi sebelumnya menggunakan operator algoritma genetik, yaitu *elitism*, mutasi, dan kawin silang.
4. setParameters(int generations, int populationSize, double elitismRate, double crossoverRate, double mutationRate), yaitu *method* untuk menentukan jumlah generasi maksimum, jumlah kromosom dalam satu generasi, tingkat *elitism*, tingkat kawin silang, dan tingkat mutasi untuk algoritma genetik. Method ini menerima masukan berupa jumlah generasi maksimum, jumlah kromosom dalam satu generasi, tingkat *elitism*, tingkat kawin silang, dan tingkat mutasi untuk algoritma genetik.
5. generateIsCellFixedArray(), yaitu *method* yang membangkitkan matriks yang berisi apakah sel tersebut sudah diisi oleh algoritma *rule based* atau tidak. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa sebuah matriks yang berisi apakah sel tersebut sudah diisi oleh algoritma *rule based* atau tidak.
6. generatePopulation(), yaitu *method* yang membangkitkan populasi kromosom awal.
7. generateChromosome(), yaitu *method* yang membangkitkan sebuah kromosom. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa sebuah kromosom.
8. sortChromosomes(), yaitu *method* yang mengurutkan kromosom-kromosom dalam generasi saat ini berdasarkan nilai kelayakannya.
9. randomSelection(ArrayList<Chromosome> chromosomes), yaitu *method* untuk memilih sebuah kromosom dari sebuah populasi kromosom secara acak. *Method* ini menerima masukan berupa ArrayList yang berisi sekumpulan kromosom dan menghasilkan keluaran berupa sebuah kromosom yang terpilih. Kromosom untuk proses kawin silang dan proses mutasi dipilih secara acak menggunakan *method* ini.
10. cloneChromosome(Chromosome c), yaitu *method* untuk mengkopi sebuah kromosom. Method ini menerima masukan berupa kromosom yang akan dikopi dan menghasilkan keluaran berupa kromosom baru hasil kopian dari kromosom yang dikopi tersebut.
11. crossover(Chromosome parent1, Chromosome parent2), yaitu *method* yang mengaplikasikan operator kawin silang kepada dua kromosom. *Method* ini menerima masukan berupa dua kromosom yang akan dikawinsilangkan dan menghasilkan keluaran berupa sebuah ArrayList yang berisi dua kromosom hasil kawin silang.
12. mutation(Chromosome parent), yaitu *method* yang mengaplikasikan operator mutasi kepada sebuah kromosom. *Method* ini menerima masukan berupa kromosom yang akan dimutasi dan menghasilkan keluaran berupa sebuah kromosom hasil mutasi.
13. getGrid, yaitu *method* untuk mendapatkan *grid*. Method ini menghasilkan keluaran berupa *grid*.



Gambar 4.15: Diagram kelas SolverGenetic.

14. `getSolution`, yaitu *method* untuk mendapatkan *grid* yang sudah diselesaikan oleh algoritma genetik. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa *grid* yang sudah diselesaikan oleh algoritma genetik.
15. `printGrid()`, yaitu *method* untuk mencetak isi *grid* ke layar.

Diagram kelas SolverGenetic dapat dilihat pada Gambar 4.15.

4.4.8 Kelas Chromosome

Kelas Chromosome mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. `grid`, yaitu sebuah *grid* yang sudah diisi dengan angka-angka secara acak.
2. `size`, yaitu ukuran dari sebuah *grid*.
3. `fitness`, yaitu nilai kelayakan dari sebuah *grid*.

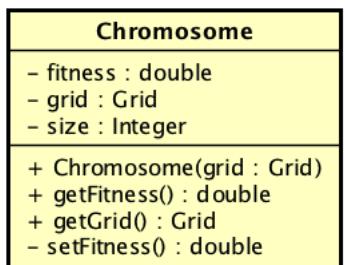
Kelas Chromosome mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. `Chromosome(Grid grid)`, yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa sebuah *grid* yang sudah diisi dengan angka-angka secara acak.
2. `setFitness()`, yaitu *method* yang menghitung nilai kelayakan untuk sebuah *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa nilai kelayakan untuk *grid* tersebut.
3. `getFitness()`, yaitu *method* untuk mendapatkan nilai kelayakan untuk sebuah *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa nilai kelayakan untuk *grid* tersebut.
4. `getGrid`, yaitu *method* untuk mendapatkan *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa *grid*.

Diagram kelas Chromosome dapat dilihat pada Gambar 4.16.

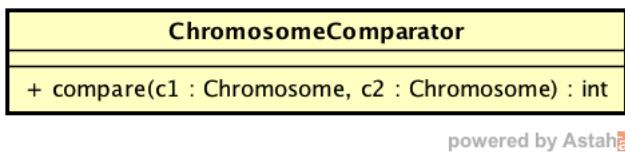
4.4.9 Kelas ChromosomeComparator

Kelas ChromosomeComparator tidak mempunyai variabel, tetapi kelas ini mempunyai sebuah *method*, yaitu `compare(Chromosome c1, Chromosome c2)`. Fungsi dari *method* ini adalah membandingkan dua buah kromosom berdasarkan nilai kelayakannya. *Method* ini mengeluarkan hasil 1 jika *c1* lebih besar daripada *c2*, -1 jika *c1* lebih kecil daripada *c2*, atau 0 jika *c1* sama dengan *c2*. Diagram kelas ChromosomeComparator dapat dilihat pada Gambar 4.17.



powered by Astah

Gambar 4.16: Diagram kelas Chromosome.



powered by Astah

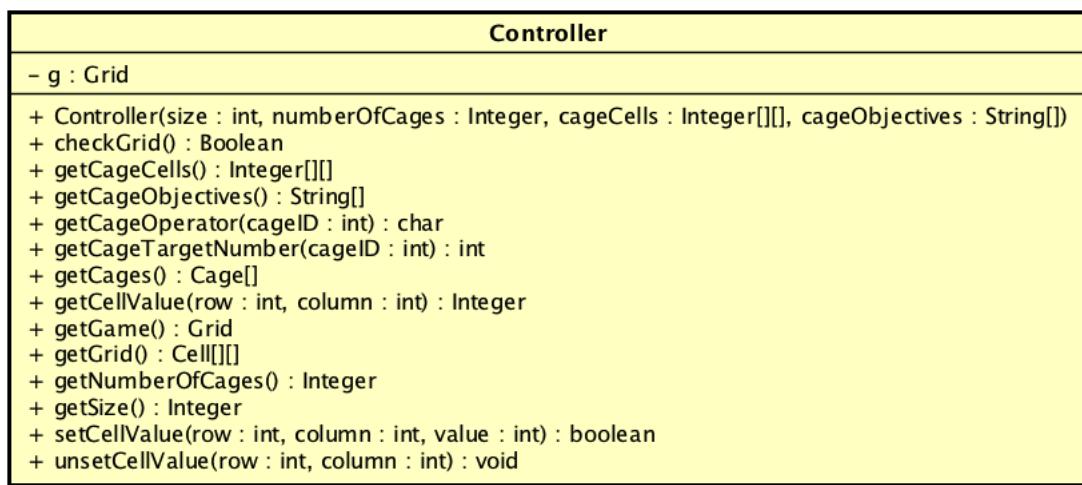
Gambar 4.17: Diagram kelas ChromosomeComparator.

4.4.10 Kelas Controller

Kelas Controller mempunyai beberapa atribut, yaitu g. g adalah representasi dari *grid* dalam teka-teki Calcudoku. *grid* adalah sebuah matriks yang berisi sel-sel. Matriks ini berukuran $n \times n$.

Kelas Controller mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. Controller(Integer size, Integer numberOfCages, Integer[][] cageCells, String[] cageObjectives), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa ukuran dari matriks *grid*, banyaknya *cage* yang terdapat dalam *grid*, matriks *cage assignment*, dan array *cage objectives*.
2. setCellValue(int row, int column, Integer value), yaitu *method* untuk mengisi sebuah sel dengan nilai yang telah ditentukan. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang akan diisi dan nilai dari sel tersebut, dan menghasilkan keluaran apakah nilai dari sel tersebut *valid* atau tidak. Nilai dari sebuah sel *valid* jika nilai dari sel tersebut tidak berulang dalam baris dan kolom tempat sel tersebut berada, dan angka-angka dari *cage* yang berisi sel tersebut mencapai angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan.
3. unsetCellValue(int row, int column), yaitu *method* untuk menghapus isi dari sebuah sel. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang akan dihapus isinya.
4. checkGrid(), yaitu *method* yang memeriksa apakah ada sel yang berisi nilai yang tidak *valid* atau tidak. *Method* ini akan menghasilkan apakah ada sel yang berisi nilai yang tidak *valid* atau tidak. *Method* ini hanya bekerja jika semua sel yang berada di dalam *grid* sudah diisi. Nilai dari sebuah sel *valid* jika nilai dari sel tersebut tidak berulang dalam baris dan kolom tempat sel tersebut berada, dan angka-angka dari *cage* yang berisi sel tersebut mencapai angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan.
5. getCellValue(int row, int column), yaitu *method* untuk mendapatkan isi dari sebuah sel. *Method* ini menerima masukan berupa nomor baris dan nomor kolom dari sel yang diminta dan menghasilkan keluaran berupa isi dari sel yang diminta tersebut.



powered by Astah

Gambar 4.18: Diagram kelas Controller.

6. getSize(), yaitu *method* untuk mendapatkan ukuran dari *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa ukuran dari *grid*.
7. getNumberOfCages(), yaitu *method* untuk mendapatkan jumlah *cage* yang ada di dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa jumlah *cage* yang ada di dalam *grid*.
8. getCageCells(), yaitu *method* untuk mendapatkan matriks *cage assignment* dari *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa matriks *cage assignment* dari *grid*.
9. getCageObjectives(), yaitu *method* untuk mendapatkan *cage objectives* dari setiap *cage* dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa sebuah array yang berisi *cage objectives* dari setiap *cage* dalam *grid*.
10. getGridContents(), yaitu *method* untuk mendapatkan nilai dari setiap sel *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa sebuah matriks yang berisi nilai dari setiap sel *grid*.
11. getCells(), yaitu *method* untuk mendapatkan semua *cage* dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa array yang berisi semua *cage* dalam *grid*.
12. getGame(), yaitu *method* untuk mendapatkan instansiasi saat ini dari kelas *Grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa instansiasi saat ini dari kelas *Grid*.

Diagram kelas Controller dapat dilihat pada Gambar 4.18.

4.4.11 Kelas Calcudoku

Kelas Calcudoku mempunyai beberapa atribut, yaitu:

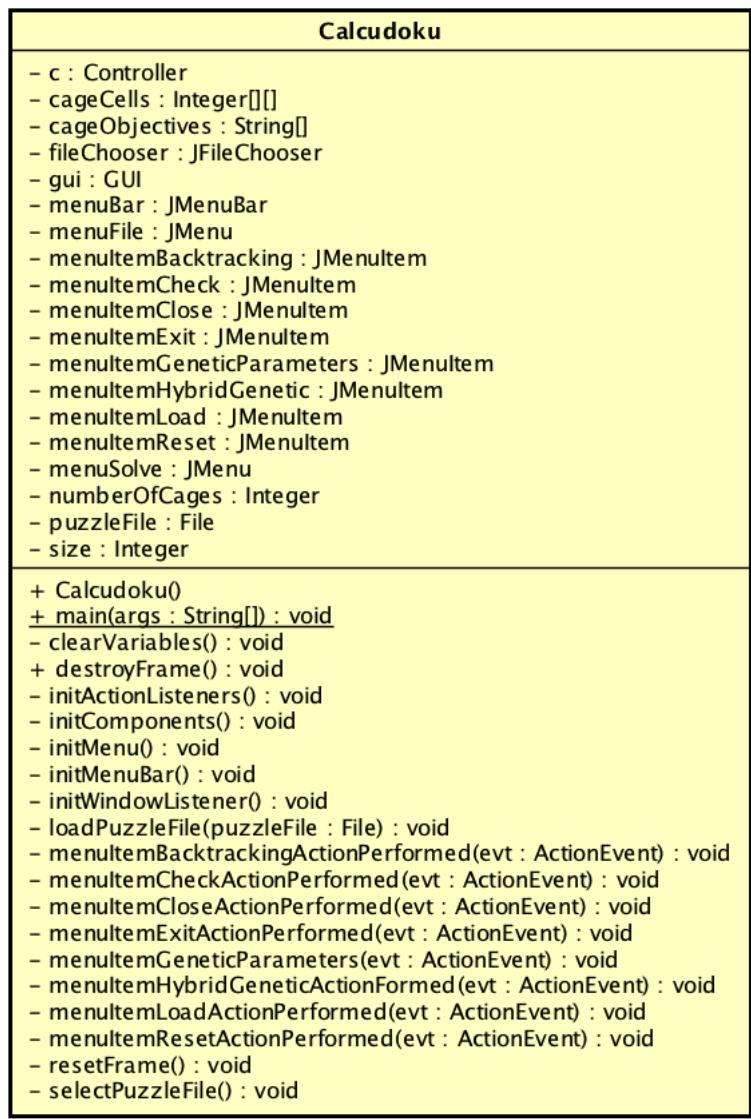
1. puzzleFile, yaitu *file* permainan yang sedang dibuka oleh perangkat lunak. *File* ini berbentuk *file teks*.
2. size, yaitu ukuran dari matriks *grid* berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka.
3. numberOfCages, yaitu banyaknya *cage* yang terdapat dalam *grid* berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka.
4. cageCells, yaitu sebuah matriks *cage assignment* berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka. Matriks ini merepresentasikan posisi dari setiap *cage* dalam *grid*.

5. cageObjectives, yaitu sebuah *array* yang berisi *cage objectives* untuk setiap *cage* berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka. *Cage objectives* berisikan angka tujuan dan operasi matematika yang telah ditentukan.
6. c, yaitu sebuah instansiasi dari kelas Controller. c berfungsi untuk menghubungkan kelas-kelas yang berada di dalam *package* model dengan kelas-kelas yang berada di dalam *package* view.
7. menuBar, yaitu menu *bar* untuk perangkat lunak ini.
8. menuFile, yaitu menu File di dalam menu *bar*.
9. menuSolve, yaitu menu Solve di dalam menu *bar*.
10. menuItemLoad, yaitu menu *item* Load Puzzle File di dalam menu File.
11. menuItemReset, yaitu menu *item* Reset Puzzle di dalam menu File.
12. menuItemClose, yaitu menu *item* Close Puzzle File di dalam menu File.
13. menuItemCheck, yaitu menu *item* Check Puzzle di dalam menu File.
14. menuItemExit, yaitu menu *item* Exit di dalam menu File.
15. menuItemBacktracking, yaitu menu *item* Backtracking di dalam menu Solve.
16. menuItemHybridGenetic, yaitu menu *item* Hybrid Genetic di dalam menu File.
17. fileChooser, yaitu *file chooser* untuk membuka *file* permainan.
18. gui, yaitu representasi GUI dari *file* permainan yang sedang dibuka.

Kelas Calcudoku mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. Calcudoku(), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini berfungsi untuk menginisialisasi *frame* GUI.
2. main(String args[]), yaitu *method main* dari perangkat lunak ini. *Method* ini berfungsi untuk menjalankan perangkat lunak ini.
3. initComponents(), yaitu *method* untuk menginisialisasi komponen-komponen dari *frame* GUI.
4. initWindowListener(), yaitu *method* untuk menginisialisasi *window listener* untuk *frame* GUI.
5. initActionListener(), yaitu *method* untuk menginisialisasi *action listener* untuk setiap menu *item* yang ada di dalam *frame* GUI.
6. initMenu(), yaitu *method* untuk menginisialisasi menu-menu dalam menu *bar* untuk *frame* GUI.
7. initMenuBar(), yaitu *method* untuk menginisialisasi menu *bar* untuk *frame* GUI.
8. menuItemLoadActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika menu "Load Puzzle File" dipilih. *Method* ini akan membuka *file chooser* dimana pengguna memilih *file* permainan untuk dibuka oleh perangkat lunak. Jika perangkat lunak sudah membuka sebuah *file* permainan, maka akan keluar kotak dialog "Are you sure you want to load another puzzle file?", jika pengguna memilih "Yes", maka *file* permainan yang baru akan dibuka oleh perangkat lunak.

9. selectPuzzleFile, yaitu *method* yang memeriksa apakah *file* permainan yang akan dibuka *valid* atau tidak. Jika perangkat lunak gagal dalam membuka *file* permainan, maka akan keluar pesan peringatan "*Error in loading puzzle file*". Jika *file* permainan yang dibuka bukan *file* teks, maka akan keluar pesan peringatan "*Invalid puzzle file*". Jika *file* permainan tidak ditemukan, maka akan keluar pesan peringatan "*Puzzle file not found*".
10. menuItemResetActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika menu "*Reset Puzzle*" dipilih. *Method* ini akan mengeluarkan kotak dialog "*Are you sure you want to reset this puzzle?*", jika pengguna memilih "*Yes*", maka perangkat lunak akan *reset* permainan. Jika perangkat lunak tidak sedang membuka *file* permainan, maka akan keluar pesan peringatan "*Puzzle file not loaded*".
11. menuItemCheckActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika menu "*Check Puzzle*" dipilih. *Method* ini akan memeriksa apakah ada sel yang berisi nilai yang tidak *valid* atau tidak. Nilai dari sebuah sel *valid* jika nilai dari sel tersebut tidak berulang dalam baris dan kolom tempat sel tersebut berada, dan angka-angka dari *cage* yang berisi sel tersebut mencapai angka tujuan yang telah ditentukan jika dihitung menggunakan operator yang telah ditentukan. *Method* ini juga memeriksa apakah ada sel yang kosong atau tidak. Jika perangkat lunak tidak sedang membuka *file* permainan, maka akan keluar pesan peringatan "*Puzzle file not loaded*".
12. menuItemCloseActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika menu "*Close Puzzle File*" dipilih. *Method* ini akan mengeluarkan kotak dialog "*Are you sure you want to close this puzzle file?*", jika pengguna memilih "*Yes*", maka perangkat lunak akan menutup *file* permainan dan instansiasi kelas GUI berdasarkan *file* permainan yang ditutup. Jika perangkat lunak tidak sedang membuka *file* permainan, maka akan keluar pesan peringatan "*Puzzle file not loaded*".
13. menuItemExitActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika menu "*Exit*" dipilih. *Method* ini akan mengeluarkan kotak dialog "*Are you sure you want to exit this application*", jika pengguna memilih "*Yes*", maka perangkat lunak akan ditutup.
14. menuItemBacktrackingActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika menu "*Backtracking*" dijalankan. *Method* ini akan mencoba menyelesaikan permainan berdasarkan *file* permainan yang dibuka dengan algoritma *backtracking*. Jika perangkat lunak tidak sedang membuka *file* permainan, maka akan keluar pesan peringatan "*Puzzle file not loaded*".
15. menuItemHybridGeneticActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika menu "*Hybrid Genetic*" dijalankan. *Method* ini akan mencoba menyelesaikan permainan berdasarkan *file* permainan yang dibuka dengan algoritma *hybrid genetic*. Jika perangkat lunak tidak sedang membuka *file* permainan, maka akan keluar pesan peringatan "*Puzzle file not loaded*".
16. menuItemGeneticParametersActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika menu "*Set Genetic Algorithm Parameters*" dijalankan. *Method* ini akan menampilkan *window* baru dimana pengguna bisa mengatur parameter-parameter untuk algoritma genetik dengan mengisi *form* yang disediakan pada *window* tersebut. Jika perangkat lunak tidak sedang membuka *file* permainan, maka akan keluar pesan peringatan "*Puzzle file not loaded*".
17. loadPuzzleFile(File puzzleFile), yaitu *method* yang menginisialisasi sebuah instansiasi dari kelas GUI berdasarkan *file* permainan yang dibuka. *Method* ini menerima masukan berupa sebuah *file* permainan. Jika perangkat lunak gagal dalam membuka *file* permainan, maka akan keluar pesan peringatan "*Invalid puzzle file*".



powered by Astah

Gambar 4.19: Diagram kelas Calcudoku.

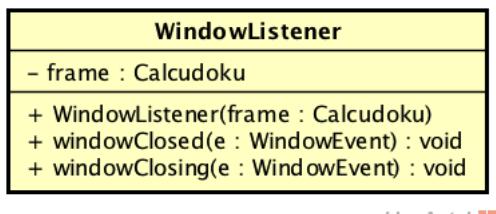
18. `resetFrame()`, yaitu *method* untuk me-*reset frame* setelah menutup *file* permainan. *Method* ini akan menutup instansiasi kelas GUI dan menghapus isi dari variabel `c` dalam *frame*.
19. `clearVariables()`, yaitu *method* untuk menghapus nilai dari variabel-variabel `puzzleFile`, `size`, `cageCells`, `numberOfCages`, dan `cageObjectives` dalam *frame*.
20. `destroyFrame()`, yaitu *method* untuk menutup *frame* saat menutup perangkat lunak. *Method* ini juga akan me-*reset frame* dan menghapus nilai dari semua variabel dalam *frame*.

Diagram kelas Calcudoku dapat dilihat pada Gambar 4.19.

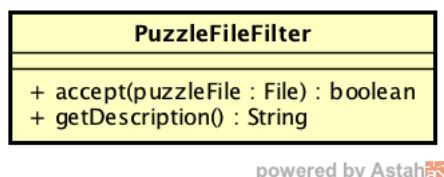
4.4.12 Kelas WindowListener

Kelas WindowListener hanya mempunyai satu atribut, yaitu `frame`. `frame` adalah sebuah instansiasi dari kelas Calcudoku. Kelas ini mempunya beberapa *method*, yaitu:

1. `WindowListener(Calcudoku frame)`, yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa sebuah instansiasi dari kelas Calcudoku.



Gambar 4.20: Diagram kelas WindowListener.



Gambar 4.21: Diagram kelas PuzzleFileFilter.

2. `windowClosing(WindowEvent e)`, yaitu *method* yang meng-*override method* dari kelas `WindowAdapter`. *Method* ini berfungsi untuk menutup semua komponen GUI saat perangkat lunak ditutup.
3. `windowClosed(WindowEvent e)`, yaitu *method* yang meng-*override method* dari kelas `WindowAdapter`. *Method* ini berfungsi untuk menutup perangkat lunak setelah semua komponen GUI ditutup.

Diagram kelas WindowListener dapat dilihat pada Gambar 4.20.

4.4.13 Kelas PuzzleFileFilter

Kelas `PuzzleFileFilter` tidak mempunyai atribut, tetapi memiliki beberapa *method*, yaitu:

1. `accept(File puzzleFile)`, yaitu *method* yang meng-*override method* dari kelas `FileFilter`. *Method* ini berfungsi untuk memeriksa apakah *file* yang akan dibuka memenuhi syarat atau tidak. *File* yang memenuhi syarat adalah *file* teks.
2. `getDescription()`, yaitu *method* yang meng-*override method* dari kelas `FileFilter`. *Method* ini berfungsi untuk menampilkan deskripsi *file* yang memenuhi syarat.

Diagram kelas `PuzzleFileFilter` dapat dilihat pada Gambar 4.21.

4.4.14 Kelas GUI

Kelas `GUI` mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. `c`, yaitu sebuah instansiasi dari kelas `Controller`. `c` berfungsi untuk menghubungkan kelas-kelas yang berada di dalam *package* `model` dengan kelas-kelas yang berada di dalam *package* `view`.
2. `game`, yaitu sebuah instansi dari kelas `Grid` berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka.
3. `size`, yaitu ukuran dari matriks `grid` berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka.
4. `numberOfCages`, yaitu banyaknya `cage` yang terdapat dalam `grid` berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka.

5. cageCells, yaitu sebuah matriks *cage assignment* berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka. Matriks ini merepresentasikan posisi dari setiap *cage* dalam *grid*.
6. cageObjectives, yaitu sebuah *array* yang berisi *cage objectives* untuk setiap *cage* berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka. *Cage objectives* berisikan angka tujuan dan operasi matematika yang telah ditentukan.
7. grid, yaitu sebuah *array* yang berisikan semua sel yang ada di dalam *grid*.
8. cages, yaitu sebuah *array* yang berisikan semua *cage* yang ada di dalam *grid*. textFields, yaitu sebuah *array* yang berisikan *text field*. Setiap *text field* merepresentasikan sebuah sel yang ada di dalam *grid*. textFieldCoordinates, yang berfungsi untuk memetakan *text field* dengan koordinat posisinya. cellTextFieldListeners, yaitu sebuah *array* yang berisikan *document listener* untuk semua sel yang ada di dalam *grid*. font, yaitu *font* yang digunakan di dalam GUI ini. cellSize, yaitu ukuran sebuah sel di dalam GUI ini. cellBorderWidth, yaitu ukuran garis pembatas antara dua sel yang berada di dalam sebuah *cage* yang sama. cageBorderWidth, yaitu ukuran garis pembatas antara dua sel yang berada di dalam dua *cage* yang berbeda, dan ukuran garis pembatas *grid*.
9. generations, yaitu jumlah generasi maksimum yang akan dibangkitkan oleh algoritma genetik.
10. populationSize, yaitu jumlah kromosom yang akan dibangkitkan dalam sebuah generasi.
11. elitismRate, yaitu parameter tingkat *elitism* dalam algoritma genetik..
12. crossoverRate, yaitu parameter tingkat kawin silang dalam algoritma genetik.
13. mutationRate, yaitu parameter tingkat mutasi dalam algoritma genetik.

Kelas GUI mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. GUI(Controller c), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini berfungsi untuk menginisialisasi GUI berdasarkan *file* permainan yang dibuka. *Method* ini menerima masukan berupa sebuah instansiasi dari kelas Controller.
2. getController(), yaitu *method* untuk mendapatkan instansiasi dari kelas Controller. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa instansiasi dari kelas Controller.
3. getGridSize(), yaitu *method* untuk mendapatkan ukuran dari *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa ukuran dari *grid*.
4. getNumberOfCages(), yaitu *method* untuk mendapatkan jumlah *cage* yang ada di dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa jumlah *cage* yang ada di dalam *grid*.
5. getCageCells(), yaitu *method* untuk mendapatkan matriks *cage assignment* dari *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa matriks *cage assignment* dari *grid*.
6. getCageObjectives(), yaitu *method* untuk mendapatkan *cage objectives* dari setiap *cage* dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa sebuah array yang berisi *cage objectives* dari setiap *cage* dalam *grid*.
7. getGrid(), yaitu *method* untuk mendapatkan nilai dari setiap sel *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa sebuah matriks yang berisi nilai dari setiap sel *grid*.
8. getCages(), yaitu *method* untuk mendapatkan semua *cage* dalam *grid*. *Method* ini menghasilkan keluaran berupa array yang berisi semua *cage* dalam *grid*.

9. setGeneticAlgorithmParameters(Integer generations, Integer populationSize, Double elitismRate, Double crossoverRate, Double mutationRate), yaitu *method* untuk mengatur parameter-parameter untuk algoritma genetik. *Method* ini menerima masukan berupa jumlah generasi, jumlah populasi dalam sebuah generasi, tingkat *elitism*, tingkat kawin silang, dan tingkat mutasi.
10. initTextFields, yaitu *method* untuk menginisialisasi *text field* yang ada di dalam *grid* pada GUI.
11. solveBacktracking(), yaitu *method* untuk memanggil solver untuk menyelesaikan permainan Calcudoku menggunakan algoritma *backtracking*.
12. solveHybridGenetic(), yaitu *method* untuk memanggil solver untuk menyelesaikan permainan Calcudoku menggunakan algoritma *hybrid genetic*.
13. printGridToScreen(), yaitu *method* untuk mencetak isi *grid* ke GUI.
14. clearGrid(), yaitu *method* untuk menghapus isi dari semua sel yang ada di dalam *grid* yang akan diselesaikan oleh *solver* sebelum *solver* mencoba menyelesaikan *grid* tersebut.
15. addCellTextFieldListeners(), yaitu *method* yang berfungsi untuk menambahkan *document listener* untuk semua *text field* yang ada pada GUI setelah *solver* berhasil atau gagal dalam menyelesaikan permainan Calcudoku.
16. removeCellTextFieldListeners(), yaitu *method* yang berfungsi untuk menghapus *document listener* untuk semua *text field* yang ada pada GUI sebelum *solver* mencoba untuk menyelesaikan permainan Calcudoku, untuk mencegah munculnya pesan peringatan jika ada sel yang kosong atau jika ada angka yang berulang di dalam sebuah baris atau kolom.
17. moveCursor(JTextField textField), yaitu *method* yang berfungsi untuk pindah dari sebuah *text field* ke *text field* di sebelahnya dengan menggunakan tombol-tombol panah. *Method* ini menerima masukan berupa sebuah *text field*.

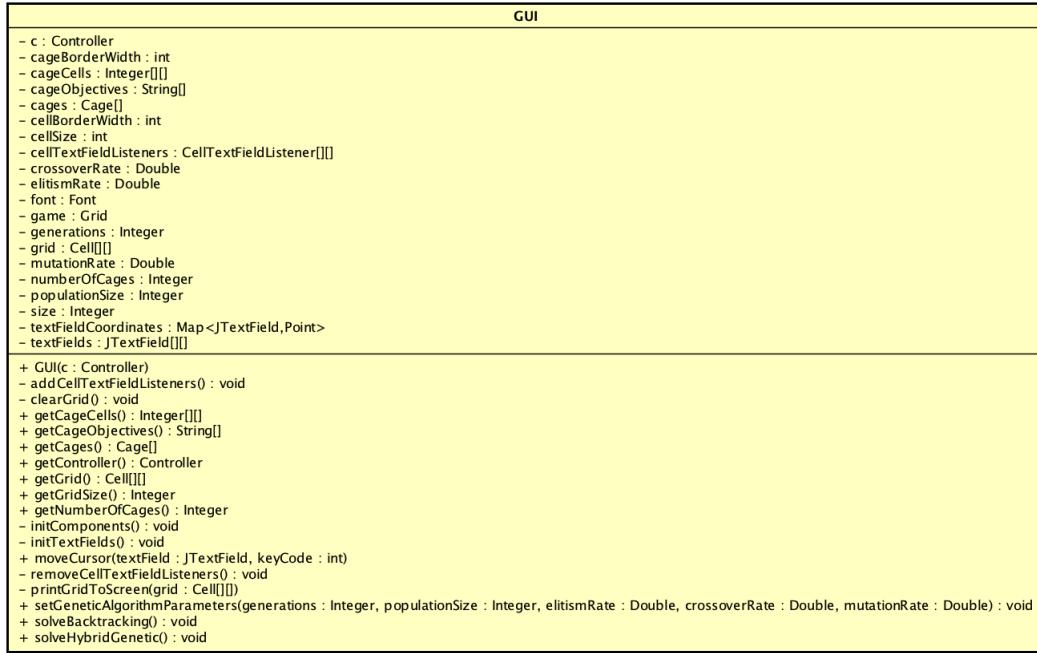
Diagram kelas GUI dapat dilihat pada Gambar 4.22.

4.4.15 Kelas CellKeyListener

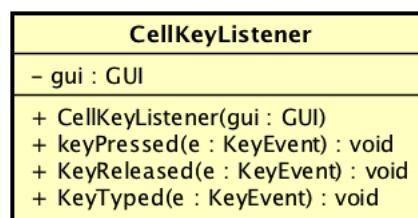
Kelas CellKeyListener hanya mempunyai satu atribut, yaitu *gui*. *gui* adalah sebuah instansiasi dari kelas GUI. Kelas ini mempunya beberapa *method*, yaitu:

1. CellKeyListener(GUI gui), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa sebuah instansiasi dari kelas GUI.
2. keyPressed(KeyEvent e), yaitu *method* yang meng-override *method* dari kelas KeyListener. *Method* ini berfungsi untuk pindah dari sebuah *text field* ke *text field* di sebelahnya dengan menggunakan tombol-tombol panah.
3. keyTyped(KeyEvent e), yaitu *method* yang meng-override *method* dari kelas KeyListener. *Method* ini berfungsi agar *text field* hanya bisa diisi oleh sebuah angka.
4. keyReleased(KeyEvent e), yaitu *method* yang meng-override *method* dari kelas KeyListener. *Method* ini kosong.

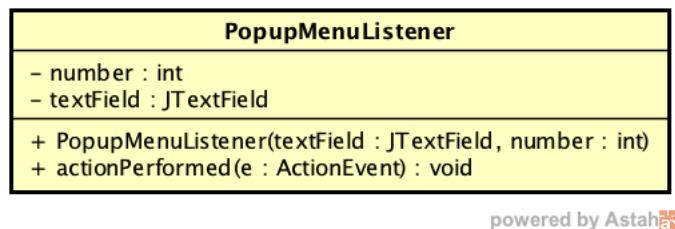
Diagram kelas CellKeyListener dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.22: Diagram kelas GUI.



Gambar 4.23: Diagram kelas CellKeyListener.



Gambar 4.24: Diagram kelas PopupMenuItemListener.

4.4.16 Kelas PopupMenuItemListener

Kelas PopupMenuItemListener mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. textField, yaitu sebuah *text field* yang merepresentasikan sebuah sel yang berada di dalam *grid*.
2. number, yaitu sebuah angka.

Kelas PopupMenuItemListener mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. PopupMenuItemListener(JTextField textField, int number), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa sebuah *text field* dan sebuah angka.
2. actionPerformed(ActionEvent e), yaitu *method* yang meng-*override* *method* dari kelas ActionListener. *Method* ini berfungsi untuk mengisi sebuah *text field* dengan angka yang dipilih.

Diagram kelas PopupMenuItemListener dapat dilihat pada Gambar 4.24.

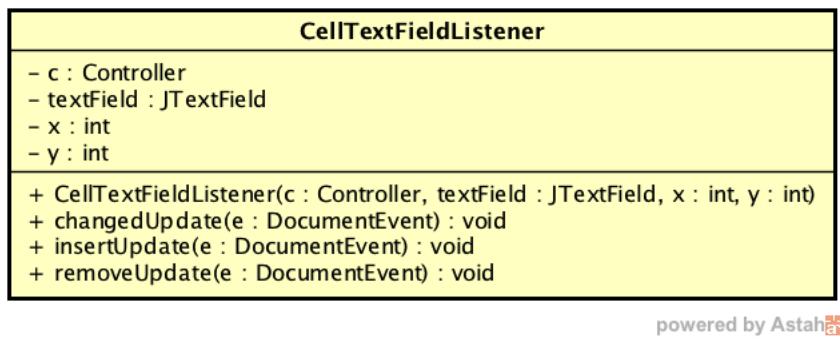
4.4.17 Kelas CellTextFieldListener

Kelas CellTextFieldListener mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. c, yaitu sebuah instansiasi dari kelas Controller. c berfungsi untuk menghubungkan kelas-kelas yang berada di dalam *package* model dengan kelas-kelas yang berada di dalam *package* view.
2. textField, yaitu sebuah *text field* yang merepresentasikan sebuah sel yang berada di dalam *grid*.
3. x, yaitu koordinat x dari *text field*.
4. y, yaitu koordinat y dari *text field*.

Kelas CellTextFieldListener mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. CellTextFieldListener(Controller c, JTextField textField, int x, int y), yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa sebuah instansiasi dari kelas Controller, sebuah *text field*, dan koordinat dari *text field* tersebut.
2. insertUpdate(DocumentEvent e), yaitu *method* yang meng-*override* *method* dari kelas DocumentEvent. *Method* ini berfungsi untuk mengisi sebuah sel pada kelas Grid dengan angka yang diisikan ke dalam sel pada GUI.
3. removeUpdate(DocumentEvent e), yaitu *method* yang meng-*override* *method* dari kelas DocumentEvent. *Method* ini berfungsi untuk menghapus isi sebuah sel pada kelas Grid jika angka dalam sel pada GUI dihapus.



powered by Astah

Gambar 4.25: Diagram kelas CellTextFieldListner.

4. `changeUpdate(DocumentEvent e)`, yaitu *method* yang meng-*override method* dari kelas `DocumentEvent`. *Method* ini berfungsi untuk menghapus isi sebuah sel pada kelas Grid dan mengisi sebuah sel pada kelas Grid dengan angka yang baru yang diisikan ke dalam sel pada GUI jika terjadi perubahan angka yang diisikan ke dalam sel pada GUI.

Diagram kelas `CellTextFieldListener` dapat dilihat pada Gambar 4.25.

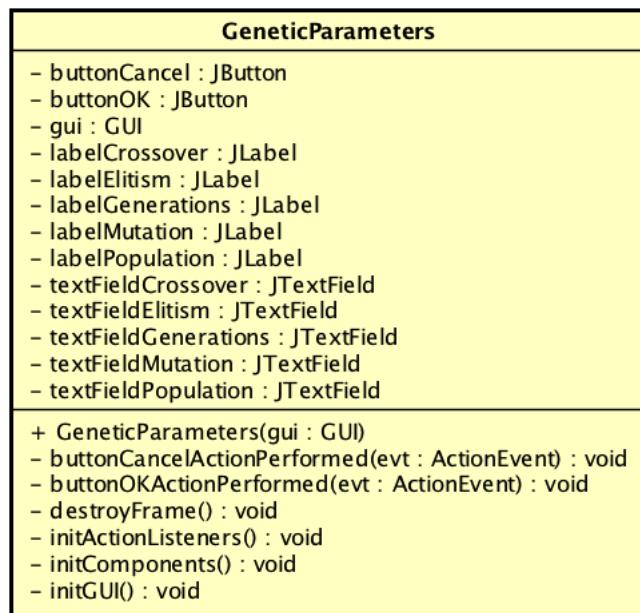
4.4.18 Kelas GeneticParameters

Kelas `GeneticParameters` mempunyai beberapa atribut, yaitu:

1. `gui`, yaitu representasi GUI dari *file* permainan yang sedang dibuka.
2. `labelGenerations`, yaitu label yang bertuliskan "*Generations*".
3. `labelPopulation`, yaitu label yang bertuliskan "*Population Size*".
4. `labelElitism`, yaitu label yang bertuliskan "*Elitism Rate*".
5. `labelCrossover`, yaitu label yang bertuliskan "*Crossover Rate*".
6. `labelMutation`, yaitu label yang bertuliskan "*Mutation Rate*".
7. `textFieldGenerations`, yaitu *text field* untuk mengisi nilai jumlah generasi.
8. `textFieldPopulation`, yaitu *text field* untuk mengisi nilai jumlah populasi dalam sebuah generasi.
9. `textFieldElitism`, yaitu *text field* untuk mengisi nilai tingkat *elitism*.
10. `textFieldCrossover`, yaitu *text field* untuk mengisi nilai tingkat kawin silang.
11. `textFieldMutation`, yaitu *text field* untuk mengisi nilai tingkat mutasi.
12. `buttonOK`, yaitu tombol untuk mengganti nilai-nilai parameter untuk algoritma genetik dengan nilai-nilai yang dimasukkan ke dalam *form* yang disediakan.
13. `buttonCancel`, yaitu tombol untuk membatalkan perubahan nilai-nilai parameter untuk algoritma genetik.

Kelas `GeneticParameters` mempunyai beberapa *method*, yaitu:

1. `GeneticParameters(GUI gui)`, yaitu konstruktor dari kelas ini. Konstruktor ini menerima masukan berupa sebuah instansiasi dari kelas GUI.



powered by Astah

Gambar 4.26: Diagram kelas GeneticParameters.

2. initComponents(), yaitu *method* untuk menginisialisasi komponen-komponen dari *form*.
3. initActionListener(), yaitu *method* untuk menginisialisasi *action listener* untuk setiap tombol yang ada di dalam *form*.
4. initGUI(), yaitu *method* untuk menginisialisasi GUI dari *form*.
5. initMenuBar(), yaitu *method* untuk menginisialisasi menu *bar* untuk *frame* GUI.
6. buttonOKActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika tombol "OK" ditekan. *Method* ini akan mengganti nilai-nilai parameter untuk algoritma genetik dengan nilai-nilai yang telah dimasukkan ke dalam *form* yang disediakan.
7. buttonCancelActionPerformed(ActionEvent evt), yaitu *method* yang akan dijalankan jika tombol "Cancel" ditekan. *Method* ini akan membatalkan perubahan nilai-nilai parameter untuk algoritma genetik.
8. destroyFrame(), yaitu *method* untuk menutup *form*.

Diagram kelas GeneticParameters dapat dilihat pada Gambar 4.26.

BAB 5

IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

Bab ini membahas tentang implementasi dan pengujian perangkat lunak berdasarkan rancangan yang sudah dibuat. Ada dua jenis pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian fungsional, pengujian keakuratan, dan pengujian eksperimental. Bab ini juga membahas tentang lingkungan yang digunakan untuk pengujian perangkat lunak ini.

5.1 Lingkungan untuk Pengujian

Pengujian perangkat lunak ini dilakukan di Lab Komputasi FTIS Unpar ruang 9018. Semua *file* permainan yang dipakai dalam pengujian ini dapat dilihat di bab Lampiran C.

Ada dua jenis lingkungan untuk pengujian perangkat lunak ini, yaitu:

1. Lingkungan perangkat keras, yaitu lingkungan yang digunakan untuk pengujian perangkat lunak ini memiliki spesifikasi berikut:
2. Lingkungan perangkat lunak, yaitu lingkungan yang digunakan untuk pengujian perangkat lunak ini memiliki spesifikasi berikut:

5.2 Implementasi

Hasil implementasi dari rancangan perangkat lunak yang sudah dibuat ini terdiri dari dua bagian, yaitu:

1. Kode program
2. Antarmuka perangkat lunak

Kedua bagian tersebut akan dijelaskan lebih lanjut di bawah ini.

5.2.1 Kode Program

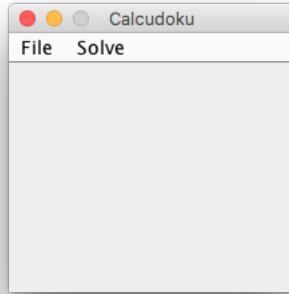
Kode program untuk perangkat lunak ini ditulis dalam bahasa pemrograman Java, berdasarkan dengan rancangan diagram kelas yang sudah dibuat, seperti dapat dilihat pada sub-bab 4.4. Seluruh kode program untuk perangkat lunak ini dapat dilihat di bab Lampiran D.

Tabel 5.1: Lingkungan perangkat keras untuk pengujian perangkat lunak

Parameter	Nilai
<i>Processor</i>	Lorem Ipsum
<i>RAM (Random Access Memory)</i>	Lorem Ipsum
<i>VGA (Video Graphics Array)</i>	Lorem Ipsum

Tabel 5.2: Lingkungan perangkat lunak untuk pengujian perangkat lunak

Parameter	Nilai
Sistem Operasi	Lorem Ipsum
Bahasa Pemrograman	Java
<i>IDE (Integrated Development Environment)</i>	NetBeans IDE 8.2
<i>Library Java</i>	JDK (<i>Java Development Kit</i>) 1.8
<i>JVM (Java Virtual Machine)</i>	Java Version 8 Update Lorem Ipsum

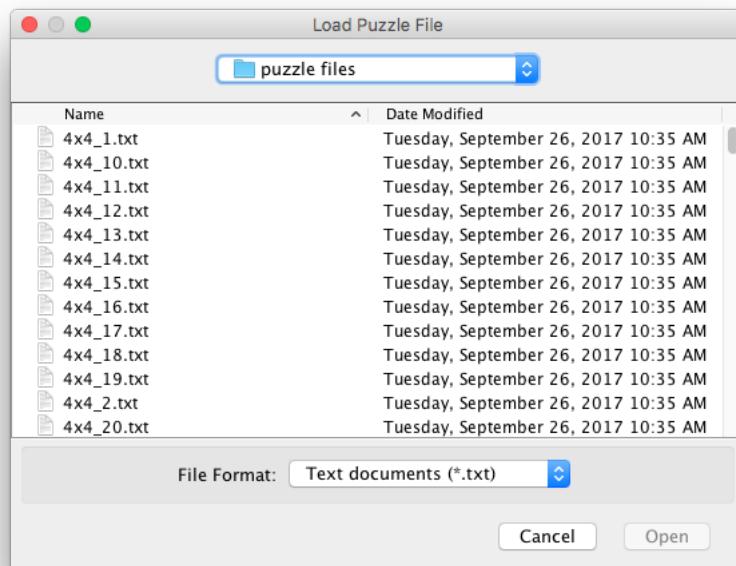


Gambar 5.1: Antarmuka perangkat lunak saat pertama kali dibuka

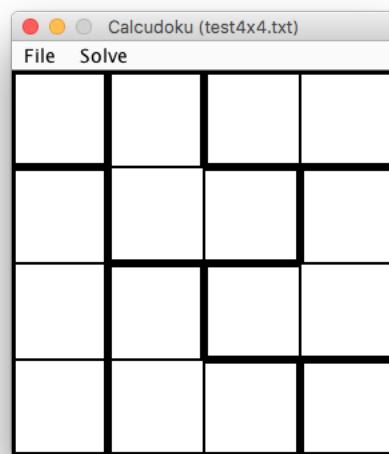
5.2.2 Antarmuka Perangkat Lunak

Antarmuka untuk perangkat lunak ini dirancang berdasarkan rancangan yang sudah dibuat, seperti dapat dilihat pada sub-bab 4.3.

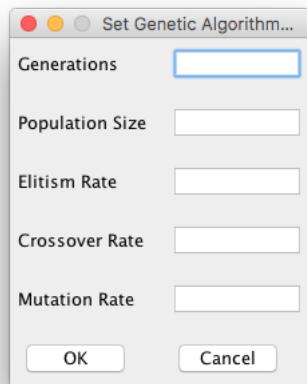
Gambar 5.1 menunjukkan antarmuka perangkat lunak saat pertama kali dibuka, sebelum *file* permainan dibuka. Gambar 5.2 menunjukkan kotak dialog untuk memilih *file* permainan yang akan dibuka. Gambar 5.3 menunjukkan antarmuka perangkat lunak setelah membuka *file* permainan yang dipilih. Gambar 5.4 menunjukkan kotak dialog untuk mengatur nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik. Gambar 5.5 menunjukkan antarmuka perangkat lunak setelah permainan berdasarkan *file* permainan yang telah dibuka diselesaikan.



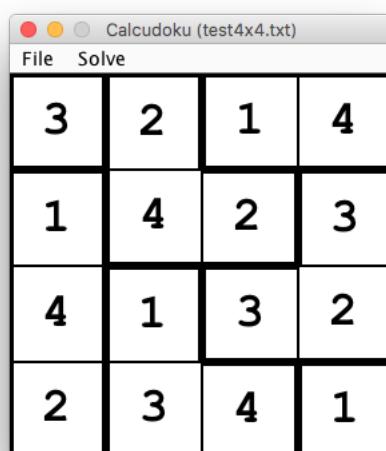
Gambar 5.2: Kotak dialog untuk memilih *file* permainan yang akan dibuka



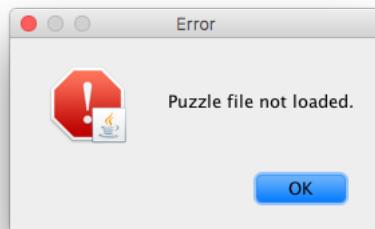
Gambar 5.3: Antarmuka perangkat lunak sesudah membuka *file* permainan yang dipilih



Gambar 5.4: Kotak dialog untuk mengatur nilai dari parameter-parameter algoritma genetik



Gambar 5.5: Antarmuka perangkat lunak setelah permainan berdasarkan file permainan yang telah dibuka diselesaikan



Gambar 5.6: Kotak pesan error "*Puzzle file not loaded*"

5.3 Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional bertujuan untuk memastikan bahwa perangkat lunak dapat berfungsi sebagaimana mestinya. Skenario-skenario yang dilakukan dalam pengujian fungsional untuk perangkat lunak ini adalah:

1. Memilih menu *item "Reset Puzzle"*, *"Close Puzzle File"*, dan *"Check Puzzle"* dari menu *"File"* atau menu *item "Backtracking"*, *"Hybrid Genetic"*, dan *"Set Genetic Algorithm Parameters"* dari menu *"Solve"* sebelum membuka *file* permainan.

Jika salah satu dari menu *item* tersebut dipilih sebelum membuka *file* permainan, maka pesan error "*Puzzle file not loaded*" akan muncul, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.6.

2. Membuka *file* permainan

Pemain dapat membuka *file* permainan dengan memilih menu *item "Load Puzzle File"* dalam menu *"File"*. Jika menu tersebut dipilih maka akan keluar kotak pemilihan *file* permainan, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.7. Pilihlah sebuah *file* permainan yang ingin dibuka. Tekan tombol *"OK"* untuk membuka *file* permainan tersebut, atau tekan tombol *"Cancel"* untuk membatalkan proses membuka *file* permainan.

Jika perangkat lunak sudah membuka sebuah *file* permainan, maka akan keluar kotak dialog *"Are you sure you want to load another puzzle file?"*, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.8. Tekan tombol *"Yes"* untuk membuka *file* permainan tersebut, atau tekan tombol *"No"* untuk membatalkan proses membuka *file* permainan.

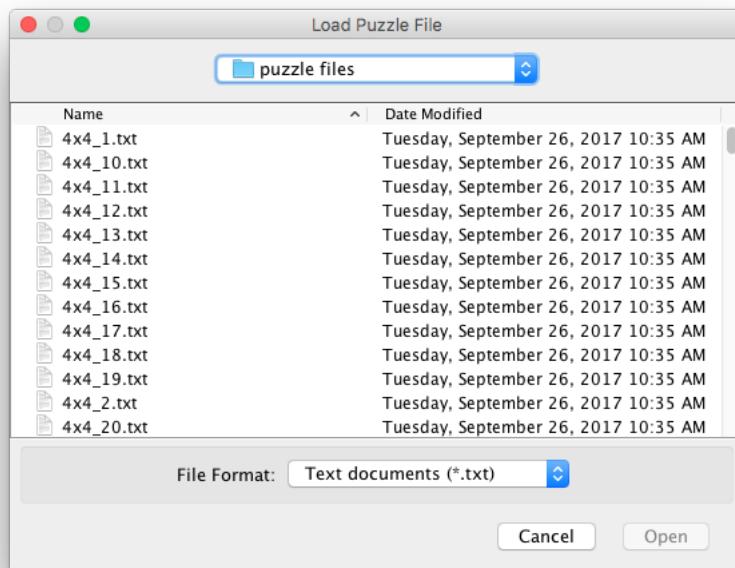
Jika *file* permainan yang dipilih berhasil dibuka, maka perangkat lunak akan menampilkan permainan berdasarkan *file* yang dipilih, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.3.

File permainan untuk perangkat lunak ini adalah *file* teks (*.txt). Format *file* permainan yang valid dapat dilihat di sub-bab 4.1.

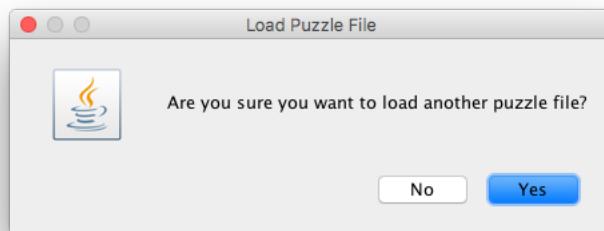
Jika *file* permainan yang dibuka tidak *valid*, misalnya karena *file* permainan yang dibuka bukan *file* teks, atau jika *file* teks yang akan dibuka formatnya tidak *valid*, maka pesan error "*Invalid puzzle file*" akan muncul, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.9.

Jika ada kesalahan dalam penentuan operator untuk *cage* yang ada di dalam *grid*, misalnya operator $-$, atau \div untuk *cage* yang tidak berukuran 2 sel, operator $+$, atau \times , untuk *cage* yang berukuran 1 sel, atau operator $=$ untuk *cage* yang berukuran lebih besar dari 1 sel, maka pesan error "*Invalid cages*" akan muncul, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.10.

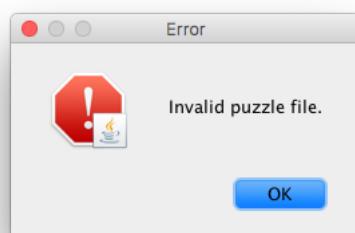
Jika salah satu dari kedua error tersebut terjadi, maka akan keluar pesan error "*Error in loading puzzle file*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.7: Kotak pemilihan *file* permainan



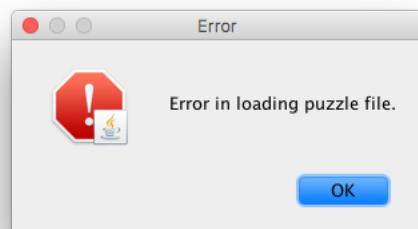
Gambar 5.8: Kotak dialog "Are you sure you want to load another puzzle file?"



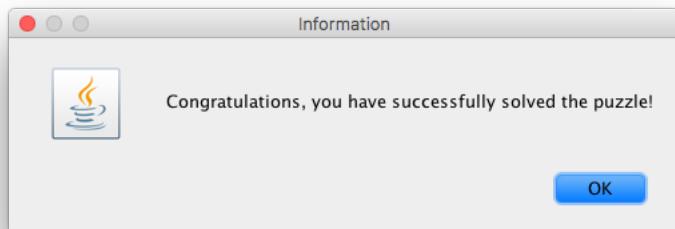
Gambar 5.9: Pesan error "Invalid puzzle file"



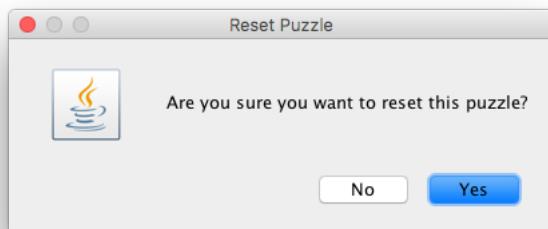
Gambar 5.10: Pesan error "*Invalid cages*"



Gambar 5.11: Pesan error "*Error in loading puzzle file*"



Gambar 5.12: Pesan informasi "*Congratulations, you have successfully solved the puzzle!*"



Gambar 5.13: Kotak dialog "*Are you sure you want to reset this puzzle?*"

3. Menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri

Jika pemain berhasil menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri, maka kotak informasi "*Congratulations, you have successfully solved the puzzle!*" akan muncul, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.12.

4. Me-reset permainan

Pemain dapat me-reset permainan dengan memilih menu item "Reset Puzzle" dalam menu "File". Jika menu item ini dipilih, maka akan keluar kotak dialog "*Are you sure you want to reset this puzzle?*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.13. Tekan tombol "Yes" untuk me-reset permainan, atau tekan tombol "No" untuk membatalkan proses *reset* permainan.

5. Memeriksa permainan jika ada nilai yang salah di dalam *grid*.

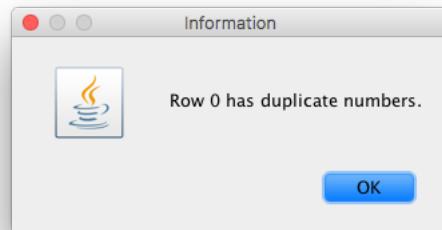
Perangkat lunak ini dapat memeriksa jika ada nilai yang salah di dalam *grid* secara otomatis.

Jika ada nilai yang berulang dalam sebuah baris, maka akan keluar kotak informasi "*Row* (nomor baris) *has duplicate numbers*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.14.

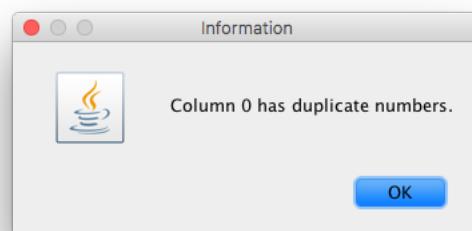
Jika ada nilai yang berulang dalam sebuah kolom, maka akan keluar kotak informasi "*Column* (nomor kolom) *has duplicate numbers*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.15.

Jika nilai-nilai dalam sebuah *cage* tidak mencapai nilai tujuan yang telah ditentukan jika dihitung dengan operasi matematika yang telah ditentukan, maka akan keluar kotak informasi "*Values of cells in the cage do not reach the target number*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.16.

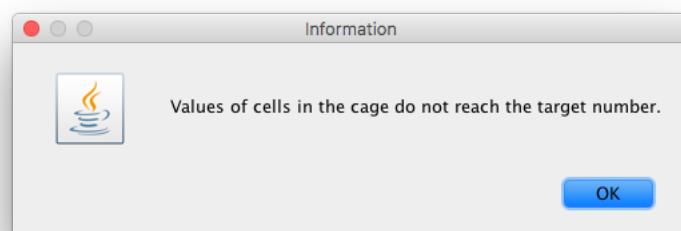
Pemain juga dapat meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan jika ada nilai yang salah di dalam *grid* secara manual, dengan memilih menu item "Check Puzzle" dalam menu "File".



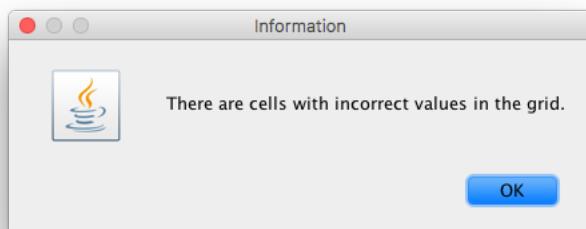
Gambar 5.14: Pesan informasi "*Row* (nomor baris) *has duplicate numbers*"



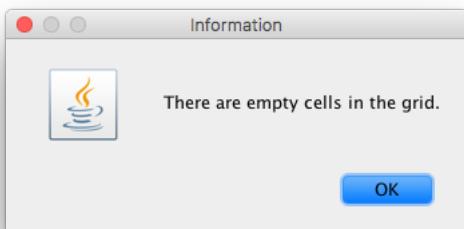
Gambar 5.15: Pesan informasi "*Column* (nomor kolom) *has duplicate numbers*"



Gambar 5.16: Pesan informasi "*Values of cells in the cage do not reach the target number*"



Gambar 5.17: Pesan informasi "*There are cells with incorrect values in the grid*"



Gambar 5.18: Pesan informasi "*There are empty cells in the grid*"

Jika menu *item* ini dijalankan, dan ternyata ada nilai yang salah di dalam *grid*, maka akan muncul kotak informasi "*There are cells with incorrect values in the grid*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.17.

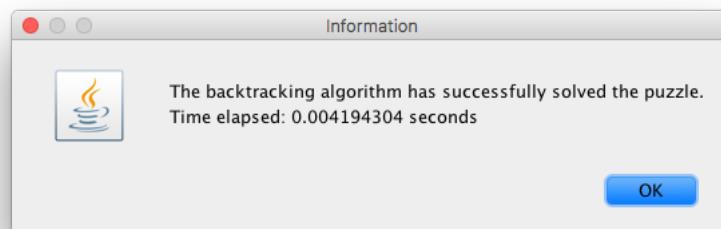
Jika menu *item* ini dijalankan dan ternyata ada sel yang masih kosong, maka akan muncul kotak informasi "*There are empty cells in the grid*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.18.

6. Menyelesaikan permainan dengan menggunakan algoritma *backtracking*

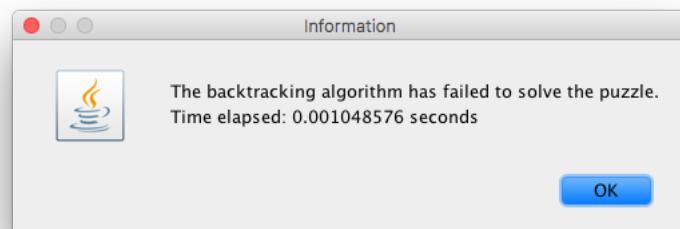
Pemain dapat meminta perangkat lunak untuk menyelesaikan permainan dengan salah satu dari dua *solver* yang disediakan. Salah satu dari kedua *solver* tersebut adalah *solver* dengan algoritma *backtracking*. Untuk menggunakan *solver* ini, pemain memilih menu *item* "*Backtracking*" dalam menu "*Solve*".

Jika *solver* ini berhasil dalam menyelesaikan permainan, maka akan muncul kotak informasi "*The backtracking algorithm has successfully solved the puzzle*", dan waktu yang dibutuhkan oleh *solver* untuk menyelesaikan permainan tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.19.

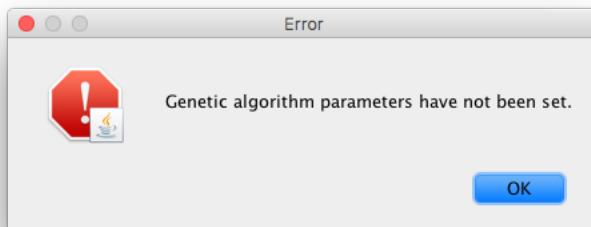
Jika gagal, maka akan muncul kotak informasi "*The backtracking algorithm has failed to solve the puzzle*", dan waktu yang dibutuhkan oleh *solver* untuk menemukan bahwa tidak ada solusi untuk permainan tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.20



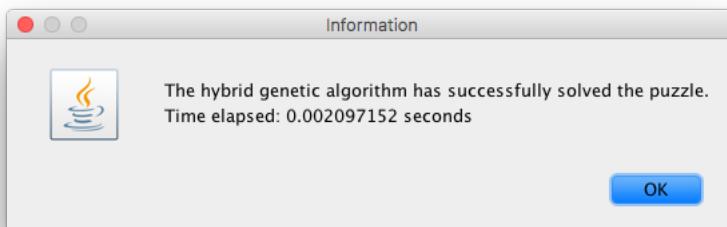
Gambar 5.19: Pesan informasi "*The backtracking algorithm has successfully solved the puzzle*"



Gambar 5.20: Pesan informasi "*The backtracking algorithm has failed to solve the puzzle*"



Gambar 5.21: Pesan informasi "*Genetic algorithm parameters have not been set*"



Gambar 5.22: Pesan informasi "*The hybrid genetic algorithm has successfully solved the puzzle*"

7. Menyelesaikan permainan dengan menggunakan algoritma *hybrid genetic*

Pemain dapat meminta perangkat lunak untuk menyelesaikan permainan dengan salah satu dari dua *solver* yang disediakan. Salah satu dari kedua *solver* tersebut adalah *solver* dengan algoritma *hybrid genetic*. Untuk menggunakan *solver* ini, pemain memilih menu item "*Hybrid Genetic*" dalam menu "*Solve*". Jika nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik belum ditentukan, maka akan keluar pesan error "*Genetic algorithm parameters have not been set*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.21.

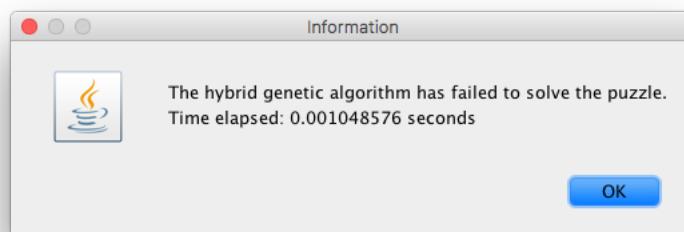
Jika *solver* ini berhasil dalam menyelesaikan permainan, maka akan muncul kotak informasi "*The hybrid genetic algorithm has successfully solved the puzzle*", dan waktu yang dibutuhkan oleh *solver* untuk menyelesaikan permainan tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.22.

Jika gagal, maka akan muncul kotak informasi "*The hybrid genetic algorithm has failed to solve the puzzle*", dan waktu yang dibutuhkan oleh *solver* untuk menemukan bahwa tidak ada solusi untuk permainan tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.23

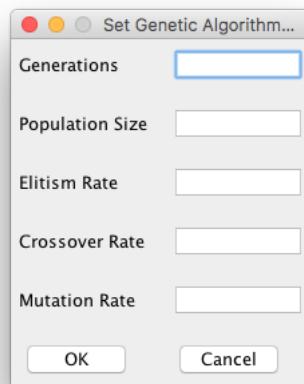
8. Mengatur nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik

Pemain dapat mengatur sendiri nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik dengan memilih menu item "*Set Genetic Algorithm Parameters*" dalam menu "*Solve*". Akan muncul sebuah *form* seperti dapat dilihat pada Gambar 5.24.

Isilah *form* tersebut dengan nilai yang diinginkan untuk setiap parameter algoritma genetik. Tekan tombol "*OK*" untuk menyimpan nilai-nilai telah diisikan ke dalam *form*, atau tekan tombol "*Cancel*" untuk membatalkan proses mengatur nilai untuk parameter-parameter genetik. Jika angka yang dimasukkan ke dalam *form* tidak *valid*, maka akan muncul pesan error "*Invalid number format*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.25.



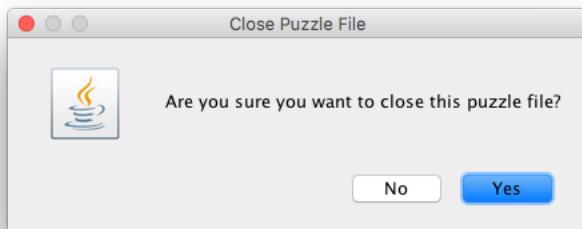
Gambar 5.23: Pesan informasi "*The hybrid genetic algorithm has failed to solve the puzzle*"



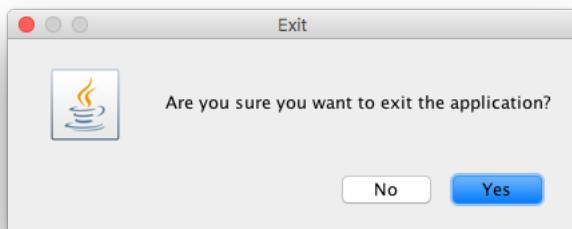
Gambar 5.24: *Form* untuk mengatur nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik



Gambar 5.25: Pesan error "*Invalid number format*"



Gambar 5.26: Kotak dialog "Are you sure you want to close this puzzle file?"



Gambar 5.27: Kotak dialog "Are you sure you want to exit the application?"

Jika jumlah dari tingkat *elitism*, tingkat mutasi, dan tingkat kawin silang kurang dari 100%, maka beberapa kromosom dari generasi sebelumnya akan diambil secara acak dan dimasukkan ke dalam generasi berikutnya sehingga jumlah kromosom dalam generasi berikutnya tetap sama. Jika jumlah dari tingkat *elitism*, tingkat mutasi, dan tingkat kawin silang lebih dari 100%, maka beberapa kromosom dari generasi berikutnya akan dibuang secara acak sehingga jumlah kromosom dalam generasi berikutnya tetap sama.

9. Menutup *file* permainan

Pemain dapat menutup *file* permainan dengan memilih menu *item* "Close Puzzle File" dalam menu "File". Jika menu *item* ini dipilih, maka akan keluar kotak dialog "Are you sure you want to close this puzzle file?", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.26. Tekan tombol "Yes" untuk menutup *file* permainan, atau tekan tombol "No" untuk membatalkan proses menutup *file* permainan.

10. Menutup perangkat lunak

Pemain dapat menutup perangkat lunak dengan memilih menu *item* "Exit" dalam menu "File". Jika menu *item* ini dipilih, maka akan keluar kotak dialog "Are you sure you want to exit the application?", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.27. Tekan tombol "Yes" untuk menutup perangkat lunak, atau tekan tombol "No" untuk membatalkan proses menutup perangkat lunak.

5.4 Pengujian Keakuratan

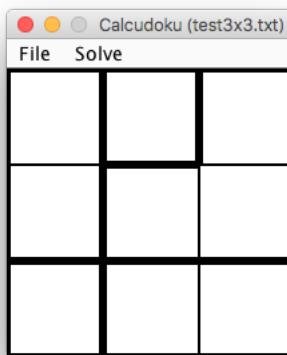
Pengujian keakuratan dilakukan untuk memastikan bahwa permainan yang ditampilkan oleh perangkat lunak sesuai dengan *file* permainan yang dibuka. Skenario-skenario yang akan dilakukan

```

3 5
1 2 3
1 3 3
4 5 5
3+
1=
8+
3=
3+

```

Gambar 5.28: *File* masukan untuk pengujian keakuratan



Gambar 5.29: GUI permainan berdasarkan *file* masukan yang dapat dilihat pada Gambar 5.28

dalam pengujian keakuratan untuk perangkat lunak ini adalah:

- Keakuratan dalam menerjemahkan isi *file* masukan menjadi keluaran berupa GUI

Untuk menguji keakuratan perangkat lunak dalam menerjemahkan isi *file* masukan menjadi keluaran berupa GUI, maka perangkat lunak akan diuji dengan membuka sebuah *file* masukan, dan melihat apakah keluarannya, yaitu GUI-nya sesuai dengan *file* masukan yang dibuka.

Dalam kasus ini, perangkat lunak akan membuka *file* masukan yang isinya dapat dilihat pada Gambar 5.28.

Perangkat lunak ini lalu menerjemahkan isi *file* masukan menjadi keluaran berupa GUI yang dapat dilihat pada Gambar 5.29.

Pada GUI ini, petunjuk, yaitu angka tujuan dan operasi matematika yang ditentukan untuk sebuah *cage*, ditampilkan sebagai *tooltip* yang akan muncul saat sel-sel yang berada di dalam sebuah *cage* di-hover. Setiap sel memiliki *tooltip* yang berisi petunjuk sesuai dengan *cage* tempat sel tersebut berada.

Dalam perangkat lunak ini, setiap sel sudah memiliki *tooltip* sesuai dengan *cage* tempat sel tersebut berada.

Sel-sel dalam *cage* 1, yaitu sel pada baris ke-1 dan kolom ke-1, dan sel pada baris ke-2 dan kolom ke-1, memiliki *tooltip* "3+". Sel dalam *cage* 2, yaitu sel pada baris ke-1 dan kolom ke-2, memiliki *tooltip* "1=". Sel-sel dalam *cage* 3, yaitu sel pada baris ke-1 dan kolom ke-3, sel pada baris ke-2 dan kolom ke-2, dan sel pada baris ke-2 dan kolom ke-3, memiliki *tooltip* "8+". Sel dalam *cage* 4, yaitu sel pada baris ke-3 dan kolom ke-1, memiliki *tooltip* "3=". Sel-sel dalam

cage 5, yaitu sel pada baris ke-3 dan kolom ke-2, dan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-3, memiliki *tooltip* "3+".

Grid dibatasi oleh garis tebal, setiap *cage* dibatasi oleh garis tebal, dua sel yang berada di dalam dua *cage* yang berbeda dibatasi oleh garis tebal, dan dua sel yang berada di dalam *cage* yang sama dibatasi oleh garis tipis.

Dalam perangkat lunak ini, *grid* dan setiap sel sudah memiliki garis pembatas yang tepat. *Grid* dibatasi oleh garis tebal.

Pada baris ke-1, sel pada kolom ke-1 dan kolom ke-2 dibatasi oleh garis tebal karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang berbeda, sel pada kolom ke-2 dan kolom ke-3 dibatasi oleh garis tebal karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang berbeda. Pada baris ke-2, sel pada kolom ke-1 dan kolom ke-2 dibatasi oleh garis tebal karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang berbeda, sel pada kolom ke-2 dan kolom ke-3 dibatasi oleh garis tipis karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang sama. Pada baris ke-3, sel pada kolom ke-1 dan kolom ke-2 dibatasi oleh garis tebal karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang berbeda, sel pada kolom ke-2 dan kolom ke-3 dibatasi oleh garis tipis karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang sama.

Pada kolom ke-1, sel pada baris ke-1 dan baris ke-2 dibatasi oleh garis tips karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang sama, sel pada baris ke-2 dan baris ke-3 dibatasi oleh garis tebal karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang berbeda. Pada kolom ke-2, sel pada baris ke-1 dan baris ke-2 dibatasi oleh garis tebal karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang berbeda, sel pada baris ke-2 dan baris ke-3 dibatasi oleh garis tebal karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang berbeda. Pada kolom ke-3, sel pada baris ke-1 dan baris ke-2 dibatasi oleh garis tipis karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang sama, sel pada baris ke-2 dan baris ke-3 dibatasi oleh garis tebal karena kedua sel tersebut berada dalam dua *cage* yang berbeda.

2. Keakuratan dalam menampilkan pesan informasi pada waktunya.

Untuk menguji keakuratan perangkat lunak dalam menampilkan pesan informasi pada waktunya, maka perangkat lunak harus diuji dengan menyelesaikan sebuah permainan, dan melihat apa kotak informasi ditampilkan pada waktunya atau tidak.

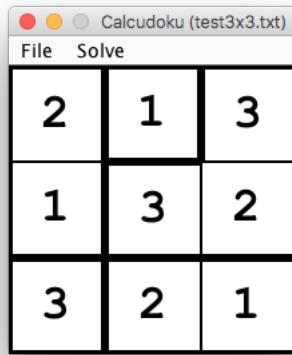
Dalam kasus ini, permainan berdasarkan *file* yang isinya ditampilkan pada Gambar 5.28 akan diselesaikan.

Cage 2, yang hanya berukuran satu sel yang terletak pada baris ke-1 dan kolom ke-2, dan memiliki petunjuk "1=". Isilah sel tersebut dengan angka 2. Karena 2 bukan angka tujuan dari *cage* tersebut, maka pesan informasi "*Values of cells in the cage do not reach the target number*" seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.16 akan muncul. Hapuslah angka 2 dari sel tersebut, dan isilah dengan angka 1, yang merupakan angka tujuan dari *cage* tersebut.

Isilah sel pada baris ke-1 dan kolom ke-1 dengan angka 1. Karena ada angka yang berulang dalam satu baris, maka pesan informasi "*Row has duplicate numbers*" seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 akan muncul. Hapuslah angka 1 dari sel tersebut. Sekarang isilah sel pada baris ke-1 dan kolom ke-1 dengan angka 1. Karena ada angka yang berulang dalam satu baris, maka pesan informasi "*Row has duplicate numbers*" seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 akan muncul. Hapuslah angka 1 dari sel tersebut.

Isilah sel pada baris ke-2 dan kolom ke-2 dengan angka 1. Karena ada angka yang berulang dalam satu kolom, maka pesan informasi "*Column has duplicate numbers*" seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.15 akan muncul. Hapuslah angka 1 dari sel tersebut.

Selesaikan permainan ini dengan mengisi sel-sel lainnya dengan angka yang benar. Solusi dari permainan ini dapat dilihat pada Gambar 5.30.



Gambar 5.30: Solusi untuk permainan berdasarkan file masukan yang dapat dilihat pada Gambar 5.28

Tabel 5.3: Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku

Ukuran Grid	Tingkat Keberhasilan	Kecepatan
4×4	100%	0.067 detik
5×5	100%	0.701 detik
6×6	100%	13.84 detik
7×7	100%	482.653 detik
8×8	100%	2134.655 detik

Setelah mengisi seluruh sel di dalam *grid* sesuai dengan solusi tersebut, maka pesan informasi "*Congratulations, you have successfully solved the puzzle*" seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.12 akan muncul.

Perangkat lunak ini telah berhasil memunculkan pesan informasi pada waktunya.

5.5 Pengujian Algoritma *Backtracking*

Pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dilakukan untuk mengetahui keberhasilan dan kecepatan algoritma *backtracking* dalam menyelesaikan permainan Calcudoku.

Berdasarkan hasil pengujian yang dapat dilihat pada Tabel 5.3, algoritma *backtracking* dapat menyelesaikan semua permainan yang diujikan. Semakin besar ukuran *grid*, maka waktu yang dibutuhkan oleh algoritma *backtracking* untuk menyelesaikan permainan semakin lama. Pada ukuran *grid* yang besar, algoritma *backtracking* sangat lambat dalam menyelesaikan permainan.

Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B.

5.6 Pengujian dan Eksperimen Algoritma *Hybrid Genetic*

Pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dilakukan untuk mengetahui keberhasilan dan kecepatan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan Calcudoku.

Pada algoritma *backtracking* tidak ada parameter yang nilainya dapat diubah, sedangkan pada algoritma *hybrid genetic*, nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik dapat diubah. Tidak ada nilai *default* untuk parameter-parameter dari algoritma genetik ini. Nilai dari parameter-parameter tersebut harus diisi sendiri oleh pemain.

Tabel 5.4: Nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik untuk setiap percobaan yang dilakukan

Skenario	Populasi	Generasi	<i>Elitism</i>	Mutasi	Kawin Silang
1	1000	100	10%	10%	80%
2	1000	100	5%	10%	85%
3	1000	100	10%	5%	85%
4	1000	100	5%	5%	90%
5	100	100	10%	10%	80%
6	100	100	5%	10%	85%
7	100	100	10%	5%	85%
8	100	100	5%	5%	90%
9	1000	10	10%	10%	80%
10	1000	10	5%	10%	85%
11	1000	10	10%	5%	85%
12	1000	10	5%	5%	90%
13	100	10	10%	10%	80%
14	100	10	5%	10%	85%
15	100	10	10%	5%	85%
16	100	10	5%	5%	90%

Tabel 5.5: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 1)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4 × 4	100%	3.579 detik	3
5 × 5	42%	8.389 detik	9
6 × 6	0%	-	-
7 × 7	0%	-	-
8 × 8	0%	-	-

Dalam kasus ini, pengujian eksperimental dilakukan dengan melakukan pengujian keberhasilan dan kecepatan dari *solver* dengan algoritma *hybrid genetic* dengan mengatur nilai dari parameter-parameter dari algoritma genetik dengan nilai yang berbeda-beda untuk setiap percobaan.

Terdapat 16 skenario yang dilakukan untuk percobaan ini. Nilai untuk parameter-parameter untuk algoritma genetik untuk setiap percobaan yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.4.

5.6.1 Skenario 1

Hasil pengujian Skenario 1 dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.6: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 2)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	100%	4.002 detik	3
5×5	42%	9.258 detik	9
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

Tabel 5.7: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 3)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	100%	3.751 detik	3
5×5	42%	8.806 detik	9
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

5.6.2 Skenario 2

Hasil pengujian Skenario 2 dapat dilihat pada Tabel 5.6.

5.6.3 Skenario 3

Hasil pengujian Skenario 3 dapat dilihat pada Tabel 5.7.

5.6.4 Skenario 4

Hasil pengujian Skenario 4 dapat dilihat pada Tabel 5.8.

Tabel 5.8: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 4)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	100%	4.175 detik	3
5×5	42%	9.676 detik	9
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

Tabel 5.9: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 5)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma Rule Based
4 × 4	62%	0.498 detik	5
5 × 5	19%	0.311 detik	14
6 × 6	0%	-	-
7 × 7	0%	-	-
8 × 8	0%	-	-

Tabel 5.10: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 6)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma Rule Based
4 × 4	62%	0.553 detik	5
5 × 5	19%	0.339 detik	14
6 × 6	0%	-	-
7 × 7	0%	-	-
8 × 8	0%	-	-

5.6.5 Skenario 5

Hasil pengujian Skenario 5 dapat dilihat pada Tabel 5.9.

5.6.6 Skenario 6

Hasil pengujian Skenario 6 dapat dilihat pada Tabel 5.9.

5.6.7 Skenario 7

Hasil pengujian Skenario 7 dapat dilihat pada Tabel 5.11.

Tabel 5.11: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 7)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma Rule Based
4 × 4	62%	0.524 detik	5
5 × 5	19%	0.325 detik	14
6 × 6	0%	-	-
7 × 7	0%	-	-
8 × 8	0%	-	-

Tabel 5.12: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 8)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	62%	0.579 detik	5
5×5	19%	0.352 detik	14
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

Tabel 5.13: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 9)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	36%	0.511 detik	7
5×5	15%	0.487 detik	15
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

5.6.8 Skenario 8

Hasil pengujian Skenario 8 dapat dilihat pada Tabel 5.12.

5.6.9 Skenario 9

Hasil pengujian Skenario 9 dapat dilihat pada Tabel 5.13.

5.6.10 Skenario 10

Hasil pengujian Skenario 10 dapat dilihat pada Tabel 5.14.

Tabel 5.14: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 10)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	36%	0.511 detik	7
5×5	15%	0.487 detik	15
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

Tabel 5.15: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 11)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma Rule Based
4 × 4	36%	0.511 detik	7
5 × 5	15%	0.487 detik	15
6 × 6	0%	-	-
7 × 7	0%	-	-
8 × 8	0%	-	-

Tabel 5.16: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 12)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma Rule Based
4 × 4	36%	0.511 detik	7
5 × 5	15%	0.487 detik	15
6 × 6	0%	-	-
7 × 7	0%	-	-
8 × 8	0%	-	-

5.6.11 Skenario 11

Hasil pengujian Skenario 11 dapat dilihat pada Tabel 5.15.

5.6.12 Skenario 12

Hasil pengujian Skenario 12 dapat dilihat pada Tabel 5.16.

5.6.13 Skenario 13

Hasil pengujian Skenario 13 dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5.17: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 13)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma Rule Based
4 × 4	34%	0.054 detik	9
5 × 5	15%	0.077 detik	15
6 × 6	0%	-	-
7 × 7	0%	-	-
8 × 8	0%	-	-

Tabel 5.18: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 14)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	34%	0.054 detik	9
5×5	15%	0.077 detik	15
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

Tabel 5.19: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 15)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	34%	0.054 detik	9
5×5	15%	0.077 detik	15
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

5.6.14 Skenario 14

Hasil pengujian Skenario 14 dapat dilihat pada Tabel 5.18.

5.6.15 Skenario 15

Hasil pengujian Skenario 15 dapat dilihat pada Tabel 5.19.

5.6.16 Skenario 16

Hasil pengujian Skenario 16 dapat dilihat pada Tabel 5.20.

Tabel 5.20: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku (Skenario 16)

Ukuran Grid	Rata-Rata Tingkat Keberhasilan	Rata-Rata Kecepatan	Rata-Rata Jumlah Sel Diisi Algoritma <i>Rule Based</i>
4×4	34%	0.054 detik	9
5×5	15%	0.077 detik	15
6×6	0%	-	-
7×7	0%	-	-
8×8	0%	-	-

5.6.17 Hasil Eksperimen

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, ada beberapa hal yang dapat dilihat, yaitu:

1. Ada kemungkinan algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan Calcudoku karena sifat acak dari algoritma *hybrid genetic* ini. Semakin besar ukuran *grid*, maka kemungkinan algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan semakin besar. Algoritma *hybrid genetic* ini gagal dalam menyelesaikan permainan Calcudoku dengan ukuran *grid* 6×6 ke atas.
2. Semakin besar ukuran *grid*, maka waktu yang dibutuhkan oleh algoritma *hybrid genetic* untuk menyelesaikan semakin lama. Pada ukuran *grid* yang kecil, algoritma *hybrid genetic* cenderung menyelesaikan permainan lebih lambat daripada algoritma *backtracking*. Tetapi, pada ukuran *grid* yang besar, algoritma *hybrid genetic* mungkin mampu menyelesaikan permainan lebih cepat daripada algoritma *backtracking*, tetapi hal ini tidak dapat dibuktikan karena algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan dengan ukuran *grid* yang besar.
3. Semakin banyak sel yang diisi dalam tahap algoritma *rule based*, semakin besar juga kemungkinan algoritma genetik untuk berhasil dalam menyelesaikan permainan dan semakin cepat algoritma genetik dalam menyelesaikan permainan.
4. Nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik mempengaruhi kecepatan dan tingkat keberhasilan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan. Semakin besar populasi dalam sebuah generasi sampai ke titik tertentu, dan semakin banyak generasi sampai ke titik tertentu, maka semakin besar juga kemungkinan algoritma *hybrid genetic* berhasil dalam menyelesaikan permainan. Semakin besar tingkat *elitism* dan tingkat mutasi sampai ke titik tertentu, maka semakin cepat juga algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan.

Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran [B](#).

BAB 6

SIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas tentang simpulan berdasarkan hasil dari analisis, implementasi, dan pengujian perangkat lunak yang telah dibuat, dan saran-saran untuk penelitian dan pengembangan selanjutnya.

6.1 Simpulan

Berdasarkan hasil dari analisis, implementasi, dan pengujian perangkat lunak Calcudoku yang telah dibuat, maka dapat diambil simpulan sebagai berikut:

1. Algoritma *backtracking* dapat menyelesaikan semua permainan yang diujikan. Pada ukuran *grid* yang besar, algoritma *backtracking* sangat lambat dalam menyelesaikan permainan.
2. Ada kemungkinan algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan Calcudoku karena sifat acak dari algoritma *hybrid genetic* ini. Semakin besar ukuran *grid*, maka kemungkinan algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan semakin besar.
3. Pada ukuran *grid* yang kecil, algoritma *hybrid genetic* cenderung menyelesaikan permainan lebih lambat daripada algoritma *backtracking*. Tetapi, pada ukuran *grid* yang besar, algoritma *hybrid genetic* mungkin mampu menyelesaikan permainan lebih cepat daripada algoritma *backtracking*, tetapi hal ini tidak dapat dibuktikan karena algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan dengan ukuran *grid* yang besar.
4. Semakin banyak sel yang diisi dalam tahap algoritma *rule based*, semakin besar juga kemungkinan algoritma genetik untuk berhasil dalam menyelesaikan permainan dan semakin cepat algoritma genetik dalam menyelesaikan permainan.
5. Nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik mempengaruhi kecepatan dan tingkat keberhasilan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan. Semakin besar populasi dalam sebuah generasi sampai ke titik tertentu, dan semakin banyak generasi sampai ke titik tertentu, maka semakin besar juga kemungkinan algoritma *hybrid genetic* berhasil dalam menyelesaikan permainan. Semakin besar tingkat *elitism* dan tingkat mutasi sampai ke titik tertentu, maka semakin cepat juga algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan.

6.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk mengembangkan penelitian ini adalah:

1. Menambah aturan-aturan logika untuk algoritma *rule based*, misalnya aturan *naked subset* untuk *cage* yang berukuran lebih besar dari 3 sel, aturan *hidden subset* untuk *cage* yang berukuran lebih besar dari 2 sel, aturan *killer combination* untuk *cage* yang berukuran lebih

besar dari 2 sel, dan aturan *evil twin* untuk *cage* yang berukuran minimal 2 sel. Dengan menambah aturan-aturan logika untuk algoritma *rule based*. Diharapkan, dengan menambah aturan-aturan logika untuk algoritma *rule based*, maka tingkat kesuksesan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan Calcudoku dapat meningkat.

2. Memperbaiki algoritma genetik, misalnya proses pemberian nilai kelayakan untuk kromosom, proses pemilihan kromosom untuk kawin silang dan mutasi, proses *elitism*, proses kawin silang, dan proses mutasi, sehingga tingkat kesuksesan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan Calcudoku dapat meningkat.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Fahda, A. (2015) Kenken puzzle solver using backtracking algorithm. Makalah IF2211 Strategi Algoritma - Semester II Tahun 2014/2015, Program Studi Teknik Informatika, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung. http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Stmik/2014-2015/Makalah2015/Makalah_IF221_Strategi_Algoritma_2015_016.pdf.
- [2] Johanna, O., Lukas, S., dan Saputra, K. V. I. (2012) Solving and modeling ken-ken puzzle by using hybrid genetics algorithm. *1st International Conference on Engineering and Technology Development (ICETD 2012)*, Bandar Lampung, Lampung, Indonesia, 20-21 Juni, pp. 98–102. Faculty of Engineering and Faculty of Computer Science, Bandar Lampung University.

LAMPIRAN A

ANALISIS ALGORITMA BACKTRACKING

Dalam lampiran ini dijelaskan tentang analisis algoritma *backtracking* seperti dijelaskan pada subbab 3.1 secara lengkap.

Untuk mengilustrasikan cara kerja algoritma *backtracking*, akan digunakan permainan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar A.1 sebagai contoh.

1. Algoritma *backtracking* dimulai dengan teka-teki yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar A.1 (*state 1*).
2. Algoritma mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-1 dengan angka 1 (*state 2*), tetapi angka 1 tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
3. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 3*), tetapi angka 2 juga tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
4. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 4*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.2, dan ternyata angka 3 sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, sehingga algoritma dapat maju ke sel berikutnya.
5. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-2 dengan angka 1 (*state 5*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
6. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 6*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
7. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 7*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
8. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 8*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
9. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 9*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.

3	8+	3-	
7+			
	8+	8+	
			1

Gambar A.1: Contoh permainan teka-teki dengan ukuran *grid* 4 x 4 yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar 2.1. [1]

³ 3	⁸⁺	³⁻	
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar A.2: *State 4*

³ 3	⁸⁺ 1	³⁻ 2	4
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar A.3: *State 11*

10. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 10*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
11. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 11*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.3, tetapi hasilnya tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
12. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-1 dan kolom ke-4 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 7*). Algoritma mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 12*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.4, tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
13. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 13*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
14. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 14*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
15. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 15*), tetapi hasilnya tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
16. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 16*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.

³ 3	⁸⁺ 1	³⁻ 3	
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar A.4: *State 12*

³ 3	⁸⁺ 1	³⁻ 4	4
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			¹

Gambar A.5: *State 17*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻	
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			¹

Gambar A.6: *State 18*

17. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 17*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.5, tetapi angka 4 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
18. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-1 dan kolom ke-3 dan ke-4 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 5*). Algoritma mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 18*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.6. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
19. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 19*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.7. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
20. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-1 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 20*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
21. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 21*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
22. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 22*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
23. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 23*), dan ternyata hasilnya sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, seperti dapat dilihat pada

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	
⁷⁺			
	⁸⁺	⁸⁺	
			¹

Gambar A.7: *State 19*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
7+			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar A.8: *State 23*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
7+ 1			
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar A.9: *State 24*

Gambar A.8. Algoritma telah selesai mengisikan baris ke-1, sehingga bisa maju ke baris berikutnya.

24. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-2 dan kolom ke-1 dengan angka 1 (*state 24*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.9. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
25. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-2 dan kolom ke-2 dengan angka 1 (*state 25*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
26. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 26*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
27. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 27*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
28. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-2 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 28*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
29. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 29*), tetapi hasilnya tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
30. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 30*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
31. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 31*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.10, tetapi hasilnya tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
32. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-2 dan kolom ke-3 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 27*). Algoritma mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 32*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.11. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
33. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-2 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 33*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	3	4	
	8+	8+	
			1

Gambar A.10: *State 31*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4		
	8+	8+	
			1

Gambar A.11: *State 32*

34. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 34*), dan ternyata hasilnya sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar A.12. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
35. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-2 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 35*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
36. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 36*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
37. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 37*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.13. Algoritma telah selesai mengisikan baris ke-2, sehingga bisa maju ke baris berikutnya.
38. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-1 dengan angka 1 (*state 38*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
39. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 39*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
40. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-2 dengan angka 1 (*state 40*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	
	8+	8+	
			1

Gambar A.12: *State 34*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar A.13: *State 37*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 1	⁸⁺ 3	4
			1

Gambar A.14: *State 47*

41. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 41*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
42. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 42*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
43. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 43*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
44. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 44*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
45. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 45*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
46. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 46*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
47. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 47*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.14, tetapi hasilnya tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
48. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-3 dan kolom ke-4 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 43*). Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 48*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.15. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
49. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 49*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
50. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 50*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
51. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 51*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 1	⁸⁺ 4	
			¹

Gambar A.15: *State 48*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 1	⁸⁺ 4	4
			¹

Gambar A.16: *State 52*

52. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 52*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.16, tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
53. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-3 dan kolom ke-4 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 48*). Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 53*) seperti dapat dilihat pada Gambar A.17, tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
54. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 54*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
55. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 55*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
56. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 56*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
57. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 57*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
58. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 58*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.

3	2	1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 2	⁸⁺	
			¹

Gambar A.17: *State 53*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 3	⁸⁺ 4	1
4	1	4	¹

Gambar A.18: *State 68*

59. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 59*). Algoritma telah selesai mengisikan baris ke-2, sehingga bisa maju ke baris berikutnya.
60. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-4 dan kolom ke-1 dengan angka 1 (*state 60*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
61. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 61*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
62. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 62*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
63. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 63*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
64. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-4 dan kolom ke-2 dengan angka 1 (*state 64*). Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
65. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-4 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 65*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
66. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 66*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
67. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 67*), tetapi hasilnya tidak sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut.
68. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 68*), seperti dapat dilihat di Gambar A.18. tetapi angka 4 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
69. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-4 dan kolom ke-3 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 64*). Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 69*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.19, tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
70. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 70*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
71. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 71*), seperti dapat dilihat di Gambar A.20, tetapi angka 4 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
72. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-4 dan kolom ke-1 dan ke-2 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 59*). Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 72*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.21, tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 3	⁸⁺ 4	1
4	2		¹

Gambar A.19: *State 69*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 3	⁸⁺ 4	1
4	4		¹

Gambar A.20: *State 71*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 3	⁸⁺ 4	2
			¹

Gambar A.21: *State 72*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 3	⁸⁺ 4	4
			1

Gambar A.22: *State 74*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
2	⁸⁺ 4	⁸⁺	
			1

Gambar A.23: *State 75*

73. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 73*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
74. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 74*), seperti dapat dilihat di Gambar A.22, tetapi angka 4 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
75. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-3 dan kolom ke-3 dan ke-4 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 54*). Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 75*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.23, tetapi angka 4 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
76. Karena semua kemungkinan angka untuk baris ke-3 dan kolom ke-2 telah dicoba dan gagal, maka algoritma harus mundur kembali ke (*state 54*). Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 76*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.24, tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
77. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 77*), seperti dapat dilihat di Gambar A.25. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
78. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-2 dengan angka 1 (*state 78*), seperti dapat dilihat di Gambar A.26. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
3	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar A.24: *State 76*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺	⁸⁺	
			1

Gambar A.25: *State 77*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺ 1	⁸⁺	
			1

Gambar A.26: *State 78*

79. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 79*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
80. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 80*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
81. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 81*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.27. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
82. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-3 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 82*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris tersebut.
83. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 83*), dan ternyata hasilnya sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar A.28. Algoritma telah selesai mengisikan baris ke-3, sehingga bisa maju ke baris berikutnya.
84. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-4 dan kolom ke-1 dengan angka 1 (*state 84*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
85. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 85*), dan ternyata hasilnya sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar A.29. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺ 1	⁸⁺ 3	
			1

Gambar A.27: *State 81*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺ 1	⁸⁺ 3	2
			1

Gambar A.28: *State 83*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺ 1	⁸⁺ 3	2
2			1

Gambar A.29: *State 85*

86. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-4 dan kolom ke-2 dengan angka 1 (*state 86*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
87. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 87*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
88. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 88*), seperti dapat dilihat pada Gambar A.30. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.
89. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-4 dan kolom ke-3 dengan angka 1 (*state 89*), tetapi angka 1 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
90. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 2 (*state 90*), tetapi angka 2 sudah pernah digunakan dalam baris dan kolom tersebut.
91. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 3 (*state 91*), tetapi angka 3 sudah pernah digunakan dalam kolom tersebut.
92. Algoritma lalu mencoba kemungkinan angka berikutnya, yaitu angka 4 (*state 92*), dan ternyata hasilnya sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar A.31. Algoritma lalu maju ke sel berikutnya.

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺ 1	⁸⁺ 3	2
2	3		1

Gambar A.30: *State 88*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺ 1	⁸⁺ 3	2
2	3	4	¹ 1

Gambar A.31: *State 92*

³ 3	⁸⁺ 2	³⁻ 1	4
⁷⁺ 1	4	2	3
4	⁸⁺ 1	⁸⁺ 3	2
2	3	4	¹ 1

Gambar A.32: *State 93*

93. Algoritma lalu mengisikan sel pada baris ke-4 dan kolom ke-4 dengan angka 1 (*state 93*), dan ternyata hasilnya sesuai dengan angka tujuan dari *cage* tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar A.32. Algoritma *backtracking* telah selesai mengisi semua sel dalam permainan teka-teki Calcudoku ini dengan benar.

LAMPIRAN B

HASIL PENGUJIAN

Lampiran ini berisi hasil pengujian yang telah dilakukan.

B.1 Algoritma *Backtracking*

Berikut adalah hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku.

Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid\ 4 \times 4$ dapat dilihat pada Tabel B.1.

Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid\ 5 \times 5$ dapat dilihat pada Tabel B.2.

Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid\ 6 \times 6$ dapat dilihat pada Tabel B.3.

Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid\ 7 \times 7$ dapat dilihat pada Tabel B.4.

Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid\ 8 \times 8$ dapat dilihat pada Tabel B.5.

Tabel B.1: Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 4×4

Nomor Soal	Waktu
1	0.104 detik
2	0.008 detik
3	0.134 detik
4	0.082 detik
5	0.092 detik
6	0.008 detik
7	0.074 detik
8	0.185 detik
9	0.095 detik
10	0.106 detik
11	0.048 detik
12	0.122 detik
13	0.036 detik
14	0.043 detik
15	0.058 detik
16	0.013 detik
17	0.117 detik
18	0.076 detik
19	0.079 detik
20	0.043 detik
21	0.039 detik
22	0.055 detik
23	0.063 detik
24	0.048 detik
25	0.11 detik
26	0.036 detik
27	0.083 detik
28	0.059 detik
29	0.079 detik
30	0.058 detik
31	0.167 detik
32	0.046 detik
33	0.058 detik
34	0.021 detik
35	0.069 detik
36	0.024 detik
37	0.026 detik
38	0.017 detik
39	0.036 detik

Tabel B.2: Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid 5 \times 5$

Nomor Soal	Waktu
1	0.257 detik
2	1.836 detik
3	0.958 detik
4	0.068 detik
5	0.816 detik
6	0.426 detik
7	1.17 detik
8	0.931 detik
9	1.017 detik
10	0.184 detik
11	0.716 detik
12	0.524 detik
13	0.15 detik
14	0.494 detik
15	0.438 detik
16	3.224 detik
17	0.276 detik
18	0.627 detik
19	1.755 detik
20	0.264 detik
21	0.446 detik
22	0.326 detik
23	0.092 detik
24	0.944 detik
25	0.137 detik
26	0.144 detik

Tabel B.3: Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid\ 6 \times 6$

Nomor Soal	Waktu
1	6.315 detik
2	3.072 detik
3	2.306 detik
4	1.232 detik
5	0.775 detik
6	4.233 detik
7	2.498 detik
8	0.592 detik
9	5.529 detik
10	2.498 detik
11	0.62 detik
12	3.768 detik
13	22.784 detik
14	19.724 detik
15	0.866 detik
16	5.21 detik
17	2.327 detik
18	2.958 detik
19	5.97 detik
20	6.457 detik
21	4.011 detik
22	3.128 detik
23	243.767 detik
24	0.988 detik
25	0.172 detik
26	3.628 detik
27	8.873 detik
28	5.596 detik
29	1.1 detik
30	4.112 detik
31	1.328 detik
32	2.172 detik
33	5.381 detik
34	1.018 detik
35	72.546 detik
36	14.35 detik
37	14.662 detik
38	2.638 detik
39	50.561 detik

Tabel B.4: Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid\ 7 \times 7$

Nomor Soal	Waktu
1	5924.967 detik
2	24.596 detik
3	40.597 detik
4	26.073 detik
5	75.227 detik
6	29.977 detik
7	338.317 detik
8	43.976 detik
9	109.051 detik
10	48.554 detik
11	43.503 detik
12	8.538 detik
13	1990.996 detik
14	64.485 detik
15	270.934 detik

Tabel B.5: Hasil pengujian algoritma *backtracking* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid\ 8 \times 8$

Nomor Soal	Waktu
1	1417.117 detik
2	4249.97 detik
3	2699.821 detik
4	180.779 detik
5	563.79 detik
6	6068.212 detik
7	1923.112 detik
8	727.159 detik
9	2817.854 detik
10	65.25 detik
11	4800.963 detik
12	1691.002 detik
13	545.492 detik

B.2 Algoritma *Hybrid Genetic*

Berikut adalah hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku.

Pada semua skenario, algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan dengan ukuran *grid* 6×6 ke atas.

Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 4×4 untuk Skenario 1 sampai dengan Skenario 4 dapat dilihat pada Tabel [B.6](#).

Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 4×4 untuk Skenario 5 sampai dengan Skenario 8 dapat dilihat pada Tabel [B.7](#).

Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 4×4 untuk Skenario 9 sampai dengan Skenario 12 dapat dilihat pada Tabel [B.8](#).

Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 4×4 untuk Skenario 13 sampai dengan Skenario 16 dapat dilihat pada Tabel [B.9](#).

Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 5×5 untuk Skenario 1 sampai dengan Skenario 4 dapat dilihat pada Tabel [B.10](#).

Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 5×5 untuk Skenario 5 sampai dengan Skenario 8 dapat dilihat pada Tabel [B.11](#).

Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 5×5 untuk Skenario 9 sampai dengan Skenario 12 dapat dilihat pada Tabel [B.12](#).

Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 5×5 untuk Skenario 13 sampai dengan Skenario 16 dapat dilihat pada Tabel [B.13](#).

Tabel B.6: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 4×4 (Skenario 1-4)

Nomor Soal	Waktu Skenario 1	Waktu Skenario 2	Waktu Skenario 3	Waktu Skenario 4
1	9.801 detik	11.025 detik	10.413 detik	11.637 detik
2	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
3	9.801 detik	11.025 detik	10.413 detik	11.637 detik
4	4.905 detik	5.517 detik	5.211 detik	5.823 detik
5	0.62 detik	0.62 detik	0.62 detik	0.62 detik
6	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
7	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
8	9.801 detik	11.025 detik	10.413 detik	11.637 detik
9	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
10	4.905 detik	5.517 detik	5.211 detik	5.823 detik
11	4.905 detik	5.517 detik	5.211 detik	5.823 detik
12	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
13	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik
14	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
15	9.801 detik	11.025 detik	10.413 detik	11.637 detik
16	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik
17	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik
18	0.62 detik	0.62 detik	0.62 detik	0.62 detik
19	4.905 detik	5.517 detik	5.211 detik	5.823 detik
20	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
21	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
22	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
23	9.801 detik	11.025 detik	10.413 detik	11.637 detik
24	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
25	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik
26	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
27	4.905 detik	5.517 detik	5.211 detik	5.823 detik
28	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
29	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
30	4.905 detik	5.517 detik	5.211 detik	5.823 detik
31	9.801 detik	11.025 detik	10.413 detik	11.637 detik
32	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik
33	9.801 detik	11.025 detik	10.413 detik	11.637 detik
34	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
35	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
36	4.905 detik	5.517 detik	5.211 detik	5.823 detik
37	2.457 detik	2.763 detik	2.457 detik	2.763 detik
38	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
39	4.905 detik	5.517 detik	5.211 detik	5.823 detik

Tabel B.7: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 4×4
(Skenario 5-8)

Nomor Soal	Waktu Skenario 5	Waktu Skenario 6	Waktu Skenario 7	Waktu Skenario 8
1	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
2	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
3	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
4	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	0.229 detik	0.256 detik	0.229 detik	0.256 detik
6	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
7	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
8	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
9	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik
10	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
11	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
12	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
13	0.339 detik	0.394 detik	0.366 detik	0.421 detik
14	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik
15	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
16	0.339 detik	0.394 detik	0.366 detik	0.421 detik
17	0.339 detik	0.394 detik	0.366 detik	0.421 detik
18	0.229 detik	0.256 detik	0.229 detik	0.256 detik
19	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
20	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
21	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
22	0.063 detik	0.063 detik	0.063 detik	0.063 detik
23	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
24	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
25	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik
26	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
27	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
28	0.063 detik	0.063 detik	0.063 detik	0.063 detik
29	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
30	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
31	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
32	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik
33	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
34	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik
35	0.118 detik	0.118 detik	0.118 detik	0.118 detik
36	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
37	0.999 detik	1.109 detik	1.054 detik	1.164 detik
38	0.118 detik	0.118 detik	0.118 detik	0.118 detik
39	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal

Tabel B.8: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid 4 \times 4$ (Skenario 9-12)

Nomor Soal	Waktu Skenario 9	Waktu Skenario 10	Waktu Skenario 11	Waktu Skenario 12
1	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
2	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
3	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
4	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	0.62 detik	0.62 detik	0.62 detik	0.62 detik
6	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
7	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
8	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
9	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
10	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
11	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
12	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
13	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik
14	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
15	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
16	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik
17	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik	1.232 detik
18	0.62 detik	0.62 detik	0.62 detik	0.62 detik
19	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
20	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
21	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
22	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
23	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
24	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
25	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik
26	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
27	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
28	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
29	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
30	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
31	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
32	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik
33	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
34	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
35	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
36	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
37	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
38	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik	0.314 detik
39	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal

Tabel B.9: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 4×4
(Skenario 5-8)

Nomor Soal	Waktu Skenario 13	Waktu Skenario 14	Waktu Skenario 15	Waktu Skenario 16
1	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
2	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
3	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
4	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
6	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
7	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
8	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
9	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik
10	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
11	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
12	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
13	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
14	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik
15	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
16	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
17	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
18	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
19	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
20	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
21	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
22	0.063 detik	0.063 detik	0.063 detik	0.063 detik
23	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
24	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
25	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik
26	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
27	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
28	0.063 detik	0.063 detik	0.063 detik	0.063 detik
29	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
30	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
31	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
32	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik	0.008 detik
33	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
34	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik	0.036 detik
35	0.118 detik	0.118 detik	0.118 detik	0.118 detik
36	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
37	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
38	0.118 detik	0.118 detik	0.118 detik	0.118 detik
39	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal

Tabel B.10: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran *grid* 5×5
(Skenario 1-4)

Nomor Soal	Waktu Skenario 1	Waktu Skenario 2	Waktu Skenario 3	Waktu Skenario 4
1	18.369 detik	19.899 detik	19.134 detik	20.664 detik
2	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
3	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik
4	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
6	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
7	12.249 detik	13.779 detik	13.014 detik	14.544 detik
8	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
9	12.249 detik	13.779 detik	13.014 detik	14.544 detik
10	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
11	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
12	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
13	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik
14	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
15	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
16	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
17	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
18	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik
19	18.369 detik	19.899 detik	19.134 detik	20.664 detik
20	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
21	4.599 detik	4.981 detik	4.599 detik	4.981 detik
22	0.773 detik	0.773 detik	0.773 detik	0.773 detik
23	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
24	12.249 detik	13.779 detik	13.014 detik	14.544 detik
25	12.249 detik	13.779 detik	13.014 detik	14.544 detik
26	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal

Tabel B.11: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid 5 \times 5$ (Skenario 5-8)

Nomor Soal	Waktu Skenario 5	Waktu Skenario 6	Waktu Skenario 7	Waktu Skenario 8
1	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
2	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
3	0.043 detik	0.043 detik	0.043 detik	0.043 detik
4	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
6	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
7	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
8	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
9	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
10	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
11	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
12	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
13	0.077 detik	0.077 detik	0.077 detik	0.077 detik
14	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
15	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
16	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
17	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
18	0.043 detik	0.043 detik	0.043 detik	0.043 detik
19	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
20	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
21	1.247 detik	1.384 detik	1.315 detik	1.453 detik
22	0.146 detik	0.146 detik	0.146 detik	0.146 detik
23	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
24	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
25	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
26	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal

Tabel B.12: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid 5 \times 5$
(Skenario 9-12)

Nomor Soal	Waktu Skenario 9	Waktu Skenario 10	Waktu Skenario 11	Waktu Skenario 12
1	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
2	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
3	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik
4	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
6	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
7	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
8	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
9	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
10	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
11	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
12	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
13	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik
14	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
15	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
16	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
17	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
18	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik	0.391 detik
19	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
20	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
21	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
22	0.773 detik	0.773 detik	0.773 detik	0.773 detik
23	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
24	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
25	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
26	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal

Tabel B.13: Hasil pengujian algoritma *hybrid genetic* untuk Calcudoku dengan ukuran $grid 5 \times 5$ (Skenario 13-16)

Nomor Soal	Waktu Skenario 13	Waktu Skenario 14	Waktu Skenario 15	Waktu Skenario 16
1	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
2	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
3	0.043 detik	0.043 detik	0.043 detik	0.043 detik
4	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
5	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
6	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
7	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
8	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
9	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
10	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
11	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
12	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
13	0.077 detik	0.077 detik	0.077 detik	0.077 detik
14	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
15	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
16	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
17	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
18	0.043 detik	0.043 detik	0.043 detik	0.043 detik
19	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
20	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
21	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
22	0.146 detik	0.146 detik	0.146 detik	0.146 detik
23	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
24	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
25	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal
26	Gagal	Gagal	Gagal	Gagal

LAMPIRAN C

FILE TEKS SOAL-SOAL PERMAINAN CALCUDOKU UNTUK PENGUJIAN

Lampiran ini berisi *file* teks dari soal-soal permainan Calcudoku yang dipakai dalam pengujian ini. Soal-soal ini diambil dari sumber-sumber berikut:

1. <https://iota.math.msu.edu/k12-outreach/kenken-puzzles/>
2. <http://thinkmath.edc.org/resource/kenken-puzzles>

C.1 *File* Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan *Grid* Ber-ukuran 4×4

Listing C.1: 4x4_1.txt

```
1| 4 7  
2| 1 2 2 3  
3| 1 4 5 3  
4| 6 4 5 5  
5| 6 7 7 7  
6| 1-  
7| 1-  
8| 3-  
9| 2/  
10| 24*  
11| 3-  
12| 6+
```

Listing C.2: 4x4_2.txt

```
1| 4 8  
2| 1 2 2 3  
3| 4 4 5 3  
4| 6 4 5 5  
5| 6 7 7 8  
6| 4=  
7| 2/  
8| 1-  
9| 6+  
10| 12*  
11| 1-  
12| 5+  
13| 2=
```

Listing C.3: 4x4_3.txt

```
1| 4 6  
2| 1 1 2 2  
3| 1 3 3 3  
4| 1 4 4 5  
5| 6 6 5 5  
6| 24*  
7| 3-  
8| 9+  
9| 2-  
10| 6+  
11| 2/
```

Listing C.4: 4x4_4.txt

1	4	7		
2	1	1	2	3
3	4	4	2	3
4	5	5	6	3
5	7	6	6	3
6	1-			
7	2-			
8	10+			
9	2/			
10	6*			
11	7+			
12	4=			

Listing C.5: 4x4_5.txt

1	4	7		
2	1	2	3	3
3	1	2	4	4
4	5	5	4	6
5	5	7	7	6
6	6*			
7	3-			
8	2/			
9	48*			
10	7+			
11	1-			
12	4+			

Listing C.6: 4x4_6.txt

1	4	8		
2	1	2	2	2
3	1	3	4	5
4	6	3	4	7
5	6	8	7	7
6	2/			
7	24*			
8	2-			
9	2/			
10	3=			
11	1-			
12	4+			
13	4=			

Listing C.7: 4x4_7.txt

1	4	7		
2	1	1	2	2
3	1	3	3	4
4	5	6	6	7
5	5	5	7	7
6	8+			
7	2-			
8	3-			
9	3=			
10	9*			
11	2/			
12	10+			

Listing C.8: 4x4_8.txt

1	4	7		
2	1	1	2	2
3	1	3	4	5
4	6	3	4	5
5	6	7	7	7
6	8*			
7	1-			
8	7+			
9	2/			
10	2-			
11	2-			
12	8*			

Listing C.9: 4x4_9.txt

1	4	8		
2	1	2	2	3
3	1	4	4	3
4	1	5	6	7
5	8	5	7	7
6	24*			
7	1-			
8	3-			
9	7+			
10	2/			
11	1=			
12	18*			
13	1=			

Listing C.10: 4x4_10.txt

```

1| 4 7
2 1 2 2 3
3 1 4 3 3
4 5 4 6 6
5 5 5 7 6
6 2/
7 1-
8 4*
9 2-
10 8+
11 9+
12 | 2=

```

Listing C.11: 4x4_11.txt

```

1| 4 7
2 1 1 2 2
3 3 4 2 5
4 3 4 6 5
5 7 7 7 7
6 2-
7 24*
8 1-
9 2/
10 5+
11 2=
12 | 10+

```

Listing C.12: 4x4_12.txt

```

1| 4 8
2 1 1 2 2
3 3 3 4 4
4 5 4 4 6
5 5 7 8 8
6 2/
7 4+
8 1-
9 12*
10 1-
11 4=
12 1=
13 | 1-

```

Listing C.13: 4x4_13.txt

```

1| 4 8
2 1 1 2 2
3 3 3 4 5
4 6 6 4 7
5 8 6 4 7
6 2-
7 2-
8 3+
9 9+
10 4=
11 9*
12 2/
13 4=

```

Listing C.14: 4x4_14.txt

```

1| 4 7
2 1 2 2 3
3 1 1 4 3
4 5 5 4 6
5 7 7 6 6
6 24*
7 2/
8 2-
9 3+
10 4+
11 9+
12 3-

```

Listing C.15: 4x4_15.txt

```

1| 4 7
2 1 2 2 3
3 1 4 5 3
4 1 4 5 6
5 7 7 7 6
6 6+
7 3-
8 2/
9 2/
10 2-
11 2-
12 | 24*

```

Listing C.16: 4x4_16.txt

1	4	8		
2	1	2	2	3
3	1	1	4	4
4	5	5	6	6
5	7	7	8	8
6	12*			
7	4+			
8	4=			
9	5+			
10	3-			
11	5+			
12	7+			
13	2/			

Listing C.17: 4x4_17.txt

1	4	7		
2	1	1	2	3
3	4	4	2	3
4	5	6	7	3
5	5	6	7	7
6	7+			
7	5+			
8	6*			
9	1-			
10	2/			
11	3-			
12	9+			

Listing C.18: 4x4_18.txt

1	4	8		
2	1	1	2	3
3	1	4	5	3
4	6	4	5	7
5	6	8	8	7
6	8*			
7	3=			
8	2-			
9	3-			
10	2/			
11	5+			
12	2-			
13	4+			

Listing C.19: 4x4_19.txt

1	4	7		
2	1	1	1	2
3	3	3	4	2
4	5	6	6	2
5	5	5	7	7
6	6+			
7	12*			
8	1-			
9	2=			
10	4*			
11	2/			
12	1-			

Listing C.20: 4x4_20.txt

1	4	8		
2	1	2	2	3
3	4	4	5	3
4	6	6	5	7
5	6	8	8	7
6	2=			
7	12*			
8	2-			
9	3-			
10	2/			
11	7+			
12	2/			
13	3+			

Listing C.21: 4x4_21.txt

1	4	8		
2	1	2	3	3
3	1	2	4	5
4	1	6	5	5
5	7	7	8	8
6	8+			
7	2/			
8	1-			
9	3=			
10	8*			
11	1=			
12	1-			
13	3-			

Listing C.22: 4x4_22.txt

1	4	8	
2	1	2	3 3
3	1	2	4 4
4	5	5	6 6
5	7	7	8 6
6	6*		
7	7+		
8	2/		
9	3-		
10	5+		
11	9+		
12	2/		
13	3=		

Listing C.23: 4x4_23.txt

1	4	7	
2	1	1	2 2
3	3	3	4 5
4	6	6	4 5
5	6	7	7 7
6	7+		
7	2/		
8	2-		
9	2/		
10	7+		
11	4*		
12	12*		

Listing C.24: 4x4_24.txt

1	4	8	
2	1	1	2 2
3	1	3	4 5
4	6	3	7 5
5	6	8	7 5
6	6*		
7	1-		
8	1-		
9	1=		
10	6+		
11	5+		
12	2/		
13	2=		

Listing C.25: 4x4_25.txt

1	4	8	
2	1	2	2 2
3	1	3	4 5
4	6	3	4 5
5	6	7	8 8
6	3-		
7	24*		
8	4+		
9	2/		
10	7+		
11	1-		
12	2=		
13	5+		

Listing C.26: 4x4_26.txt

1	4	7	
2	1	1	2 2
3	3	1	4 4
4	3	5	4 4
5	6	6	6 7
6	6*		
7	2/		
8	1-		
9	9+		
10	4=		
11	8*		
12	3=		

Listing C.27: 4x4_27.txt

1	4	8	
2	1	2	3 3
3	1	2	2 4
4	5	5	6 7
5	8	8	6 7
6	5+		
7	12*		
8	2-		
9	4=		
10	2/		
11	3-		
12	1-		
13	2-		

Listing C.28: 4x4_28.txt

1	4	9	
2	1	2	3
3	1	2	5
4	6	7	5
5	6	7	9
6	7+		
7	1-		
8	1=		
9	2/		
10	2/		
11	2/		
12	5+		
13	3=		
14	12*		

Listing C.29: 4x4_29.txt

1	4	7	
2	1	1	2
3	4	5	2
4	4	4	6
5	7	4	6
6	1-		
7	2/		
8	6+		
9	11+		
10	1=		
11	12*		
12	3=		

Listing C.30: 4x4_30.txt

1	4	8	
2	1	2	2
3	1	4	4
4	6	6	5
5	7	7	8
6	2-		
7	1-		
8	1=		
9	4+		
10	48*		
11	3+		
12	1-		
13	2/		

Listing C.31: 4x4_31.txt

1	4	7	
2	1	1	1
3	3	4	4
4	3	5	5
5	7	7	6
6	12*		
7	2/		
8	1-		
9	2/		
10	3-		
11	10+		
12	1-		

Listing C.32: 4x4_32.txt

1	4	8	
2	1	2	2
3	1	4	4
4	5	6	7
5	5	8	6
6	3-		
7	2/		
8	7+		
9	6*		
10	1-		
11	9+		
12	1-		
13	3=		

Listing C.33: 4x4_33.txt

1	4	7	
2	1	1	2
3	3	4	4
4	3	6	6
5	3	6	7
6	2/		
7	1-		
8	24*		
9	2/		
10	3-		
11	7+		
12	2/		

Listing C.34: 4x4_34.txt

```

1| 4 8
2| 1 1 2 3
3| 4 4 2 3
4| 5 6 6 7
5| 5 5 8 8
6| 3+
7| 3-
8| 1-
9| 1-
10| 48*
11| 2-
12| 2=
13| 2/

```

Listing C.35: 4x4_35.txt

```

1| 4 9
2| 1 2 3 3
3| 1 4 5 5
4| 1 4 6 7
5| 8 9 9 7
6| 12*
7| 1=
8| 1-
9| 1-
10| 2/
11| 1=
12| 5+
13| 2=
14| 7+

```

Listing C.36: 4x4_36.txt

```

1| 4 7
2| 1 2 2 3
3| 1 1 3 3
4| 4 5 3 6
5| 4 5 7 7
6| 2*
7| 7+
8| 10+
9| 1-
10| 5+
11| 4=
12| 2/

```

Listing C.37: 4x4_37.txt

```

1| 4 8
2| 1 1 2 3
3| 4 2 2 3
4| 5 5 6 3
5| 7 7 6 8
6| 2/
7| 6*
8| 9+
9| 1=
10| 2-
11| 2/
12| 1-
13| 1=

```

Listing C.38: 4x4_38.txt

```

1| 4 8
2| 1 2 3 3
3| 1 2 4 5
4| 6 6 4 5
5| 7 7 8 5
6| 2-
7| 1-
8| 2/
9| 3-
10| 6*
11| 3+
12| 2/
13| 3=

```

Listing C.39: 4x4_39.txt

```

1| 4 7
2| 1 1 1 2
3| 3 3 4 2
4| 5 3 6 6
5| 5 7 7 7
6| 6*
7| 2/
8| 9+

```

9		1=
10		2/
11		2-
12		8+

C.2 File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan *Grid* Berukuran 5×5

Listing C.40: 5x5_1.txt

```

1| 5 12
2| 1 1 2 2 3
3| 4 4 5 2 3
4| 4 6 6 7 8
5| 4 9 9 7 10
6| 11 12 12 10 10
7| 4-
8| 10+
9| 2/
10| 120*
11| 5=
12| 2-
13| 3+
14| 5=
15| 3-
16| 12+
17| 2=
18| 2-

```

Listing C.41: 5x5_2.txt

```

1| 5 10
2| 1 1 1 2 2
3| 3 3 4 2 5
4| 6 6 4 2 5
5| 7 8 4 9 9
6| 7 8 8 10 10
7| 6+
8| 40*
9| 3-
10| 60*
11| 1-
12| 2-
13| 2/
14| 10*
15| 4-
16| 1-

```

Listing C.42: 5x5_3.txt

```

1| 5 12
2| 1 1 1 2 3
3| 4 5 5 5 3
4| 6 6 7 7 8
5| 6 9 9 10 11
6| 6 12 12 10 11
7| 30*
8| 1=
9| 9+
10| 4=
11| 6+
12| 24*
13| 2-
14| 2=
15| 4-
16| 20*
17| 2-
18| 2/

```

Listing C.43: 5x5_4.txt

```

1| 5 13
2| 1 1 2 2 3
3| 4 4 5 6 3
4| 7 7 5 6 8
5| 9 10 11 11 8
6| 9 10 12 12 13
7| 12*
8| 2/
9| 1-
10| 4-
11| 2/
12| 2-
13| 2-
14| 2/
15| 2/
16| 7+
17| 1-
18| 4-
19| 3=

```

Listing C.44: 5x5_5.txt

```

1| 5 12
2| 1 2 2 3 3
3| 1 2 4 4 5
4| 6 7 7 8 9
5| 6 10 11 8 9
6| 10 10 11 12 12
7| 2/
8| 60*
9| 3-
10| 3-
11| 3=
12| 1-
13| 3+
14| 1-
15| 4-
16| 15*
17| 2/
18| 1-

```

Listing C.45: 5x5_6.txt

```

1| 5 11
2| 1 1 2 2 3
3| 4 4 5 6 3
4| 7 8 5 6 6
5| 7 8 9 9 10
6| 11 9 9 10 10
7| 2-
8| 1-
9| 7+
10| 3-
11| 4-
12| 40*
13| 2/
14| 2-
15| 120*
16| 6*
17| 5=

```

Listing C.46: 5x5_7.txt

```

1| 5 10
2| 1 1 2 2 3
3| 4 5 5 3 3
4| 4 5 6 6 6
5| 7 7 6 8 8
6| 9 9 10 10 8
7| 2/
8| 2-
9| 5*
10| 9+
11| 8+
12| 11+
13| 4-
14| 24*
15| 4+
16| 3-

```

Listing C.47: 5x5_8.txt

```

1| 5 11
2| 1 1 2 3 4
3| 5 6 7 3 4
4| 5 6 7 8 8
5| 5 9 9 8 10
6| 5 11 11 11 10
7| 2/
8| 5=
9| 2-
10| 3-
11| 30*
12| 4-
13| 7+
14| 40*
15| 2-
16| 5+
17| 11+

```

Listing C.48: 5x5_9.txt

```

1| 5 12
2| 1 2 3 3 4
3| 1 2 2 3 4
4| 5 5 6 7 8
5| 9 10 10 7 8
6| 9 11 11 12 12
7| 4-
8| 12+
9| 6*
10| 2-
11| 2-
12| 2=

```

```

13| 1-
14| 4-
15| 2/
16| 3-
17| 3+
18| 2-

```

Listing C.49: 5x5_10.txt

```

1| 5 11
2| 1 1 2 2 3
3| 1 4 4 4 3
4| 5 5 6 7 3
5| 8 9 6 7 10
6| 8 9 11 11 10
7| 100*
8| 3+
9| 30*
10| 12*
11| 1-
12| 3-
13| 2-
14| 2/
15| 1-
16| 3-
17| 9+

```

Listing C.50: 5x5_11.txt

```

1| 5 10
2| 1 1 2 3 4
3| 5 1 2 3 4
4| 5 6 7 7 7
5| 5 6 6 8 9
6| 10 10 8 8 9
7| 45*
8| 4-
9| 2/
10| 3+
11| 20*
12| 9+
13| 30*
14| 8+
15| 1-
16| 3+

```

Listing C.51: 5x5_12.txt

```

1| 5 12
2| 1 1 2 2 3
3| 4 4 5 5 3
4| 6 7 7 8 8
5| 6 9 7 10 11
6| 9 9 12 12 11
7| 6+
8| 1-
9| 2/
10| 3-
11| 2-
12| 2/
13| 12*
14| 4-
15| 10+
16| 5=
17| 4+
18| 2/

```

Listing C.52: 5x5_13.txt

```

1| 5 14
2| 1 2 2 3 4
3| 1 5 6 6 4
4| 7 7 8 8 9
5| 10 10 11 11 9
6| 12 12 13 14 14
7| 2-
8| 1-
9| 4=
10| 6+
11| 2=
12| 3-
13| 1-
14| 4+
15| 2/
16| 3+
17| 15*
18| 3-
19| 5=
20| 1-

```

Listing C.53: 5x5_14.txt

```

1| 5 12
2| 1 1 2 2 3
3| 1 4 5 6 3
4| 7 4 5 6 6
5| 7 8 9 9 9
6| 10 10 11 12 12
7| 15*
8| 2/
9| 1-
10| 2/
11| 2/
12| 45*
13| 3+
14| 5=
15| 8+
16| 7+
17| 5=
18| 1-

```

Listing C.54: 5x5_15.txt

```

1| 5 11
2| 1 2 3 3 4
3| 1 2 5 5 4
4| 6 7 7 5 4
5| 6 8 9 9 10
6| 8 8 11 11 10
7| 4-
8| 3-
9| 2/
10| 30*
11| 9+
12| 1-
13| 6*
14| 20*
15| 4-
16| 5+
17| 1-

```

Listing C.55: 5x5_16.txt

```

1| 5 10
2| 1 1 2 2 3
3| 4 4 2 5 3
4| 6 4 4 5 3
5| 6 7 8 8 9
6| 7 7 10 9 9
7| 1-
8| 24*
9| 6+
10| 75*
11| 5+
12| 2/
13| 24*
14| 3-
15| 60*
16| 1=

```

Listing C.56: 5x5_17.txt

```

1| 5 11
2| 1 1 2 3 4
3| 5 6 2 3 4
4| 5 6 2 7 8
5| 9 6 10 7 8
6| 9 9 10 11 11
7| 5+
8| 60*
9| 6*
10| 6+
11| 2/
12| 6+
13| 4-
14| 1-
15| 75*
16| 2/
17| 2/

```

Listing C.57: 5x5_18.txt

```

1| 5 13
2| 1 1 2 2 3
3| 4 4 5 5 3
4| 6 4 7 8 9
5| 10 11 7 8 9
6| 10 12 12 13 13
7| 1-
8| 2/
9| 6*
10| 8+

```

```

11| 12*
12| 1=
13| 4-
14| 1-
15| 1-
16| 1-
17| 4=
18| 1-
19| 4-

```

Listing C.58: 5x5_19.txt

```

1| 5 10
2| 1 1 2 3 3
3| 4 5 2 2 6
4| 4 7 7 2 6
5| 4 7 8 9 9
6| 10 10 10 9 9
7| 2/
8| 15*
9| 2-
10| 12+
11| 2=
12| 3+
13| 12*
14| 2=
15| 15+
16| 15*

```

Listing C.59: 5x5_20.txt

```

1| 5 12
2| 1 1 2 2 3
3| 4 5 5 6 3
4| 4 7 7 6 8
5| 4 9 8 8 8
6| 10 10 11 11 12
7| 3-
8| 5+
9| 1-
10| 12+
11| 15*
12| 2-
13| 2/
14| 40*
15| 1=
16| 5+
17| 1-
18| 5=

```

Listing C.60: 5x5_21.txt

```

1| 5 13
2| 1 2 2 3 4
3| 5 5 6 3 4
4| 5 7 6 8 9
5| 10 7 11 8 9
6| 10 12 12 13 9
7| 4=
8| 4-
9| 1-
10| 2/
11| 12*
12| 2-
13| 3-
14| 3+
15| 12+
16| 4-
17| 4=
18| 1-
19| 5=

```

Listing C.61: 5x5_22.txt

```

1| 5 13
2| 1 2 3 4 4
3| 1 5 3 6 6
4| 7 5 3 8 8
5| 9 10 10 11 12
6| 9 13 13 11 12
7| 20*
8| 3=
9| 8*
10| 2/
11| 10*
12| 4+
13| 3=
14| 1-
15| 1-
16| 9+
17| 10*
18| 1-
19| 2-

```

Listing C.62: 5x5_23.txt

```

1| 5 11
2| 1 2 3 3 4
3| 1 2 2 5 5
4| 1 2 6 6 7
5| 8 8 9 9 7
6| 10 10 10 11 11
7| 15*
8| 96*
9| 7+
10| 3=
11| 4-
12| 2/
13| 2/
14| 3-
15| 2-
16| 10+
17| 5+

```

Listing C.63: 5x5_24.txt

```

1| 5 13
2| 1 1 2 2 3
3| 4 5 5 2 3
4| 4 6 6 7 8
5| 9 10 10 7 8
6| 11 11 12 12 13
7| 2-
8| 24*
9| 5+
10| 4-
11| 2/
12| 2-
13| 9+
14| 1-
15| 2=
16| 3-
17| 2/
18| 4+
19| 5=

```

Listing C.64: 5x5_25.txt

```

1| 5 11
2| 1 1 1 2 3
3| 4 5 5 3 3
4| 4 4 6 7 7
5| 8 8 6 9 7
6| 8 10 10 9 11
7| 8*
8| 5=
9| 11+
10| 40*
11| 3+
12| 2-
13| 8*
14| 9+
15| 2/
16| 12*
17| 1=

```

Listing C.65: 5x5_26.txt

```

1| 5 10
2| 1 2 2 2 3
3| 1 4 4 3 3
4| 5 5 6 7 3
5| 8 9 6 6 10
6| 8 9 6 10 10
7| 2/
8| 20*
9| 9+
10| 7+
11| 2-
12| 6*
13| 4=
14| 4-
15| 7+
16| 11+

```

C.3 File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan *Grid* Berukuran 6×6

Listing C.66: 6x6_1.txt

```

1| 6 15
2| 1 1 2 3 4 4
3| 1 5 2 3 6 4
4| 5 5 7 7 6 8
5| 9 9 10 10 6 11
6| 12 12 13 10 11 11
7| 12 13 13 14 15 15
8| 30*
9| 3+
10| 11+
11| 16*
12| 13+
13| 36*
14| 1-
15| 3=
16| 2/
17| 9*
18| 50*
19| 8+
20| 15+
21| 2=
22| 5-

```

Listing C.67: 6x6_2.txt

```

1| 6 19
2| 1 1 2 3 4 4
3| 5 6 6 3 7 4
4| 5 8 9 9 10 11
5| 12 12 13 14 10 11
6| 15 15 13 14 14 16
7| 17 18 18 19 19 16
8| 2/
9| 5=
10| 2-
11| 6*
12| 8+
13| 3/
14| 4=
15| 4=
16| 3/
17| 3/
18| 3-
19| 2/
20| 5-
21| 24*
22| 4-
23| 12*
24| 2=
25| 5+
26| 11+

```

Listing C.68: 6x6_3.txt

```

1| 6 19
2| 1 1 2 3 4 5
3| 6 6 2 3 4 7
4| 8 9 10 10 10 7
5| 8 11 11 12 12 13
6| 14 15 16 17 17 13
7| 15 15 16 18 19 19
8| 2/
9| 2-
10| 1-
11| 1-
12| 5=
13| 2/
14| 3+
15| 5-
16| 4=
17| 15*
18| 3-
19| 2/
20| 1-
21| 4=
22| 75*
23| 5-
24| 2/
25| 4=
26| 3/

```

Listing C.69: 6x6_4.txt

```
1| 6 18
```

```

2| 1 2 3 3 4 5
3| 1 6 7 3 4 5
4| 8 6 7 9 10 11
5| 8 12 12 9 11 11
6| 13 14 14 15 15 15
7| 16 16 14 17 17 18
8| 11+
9| 6=
10| 4*
11| 12*
12| 8+
13| 1-
14| 3-
15| 1-
16| 11+
17| 2=
18| 4*
19| 2/
20| 4=
21| 9+
22| 36*
23| 2/
24| 1-
25| 6=

```

Listing C.70: 6x6_5.txt

```

1| 6 18
2| 1 2 2 3 3 3
3| 4 2 5 6 7 3
4| 4 8 9 6 7 10
5| 11 8 9 12 13 10
6| 11 14 15 12 13 13
7| 16 16 15 17 17 18
8| 5=
9| 4*
10| 216*
11| 3+
12| 4=
13| 6+
14| 2-
15| 1-
16| 15*
17| 3/
18| 2/
19| 7+
20| 8+
21| 6=
22| 5-
23| 1-
24| 7+
25| 1=

```

Listing C.71: 6x6_6.txt

```

1| 6 18
2| 1 1 2 2 3 4
3| 5 1 6 2 7 4
4| 5 8 6 9 7 10
5| 11 8 12 12 13 10
6| 14 14 14 12 13 15
7| 16 16 17 18 18 15
8| 24*
9| 2*
10| 5=
11| 11+
12| 3/
13| 7+
14| 2-
15| 5-
16| 5=
17| 2/
18| 6=
19| 12+
20| 1-
21| 13+
22| 3/
23| 20*
24| 2=
25| 5-

```

Listing C.72: 6x6_7.txt

```

1| 6 19
2| 1 2 2 2 3 3
3| 4 5 5 6 7 3
4| 4 8 9 9 7 10
5| 11 11 12 13 14 10
6| 15 15 12 13 14 16
7| 17 17 18 19 19 16
8| 1=
9| 72*
10| 11+
11| 20*

```

```

12| 1-
13 1=
14 2/
15 6=
16 7+
17 3/
18 7+
19 6+
20 2/
21 9+
22 6*
23 3/
24 2-
25 4=
26 5-

```

Listing C.73: 6x6_8.txt

```

1| 6 16
2 1 1 2 3 4 5
3 6 6 2 3 4 5
4 7 8 3 9 9
5 7 7 8 10 10 9
6 11 12 13 14 14 15
7 11 12 13 16 16 15
8 3/
9 9+
10 15+
11 7+
12 2/
13 1-
14 12+
15 3*
16 16+
17 1-
18 1-
19 30*
20 3/
21 1-
22 2-
23 2/

```

Listing C.74: 6x6_9.txt

```

1| 6 16
2 1 1 2 2 3 3
3 1 1 4 5 6 7
4 8 9 4 5 6 10
5 8 9 9 11 12 10
6 13 14 14 11 12 10
7 13 13 15 15 16 16
8 14+
9 1-
10 2-
11 2-
12 1-
13 3/
14 1=
15 2/
16 4*
17 40*
18 3/
19 11+
20 80*
21 2-
22 5-
23 1-

```

Listing C.75: 6x6_10.txt

```

1| 6 17
2 1 1 2 2 3 3
3 1 1 4 5 6 3
4 7 4 4 8 6 6
5 9 9 10 8 11 11
6 12 13 10 14 15 16
7 12 13 17 14 15 16
8 14+
9 30*
10 3*
11 60*
12 6=
13 12+
14 2=
15 2/
16 30*
17 3+
18 1-
19 5-
20 5+
21 1-
22 1-
23 3-
24 3=

```

Listing C.76: 6x6_11.txt

```

1| 6 15
2| 1 1 1 2 3 3
3| 4 5 5 6 7 3
4| 4 4 6 6 7 7
5| 4 8 8 9 9 10
6| 11 12 13 9 9 10
7| 12 12 13 14 14 15
8| 8+
9| 3=
10| 48*
11| 13+
12| 3/
13| 36*
14| 12+
15| 5+
16| 60*
17| 1-
18| 5=
19| 17+
20| 6*
21| 7+
22| 1=

```

Listing C.77: 6x6_12.txt

```

1| 6 15
2| 1 2 3 3 3 4
3| 1 2 5 6 6 4
4| 1 7 5 5 8 8
5| 9 7 10 11 11 11
6| 9 12 10 13 14 15
7| 12 12 12 13 14 15
8| 9+
9| 2/
10| 36*
11| 1-
12| 12+
13| 3-
14| 11+
15| 6+
16| 5-
17| 3/
18| 24*
19| 18+
20| 6+
21| 3/
22| 2/

```

Listing C.78: 6x6_13.txt

```

1| 6 15
2| 1 1 2 2 3 3
3| 1 4 4 4 5 5
4| 6 6 6 7 8 8
5| 9 6 10 7 11 8
6| 9 12 13 14 11 15
7| 9 12 13 11 11 15
8| 24*
9| 2-
10| 1-
11| 15+
12| 2-
13| 13+
14| 5-
15| 48*
16| 60*
17| 2=
18| 60*
19| 3/
20| 2-
21| 5=
22| 1-

```

Listing C.79: 6x6_14.txt

```

1| 6 18
2| 1 1 2 2 3 4
3| 5 6 7 8 3 4
4| 5 6 7 8 9 10
5| 11 12 12 13 9 10
6| 11 14 15 15 16 17
7| 11 14 18 18 16 17
8| 2-
9| 3/
10| 2/
11| 2-
12| 5-
13| 2/
14| 15*
15| 6+
16| 2-
17| 2-

```

```

18| 24*
19| 3-
20| 3=
21| 11+
22| 5-
23| 2-
24| 2/
25| 2-

```

Listing C.80: 6x6_15.txt

```

1| 6 15
2| 1 1 2 3 4 5
3| 1 6 2 3 4 5
4| 7 6 8 8 9 10
5| 7 7 11 11 9 10
6| 12 13 14 11 9 10
7| 12 13 14 15 15 15
8| 36*
9| 7+
10| 2-
11| 1-
12| 1-
13| 1-
14| 60*
15| 3/
16| 10*
17| 11+
18| 96*
19| 1-
20| 1-
21| 2-
22| 30*

```

Listing C.81: 6x6_16.txt

```

1| 6 15
2| 1 1 2 3 3 4
3| 5 6 2 7 4 4
4| 5 6 6 7 8 9
5| 10 11 11 12 8 13
6| 10 14 12 12 8 13
7| 10 14 15 15 15 15
8| 5+
9| 1-
10| 2/
11| 20*
12| 4-
13| 10+
14| 1-
15| 15+
16| 4=
17| 11+
18| 3-
19| 8+
20| 5-
21| 2-
22| 15+

```

Listing C.82: 6x6_17.txt

```

1| 6 16
2| 1 2 2 3 4 5
3| 6 7 2 3 4 5
4| 6 7 8 9 4 5
5| 10 11 8 9 9 12
6| 10 11 13 14 15 12
7| 16 16 13 14 14 12
8| 2=
9| 6*
10| 2/
11| 7+
12| 60*
13| 1-
14| 3-
15| 2/
16| 13+
17| 3/
18| 3-
19| 12*
20| 15*
21| 20*
22| 3=
23| 2-

```

Listing C.83: 6x6_18.txt

```

1| 6 16
2| 1 1 2 2 3 3
3| 1 4 5 5 5 6
4| 7 4 8 9 10 6
5| 7 7 8 9 10 6

```

```

6| 11 12 13 14 14 14 14
7| 11 12 15 15 16 16
8| 30*
9| 5-
10| 2/
11| 5-
12| 15+
13| 12+
14| 13+
15| 7+
16| 1-
17| 3/
18| 3-
19| 1-
20| 6=
21| 8+
22| 1-
23| 11+

```

Listing C.84: 6x6_19.txt

```

1| 6 15
2| 1 2 3 3 4 4
3| 1 2 5 5 6 7
4| 1 5 5 6 6 7
5| 8 8 8 9 9 9
6| 10 11 11 12 12 13
7| 10 10 14 15 15 13
8| 12*
9| 1-
10| 2/
11| 5-
12| 17+
13| 6*
14| 4-
15| 9+
16| 60*
17| 20*
18| 2-
19| 2-
20| 1-
21| 6=
22| 3/

```

Listing C.85: 6x6_20.txt

```

1| 6 16
2| 1 1 2 2 3 4
3| 5 6 7 8 4 4
4| 5 6 7 8 9 9
5| 5 10 11 11 11 12
6| 13 10 14 14 12 12
7| 13 15 15 16 16 16
8| 11+
9| 1-
10| 4=
11| 36*
12| 10+
13| 2/
14| 10*
15| 2/
16| 7+
17| 5-
18| 10+
19| 13+
20| 1-
21| 5+
22| 2/
23| 20*

```

Listing C.86: 6x6_21.txt

```

1| 6 16
2| 1 1 2 2 3 4
3| 5 5 6 6 3 4
4| 7 7 8 9 9 10
5| 8 8 8 11 11 10
6| 12 13 13 14 15 16
7| 12 12 14 14 16 16
8| 5-
9| 1-
10| 1-
11| 2/
12| 2/
13| 3-
14| 1-
15| 48*
16| 3+
17| 2-
18| 2/
19| 15*
20| 2/
21| 10+
22| 5=
23| 48*

```

Listing C.87: 6x6_22.txt

```

1| 6 17
2 1 1 2 2 3 3
3 4 5 5 2 6 6
4 4 7 8 9 9 10
5 7 7 8 11 11 10
6 12 12 13 13 14 14
7 15 16 16 17 17 17
8 2-
9 6*
10 8+
11 1-
12 3/
13 3-
14 12*
15 8+
16 10*
17 5-
18 2-
19 7+
20 5-
21 1-
22 1=
23 1-
24| 60*

```

Listing C.88: 6x6_23.txt

```

1| 6 13
2 1 2 3 3 3 3
3 1 2 4 4 5 5
4 6 7 7 4 5 5
5 6 7 8 8 8 9
6 10 11 11 12 8 9
7 10 13 11 12 8 9
8 2-
9 1-
10 48*
11 11+
12 72*
13 5-
14 15+
15 13+
16 13+
17 2/
18 10*
19 1-
20| 6=

```

Listing C.89: 6x6_24.txt

```

1| 6 17
2 1 2 2 3 4 5
3 1 6 6 3 4 7
4 8 9 10 10 10 7
5 8 11 12 13 13 7
6 14 11 12 15 15 16
7 14 11 17 17 15 16
8 6+
9 3-
10 3-
11 24*
12 2=
13 6*
14 15+
15 4-
16 5=
17 12*
18 11+
19 10*
20 6*
21 1-
22 13+
23 3/
24| 4-

```

Listing C.90: 6x6_25.txt

```

1| 6 17
2 1 1 2 3 4 5
3 6 6 2 3 4 5
4 6 7 8 9 9 9
5 7 7 8 10 11 11
6 12 13 14 10 15 15
7 12 13 14 16 16 17
8 20*
9 3-
10 3/
11 3/
12 1-
13 11+
14 10+
15| 10*

```

16	60*
17	7+
18	1-
19	4-
20	2/
21	2/
22	1-
23	5-
24	2=

Listing C.91: 6x6_26.txt

1	6 16
2	1 1 2 2 3 3
3	1 1 4 4 5 5
4	6 7 4 8 8 9
5	6 7 10 8 11 9
6	12 12 10 11 11 13
7	14 15 15 11 16 16
8	72*
9	4-
10	3/
11	8+
12	1-
13	1-
14	6+
15	10+
16	1-
17	1-
18	36*
19	4-
20	1=
21	1=
22	3/
23	1-

Listing C.92: 6x6_27.txt

1	6 17
2	1 2 3 3 4 5
3	1 2 6 3 4 7
4	8 8 6 9 4 7
5	10 11 11 9 12 12
6	13 14 14 9 12 15
7	13 16 16 16 17 15
8	2/
9	1-
10	24*
11	9+
12	5=
13	15*
14	5+
15	1-
16	13+
17	1=
18	1-
19	24*
20	2/
21	5-
22	2/
23	6+
24	5=

Listing C.93: 6x6_28.txt

1	6 14
2	1 1 2 2 3 3
3	4 5 5 5 3 6
4	4 4 7 7 6 6
5	4 8 8 9 10 10
6	4 11 11 9 12 12
7	11 11 13 13 14 14
8	4-
9	1-
10	24*
11	21+
12	14+
13	7+
14	2/
15	2/
16	3/
17	9+
18	200*
19	2/
20	5-
21	1-

Listing C.94: 6x6_29.txt

1	6 16
2	1 2 3 4 4 5
3	1 1 3 6 6 5

```

4| 7 8 8 6 9 10
5| 7 11 12 12 9 13
6| 11 11 14 14 9 13
7| 11 15 15 16 16 16
8| 6*
9| 5=
10| 1-
11| 3/
12| 1-
13| 12+
14| 2-
15| 5-
16| 6+
17| 2=
18| 15+
19| 1-
20| 2/
21| 3-
22| 3/
23| 20*
24|

```

Listing C.95: 6x6_30.txt

```

1| 6 17
2| 1 1 2 2 3 3
3| 4 4 5 6 6 7
4| 8 8 5 9 9 7
5| 10 11 11 11 12 12
6| 10 13 14 14 15 16
7| 13 13 17 14 15 16
8| 1-
9| 1-
10| 5-
11| 5-
12| 1-
13| 15*
14| 3-
15| 3-
16| 3/
17| 6*
18| 15+
19| 2/
20| 10+
21| 6*
22| 9+
23| 1-
24| 6=
25|

```

Listing C.96: 6x6_31.txt

```

1| 6 16
2| 1 1 2 3 4 4
3| 5 1 3 3 6 6
4| 5 7 7 8 8 9
5| 10 10 11 11 11 9
6| 12 13 14 15 16 9
7| 12 13 14 15 16 16
8| 60*
9| 4=
10| 12+
11| 1-
12| 5-
13| 12*
14| 1-
15| 10*
16| 24*
17| 3-
18| 18*
19| 1-
20| 3/
21| 3/
22| 1-
23| 10*
24|

```

Listing C.97: 6x6_32.txt

```

1| 6 16
2| 1 2 3 4 5 5
3| 1 2 3 3 5 6
4| 7 8 8 9 10 6
5| 7 11 11 9 10 6
6| 12 12 13 13 14 14
7| 15 15 13 16 16 14
8| 2/
9| 5-
10| 13+
11| 1=
12| 30*
13| 60*
14| 5-
15| 2/
16| 1-
17| 2/
18| 8+
19|

```

19	2-
20	4*
21	24*
22	1-
23	2/

Listing C.98: 6x6_33.txt

1	6	17				
2	1	2	3	4	5	6
3	1	2	3	4	5	5
4	1	7	7	8	9	9
5	10	11	11	11	12	13
6	14	15	15	16	12	13
7	14	17	15	16	12	13
8	60*					
9	5-					
10	1-					
11	3-					
12	10+					
13	2=					
14	6*					
15	6=					
16	3-					
17	6=					
18	6+					
19	30*					
20	13+					
21	2/					
22	11+					
23	2-					
24	4=					

Listing C.99: 6x6_34.txt

1	6	14				
2	1	1	2	2	2	3
3	1	4	4	5	5	3
4	6	7	7	5	8	8
5	6	6	9	9	10	8
6	11	11	9	9	10	10
7	11	12	13	13	14	14
8	4*					
9	15+					
10	2-					
11	7+					
12	36*					
13	90*					
14	3-					
15	12*					
16	12+					
17	11+					
18	15+					
19	3=					
20	4-					
21	2/					

Listing C.100: 6x6_35.txt

1	6	15				
2	1	2	2	3	3	4
3	1	5	5	5	4	4
4	6	6	6	7	8	8
5	9	9	7	7	10	8
6	11	12	13	13	10	14
7	11	15	15	15	14	14
8	7+					
9	1-					
10	1-					
11	12*					
12	60*					
13	10+					
14	14+					
15	40*					
16	2-					
17	2/					
18	7+					
19	1=					
20	1-					
21	108*					
22	20*					

Listing C.101: 6x6_36.txt

1	6	15				
2	1	2	2	3	4	4
3	1	5	6	3	7	8
4	1	5	6	9	7	8
5	10	5	6	9	9	9
6	10	11	12	13	14	15
7	10	11	12	13	14	14
8	18*					

```

9| 3/
10 1-
11 12*
12 6+
13 12+
14 5+
15 1-
16 12+
17 40*
18 20*
19 1-
20 2-
21 12*
22 6=

```

Listing C.102: 6x6_37.txt

```

1| 6 15
2| 1 2 3 3 4 4
3| 1 2 3 5 6 6
4| 1 7 7 5 6 8
5| 9 9 9 10 10 8
6| 11 11 12 12 10 13
7| 14 14 15 15 13 13
8| 20*
9| 2/
10| 12+
11| 2/
12| 1-
13| 14+
14| 5-
15| 2/
16| 30*
17| 11+
18| 1-
19| 4-
20| 14+
21| 5-
22| 2/

```

Listing C.103: 6x6_38.txt

```

1| 6 14
2| 1 1 2 2 3 4
3| 5 1 6 2 4 4
4| 5 7 6 8 8 8
5| 7 7 6 9 9 9
6| 10 10 11 11 12 9
7| 13 13 14 14 12 12
8| 72*
9| 5+
10| 2=
11| 12+
12| 2/
13| 12+
14| 11+
15| 20*
16| 16+
17| 1-
18| 1-
19| 13+
20| 4-
21| 1-

```

Listing C.104: 6x6_39.txt

```

1| 6 14
2| 1 1 2 2 3 3
3| 1 1 4 4 4 5
4| 6 6 7 7 7 5
5| 8 8 8 9 10 5
6| 11 8 12 9 13 13
7| 11 11 12 9 14 14
8| 6*
9| 3/
10| 1-
11| 15+
12| 18*
13| 1-
14| 6+
15| 240*
16| 10+
17| 3=
18| 36*
19| 1-
20| 11+
21| 2/

```

C.4 *File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan Grid Berukuran 7 × 7*

Listing C.105: 7x7_1.txt

```

1| 7 21
2| 1 1 1 2 3 3 3
3| 4 5 6 2 7 7 7
4| 4 5 6 8 9 9 7
5| 4 10 10 8 9 11 12
6| 13 14 10 15 16 11 12
7| 13 14 10 15 17 17 18
8| 19 19 20 20 17 21 18
9| 210*
10| 1-
11| 7+
12| 12+
13| 3-
14| 3/
15| 17+
16| 13+
17| 11+
18| 19+
19| 1-
20| 1-
21| 15*
22| 3+
23| 5+
24| 6=
25| 15+
26| 11+
27| 5-
28| 3-
29| 3=

```

Listing C.106: 7x7_2.txt

```

1| 7 21
2| 1 1 2 2 3 4 4
3| 5 1 1 6 3 7 7
4| 5 8 8 6 6 7 9
5| 10 11 12 12 13 13 9
6| 10 14 14 15 15 16 17
7| 10 18 19 19 19 16 17
8| 18 18 20 20 21 21 21
9| 45*
10| 2/
11| 1-
12| 3-
13| 3/
14| 10+
15| 13+
16| 1-
17| 1-
18| 28*
19| 6=
20| 3-
21| 2-
22| 3-
23| 6-
24| 2/
25| 5-
26| 14+
27| 30*
28| 2-
29| 8+

```

Listing C.107: 7x7_3.txt

```

1| 7 22
2| 1 1 2 2 3 4 4
3| 5 6 6 3 3 7 7
4| 5 8 9 10 10 10 7
5| 11 8 9 12 13 14 14
6| 11 15 15 12 13 16 14
7| 17 18 19 19 20 16 21
8| 17 17 22 22 20 21 21
9| 15*
10| 5-
11| 9+
12| 7+
13| 2/
14| 2-
15| 210*
16| 6-
17| 7+
18| 15+
19| 6+
20| 1-
21| 10+
22| 6+

```

```

23| 3/
24 1-
25 15+
26 4=
27 2-
28 3-
29 14+
30| 5-

```

Listing C.108: 7x7_4.txt

```

1 7 21
2 1 2 2 3 3 4
3 1 5 2 6 6 4 4
4 7 5 8 9 9 10 10
5 7 8 8 11 12 10 13
6 14 14 14 11 12 15 13
7 16 16 17 11 18 19 19
8 20 20 17 17 18 21 21
9 1-
10 98*
11 2/
12 15+
13 1-
14 2/
15 8+
16 8+
17 9+
18 30*
19 60*
20 10+
21 1-
22 16+
23 6=
24 1-
25 14+
26 3-
27 3-
28 3/
29 6-

```

Listing C.109: 7x7_5.txt

```

1 7 20
2 1 2 2 3 4 4 4
3 1 2 3 3 5 6 7
4 8 8 9 3 5 6 7
5 10 10 9 11 12 13 13
6 14 14 9 11 12 15 15
7 16 17 18 18 19 19 15
8 17 17 17 18 20 20 20
9 1-
10 45*
11 12+
12 9+
13 1-
14 3-
15 9+
16 8+
17 12*
18 6+
19 2-
20 2/
21 2-
22 2/
23 11+
24 2=
25 20+
26 60*
27 21*
28| 20*

```

Listing C.110: 7x7_6.txt

```

1 7 22
2 1 2 3 4 4 4 5
3 1 2 3 6 6 6 5
4 7 7 3 8 9 10 11
5 7 12 12 8 9 10 11
6 13 14 15 15 16 17 17
7 13 18 18 16 16 17 19
8 20 20 21 21 22 22 19
9 6*
10 1-
11 18+
12 12+
13 3-
14 9+
15 11+
16 1-
17 6-
18 9+
19 6+
20| 3-

```

```

21| 2-
22| 7-
23| 4-
24| 60*
25| 18*
26| 3-
27| 3/
28| 2-
29| 28*
30| 3-

```

Listing C.111: 7x7_7.txt

```

1| 7 21
2| 1 2 2 3 3 4 4
3| 1 5 6 6 3 4 4
4| 7 5 8 9 9 10 11
5| 7 12 8 13 13 10 11
6| 7 12 14 13 15 16 16
7| 17 17 14 15 15 18 16
8| 19 19 14 20 21 21 21
9| 6-
10| 3-
11| 14+
12| 420*
13| 1-
14| 1-
15| 12+
16| 3-
17| 42*
18| 4-
19| 3-
20| 6-
21| 10*
22| 168*
23| 10+
24| 84*
25| 1-
26| 3=
27| 3/
28| 3=
29| 10+

```

Listing C.112: 7x7_8.txt

```

1| 7 21
2| 1 2 2 3 4 5 5
3| 1 1 3 3 4 4 6
4| 7 7 8 8 9 4 6
5| 10 11 11 12 9 13 13
6| 10 14 15 12 12 13 16
7| 17 14 15 18 18 16 16
8| 17 19 19 18 20 20 21
9| 14+
10| 2/
11| 105*
12| 30*
13| 1-
14| 6-
15| 30*
16| 1-
17| 3-
18| 1-
19| 11+
20| 8+
21| 12+
22| 4-
23| 3-
24| 9+
25| 6-
26| 15+
27| 5-
28| 2/
29| 4=

```

Listing C.113: 7x7_9.txt

```

1| 7 20
2| 1 2 3 3 4 5 5
3| 1 2 6 6 4 7 7
4| 8 2 9 10 10 7 11
5| 8 8 9 9 12 11 11
6| 13 13 13 9 12 14 15
7| 16 17 17 18 18 14 14
8| 16 19 19 20 20 20 14
9| 6+
10| 84*
11| 4-
12| 1-
13| 3-
14| 2/
15| 17+
16| 210*
17| 13+

```

```

18| 6-
19| 24*
20| 11+
21| 9+
22| 378*
23| 4=
24| 1-
25| 6-
26| 3-
27| 3-
28| 24*

```

Listing C.114: 7x7_10.txt

```

1| 7 21
2| 1 2 3 3 4 4 5
3| 1 6 6 7 7 7 5
4| 8 8 6 6 7 9 9
5| 10 10 11 11 11 12 13
6| 14 14 15 16 12 12 13
7| 17 17 15 16 18 18 19
8| 17 17 20 20 21 21 19
9| 3/
10| 7-
11| 2/
12| 1-
13| 30*
14| 1008*
15| 14+
16| 5-
17| 6-
18| 11+
19| 11+
20| 9+
21| 1-
22| 5-
23| 1-
24| 1-
25| 14+
26| 9+
27| 1-
28| 2-
29| 2/

```

Listing C.115: 7x7_11.txt

```

1| 7 21
2| 1 2 2 3 4 4 5
3| 1 6 7 3 4 4 5
4| 8 6 7 9 9 10 10
5| 8 11 12 12 13 13 10
6| 8 11 14 12 12 15 16
7| 17 17 14 18 12 15 16
8| 19 19 20 18 21 21 16
9| 6-
10| 3-
11| 1-
12| 240*
13| 6+
14| 1-
15| 1-
16| 60*
17| 6-
18| 12+
19| 4-
20| 23+
21| 3/
22| 5+
23| 9+
24| 84*
25| 3/
26| 24*
27| 2/
28| 5=
29| 4-

```

Listing C.116: 7x7_12.txt

```

1| 7 22
2| 1 2 3 3 4 4 5
3| 1 2 6 6 4 7 5
4| 8 8 9 9 10 7 11
5| 12 13 14 10 10 10 11
6| 12 13 14 15 16 17 18
7| 19 19 15 15 16 17 18
8| 19 20 20 21 21 22 22
9| 5+
10| 4-
11| 13+
12| 84*
13| 3/
14| 2-
15| 3/
16| 2-

```

17	3+
18	17+
19	8+
20	1-
21	3-
22	3/
23	11+
24	4-
25	4-
26	1-
27	36*
28	9+
29	10+
30	4-

Listing C.117: 7x7_13.txt

1	7 20
2	1 2 2 2 3 3 4
3	1 5 5 6 6 7 4
4	1 8 5 9 9 7 7
5	8 8 10 11 12 12 13
6	14 15 10 11 16 16 13
7	14 15 17 17 17 18 13
8	19 19 20 20 17 18 18
9	105*
10	18*
11	9+
12	3-
13	12+
14	2-
15	6+
16	15+
17	1-
18	6-
19	1-
20	3-
21	70*
22	2/
23	6-
24	2/
25	120*
26	17+
27	2/
28	4-

Listing C.118: 7x7_14.txt

1	7 21
2	1 2 3 4 4 4 5
3	1 2 2 2 6 5 5
4	7 8 9 6 6 6 10
5	7 8 9 9 11 12 10
6	13 8 14 14 11 11 15
7	13 13 16 17 17 18 19
8	20 20 16 21 18 18 19
9	2-
10	9+
11	2=
12	18+
13	63*
14	17+
15	5-
16	18+
17	90*
18	3-
19	14*
20	1=
21	60*
22	1-
23	2=
24	3-
25	6+
26	15+
27	1-
28	3/
29	2=

Listing C.119: 7x7_15.txt

1	7 18
2	1 1 2 2 3 3 3
3	1 1 4 2 3 5 6
4	7 7 8 8 5 5 6
5	9 7 7 10 10 10 10
6	9 11 12 12 13 13 10
7	11 11 12 14 15 16 17
8	11 18 18 14 15 16 17
9	16+
10	40*
11	126*
12	1=
13	28*
14	1-

15| 12+
16 13+
17 6-
18 4200*
19 96*
20 36*
21 3/
22 8+
23 2-
24 3-
25 2/
26 42*

C.5 *File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan Grid Berukuran 8 × 8*

Listing C.120: 8x8_1.txt

```

1| 8 27
2| 1 2 2 3 3 3 4 4
3| 1 2 5 5 6 6 7 8
4| 9 9 5 10 11 11 7 8
5| 12 12 13 10 10 14 15 15
6| 16 17 13 18 18 14 15 15
7| 16 17 13 19 20 21 21 21
8| 22 23 23 19 20 24 25 26
9| 22 22 22 27 27 24 25 26
10| 3/
11| 20*
12| 21+
13| 1-
14| 28*
15| 1-
16| 7-
17| 2/
18| 2-
19| 15*
20| 14*
21| 28*
22| 144*
23| 2/
24| 150*
25| 2/
26| 8+
27| 2-
28| 2-
29| 4-
30| 168*
31| 26+
32| 2-
33| 7-
34| 2/
35| 5-
36| 3-

```

Listing C.121: 8x8_2.txt

```

1| 8 26
2| 1 1 2 3 3 3 4 4
3| 5 2 2 6 7 8 9 9
4| 5 10 6 6 7 8 11 11
5| 5 10 12 13 14 15 15 15
6| 16 12 12 13 14 17 17 18
7| 16 19 20 21 21 22 22 18
8| 23 19 20 24 24 24 24 18
9| 23 23 25 25 25 26 26 18
10| 5-
11| 60*
12| 14+
13| 1-
14| 20*
15| 13+
16| 24*
17| 2-
18| 2/
19| 6-
20| 1-
21| 17+
22| 2/
23| 14*
24| 144*
25| 5+
26| 24*
27| 280*
28| 10+
29| 5-
30| 48*
31| 2-
32| 15+
33| 10+
34| 16+
35| 3/

```

Listing C.122: 8x8_3.txt

```

1| 8 25
2| 1 1 1 2 3 4 5 6
3| 7 7 8 2 3 4 5 6
4| 9 9 8 10 10 11 11 12
5| 13 9 14 14 14 14 15 12
6| 13 16 16 14 17 17 15 12
7| 13 18 19 19 17 20 20 12
8| 21 18 22 22 22 20 23 23
9| 21 21 22 24 24 24 24 25

```

```

10| 210*
11| 1-
12| 3-
13| 3/
14| 8*
15| 1-
16| 1-
17| 12*
18| 42*
19| 2/
20| 6+
21| 26+
22| 13+
23| 504*
24| 2-
25| 3-
26| 112*
27| 7-
28| 3/
29| 45*
30| 11+
31| 12+
32| 6-
33| 26+
34| 4=

```

Listing C.123: 8x8_4.txt

```

1| 8 30
2| 1 1 2 3 3 4 4 5
3| 6 7 2 8 9 9 10 5
4| 6 7 8 8 11 11 10 12
5| 13 13 14 14 15 15 16 12
6| 17 18 18 19 20 16 16 12
7| 17 21 22 19 20 23 23 24
8| 25 21 22 19 26 26 27 24
9| 25 28 28 29 29 30 27 27
10| 12*
11| 4-
12| 7-
13| 3-
14| 3/
15| 3-
16| 5-
17| 20+
18| 3-
19| 1-
20| 11+
21| 19+
22| 1-
23| 1-
24| 7+
25| 32*
26| 11+
27| 5-
28| 13+
29| 1-
30| 13+
31| 4/
32| 9+
33| 2-
34| 1-
35| 4-
36| 3*
37| 2/
38| 14*
39| 5=

```

Listing C.124: 8x8_5.txt

```

1| 8 26
2| 1 1 1 2 2 3 4 5
3| 1 6 7 7 8 3 4 5
4| 9 9 9 9 8 10 10 10
5| 11 11 12 13 13 13 10 14
6| 11 11 15 15 16 13 17 14
7| 18 18 19 20 16 21 17 22
8| 23 23 19 20 21 21 22 22
9| 23 24 24 25 25 26 26 26
10| 210*
11| 7+
12| 10*
13| 2/
14| 4/
15| 1=
16| 1-
17| 10+
18| 10+
19| 1680*
20| 25+
21| 5=
22| 216*
23| 6-
24| 2-
25| 9+
26| 1-

```

27	2/
28	9+
29	7-
30	20*
31	14+
32	56*
33	5-
34	1-
35	12+

Listing C.125: 8x8_6.txt

1	8 27
2	1 2 2 2 3 3 4 4
3	1 2 5 5 5 6 4 7
4	8 9 10 11 12 7 7 7
5	8 9 10 11 12 12 13 13
6	14 15 16 16 17 17 18 18
7	14 15 19 19 20 20 21 22
8	23 23 24 25 26 26 21 22
9	23 24 24 25 25 27 27 22
10	1-
11	480*
12	3+
13	56*
14	168*
15	6=
16	17+
17	6+
18	4/
19	2-
20	5+
21	20+
22	2/
23	15+
24	3/
25	2-
26	2/
27	2/
28	6*
29	2-
30	2-
31	96*
32	120*
33	42*
34	8*
35	1-
36	20*

Listing C.126: 8x8_7.txt

1	8 27
2	1 1 2 2 3 3 4 4
3	5 6 7 8 3 9 10 10
4	5 6 7 8 8 9 10 11
5	12 12 13 13 13 14 14 11
6	15 15 16 16 17 18 18 18
7	19 19 16 17 17 20 20 20
8	19 21 21 22 23 24 25 26
9	27 27 27 22 23 24 25 26
10	2/
11	2/
12	90*
13	4-
14	3+
15	1-
16	5-
17	280*
18	2-
19	96*
20	4-
21	8+
22	64*
23	1-
24	8+
25	160*
26	14+
27	11+
28	90*
29	16*
30	1-
31	3/
32	5-
33	40*
34	4-
35	11+
36	24*

Listing C.127: 8x8_8.txt

1	8 27
2	1 1 2 2 3 3 3 4
3	5 6 7 8 8 9 9 4
4	5 6 7 10 10 11 9 12

```

5| 5 13 14 15 10 11 11 12
6 16 13 14 15 17 17 18 18
7 16 19 19 20 20 18 18 18
8 16 21 22 22 23 23 24 24
9 25 25 26 26 23 27 27 27
10 3/
11 1-
12 168*
13 7-
14 112*
15 14+
16 3/
17 8+
18 60*
19 168*
20 10*
21 15+
22 4-
23 4-
24 2/
25 15*
26 1-
27 25+
28 20*
29 2/
30 1=
31 5-
32 56*
33 3/
34 1-
35 56*
36 | 18*

```

Listing C.128: 8x8_9.txt

```

1| 8 28
2 1 2 2 3 3 4 5 6
3 1 7 7 8 4 4 5 6
4 9 10 10 8 4 11 11 11
5 9 9 12 13 14 14 15 15
6 16 9 12 13 17 18 19 20
7 16 21 21 22 17 18 19 20
8 23 23 24 22 22 25 25 20
9 23 23 24 26 26 27 28 28
10 2-
11 2-
12 7-
13 120*
14 3/
15 3-
16 6-
17 5-
18 17+
19 3-
20 10+
21 4/
22 5-
23 4-
24 5-
25 2-
26 2/
27 42*
28 15*
29 14+
30 2-
31 14+
32 6*
33 1-
34 6-
35 30*
36 8=
37 | 12*

```

Listing C.129: 8x8_10.txt

```

1| 8 28
2 1 1 2 3 3 4 5 6
3 7 1 2 2 4 4 5 8
4 7 9 2 10 11 11 12 8
5 13 14 10 10 15 15 12 8
6 13 14 16 17 17 18 12 19
7 20 21 16 16 22 18 23 19
8 20 21 24 25 22 22 23 19
9 26 26 24 25 27 27 28 28
10 144*
11 1960*
12 3/
13 10+
14 4/
15 4=
16 1-
17 48*
18 5=
19 16+
20 10+
21 | 21+

```

22	1-
23	1-
24	2/
25	14+
26	4-
27	11+
28	105*
29	3-
30	3-
31	17+
32	1-
33	1-
34	3-
35	1-
36	10+
37	7+

Listing C.130: 8x8_11.txt

1	8 27
2	1 2 2 3 3 4 4 5
3	1 6 2 7 7 8 8 5
4	1 6 6 9 7 10 10 11
5	12 12 9 9 13 14 15 11
6	16 17 18 19 13 14 15 11
7	16 17 18 19 19 20 21 22
8	23 17 24 25 20 20 21 22
9	23 23 24 25 26 26 27 27
10	30*
11	20+
12	2/
13	2/
14	6-
15	11+
16	12*
17	2-
18	16*
19	6-
20	18+
21	42*
22	1-
23	24*
24	2/
25	7-
26	11+
27	3/
28	8+
29	16+
30	5-
31	8+
32	96*
33	5-
34	1-
35	7-
36	7+

Listing C.131: 8x8_12.txt

1	8 28
2	1 1 1 2 3 4 4 5
3	6 7 7 2 3 8 5 5
4	6 9 10 2 11 11 12 13
5	6 9 10 14 14 12 12 13
6	15 16 17 14 18 19 19 20
7	15 16 16 21 18 19 22 20
8	23 24 25 21 18 26 22 27
9	23 24 25 26 26 26 28 27
10	28*
11	17+
12	2-
13	1-
14	14+
15	24*
16	4/
17	6=
18	1-
19	2/
20	7-
21	20+
22	1-
23	24*
24	5-
25	14+
26	7=
27	6+
28	12+
29	56*
30	7+
31	7-
32	10*
33	5-
34	2/
35	25+
36	3-
37	4=

Listing C.132: 8x8_13.txt

```
1| 8 27
2| 1 2 3 4 5 6 6 7
3| 1 3 3 4 5 5 8 7
4| 1 9 10 10 11 12 8 8
5| 13 9 9 11 11 12 14 14
6| 13 15 15 16 17 18 18 18
7| 19 20 16 16 17 21 22 22
8| 19 20 20 23 23 21 22 24
9| 25 25 25 26 27 27 27 24
10| 210*
11| 3=
12| 17+
13| 3-
14| 32*
15| 5-
16| 4/
17| 9+
18| 192*
19| 1-
20| 42*
21| 10*
22| 2/
23| 3/
24| 7-
25| 6*
26| 2-
27| 210*
28| 5-
29| 11+
30| 4-
31| 14+
32| 3-
33| 1-
34| 6+
35| 6=
36| 17+
```

C.6 File Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan *Grid* Berukuran 9×9

Listing C.133: 9x9_1.txt

```

1| 9 34
2| 1 2 2 3 4 5 5 6 6
3| 1 7 2 3 4 8 8 8 9
4| 7 7 10 3 11 12 12 13 9
5| 14 14 10 3 11 15 13 13 9
6| 16 16 17 3 15 15 18 18 18
7| 19 16 17 20 20 20 21 22 23
8| 24 24 25 25 26 27 21 22 23
9| 24 28 28 29 30 27 31 31 23
10| 32 32 28 29 30 33 33 34 34
11| 6-
12| 128*
13| 15+
14| 4/
15| 3/
16| 1-
17| 14+
18| 19+
19| 19+
20| 1-
21| 2-
22| 8-
23| 56*
24| 24*
25| 40*
26| 378*
27| 3/
28| 56*
29| 4=
30| 432*
31| 40*
32| 2/
33| 14+
34| 15+
35| 2-
36| 6-
37| 21*
38| 72*
39| 1-
40| 5-
41| 6+
42| 6+
43| 3/
44| 7+

```

Listing C.134: 9x9_2.txt

```

1| 9 36
2| 1 2 3 3 4 5 5 6 7
3| 1 2 2 4 4 8 8 6 7
4| 9 10 10 11 11 11 12 12 12
5| 9 13 10 14 14 15 16 17 17
6| 9 13 18 18 14 19 16 20 20
7| 21 21 21 21 19 19 22 23 23
8| 24 24 25 25 26 27 27 28 28
9| 29 29 30 26 26 31 32 32 33
10| 34 34 30 35 35 31 36 36 33
11| 28*
12| 18+
13| 1-
14| 576*
15| 2-
16| 2/
17| 5-
18| 2/
19| 6+
20| 180*
21| 63*
22| 14+
23| 1-
24| 12+
25| 8=
26| 7-
27| 4-
28| 5-
29| 40*
30| 15+
31| 23+
32| 3=
33| 13+
34| 4-
35| 4/
36| 140*
37| 1-
38| 3/
39| 2-
40| 4-
41| 7-

```

42| 8–
 43| 9+
 44| 4/
 45| 3/
 46| 2–

Listing C.135: 9x9_3.txt

```

1| 9 34
2 1 1 1 1 2 2 3 3 4
3 5 6 7 7 8 8 3 9 4
4 5 6 10 10 11 12 13 9 9
5 5 14 10 15 11 11 13 13 16
6 17 14 18 15 19 19 20 20 16
7 17 18 18 21 19 22 22 23 23
8 24 24 25 21 26 26 27 27 28
9 29 25 25 30 30 30 31 32 27 28
10 29 29 33 33 33 31 32 34 28
11 30+
12 1–
13 30*
14 5–
15 90*
16 3–
17 5–
18 4/
19 13+
20 14+
21 21*
22 6=
23 16+
24 2–
25 2–
26 13+
27 10+
28 4+
29 60*
30 1–
31 1–
32 11+
33 11+
34 1–
35 24*
36 8–
37 120*
38 14+
39 24*
40 5–
41 14+
42 8–
43 12+
44| 7=
```

Listing C.136: 9x9_4.txt

```

1| 9 32
2 1 1 1 1 2 2 2 2 3
3 4 5 5 1 6 6 7 7 3
4 4 4 8 8 9 10 11 12 12
5 4 13 13 8 9 10 11 14 15
6 4 16 17 18 10 10 11 15 15
7 19 16 17 18 20 20 20 21 22
8 19 23 23 18 24 25 25 21 22
9 26 27 28 18 24 25 25 29 29
10 26 27 28 30 30 31 31 32 32
11 3024*
12 19+
13 28*
14 720*
15 2/
16 3–
17 1–
18 245*
19 5–
20 24+
21 16*
22 24*
23 20*
24 9=
25 17+
26 1–
27 8–
28 10+
29 63*
30 120*
31 3/
32 2/
33 3–
34 16+
35 336*
36 6–
37 3–
38 1–
39 4–
40 14+
41 4–
42| 16+
```


LAMPIRAN D

KODE PROGRAM

Lampiran ini berisi kode program dari perangkat lunak Calcudoku ini.

Listing D.1: Grid.java

```
1 package model;
2
3 import java.util.ArrayList;
4 import java.util.Objects;
5 import javax.swing.JOptionPane;
6
7 public class Grid
8 {
9
10    private final Integer size;
11    private final Integer numberOfCages;
12    private final Integer [][] cageCells;
13    private final String [] cageObjectives;
14    private final Cell [][] grid;
15    private final Cage [] cages;
16
17    public Grid(Integer size, Integer numberOfCages, Integer [][] cageCells,
18                String [] cageObjectives)
19    {
20        this.size = size;
21        this.numberOfCages = numberOfCages;
22        if (isCageCellsSizeValid(cageCells))
23        {
24            this.cageCells = cageCells;
25        }
26        else
27        {
28            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid array size.", "Error",
29                                         JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
30            throw new IllegalStateException("Invalid array size.");
31        }
32        if (isCageObjectivesSizeValid(cageObjectives))
33        {
34            this.cageObjectives = cageObjectives;
35        }
36        else
37        {
38            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid array size.", "Error",
39                                         JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
39            throw new IllegalStateException("Invalid array size.");
40        }
41        this.grid = new Cell [size] [size];
42        this.cages = new Cage [numberOfCages];
43        generateCages(cages);
44        for (int i = 0; i < cages.length; i++)
45        {
46            Integer [][] array = new Integer [size] [size];
47            for (int j = 0; j < cageCells.length; j++)
48            {
49                for (int k = 0; k < cageCells [j].length; k++)
50                {
51                    if (cageCells [j] [k] == i + 1)
52                    {
53                        array [j] [k] = 1;
54                    }
55                    else
56                    {
57                        array [j] [k] = 0;
58                    }
59                }
60            }
61            if (!isCageAssignmentValid(array))
62            {
63                JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid cage assignment.",
64                                         "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
65                throw new IllegalStateException("Invalid cage assignment.");
66            }
67        }
68    }
69    generateGrid(grid, cages);
70    if (!isCagesValid(cages))
71    {
```

```

72         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid cages.", "Error",
73             JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
74     throw new IllegalStateException("Invalid cages.");
75 }
76 }
77
78 private int countAreas(Integer[][] array)
79 {
80     boolean[][] checked = new boolean[size][size];
81     for (int i = 0; i < size; i++)
82     {
83         for (int j = 0; j < size; j++)
84         {
85             checked[i][j] = false;
86         }
87     }
88     return countAreas(array, checked);
89 }
90
91 private int countAreas(Integer[][] array, boolean[][] checked)
92 {
93     int areas = 0;
94     for (int i = 0; i < array.length; i++)
95     {
96         for (int j = 0; j < array.length; j++)
97         {
98             if (checked[i][j])
99             {
100                 continue;
101             }
102             if (array[i][j] == 0)
103             {
104                 checked[i][j] = true;
105                 continue;
106             }
107             areas++;
108             floodFill(i, j, array, checked);
109         }
110     }
111     return areas;
112 }
113
114 private void floodFill(int i, int j, Integer[][] array,
115     boolean[][] checked)
116 {
117     if (array[i][j] == 0 || checked[i][j])
118     {
119         return;
120     }
121     checked[i][j] = true;
122     if (j < array.length - 1)
123     {
124         floodFill(i, j + 1, array, checked);
125     }
126     if (i < array.length - 1)
127     {
128         floodFill(i + 1, j, array, checked);
129     }
130     if (j > 0)
131     {
132         floodFill(i, j - 1, array, checked);
133     }
134     if (i > 0)
135     {
136         floodFill(i - 1, j, array, checked);
137     }
138 }
139
140 private boolean isCageCellsSizeValid(Integer[][] cageCells)
141 {
142     if (cageCells.length == size)
143     {
144         for (int i = 0; i < size; i++)
145         {
146             if (cageCells[i].length != size)
147             {
148                 return false;
149             }
150         }
151     }
152     else
153     {
154         return false;
155     }
156     return true;
157 }
158
159 private boolean isCageObjectivesSizeValid(String[] cageObjectives)
160 {
161     return cageCells.length == size;
162 }
163
164 private boolean isCageAssignmentValid(Integer[][] array)
165 {
166     return countAreas(array) == 1;
167 }
168
169 private boolean isCagesValid(Cage[] cages)
170 {

```

```

171     for (Cage c : cages)
172     {
173         if (c.getOperator() == '=' && c.getSize() != 1)
174         {
175             return false;
176         }
177         if ((c.getOperator() == '-' || c.getOperator() == '/')
178             && c.getSize() != 2)
179         {
180             return false;
181         }
182         if ((c.getOperator() == '+' || c.getOperator() == '*')
183             && c.getSize() < 2)
184         {
185             return false;
186         }
187     }
188     return true;
189 }
190
191 private void generateCages(Cage[] cages)
192 {
193     for (int i = 0; i < cages.length; i++)
194     {
195         cages[i] = new Cage(cageObjectives[i]);
196     }
197 }
198
199 private void generateGrid(Cell[][] grid, Cage[] cages)
200 {
201     for (int i = 0; i < cageCells.length; i++)
202     {
203         for (int j = 0; j < cageCells[i].length; j++)
204         {
205             grid[i][j] = new Cell(i, j, (cageCells[i][j] - 1));
206             cages[cageCells[i][j] - 1].addCell(grid[i][j]);
207         }
208     }
209 }
210
211 public ArrayList<Integer> getRow(int rowNumber)
212 {
213     ArrayList<Integer> row = new ArrayList<>();
214     for (int i = 0; i < grid.length; i++)
215     {
216         if (grid[rowNumber][i].getValue() != null)
217         {
218             row.add(grid[rowNumber][i].getValue());
219         }
220     }
221     return row;
222 }
223
224 public ArrayList<Integer> getColumn(int columnNumber)
225 {
226     ArrayList<Integer> column = new ArrayList<>();
227     for (Cell[] row : grid) {
228         if (row[columnNumber].getValue() != null) {
229             column.add(row[columnNumber].getValue());
230         }
231     }
232     return column;
233 }
234
235 public ArrayList<Integer> getCageValues(int cageNumber)
236 {
237     ArrayList<Integer> cage = new ArrayList<>();
238     for (int i = 0; i < cages[cageNumber].getSize(); i++)
239     {
240         if (cages[cageNumber].getCells().get(i).getValue() != null)
241         {
242             cage.add(cages[cageNumber].getCells().get(i).getValue());
243         }
244     }
245     return cage;
246 }
247
248 private boolean isArrayValid(ArrayList<Integer> array)
249 {
250     for (int i = 0; i < array.size(); i++)
251     {
252         for (int j = 0; j < array.size(); j++)
253         {
254             if (Objects.equals(array.get(i), array.get(j)) && (i != j))
255             {
256                 return false;
257             }
258         }
259     }
260     return true;
261 }
262
263 private boolean isRowValid(int row)
264 {
265     ArrayList<Integer> array = getRow(row);
266     if (!isArrayValid(array))
267     {
268         JOptionPane.showMessageDialog(null,
269             "Row " + row + " has duplicate numbers.");
269 }

```

```

270             "Information", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
271         return false;
272     }
273     else
274     {
275         return true;
276     }
277 }
278
279 private boolean solverIsRowValid(int row)
280 {
281     ArrayList<Integer> array = getRow(row);
282     return isArrayValid(array);
283 }
284
285 private boolean isColumnValid(int column)
286 {
287     ArrayList<Integer> array = getColumn(column);
288     if (!isArrayValid(array))
289     {
290         JOptionPane.showMessageDialog(null,
291             "Column " + column + " has duplicate numbers.",
292             "Information", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
293         return false;
294     }
295     else
296     {
297         return true;
298     }
299 }
300
301 private boolean solverIsColumnValid(int column)
302 {
303     ArrayList<Integer> array = getColumn(column);
304     return isArrayValid(array);
305 }
306
307 private Boolean isCageValuesValid(int cageNumber)
308 {
309     if (cages[cageNumber].isCageValuesValid() == null)
310     {
311         return true;
312     }
313     else
314     {
315         return cages[cageNumber].isCageValuesValid();
316     }
317 }
318
319 private boolean isCageValid(int row, int column)
320 {
321     if (isCageValuesValid(
322         getGridContents()[row][column].get CageID()) == false)
323     {
324         JOptionPane.showMessageDialog(null,
325             "Values of cells in the cage do not reach the target number.",
326             "Information", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
327         return false;
328     }
329     else
330     {
331         return true;
332     }
333 }
334
335 private boolean solverIsCageValid(int row, int column)
336 {
337     return isCageValuesValid(
338         getGridContents()[row][column].get CageID()) == true;
339 }
340
341 public boolean isCellValueValid(int row, int column)
342 {
343     return (isRowValid(row) && isColumnValid(column)
344             && isCageValid(row, column));
345 }
346
347 public boolean solverIsCellValueValid(int row, int column)
348 {
349     return (solverIsRowValid(row) && solverIsColumnValid(column)
350             && solverIsCageValid(row, column));
351 }
352
353 public boolean setCellValue(int row, int column, Integer value)
354 {
355     if (value > 0 && value <= size)
356     {
357         getGridContents()[row][column].setValue(value);
358         isWin();
359         return isCellValueValid(row, column);
360     }
361     else
362     {
363         JOptionPane.showMessageDialog(null,
364             "Cell value must be between 1 and " + size + ".",
365             "Information", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
366         return false;
367     }
368 }

```

```

369
370     public boolean solverSetCellValue(int row, int column, Integer value)
371     {
372         if (value > 0 && value <= size)
373         {
374             getGridContents()[row][column].setValue(value);
375             return (solverIsRowValid(row) && solverIsColumnValid(column)
376                     && solverIsCageValid(row, column));
377         }
378         else
379         {
380             return false;
381         }
382     }
383
384     public void unsetCellValue(int row, int column)
385     {
386         getGridContents()[row][column].setValue(null);
387     }
388
389     public Boolean isWin()
390     {
391         for (int i = 0; i < size; i++)
392         {
393             for (int j = 0; j < size; j++)
394             {
395                 if (getGridContents()[i][j].getValue() == null)
396                 {
397                     return null;
398                 }
399                 if (isCellValueValid(i, j) == false)
400                 {
401                     return false;
402                 }
403             }
404         }
405         JOptionPane.showMessageDialog(null,
406             "Congratulations, you have successfully solved the puzzle!",
407             "Information", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
408         return true;
409     }
410
411     public Boolean checkGrid()
412     {
413         for (int i = 0; i < size; i++)
414         {
415             for (int j = 0; j < size; j++)
416             {
417                 if (getGridContents()[i][j].getValue() == null)
418                 {
419                     JOptionPane.showMessageDialog(null,
420                         "There are empty cells in the grid.",
421                         "Information", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
422                     return null;
423                 }
424                 if (solverIsCellValueValid(i, j) == false)
425                 {
426                     JOptionPane.showMessageDialog(null,
427                         "There are cells with incorrect values in the"
428                         + " grid.", "Information",
429                         JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
430                     return false;
431                 }
432             }
433         }
434         JOptionPane.showMessageDialog(null,
435             "Congratulations, you have successfully solved the puzzle!",
436             "Information", JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
437         return true;
438     }
439
440     public boolean isFilled()
441     {
442         for (int i = 0; i < size; i++)
443         {
444             for (int j = 0; j < size; j++)
445             {
446                 if (getGridContents()[i][j].getValue() == null)
447                 {
448                     return false;
449                 }
450             }
451         }
452         return true;
453     }
454
455     public Integer getCellValue(int row, int column)
456     {
457         return getGridContents()[row][column].getValue();
458     }
459
460     public Integer getSize()
461     {
462         return size;
463     }
464
465     public Integer getNumberOfCages()
466     {
467         return numberOfCages;
468     }

```

```

468     }
469
470     public Integer [][] getCellContents()
471     {
472         return cageCells;
473     }
474
475     public String [] getCageObjectives()
476     {
477         return cageObjectives;
478     }
479
480     public Cell [][] getGridContents()
481     {
482         return grid;
483     }
484
485     public Cage [] getCages()
486     {
487         return cages;
488     }
489
490     public Grid getGame()
491     {
492         return this;
493     }
494 }
495 }
```

Listing D.2: Cell.java

```

1 package model;
2
3 public class Cell
4 {
5
6     private final int row;
7     private final int column;
8     private final int cageID;
9     private Integer value;
10
11    public Cell(int row, int column, int cageID)
12    {
13        this.row = row;
14        this.column = column;
15        this.cageID = cageID;
16    }
17
18    public void setValue(Integer value)
19    {
20        this.value = value;
21    }
22
23    public Integer getValue()
24    {
25        return value;
26    }
27
28    public int getRow()
29    {
30        return row;
31    }
32
33    public int getColumn()
34    {
35        return column;
36    }
37
38    public int getCageID()
39    {
40        return cageID;
41    }
42 }
43 }
```

Listing D.3: Cage.java

```

1 package model;
2
3 import java.util.ArrayList;
4 import javax.swing.JOptionPane;
5
6 public class Cage
7 {
8
9     private final String objective;
10    private final int targetNumber;
11    private final char operator;
12    private final ArrayList<Cell> cells;
13
14    public Cage(String objective)
15    {
16        if (isCageObjectiveValid(objective))
17        {
18            this.objective = objective;
19        }
19 }
```

```

20        else
21        {
22            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid cage objectives.",
23                                         "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
24            throw new IllegalStateException("Invalid cage objectives.");
25        }
26        this.targetNumber = generateTargetNumber(this.objective);
27        this.operator = generateOperator(this.objective);
28        this.cells = new ArrayList<>();
29    }
30
31    private boolean isCageObjectiveValid(String cageObjective)
32    {
33        return cageObjective.matches("\\d+[*+-/=]");
34    }
35
36    private int generateTargetNumber(String objective)
37    {
38        return Integer.parseInt(objective.substring(0,
39                                     objective.length() - 1));
40    }
41
42    private char generateOperator(String objective)
43    {
44        return objective.charAt(objective.length() - 1);
45    }
46
47    public void addCell(Cell c)
48    {
49        cells.add(c);
50    }
51
52    public boolean isCageContainsNull()
53    {
54        for (int i = 0; i < cells.size(); i++)
55        {
56            if (cells.get(i).getValue() == null)
57            {
58                return true;
59            }
60        }
61        return false;
62    }
63
64    public Boolean isCageValuesValid()
65    {
66        if (countValue() == null)
67        {
68            return null;
69        }
70        else
71        {
72            return (countValue() == getTargetNumber());
73        }
74    }
75
76    private Integer countValue()
77    {
78        Integer value = null;
79        if (isCageContainsNull() == true)
80        {
81            value = null;
82        }
83        else
84        {
85            switch (getOperator())
86            {
87                case '+':
88                    value = 0;
89                    for (int i = 0; i < cells.size(); i++)
90                    {
91                        value += cells.get(i).getValue();
92                    }
93                    break;
94                case '-':
95                    if (cells.get(0).getValue() > cells.get(1).getValue())
96                    {
97                        value = cells.get(0).getValue()
98                            - cells.get(1).getValue();
99                    }
100                   else if (cells.get(1).getValue() > cells.get(0).getValue())
101                   {
102                       value = cells.get(1).getValue()
103                           - cells.get(0).getValue();
104                   }
105                   else
106                   {
107                       value = 0;
108                   }
109                   break;
110                case '*':
111                    value = 1;
112                    for (int i = 0; i < cells.size(); i++)
113                    {
114                        value *= cells.get(i).getValue();
115                    }
116                    break;
117                case '/':
118                    if (cells.get(0).getValue() > cells.get(1).getValue())

```

```

119     {
120         if (cells.get(0).getValue() == 0)
121             value = cells.get(0).getValue();
122         else
123             value = 0;
124     }
125     else if (cells.get(1).getValue() > cells.get(0).getValue())
126     {
127         if (cells.get(1).getValue() == 0)
128             value = cells.get(1).getValue();
129         else
130             value = 0;
131     }
132     else if (cells.get(1).getValue() < cells.get(0).getValue())
133     {
134         if (cells.get(1).getValue() == 0)
135             value = cells.get(0).getValue();
136         else
137             value = 0;
138     }
139     else
140     {
141         value = 0;
142     }
143     else
144     {
145         value = 0;
146     }
147     break;
148 case '=':
149     value = cells.get(0).getValue();
150     break;
151 default :
152     value = null;
153 }
154 }
155 return value;
156 }
157
158 public String getObjective()
159 {
160     return objective;
161 }
162
163 public int getTargetNumber()
164 {
165     return targetNumber;
166 }
167
168 public char getOperator()
169 {
170     return operator;
171 }
172
173 public ArrayList<Cell> getCells()
174 {
175     return cells;
176 }
177
178 public int getSize()
179 {
180     return cells.size();
181 }
182 }
183 }
184 }
```

Listing D.4: SolverBacktracking.java

```

1 package model;
2
3 public class SolverBacktracking
4 {
5
6     private final Grid grid;
7     private final Integer size;
8     private Grid solution;
9
10    public SolverBacktracking(Grid grid)
11    {
12        this.grid = grid;
13        this.size = grid.getSize();
14    }
15
16    public boolean solve()
17    {
18        if (solve(0, 0) == true)
19        {
20            this.solution = grid;
21            printGrid(solution.getGridContents());
22            return true;
23        }
24        else
25        {
26            return false;
27        }
28    }
29}
```

```

30    private boolean solve(int row, int column)
31    {
32        if (column >= size)
33        {
34            column = 0;
35            row++;
36            if (row >= size)
37            {
38                printGrid(grid.getGridContents());
39                return true;
40            }
41        }
42        for (int value = 1; value <= size; value++)
43        {
44            printGrid(grid.getGridContents());
45            if (grid.solverSetCellValue(row, column, value))
46            {
47                if (solve(row, column + 1))
48                {
49                    return true;
50                }
51            }
52        }
53        printGrid(grid.getGridContents());
54        grid.unsetCellValue(row, column);
55        return false;
56    }
57
58    public Grid getGrid()
59    {
60        return grid;
61    }
62
63    public Grid getSolution()
64    {
65        return solution;
66    }
67
68    private void printGrid(Cell[][] cells)
69    {
70        for (int i = 0; i < size; i++)
71        {
72            for (int j = 0; j < size; j++)
73            {
74                System.out.print(cells[i][j].getValue() + " ");
75            }
76            System.out.println("");
77        }
78        System.out.println("");
79    }
80}

```

Listing D.5: SolverHybridGenetic.java

```

1 package model;
2
3 public class SolverHybridGenetic
4 {
5
6     private final Grid grid;
7     private Grid gridRuleBased;
8     private final Integer size;
9     private Grid solution;
10    private final Integer generations;
11    private final Integer populationSize;
12    private final Double elitismRate;
13    private final Double mutationRate;
14    private final Double crossoverRate;
15
16    public SolverHybridGenetic(Grid grid, Integer generations,
17                               Integer populationSize, Double elitismRate, Double crossoverRate,
18                               Double mutationRate)
19    {
20        this.grid = grid;
21        this.size = grid.getSize();
22        this.generations = generations;
23        this.populationSize = populationSize;
24        this.elitismRate = elitismRate;
25        this.crossoverRate = crossoverRate;
26        this.mutationRate = mutationRate;
27    }
28
29    public boolean solve()
30    {
31        SolverRuleBased srb = new SolverRuleBased(grid);
32        boolean isFilled = srb.solve();
33        this.gridRuleBased = srb.getGrid();
34        if (isFilled)
35        {
36            this.solution = srb.getSolution();
37            printGrid(solution.getGridContents());
38            return true;
39        }
40        else
41        {
42            SolverGenetic sg = new SolverGenetic(gridRuleBased, generations,
43                                              populationSize, elitismRate, crossoverRate, mutationRate);

```

```

44        if (sg.solve() == true)
45        {
46            this.solution = sg.getSolution();
47            printGrid(solution.getGridContents());
48            return true;
49        }
50    }
51    return false;
52}
53
54 public Grid getGrid()
55{
56    return grid;
57}
58
59 public Grid getSolution()
60{
61    return solution;
62}
63
64 private void printGrid(Cell[][] cells)
65{
66    for (int i = 0; i < size; i++)
67    {
68        for (int j = 0; j < size; j++)
69        {
70            System.out.print(cells[i][j].getValue() + " ");
71        }
72        System.out.println("");
73    }
74    System.out.println("");
75}
76}
77}

```

Listing D.6: SolverRuleBased.java

```

1 package model;
2
3 import java.util.ArrayList;
4 import java.util.Collections;
5 import javax.swing.JOptionPane;
6
7 public class SolverRuleBased
8 {
9
10    private final Grid grid;
11    private final Integer size;
12    private Grid solution;
13    private ArrayList<Integer>[][] possibleValues;
14
15    public SolverRuleBased(Grid grid)
16    {
17        this.grid = grid;
18        this.size = grid.getSize();
19        this.possibleValues = generatePossibleValuesArray();
20    }
21
22    @SuppressWarnings("unchecked")
23    private ArrayList<Integer>[][] generatePossibleValuesArray()
24    {
25        possibleValues = new ArrayList[size][size];
26        for (int i = 0; i < size; i++)
27        {
28            for (int j = 0; j < size; j++)
29            {
30                possibleValues[i][j] = new ArrayList<Integer>();
31            }
32        }
33        for (int i = 0; i < size; i++)
34        {
35            for (int j = 0; j < size; j++)
36            {
37                for (int k = 1; k <= size; k++)
38                {
39                    possibleValues[i][j].add(k);
40                }
41            }
42        }
43        return possibleValues;
44    }
45
46    public boolean solve()
47    {
48        singleSquare();
49        killerCombination();
50        ArrayList<ArrayList<Integer>> currentGridArrayList
51        = getGridArrayList();
52        ArrayList<ArrayList<Integer>> newGridArrayList = solveLoop();
53        while (!currentGridArrayList.equals(newGridArrayList))
54        {
55            printGrid();
56            printPossibleValues();
57            currentGridArrayList = newGridArrayList;
58            newGridArrayList = solveLoop();
59        }
60        if (grid.isFilled())
61        {

```

```

62         this.solution = grid;
63         return true;
64     }
65     else
66     {
67         return false;
68     }
69 }
70
71 private ArrayList<ArrayList<Integer>> solveLoop()
72 {
73     nakedSingle();
74     nakedDouble();
75     hiddenSingle();
76     return getGridArrayList();
77 }
78
79 @SuppressWarnings("unchecked")
80 public ArrayList<Integer>[] getRowPossibleValues(int row)
81 {
82     ArrayList<Integer>[] array;
83     array = new ArrayList[size];
84     for (int i = 0; i < size; i++)
85     {
86         array[i] = possibleValues[row][i];
87     }
88     return array;
89 }
90
91 @SuppressWarnings("unchecked")
92 public ArrayList<Integer>[] getColumnPossibleValues(int column)
93 {
94     ArrayList<Integer>[] array;
95     array = new ArrayList[size];
96     for (int i = 0; i < size; i++)
97     {
98         array[i] = possibleValues[i][column];
99     }
100    return array;
101 }
102
103 private void singleSquare()
104 {
105     for (Cage c : grid.getCages())
106     {
107         if (c.getSize() == 1)
108         {
109             setCellValue(c.getCells().get(0).getRow(),
110                         c.getCells().get(0).getColumn(), c.getTargetNumber());
111         }
112     }
113 }
114
115 private void killerCombination()
116 {
117     int cageSize;
118     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();
119     for (Cage c : grid.getCages())
120     {
121         cageSize = c.getSize();
122         switch (cageSize)
123         {
124             case 2:
125                 killerCombinationCageSize2(c);
126                 break;
127             default:
128                 array = createRetainAllArray();
129                 removeImpossibleValuesCage(c, array);
130                 break;
131         }
132     }
133 }
134
135 private void killerCombinationCageSize2(Cage cage)
136 {
137     int gridSize = size;
138     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();
139     switch (gridSize)
140     {
141         case 3 :
142             array = killerCombinationCageSize2GridSize3(cage);
143             break;
144         case 4 :
145             array = killerCombinationCageSize2GridSize4(cage);
146             break;
147         case 5 :
148             array = killerCombinationCageSize2GridSize5(cage);
149             break;
150         case 6 :
151             array = killerCombinationCageSize2GridSize6(cage);
152             break;
153         case 7 :
154             array = killerCombinationCageSize2GridSize7(cage);
155             break;
156         case 8 :
157             array = killerCombinationCageSize2GridSize8(cage);
158             break;
159         case 9 :
160             array = killerCombinationCageSize2GridSize9(cage);

```

```

161     break;
162     default :
163         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid grid size .",
164             "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
165         throw new IllegalStateException("Invalid grid size .");
166     }
167     removeImpossibleValuesCage(cage, array);
168 }
169
170 private ArrayList<Integer> killerCombinationCageSize2GridSize3(Cage cage)
171 {
172     char cageOperator = cage.getOperator();
173     int cageTargetNumber = cage.getTargetNumber();
174     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();
175     switch (cageOperator)
176     {
177         case '+' :
178             switch (cageTargetNumber)
179             {
180                 case 3 :
181                     array.add(1);
182                     array.add(2);
183                     break;
184                 case 4 :
185                     array.add(1);
186                     array.add(3);
187                     break;
188                 case 5 :
189                     array.add(2);
190                     array.add(3);
191                     break;
192                 default :
193                     array = createRetainAllArray();
194                     break;
195             }
196             break;
197         case '-' :
198             switch (cageTargetNumber)
199             {
200                 case 2 :
201                     array.add(1);
202                     array.add(3);
203                     break;
204                 default :
205                     array = createRetainAllArray();
206                     break;
207             }
208             break;
209         case '*' :
210             switch (cageTargetNumber)
211             {
212                 case 2 :
213                     array.add(1);
214                     array.add(2);
215                     break;
216                 case 3 :
217                     array.add(1);
218                     array.add(3);
219                     break;
220                 case 6 :
221                     array.add(2);
222                     array.add(3);
223                     break;
224                 default :
225                     array = createRetainAllArray();
226                     break;
227             }
228             break;
229         case '/' :
230             switch (cageTargetNumber)
231             {
232                 case 2 :
233                     array.add(1);
234                     array.add(2);
235                     break;
236                 case 3 :
237                     array.add(1);
238                     array.add(3);
239                     break;
240                 default :
241                     array = createRetainAllArray();
242                     break;
243             }
244             break;
245         default :
246             JOptionPane.showMessageDialog(null,
247                 "Invalid operator .", "Error",
248                 JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
249             throw new IllegalStateException("Invalid operator .");
250     }
251     return array;
252 }
253
254 private ArrayList<Integer> killerCombinationCageSize2GridSize4(Cage cage)
255 {
256     char cageOperator = cage.getOperator();
257     int cageTargetNumber = cage.getTargetNumber();
258     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();
259     switch (cageOperator)

```

```

260|     {
261|         case '+':
262|             switch (cageTargetNumber)
263|             {
264|                 case 3:
265|                     array.add(1);
266|                     array.add(2);
267|                     break;
268|                 case 4:
269|                     array.add(1);
270|                     array.add(3);
271|                     break;
272|                 case 6:
273|                     array.add(2);
274|                     array.add(4);
275|                     break;
276|                 case 7:
277|                     array.add(3);
278|                     array.add(4);
279|                     break;
280|                 default:
281|                     array = createRetainAllArray();
282|                     break;
283|             }
284|             break;
285|         case '_':
286|             switch (cageTargetNumber)
287|             {
288|                 case 3:
289|                     array.add(1);
290|                     array.add(4);
291|                     break;
292|                 default:
293|                     array = createRetainAllArray();
294|                     break;
295|             }
296|             break;
297|         case '*':
298|             switch (cageTargetNumber)
299|             {
300|                 case 2:
301|                     array.add(1);
302|                     array.add(2);
303|                     break;
304|                 case 3:
305|                     array.add(1);
306|                     array.add(3);
307|                     break;
308|                 case 4:
309|                     array.add(1);
310|                     array.add(4);
311|                     break;
312|                 case 6:
313|                     array.add(2);
314|                     array.add(3);
315|                     break;
316|                 case 8:
317|                     array.add(2);
318|                     array.add(4);
319|                     break;
320|                 case 12:
321|                     array.add(3);
322|                     array.add(4);
323|                     break;
324|                 default:
325|                     array = createRetainAllArray();
326|                     break;
327|             }
328|             break;
329|         case '/':
330|             switch (cageTargetNumber)
331|             {
332|                 case 3:
333|                     array.add(1);
334|                     array.add(3);
335|                     break;
336|                 case 4:
337|                     array.add(1);
338|                     array.add(4);
339|                     break;
340|                 default:
341|                     array = createRetainAllArray();
342|                     break;
343|             }
344|             break;
345|         default:
346|             JOptionPane.showMessageDialog(null,
347|                                         "Invalid operator.", "Error",
348|                                         JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
349|             throw new IllegalStateException("Invalid operator.");
350|         }
351|         return array;
352|     }
353|
354|     private ArrayList<Integer> killerCombinationCageSize2GridSize5(Cage cage)
355|     {
356|         char cageOperator = cage.getOperator();
357|         int cageTargetNumber = cage.getTargetNumber();
358|         ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();

```

```

359     switch (cageOperator)
360     {
361         case '+':
362             switch (cageTargetNumber)
363             {
364                 case 3:
365                     array.add(1);
366                     array.add(2);
367                     break;
368                 case 4:
369                     array.add(1);
370                     array.add(3);
371                     break;
372                 case 8:
373                     array.add(3);
374                     array.add(5);
375                     break;
376                 case 9:
377                     array.add(4);
378                     array.add(5);
379                     break;
380                 default:
381                     array = createRetainAllArray();
382                     break;
383             }
384             break;
385         case '-':
386             switch (cageTargetNumber)
387             {
388                 case 4:
389                     array.add(1);
390                     array.add(5);
391                     break;
392                 default:
393                     array = createRetainAllArray();
394                     break;
395             }
396             break;
397         case '*':
398             switch (cageTargetNumber)
399             {
400                 case 2:
401                     array.add(1);
402                     array.add(2);
403                     break;
404                 case 3:
405                     array.add(1);
406                     array.add(3);
407                     break;
408                 case 4:
409                     array.add(1);
410                     array.add(4);
411                     break;
412                 case 5:
413                     array.add(1);
414                     array.add(5);
415                     break;
416                 case 6:
417                     array.add(2);
418                     array.add(3);
419                     break;
420                 case 8:
421                     array.add(2);
422                     array.add(4);
423                     break;
424                 case 10:
425                     array.add(2);
426                     array.add(5);
427                     break;
428                 case 12:
429                     array.add(3);
430                     array.add(4);
431                     break;
432                 case 15:
433                     array.add(3);
434                     array.add(5);
435                     break;
436                 case 20:
437                     array.add(4);
438                     array.add(5);
439                     break;
440                 default:
441                     array = createRetainAllArray();
442                     break;
443             }
444             break;
445         case '/':
446             switch (cageTargetNumber)
447             {
448                 case 3:
449                     array.add(1);
450                     array.add(3);
451                     break;
452                 case 4:
453                     array.add(1);
454                     array.add(4);
455                     break;
456                 case 5:
457                     array.add(1);

```

```

458         array.add(5);
459         break;
460     default :
461         array = createRetainAllArray();
462         break;
463     }
464     break;
465     default :
466         JOptionPane.showMessageDialog(null,
467             "Invalid operator.", "Error",
468             JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
469         throw new IllegalStateException("Invalid operator.");
470     }
471     return array;
472 }
473
474 private ArrayList<Integer> killerCombinationCageSize2GridSize6(Cage cage)
475 {
476     char cageOperator = cage.getOperator();
477     int cageTargetNumber = cage.getTargetNumber();
478     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();
479     switch (cageOperator)
480     {
481         case '+':
482             switch (cageTargetNumber)
483             {
484                 case 3:
485                     array.add(1);
486                     array.add(2);
487                     break;
488                 case 4:
489                     array.add(1);
490                     array.add(3);
491                     break;
492                 case 10:
493                     array.add(4);
494                     array.add(6);
495                     break;
496                 case 11:
497                     array.add(5);
498                     array.add(6);
499                     break;
500                 default:
501                     array = createRetainAllArray();
502                     break;
503             }
504             break;
505         case '-':
506             switch (cageTargetNumber)
507             {
508                 case 5:
509                     array.add(1);
510                     array.add(6);
511                     break;
512                 default:
513                     array = createRetainAllArray();
514                     break;
515             }
516             break;
517         case '*':
518             switch (cageTargetNumber)
519             {
520                 case 2:
521                     array.add(1);
522                     array.add(2);
523                     break;
524                 case 3:
525                     array.add(1);
526                     array.add(3);
527                     break;
528                 case 4:
529                     array.add(1);
530                     array.add(4);
531                     break;
532                 case 5:
533                     array.add(1);
534                     array.add(5);
535                     break;
536                 case 8:
537                     array.add(2);
538                     array.add(4);
539                     break;
540                 case 10:
541                     array.add(2);
542                     array.add(5);
543                     break;
544                 case 15:
545                     array.add(3);
546                     array.add(5);
547                     break;
548                 case 18:
549                     array.add(3);
550                     array.add(6);
551                     break;
552                 case 20:
553                     array.add(4);
554                     array.add(5);
555                     break;
556                 case 24:
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
223
```

```

557         array.add(4);
558         array.add(6);
559         break;
560     case 30 :
561         array.add(5);
562         array.add(6);
563         break;
564     default :
565         array = createRetainAllArray();
566         break;
567     }
568     break;
569 case '/':
570     switch (cageTargetNumber)
571     {
572         case 4 :
573             array.add(1);
574             array.add(4);
575             break;
576         case 5 :
577             array.add(1);
578             array.add(5);
579             break;
580         case 6 :
581             array.add(1);
582             array.add(6);
583             break;
584     default :
585         array = createRetainAllArray();
586         break;
587     }
588     break;
589 default :
590     JOptionPane.showMessageDialog(null,
591         "Invalid operator.", "Error",
592         JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
593     throw new IllegalStateException("Invalid operator.");
594 }
595 return array;
596 }
597
598 private ArrayList<Integer> killerCombinationCageSize2GridSize7(Cage cage)
599 {
600     char cageOperator = cage.getOperator();
601     int cageTargetNumber = cage.getTargetNumber();
602     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();
603     switch (cageOperator)
604     {
605         case '+':
606             switch (cageTargetNumber)
607             {
608                 case 3 :
609                     array.add(1);
610                     array.add(2);
611                     break;
612                 case 4 :
613                     array.add(1);
614                     array.add(3);
615                     break;
616                 case 12 :
617                     array.add(5);
618                     array.add(7);
619                     break;
620                 case 13 :
621                     array.add(6);
622                     array.add(7);
623                     break;
624             default :
625                 array = createRetainAllArray();
626                 break;
627             }
628             break;
629         case '-':
630             switch (cageTargetNumber)
631             {
632                 case 6 :
633                     array.add(1);
634                     array.add(7);
635                     break;
636             default :
637                 array = createRetainAllArray();
638                 break;
639             }
640             break;
641         case '*':
642             switch (cageTargetNumber)
643             {
644                 case 2 :
645                     array.add(1);
646                     array.add(2);
647                     break;
648                 case 3 :
649                     array.add(1);
650                     array.add(3);
651                     break;
652                 case 4 :
653                     array.add(1);
654                     array.add(4);
655                     break;

```

```

656         case 5 :
657             array.add(1);
658             array.add(5);
659             break;
660         case 7 :
661             array.add(1);
662             array.add(7);
663             break;
664         case 8 :
665             array.add(2);
666             array.add(4);
667             break;
668         case 10 :
669             array.add(2);
670             array.add(5);
671             break;
672         case 14 :
673             array.add(2);
674             array.add(7);
675             break;
676         case 15 :
677             array.add(3);
678             array.add(5);
679             break;
680         case 18 :
681             array.add(3);
682             array.add(6);
683             break;
684         case 20 :
685             array.add(4);
686             array.add(5);
687             break;
688         case 21 :
689             array.add(3);
690             array.add(7);
691             break;
692         case 24 :
693             array.add(4);
694             array.add(6);
695             break;
696         case 28 :
697             array.add(4);
698             array.add(7);
699             break;
700         case 30 :
701             array.add(5);
702             array.add(6);
703             break;
704         case 35 :
705             array.add(5);
706             array.add(7);
707             break;
708         case 42 :
709             array.add(6);
710             array.add(7);
711             break;
712     default :
713         array = createRetainAllArray();
714         break;
715     }
716     break;
717 case '/':
718     switch (cageTargetNumber)
719     {
720         case 4 :
721             array.add(1);
722             array.add(4);
723             break;
724         case 5 :
725             array.add(1);
726             array.add(5);
727             break;
728         case 6 :
729             array.add(1);
730             array.add(6);
731             break;
732         case 7 :
733             array.add(1);
734             array.add(7);
735             break;
736     default :
737         array = createRetainAllArray();
738         break;
739     }
740     break;
741 default :
742     JOptionPane.showMessageDialog(null,
743         "Invalid operator.", "Error",
744         JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
745     throw new IllegalStateException("Invalid operator.");
746 }
747 return array;
748 }
749
750 private ArrayList<Integer> killerCombinationCageSize2GridSize8(Cage cage)
751 {
752     char cageOperator = cage.getOperator();
753     int cageTargetNumber = cage.getTargetNumber();
754     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();

```

```

755     switch (cageOperator)
756     {
757         case '+':
758             switch (cageTargetNumber)
759             {
760                 case 3:
761                     array.add(1);
762                     array.add(2);
763                     break;
764                 case 4:
765                     array.add(1);
766                     array.add(3);
767                     break;
768                 case 14:
769                     array.add(6);
770                     array.add(8);
771                     break;
772                 case 15:
773                     array.add(7);
774                     array.add(8);
775                     break;
776                 default:
777                     array = createRetainAllArray();
778                     break;
779             }
780             break;
781         case '-':
782             switch (cageTargetNumber)
783             {
784                 case 7:
785                     array.add(1);
786                     array.add(8);
787                     break;
788                 default:
789                     array = createRetainAllArray();
790                     break;
791             }
792             break;
793         case '*':
794             switch (cageTargetNumber)
795             {
796                 case 2:
797                     array.add(1);
798                     array.add(2);
799                     break;
800                 case 3:
801                     array.add(1);
802                     array.add(3);
803                     break;
804                 case 4:
805                     array.add(1);
806                     array.add(4);
807                     break;
808                 case 5:
809                     array.add(1);
810                     array.add(5);
811                     break;
812                 case 7:
813                     array.add(1);
814                     array.add(7);
815                     break;
816                 case 10:
817                     array.add(2);
818                     array.add(5);
819                     break;
820                 case 14:
821                     array.add(2);
822                     array.add(7);
823                     break;
824                 case 15:
825                     array.add(3);
826                     array.add(5);
827                     break;
828                 case 16:
829                     array.add(2);
830                     array.add(8);
831                     break;
832                 case 18:
833                     array.add(3);
834                     array.add(6);
835                     break;
836                 case 20:
837                     array.add(4);
838                     array.add(5);
839                     break;
840                 case 21:
841                     array.add(3);
842                     array.add(7);
843                     break;
844                 case 28:
845                     array.add(4);
846                     array.add(7);
847                     break;
848                 case 30:
849                     array.add(5);
850                     array.add(6);
851                     break;
852                 case 32:
853                     array.add(4);

```



```
953         array = createRetainAllArray();
954         break;
955     }
956     break;
957 case '*':
958     switch (cageTargetNumber)
959     {
960         case 2:
961             array.add(1);
962             array.add(2);
963             break;
964         case 3:
965             array.add(1);
966             array.add(3);
967             break;
968         case 4:
969             array.add(1);
970             array.add(4);
971             break;
972         case 5:
973             array.add(1);
974             array.add(5);
975             break;
976         case 7:
977             array.add(1);
978             array.add(7);
979             break;
980         case 9:
981             array.add(1);
982             array.add(9);
983             break;
984         case 10:
985             array.add(2);
986             array.add(5);
987             break;
988         case 14:
989             array.add(2);
990             array.add(7);
991             break;
992         case 15:
993             array.add(3);
994             array.add(5);
995             break;
996         case 16:
997             array.add(2);
998             array.add(8);
999             break;
1000        case 20:
1001            array.add(4);
1002            array.add(5);
1003            break;
1004        case 21:
1005            array.add(3);
1006            array.add(7);
1007            break;
1008        case 27:
1009            array.add(3);
1010            array.add(9);
1011            break;
1012        case 28:
1013            array.add(4);
1014            array.add(7);
1015            break;
1016        case 30:
1017            array.add(5);
1018            array.add(6);
1019            break;
1020        case 32:
1021            array.add(4);
1022            array.add(8);
1023            break;
1024        case 35:
1025            array.add(5);
1026            array.add(7);
1027            break;
1028        case 36:
1029            array.add(4);
1030            array.add(9);
1031            break;
1032        case 40:
1033            array.add(5);
1034            array.add(8);
1035            break;
1036        case 42:
1037            array.add(6);
1038            array.add(7);
1039            break;
1040        case 45:
1041            array.add(5);
1042            array.add(9);
1043            break;
1044        case 48:
1045            array.add(6);
1046            array.add(8);
1047            break;
1048        case 54:
1049            array.add(6);
1050            array.add(9);
1051            break;
```

```

1052         case 56 :
1053             array.add(7);
1054             array.add(8);
1055             break;
1056         case 63 :
1057             array.add(7);
1058             array.add(9);
1059             break;
1060         case 72 :
1061             array.add(8);
1062             array.add(9);
1063             break;
1064         default :
1065             array = createRetainAllArray();
1066             break;
1067     }
1068     break;
1069     case '/' :
1070         switch (cageTargetNumber)
1071     {
1072         case 5 :
1073             array.add(1);
1074             array.add(5);
1075             break;
1076         case 6 :
1077             array.add(1);
1078             array.add(6);
1079             break;
1080         case 7 :
1081             array.add(1);
1082             array.add(7);
1083             break;
1084         case 8 :
1085             array.add(1);
1086             array.add(8);
1087             break;
1088         case 9 :
1089             array.add(1);
1090             array.add(9);
1091             break;
1092         default :
1093             array = createRetainAllArray();
1094             break;
1095     }
1096     break;
1097     default :
1098         JOptionPane.showMessageDialog(null,
1099             "Invalid operator.", "Error",
1100             JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
1101         throw new IllegalStateException("Invalid operator.");
1102     }
1103     return array;
1104 }
1105
1106 private void nakedSingle()
1107 {
1108     nakedSingleRow();
1109     nakedSingleColumn();
1110 }
1111
1112 private void nakedSingleRow()
1113 {
1114     for (int i = 0; i < size; i++)
1115     {
1116         nakedSingleRow(i);
1117     }
1118 }
1119
1120 private void nakedSingleRow(int row)
1121 {
1122     ArrayList<Integer>[] rowPossibleValues = getRowPossibleValues(row);
1123     for (int i = 0; i < rowPossibleValues.length; i++)
1124     {
1125         if (rowPossibleValues[i].size() == 1)
1126         {
1127             nakedSingle(row, i);
1128         }
1129     }
1130 }
1131
1132 private void nakedSingleColumn()
1133 {
1134     for (int i = 0; i < size; i++)
1135     {
1136         nakedSingleColumn(i);
1137     }
1138 }
1139
1140 private void nakedSingleColumn(int column)
1141 {
1142     ArrayList<Integer>[] columnPossibleValues =
1143         getColumnPossibleValues(column);
1144     for (int i = 0; i < columnPossibleValues.length; i++)
1145     {
1146         if (columnPossibleValues[i].size() == 1)
1147         {
1148             nakedSingle(i, column);
1149         }
1150     }
}

```

```

1151     }
1152 
1153     private void nakedSingle(int row, int column)
1154     {
1155         int value = possibleValues[row][column].get(0);
1156         setCellValue(row, column, value);
1157     }
1158 
1159     private void nakedDouble()
1160     {
1161         nakedDoubleRow();
1162         nakedDoubleColumn();
1163     }
1164 
1165     private void nakedDoubleRow()
1166     {
1167         for (int i = 0; i < size; i++)
1168         {
1169             nakedDoubleRow(i);
1170         }
1171     }
1172 
1173     private void nakedDoubleRow(int row)
1174     {
1175         ArrayList<Integer>[] rowPossibleValues = getRowPossibleValues(row);
1176         ArrayList<Integer> column2PossibleIndexes = new ArrayList<Integer>();
1177         ArrayList<ArrayList<Integer>> column2PossibleValues =
1178             new ArrayList<ArrayList<Integer>>();
1179         ArrayList<ArrayList<Integer>> uniquePossibleValues = new ArrayList<ArrayList<Integer>>();
1180         ArrayList<Integer> uniquePossibleValuesFrequency =
1181             new ArrayList<Integer>();
1182         for (int i = 0; i < rowPossibleValues.length; i++)
1183         {
1184             if (rowPossibleValues[i].size() == 2)
1185             {
1186                 column2PossibleIndexes.add(i);
1187                 column2PossibleValues.add(rowPossibleValues[i]);
1188             }
1189         }
1190         if (column2PossibleIndexes.size() >= 2
1191             && column2PossibleValues.size() >= 2)
1192         {
1193             for (int i = 0; i < column2PossibleValues.size(); i++)
1194             {
1195                 if (!uniquePossibleValues.contains(
1196                     column2PossibleValues.get(i)))
1197                 {
1198                     uniquePossibleValues.add(column2PossibleValues.get(i));
1199                 }
1200             }
1201             for (int i = 0; i < uniquePossibleValues.size(); i++)
1202             {
1203                 uniquePossibleValuesFrequency.add(Collections.frequency(
1204                     column2PossibleValues, uniquePossibleValues.get(i)));
1205             }
1206             for (int i = 0; i < uniquePossibleValuesFrequency.size(); i++)
1207             {
1208                 if (uniquePossibleValuesFrequency.get(i) == 2)
1209                 {
1210                     ArrayList<Integer> doublePossibleValues =
1211                         uniquePossibleValues.get(i);
1212                     ArrayList<Integer> doublePossibleIndexes =
1213                         new ArrayList<Integer>();
1214                     for (int j = 0; j < column2PossibleValues.size(); j++)
1215                     {
1216                         if (column2PossibleValues.get(j).equals(
1217                             uniquePossibleValues.get(i)))
1218                         {
1219                             doublePossibleIndexes.add(
1220                                 column2PossibleValues.get(j));
1221                         }
1222                     }
1223                     nakedDoubleRow(row, doublePossibleValues,
1224                         doublePossibleIndexes);
1225                 }
1226             }
1227         }
1228     }
1229 
1230     private void nakedDoubleRow(int row,
1231         ArrayList<Integer> doublePossibleValues,
1232         ArrayList<Integer> doublePossibleIndexes)
1233     {
1234         for (int i = 0; i < size; i++)
1235         {
1236             if (!doublePossibleIndexes.contains(i))
1237             {
1238                 possibleValues[row][i].removeAll(doublePossibleValues);
1239             }
1240         }
1241     }
1242 
1243     private void nakedDoubleColumn()
1244     {
1245         for (int i = 0; i < size; i++)
1246         {
1247             nakedDoubleColumn(i);
1248         }
1249     }

```

```

1250
1251     private void nakedDoubleColumn(int column)
1252     {
1253         ArrayList<Integer>[] columnPossibleValues =
1254             getColumnPossibleValues(column);
1255         ArrayList<Integer> row2PossibleIndexes = new ArrayList<Integer>();
1256         ArrayList<ArrayList<Integer>> row2PossibleValues = new ArrayList<ArrayList<Integer>>();
1257         ArrayList<ArrayList<Integer>> uniquePossibleValues = new ArrayList<ArrayList<Integer>>();
1258         ArrayList<Integer> uniquePossibleValuesFrequency =
1259             new ArrayList<Integer>();
1260         for (int i = 0; i < columnPossibleValues.length; i++)
1261         {
1262             if (columnPossibleValues[i].size() == 2)
1263             {
1264                 row2PossibleIndexes.add(i);
1265                 row2PossibleValues.add(columnPossibleValues[i]);
1266             }
1267         }
1268         if (row2PossibleIndexes.size() >= 2
1269             && row2PossibleValues.size() >= 2)
1270         {
1271             for (int i = 0; i < row2PossibleValues.size(); i++)
1272             {
1273                 if (!uniquePossibleValues.contains(
1274                     row2PossibleValues.get(i)))
1275                 {
1276                     uniquePossibleValues.add(row2PossibleValues.get(i));
1277                 }
1278             }
1279             for (int i = 0; i < uniquePossibleValues.size(); i++)
1280             {
1281                 uniquePossibleValuesFrequency.add(Collections.frequency(
1282                     row2PossibleValues, uniquePossibleValues.get(i)));
1283             }
1284             for (int i = 0; i < uniquePossibleValuesFrequency.size(); i++)
1285             {
1286                 if (uniquePossibleValuesFrequency.get(i) == 2)
1287                 {
1288                     ArrayList<Integer> doublePossibleValues =
1289                         uniquePossibleValues.get(i);
1290                     ArrayList<Integer> doublePossibleIndexes =
1291                         new ArrayList<Integer>();
1292                     for (int j = 0; j < row2PossibleValues.size(); j++)
1293                     {
1294                         if (row2PossibleValues.get(j).equals(
1295                             uniquePossibleValues.get(i)))
1296                         {
1297                             doublePossibleIndexes.add(
1298                                 row2PossibleIndexes.get(j));
1299                         }
1300                     }
1301                     nakedDoubleColumn(column, doublePossibleValues,
1302                         doublePossibleIndexes);
1303                 }
1304             }
1305         }
1306     }
1307
1308     private void nakedDoubleColumn(int column,
1309         ArrayList<Integer> doublePossibleValues,
1310         ArrayList<Integer> doublePossibleIndexes)
1311     {
1312         for (int i = 0; i < size; i++)
1313         {
1314             if (!doublePossibleIndexes.contains(i))
1315             {
1316                 possibleValues[i][column].removeAll(doublePossibleValues);
1317             }
1318         }
1319     }
1320
1321     private void hiddenSingle()
1322     {
1323         hiddenSingleRow();
1324         hiddenSingleColumn();
1325     }
1326
1327     private void hiddenSingleRow()
1328     {
1329         for (int i = 0; i < size; i++)
1330         {
1331             hiddenSingleRow(i);
1332         }
1333     }
1334
1335     private void hiddenSingleRow(int row)
1336     {
1337         ArrayList<Integer>[] rowPossibleValues = getRowPossibleValues(row);
1338         int[] possibleValuesFrequency = new int[size];
1339         ArrayList<Integer> columnValues = new ArrayList<Integer>();
1340         ArrayList<Integer> columnIndexes = new ArrayList<Integer>();
1341         for (ArrayList<Integer> rowPossibleValue : rowPossibleValues)
1342         {
1343             for (int i = 1; i <= possibleValuesFrequency.length; i++)
1344             {
1345                 if (rowPossibleValue.contains(i))
1346                 {
1347                     possibleValuesFrequency[i - 1]++;
1348                 }
1349             }
1350         }
1351     }

```

```

1349 }
1350     }
1351     for (int i = 0; i < possibleValuesFrequency.length; i++)
1352     {
1353         if (possibleValuesFrequency[i] == 1)
1354         {
1355             columnValues.add(i + 1);
1356         }
1357     }
1358     for (int i = 0; i < columnValues.size(); i++)
1359     {
1360         for (int j = 0; j < rowPossibleValues.length; j++)
1361         {
1362             if (rowPossibleValues[j].contains(columnValues.get(i)))
1363             {
1364                 columnIndexes.add(j);
1365             }
1366         }
1367     }
1368     for (int i = 0; i < columnValues.size(); i++)
1369     {
1370         if (rowPossibleValues[columnIndexes.get(i)].size() >= 2)
1371         {
1372             hiddenSingle(row, columnIndexes.get(i), columnValues.get(i));
1373         }
1374     }
1375 }
1376
1377 private void hiddenSingleColumn()
1378 {
1379     for (int i = 0; i < size; i++)
1380     {
1381         hiddenSingleColumn(i);
1382     }
1383 }
1384
1385 private void hiddenSingleColumn(int column)
1386 {
1387     ArrayList<Integer>[] columnPossibleValues
1388         = getColumnPossibleValues(column);
1389     int[] possibleValuesFrequency = new int[size];
1390     ArrayList<Integer> rowValues = new ArrayList<Integer>();
1391     ArrayList<Integer> rowIndexes = new ArrayList<Integer>();
1392     for (ArrayList<Integer> columnPossibleValue : columnPossibleValues)
1393     {
1394         for (int i = 1; i <= possibleValuesFrequency.length; i++)
1395         {
1396             if (columnPossibleValue.contains(i))
1397             {
1398                 possibleValuesFrequency[i - 1]++;
1399             }
1400         }
1401     }
1402     for (int i = 0; i < possibleValuesFrequency.length; i++)
1403     {
1404         if (possibleValuesFrequency[i] == 1)
1405         {
1406             rowValues.add(i + 1);
1407         }
1408     }
1409     for (int i = 0; i < rowValues.size(); i++)
1410     {
1411         for (int j = 0; j < columnPossibleValues.length; j++)
1412         {
1413             if (columnPossibleValues[j].contains(rowValues.get(i)))
1414             {
1415                 rowIndexes.add(j);
1416             }
1417         }
1418     }
1419     for (int i = 0; i < rowValues.size(); i++)
1420     {
1421         if (columnPossibleValues[rowIndexes.get(i)].size() >= 2)
1422         {
1423             hiddenSingle(rowIndexes.get(i), column, rowValues.get(i));
1424         }
1425     }
1426 }
1427
1428 private void hiddenSingle(int row, int column, int value)
1429 {
1430     setCellValue(row, column, value);
1431 }
1432
1433 private void setCellValue(int row, int column, int value)
1434 {
1435     grid.solverSetCellValue(row, column, value);
1436     removePossibleValues(row, column, value);
1437 }
1438
1439 private void removePossibleValues(int row, int column, int value)
1440 {
1441     possibleValues[row][column].clear();
1442     for (int i = 0; i < size; i++)
1443     {
1444         if (possibleValues[i][column].contains(value))
1445         {
1446             possibleValues[i][column].remove(
1447                 possibleValues[i][column].indexOf(value));
1448         }
1449     }
1450 }

```

```

1448         }
1449     }
1450     for (int i = 0; i < size; i++)
1451     {
1452         if (possibleValues[row][i].contains(value))
1453         {
1454             possibleValues[row][i].remove(
1455                 possibleValues[row][i].indexOf(value));
1456         }
1457     }
1458 }
1459
1460 private void removeImpossibleValuesCage(Cage cage,
1461         ArrayList<Integer> values)
1462 {
1463     for (int i = 0; i < cage.getSize(); i++)
1464     {
1465         removeImpossibleValuesCell(cage.getCells().get(i).getRow(),
1466             cage.getCells().get(i).getColumn(), values);
1467     }
1468 }
1469
1470 private void removeImpossibleValuesCell(int row, int column,
1471         ArrayList<Integer> values)
1472 {
1473     possibleValues[row][column].retainAll(values);
1474 }
1475
1476 private ArrayList<Integer> createRetainAllArray()
1477 {
1478     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();
1479     for (int i = 1; i <= size; i++)
1480     {
1481         array.add(i);
1482     }
1483     return array;
1484 }
1485
1486 public ArrayList<ArrayList<Integer>> getGridArrayList()
1487 {
1488     ArrayList<ArrayList<Integer>> gridArrayList = new ArrayList<>();
1489     for (int i = 0; i < size; i++)
1490     {
1491         ArrayList<Integer> gridArrayListRow = new ArrayList<Integer>();
1492         for (int j = 0; j < size; j++)
1493         {
1494             gridArrayListRow.add(grid.getCellValue(i, j));
1495         }
1496         gridArrayList.add(gridArrayListRow);
1497     }
1498     return gridArrayList;
1499 }
1500
1501 public Grid getGrid()
1502 {
1503     return grid;
1504 }
1505
1506 public Grid getSolution()
1507 {
1508     return solution;
1509 }
1510
1511 private void printGrid()
1512 {
1513     Cell[][] cells = grid.getGridContents();
1514     for (int i = 0; i < size; i++)
1515     {
1516         for (int j = 0; j < size; j++)
1517         {
1518             System.out.print(cells[i][j].getValue() + " ");
1519         }
1520         System.out.println("");
1521     }
1522     System.out.println("");
1523 }
1524
1525 private void printPossibleValues()
1526 {
1527     for (int i = 0; i < possibleValues.length; i++)
1528     {
1529         for (int j = 0; j < possibleValues[i].length; j++)
1530         {
1531             System.out.println("Row " + i + ", Column " + j);
1532             for (int k = 0; k < possibleValues[i][j].size(); k++)
1533             {
1534                 System.out.print(possibleValues[i][j].get(k) + " ");
1535             }
1536             System.out.println("");
1537         }
1538         System.out.println("");
1539     }
1540     System.out.println("");
1541 }
1542
1543 }

```

Listing D.7: SolverGenetic.java

```

1 package model;
2
3 import java.util.ArrayList;
4 import java.util.Collections;
5 import java.util.Random;
6
7 public class SolverGenetic
8 {
9
10    private final Grid grid;
11    private final Integer size;
12    private final boolean[][] isCellFixed;
13    private final Random randomGenerator;
14    private final Integer generations;
15    private final Integer populationSize;
16    private final Double elitismRate;
17    private final Double mutationRate;
18    private final Double crossoverRate;
19    private Grid solution;
20    private ArrayList<Chromosome> currentGeneration =
21        new ArrayList<Chromosome>();
22    private ArrayList<Chromosome> nextGeneration = new ArrayList<Chromosome>();
23
24    public SolverGenetic(Grid grid, Integer generations,
25        Integer populationSize, double elitismRate, double crossoverRate,
26        double mutationRate)
27    {
28        this.grid = grid;
29        this.size = grid.getSize();
30        this.generations = generations;
31        this.populationSize = populationSize;
32        this.elitismRate = elitismRate;
33        this.crossoverRate = crossoverRate;
34        this.mutationRate = mutationRate;
35        this.isCellFixed = generateIsCellFixedArray();
36        this.randomGenerator = new Random();
37        generatePopulation();
38        for (int i = 0; i < currentGeneration.size(); i++)
39        {
40            printGrid(currentGeneration.get(i).getGrid().getGridContents());
41            System.out.println(currentGeneration.get(i).getFitness());
42        }
43    }
44
45    public boolean solve()
46    {
47        for (int i = 0; i < generations; i++)
48        {
49            solveLoop();
50            sortChromosomes();
51            for (int j = 0; j < populationSize; j++)
52            {
53                printGrid(
54                    currentGeneration.get(j).getGrid().getGridContents());
55                System.out.println(currentGeneration.get(j).getFitness());
56                if (currentGeneration.get(j).getFitness() == 1.0)
57                {
58                    this.solution = currentGeneration.get(j).getGrid();
59                    return true;
60                }
61            }
62        }
63        return false;
64    }
65
66    private void solveLoop()
67    {
68        int elitismNumber = (int) Math.round(populationSize * elitismRate);
69        int mutationNumber = (int) Math.round(populationSize * mutationRate);
70        int crossoverNumber
71            = (int) Math.round((populationSize * crossoverRate) / 2);
72        sortChromosomes();
73        for (int i = 0; i < populationSize; i++)
74        {
75            printGrid(currentGeneration.get(i).getGrid().getGridContents());
76            System.out.println(currentGeneration.get(i).getFitness());
77        }
78        for (int i = 0; i < elitismNumber; i++)
79        {
80            if (!nextGeneration.contains(currentGeneration.get(i)))
81            {
82                nextGeneration.add(cloneChromosome(currentGeneration.get(i)));
83            }
84        }
85        for (int i = 0; i < mutationNumber; i++)
86        {
87            Chromosome parent = randomSelection(currentGeneration);
88            nextGeneration.add(mutation(parent));
89        }
90        for (int i = 0; i < crossoverNumber; i++)
91        {
92            nextGeneration.addAll(crossover(randomSelection(currentGeneration),
93                randomSelection(currentGeneration)));
94        }
95        if (nextGeneration.size() < populationSize)
96        {
97            while (nextGeneration.size() < populationSize)
98            {
99                nextGeneration.add(randomSelection(currentGeneration));

```

```

100         }
101     }
102     if (nextGeneration.size() > populationSize)
103     {
104         int extraChromosomes = nextGeneration.size() - populationSize;
105         for (int i = 0; i < extraChromosomes; i++)
106         {
107             int index = randomGenerator.nextInt(nextGeneration.size());
108             nextGeneration.remove(index);
109         }
110     }
111     currentGeneration = nextGeneration;
112     nextGeneration = new ArrayList<Chromosome>();
113 }
114
115 private boolean[][] generateIsCellFixedArray()
116 {
117     boolean[][] array = new boolean[size][size];
118     for (int i = 0; i < size; i++)
119     {
120         for (int j = 0; j < size; j++)
121         {
122             array[i][j] = grid.getCellValue(i, j) != null;
123         }
124     }
125     return array;
126 }
127
128 private void generatePopulation()
129 {
130     for (int i = 0; i < populationSize; i++)
131     {
132         currentGeneration.add(generateChromosome());
133     }
134 }
135
136 private Chromosome generateChromosome()
137 {
138     Grid chromosomeGrid = new Grid(size, grid.getNumberOfCages(),
139                                     grid.getCageCells(), grid.getCageObjectives());
140     for (int i = 0; i < size; i++)
141     {
142         for (int j = 0; j < size; j++)
143         {
144             if (grid.getCellValue(i, j) != null)
145             {
146                 chromosomeGrid.solverSetCellValue(i, j,
147                                                 grid.getCellValue(i, j));
148             }
149         }
150     }
151     for (int i = 0; i < size; i++)
152     {
153         for (int j = 0; j < size; j++)
154         {
155             if (!grid.getRow(i).contains(j + 1))
156             {
157                 int index = randomGenerator.nextInt(size);
158                 while (chromosomeGrid.getCellValue(i, index) != null)
159                 {
160                     index = randomGenerator.nextInt(size);
161                 }
162                 chromosomeGrid.solverSetCellValue(i, index, j + 1);
163             }
164         }
165     }
166     Chromosome c = new Chromosome(chromosomeGrid);
167     return c;
168 }
169
170 private void sortChromosomes()
171 {
172     Collections.sort(currentGeneration,
173                       new ChromosomeComparator().reversed());
174 }
175
176 private Chromosome randomSelection(ArrayList<Chromosome> chromosomes)
177 {
178     int randomIndex = randomGenerator.nextInt(chromosomes.size());
179     Chromosome c = cloneChromosome(chromosomes.get(randomIndex));
180     return c;
181 }
182
183 private Chromosome cloneChromosome(Chromosome c)
184 {
185     Grid gridClone = new Grid(size, grid.getNumberOfCages(),
186                               grid.getCageCells(), grid.getCageObjectives());
187     for (int i = 0; i < size; i++)
188     {
189         for (int j = 0; j < size; j++)
190         {
191             gridClone.solverSetCellValue(i, j,
192                                         c.getGrid().getCellValue(i, j));
193         }
194     }
195     Chromosome chromosomeClone = new Chromosome(gridClone);
196     return chromosomeClone;
197 }
198 }
```

```

199  private ArrayList<Chromosome> crossover(Chromosome parent1 ,
200  											 Chromosome parent2)
201 {
202     while (parent1 == parent2 || parent1.equals(parent2))
203     {
204         parent1 = randomSelection(currentGeneration);
205         parent2 = randomSelection(currentGeneration);
206     }
207     Grid childGrid1 = new Grid(size , grid.getNumberOfCages() ,
208     							 grid.getCageCells() , grid.getCageObjectives());
209     Grid childGrid2 = new Grid(size , grid.getNumberOfCages() ,
210     							 grid.getCageCells() , grid.getCageObjectives());
211     for (int i = 0; i < size; i++)
212     {
213         int randomIndex = randomGenerator.nextInt(2);
214         for (int j = 0; j < size; j++)
215         {
216             if (randomIndex == 0)
217             {
218                 childGrid1.solverSetCellValue(i , j ,
219                  parent1.getGrid().getCellValue(i , j));
220                 childGrid2.solverSetCellValue(i , j ,
221                  parent2.getGrid().getCellValue(i , j));
222             }
223             else
224             {
225                 childGrid1.solverSetCellValue(i , j ,
226                  parent2.getGrid().getCellValue(i , j));
227                 childGrid2.solverSetCellValue(i , j ,
228                  parent1.getGrid().getCellValue(i , j));
229             }
230         }
231     }
232     ArrayList<Chromosome> childChromosomes = new ArrayList<Chromosome>();
233     Chromosome child1 = new Chromosome(childGrid1);
234     Chromosome child2 = new Chromosome(childGrid2);
235     childChromosomes.add(child1);
236     childChromosomes.add(child2);
237     return childChromosomes;
238 }
239
240 private Chromosome mutation(Chromosome parent)
241 {
242     Grid childGrid = new Grid(size , grid.getNumberOfCages() ,
243     							 grid.getCageCells() , grid.getCageObjectives());
244     int randomRow = randomGenerator.nextInt(size);
245     int randomColumn1 = randomGenerator.nextInt(size);
246     int randomColumn2 = randomGenerator.nextInt(size);
247     while (isCellFixed[randomRow][randomColumn1] == true
248           || isCellFixed[randomRow][randomColumn2] == true
249           || randomColumn1 == randomColumn2)
250     {
251         randomRow = randomGenerator.nextInt(size);
252         randomColumn1 = randomGenerator.nextInt(size);
253         randomColumn2 = randomGenerator.nextInt(size);
254     }
255     for (int i = 0; i < size; i++)
256     {
257         if (i == randomRow)
258         {
259             childGrid.solverSetCellValue(i , randomColumn1 ,
260               parent.getGrid().getCellValue(i , randomColumn2));
261             childGrid.solverSetCellValue(i , randomColumn2 ,
262               parent.getGrid().getCellValue(i , randomColumn1));
263         }
264         for (int j = 0; j < size; j++)
265         {
266             if (childGrid.getCellValue(i , j) == null)
267             {
268                 childGrid.solverSetCellValue(i , j ,
269                   parent.getGrid().getCellValue(i , j));
270             }
271         }
272     }
273     Chromosome child = new Chromosome(childGrid);
274     return child;
275 }
276
277 public Grid getGrid()
278 {
279     return grid;
280 }
281
282 public Grid getSolution()
283 {
284     return solution;
285 }
286
287 private void printGrid(Cell[][][] cells)
288 {
289     for (int i = 0; i < size; i++)
290     {
291         for (int j = 0; j < size; j++)
292         {
293             System.out.print(cells[i][j].getValue() + " ");
294         }
295         System.out.println("");
296     }
297     System.out.println("");

```

```

298     }
299 }
300 }
```

Listing D.8: Chromosome.java

```

1 package model;
2
3 import java.util.Comparator;
4
5 public class Chromosome
6 {
7
8     private final Grid grid;
9     private final int size;
10    private final double fitness;
11
12    public Chromosome(Grid grid)
13    {
14        this.grid = grid;
15        this.size = grid.getSize();
16        this.fitness = setFitness();
17    }
18
19    private double setFitness()
20    {
21        double numberValidCells = 0;
22        double numberCells = size * size;
23        for (int i = 0; i < size; i++)
24        {
25            for (int j = 0; j < size; j++)
26            {
27                if (grid.solverIsCellValueValid(i, j) == true)
28                {
29                    numberValidCells++;
30                }
31            }
32        }
33        double value = numberValidCells / numberCells;
34        return value;
35    }
36
37    public double getFitness()
38    {
39        return fitness;
40    }
41
42    public Grid getGrid()
43    {
44        return grid;
45    }
46
47 }
48
49 class ChromosomeComparator implements Comparator<Chromosome>
50 {
51
52     @Override
53     public int compare(Chromosome c1, Chromosome c2)
54     {
55         if (c1.getFitness() - c2.getFitness() > 0)
56         {
57             return 1;
58         }
59         else if (c1.getFitness() - c2.getFitness() < 0)
60         {
61             return -1;
62         }
63         else
64         {
65             return 0;
66         }
67     }
68 }
69 }
```

Listing D.9: Controller.java

```

1 package controller;
2
3 import model.Grid;
4 import model.Cage;
5 import model.Cell;
6
7 public class Controller
8 {
9
10    private Grid g;
11
12    public Controller(Integer size, Integer numberOfCages,
13                      Integer [][] cageCells, String [] cageObjectives)
14    {
15        g = new Grid(size, numberOfCages, cageCells, cageObjectives);
16    }
17
18    public boolean setCellValue(int row, int column, int value)
```

```

19     {
20         return g.setCellValue(row, column, value);
21     }
22
23     public void unsetCellValue(int row, int column)
24     {
25         g.unsetCellValue(row, column);
26     }
27
28     public Boolean checkGrid()
29     {
30         return g.checkGrid();
31     }
32
33     public Integer getCellValue(int row, int column)
34     {
35         return g.setCellValue(row, column);
36     }
37
38     public Integer getSize()
39     {
40         return g.getSize();
41     }
42
43     public Integer getNumberOfCages()
44     {
45         return g.getNumberOfCages();
46     }
47
48     public Integer [][] getCageCells()
49     {
50         return g.getCageCells();
51     }
52
53     public String [] getCageObjectives()
54     {
55         return g.getCageObjectives();
56     }
57
58     public int getCageTargetNumber(int cageID)
59     {
60         return g.getCages()[cageID].getTargetNumber();
61     }
62
63     public char getCageOperator(int cageID)
64     {
65         return g.getCages()[cageID].getOperator();
66     }
67
68     public Cell [][] getGrid()
69     {
70         return g.getGridContents();
71     }
72
73     public Cage [] getCages()
74     {
75         return g.getCages();
76     }
77
78     public Grid getGame()
79     {
80         return g.getGame();
81     }
82 }
83

```

Listing D.10: Calcudoku.java

```

1 package view;
2
3 import controller.Controller;
4 import java.awt.Dimension;
5 import java.awt.EventQueue;
6 import java.awt.event.ActionEvent;
7 import java.awt.event.WindowAdapter;
8 import java.awt.event.WindowEvent;
9 import java.io.File;
10 import java.io.FileNotFoundException;
11 import java.util.NoSuchElementException;
12 import java.util.Scanner;
13 import javax.swing.JFileChooser;
14 import javax.swing.JFrame;
15 import javax.swing.JMenu;
16 import javax.swing.JMenuBar;
17 import javax.swing.JMenuItem;
18 import javax.swing.JOptionPane;
19 import javax.swing.filechooser.FileFilter;
20
21 public class Calcudoku extends JFrame
22 {
23
24     private File puzzleFile;
25     private Integer size;
26     private Integer numberOfCages;
27     private Integer [][] cageCells;
28     private String [] cageObjectives;
29     private Controller c;
30     private final JMenuBar menuBar;

```

```

31  private final JMenu menuFile;
32  private final JMenu menuSolve;
33  private final JMenuItem menuItemLoad;
34  private final JMenuItem menuItemReset;
35  private final JMenuItem menuItemClose;
36  private final JMenuItem menuItemCheck;
37  private final JMenuItem menuItemExit;
38  private final JMenuItem menuItemBacktracking;
39  private final JMenuItem menuItemHybridGenetic;
40  private final JMenuItem menuItemGeneticParameters;
41  private final JFileChooser fileChooser;
42  private GUI gui;
43
44  public Calcudoku()
45  {
46      this.menuBar = new JMenuBar();
47      this.menuFile = new JMenu();
48      this.menuSolve = new JMenu();
49      this.menuItemLoad = new JMenuItem();
50      this.menuItemReset = new JMenuItem();
51      this.menuItemClose = new JMenuItem();
52      this.menuItemCheck = new JMenuItem();
53      this.menuItemExit = new JMenuItem();
54      this.menuItemBacktracking = new JMenuItem();
55      this.menuItemHybridGenetic = new JMenuItem();
56      this.menuItemGeneticParameters = new JMenuItem();
57      this.fileChooser = new JFileChooser();
58      initComponents();
59  }
60
61  public static void main(String args[])
62  {
63      EventQueue.invokeLater(() ->
64      {
65          new Calcudoku().setVisible(true);
66      });
67  }
68
69  private void initComponents()
70  {
71      this.setTitle("Calcudoku");
72      this.setDefaultCloseOperation(JFrame.DO_NOTHING_ON_CLOSE);
73      this.setMinimumSize(new Dimension(216, 216));
74      this.setLocationRelativeTo(null);
75      this.setResizable(false);
76      initWindowListener();
77      initActionListeners();
78      initMenu();
79      initMenuBar();
80      this.validate();
81      this.revalidate();
82      this.pack();
83  }
84
85  private void initWindowListener()
86  {
87      this.addWindowListener(new WindowListener(this));
88  }
89
90  private void initActionListeners()
91  {
92      this.fileChooser.setFileFilter(new PuzzleFileFilter());
93      this.menuItemLoad.addActionListener(this::menuItemLoadActionPerformed);
94      this.menuItemReset.addActionListener(
95          this::menuItemResetActionPerformed);
96      this.menuItemCheck.addActionListener(
97          this::menuItemCheckActionPerformed);
98      this.menuItemClose.addActionListener(
99          this::menuItemCloseActionPerformed);
100     this.menuItemExit.addActionListener(this::menuItemExitActionPerformed);
101     this.menuItemBacktracking.addActionListener(
102         this::menuItemBacktrackingActionPerformed);
103     this.menuItemHybridGenetic.addActionListener(
104         this::menuItemHybridGeneticActionPerformed);
105     this.menuItemGeneticParameters.addActionListener(
106         this::menuItemGeneticParametersActionPerformed);
107  }
108
109  private void initMenu()
110  {
111      File directory = new File(System.getProperty("user.dir"));
112      this.menuFile.setText("File");
113      this.menuSolve.setText("Solve");
114      this.menuItemLoad.setText("Load_Puzzle_File");
115      this.menuItemReset.setText("Reset_Puzzle");
116      this.menuItemClose.setText("Close_Puzzle_File");
117      this.menuItemCheck.setText("Check_Puzzle");
118      this.menuItemExit.setText("Exit");
119      this.menuItemBacktracking.setText("Backtracking");
120      this.menuItemHybridGenetic.setText("Hybrid_Genetic");
121      this.menuItemGeneticParameters.setText(
122          "Set_Genetic_Algorithm_Parameters");
123      this.fileChooser.setDialogTitle("Load_Puzzle_File");
124      fileChooser.setCurrentDirectory(directory);
125  }
126
127  private void initMenuBar()
128  {
129      this.menuFile.add(menuItemLoad);

```

```

130    this.menuFile.add(menuItemReset);
131    this.menuFile.add(menuItemClose);
132    this.menuFile.addSeparator();
133    this.menuFile.add(menuItemCheck);
134    this.menuFile.addSeparator();
135    this.menuFile.add(menuItemExit);
136    this.menuBar.add(menuFile);
137    this.menuSolve.add(menuItemBacktracking);
138    this.menuSolve.add(menuItemHybridGenetic);
139    this.menuSolve.addSeparator();
140    this.menuSolve.add(menuItemGeneticParameters);
141    this.menuBar.add(menuSolve);
142    this.setJMenuBar(menuBar);
143}
144
145 private void menuItemLoadActionPerformed(ActionEvent evt)
146{
147    if (fileChooser.showOpenDialog(this) == JFileChooser.APPROVE_OPTION)
148    {
149        if (c != null && gui != null)
150        {
151            if ( JOptionPane.showConfirmDialog(null,
152                "Are you sure you want to load another puzzle file ?",
153                "Load Puzzle File", JOptionPane.YES_NO_OPTION)
154                == JOptionPane.YES_OPTION)
155            {
156                selectPuzzleFile();
157            }
158        }
159    }
160    else
161    {
162        selectPuzzleFile();
163    }
164}
165
166 private void selectPuzzleFile()
167{
168    this.puzzleFile = fileChooser.getSelectedFile();
169    try
170    {
171        if (puzzleFile.getAbsolutePath().endsWith(".txt"))
172        {
173            try
174            {
175                loadPuzzleFile(puzzleFile);
176            }
177            catch (IllegalStateException ise)
178            {
179                resetFrame();
180                clearVariables();
181                JOptionPane.showMessageDialog(null,
182                    "Error in loading puzzle file .", "Error",
183                    JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
184                throw new IllegalStateException("Error in loading "
185                    + "puzzle file .");
186            }
187        }
188    }
189    else
190    {
191        resetFrame();
192        clearVariables();
193        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid puzzle file .",
194            "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
195        throw new IllegalStateException("Invalid puzzle file .");
196    }
197    catch (FileNotFoundException fnfe)
198    {
199        resetFrame();
200        clearVariables();
201        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not found .",
202            "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
203        throw new IllegalStateException("Puzzle file not found .");
204    }
205}
206
207 private void menuItemResetActionPerformed(ActionEvent evt)
208{
209    if (c == null || gui == null)
210    {
211        resetFrame();
212        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded .",
213            "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
214        throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded .");
215    }
216    else
217    {
218        if ( JOptionPane.showConfirmDialog(null,
219            "Are you sure you want to reset this puzzle?", "Reset Puzzle",
220            JOptionPane.YES_NO_OPTION) == JOptionPane.YES_OPTION)
221        {
222            resetFrame();
223            this.c = new Controller(size, numberOfCages, cageCells,
224                cageObjectives);
225            this.gui = new GUI(c);
226            this.getContentPane().add(gui);
227            this.validate();
228            this.revalidate();

```

```

229         this.pack();
230         this.setLocationRelativeTo(null);
231         this.setTitle("Calcudoku[" + puzzleFile.getName() + "]");
232     }
233 }
234
235 private void menuItemCheckActionPerformed(ActionEvent evt)
236 {
237     if (c == null || gui == null)
238     {
239         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded.", "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
240         throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded.");
241     }
242     else
243     {
244         c.checkGrid();
245     }
246 }
247
248 private void menuItemCloseActionPerformed(ActionEvent evt)
249 {
250     if (c == null || gui == null)
251     {
252         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded.", "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
253         throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded.");
254     }
255     else
256     {
257         if (JOptionPane.showConfirmDialog(null,
258                                         "Are you sure you want to close this puzzle file?", "Close Puzzle File", JOptionPane.YES_NO_OPTION)
259             == JOptionPane.YES_OPTION)
260         {
261             resetFrame();
262             clearVariables();
263         }
264     }
265 }
266
267 private void menuItemExitActionPerformed(ActionEvent evt)
268 {
269     if (JOptionPane.showConfirmDialog(null,
270                                     "Are you sure you want to exit this application?", "Exit", JOptionPane.YES_NO_OPTION)
271         == JOptionPane.YES_OPTION)
272     {
273         destroyFrame();
274     }
275 }
276
277 private void menuItemBacktrackingActionPerformed(ActionEvent evt)
278 {
279     if (c == null || gui == null)
280     {
281         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded.", "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
282         throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded.");
283     }
284     else
285     {
286         gui.solveBacktracking();
287     }
288 }
289
290 private void menuItemHybridGeneticActionPerformed(ActionEvent evt)
291 {
292     if (c == null || gui == null)
293     {
294         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded.", "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
295         throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded.");
296     }
297     else
298     {
299         gui.solveHybridGenetic();
300     }
301 }
302
303 private void menuItemGeneticParametersActionPerformed(ActionEvent evt)
304 {
305     if (c == null || gui == null)
306     {
307         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded.", "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
308         throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded.");
309     }
310     else
311     {
312         GeneticParameters gp = new GeneticParameters(gui);
313         gp.setVisible(true);
314     }
315 }
316
317 private void loadPuzzleFile(File puzzleFile) throws FileNotFoundException
318 {
319     resetFrame();
320     clearVariables();
321 }
322
323
324 private void menuItemLoadActionPerformed(ActionEvent evt)
325 {
326     resetFrame();
327     clearVariables();
328 }

```

```

328     try
329     {
330         try (Scanner sc = new Scanner(puzzleFile))
331         {
332             this.size = sc.nextInt();
333             this.cageCells = new Integer[size][size];
334             this.numberOfCages = sc.nextInt();
335             this.cageObjectives = new String[numberOfCages];
336             for (int i = 0; i < size; i++)
337             {
338                 for (int j = 0; j < size; j++)
339                 {
340                     this.cageCells[i][j] = sc.nextInt();
341                 }
342             }
343             for (int i = 0; i < numberOfCages; i++)
344             {
345                 this.cageObjectives[i] = sc.next();
346             }
347             if (sc.hasNext())
348             {
349                 JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid puzzle file .",
350                     "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
351                 throw new IllegalStateException("Invalid puzzle file .");
352             }
353             sc.close();
354         }
355         this.c = new Controller(size, numberOfCages, cageCells,
356             cageObjectives);
357         this.gui = new GUI(c);
358         this.getContentPane().add(gui);
359         this.validate();
360         this.revalidate();
361         this.pack();
362         this.setLocationRelativeTo(null);
363         this.puzzleFile = puzzleFile;
364         this.setTitle("Calcudoku (" + puzzleFile.getName() + ")");
365     }
366     catch (NoSuchElementException nsee)
367     {
368         resetFrame();
369         clearVariables();
370         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid puzzle file .",
371             "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
372         throw new IllegalStateException("Invalid puzzle file .");
373     }
374 }
375
376 private void resetFrame()
377 {
378     this.getContentPane().removeAll();
379     this.c = null;
380     this.setTitle("Calcudoku");
381     this.validate();
382     this.revalidate();
383     this.pack();
384     this.setLocationRelativeTo(null);
385 }
386
387 private void clearVariables()
388 {
389     this.puzzleFile = null;
390     this.size = null;
391     this.cageCells = null;
392     this.numberOfCages = null;
393     this.cageObjectives = null;
394 }
395
396 public void destroyFrame()
397 {
398     resetFrame();
399     clearVariables();
400     this.dispose();
401 }
402 }
403 }
404
405 class WindowListener extends WindowAdapter
406 {
407
408     private final Calcudoku frame;
409
410     public WindowListener(Calcudoku frame)
411     {
412         this.frame = frame;
413     }
414
415     @Override
416     public void windowClosing(WindowEvent e)
417     {
418         if (JOptionPane.showConfirmDialog(null,
419             "Are you sure you want to exit the application?", "Exit",
420             JOptionPane.YES_NO_OPTION) == JOptionPane.YES_OPTION)
421         {
422             frame.destroyFrame();
423         }
424     }
425
426     @Override

```

```

427     public void windowClosed(WindowEvent e)
428     {
429         System.exit(0);
430     }
431 }
432 }
433
434 class PuzzleFileFilter extends FileFilter
435 {
436
437     @Override
438     public boolean accept(File puzzleFile)
439     {
440         return puzzleFile.isDirectory()
441             || puzzleFile.getAbsolutePath().endsWith(".txt");
442     }
443
444     @Override
445     public String getDescription()
446     {
447         return "Text documents (*.txt)";
448     }
449 }
450 }
```

Listing D.11: GUI.java

```

1 package view;
2
3 import controller.Controller;
4 import java.awt.Color;
5 import java.awt.Dimension;
6 import java.awt.Font;
7 import java.awt.GridLayout;
8 import java.awt.Point;
9 import java.awt.event.ActionEvent;
10 import java.awt.event.ActionListener;
11 import java.awt.event.KeyEvent;
12 import java.awt.event.KeyListener;
13 import java.util.HashMap;
14 import java.util.Map;
15 import java.util.Objects;
16 import javax.swing.BorderFactory;
17 import javax.swing.JMenuItem;
18 import javax.swing.JOptionPane;
19 import javax.swing.JPanel;
20 import javax.swing.JPopupMenu;
21 import javax.swing.JTextField;
22 import javax.swing.event.DocumentEvent;
23 import javax.swing.event.DocumentListener;
24 import model.Cage;
25 import model.Cell;
26 import model.Grid;
27 import model.SolverBacktracking;
28 import model.SolverHybridGenetic;
29
30 public class GUI extends JPanel
31 {
32
33     private final Controller c;
34     private final Grid game;
35     private final Integer size;
36     private final Integer numberCages;
37     private final Integer[][] cageCells;
38     private final String[] cageObjectives;
39     private final Cell[][] grid;
40     private final Cage[][] cages;
41     private final JTextField[][] textFields;
42     private final Map<JTextField, Point> textFieldCoordinates;
43     private final CellTextFieldListener[][] cellTextFieldListeners;
44     private final Font font;
45     private final int cellSize;
46     private final int cellBorderWidth;
47     private final int cageBorderWidth;
48     private Integer generations;
49     private Integer populationSize;
50     private Double elitismRate;
51     private Double crossoverRate;
52     private Double mutationRate;
53
54     public GUI(Controller c)
55     {
56         this.c = c;
57         this.game = c.getGame();
58         this.size = c.getSize();
59         this.cageCells = c.getCageCells();
60         this.numberCages = c.getNumberOfCages();
61         this.cageObjectives = c.getCageObjectives();
62         this.grid = c.getGrid();
63         this.cages = c.getCages();
64         this.textFields = new JTextField[size][size];
65         this.textFieldCoordinates = new HashMap<>();
66         this.cellTextFieldListeners = new CellTextFieldListener[size][size];
67         this.font = new Font("Courier_New", Font.CENTER_BASELINE, 36);
68         this.cellSize = 72;
69         this.cellBorderWidth = 1;
70         this.cageBorderWidth = 3;
71         initComponents();
```

```

72 }
73
74 private void initComponents()
75 {
76     this.setPreferredSize(new Dimension(cellSize * size, cellSize * size));
77     this.setLayout(new GridLayout(size, size));
78     initTextFields();
79 }
80
81 public Controller getController()
82 {
83     return c;
84 }
85
86 public Integer getGridSize()
87 {
88     return size;
89 }
90
91 public Integer getNumberOfCages()
92 {
93     return numberOfCages;
94 }
95
96 public Integer [][] getCageCells()
97 {
98     return cageCells;
99 }
100
101 public String [] getCageObjectives()
102 {
103     return cageObjectives;
104 }
105
106 public Cell [][] getGrid()
107 {
108     return grid;
109 }
110
111 public Cage [] getCages()
112 {
113     return cages;
114 }
115
116 public void setGeneticAlgorithmParameters(Integer generations,
117                                         Integer populationSize, Double elitismRate, Double crossoverRate,
118                                         Double mutationRate)
119 {
120     this.generations = generations;
121     this.populationSize = populationSize;
122     this.elitismRate = elitismRate;
123     this.crossoverRate = crossoverRate;
124     this.mutationRate = mutationRate;
125 }
126
127 private void initTextFields()
128 {
129     for (int y = 0; y < size; y++)
130     {
131         for (int x = 0; x < size; x++)
132         {
133             JTextField textField = new JTextField();
134             textField.addKeyListener(new CellKeyListener(this));
135             cellTextFieldListeners[y][x] = new CellTextFieldListener(c,
136                           textField, y, x);
137             textField.getDocument().addDocumentListener(
138                 cellTextFieldListeners[y][x]);
139             textFieldCoordinates.put(textField, new Point(x, y));
140             textFields[y][x] = textField;
141         }
142     }
143     for (int y = 0; y < size; y++)
144     {
145         for (int x = 0; x < size; x++)
146         {
147             JTextField textField = textFields[y][x];
148             int cageID;
149             int topBorderWidth;
150             int leftBorderWidth;
151             int bottomBorderWidth;
152             int rightBorderWidth;
153             if (y == 0)
154             {
155                 topBorderWidth = cageBorderWidth;
156                 if (Objects.equals(cageCells[y][x], cageCells[y + 1][x]))
157                 {
158                     bottomBorderWidth = cellBorderWidth;
159                 }
160                 else
161                 {
162                     bottomBorderWidth = cageBorderWidth;
163                 }
164             }
165             else if (y == size - 1)
166             {
167                 bottomBorderWidth = cageBorderWidth;
168                 if (Objects.equals(cageCells[y][x], cageCells[y - 1][x]))
169                 {
170                     topBorderWidth = cellBorderWidth;
171                 }
172             }
173         }
174     }
175 }
176
177 
```

```

171         }
172     else
173     {
174         topBorderWidth = cageBorderWidth;
175     }
176 }
177 else
178 {
179     if (Objects.equals(cageCells[y][x], cageCells[y + 1][x]))
180     {
181         bottomBorderWidth = cellBorderWidth;
182     }
183     else
184     {
185         bottomBorderWidth = cageBorderWidth;
186     }
187     if (Objects.equals(cageCells[y][x], cageCells[y - 1][x]))
188     {
189         topBorderWidth = cellBorderWidth;
190     }
191     else
192     {
193         topBorderWidth = cageBorderWidth;
194     }
195 }
196 if (x == 0)
197 {
198     leftBorderWidth = cageBorderWidth;
199     if (Objects.equals(cageCells[y][x], cageCells[y][x + 1]))
200     {
201         rightBorderWidth = cellBorderWidth;
202     }
203     else
204     {
205         rightBorderWidth = cageBorderWidth;
206     }
207 }
208 else if (x == size - 1)
209 {
210     rightBorderWidth = cageBorderWidth;
211     if (Objects.equals(cageCells[y][x], cageCells[y][x - 1]))
212     {
213         leftBorderWidth = cellBorderWidth;
214     }
215     else
216     {
217         leftBorderWidth = cageBorderWidth;
218     }
219 }
220 else
221 {
222     if (Objects.equals(cageCells[y][x], cageCells[y][x + 1]))
223     {
224         rightBorderWidth = cellBorderWidth;
225     }
226     else
227     {
228         rightBorderWidth = cageBorderWidth;
229     }
230     if (Objects.equals(cageCells[y][x], cageCells[y][x - 1]))
231     {
232         leftBorderWidth = cellBorderWidth;
233     }
234     else
235     {
236         leftBorderWidth = cageBorderWidth;
237     }
238 }
239 cageID = grid[y][x].get CageID();
240 textField.setToolTipText(cages[cageID].getObjective());
241 textField.set Border(BorderFactory.create MatteBorder(
242     topBorderWidth, leftBorderWidth, bottomBorderWidth,
243     rightBorderWidth, Color.BLACK));
244 textField.setFont(font);
245 textField.setHorizontal Alignment(JTextField.CENTER);
246 textField.setPreferred Size(new Dimension(cellSize, cellSize));
247 JPopupMenu popupMenu = new JPopupMenu();
248 for (int i = 1; i <= size; i++)
249 {
250     JMenuItem menuItem = new JMenuItem("" + i);
251     popupMenu.add(menuItem);
252     menuItem.addActionListener(new PopupMenuListener(textField,
253         i));
254 }
255 textField.add(popupMenu);
256 textField.setComponentPopupMenu(popupMenu);
257 }
258 }
259 for (int y = 0; y < size; y++)
260 {
261     for (int x = 0; x < size; x++)
262     {
263         this.add(textFields[y][x]);
264     }
265 }
266
267 public void solveBacktracking()
268 {

```

```

270    removeCellTextFieldListeners();
271    clearGrid();
272    Cell[][] solution;
273    float startTime = System.nanoTime();
274    float endTime;
275    float duration;
276    SolverBacktracking sb = new SolverBacktracking(game);
277    if (sb.solve() == true)
278    {
279        solution = sb.getSolution().getGridContents();
280        printGridToScreen(solution);
281        endTime = System.nanoTime();
282        duration = (endTime - startTime) / 1000000000;
283        System.out.println("The backtracking algorithm has successfully "
284            + "solved the puzzle." + "\nTime elapsed:" + duration
285            + " seconds");
286        JOptionPane.showMessageDialog(null,
287            "The backtracking algorithm has successfully solved the "
288            + "puzzle." + "\nTime elapsed:" + duration
289            + " seconds", "Information",
290            JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
291    }
292    else
293    {
294        endTime = System.nanoTime();
295        duration = (endTime - startTime) / 1000000000;
296        System.out.println("The backtracking algorithm has failed to solve "
297            + "the puzzle." + "\nTime elapsed:" + duration
298            + " seconds");
299        JOptionPane.showMessageDialog(null,
300            "The backtracking algorithm has failed to solve the "
301            + "puzzle." + "\nTime elapsed:" + duration
302            + " seconds", "Information",
303            JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
304    }
305    addCellTextFieldListeners();
306}
307
308 public void solveHybridGenetic()
309{
310    if (generations == null || populationSize == null
311        || elitismRate == null || crossoverRate == null
312        || mutationRate == null)
313    {
314        JOptionPane.showMessageDialog(null,
315            "Genetic algorithm parameters have not been set.",
316            "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
317        throw new IllegalStateException(
318            "Genetic algorithm parameters have not been set.");
319    }
320    else
321    {
322        removeCellTextFieldListeners();
323        clearGrid();
324        Cell[][] solution;
325        float startTime = System.nanoTime();
326        float endTime;
327        float duration;
328        SolverHybridGenetic shg = new SolverHybridGenetic(game, generations,
329            populationSize, elitismRate, crossoverRate, mutationRate);
330        if (shg.solve() == true)
331        {
332            solution = shg.getSolution().getGridContents();
333            printGridToScreen(solution);
334            endTime = System.nanoTime();
335            duration = (endTime - startTime) / 1000000000;
336            System.out.println("The hybrid genetic algorithm has successfully "
337                + "solved the puzzle." + "\nTime elapsed:" + duration
338                + " seconds");
339            JOptionPane.showMessageDialog(null,
340                "The hybrid genetic algorithm has successfully solved the "
341                + "puzzle." + "\nTime elapsed:" + duration
342                + " seconds", "Information",
343                JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
344        }
345        else
346        {
347            endTime = System.nanoTime();
348            duration = (endTime - startTime) / 1000000000;
349            System.out.println("The hybrid genetic algorithm has failed to "
350                + "solve the puzzle." + "\nTime elapsed:" + duration
351                + " seconds");
352            JOptionPane.showMessageDialog(null,
353                "The hybrid genetic algorithm has failed to solve the "
354                + "puzzle." + "\nTime elapsed:" + duration
355                + " seconds", "Information",
356                JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
357        }
358        addCellTextFieldListeners();
359    }
360}
361
362 private void printGridToScreen(Cell[][] grid)
363{
364    for (int x = 0; x < size; x++)
365    {
366        for (int y = 0; y < size; y++)
367        {
368            String value = Integer.toString(grid[x][y].getValue());

```

```

369         textFields[x][y].setText(value);
370     }
371   }
372 }
373
374 private void clearGrid()
375 {
376   for (int i = 0; i < size; i++)
377   {
378     for (int j = 0; j < size; j++)
379     {
380       c.unsetCellValue(i, j);
381     }
382   }
383 }
384
385 private void addCellTextFieldListeners()
386 {
387   for (int x = 0; x < size; x++)
388   {
389     for (int y = 0; y < size; y++)
390     {
391       textFields[x][y].getDocument().addDocumentListener(
392         cellTextFieldListeners[x][y]);
393     }
394   }
395 }
396
397 private void removeCellTextFieldListeners()
398 {
399   for (int x = 0; x < size; x++)
400   {
401     for (int y = 0; y < size; y++)
402     {
403       textFields[x][y].getDocument().removeDocumentListener(
404         cellTextFieldListeners[x][y]);
405     }
406   }
407 }
408
409 public void moveCursor(JTextField textField, int keyCode)
410 {
411   Point coordinates = textFieldCoordinates.get(textField);
412   switch (keyCode)
413   {
414     case KeyEvent.VK_LEFT:
415       if (coordinates.x > 0)
416       {
417         textFields[coordinates.y][coordinates.x - 1].requestFocus();
418       }
419       break;
420     case KeyEvent.VK_KP_LEFT:
421       if (coordinates.x > 0)
422       {
423         textFields[coordinates.y][coordinates.x - 1].requestFocus();
424       }
425       break;
426     case KeyEvent.VK_UP:
427       if (coordinates.y > 0)
428       {
429         textFields[coordinates.y - 1][coordinates.x].requestFocus();
430       }
431       break;
432     case KeyEvent.VK_KP_UP:
433       if (coordinates.y > 0)
434       {
435         textFields[coordinates.y - 1][coordinates.x].requestFocus();
436       }
437       break;
438     case KeyEvent.VK_RIGHT:
439       if (coordinates.x < size - 1)
440       {
441         textFields[coordinates.y][coordinates.x + 1].requestFocus();
442       }
443       break;
444     case KeyEvent.VK_KP_RIGHT:
445       if (coordinates.x < size - 1)
446       {
447         textFields[coordinates.y][coordinates.x + 1].requestFocus();
448       }
449       break;
450     case KeyEvent.VK_DOWN:
451       if (coordinates.y < size - 1)
452       {
453         textFields[coordinates.y + 1][coordinates.x].requestFocus();
454       }
455       break;
456     case KeyEvent.VK_KP_DOWN:
457       if (coordinates.y < size - 1)
458       {
459         textFields[coordinates.y + 1][coordinates.x].requestFocus();
460       }
461       break;
462   }
463 }
464
465 }
466
467 class CellKeyListener implements KeyListener

```

```

468 {
469     private final GUI gui;
470
471     CellKeyListener(GUI gui)
472     {
473         this.gui = gui;
474     }
475
476     @Override
477     public void keyPressed(KeyEvent e)
478     {
479         int keyCode = e.getKeyCode();
480         JTextField textField = (JTextField) e.getSource();
481         switch (keyCode)
482         {
483             case KeyEvent.VK_LEFT :
484                 e.consume();
485                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_LEFT);
486                 break;
487             case KeyEvent.VK_UP :
488                 e.consume();
489                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_UP);
490                 break;
491             case KeyEvent.VK_RIGHT :
492                 e.consume();
493                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_RIGHT);
494                 break;
495             case KeyEvent.VK_DOWN :
496                 e.consume();
497                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_DOWN);
498                 break;
499             case KeyEvent.VK_KP_LEFT :
500                 e.consume();
501                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_KP_LEFT);
502                 break;
503             case KeyEvent.VK_KP_UP :
504                 e.consume();
505                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_KP_UP);
506                 break;
507             case KeyEvent.VK_KP_RIGHT :
508                 e.consume();
509                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_KP_RIGHT);
510                 break;
511             case KeyEvent.VK_KP_DOWN :
512                 e.consume();
513                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_KP_DOWN);
514                 break;
515         }
516     }
517 }
518
519     @Override
520     public void keyTyped(KeyEvent e)
521     {
522         JTextField textField = (JTextField) e.getSource();
523         char c = e.getKeyChar();
524         if (!Character.isDigit(c))
525         {
526             e.consume();
527         }
528         String gridSize = "" + gui.getGridSize();
529         int gridSizeDigits = gridSize.length();
530         if (textField.getText().length() >= gridSizeDigits)
531         {
532             e.consume();
533         }
534     }
535
536     @Override
537     public void keyReleased(KeyEvent e)
538     {
539     }
540 }
541
542 }
543
544 class PopupMenuItemListener implements ActionListener
545 {
546
547     private final JTextField textField;
548     private final int number;
549
550     PopupMenuItemListener(JTextField textField, int number)
551     {
552         this.textField = textField;
553         this.number = number;
554     }
555
556     @Override
557     public void actionPerformed(ActionEvent e)
558     {
559         textField.setText(number + "");
560     }
561 }
562
563
564 class CellTextFieldListener implements DocumentListener
565 {
566

```

```

567     private final Controller c;
568     private final JTextField textField;
569     private final int x;
570     private final int y;
571
572     public CellTextFieldListener(Controller c, JTextField textField, int x,
573                                 int y)
574     {
575         this.c = c;
576         this.textField = textField;
577         this.x = x;
578         this.y = y;
579     }
580
581     @Override
582     public void insertUpdate(DocumentEvent e)
583     {
584         Integer value = Integer.parseInt(textField.getText());
585         c.setCellValue(x, y, value);
586     }
587
588     @Override
589     public void removeUpdate(DocumentEvent e)
590     {
591         c.unsetCellValue(x, y);
592     }
593
594     @Override
595     public void changedUpdate(DocumentEvent e)
596     {
597         Integer value = Integer.parseInt(textField.getText());
598         c.unsetCellValue(x, y);
599         c.setCellValue(x, y, value);
600     }
601 }
602 }
```

Listing D.12: GeneticParameters.java

```

1 package view;
2
3 import java.awt.event.ActionEvent;
4 import javax.swing.GroupLayout;
5 import javax.swing.JButton;
6 import javax.swing.JFrame;
7 import javax.swing.JLabel;
8 import javax.swing.JOptionPane;
9 import javax.swing.JTextField;
10 import javax.swing.SwingConstants;
11 import javax.swing.WindowConstants;
12
13 public class GeneticParameters extends JFrame
14 {
15
16     private final GUI gui;
17     private final JLabel labelGenerations;
18     private final JLabel labelPopulation;
19     private final JLabel labelElitism;
20     private final JLabel labelCrossover;
21     private final JLabel labelMutation;
22     private final JTextField textFieldGenerations;
23     private final JTextField textFieldPopulation;
24     private final JTextField textFieldElitism;
25     private final JTextField textFieldCrossover;
26     private final JTextField textFieldMutation;
27     private final JButton buttonOK;
28     private final JButton buttonCancel;
29
30     /**
31      * Creates new form Test
32      */
33     public GeneticParameters(GUI gui)
34     {
35         this.gui = gui;
36         labelGenerations = new JLabel();
37         labelPopulation = new JLabel();
38         labelElitism = new JLabel();
39         labelCrossover = new JLabel();
40         labelMutation = new JLabel();
41         textFieldGenerations = new JTextField();
42         textFieldPopulation = new JTextField();
43         textFieldElitism = new JTextField();
44         textFieldCrossover = new JTextField();
45         textFieldMutation = new JTextField();
46         buttonOK = new JButton();
47         buttonCancel = new JButton();
48         initComponents();
49         this.setVisible(true);
50     }
51
52     private void initComponents()
53     {
54         this.setTitle("Set Genetic Algorithm Parameters");
55         this.setDefaultCloseOperation(WindowConstants.EXIT_ON_CLOSE);
56         this.setLocationRelativeTo(null);
57         this.setResizable(false);
58         labelGenerations.setText("Generations");
59         labelPopulation.setText("Population Size");
```

```

60     labelElitism.setText("Elitism Rate");
61     labelCrossover.setText("Crossover Rate");
62     labelMutation.setText("Mutation Rate");
63     buttonOK.setText("OK");
64     buttonCancel.setText("Cancel");
65     initGUI();
66     initActionListeners();
67 }
68
69 private void initActionListeners()
70 {
71     this.buttonOK.addActionListener(this::buttonOKActionPerformed);
72     this.buttonCancel.addActionListener(this::buttonCancelActionPerformed);
73 }
74
75 private void initGUI()
76 {
77     GroupLayout layout = new GroupLayout(this.getContentPane());
78     this.getContentPane().setLayout(layout);
79     layout.setHorizontalGroup(
80         layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.LEADING)
81             .addGroup(layout.createSequentialGroup()
82                 .addGap(18, 18, 18)
83                 .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.LEADING)
84                     .addGroup(layout.createSequentialGroup()
85                         .addComponent(labelGenerations)
86                         .addComponent(labelPopulation)
87                         .addComponent(labelElitism)
88                         .addComponent(labelCrossover)
89                         .addComponent(labelMutation)
90                         .addComponent(buttonOK))
91                     .addGroup(layout.createSequentialGroup()
92                         .addComponent(textFieldGenerations,
93                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
94                             100,
95                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
96                         .addComponent(textFieldPopulation,
97                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
98                             100,
99                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
100                         .addComponent(textFieldElitism,
101                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
102                             100,
103                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
104                         .addComponent(textFieldCrossover,
105                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
106                             100,
107                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
108                         .addComponent(textFieldMutation,
109                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
110                             100,
111                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
112                         .addComponent(buttonCancel)))
113                     .addGap(18, 18, 18)
114                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
115                         .addComponent(labelGenerations))
116                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
117                         .addComponent(labelPopulation)
118                         .addComponent(textFieldPopulation,
119                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
120                             100,
121                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
122                         .addComponent(labelElitism)
123                         .addComponent(textFieldElitism,
124                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
125                             100,
126                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
127                         .addComponent(textFieldCrossover,
128                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
129                             100,
130                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
131                         .addComponent(textFieldMutation,
132                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
133                             100,
134                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
135                         .addComponent(buttonCancel)))
136                     .addGap(18, 18, 18)
137                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
138                         .addComponent(labelCrossover)
139                         .addComponent(labelMutation)
140                         .addComponent(textFieldCrossover,
141                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
142                             100,
143                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
144                         .addComponent(textFieldMutation,
145                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
146                             100,
147                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
148                         .addComponent(buttonCancel)))
149                     .addGap(18, 18, 18)
150                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
151                         .addComponent(labelElitism)
152                         .addComponent(textFieldElitism,
153                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
154                             100,
155                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
156                         .addComponent(textFieldMutation,
157                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
158                         100,
159                         GroupLayout.PREFERRED_SIZE)))
160             .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.LEADING)
161                 .addComponent(buttonOK, GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
162                     Short.MAX_VALUE))
163         )
164     );
165     layout.setVerticalGroup(
166         layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.LEADING)
167             .addGroup(layout.createSequentialGroup()
168                 .addGap(18, 18, 18)
169                 .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.LEADING)
170                     .addGroup(layout.createSequentialGroup()
171                         .addComponent(labelGenerations)
172                         .addComponent(labelPopulation)
173                         .addComponent(labelElitism)
174                         .addComponent(labelCrossover)
175                         .addComponent(labelMutation)
176                         .addComponent(buttonOK))
177                     .addGroup(layout.createSequentialGroup()
178                         .addComponent(textFieldGenerations,
179                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
180                             100,
181                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
182                         .addComponent(textFieldPopulation,
183                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
184                             100,
185                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
186                         .addComponent(textFieldElitism,
187                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
188                             100,
189                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
190                         .addComponent(textFieldCrossover,
191                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
192                             100,
193                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
194                         .addComponent(textFieldMutation,
195                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
196                             100,
197                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
198                         .addComponent(buttonCancel)))
199                     .addGap(18, 18, 18)
200                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
201                         .addComponent(labelGenerations))
202                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
203                         .addComponent(labelPopulation)
204                         .addComponent(textFieldPopulation,
205                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
206                             100,
207                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
208                         .addComponent(labelElitism)
209                         .addComponent(textFieldElitism,
210                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
211                             100,
212                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
213                         .addComponent(textFieldCrossover,
214                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
215                             100,
216                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
217                         .addComponent(textFieldMutation,
218                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
219                             100,
220                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
221                         .addComponent(buttonCancel)))
222                     .addGap(18, 18, 18)
223                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
224                         .addComponent(labelCrossover)
225                         .addComponent(labelMutation)
226                         .addComponent(textFieldCrossover,
227                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
228                             100,
229                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
230                         .addComponent(textFieldMutation,
231                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
232                             100,
233                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
234                         .addComponent(buttonCancel)))
235                     .addGap(18, 18, 18)
236                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
237                         .addComponent(labelElitism)
238                         .addComponent(textFieldElitism,
239                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
240                             100,
241                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
242                         .addComponent(textFieldMutation,
243                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
244                             100,
245                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
246                         .addComponent(buttonCancel)))
247                     .addGap(18, 18, 18)
248                     .addGroup(layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.BASELINE)
249                         .addComponent(labelElitism)
250                         .addComponent(textFieldElitism,
251                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
252                             100,
253                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
254                         .addComponent(textFieldMutation,
255                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
256                             100,
257                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
258                         .addComponent(buttonCancel)))
259                 .addComponent(buttonOK, GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
260                     Short.MAX_VALUE))
261             )
262         )
263     );
264 }
265
266 
```

```

159                     GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
160                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE))
161             .addGap(18, 18, 18)
162             .addGroup(layout.createParallelGroup(
163                 GroupLayout.Alignment.BASELINE)
164                 .addComponent(buttonOK)
165                 .addComponent(buttonCancel))
166             .addContainerGap(GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
167                             Short.MAX_VALUE)));
168     this.validate();
169     this.revalidate();
170     this.pack();
171     this.setLocationRelativeTo(null);
172 }
173
174 private void buttonOKActionPerformed(ActionEvent evt)
175 {
176     try
177     {
178         Integer generations = Integer.parseInt(textFieldGenerations.getText());
179         Integer population = Integer.parseInt(textFieldPopulation.getText());
180         Double elitism = Double.parseDouble(textFieldElitism.getText());
181         Double crossover = Double.parseDouble(textFieldCrossover.getText());
182         Double mutation = Double.parseDouble(textFieldMutation.getText());
183         gui.setGeneticAlgorithmParameters(generations, population, elitism,
184                                         crossover, mutation);
185         destroyFrame();
186     }
187     catch (NumberFormatException nfe)
188     {
189         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid number format.",
190                                     "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
191         throw new IllegalStateException("Invalid number format.");
192     }
193 }
194
195 private void buttonCancelActionPerformed(ActionEvent evt)
196 {
197     destroyFrame();
198 }
199
200 private void destroyFrame()
201 {
202     this.getContentPane().removeAll();
203     this.validate();
204     this.revalidate();
205     this.pack();
206     this.setLocationRelativeTo(null);
207     this.dispose();
208 }
209 }
210 }
```