

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, 20 Desember 2017**

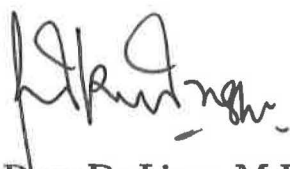
**Menyetujui,**

**Pembimbing**



**Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni**

**Ketua Tim Penguji**



**Rosa De Lima, M.Kom.**

**Anggota Tim Penguji**



**Claudio Franciscus, M.T.**

**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 20 Desember 2017



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*.

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* gagal dalam menyelesaikan permainan, sehingga performansinya tidak bisa dibandingkan dengan algoritma *backtracking*. Banyaknya sel yang diisi pada tahap algoritma *rule based* 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 operation. 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 backtracking algorithm successfully 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 smaller grids, the hybrid genetic algorithm tends to solve the puzzle slower than the backtracking algorithm. But on larger grids, the hybrid genetic algorithm failed to solve the puzzle, so its performance cannot be compared with the performance of the backtracking algorithm. The number of cells filled during the rule based algorithm phase 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



*Skripsi ini dipersembahkan untuk Tuhan Yesus Kristus, keluarga,  
teman-teman, dan dosen-dosen Informatika Unpar*



## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah selalu menyertai, memberkati, dan memberikan rahmat-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik dan lancar. Terima kasih juga kepada orang-orang yang telah memberikan bantuan, doa, motivasi, dan dukungan kepada penulis selama penyelesaian skripsi ini. Penulis ingin berterima kasih kepada:

1. Tuhan Yesus Kristus, Tuhan yang sungguh luar biasa, karena Engkau saya akhirnya bisa lulus setelah 9 semester, penulis tidak akan mampu menyelesaikan skripsi ini tanpa Engkau.
2. Keluargaku, Papa, Mama, dan kedua adikku Chelsea Steffie Adriana dan Sheren Stella Adriana, terima kasih karena selalu mendukung saya dalam doa dan memotivasi saya dalam menyelesaikan skripsi ini.
3. Ibu Heni, sebagai pembimbing skripsi saya. Terima kasih banyak karena telah memberi bimbingan dan memberi banyak masukan dalam membuat skripsi ini.
4. Ibu Rosa dan Pak Claudio, sebagai penguji skripsi saya. Terima kasih juga karena telah memberikan banyak masukan dalam membuat skripsi ini.
5. Pak Husnul, sebagai dosen wali saya dari Semester 1 sampai dengan Semester 6.
6. Dosen-dosen Informatika Unpar lainnya: Ibu Mariskha, Ibu Vero, Pak Anung, Pak Pascal, Ibu Vania, Pak Chandra, Ibu Lucy, Pak Lionov, dan Pak Gede. Terima kasih karena telah mengajar saya dari Semester 1 sampai dengan Semester 8.
7. Warga Informatika Unpar yang sudah lulus dan sudah diwisuda sebelum saya lulus, terima kasih untuk saran-sarannya yang telah membantu penulis dan menulis skripsi ini.
8. Warga Informatika Unpar yang sudah lulus dan akan diwisuda bersama-sama dengan saya, selamat untuk kalian semua!
9. Warga Informatika Unpar yang lainnya, baik yang sedang berjuang menyelesaikan skripsi, maupun yang belum membuat skripsi. Semoga kalian juga berhasil menyelesaikan skripsi dan lulus!
10. Teman-teman saya di kebaktian Soli Deo Worship GII Hok Im Tong, terima kasih karena telah mendukung saya dalam doa sehingga saya bisa berhasil menyelesaikan skripsi ini.
11. Banyak pihak lainnya yang namanya tidak bisa disebutkan satu per satu.

Penulis juga mohon maaf jika masih ada kekurangan dalam penulisan skripsi ini.

Bandung, Desember 2017

Penulis





# DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>xv</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xxi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xxv</b>
<b>1 PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang . . . . .	1
1.2 Rumusan Masalah . . . . .	3
1.3 Tujuan . . . . .	3
1.4 Batasan Masalah . . . . .	4
1.5 Metodologi Penelitian . . . . .	4
1.6 Sistematika Pembahasan . . . . .	5
<b>2 LANDASAN TEORI</b>	<b>7</b>
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 . . . . .	17
2.3.3 Algoritma <i>Hybrid Genetic</i> . . . . .	18
<b>3 ANALISIS</b>	<b>23</b>
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> . . . . .	29
3.2.2 Algoritma Genetik . . . . .	29
3.3 Analisis Perangkat Lunak . . . . .	45
3.3.1 Diagram <i>Use Case</i> dan Skenario . . . . .	46
3.3.2 Diagram Kelas . . . . .	49
3.3.3 Diagram <i>Sequence</i> . . . . .	51
<b>4 PERANCANGAN</b>	<b>65</b>
4.1 Perancangan Masukan . . . . .	65
4.2 Perancangan Keluaran . . . . .	66
4.3 Perancangan Antarmuka . . . . .	66
4.4 Diagram Kelas . . . . .	68
4.4.1 Kelas Grid . . . . .	69
4.4.2 Kelas Cage . . . . .	73
4.4.3 Kelas Cell . . . . .	75
4.4.4 Kelas SolverBacktracking . . . . .	76

4.4.5	Kelas SolverHybridGenetic	77
4.4.6	Kelas SolverRuleBased	78
4.4.7	Kelas SolverGenetic	82
4.4.8	Kelas Chromosome	85
4.4.9	Kelas ChromosomeComparator	86
4.4.10	Kelas Controller	86
4.4.11	Kelas Calcudoku	87
4.4.12	Kelas WindowListener	90
4.4.13	Kelas PuzzleFileFilter	90
4.4.14	Kelas GUI	92
4.4.15	Kelas CellKeyListener	93
4.4.16	Kelas PopupMenuListener	94
4.4.17	Kelas CellTextFieldListener	95
4.4.18	Kelas GeneticParameters	96
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN</b>	<b>99</b>
5.1	Lingkungan untuk Pengujian	99
5.2	Implementasi	99
5.3	Pengujian Fungsional	100
5.4	Pengujian Keakuratan	111
5.5	Pengujian Algoritma	114
5.5.1	Pengujian Algoritma <i>Backtracking</i>	114
5.5.2	Pengujian Algoritma <i>Hybrid Genetic</i>	114
<b>6</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>123</b>
6.1	Kesimpulan	123
6.2	Saran	123
	<b>DAFTAR REFERENSI</b>	<b>125</b>
<b>A</b>	<b>ANALISIS ALGORITMA <i>Backtracking</i></b>	<b>127</b>
<b>B</b>	<b>HASIL PENGUJIAN</b>	<b>141</b>
B.1	Algoritma <i>Backtracking</i>	141
B.2	Algoritma <i>Hybrid Genetic</i>	146
<b>C</b>	<b><i>File</i> TEKS SOAL-SOAL PERMAINAN CALCUDOKU UNTUK PENGUJIAN</b>	<b>157</b>
C.1	<i>File</i> Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran $4 \times 4$	158
C.2	<i>File</i> Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran $5 \times 5$	168
C.3	<i>File</i> Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran $6 \times 6$	175
C.4	<i>File</i> Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran $7 \times 7$	186
C.5	<i>File</i> Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran $8 \times 8$	191
C.6	<i>File</i> Teks Soal-Soal Permainan Calcudoku dengan <i>Grid</i> Berukuran $9 \times 9$	196
<b>D</b>	<b>KODE PROGRAM</b>	<b>199</b>
D.1	Grid.java	199
D.2	Cell.java	204
D.3	Cage.java	204
D.4	SolverBacktracking.java	206
D.5	SolverHybridGenetic.java	207
D.6	SolverRuleBased.java	208
D.7	SolverGenetic.java	224
D.8	Chromosome.java	227

D.9 Controller.java . . . . .	228
D.10 Calcudoku.java . . . . .	229
D.11 GUI.java . . . . .	233
D.12 GeneticParameters.java . . . . .	239



## 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 . . . . .	25
3.5 <i>State</i> 17 . . . . .	25
3.6 <i>State</i> 18 . . . . .	25
3.7 <i>State</i> 19 . . . . .	26
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 . . . . .	31
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 . . . . .	32
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 . . . . .	33
3.22	Kromosom 10 dalam Generasi ke-1 . . . . .	33
3.23	Kromosom 11 dalam Generasi ke-1 . . . . .	34
3.24	Kromosom 12 dalam Generasi ke-1 . . . . .	34
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 . . . . .	37
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 . . . . .	38
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 . . . . .	39
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 . . . . .	42
3.43	Kromosom 7 dalam Generasi ke-3 . . . . .	42
3.44	Kromosom 8 dalam Generasi ke-3 . . . . .	43
3.45	Kromosom 9 dalam Generasi ke-3 . . . . .	43
3.46	Kromosom 10 dalam Generasi ke-3 . . . . .	43
3.47	Kromosom 11 dalam Generasi ke-3 . . . . .	44
3.48	Kromosom 12 dalam Generasi ke-3 . . . . .	44
3.49	Diagram <i>use case</i> untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku . . . . .	47
3.50	Diagram kelas untuk perangkat lunak permainan teka-teki Calcudoku . . . . .	50
3.51	Diagram <i>sequence</i> saat perangkat lunak dibuka . . . . .	52
3.52	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Load Puzzle File" dalam menu "File" dipilih (1)	53
3.53	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Load Puzzle File" dalam menu "File" dipilih (2)	54
3.54	Diagram <i>sequence</i> saat <i>file</i> yang ingin dibuka dalam <i>file chooser</i> dipilih (1) . . . . .	55
3.55	Diagram <i>sequence</i> saat <i>file</i> yang ingin dibuka dalam <i>file chooser</i> dipilih (2) . . . . .	56
3.56	Diagram <i>sequence</i> saat <i>file</i> permainan yang sudah dipilih dibuka . . . . .	57
3.57	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Backtracking" dalam menu "Solve" dipilih . . . . .	58
3.58	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Hybrid Genetic" dalam menu "Solve" dipilih (1)	59
3.59	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Hybrid Genetic" dalam menu "Solve" dipilih (2)	60
3.60	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih . . . . .	61
3.61	Diagram <i>sequence</i> saat <i>button</i> "OK" dalam <i>form</i> "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih . . . . .	61
3.62	Diagram <i>sequence</i> saat <i>button</i> "Cancel" dalam <i>form</i> "Set Genetic Algorithm Parameters" dalam menu "Solve" dipilih . . . . .	61

3.63	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Check Puzzle File" dalam menu "File" dipilih . . . . .	62
3.64	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Reset Puzzle" dalam menu "File" dipilih . . . . .	63
3.65	Diagram <i>sequence</i> saat menu <i>item</i> "Close Puzzle File" dalam menu "File" dipilih . . . . .	64
3.66	Diagram <i>sequence</i> saat perangkat lunak ditutup . . . . .	64
4.1	Contoh <i>file</i> masukan. . . . .	65
4.2	Perancangan GUI sebelum <i>file</i> permainan dibuka. . . . .	66
4.3	Perancangan GUI sesudah <i>file</i> permainan dibuka. . . . .	66
4.4	Perancangan GUI sesudah permainan berdasarkan <i>file</i> permainan yang dibuka diselesaikan. . . . .	67
4.5	Menu <i>File</i> . . . . .	67
4.6	Menu <i>Solve</i> . . . . .	68
4.7	Diagram kelas untuk perangkat lunak Calcudoku. . . . .	69
4.8	Diagram kelas Grid. . . . .	74
4.9	Diagram kelas Cage. . . . .	75
4.10	Diagram kelas Cell. . . . .	76
4.11	Diagram kelas SolverBacktracking. . . . .	77
4.12	Diagram kelas SolverHybridGenetic. . . . .	78
4.13	Diagram kelas SolverRuleBased. . . . .	83
4.14	Diagram kelas SolverGenetic. . . . .	85
4.15	Diagram kelas Chromosome. . . . .	86
4.16	Diagram kelas ChromosomeComparator. . . . .	86
4.17	Diagram kelas Controller. . . . .	88
4.18	Diagram kelas Calcudoku. . . . .	91
4.19	Diagram kelas WindowListener. . . . .	91
4.20	Diagram kelas PuzzleFileFilter. . . . .	91
4.21	Diagram kelas GUI. . . . .	94
4.22	Diagram kelas CellKeyListener. . . . .	94
4.23	Diagram kelas PopupMenuListener. . . . .	95
4.24	Diagram kelas CellTextFieldListener. . . . .	96
4.25	Diagram kelas GeneticParameters. . . . .	97
5.1	Antarmuka perangkat lunak saat pertama kali dibuka . . . . .	100
5.2	Kotak dialog untuk memilih <i>file</i> permainan yang akan dibuka . . . . .	101
5.3	Antarmuka perangkat lunak sesudah membuka <i>file</i> permainan yang dipilih . . . . .	101
5.4	Kotak dialog untuk mengatur nilai dari parameter-parameter algoritma genetik . . . . .	102
5.5	Antarmuka perangkat lunak setelah permainan berdasarkan <i>file</i> permainan yang telah dibuka diselesaikan . . . . .	102
5.6	Kotak pesan error " <i>Puzzle file not loaded</i> " . . . . .	102
5.7	Kotak pemilihan <i>file</i> permainan . . . . .	103
5.8	Kotak dialog " <i>Are you sure you want to load another puzzle file?</i> " . . . . .	103
5.9	Pesan error " <i>Invalid puzzle file</i> " . . . . .	104
5.10	Pesan error " <i>Invalid cages</i> " . . . . .	104
5.11	Pesan error " <i>Error in loading puzzle file</i> " . . . . .	105
5.12	Pesan informasi " <i>Congratulations, you have succesfully solved the puzzle</i> " . . . . .	105
5.13	Kotak dialog " <i>Are you sure you want to reset this puzzle?</i> " . . . . .	105
5.14	Pesan informasi " <i>Row (nomor baris) has duplicate numbers</i> " . . . . .	106
5.15	Pesan informasi " <i>Column (nomor kolom) has duplicate numbers</i> " . . . . .	106
5.16	Pesan informasi " <i>Values of cells in the cage do not reach the target number</i> " . . . . .	106
5.17	Pesan informasi " <i>There are cells with incorrect values in the grid</i> " . . . . .	107
5.18	Pesan informasi " <i>There are empty cells in the grid</i> " . . . . .	107
5.19	Pesan informasi " <i>The backtracking algorithm has successfully solved the puzzle</i> " . . . . .	108

5.20	Pesan informasi " <i>The backtracking algorithm has failed to solve the puzzle</i> " . . . . .	108
5.21	Pesan informasi " <i>Genetic algorithm parameters have not been set</i> " . . . . .	108
5.22	Pesan informasi " <i>The hybrid genetic algorithm has successfully solved the puzzle</i> " . . . . .	109
5.23	Pesan informasi " <i>The hybrid genetic algorithm has failed to solve the puzzle</i> " . . . . .	109
5.24	<i>Form</i> untuk mengatur nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik . . . . .	110
5.25	Pesan error " <i>Invalid number format</i> " . . . . .	110
5.26	Kotak dialog " <i>Are you sure you want to close this puzzle file?</i> " . . . . .	110
5.27	Kotak dialog " <i>Are you sure you want to exit the application?</i> " . . . . .	111
5.28	<i>File</i> masukan untuk pengujian keakuratan . . . . .	111
5.29	GUI permainan berdasarkan <i>file</i> masukan yang dapat dilihat pada Gambar 5.28 . . . . .	112
5.30	Solusi untuk permainan berdasarkan <i>file</i> masukan yang dapat dilihat pada Gambar 5.28 . . . . .	113
A.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] . . . . .	127
A.2	<i>State</i> 4 . . . . .	128
A.3	<i>State</i> 11 . . . . .	128
A.4	<i>State</i> 12 . . . . .	128
A.5	<i>State</i> 17 . . . . .	129
A.6	<i>State</i> 18 . . . . .	129
A.7	<i>State</i> 19 . . . . .	129
A.8	<i>State</i> 23 . . . . .	130
A.9	<i>State</i> 24 . . . . .	130
A.10	<i>State</i> 31 . . . . .	131
A.11	<i>State</i> 32 . . . . .	131
A.12	<i>State</i> 34 . . . . .	131
A.13	<i>State</i> 37 . . . . .	132
A.14	<i>State</i> 47 . . . . .	132
A.15	<i>State</i> 48 . . . . .	133
A.16	<i>State</i> 52 . . . . .	133
A.17	<i>State</i> 53 . . . . .	133
A.18	<i>State</i> 68 . . . . .	134
A.19	<i>State</i> 69 . . . . .	135
A.20	<i>State</i> 71 . . . . .	135
A.21	<i>State</i> 72 . . . . .	135
A.22	<i>State</i> 74 . . . . .	136
A.23	<i>State</i> 75 . . . . .	136
A.24	<i>State</i> 76 . . . . .	136
A.25	<i>State</i> 77 . . . . .	137
A.26	<i>State</i> 78 . . . . .	137
A.27	<i>State</i> 81 . . . . .	137
A.28	<i>State</i> 83 . . . . .	138
A.29	<i>State</i> 85 . . . . .	138
A.30	<i>State</i> 88 . . . . .	138
A.31	<i>State</i> 92 . . . . .	139
A.32	<i>State</i> 93 . . . . .	139



## DAFTAR TABEL

3.1	Tabel parameter untuk algoritma genetik yang akan digunakan untuk menyelesaikan teka-teki Calcudoku yang digambarkan pada Gambar 3.12 . . . . .	30
3.2	Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromsoms pada Generasi ke-1 . . . . .	34
3.3	Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromsoms pada Generasi ke-1 . . . . .	39
3.4	Tabel nilai kelayakan untuk kromosom-kromsoms pada Generasi ke-3 . . . . .	45
3.5	Skenario me-load file . . . . .	47
3.6	Skenario memilih salah satu dari dua solver yang disediakan . . . . .	48
3.7	Skenario me-reset permainan . . . . .	48
3.8	Skenario meminta perangkat lunak untuk memeriksa permainan . . . . .	48
3.9	Skenario menutup file masukan . . . . .	49
3.10	Skenario menyelesaikan permainan dengan usahanya sendiri . . . . .	49
3.11	Skenario mengatur nilai dari parameter-parameter untuk algoritma genetik . . . . .	50
5.1	Lingkungan perangkat keras untuk pengujian perangkat lunak . . . . .	99
5.2	Lingkungan perangkat lunak untuk pengujian perangkat lunak . . . . .	100
5.3	Tabel jumlah soal permainan Calcudoku berdasarkan ukuran grid . . . . .	114
5.4	Hasil pengujian algoritma backtracking untuk Calcudoku . . . . .	114
5.5	Nilai untuk parameter-parameter algoritma genetik untuk setiap percobaan yang dilakukan . . . . .	115
5.6	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 1) . . . . .	115
5.7	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 2) . . . . .	116
5.8	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 3) . . . . .	116
5.9	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 4) . . . . .	116
5.10	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 5) . . . . .	117
5.11	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 6) . . . . .	117
5.12	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 7) . . . . .	117
5.13	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 8) . . . . .	118
5.14	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 9) . . . . .	118
5.15	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 10) . . . . .	118
5.16	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 11) . . . . .	118
5.17	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 12) . . . . .	119
5.18	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 13) . . . . .	119
5.19	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 14) . . . . .	119
5.20	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 15) . . . . .	120
5.21	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku (Skenario 16) . . . . .	120
5.22	Hasil pengujian algoritma hybrid genetic untuk Calcudoku sebanyak 16 skenario secara keseluruhan . . . . .	120
B.1	Hasil pengujian algoritma backtracking untuk Calcudoku dengan ukuran grid $4 \times 4$ . . . . .	142
B.2	Hasil pengujian algoritma backtracking untuk Calcudoku dengan ukuran grid $5 \times 5$ . . . . .	143
B.3	Hasil pengujian algoritma backtracking untuk Calcudoku dengan ukuran grid $6 \times 6$ . . . . .	144
B.4	Hasil pengujian algoritma backtracking untuk Calcudoku dengan ukuran grid $7 \times 7$ . . . . .	145
B.5	Hasil pengujian algoritma backtracking untuk Calcudoku dengan ukuran grid $8 \times 8$ . . . . .	145

B.6	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $4 \times 4$ (Skenario 1-4) . . . . .	147
B.7	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $4 \times 4$ (Skenario 5-8) . . . . .	148
B.8	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $4 \times 4$ (Skenario 9-12) . . . . .	149
B.9	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $4 \times 4$ (Skenario 13-16) . . . . .	150
B.10	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $5 \times 5$ (Skenario 1-4) . . . . .	151
B.11	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $5 \times 5$ (Skenario 5-8) . . . . .	152
B.12	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $5 \times 5$ (Skenario 9-12) . . . . .	153
B.13	Hasil pengujian algoritma <i>hybrid genetic</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $5 \times 5$ (Skenario 13-16) . . . . .	154
B.14	Daftar jumlah sel yang berhasil diisi oleh algoritma <i>rule based</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $4 \times 4$ . . . . .	155
B.15	Daftar jumlah sel yang berhasil diisi oleh algoritma <i>rule based</i> untuk Calcudoku dengan ukuran <i>grid</i> $5 \times 5$ . . . . .	156

# 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

Calculatedoku, atau dikenal juga sebagai KenKen, atau Mathdoku, adalah sebuah permainan teka-teki (*puzzle*) angka yang untuk menyelesaikannya 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.

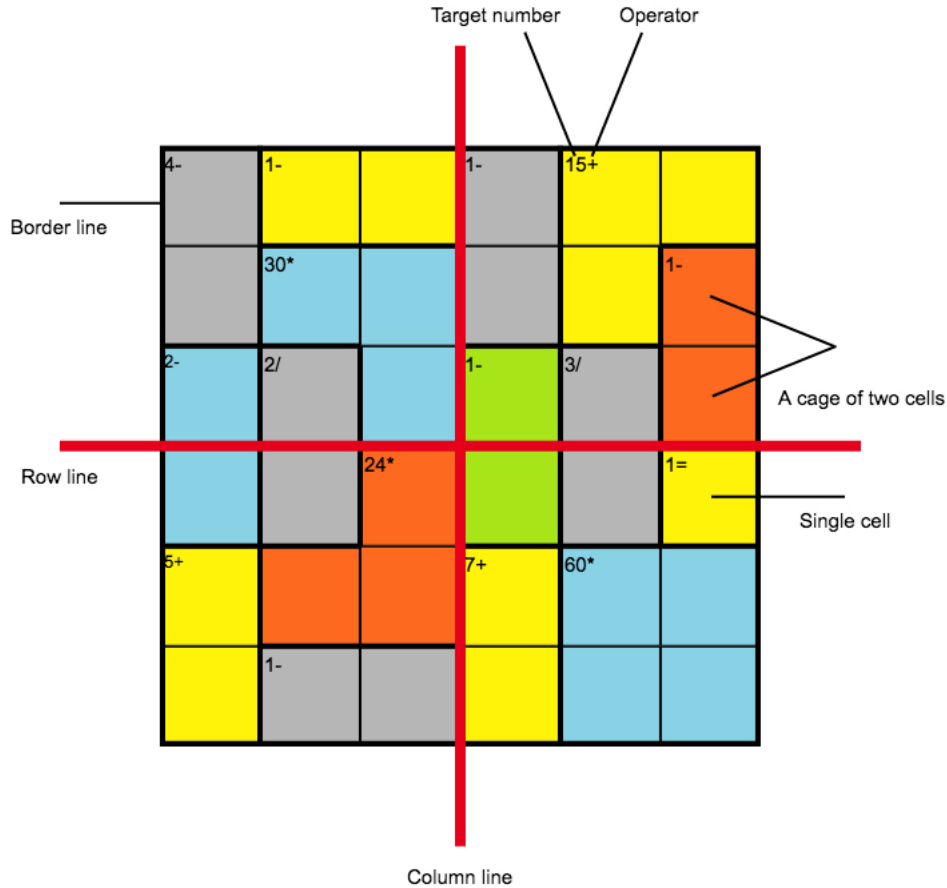
Teka-teki ini mirip dengan Sudoku. Sudoku adalah sebuah permainan teka-teki angka dengan *grid* berukuran  $n^2$ , di mana dalam setiap baris, kolom, dan  $n^2$  area yang berukuran  $n \times n$  tidak boleh ada angka yang berulang, dengan  $n$  adalah ukuran area. Biasanya,  $n = 3$ , sehingga *grid* berukuran  $9 \times 9$ , dan ada 9 area yang berukuran  $3 \times 3$ . 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 Calculatedoku *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, setiap sel dalam setiap *cage* dalam teka-teki ini kosong, belum terisi oleh angka-angka. *Border line* adalah garis pembatas

<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td> </td><td>2</td><td> </td><td>5</td><td> </td><td>1</td><td> </td><td>9</td><td> </td></tr> <tr><td>8</td><td> </td><td> </td><td>2</td><td> </td><td>3</td><td> </td><td> </td><td>6</td></tr> <tr><td> </td><td>3</td><td> </td><td> </td><td>6</td><td> </td><td> </td><td>7</td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td>1</td><td> </td><td> </td><td> </td><td>6</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td> </td><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td> </td><td> </td><td>2</td><td> </td><td> </td><td> </td><td>7</td><td> </td><td> </td></tr> <tr><td> </td><td>9</td><td> </td><td> </td><td>3</td><td> </td><td> </td><td>8</td><td> </td></tr> <tr><td>2</td><td> </td><td> </td><td>8</td><td> </td><td>4</td><td> </td><td> </td><td>7</td></tr> <tr><td> </td><td>1</td><td> </td><td>9</td><td> </td><td>7</td><td> </td><td>6</td><td> </td></tr> </table>		2		5		1		9		8			2		3			6		3			6			7				1				6			5	4						1	9			2				7				9			3			8		2			8		4			7		1		9		7		6		<table border="1" style="border-collapse: collapse; text-align: center;"> <tr><td>4</td><td>2</td><td>6</td><td>5</td><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>9</td><td>8</td></tr> <tr><td>8</td><td>5</td><td>7</td><td>2</td><td>9</td><td>3</td><td>1</td><td>4</td><td>6</td></tr> <tr><td>1</td><td>3</td><td>9</td><td>4</td><td>6</td><td>8</td><td>2</td><td>7</td><td>5</td></tr> <tr><td>9</td><td>7</td><td>1</td><td>3</td><td>8</td><td>5</td><td>6</td><td>2</td><td>4</td></tr> <tr><td>5</td><td>4</td><td>3</td><td>7</td><td>2</td><td>6</td><td>8</td><td>1</td><td>9</td></tr> <tr><td>6</td><td>8</td><td>2</td><td>1</td><td>4</td><td>9</td><td>7</td><td>5</td><td>3</td></tr> <tr><td>7</td><td>9</td><td>4</td><td>6</td><td>3</td><td>2</td><td>5</td><td>8</td><td>1</td></tr> <tr><td>2</td><td>6</td><td>5</td><td>8</td><td>1</td><td>4</td><td>9</td><td>3</td><td>7</td></tr> <tr><td>3</td><td>1</td><td>8</td><td>9</td><td>5</td><td>7</td><td>4</td><td>6</td><td>2</td></tr> </table>	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
	2		5		1		9																																																																																																																																																												
8			2		3			6																																																																																																																																																											
	3			6			7																																																																																																																																																												
		1				6																																																																																																																																																													
5	4						1	9																																																																																																																																																											
		2				7																																																																																																																																																													
	9			3			8																																																																																																																																																												
2			8		4			7																																																																																																																																																											
	1		9		7		6																																																																																																																																																												
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																																																																																																																																																											
Unsolved Sudoku	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]

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 memerankan 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 keberlangsungan 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 solusi 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 kesuksesan dan (jika sukses) kecepatan 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  $4 \times 4$  sampai dengan  $8 \times 8$ . Pada awalnya, ukuran *grid* direncanakan akan dibatasi dari  $3 \times 3$  sampai dengan  $9 \times 9$ , tetapi karena kurangnya contoh soal teka-teki Calcudoku dengan ukuran  $3 \times 3$ , dan ada masalah saat pengujian (keluar pesan error "*Memory full*" saat menguji *solver* dengan algoritma *backtracking* pada *grid* yang berukuran  $9 \times 9$ , maka ukuran *grid* dibatasi dari  $4 \times 4$  sampai dengan  $8 \times 8$ .
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*.
3. Soal-soal permainan teka-teki Calcudoku yang digunakan dalam pengujian diambil dari sumber-sumber berikut:
  - (a) <https://iota.math.msu.edu/k12-outreach/kenken-puzzles/>
  - (b) <http://thinkmath.edc.org/resource/kenken-puzzles>

## 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.
3. Melakukan pengujian dan eksperimen terhadap perangkat lunak Calcudoku yang telah dibuat. Soal-soal permainan teka-teki Calcudoku yang digunakan dalam pengujian diambil dari sumber-sumber berikut:
  - (a) <https://iota.math.msu.edu/k12-outreach/kenken-puzzles/>
  - (b) <http://thinkmath.edc.org/resource/kenken-puzzles>
4. Membandingkan performansi algoritma *backtracking* dengan algoritma *hybrid genetic* dalam menyelesaikan Calcudoku.
5. 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 kesimpulan dari pembuatan perangkat lunak Calcudoku dan hasil pengujiannya, dan saran untuk penelitian pengembangan perangkat lunak selanjutnya.