

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

Calcudoku adalah sebuah permainan teka-teki angka. Tujuan dari teka-teki ini adalah mengisi setiap sel dalam *grid* dengan angka 1 sampai n tanpa pengulangan angka dalam setiap kolomnya dan barisnya untuk *grid* berukuran $n \times n$. *Grid* ini dibagi menjadi sejumlah *cage* dengan setiap *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 ditentukan. Angka-angka dalam satu *cage* juga boleh berulang, selama pengulangan tidak terjadi dalam satu kolom atau baris yang sama.

Dua algoritma telah terbukti berhasil dalam menyelesaikan Calcudoku, yaitu algoritma *backtracking* dan algoritma *hybrid genetic*.

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.

Algoritma *hybrid genetic* dalam kasus ini adalah gabungan dari algoritma *rule based* dan algoritma genetik. Algoritma *rule based* adalah sebuah algoritma berbasis aturan logika untuk menyelesaikan Calcudoku. Algoritma genetik adalah salah satu teknik heuristik *Generate and Test* yang terinspirasi oleh sistem seleksi alam yang mencari solusi dengan menggunakan operator-operator genetik seperti mutasi, kawin silang, dan *elitism*.

Hasil dari penelitian ini adalah perangkat lunak algoritma *backtracking* dapat menyelesaikan semua permainan yang diujikan, tetapi pada ukuran *grid* yang besar, algoritma *backtracking* sangat lambat dalam menyelesaikan permainan, ada kemungkinan algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan karena sifat acak dari algoritma *hybrid genetic* ini, semakin besar ukuran *grid*, maka kemungkinan algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan semakin besar, 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, dan nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik mempengaruhi kecepatan dan tingkat keberhasilan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan permainan.

Kata-kata kunci: Calcudoku, algoritma *backtracking*, algoritma *hybrid genetic*, algoritma *rule based*, algoritma genetik

ABSTRACT

Calcudoku is a number puzzle game. The goal of this puzzle is to fill each cell in the grid with the numbers from 1 to n without repetitions of the numbers in each column and row for grid with the size of $n \times n$. The grid is divided into a number of cages, with each cage contains a variable number of cells. Each cage is bordered with a thicker line than cell border line. Numbers in the same cage must produced the predetermined target number if calculated using the predetermined mathematical operatin. Numbers in a cage can be repeated, as long as the repetitions do not occur in the same column or row.

Two algorithms have been proven to successfully solve Calcudoku. The two algorithms are the backtracking algorithm and the hybrid genetic algorithm.

The backtracking algorithm is a general algorithm with finds a solution by trying one of several choices, if the choice proves to be incorrect, the computation restarts at the point of choice and tries another choice.

In this case, the hybrid genetic algorithm is a combination of the rule based algorithm and the genetic algorithm. Rule based algorithm uses logical rules to solve Calcudoku. Genetic algorithm is a heuristic technique inspired by the process of natural selection, which tries to find a solution by relying on genetic operators such as mutation, crossover, and elitism.

The result of this research is that the backtracking algorithm solved all puzzles, but on large grids, the algorithm is very slow in solving the puzzle, there is a chance that the hybrid genetic algorithm failed in solving the puzzle due to the random nature of the algorithm, the larger the grid, the higher the chance that the algorithm will fail in solving the puzzle, on small grids, the hybrid genetic algorithm tends to solve the puzzle slower than the backtracking algorithm, but on larger grids, the hybrid genetic algorithm may be able to solve the puzzle faster than the backtracking algorithm, but this cannot be proven because the hybrid genetic algorithm failed in solving puzzles with large grids, and the values of the genetic algorithm parameters influences the speed and the success rate of the hybrid genetic algorithm in solving the puzzle.

Keywords: Calcudoku, backtracking algorithm, hybrid genetic algorithm, rule based algorithm, genetic algorithm

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
3.3.3 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	122
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
D.1 Grid.java	193
D.2 Cell.java	198
D.3 Cage.java	198
D.4 SolverBacktracking.java	200
D.5 SolverHybridGenetic.java	201
D.6 SolverRuleBased.java	202
D.7 SolverGenetic.java	218
D.8 Chromosome.java	221
D.9 Controller.java	222
D.10 Calcudoku.java	223
D.11 GUI.java	227
D.12 GeneticParameters.java	233

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 3.1	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,

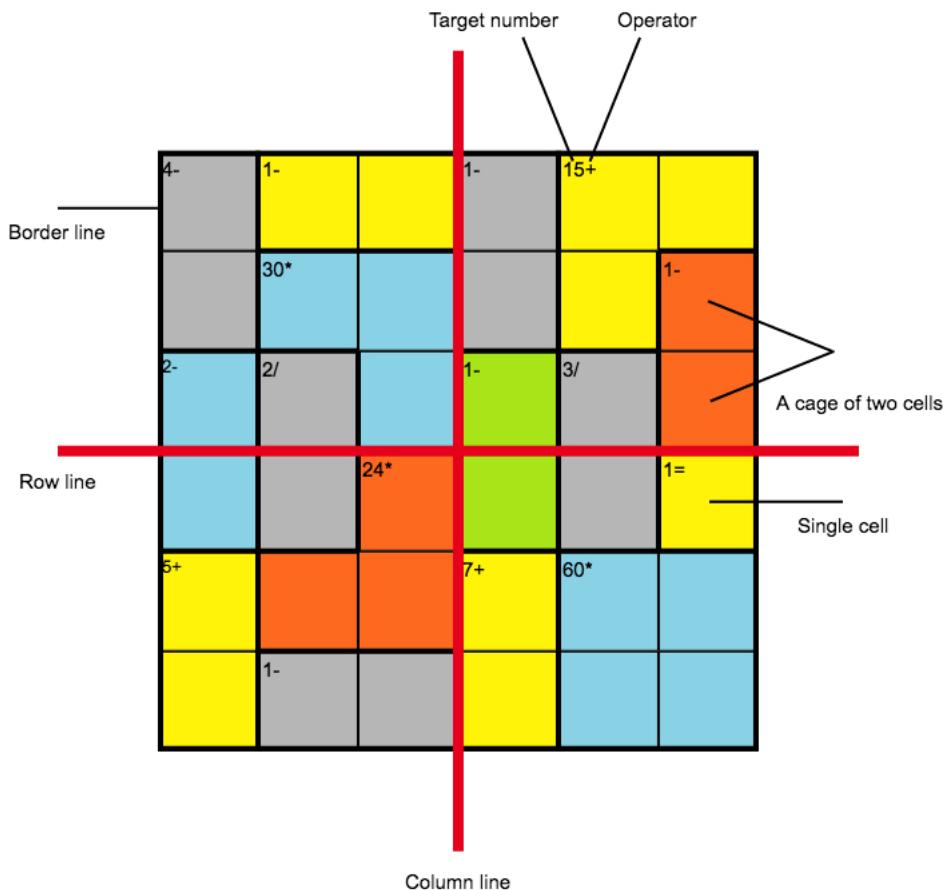
2	5	1	9
8		2	3
3		6	7
	1		6
5	4		1 9
	2		7
9		3	8
2		8	4
1	9	7	6

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.

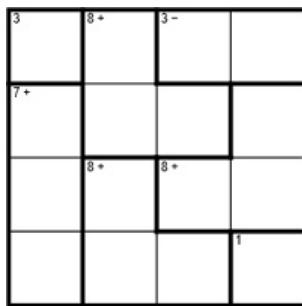
Seperti dalam Sudoku, dalam teka-teki ini, pemain diberikan sebuah *grid* dengan ukuran $n \times n$, dengan n biasanya $3 \leq n \leq 9$. *Grid* ini harus diisi dengan angka 1 sampai dengan n sehingga dalam setiap baris setiap angka hanya muncul sekali, dalam setiap kolom setiap angka hanya muncul sekali. 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:

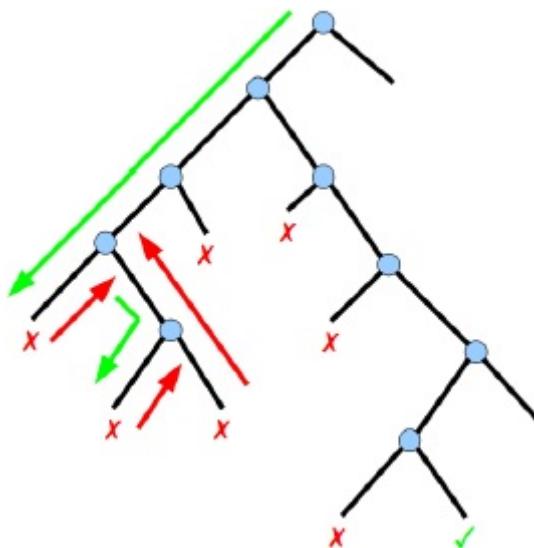
$$B(x_1, x_2, \dots, x_k)$$

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 .

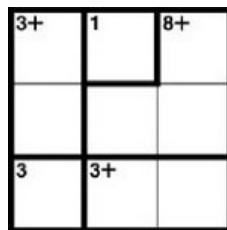
Fungsi pembangkit membangkitkan sebuah integer secara berurutan dari 1 sampai n sebagai x_k . Fungsi pembatas menggabungkan tiga fungsi pemeriksa pembatas (*constraint checking*), yaitu fungsi pemeriksa kolom (*column checking*), fungsi pemeriksa baris (*row checking*), dan fungsi pemeriksa *grid* (*grid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



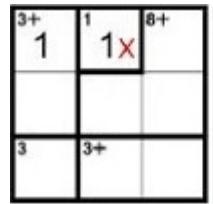
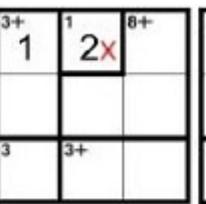
Gambar 2.4: Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran $grid$ 3×3 [1]

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	$3+$	

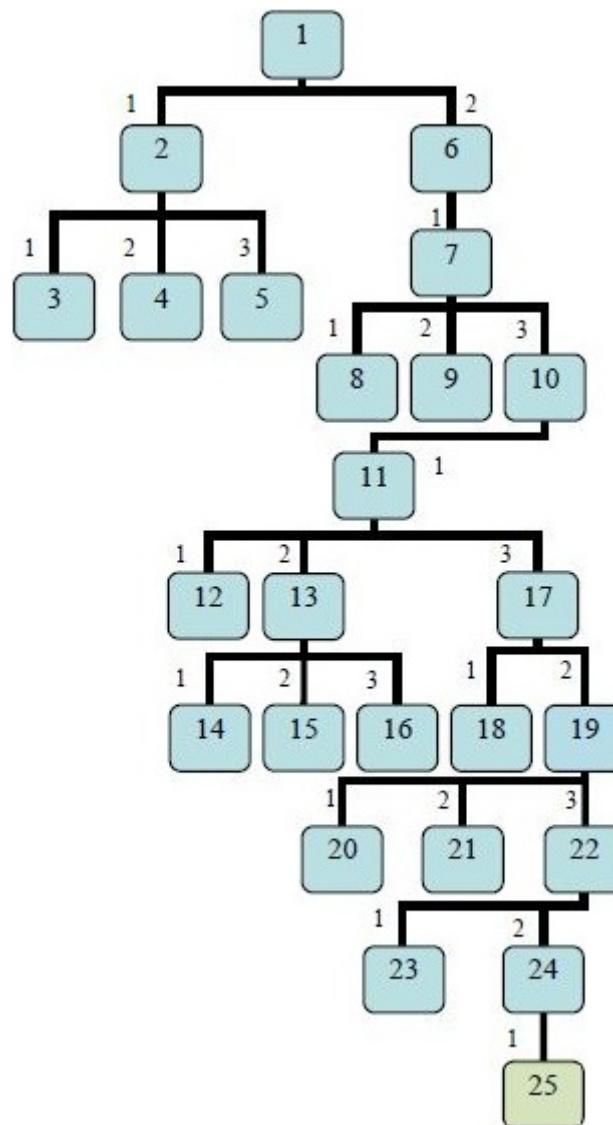
Gambar 2.6: Ilustrasi *state* 19 pada sebuah *grid* teka-teki Calcudoku [1]

$3+$	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*

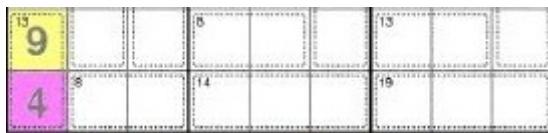
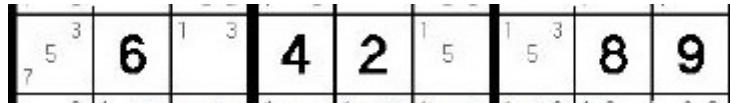
Algoritma *rule based* adalah sebuah algoritma berbasis aturan logika untuk menyelesaikan teka-teki Sudoku dan variasinya, termasuk Calcudoku. Beberapa aturan logika yang digunakan dalam algoritma ini adalah *single square rule*, *naked subset rule*, *hidden single rule*, *evil twin rule*, *killer combination*,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

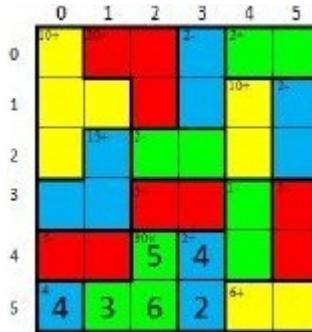
Cara kerja algoritma genetik adalah sebagai berikut [2]:

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 $P(C_{b,k}) =$



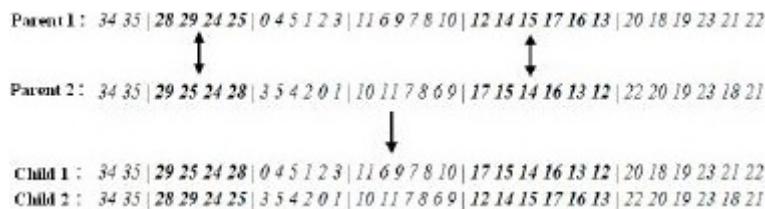
Gambar 2.14: Contoh permainan teka-teki Calcudoku dengan ukuran grid 6×6 [2]

$1, 2, \dots, n$. 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]

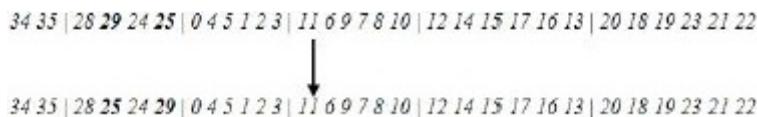
1. $|P(C_{b,k})| = 1 \wedge x \in P(C_{b,k}) \rightarrow V(C_{b,k}) = x$, artinya jika sebuah *cage* berukuran 1 sel, dan x adalah nilai tujuan dari *cage* tersebut, maka nilai dari sel tersebut adalah x .
2. $(V(C_{b,k}) = x) \wedge (\forall a \in \{1, 2, \dots, n\}) \rightarrow P(C_{a,k}) = P(C_{a,k}) - \{x\}$, 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.

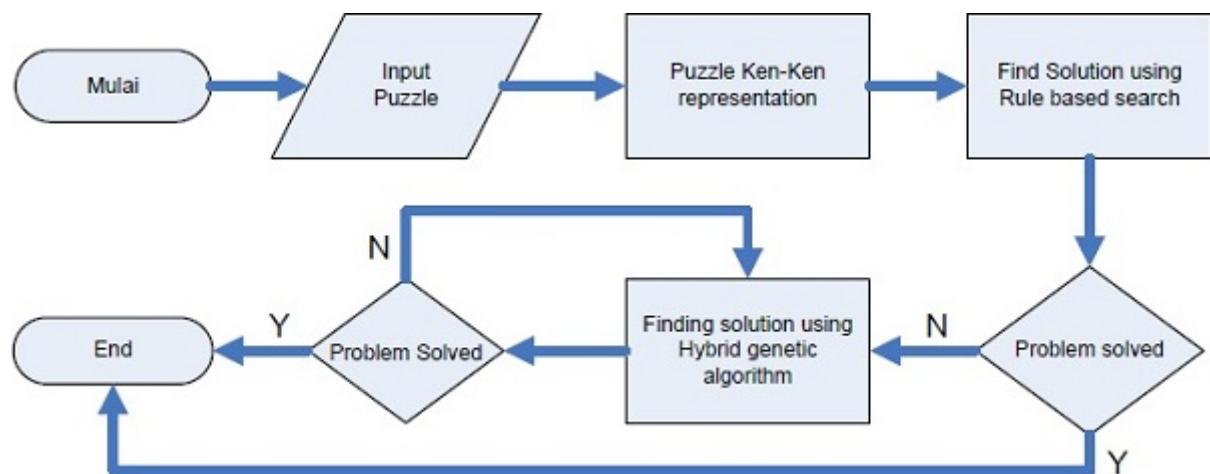
Dalam proses reproduksi kawin silang, dua kromosom, yaitu kromosom orang tua, disilangkan untuk membuat dua kromosom yang baru, yaitu kromosom anak, dengan metodologi kawin silang *N-segments*. Gambar 2.15 menggambarkan contoh proses kawin silang antara dua kromosom.

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 3.1 sebagai contoh.

1. Algoritma *backtracking* dimulai dengan teka-teki yang belum diselesaikan, seperti yang digambarkan pada Gambar 3.1 (*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 3.2, 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 3.3, 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 3.4, 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 3.5, 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 3.6. 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 3.7. 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

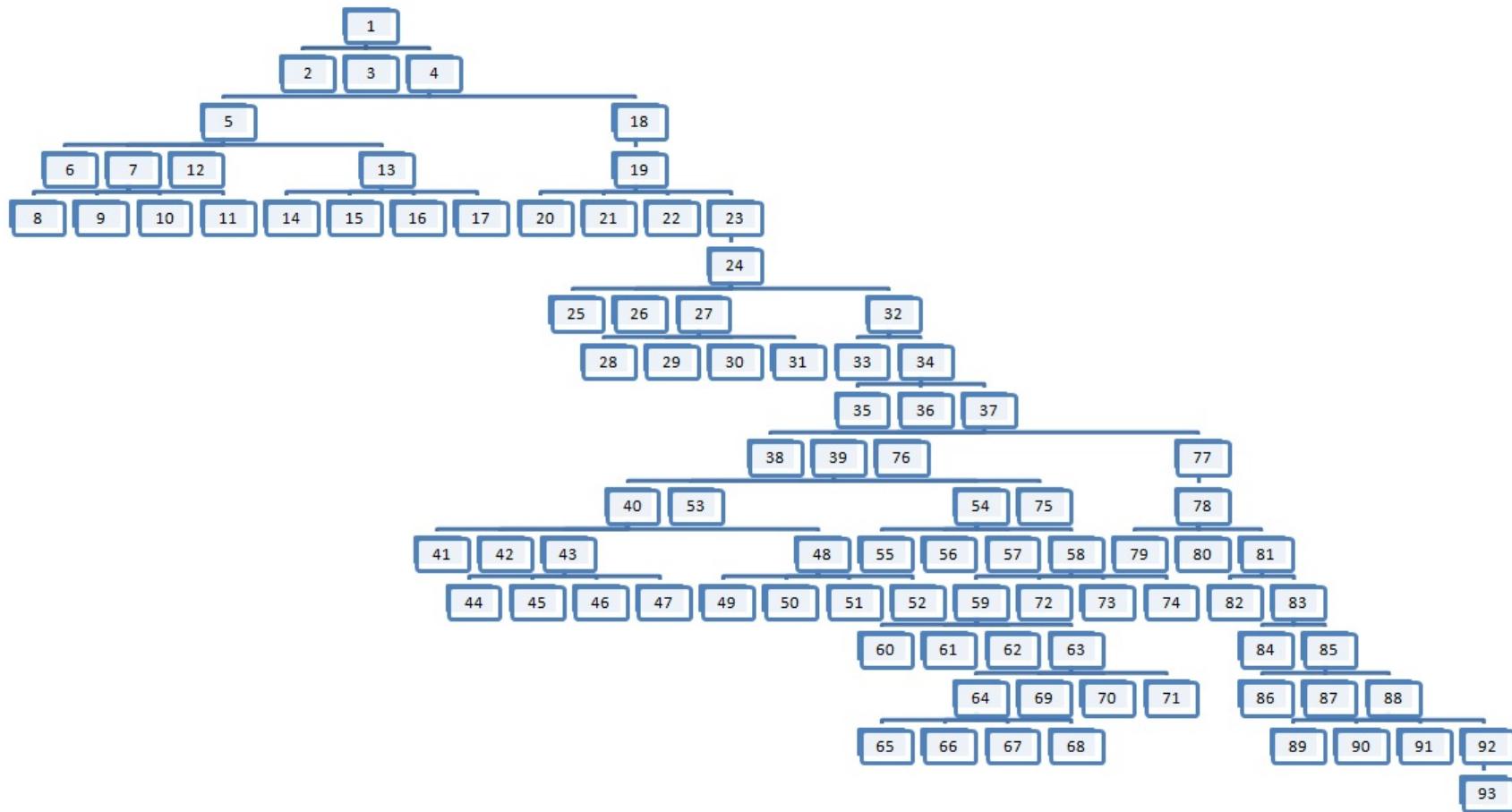
Gambar 3.8: *State 23*

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 3.8. 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 3.9.

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 3.1

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

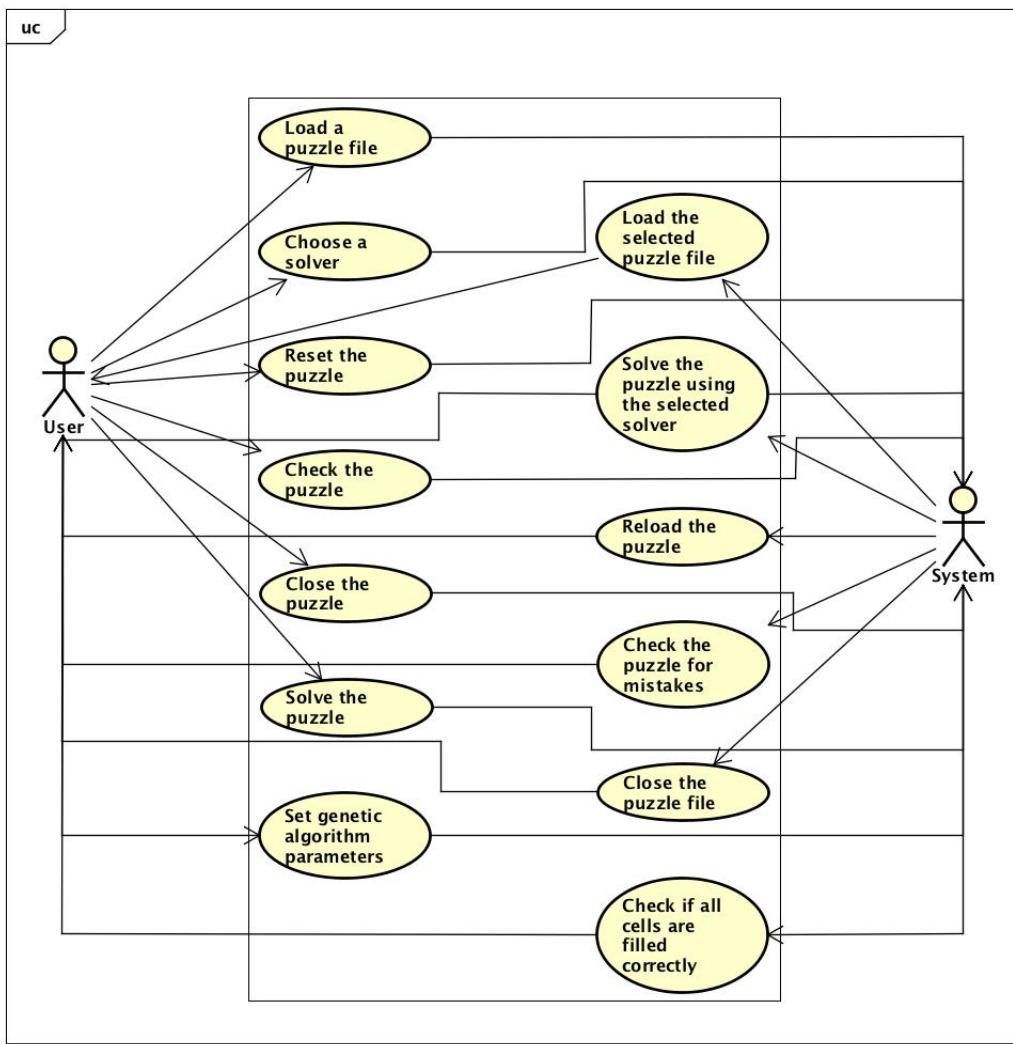
Diagram *use case* adalah diagram yang menggambarkan interaksi antara sistem (perangkat lunak) dengan pengguna. Berdasarkan analisis perangkat lunak yang telah dilakukan, maka pengguna dapat:

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.



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- <i>load</i> .
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 " <i>Solve</i> ", lalu memilih salah satu dari dua <i>solver</i> yang disediakan. Pemain memilih menu item " <i>Backtracking</i> " untuk memilih <i>solver</i> dengan algoritma <i>backtracking</i> , atau menu item " <i>Hybrid Genetic</i> " 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

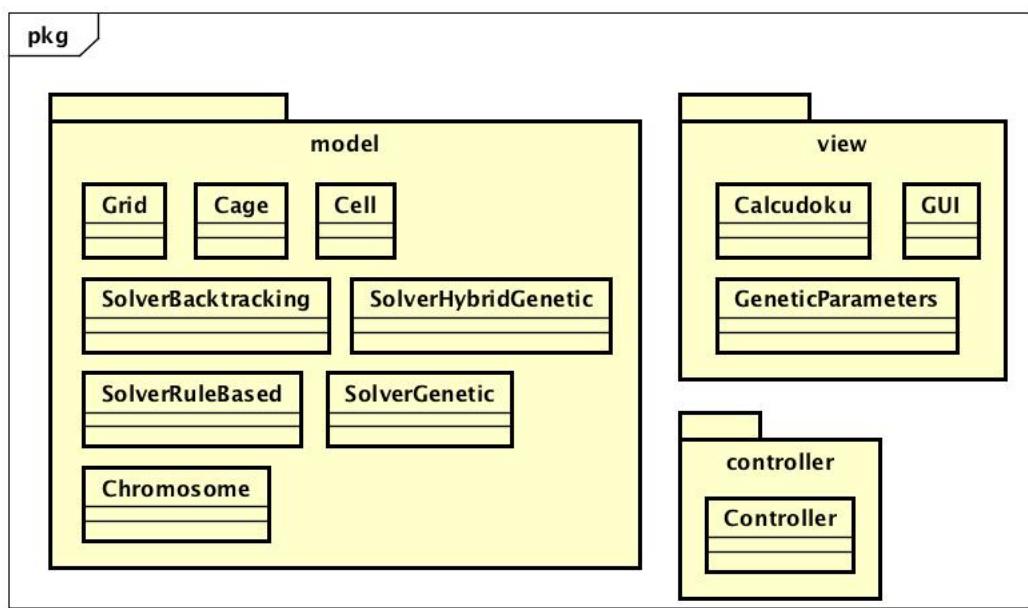
Berdasarkan diagram *use case* yang telah dibuat, maka diagram kelas dapat dibuat. Diagram kelas untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku dapat dilihat pada Gambar 3.50.

Berdasarkan diagram kelas tersebut, 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.

3.3.3 Diagram Sequence

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

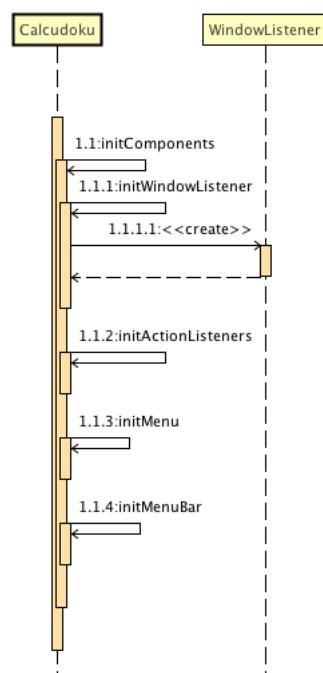
Gambar 3.51 menunjukkan diagram *sequence* saat perangkat lunak dibuka.

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

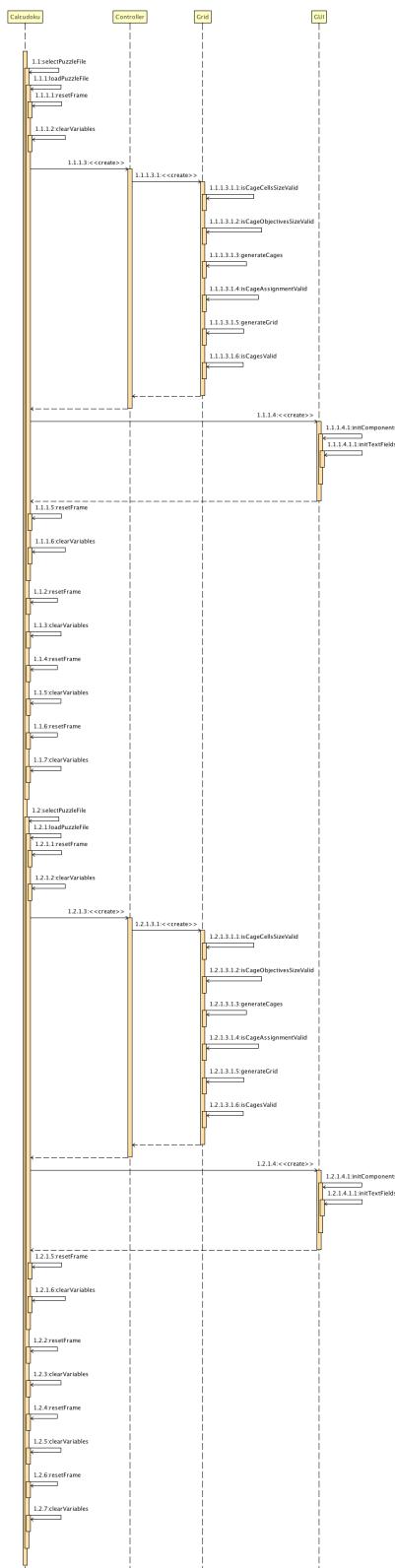
Gambar 3.53 menunjukkan diagram *sequence* saat file permainan yang ingin dibuka dalam *file chooser* dipilih.

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

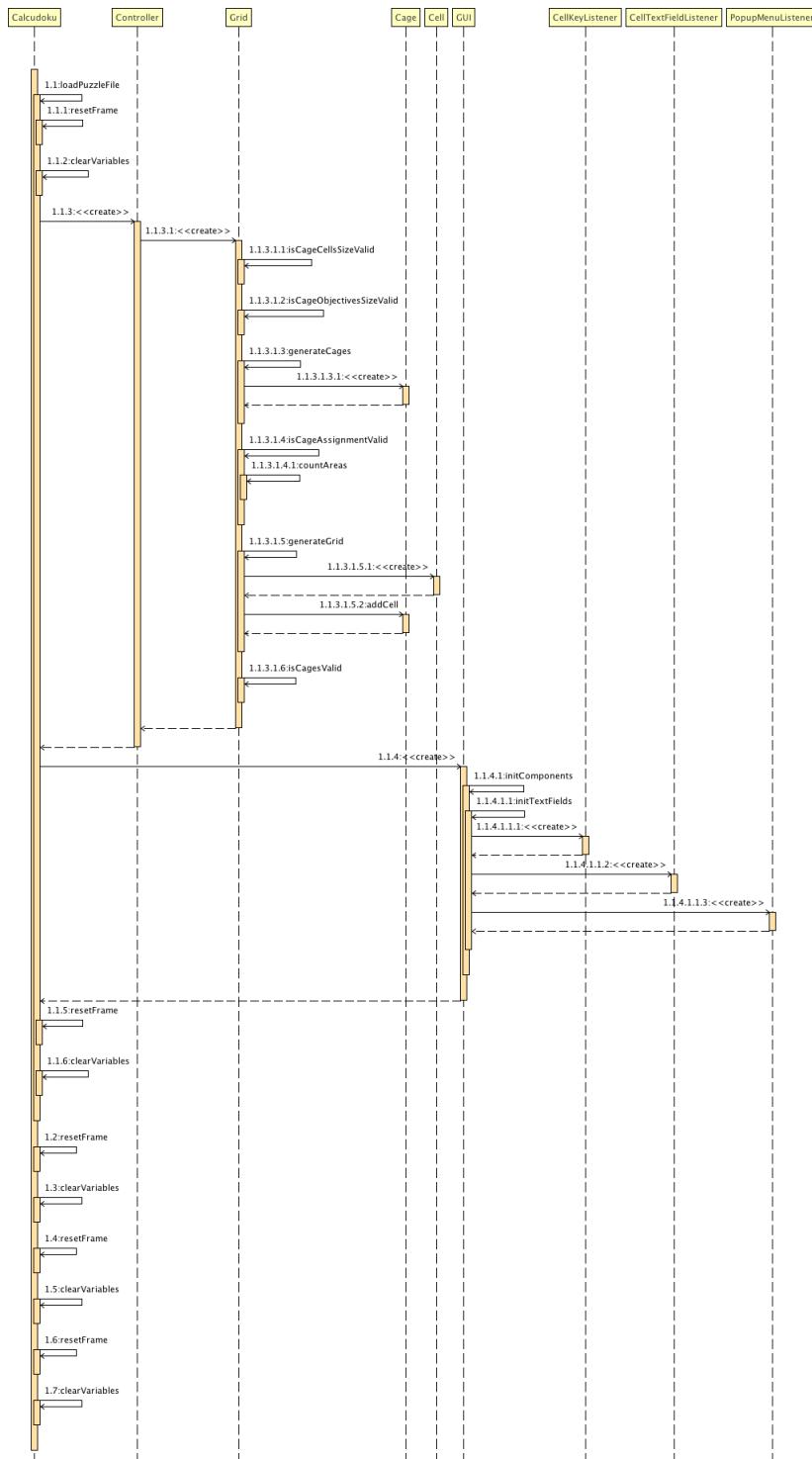
Gambar 3.55 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Reset Puzzle" dalam menu "File" dipilih.



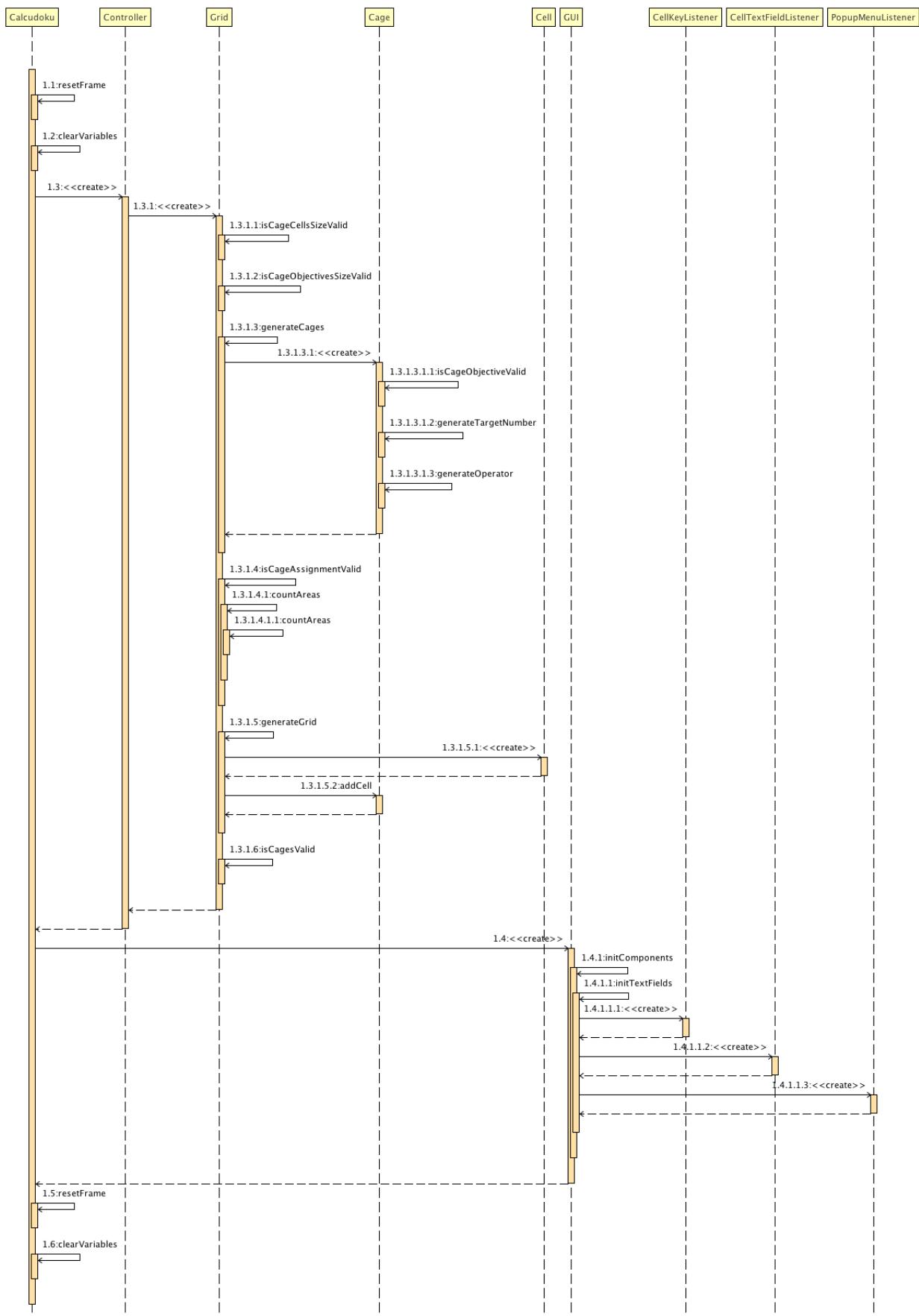
Gambar 3.51: Diagram *sequence* saat perangkat lunak dibuka



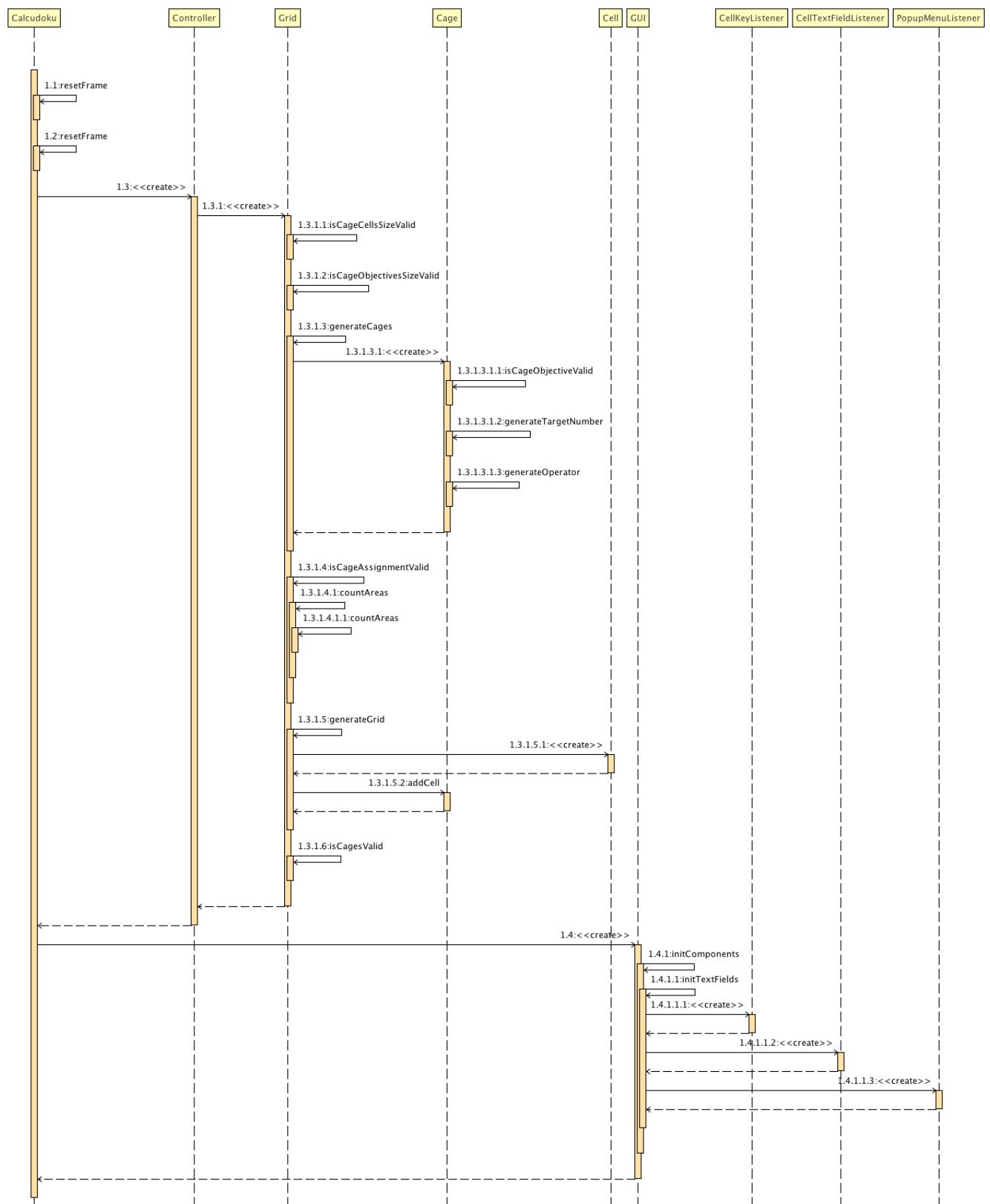
Gambar 3.52: Diagram *sequence* saat menu item "Load Puzzle File" dalam menu "File" dipilih



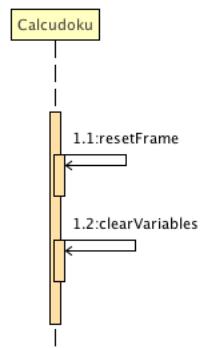
Gambar 3.53: Diagram *sequence* saat file yang ingin dibuka dalam *file chooser* dipilih



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



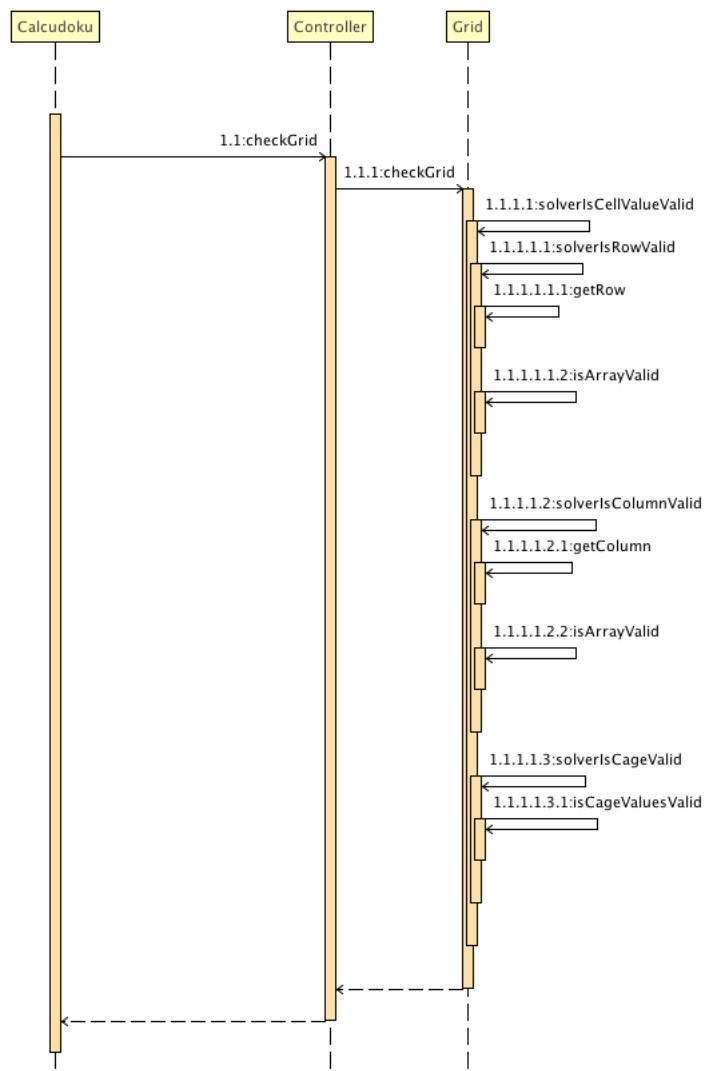
Gambar 3.56: Diagram *sequence* saat menu item "Close Puzzle File" dalam menu "File" dipilih

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

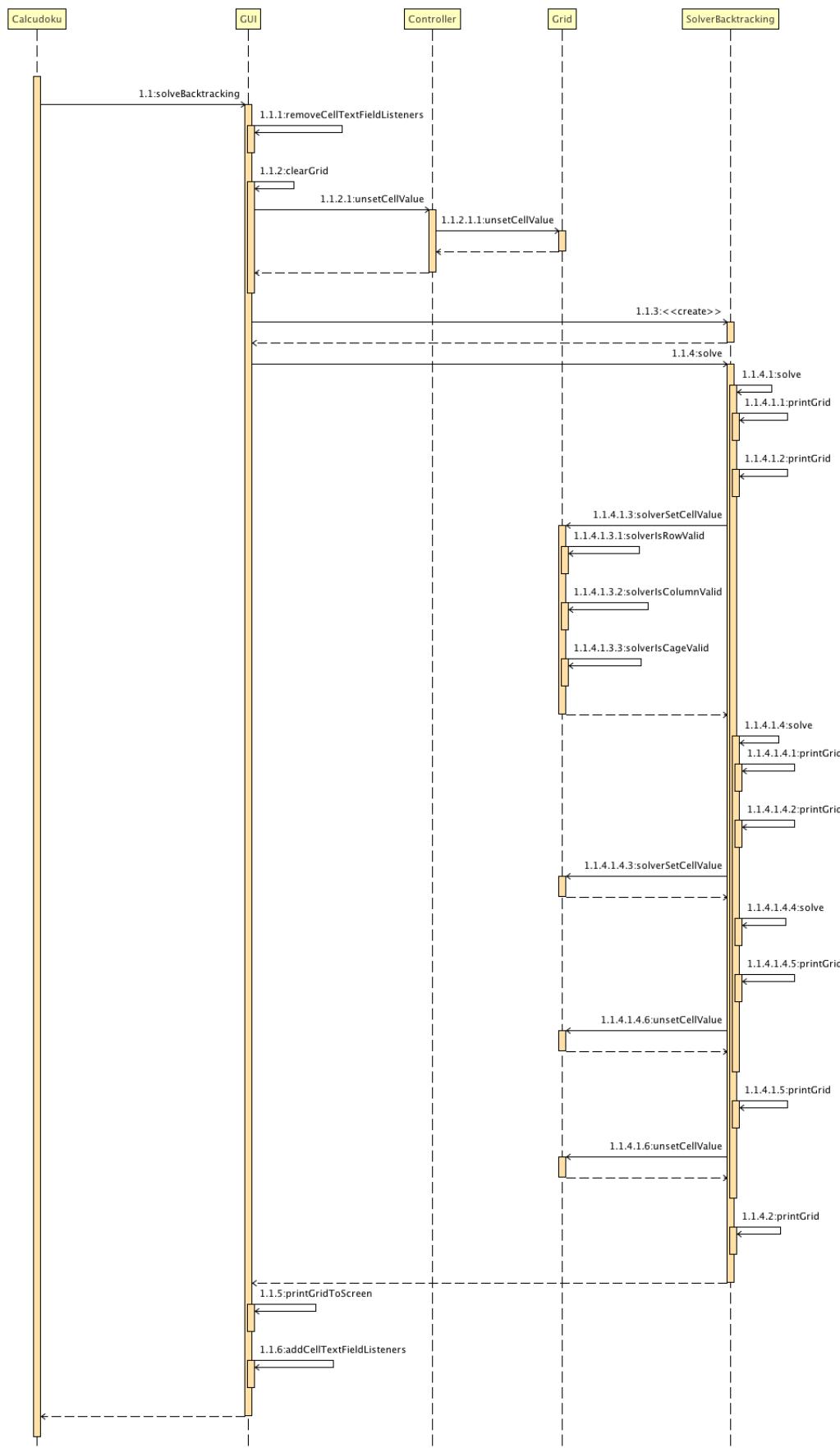
Gambar 3.57 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Check Puzzle File" dalam menu "File" dipilih.

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

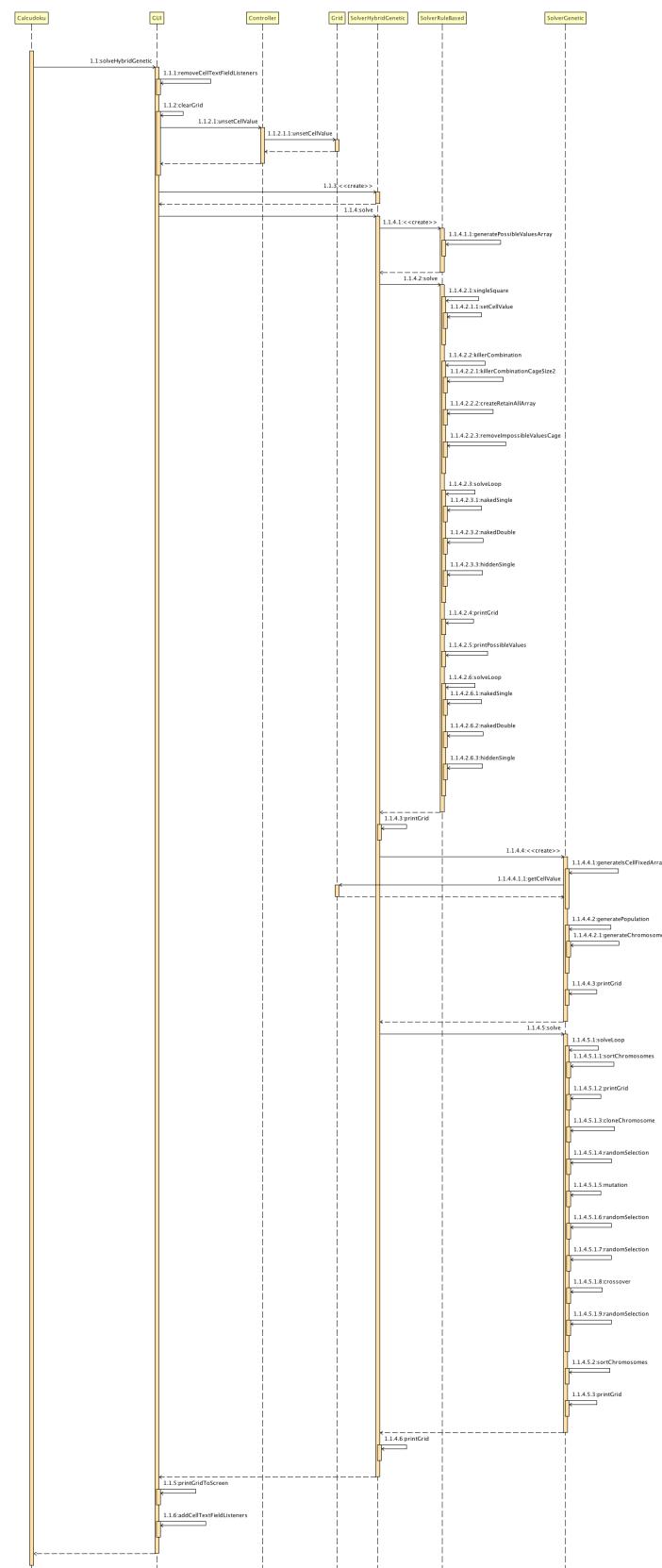
Gambar 3.59 menunjukkan diagram *sequence* saat menu item "Hybrid Genetic" dalam menu "Solve" dipilih.



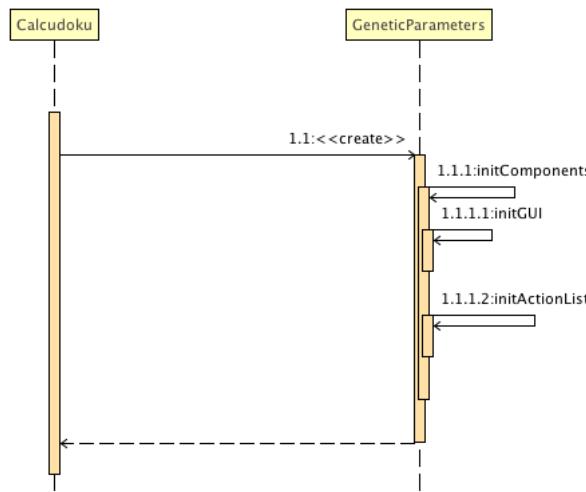
Gambar 3.57: Diagram *sequence* saat menu item "Check Puzzle File" dalam menu "File" dipilih



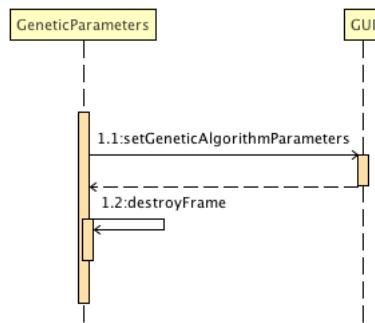
Gambar 3.58: Diagram *sequence* saat menu "item" "Backtracking" dalam menu "Solve" dipilih



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



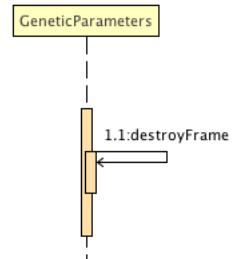
Gambar 3.61: Diagram *sequence* saat button "OK" dalam form "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih

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

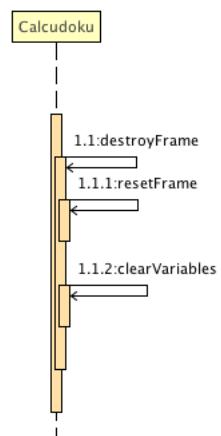
Gambar 3.61 menunjukkan diagram *sequence* saat button "OK" dalam form "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih.

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:

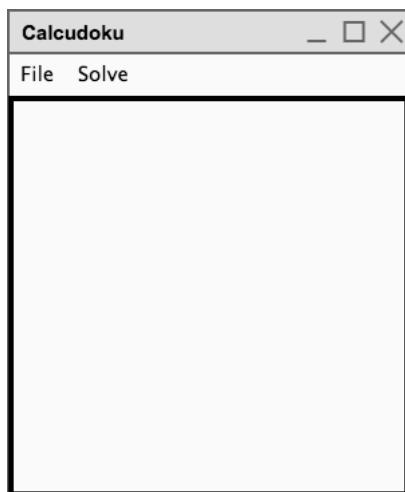
1. *File*, yaitu menu yang berisi *item-item* menu yang terkait dengan *file* permainan.

```
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+
```

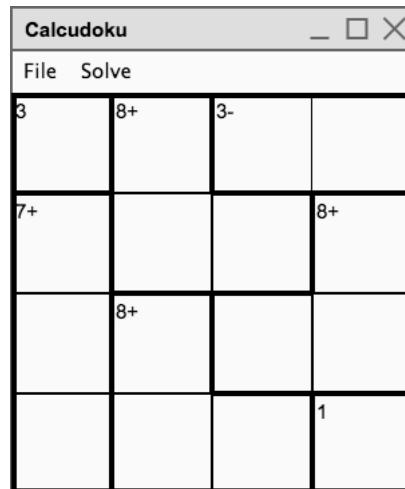
Gambar 4.1: Contoh *file* masukan.

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

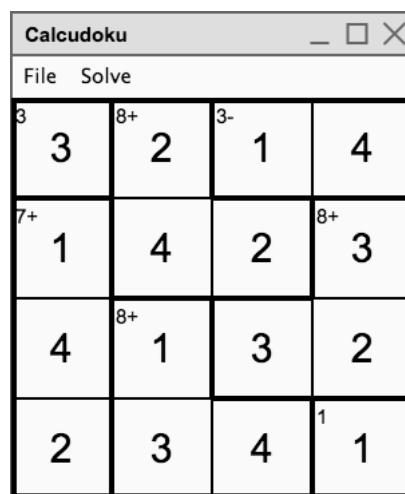
Gambar 4.2: Contoh keluaran.



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.

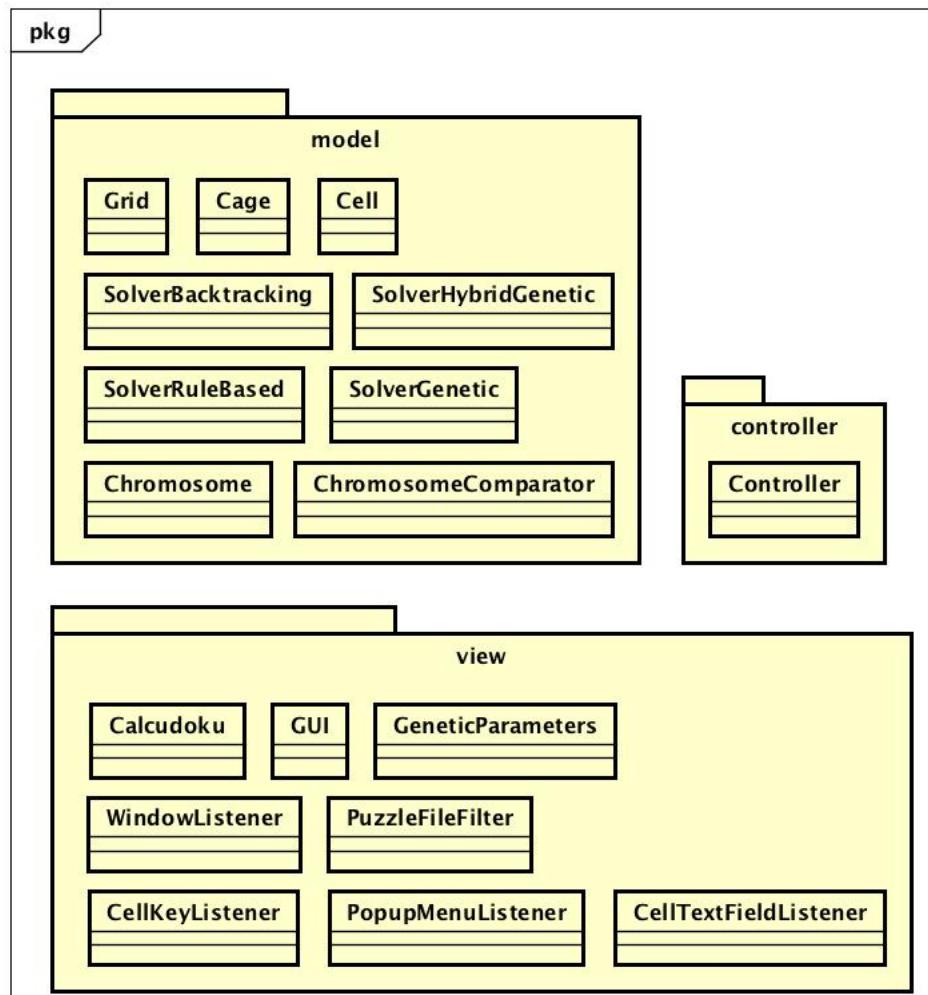
Diagram kelas untuk perangkat lunak ini dapat dilihat pada Gambar 4.8.

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.

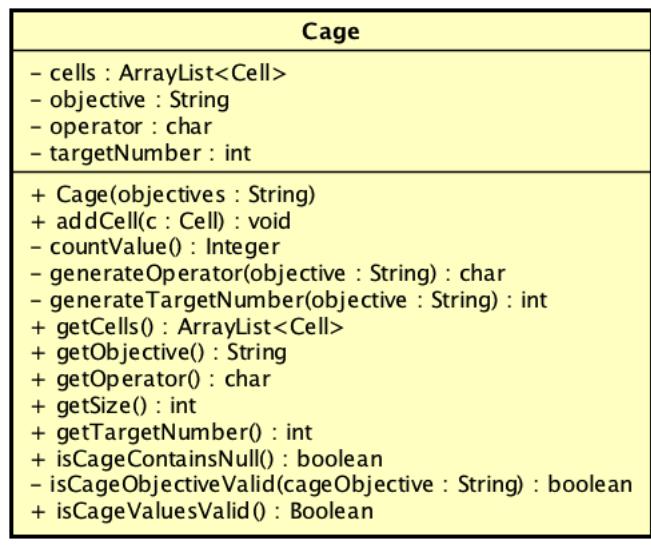
Kelas Cage mempunyai *method-method* berikut:

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.

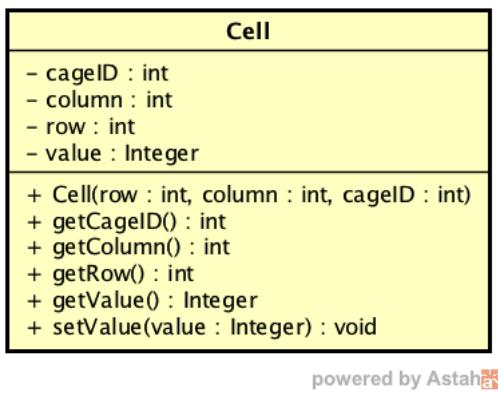
Diagram kelas Cage dapat dilihat pada Gambar 4.10.

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.

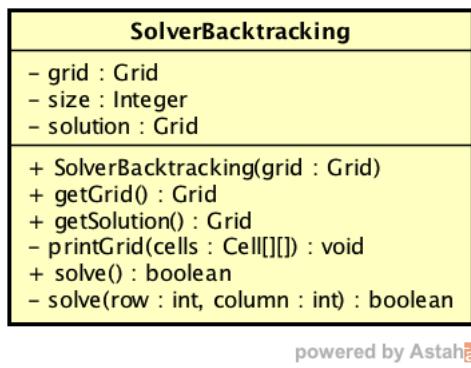
4.4.4 Kelas SolverBacktracking

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.

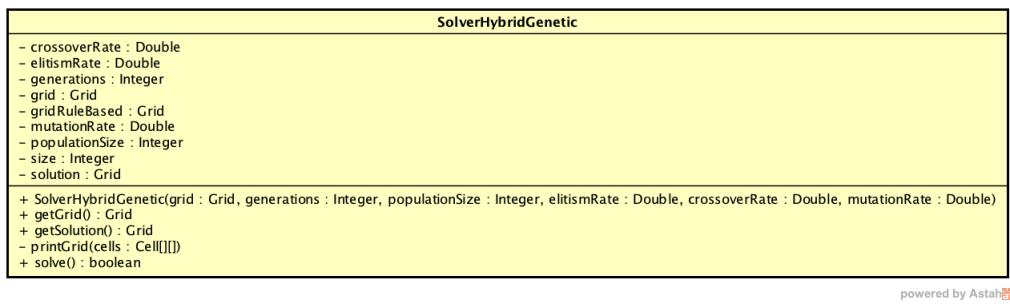
Diagram kelas SolverBacktracking dapat dilihat pada Gambar 4.12.

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.

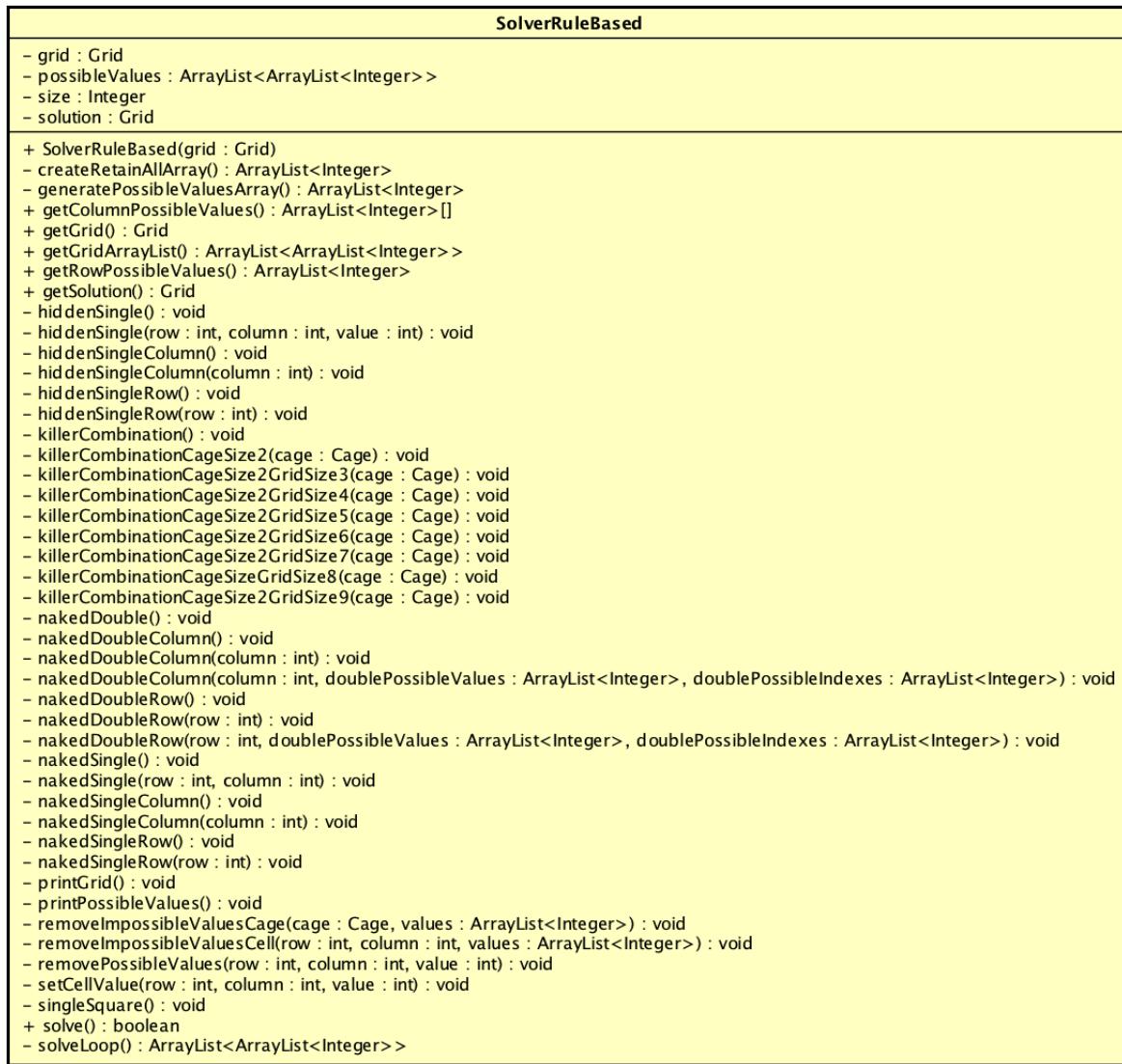
Diagram kelas SolverRuleBased dapat dilihat pada Gambar 4.14.

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.

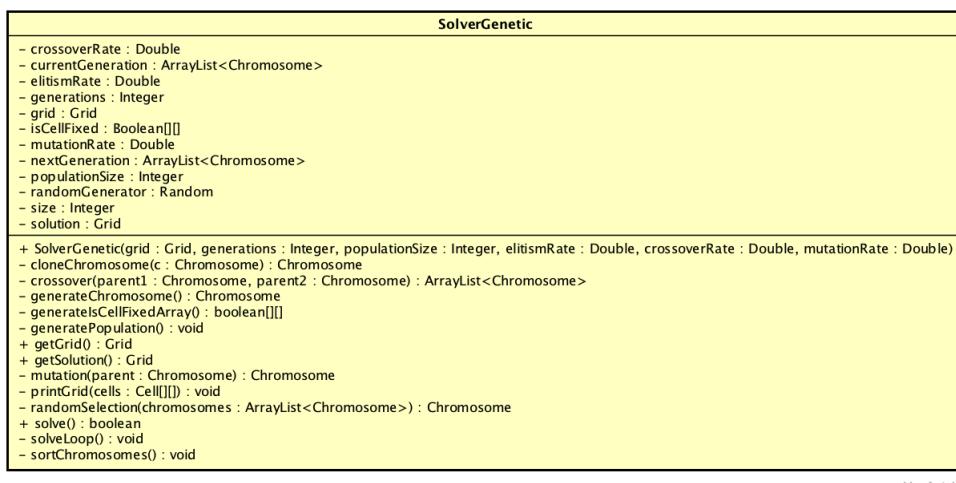
Kelas SolverGenetic mempunyai *method-method* berikut:



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*.

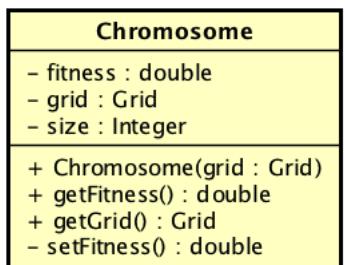
Kelas Chromosome mempunyai beberapa *method*, yaitu:

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.

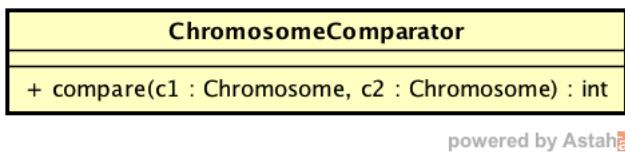
4.4.9 Kelas ChromosomeComparator

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

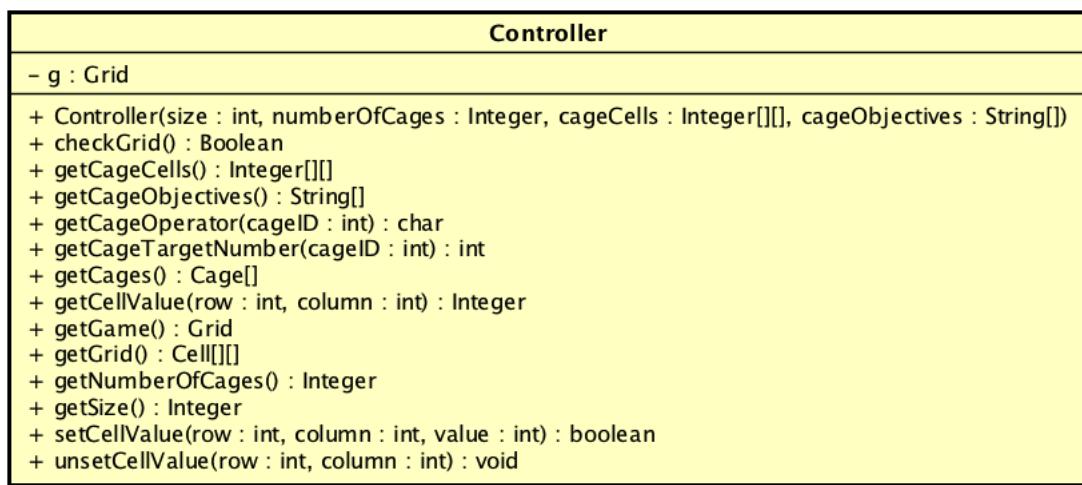
Gambar 4.17: Diagram kelas ChromosomeComparator.

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:

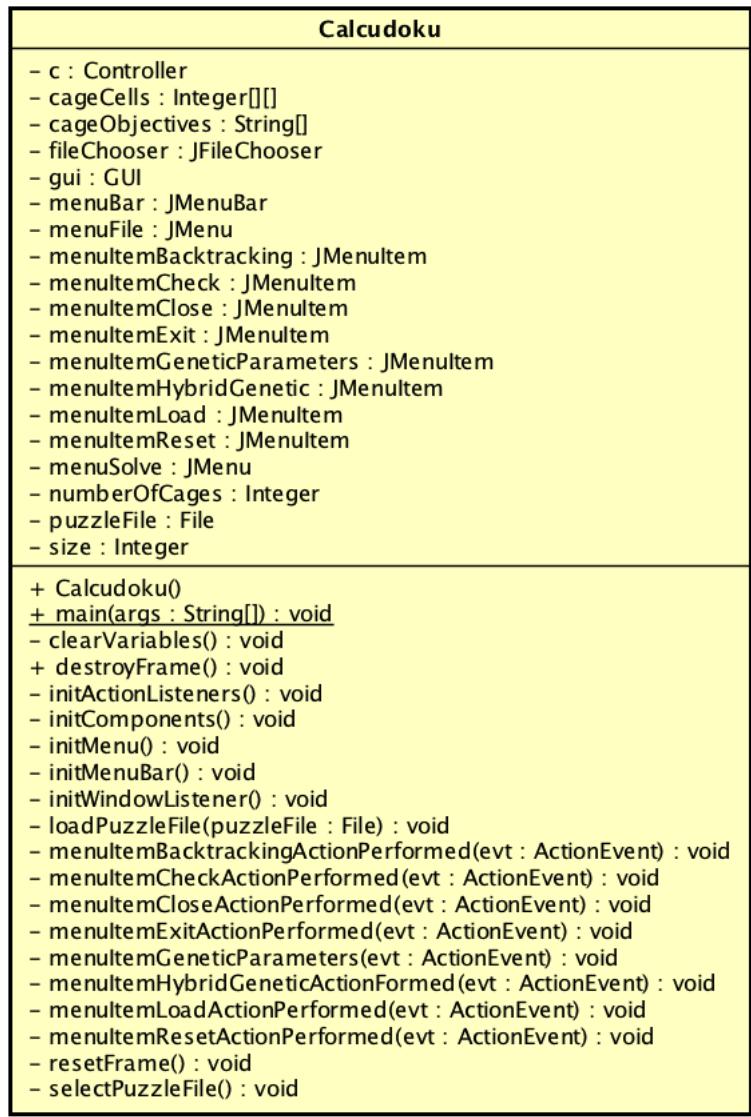
1. puzzleFile, yaitu *file* permainan yang sedang dibuka oleh perangkat lunak. *File* ini berbentuk *file teks*.
2. size, yaitu ukuran dari matriks *grid* berdasarkan *file* permainan yang sedang dibuka.
3. numberOfCages, yaitu banyaknya *cage* yang terdapat dalam *grid* berdasarkan *file* permainan 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.

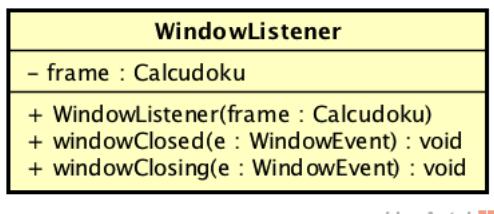
18. `resetFrame()`, yaitu *method* untuk me-reset *frame* setelah menutup *file* permainan. *Method* ini akan menutup instansiasi kelas GUI dan menghapus isi dari variabel *c* dalam *frame*.
19. `clearVariables()`, yaitu *method* untuk menghapus nilai dari variabel-variabel *puzzleFile*, *size*, *cageCells*,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

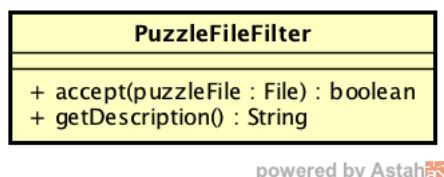
4.4.12 Kelas WindowListener

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*.

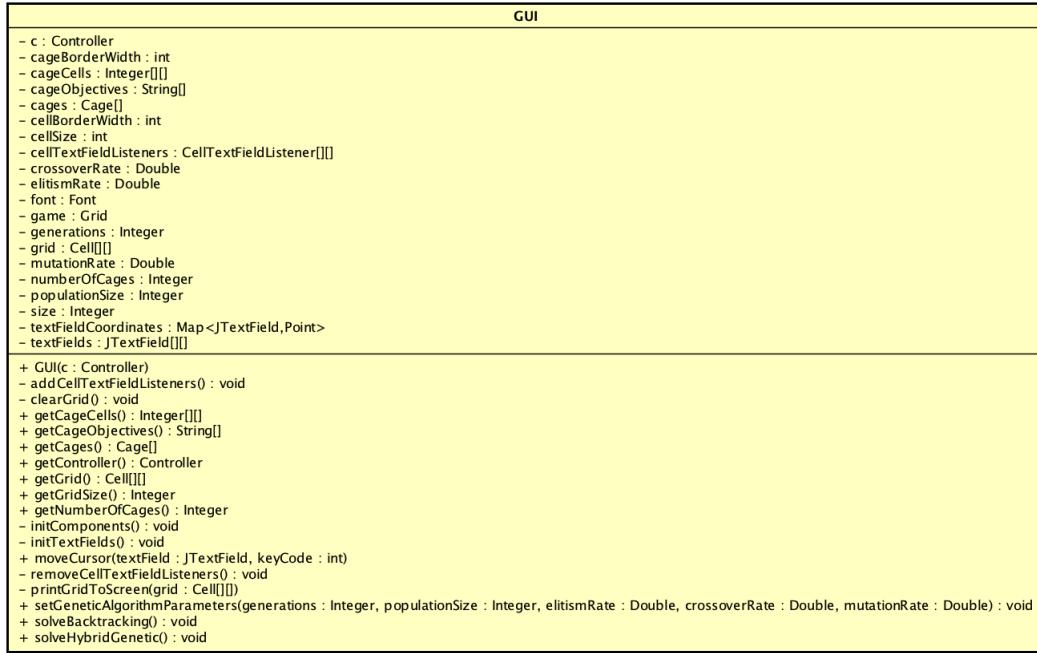
Diagram kelas GUI dapat dilihat pada Gambar 4.22.

4.4.15 Kelas CellKeyListener

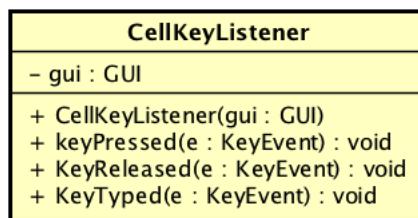
Kelas CellKeyListener hanya mempunyai satu atribut, yaitu *gui*. *gui* adalah sebuah instansiasi dari kelas GUI. Kelas ini mempunya beberapa *method*, yaitu:

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.

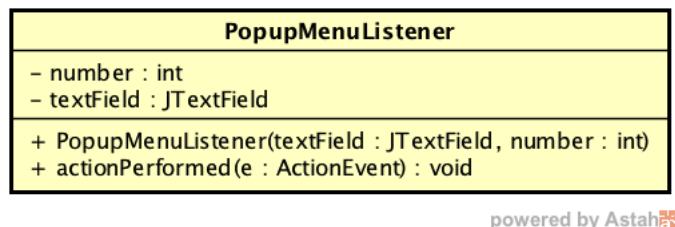
Diagram kelas CellKeyListener dapat dilihat pada Gambar 4.23.



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.

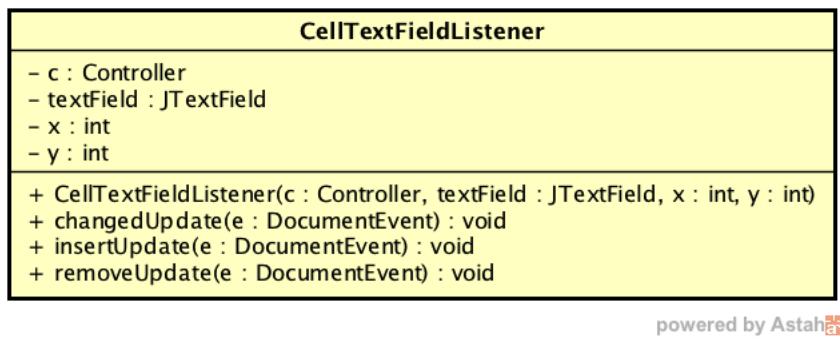
4.4.17 Kelas CellTextFieldListener

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.

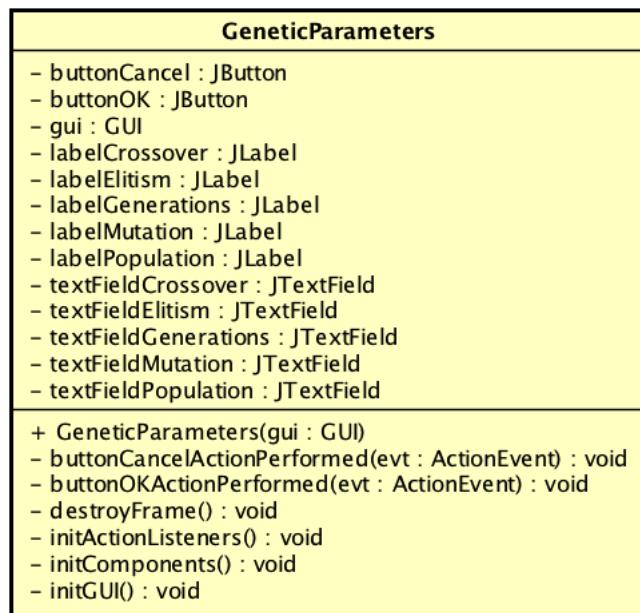
4.4.18 Kelas GeneticParameters

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

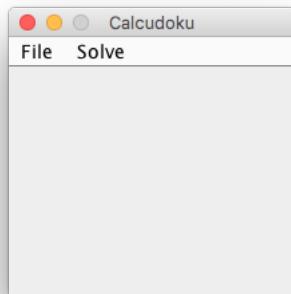
Kode program untuk perangkat lunak ini ditulis dalam bahasa pemrograman Java, berdasarkan dengan rancangan diagram kelas yang sudah dibuat, seperti dapat dilihat pada sub-bab 4.4. Seluruh kode program untuk perangkat lunak ini dapat dilihat di bab Lampiran D.

Tabel 5.1: Lingkungan perangkat keras untuk pengujian perangkat lunak

Parameter	Nilai
Processor	Intel Core i3-4130 CPU @ 3.40 GHz
RAM (Random Access Memory)	6.00 GB
VGA (Video Graphics Array)	Intel HD Graphics 4400 dan NVIDIA GeForce GT 630

Tabel 5.2: Lingkungan perangkat lunak untuk pengujian perangkat lunak

Parameter	Nilai
Sistem Operasi	Windows 10
Bahasa Pemrograman	Java
<i>IDE (Integrated Development Environment)</i>	NetBeans IDE 8.2
<i>Library Java</i>	JDK (Java Development Kit) 1.8
<i>JVM (Java Virtual Machine)</i>	Java Version 8 Update 141

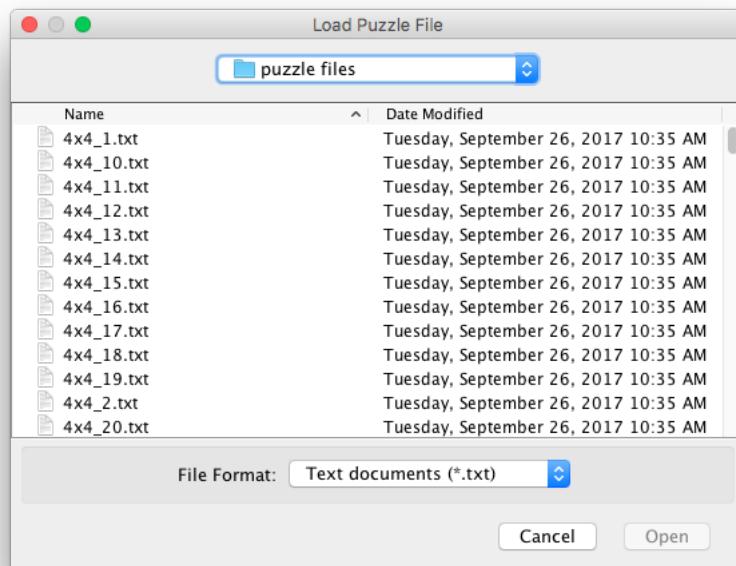


Gambar 5.1: Antarmuka perangkat lunak saat pertama kali dibuka

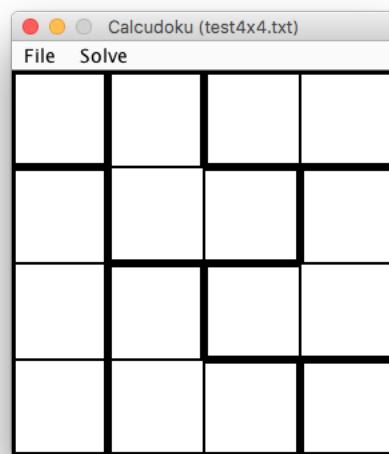
5.2.2 Antarmuka Perangkat Lunak

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

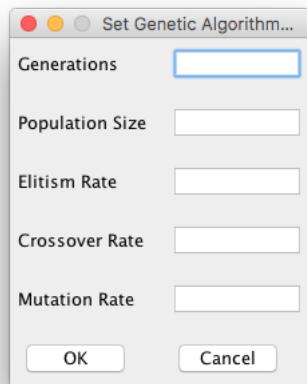
Gambar 5.1 menunjukkan antarmuka perangkat lunak saat pertama kali dibuka, sebelum *file* permainan dibuka. Gambar 5.2 menunjukkan kotak dialog untuk memilih *file* permainan yang akan dibuka. Gambar 5.3 menunjukkan antarmuka perangkat lunak setelah membuka *file* permainan yang dipilih. Gambar 5.4 menunjukkan 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.



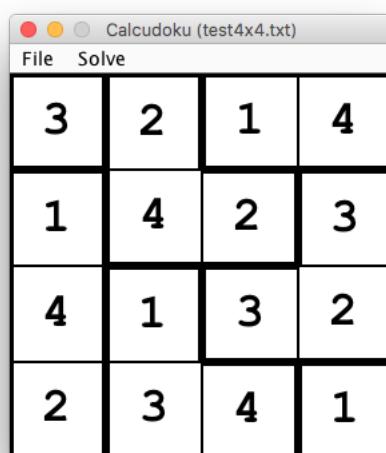
Gambar 5.2: Kotak dialog untuk memilih *file* permainan yang akan dibuka



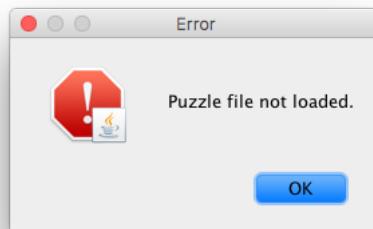
Gambar 5.3: Antarmuka perangkat lunak sesudah membuka *file* permainan yang dipilih



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.

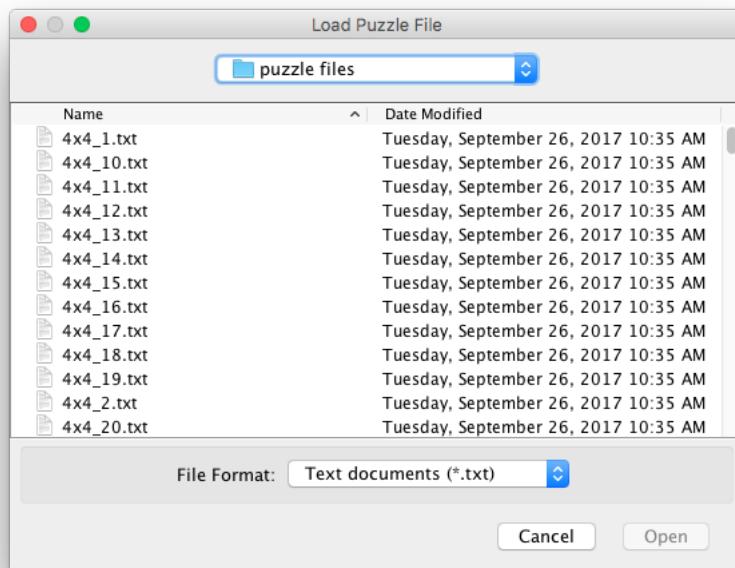
Jika *file* permainan yang dipilih berhasil dibuka, maka perangkat lunak akan menampilkan permainan berdasarkan *file* yang dipilih, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.3.

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

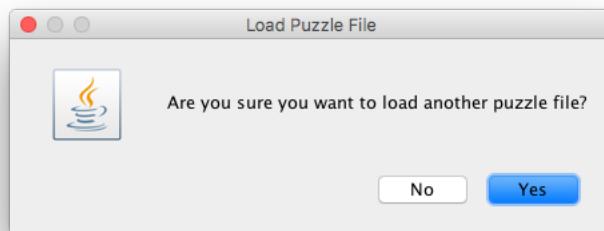
Jika *file* permainan yang dibuka tidak *valid*, misalnya karena *file* permainan yang dibuka bukan *file* teks, atau jika *file* teks yang akan dibuka formatnya tidak *valid*, maka pesan error "*Invalid puzzle file*" akan muncul, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.9.

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.

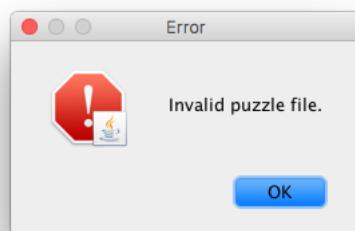
Jika salah satu dari kedua error tersebut terjadi, maka akan keluar pesan error "*Error in loading puzzle file*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5.7: Kotak pemilihan *file* permainan



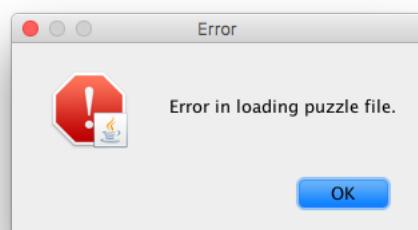
Gambar 5.8: Kotak dialog "Are you sure you want to load another puzzle file?"



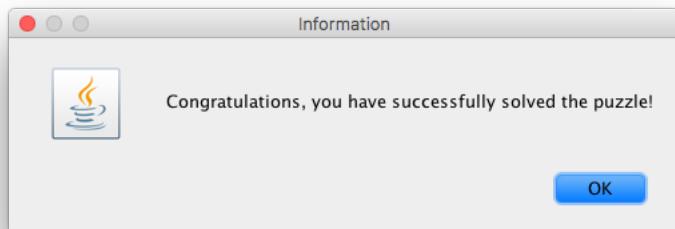
Gambar 5.9: Pesan error "Invalid puzzle file"



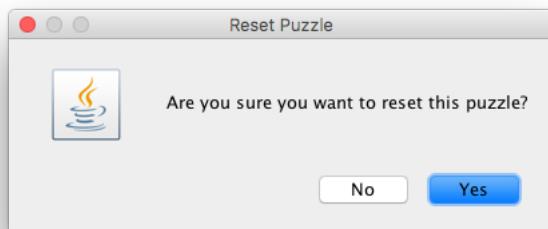
Gambar 5.10: Pesan error "*Invalid cages*"



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*.

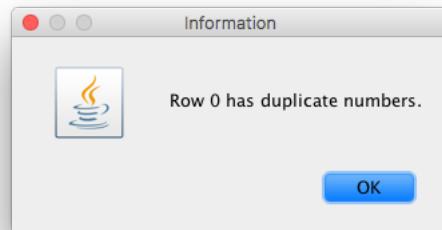
Perangkat lunak ini dapat memeriksa jika ada nilai yang salah di dalam *grid* secara otomatis.

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.

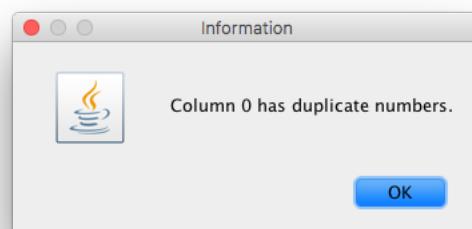
Jika ada nilai yang berulang dalam sebuah kolom, maka akan keluar kotak informasi "*Column* (nomor kolom) *has duplicate numbers*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.15.

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.

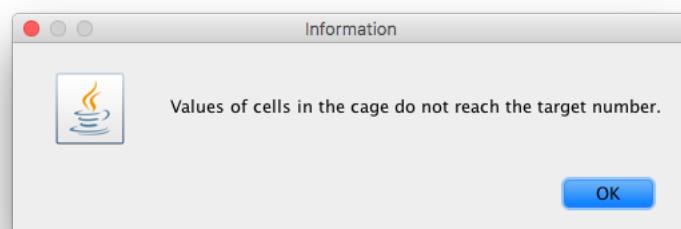
Pemain juga dapat meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan jika ada nilai yang salah di dalam *grid* secara manual, dengan memilih menu item "Check Puzzle" dalam menu "File".



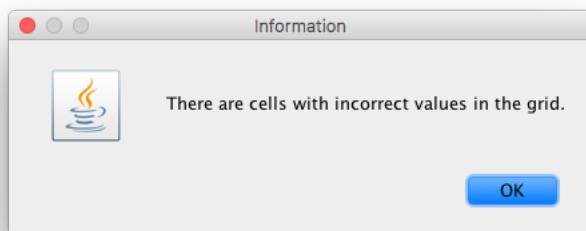
Gambar 5.14: Pesan informasi "*Row* (nomor baris) *has duplicate numbers*"



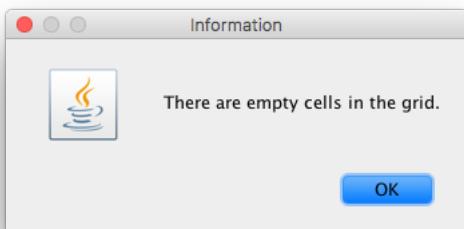
Gambar 5.15: Pesan informasi "*Column* (nomor kolom) *has duplicate numbers*"



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.

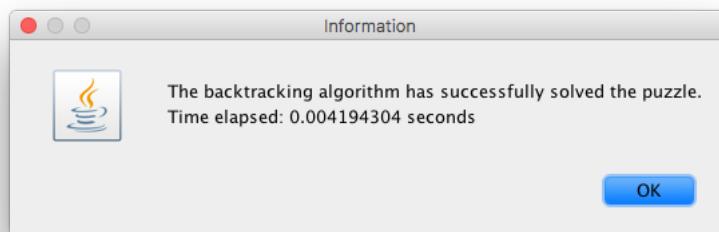
Jika menu *item* ini dijalankan dan ternyata ada sel yang masih kosong, maka akan muncul kotak informasi "*There are empty cells in the grid*", seperti dapat dilihat pada Gambar 5.18.

6. Menyelesaikan permainan dengan menggunakan algoritma *backtracking*

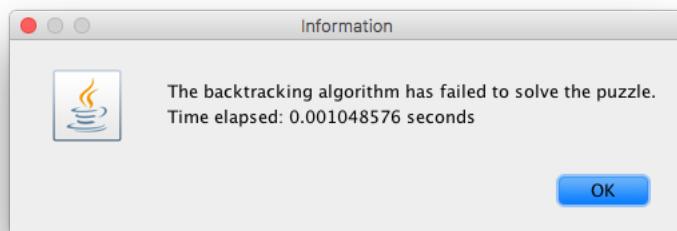
Pemain dapat meminta perangkat lunak untuk menyelesaikan permainan dengan salah satu dari dua *solver* yang disediakan. Salah satu dari kedua *solver* tersebut adalah *solver* dengan algoritma *backtracking*. Untuk menggunakan *solver* ini, pemain memilih menu *item* "*Backtracking*" dalam menu "*Solve*".

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.

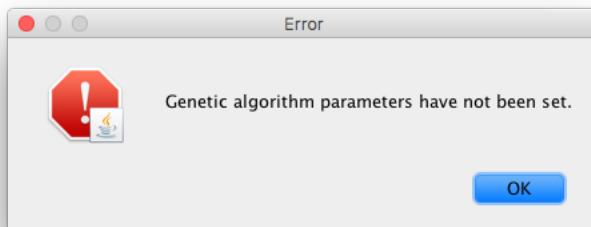
Jika gagal, maka akan muncul kotak informasi "*The backtracking algorithm has failed to solve the puzzle*", dan waktu yang dibutuhkan oleh *solver* untuk menemukan bahwa tidak ada solusi untuk permainan tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.20



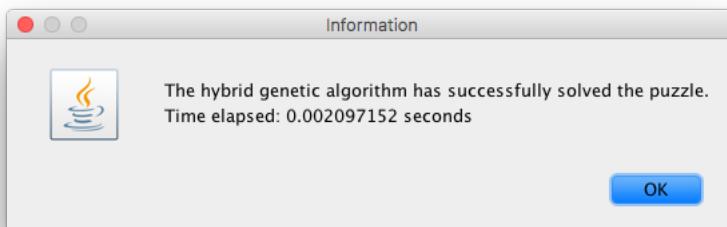
Gambar 5.19: Pesan informasi "*The backtracking algorithm has successfully solved the puzzle*"



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.

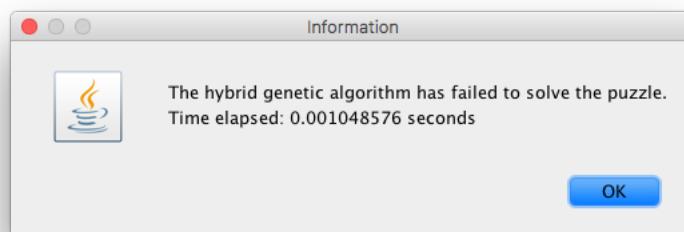
Jika *solver* ini berhasil dalam menyelesaikan permainan, maka akan muncul kotak informasi "*The hybrid genetic algorithm has successfully solved the puzzle*", dan waktu yang dibutuhkan oleh *solver* untuk menyelesaikan permainan tersebut, seperti dapat dilihat pada Gambar 5.22.

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

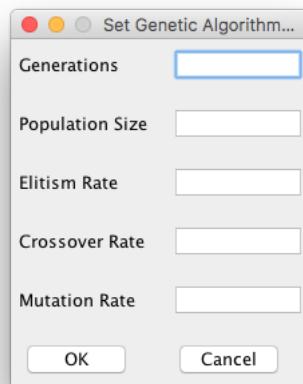
8. Mengatur nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik

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.



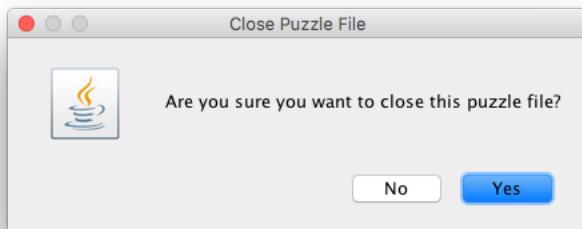
Gambar 5.23: Pesan informasi "*The hybrid genetic algorithm has failed to solve the puzzle*"



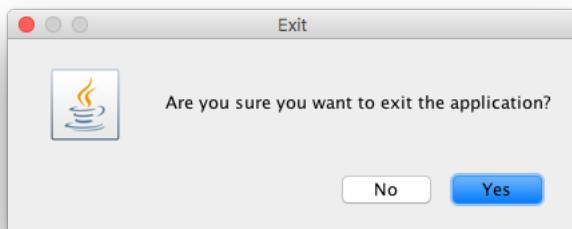
Gambar 5.24: *Form* untuk mengatur nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik



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

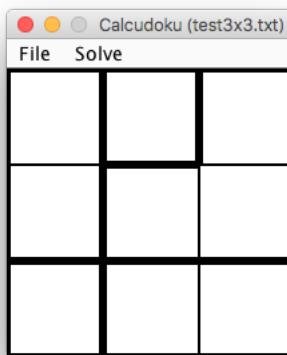
Pengujian keakuratan dilakukan untuk memastikan bahwa permainan yang ditampilkan oleh perangkat lunak sesuai dengan *file* permainan yang dibuka. Skenario-skenario yang akan dilakukan

```

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:

1. 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.

Seharusnya, petunjuk, yaitu angka tujuan dan operasi matematika yang ditentukan untuk sebuah *cage*, ditampilkan pada sudut kiri atas dari sel yang paling atas dan yang paling kiri dalam *cage* tersebut. Tetapi, karena dalam perangkat lunak ini sebuah sel adalah sebuah *text field*, dan sebuah *text field* tidak dapat diisi dengan dua teks yang berbeda (petunjuk untuk sel tersebut dan isi dari sel tersebut), maka petunjuk 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.

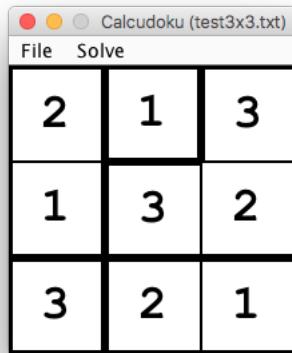
Untuk menguji keakuratan perangkat lunak dalam menampilkan pesan informasi pada waktunya, maka perangkat lunak harus diuji dengan menyelesaikan sebuah permainan, dan melihat apa kotak informasi ditampilkan pada waktunya atau tidak.

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.



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

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

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.

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	42.308%	8.389 detik	9
6 × 6	0%	-	-
7 × 7	0%	-	-
8 × 8	0%	-	-

Tidak ada nilai *default* untuk parameter-parameter dari algoritma genetik ini. Nilai dari parameter-parameter tersebut harus diisi sendiri oleh pemain.

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	42.308%	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	42.308%	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	42.308%	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	61.538%	0.498 detik	5
5 × 5	19.231%	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	61.538%	0.553 detik	5
5 × 5	19.231%	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	61.538%	0.524 detik	5
5 × 5	19.231%	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	61.538%	0.579 detik	5
5×5	19.231%	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	35.897%	0.511 detik	7
5×5	15.385%	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	35.897%	0.511 detik	7
5×5	15.385%	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	35.897%	0.511 detik	7
5 × 5	15.385%	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	35.897%	0.511 detik	7
5 × 5	15.385%	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	23.077%	0.054 detik	9
5 × 5	15.385%	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	23.077%	0.054 detik	9
5×5	15.385%	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	23.077%	0.054 detik	9
5×5	15.385%	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	23.077%	0.054 detik	9
5×5	15.385%	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 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. Perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku dengan dua *solver*, yaitu *solver* dengan algoritma *backtracking* dan *solver* dengan algoritma *hybrid genetic*, berhasil dibuat.

Perangkat lunak ini menerima input berupa soal teka-teki dan mampu menyelesaikan soal teka-teki tersebut menggunakan algoritma *backtracking* dan *hybrid genetic*.

2. Algoritma *backtracking* dapat menyelesaikan semua permainan yang diujikan. Pada ukuran *grid* yang besar, algoritma *backtracking* sangat lambat dalam menyelesaikan permainan.

Ada kemungkinan algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan karena sifat acak dari algoritma *hybrid genetic* ini. Semakin besar ukuran *grid*, maka kemungkinan algoritma *hybrid genetic* gagal dalam menyelesaikan permainan semakin besar.

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.

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.

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. Memperbaiki GUI dari perangkat lunak ini agar petunjuk, yaitu angka tujuan dan operasi matematika yang ditentukan untuk sebuah *cage*, dapat ditampilkan sebagaimana mestinya, yaitu pada di sudut kiri atas sel yang paling atas dan yang paling kiri dalam *cage* tersebut.
2. 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.
3. 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* Berukuran 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.

D.1 Grid.java

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 numberCages;
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 numberCages, Integer[][] cageCells,
18                String[] cageObjectives)
19    {
20        this.size = size;
21        this.numberCages = numberCages;
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);
29            throw new IllegalStateException("Invalid array size.");
30        }
31        if (isCageObjectivesSizeValid(cageObjectives))
32        {
33            this.cageObjectives = cageObjectives;
34        }
35        else
36        {
37            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid array size.", "Error",
38                                         JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
39            throw new IllegalStateException("Invalid array size.");
40        }
41        this.grid = new Cell[size][size];
42        this.cages = new Cage[numberCages];
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);
64                throw new IllegalStateException("Invalid cage assignment.");
65            }
66        }
67    }
68}
```

```

67     }
68     generateGrid(grid, cages);
69     if (!isCagesValid(cages))
70     {
71         JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid cages.", "Error",
72             JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
73         throw new IllegalStateException("Invalid cages.");
74     }
75 }
76
77 private int countAreas(Integer[][] array)
78 {
79     boolean[][] checked = new boolean[size][size];
80     for (int i = 0; i < size; i++)
81     {
82         for (int j = 0; j < size; j++)
83         {
84             checked[i][j] = false;
85         }
86     }
87     return countAreas(array, checked);
88 }
89
90 private int countAreas(Integer[][] array, boolean[][] checked)
91 {
92     int areas = 0;
93     for (int i = 0; i < array.length; i++)
94     {
95         for (int j = 0; j < array.length; j++)
96         {
97             if (checked[i][j])
98             {
99                 continue;
100            }
101            if (array[i][j] == 0)
102            {
103                checked[i][j] = true;
104                continue;
105            }
106            areas++;
107            floodFill(i, j, array, checked);
108        }
109    }
110    return areas;
111 }
112
113 private void floodFill(int i, int j, Integer[][] array,
114                         boolean[][] checked)
115 {
116     if (array[i][j] == 0 || checked[i][j])
117     {
118         return;
119     }
120     checked[i][j] = true;
121     if (j < array.length - 1)
122     {
123         floodFill(i, j + 1, array, checked);
124     }
125     if (i < array.length - 1)
126     {
127         floodFill(i + 1, j, array, checked);
128     }
129     if (j > 0)
130     {
131         floodFill(i, j - 1, array, checked);
132     }
133     if (i > 0)
134     {
135         floodFill(i - 1, j, array, checked);
136     }
137 }
138
139 private boolean isCageCellsSizeValid(Integer[][] cageCells)
140 {
141     if (cageCells.length == size)
142     {
143         for (int i = 0; i < size; i++)
144         {
145             if (cageCells[i].length != size)
146             {
147                 return false;
148             }
149         }
150     }
151     else
152     {
153         return false;
154     }
155     return true;
156 }
157
158 private boolean isCageObjectivesSizeValid(String[] cageObjectives)
159 {
160     return cageCells.length == size;
161 }
162
163 private boolean isCageAssignmentValid(Integer[][] array)
164 {
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.",
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 }

```

```

463     }
464
465     public Integer getNumberOfCages()
466     {
467         return numberOfCages;
468     }
469
470     public Integer [][] getCageCells()
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 }

```

D.2 Cell.java

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 }

```

D.3 Cage.java

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        }
20        else
21        {
22            JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid cage objectives.",
23                                         "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
23        }
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               }
106           }
107       }
108   }

```

```

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

```

D.4 SolverBacktracking.java

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.solverSetValue(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
81 }

```

D.5 SolverHybridGenetic.java

Listing D.5: SolverHybridGenetic.java

```

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 }
```

D.6 SolverRuleBased.java

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    }
34}
```



```

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 '/' :

```



```

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             }
529         }
530     }
531 }
```

```

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         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 {
571     switch (cageTargetNumber)
572     {
573         case 4 :
574             array.add(1);
575             array.add(4);
576             break;
577         case 5 :
578             array.add(1);
579             array.add(5);
580             break;
581         case 6 :
582             array.add(1);
583             array.add(6);
584             break;
585         default :
586             array = createRetainAllArray();
587             break;
588     }
589     break;
590     default :
591         JOptionPane.showMessageDialog(null,
592             "Invalid operator.", "Error",
593             JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
594     throw new IllegalStateException("Invalid operator.");
595 }
596 return array;
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);

```



```

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);
854             array.add(8);
855             break;
856         case 35 :
857             array.add(5);
858             array.add(7);
859             break;
860         case 40 :
861             array.add(5);
862             array.add(8);
863             break;
864         case 42 :
865             array.add(6);
866             array.add(7);
867             break;
868         case 48 :
869             array.add(6);
870             array.add(8);
871             break;
872         case 56 :
873             array.add(7);
874             array.add(8);
875             break;
876     default :
877         array = createRetainAllArray();
878         break;
879     }
880     break;
881 case '/':
882     switch (cageTargetNumber)
883     {
884         case 5 :
885             array.add(1);
886             array.add(5);
887             break;
888         case 6 :
889             array.add(1);
890             array.add(6);
891             break;
892         case 7 :
893             array.add(1);
894             array.add(7);
895             break;
896         case 8 :
897             array.add(1);
898             array.add(8);
899             break;
900     default :
901         array = createRetainAllArray();
902         break;
903     }
904     break;
905     default :
906         JOptionPane.showMessageDialog(null,
907             "Invalid operator.", "Error",
908             JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
909         throw new IllegalStateException("Invalid operator.");
910     }
911     return array;
912 }
913
914 private ArrayList<Integer> killerCombinationCageSize2GridSize9(Cage cage)
915 {
916     char cageOperator = cage.getOperator();
917     int cageTargetNumber = cage.getTargetNumber();
918     ArrayList<Integer> array = new ArrayList<Integer>();
919     switch (cageOperator)
920     {
921         case '+' :
922             switch (cageTargetNumber)
923             {

```

```
924     case 3 :
925         array.add(1);
926         array.add(2);
927         break;
928     case 4 :
929         array.add(1);
930         array.add(3);
931         break;
932     case 16 :
933         array.add(7);
934         array.add(9);
935         break;
936     case 17 :
937         array.add(8);
938         array.add(9);
939         break;
940     default :
941         array = createRetainAllArray();
942         break;
943     }
944     break;
945     case '-' :
946     switch (cageTargetNumber)
947     {
948         case 8 :
949             array.add(1);
950             array.add(9);
951             break;
952         default :
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             }
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
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
2442
2443
2444
2445
2446
2447
2448
2449
2450
2451
2452
2453
2454
2455
2456
2457
2458
2459
2460
2461
2462
2463
2464
2465
2466
2467
2468
2469
2470
2471
2472
2473
2474
2475
2476
2477
2478
2479
2480
2481
2482
2483
2484
2485
2486
2487
2488
2489
2490
2491
2492
2493
2494
2495
2496
2497
2498
2499
2500
2501
2502
2503
2504
2505
2506
2507
2508
2509
2510
2511
2512
2513
2514
2515
2516
2517
2518
2519
2520
2521
2522
2523
2524
2525
2526
2527
2528
2529
2530
2531
2532
2533
2534
2535
2536
2537
2538
2539
2540
2541
2542
2543
2544
2545
2546
2547
2548
2549
2550
2551
2552
2553
2554
2555
2556
2557
2558
2559
2560
2561
2562
2563
2564
2565
2566
2567
2568
2569
2570
2571
2572
2573
2574
2575
2576
2577
2578
2579
2580
2581
2582
2583
2584
2585
2586
2587
2588
2589
2590
2591
2592
2593
2594
2595
2596
2597
2598
2599
2600
2601
2602
2603
2604
2605
2606
2607
2608
2609
2610
2611
2612
2613
2614
2615
2616
2617
2618
2619
2620
2621
2622
2623
2624
2625
2626
2627
2628
2629
2630
2631
2632
2633
2634
2635
2636
2637
2638
2639
2640
2641
2642
2643
2644
2645
2646
2647
2648
2649
2650
2651
2652
2653
2654
2655
2656
2657
2658
2659
2660
2661
2662
2663
2664
2665
2666
2667
2668
2669
2670
2671
2672
2673
2674
2675
2676
2677
2678
2679
2680
2681
2682
2683
2684
2685
2686
2687
2688
2689
2690
2691
2692
2693
2694
2695
2696
2697
2698
2699
2700
2701
2702
2703
2704
2705
2706
2707
2708
2709
2710
2711
2712
2713
2714
2715
2716
2717
2718
2719
2720
2721
2722
2723
2724
2725
2726
2727
2728
2729
2730
2731
2732
2733
2734
2735
2736
2737
2738
2739
2740
2741
2742
2743
2744
2745
2746
2747
2748
2749
2750
2751
2752
2753
2754
2755
2756
2757
2758
2759
2760
2761
2762
2763
2764
2765
2766
2767
2768
2769
2770
2771
2772
2773
2774
2775
2776
2777
2778
2779
2780
2781
2782
2783
2784
2785
2786
2787
2788
2789
2790
2791
2792
2793
2794
2795
2796
2797
2798
2799
2800
2801
2802
2803
2804
2805
2806
2807
2808
2809
2810
2811
2812
2813
2814
2815
2816
2817
2818
2819
2820
2821
2822
2823
2824
2825
2826
2827
2828
2829
2830
2831
2832
2833
2834
2835
2836
2837
2838
2839
2840
2841
2842
2843
2844
2845
2846
2847
2848
2849
2850
2851
2852
2853
2854
2855
2856
2857
2858
2859
2860
2861
2862
2863
2864
2865
2866
2867
2868
2869
2870
2871
2872
2873
2874
2875
2876
2877
2878
2879
2880
2881
2882
2883
2884
2885
2886
2887
2888
2889
2890
2891
2892
2893
2894
2895
2896
2897
2898
2899
2900
2901
2902
2903
2904
2905
2906
2907
2908
2909
2910
2911
2912
2913
2914
2915
2916
2917
2918
2919
2920
2921
2922
2923
2924
2925
2926
2927
2928
2929
2930
2931
2932
2933
2934
2935
2936
2937
2938
2939
2940
2941
2942
2943
2944
2945
2946
2947
2948
2949
2950
2951
2952
2953
2954
2955
2956
2957
2958
2959
2960
2961
2962
2963
2964
2965
2966
2967
2968
2969
2970
2971
2972
2973
2974
2975
2976
2977
2978
2979
2980
2981
2982
2983
2984
2985
2986
2987
2988
2989
2990
2991
2992
2993
2994
2995
2996
2997
2998
2999
3000
3001
3002
3003
3004
3005
3006
3007
3008
3009
3010
3011
3012
3013
3014
3015
3016
3017
3018
3019
3020
3021
3022
3023
3024
3025
3026
3027
3028
3029
3030
3031
3032
3033
3034
3035
3036
3037
3038
3039
3040
3041
3042
3043
3044
3045
3046
3047
3048
3049
3050
3051
3052
3053
3054
3055
3056
3057
3058
3059
3060
3061
3062
3063
3064
3065
3066
3067
3068
3069
3070
3071
3072
3073
3074
3075
3076
3077
3078
3079
3080
3081
3082
3083
3084
3085
3086
3087
3088
3089
3090
3091
3092
3093
3094
3095
3096
3097
3098
3099
3100
3101
3102
3103
3104
3105
3106
3107
3108
3109
3110
3111
3112
3113
3114
3115
3116
3117
3118
3119
3120
3121
3122
3123
3124
3125
3126
3127
3128
3129
3130
3131
3132
3133
3134
3135
3136
3137
3138
3139
3140
3141
3142
3143
3144
3145
3146
3147
3148
3149
3150
3151
3152
3153
3154
3155
3156
3157
3158
3159
3160
3161
3162
3163
3164
3165
3166
3167
3168
3169
3170
3171
3172
3173
3174
3175
3176
3177
3178
3179
3180
3181
3182
3183
3184
3185
3186
3187
3188
3189
3190
3191
3192
3193
3194
3195
3196
3197
3198
3199
3200
3201
3202
3203
3204
3205
3206
3207
3208
3209
3210
```

```

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         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     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   }
1539   System.out.println("");
1540 }
1541
1542 }
1543 }
```

D.7 SolverGenetic.java

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    }
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    }

```

```

164     }
165     Chromosome c = new Chromosome(chromosomeGrid);
166     return c;
167 }
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     }
265 }

```

```

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     Chromosome child = new Chromosome(childGrid);
273     return child;
274 }
275
276 public Grid getGrid()
277 {
278     return grid;
279 }
280
281 public Grid getSolution()
282 {
283     return solution;
284 }
285
286 private void printGrid(Cell[][][] cells)
287 {
288     for (int i = 0; i < size; i++)
289     {
290         for (int j = 0; j < size; j++)
291         {
292             System.out.print(cells[i][j].getValue() + " ");
293         }
294         System.out.println("");
295     }
296     System.out.println("");
297 }
298
299 }
300 }
```

D.8 Chromosome.java

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 numberOfValidCells = 0;
22        double numberOfCells = 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                    numberOfValidCells++;
30                }
31            }
32        }
33        double value = numberOfValidCells / numberOfCells;
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|

```

D.9 Controller.java

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}

```

D.10 Calcudoku.java

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     }

```

```

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();
179             }
179         }
179     }
179 }

```

```

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    else
188    {
189        resetFrame();
190        clearVariables();
191        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Invalid puzzle file.",
192            "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
193        throw new IllegalStateException("Invalid puzzle file.");
194    }
195}
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
236 private void menuItemCheckActionPerformed(ActionEvent evt)
237 {
238    if (c == null || gui == null)
239    {
240        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded.",
241            "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
242        throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded.");
243    }
244    else
245    {
246        c.checkGrid();
247    }
248}
249
250 private void menuItemCloseActionPerformed(ActionEvent evt)
251 {
252    if (c == null || gui == null)
253    {
254        JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded.",
255            "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
256        throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded.");
257    }
258    else
259    {
260        if (JOptionPane.showConfirmDialog(null,
261            "Are you sure you want to close this puzzle file?",
262            "Close Puzzle File", JOptionPane.YES_NO_OPTION)
263            == JOptionPane.YES_OPTION)
264        {
265            resetFrame();
266            clearVariables();
267        }
268    }
269}
270
271 private void menuItemExitActionPerformed(ActionEvent evt)
272 {
273    if (JOptionPane.showConfirmDialog(null,
274        "Are you sure you want to exit this application?", "Exit",
275        JOptionPane.YES_NO_OPTION) == JOptionPane.YES_OPTION)
276    {
277        destroyFrame();
278    }
}

```

```

279 }
280
281     private void menuItemBacktrackingActionPerformed(ActionEvent evt)
282     {
283         if (c == null || gui == null)
284         {
285             JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded .",
286                                         "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
287             throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded .");
288         }
289     else
290     {
291         gui.solveBacktracking();
292     }
293 }
294
295     private void menuItemHybridGeneticActionPerformed(ActionEvent evt)
296     {
297         if (c == null || gui == null)
298         {
299             JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded .",
300                                         "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
301             throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded .");
302         }
303     else
304     {
305         gui.solveHybridGenetic();
306     }
307 }
308
309     private void menuItemGeneticParametersActionPerformed(ActionEvent evt)
310     {
311         if (c == null || gui == null)
312         {
313             JOptionPane.showMessageDialog(null, "Puzzle file not loaded .",
314                                         "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
315             throw new IllegalStateException("Puzzle file not loaded .");
316         }
317     else
318     {
319         GeneticParameters gp = new GeneticParameters(gui);
320         gp.setVisible(true);
321     }
322 }
323
324     private void loadPuzzleFile(File puzzleFile) throws FileNotFoundException
325     {
326         resetFrame();
327         clearVariables();
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 class WindowListener extends WindowAdapter
405 {
406
407   private final Calcudoku frame;
408
409   public WindowListener(Calcudoku frame)
410   {
411     this.frame = frame;
412   }
413
414   @Override
415   public void windowClosing(WindowEvent e)
416   {
417     if ( JOptionPane.showConfirmDialog(null,
418         "Are you sure you want to exit the application?", "Exit",
419         JOptionPane.YES_NO_OPTION) == JOptionPane.YES_OPTION)
420     {
421       frame.destroyFrame();
422     }
423   }
424
425   @Override
426   public void windowClosed(WindowEvent e)
427   {
428     System.exit(0);
429   }
430
431 }
432
433 class PuzzleFileFilter extends FileFilter
434 {
435
436   @Override
437   public boolean accept(File puzzleFile)
438   {
439     return puzzleFile.isDirectory()
440        || puzzleFile.getAbsoluteFilePath().endsWith(".txt");
441   }
442
443   @Override
444   public String getDescription()
445   {
446     return "Text documents (*.txt)";
447   }
448
449 }
450 }
```

D.11 GUI.java

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 numberCages;
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                     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                 }

```

```

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].getCageID();
240     textField.setToolTipText(cages[cageID].getObjective());
241     textField.setBorderStyle(BorderFactory.createMatteBorder(
242         topBorderWidth, leftBorderWidth, bottomBorderWidth,
243         rightBorderWidth, Color.BLACK));
244     textField.setFont(font);
245     textField.setHorizontalTextPosition(TextField.CENTER);
246     textField.setPreferredSize(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         menuItem.addActionListener(new PopupMenuItemListener(textField,
252             i));
253         menuItem.addActionListener(new PopupMenuItemListener(textField,
254             i));
255         textField.add(popupMenu);
256         textField.setComponentPopupMenu(popupMenu);
257     }
258     for (int y = 0; y < size; y++)
259     {
260         for (int x = 0; x < size; x++)
261         {
262             this.add(textFields[y][x]);
263         }
264     }
265 }
266
267 public void solveBacktracking()
268 {
269     removeCellTextFieldListeners();
270     clearGrid();
271     Cell[][] solution;
272     float startTime = System.nanoTime();
273     float endTime;
274     float duration;
275     SolverBacktracking sb = new SolverBacktracking(game);
276     if (sb.solve() == true)
277     {
278         solution = sb.getSolution().getGridContents();
279         printGridToScreen(solution);
280         endTime = System.nanoTime();
281         duration = (endTime - startTime) / 1000000000;
282         System.out.println("The backtracking algorithm has successfully"
283             + " solved the puzzle." + "\nTime elapsed: " + duration
284             + " seconds");
285         JOptionPane.showMessageDialog(null,
286             "The backtracking algorithm has successfully solved the"
287             + " puzzle." + "\nTime elapsed: " + duration
288             + " seconds", "Information",
289             JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
290     }
291     else
292     {
293         endTime = System.nanoTime();
294         duration = (endTime - startTime) / 1000000000;
295         System.out.println("The backtracking algorithm has failed to solve"
296             + " the puzzle." + "\nTime elapsed: " + duration
297             + " seconds");
298         JOptionPane.showMessageDialog(null,
299             "The backtracking algorithm has failed to solve the"
300             + " puzzle." + "\nTime elapsed: " + duration
301             + " seconds", "Information",
302             JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
303     }
304 }
305 addCellTextFieldListeners();
306
307 public void solveHybridGenetic()
308 {
309     if (generations == null || populationSize == null
310         || elitismRate == null || crossoverRate == null
311         || mutationRate == null)
312     {
313         JOptionPane.showMessageDialog(null,

```

```

315             " Geneticalgorithm.parametershavenotbeenset . " ,
316             " Error " , JOptionPane.ERROR_MESSAGE );
317         throw new IllegalStateException(
318             " Geneticalgorithm.parametershavenotbeenset . " );
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("Thehybridgeneticalgorithmhassuccessfully" +
337                 + "solvedthepuzzle. " + "\nTimeelapsed: " + duration
338                 + "useconds");
339             JOptionPane.showMessageDialog(null,
340                 "Thehybridgeneticalgorithmhassuccessfullysolvedthe" +
341                 + "puzzle. " + "\nTimeelapsed: " + duration
342                 + "useconds", "Information",
343                 JOptionPane.INFORMATION_MESSAGE);
344         }
345         else
346         {
347             endTime = System.nanoTime();
348             duration = (endTime - startTime) / 1000000000;
349             System.out.println("Thehybridgeneticalgorithmhasfailedto" +
350                 + "solvethepuzzle. " + "\nTimeelapsed: " + duration
351                 + "useconds");
352             JOptionPane.showMessageDialog(null,
353                 "Thehybridgeneticalgorithmhasfailedtosolvethe" +
354                 + "puzzle. " + "\nTimeelapsed: " + duration
355                 + "useconds", "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
470     private final GUI gui;
471
472     CellKeyListener(GUI gui)
473     {
474         this.gui = gui;
475     }
476
477     @Override
478     public void keyPressed(KeyEvent e)
479     {
480         int keyCode = e.getKeyCode();
481         JTextField textField = (JTextField) e.getSource();
482         switch (keyCode)
483         {
484             case KeyEvent.VK_LEFT :
485                 e.consume();
486                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_LEFT);
487                 break;
488             case KeyEvent.VK_UP :
489                 e.consume();
490                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_UP);
491                 break;
492             case KeyEvent.VK_RIGHT :
493                 e.consume();
494                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_RIGHT);
495                 break;
496             case KeyEvent.VK_DOWN :
497                 e.consume();
498                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_DOWN);
499                 break;
500             case KeyEvent.VK_KP_LEFT :
501                 e.consume();
502                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_KP_LEFT);
503                 break;
504             case KeyEvent.VK_KP_UP :
505                 e.consume();
506                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_KP_UP);
507                 break;
508             case KeyEvent.VK_KP_RIGHT :
509                 e.consume();
510                 gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_KP_RIGHT);
511                 break;
512             case KeyEvent.VK_KP_DOWN :

```

```

513         e.consume();
514         gui.moveCursor(textField, KeyEvent.VK_KP_DOWN);
515         break;
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 }
```

D.12 GeneticParameters.java

Listing D.12: GeneticParameters.java

```
1| package view;
```

```

2 import java.awt.event.ActionEvent;
3 import javax.swing.GroupLayout;
4 import javax.swing.JButton;
5 import javax.swing.JFrame;
6 import javax.swing.JLabel;
7 import javax.swing.JOptionPane;
8 import javax.swing.JTextField;
9 import javax.swing.SwingConstantsConstants;
10 import javax.swing.WindowConstants;
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                     .addContainerGap()
83                     .addGroup(layout.createParallelGroup(
84                         GroupLayout.Alignment.LEADING)
85                         .addComponent(labelGenerations)
86                         .addComponent(labelPopulation)
87                         .addComponent(labelElitism)
88                         .addComponent(labelCrossover)
89                         .addComponent(labelMutation)
90                         .addComponent(buttonOK))
91                     .addGap(18, 18, 18)
92                     .addGroup(layout.createParallelGroup(
93                         GroupLayout.Alignment.LEADING)
94                         .addComponent(textFieldGenerations,
95                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
96                             100,
97                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
98                         .addComponent(textFieldPopulation,
99                             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
100                            100,
101                           GroupLayout.PREFERRED_SIZE)));
102     }

```

```

101         GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
102         .addComponent(textFieldElitism,
103             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
104             100,
105             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
106         .addComponent(textFieldCrossover,
107             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
108             100,
109             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
110         .addComponent(textFieldMutation,
111             GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
112             100,
113             GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
114         .addComponent(buttonCancel))
115     .addContainerGap(GridLayout.DEFAULT_SIZE,
116         Short.MAX_VALUE)));
117 layout.linkSize(SwingConstants.HORIZONTAL, buttonOK, buttonCancel);
118 layout.setVerticalGroup(
119     layout.createParallelGroup(GroupLayout.Alignment.LEADING)
120         .addGroup(layout.createSequentialGroup()
121             .addContainerGap())
122             .addGroup(layout.createParallelGroup(
123                 GroupLayout.Alignment.BASELINE)
124                 .addComponent(textFieldGenerations,
125                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
126                     GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
127                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE)
128                 .addComponent(labelGenerations))
129             .addGap(18, 18, 18)
130             .addGroup(layout.createParallelGroup(
131                 GroupLayout.Alignment.BASELINE)
132                 .addComponent(labelPopulation)
133                 .addComponent(textFieldPopulation,
134                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
135                     GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
136                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE))
137             .addGap(18, 18, 18)
138             .addGroup(layout.createParallelGroup(
139                 GroupLayout.Alignment.BASELINE)
140                 .addComponent(labelElitism)
141                 .addComponent(textFieldElitism,
142                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
143                     GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
144                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE))
145             .addGap(18, 18, 18)
146             .addGroup(layout.createParallelGroup(
147                 GroupLayout.Alignment.BASELINE)
148                 .addComponent(labelCrossover)
149                 .addComponent(textFieldCrossover,
150                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
151                     GroupLayout.DEFAULT_SIZE,
152                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE))
153             .addGap(18, 18, 18)
154             .addGroup(layout.createParallelGroup(
155                 GroupLayout.Alignment.BASELINE)
156                 .addComponent(labelMutation)
157                 .addComponent(textFieldMutation,
158                     GroupLayout.PREFERRED_SIZE,
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(GridLayout.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.", "Error", JOptionPane.ERROR_MESSAGE);
190         throw new IllegalStateException("Invalid number format.");
191     }
192 }
193
194 private void buttonCancelActionPerformed(ActionEvent evt)
195 {
196     destroyFrame();
197 }
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 }
```