

SKRIPSI

**ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM UNTUK PERMASALAHAN
JOB SHOP SCHEDULING**



Steven Kosasih

NPM: 2015730050

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2020**

UNDERGRADUATE THESIS

**ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM APPLIED TO JOB SHOP
SCHEDULING**



Steven Kosasih

NPM: 2015730050

**DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2020**

PERNYATAAN

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

ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM UNTUK PERMASALAHAN JOB SHOP SCHEDULING

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 12 Juni 2020



Steven Kosasih
NPM: 2015730050

LEMBAR PENGESAHAN

**ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM UNTUK PERMASALAHAN
JOB SHOP SCHEDULING**

Steven Kosasih

NPM: 2015730050

Bandung, 12 Juni 2020

Menyetujui,

Pembimbing

Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni

Ketua Tim Penguji

Anggota Tim Penguji

Husnul Hakim, M.T.

Lionov, Ph.D.

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng

PERNYATAAN

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

ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM UNTUK PERMASALAHAN JOB SHOP SCHEDULING

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 12 Juni 2020

Steven Kosasih
NPM: 2015730050

ABSTRAK

Karya ilmiah ini akan membahas mengenai penyelesaian permasalahan *Job Shop Scheduling*. *Job Shop Scheduling* adalah penjadwalan yang melibatkan n buah pekerjaan dan m buah mesin dalam urutan proses yang berbeda. Setiap mesin hanya dapat memproses tepat 1 pekerjaan dalam 1 kurun waktu tertentu dan setiap pekerjaan akan diproses pada seluruh mesin. Pada *Job Shop Scheduling*, saat sebuah mesin melakukan pekerjaan, maka mesin lain tidak dapat melakukan pekerjaan yang sejenis dalam waktu yang bersamaan. Urutan pengerjaan yang berbeda akan menghasilkan waktu total pengerjaan yang berbeda. Hasil akhir yang diharapkan dari penyelesaian permasalahan ini adalah waktu total pengerjaan berdasarkan urutan pengerjaan pekerjaan yang dilakukan.

Terdapat banyak algoritma yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *job shop scheduling*. Pada skripsi ini, algoritma yang digunakan adalah algoritma *clonal selection*. Algoritma *clonal selection* merupakan algoritma yang berasal dari konsep *artificial immune system*. *Artificial immune system* adalah sebuah konsep yang dikembangkan berdasarkan perilaku imun sistem manusia. Sistem imun manusia memiliki kemampuan untuk mengenali benda asing dan mengeleminasinya dengan cara membuat antibodi. Antibodi akan melalui proses *cloning* lalu proses mutasi untuk memperbaiki antibodi. Algoritma *clonal selection* akan menerapkan prinsip *cloning* dari antibodi dan dimutasi untuk mencari solusi yang paling optimal. Tujuan dari perangkat lunak yang dibuat adalah menampilkan jadwal terbaik beserta waktu akhir dari sebuah jadwal. Perangkat lunak pada penelitian ini mampu menghasilkan jadwal terbaik dari sejumlah jadwal yang dihasilkan *job shop scheduling*. Pengukuran kualitas akan menggunakan *Tailard's Benchmark*. Pada *Tailard's Benchmark* terdapat 2 nilai yang akan dijadikan sebagai nilai pembanding yaitu nilai batas atas dan nilai batas bawah. Nilai batas atas adalah nilai terbaik yang dapat dicapai pada sebuah kasus penjadwalan dengan menggunakan sebuah lingkup pengujian yang sama, sedangkan batas bawah merupakan nilai terburuk pada lingkup pengujian yang sama. Untuk mengetahui kinerja dari algoritma ini, akan dilakukan eksperimen dengan mengganti nilai parameter yang ada pada perangkat lunak.

Parameter yang akan diuji pada skripsi ini adalah jumlah iterasi, jumlah mutasi dan jumlah *clone*. Berdasarkan eksperimen yang telah dilakukan dengan mengganti nilai parameter yang ada yaitu jumlah iterasi, jumlah mutasi, dan jumlah *clone* dapat mempengaruhi kandidat solusi yang didapat. Semakin banyak jumlah iterasi, jumlah mutasi dan jumlah *clone* yang digunakan maka akan semakin baik hasil yang dicapai. Algoritma *clonal selection* belum mampu mencapai batas atas maupun batas bawah dari kasus *Tailard*. Untuk mencapai hasil yang optimal, butuh peningkatan jumlah parameter secara signifikan. Semakin tinggi jumlah parameter yang dipakai, maka waktu untuk menjalankan perangkat lunak akan semakin lama.

Kata-kata kunci: penjadwalan, *job shop scheduling*, *artificial immune system*, *clonal selection*, *Tailard's Benchmark*

ABSTRACT

This thesis will be discussing about Job Shop Scheduling. Job Shop Scheduling is a process to schedule m number of machine and n number of job with different order and each machine will process exactly one job at a time and each job will be processed in every machine once. In Job Shop Scheduling, when one machine is processing one particular job then the other machine can't process the same job. Different schedule's order might produce different total processing time. The result of this scheduling problem will be total processing time and schedule's order.

There are many algorithms that can be used to solve job shop scheduling. This thesis will use clonal selection as the algorithm to solve job shop scheduling. Clonal Selection algorithm was born from the concept of artificial immune system. Artificial Immune System is a concept that has been developed by copying human's immune system behaviour. Human's immune system has the capability to differentiate foreign object and eliminate the object by creating an antibody. Antibody will go to a cloning process and will mutate to further enhance itself. Clonal Selection Algorithm will apply this cloning and mutation principle to find the most optimal solution. The built program will have a purpose to show and find the best schedule's order and makespan. This thesis's program will be able to give the best schedule's order out of others schedule that has been produced by job shop scheduling. Tailard's benchmark will be used to verify the quality of the result. In Tailard's benchmark, there are 2 value that will be used to compare the result of a scheduling problem. These values are upper bound and lower bound. Upper bound is used to describe the best result of an scheduling problem that has been conducted using certain environment and lower bound is the opposite of upper bound. Experiments of changing program's parameter will be conducted to measure the quality of this program.

The parameters that will be used to conduct the experiment are number of iterations, number of mutation and clone number. In accordance to the experiment that has been conducted, the changed of parameters such as number of iterations, mutation rate, clone number will have affected the result. The higher the number of iterations, mutation rate and clone number, the result will keep getting better. Clonal Selection Algorithm has not be able to keep up with upper bound or lower bound value from Tailard's case. Therefore, parameter need to be increased significantly to increase the chance to produce the optimum result. The higher the number of parameter used, program's time to produce the result will be longer.

Keywords: scheduling, job shop scheduling, artificial immune system, clonal selection, Tailard's Benchmark

Skripsi ini saya persembahkan kepada:

- *Kedua orang tua saya yang selalu membimbing dan memberikan doa serta semangat buat saya dengan tak pernah lelah mendidik saya untuk mencari ilmu dan berdoa.*
- *Almamater saya, Universitas Katolik Parahyangan*
- *Teman baik selaku partner bisnis saya, Andry, yang telah membantu saya untuk melangkah ke depan dalam dunia perbisnisan.*
- *Teman-teman lain yang telah ikut membantu dalam pengerjaan skripsi dalam bentuk dukungan moral.*

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat-Nya lah karya ilmiah dengan judul "ARTIFICIAL IMMUNE SYSTEM(AIS) UNTUK PERMASALAHAN JOBSHOP SCHEDULING" dapat berhasil diselesaikan. Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat kelulusan di jurusan Teknik Informatika Fakultas Teknologi Informasi dan Sains Universitas Katolik Parahyangan dan dalam proses penyusunan, penulis mendapatkan banyak sekali bantuan, bimbingan serta dukungan dari berbagai pihak, sehingga dalam kesempatan ini, penulis bermaksud untuk menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Ibu Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng, selaku Ketua Jurusan Teknik Informatika yang telah mengesahkan skripsi ini.
2. Ibu Dr.rer.nat. Cecilia Esti Nugraheni, selaku Dosen Pembimbing utama yang telah bersedia membimbing penulis dalam penyelesaian skripsi ini.
3. Seluruh dosen Jurusan Teknik Informatika Universitas Katolik Parahyangan yang telah mendidik dan berbagi ilmu sehingga saya dapat menyelesaikan studi strata satu saya.
4. Kedua orang tua saya yang telah memberikan dukungan baik moral maupun materi.
5. Serta pihak-pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu.

Bandung, Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxi
DAFTAR KODE PROGRAM	xxiii
1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah	2
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Pembahasan	3
2 LANDASAN TEORI	5
2.1 <i>Job Shop Scheduling</i>	5
2.2 <i>Artificial Immune System</i>	6
2.3 Algoritma <i>Clonal Selection</i>	8
2.3.1 Cara kerja	8
2.3.2 Perpustakaan Antibodi	10
2.3.3 Tahap <i>Cloning</i>	11
2.3.4 <i>Fitness</i>	11
2.3.5 <i>Hypermutation</i>	11
2.3.6 <i>Mutation rate</i>	12
2.4 <i>Tailard's Benchmark</i>	12
3 ANALISIS	15
3.1 Analisis Metode Algoritma <i>clonal selection</i> untuk Penjadwalan	15
3.1.1 <i>Flowchart</i>	15
3.1.2 Representasi Pekerjaan Sebagai Komponen Perpustakaan Antibodi	16
3.1.3 Pemodelan jadwal terhadap antibodi	18
3.1.4 Nilai <i>Fitness</i>	19
3.1.5 Proses <i>Cloning</i>	19
3.1.6 Mutasi	20
3.1.7 Kondisi Berhenti	20
3.2 Analisis Perangkat Lunak	20
3.2.1 Deskripsi perangkat lunak	20
3.2.2 Input Output	20
3.2.3 Pemodelan Kelas	21

4	PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK	25
4.1	Perancangan Antarmuka Pengguna	25
4.2	Perancangan <i>Input</i> dan <i>Output</i>	27
4.3	Diagram Kelas Rinci	29
4.3.1	Kelas <i>Params</i>	30
4.3.2	Kelas <i>Library</i>	31
4.3.3	Kelas <i>Antibody</i>	32
4.3.4	Kelas <i>Timeframe</i>	33
4.3.5	Kelas <i>Cloneprocessing</i>	34
4.3.6	Kelas <i>RunAlgorithm</i>	35
4.3.7	Kelas <i>CalculateFitness</i>	36
5	IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN	37
5.1	Implementasi AntarMuka	37
5.2	Hasil Implementasi	38
5.3	Pengujian	39
5.3.1	Data Pengujian	39
5.3.2	Hasil Pengujian Fungsional	39
5.3.3	Pengujian Eksperimental	40
5.4	Analisis Eksperimen	47
6	KESIMPULAN DAN SARAN	51
6.1	Kesimpulan	51
6.2	Saran	51
	DAFTAR REFERENSI	53
	A KODE PROGRAM	55
	B HASIL EKSPERIMEN	65

DAFTAR GAMBAR

2.1	Representasi <i>gantt chart</i> pada penjadwalan <i>job shop scheduling</i>	6
2.2	Gambar <i>Clonal selection</i>	7
2.3	<i>Flow chart</i> algoritma <i>clonal selection</i>	9
2.4	Gambar Perpustakaan Antibodi	10
2.5	<i>Inverse Mutation</i>	11
2.6	Contoh kasus <i>Job Shop Scheduling</i> pada <i>Tailard's benchmark</i>	13
3.1	Flowchart algoritma <i>Clonal Selection</i>	17
3.2	Perpustakaan Antibodi	18
3.3	Pekerjaan 2 pada tabel <i>Processing Time</i> , urutan pengerjaan mesin terhadap pekerjaan ditandai dengan angka berwarna merah.	18
3.4	Urutan pengerjaan mesin terhadap pekerjaan, urutan pengerjaan ditandai dengan angka berwarna merah.	19
3.5	<i>Gantt chart</i> yang terbentuk berdasarkan Tabel <i>processing time</i> 3.1 dan jadwal 2-1-2-3-1-3-2-1-3. Urutan jadwal akan ditandai dengan angka berwarna merah	19
3.6	Clone dari antigen dalam bentuk perpustakaan clone	19
3.7	Contoh penulisan input	21
3.8	Diagram kelas pada perangkat lunak pada tahap analisis	23
4.1	Antarmuka Masukan	26
4.3	Contoh Masukan yang telah dikonversi menjadi file teks	27
4.2	Contoh Masukan yang didapat pada <i>website Tailard's benchmark</i>	28
4.4	Diagram Kelas Rinci	29
4.5	Diagram Kelas <i>Params</i>	30
4.6	Diagram Kelas <i>Library</i>	31
4.7	Diagram Kelas <i>Antibody</i>	32
4.8	Diagram Kelas <i>Timeframe</i>	33
4.9	Diagram Kelas <i>Clone Processing</i>	34
4.10	Diagram Kelas <i>Clone Processing</i>	35
4.11	Diagram kelas <i>CalculateFitness</i>	36
5.1	Antarmuka Halaman Masukan	37
5.2	Antarmuka halaman saat melakukan klik <i>button cari</i>	38
5.3	Antar muka halaman setelah selesai memilih <i>file</i> teks yang akan digunakan.	38
5.4	Antarmuka halaman saat selesai menekan tombol <i>start</i>	39
5.5	Contoh <i>input</i> masukan pada perangkat lunak	40
5.6	Hasil pengujian fungsional pada perangkat lunak menggunakan data dari Tabel 5.1	40
5.7	<i>Gantt chart</i> untuk urutan pekerjaan hasil perangkat lunak	41
5.8	<i>Chart</i> perbandingan iterasi	47
5.9	<i>Chart</i> perbandingan mutasi	48
5.10	<i>Chart</i> perbandingan <i>clone</i>	49
B.1	<i>Chart</i> Eksperimen Iterasi untuk 15 mesin 15 pekerjaan	66

B.2	Chart Eksperimen Iterasi untuk 20 mesin 20 pekerjaan	66
B.3	<i>Chart</i> Eksperimen Iterasi untuk 15 mesin 20 pekerjaan	67
B.4	<i>Chart</i> Eksperimen Mutasi untuk 15 mesin 15 pekerjaan	68
B.5	<i>Chart</i> Eksperimen Mutasi untuk 20 mesin 20 pekerjaan	69
B.6	<i>Chart</i> Eksperimen Mutasi untuk 15 mesin 20 pekerjaan	70
B.7	<i>Chart</i> Eksperimen <i>Clone</i> untuk 15 mesin 15 pekerjaan	71
B.8	<i>Chart</i> Eksperimen <i>Clone</i> untuk 20 mesin 20 pekerjaan	71
B.9	<i>Chart</i> Eksperimen untuk 15 mesin 20 pekerjaan	72

DAFTAR TABEL

2.1	Tabel Processing time	5
3.1	Tabel Processing time	18
4.1	Tabel untuk Objek Antarmuka Masukan	26
4.2	Ilustrasi contoh tabel yang akan dihasilkan untuk soal yang dipilih.	27
5.1	Tabel data <i>Processing time</i> pengujian fungsional	39
5.2	Tabel eksperimen 1000 iterasi pada 15 mesin 15 pekerjaan	42
5.3	Tabel eksperimen 10000 iterasi pada 15 mesin 15 pekerjaan	42
5.4	Tabel eksperimen 1000 iterasi pada 20 mesin 20 pekerjaan	42
5.5	Tabel eksperimen 10000 iterasi pada 20 mesin 20 pekerjaan	42
5.6	Tabel eksperimen 1000 iterasi pada 15 mesin 20 pekerjaan	43
5.7	Tabel eksperimen 10000 iterasi pada 15 mesin 20 pekerjaan	43
5.8	Tabel eksperimen 10 mutasi pada 15 mesin 15 pekerjaan	43
5.9	Tabel eksperimen 100 mutasi pada 15 mesin 15 pekerjaan	44
5.10	Tabel eksperimen 10 mutasi pada 20 mesin 20 pekerjaan	44
5.11	Tabel eksperimen 100 mutasi pada 20 mesin 20 pekerjaan	44
5.12	Tabel eksperimen 10 mutasi pada 15 mesin 20 pekerjaan	45
5.13	Tabel eksperimen 100 mutasi pada 15 mesin 20 pekerjaan	45
5.14	Tabel eksperimen 10 clone pada 15 mesin 15 pekerjaan	45
5.15	Tabel eksperimen 100 clone pada 15 mesin 15 pekerjaan	45
5.16	Tabel eksperimen 10 <i>clone</i> pada 20 mesin 20 pekerjaan	46
5.17	Tabel eksperimen 100 <i>clone</i> pada 20 mesin 20 pekerjaan	46
5.18	Tabel eksperimen 10 <i>clone</i> pada 15 mesin 20 pekerjaan	46
5.19	Tabel eksperimen 100 <i>clone</i> pada 15 mesin 20 pekerjaan	47
5.20	Tabel eksperimen rata-rata iterasi	47
5.21	Tabel eksperimen rata-rata mutasi	47
5.22	Tabel eksperimen rata-rata <i>clone</i>	48
B.1	Tabel eksperimen 1000 iterasi pada 15 mesin 15 pekerjaan	65
B.2	Tabel eksperimen 10000 iterasi pada 15 mesin 15 pekerjaan	65
B.3	Tabel eksperimen 1000 iterasi pada 20 mesin 20 pekerjaan	65
B.4	Tabel eksperimen 10000 iterasi pada 20 mesin 20 pekerjaan	65
B.5	Tabel eksperimen 1000 iterasi pada 15 mesin 20 pekerjaan	67
B.6	Tabel eksperimen 10000 iterasi pada 15 mesin 20 pekerjaan	67
B.7	Tabel eksperimen 10 mutasi pada 15 mesin 15 pekerjaan	67
B.8	Tabel eksperimen 100 mutasi pada 15 mesin 15 pekerjaan	68
B.9	Tabel eksperimen 10 mutasi pada 20 mesin 20 pekerjaan	68
B.10	Tabel eksperimen 100 mutasi pada 20 mesin 20 pekerjaan	68
B.11	Tabel eksperimen 10 mutasi pada 15 mesin 20 pekerjaan	69
B.12	Tabel eksperimen 100 mutasi pada 15 mesin 20 pekerjaan	69
B.13	Tabel eksperimen 10 clone pada 15 mesin 15 pekerjaan	69

B.14 Tabel eksperimen 100 clone pada 15 mesin 15 pekerjaan	70
B.15 Tabel eksperimen 10 <i>clone</i> pada 20 mesin 20 pekerjaan	70
B.16 Tabel eksperimen 100 <i>clone</i> pada 20 mesin 20 pekerjaan	70
B.17 Tabel eksperimen 10 <i>clone</i> pada 15 mesin 20 pekerjaan	72
B.18 Tabel eksperimen 100 <i>clone</i> pada 15 mesin 20 pekerjaan	72

DAFTAR KODE PROGRAM

4.1	create Library	31
4.2	create Library	32
4.3	inverse mutation	34
4.4	Clone Processing	34
4.5	calcFitness	36
A.1	MyCode.c	55
A.2	Antibody.java	55
A.3	CalculateFitness.java	56
A.4	CloneProcessing.java	57
A.5	Library.java	59
A.6	Params.java	60
A.7	RunAlgorithm.java	61
A.8	Timeframe.java	63

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penjadwalan adalah proses pembagian waktu berdasarkan rencana pengaturan urutan kerja; daftar atau tabel kegiatan atau rencana kegiatan dengan pembagian waktu pelaksanaan yang terperinci. Secara umum, penjadwalan dibutuhkan dalam semua bidang yang memiliki sumber daya, baik sumber daya manusia maupun sumber daya produksi seperti mesin dan bahan baku. Sumber daya yang dapat dijadwalkan tidak harus memiliki bentuk fisik, misalnya langkah-langkah produksi atau pesanan konsumen. Pada semua bidang usaha, terutama bidang manufaktur dan servis, penjadwalan memiliki peran penting untuk menentukan hasil atau *output* yang dapat dihasilkan. *Output* yang optimal dapat dicapai dengan meningkatkan *throughput* (kecepatan produksi per satuan waktu) dari suatu sistem dengan bantuan penjadwalan. Penjadwalan secara umum memiliki dua hal yang akan dioptimalkan yaitu waktu total penyelesaian dan urutan jadwal atau pekerjaan.

Salah satu permasalahan penjadwalan adalah *job shop scheduling*. *Job shop scheduling* merupakan masalah penjadwalan dengan beberapa mesin yang dialokasikan pada beberapa pekerjaan atau *job*. [1] Terdapat beberapa variasi dari *job shop scheduling* yang sering digunakan dalam penelitian, yaitu *job shop* dengan objektif *makespan*, *job shop* dengan objektif keterlambatan/ *tardiness*, *job shop* dengan jeda waktu, dan *job shop* tanpa jeda waktu. [2] Beberapa objektif yang dapat dicapai pada *job shop scheduling* adalah optimasi *makespan*, optimasi *lateness* dan optimasi *tardiness*. Pada skripsi ini, optimasi *makespan* menjadi solusi yang akan dicapai. Pemilihan optimasi *makespan* didasari oleh banyaknya peneliti lain yang menggunakan *makespan* sebagai optimasi yang akan dicapai sehingga dapat memudahkan perbandingan hasil ataupun kinerja dari perangkat lunak.

Permasalahan *job shop* tergolong dalam permasalahan yang *solution space*-nya besar. Oleh karena itu, akan digunakan algoritma dengan pendekatan *meta-heuristic*. *Meta-heuristic* adalah pengembangan dari *heuristic* - metode optimasi yang memiliki eksplorasi yang baik tetapi mengorbankan akurasi dari hasil yang didapat. *Meta-heuristic* dapat memperbaiki akurasi dari *heuristic* dengan cara menuntun langkah pencarian dibandingkan dengan hanya melakukan *random* terhadap langkah pencarian. Salah satu kelompok algoritma yang tergolong *meta-heuristics* adalah algoritma *clonal selection* yang merupakan bagian dari *artificial immune system*. Pemilihan pendekatan *clonal selection* dilakukan karena algoritma ini termasuk salah satu algoritma yang *robustness*-nya tinggi.

Artificial Immune system adalah sekumpulan teknik algoritma yang memimik perilaku dari *natural immune system*. Pada tubuh manusia sistem imun berfungsi untuk melawan virus atau benda asing yang masuk ke dalam tubuh. Pada sistem imun terdapat 2 sistem yang saling berhubungan untuk mendeteksi dan mengambil aksi yang diperlukan yaitu *innate immune system* dan *adaptive immune system*. *Innate immune system* adalah kemampuan untuk mengenali benda asing tertentu dan mengambil aksi untuk menghancurkannya. *Innate immune system* terdiri dari beberapa set reseptor yang dikodekan pada *germinal center* (tempat untuk melakukan deteksi, mutasi dan kloning) yang disebut *pattern recognition receptors* (PRRs). Setelah sebuah serangan atau benda asing dikenali, *innate immune system* akan mengirimkan sinyal di *antigen presenting cells* (APCs) yang memicu aktifnya *T cell* dan *adaptive immune system*. *Adaptive immune system* menggunakan reseptor *antigen* yang diproduksi oleh tubuh dan didistribusikan ke dua tipe limfosit yaitu B-cell dan

T-cell. Antigen yang digunakan diproduksi dengan proses acak sehingga responnya berbasis pada *clonal selection* dari limfosit dengan berbagai spesialisasi yang berbeda. Sel-sel yang terdapat dalam reseptor menggabungkan gen menjadi segmen yang membuat sel tersebut dapat mengenali organisme berbahaya yang sudah pernah ditemukan.[?] Terdapat beberapa algoritma yang mengambil konsep *artificial immune system* yaitu, *clonal selection*, *negative selection* dan *immune network*. [3]

Sebuah prinsip dibangun berdasarkan observasi terhadap B-cell yaitu *clonal selection principle*. B-cell mempunyai sebuah sifat yang menyebabkan sel untuk menggandakan diri terhadap kombinasi tertentu yang mampu untuk mengeliminasi infeksi dalam tubuh. Sel-sel yang memiliki potensi untuk melawan infeksi akan digandakan dalam jumlah yang cukup untuk melawan infeksi. Dengan prinsip tersebut, algoritma *clonal selection* memiliki target untuk mengenali solusi yang tepat dan hanya menggandakan sel yang terpilih untuk dilakukan mutasi sehingga dapat mencapai solusi lebih cepat serta optimal.

Pada permasalahan *jobshop*, algoritma *clonal selection* akan membuat solusi yang acak yang kemudian diperiksa satu per satu dan mengumpulkan solusi yang baik untuk digandakan sebanyak jumlah yang ditentukan. Solusi yang sudah digandakan tersebut akan dimutasi beberapa kali dan akhirnya akan mendapatkan solusi terbaik. Teknik ini hanya menggandakan solusi yang baik sehingga merupakan teknik yang efektif dan cepat serta cocok untuk digunakan pada permasalahan *job shop*.

Pada skripsi ini akan dibuat perangkat lunak yang mengimplementasikan konsep *immune system* dengan menggunakan algoritma *clonal selection* untuk mencari urutan penjadwalan terbaik dalam permasalahan *job shop scheduling*. Hasil dari perangkat lunak akan berupa urutan pengerjaan serta waktu total pengerjaan atau *makespan*. Untuk mengukur kualitas dari hasil algoritma *artificial immune system* maka akan digunakan sebuah *benchmark* atau standar perbandingan. *Benchmark* yang akan digunakan adalah *Taillard's Benchmark*. Di dalam *Taillard's Benchmark* terdapat hasil paling optimal dari permasalahan *job shop scheduling*, sehingga dapat dijadikan sebagai tolak ukur hasil dari perangkat lunak yang dibangun.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana cara kerja algoritma *clonal selection*?
2. Bagaimana cara membangun perangkat lunak yang mengimplementasikan algoritma *clonal selection* untuk menyelesaikan permasalahan *Job Shop Scheduling*?
3. Bagaimana kinerja dari algoritma *clonal selection* terhadap penjadwalan *job shop* ?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Memahami konsep dan cara kerja dari algoritma *clonal selection*.
2. Membuat perangkat lunak dengan menggunakan algoritma *clonal selection* untuk mengoptimalkan waktu dari *job shop scheduling*.
3. Menganalisis algoritma *clonal selection*.

1.4 Batasan Masalah

Batasan dan asumsi untuk penelitian ini adalah :

Benchmark yang digunakan adalah *benchmark* milik Tailard, sehingga spesifikasi dari *job shop* yang akan dipakai akan mengikuti spesifikasi *job shop* yang digunakan oleh Tailard. *Job shop* akan memiliki batasan sebagai berikut:

1. Urutan proses dari mesin terhadap pekerjaan boleh berbeda.
2. Untuk setiap pekerjaan, urutan operasi harus dikerjakan sesuai dengan urutan yang telah diberikan.
3. Waktu proses untuk setiap pekerjaan terhadap mesin tidak akan berubah.

1.5 Metodologi

Metodologi penyelesaian masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur
Mencari referensi dari sumber yang dapat berupa buku, jurnal ataupun skripsi yang dapat membantu pemahaman mengenai permasalahan *job shop scheduling* dan cara kerja algoritma *artificial immune system* agar dapat mengaplikasikan algoritma tersebut pada proses penjadwalan *job shop*.
2. Analisa Kasus
Menentukan cara mengaplikasikan konsep *artificial immune system* terhadap permasalahan *job shop scheduling* dengan menggunakan algoritma *clonal selection*. Menentukan data masukan serta data keluaran yang dibutuhkan oleh perangkat lunak.
3. Pengembangan perangkat lunak
Membentuk struktur kelas dari perangkat lunak. Menentukan desain tampilan yang sesuai untuk perangkat lunak. Membangun perangkat lunak untuk optimasi penjadwalan *job shop* dengan algoritma *artificial immune system*. Melakukan pengujian fungsional terhadap perangkat lunak.
4. Eksperimen
Melakukan proses optimasi dengan menggunakan perangkat lunak pada beberapa sampel kasus *job shop*. Mencatat dan mengolah data hasil proses optimasi untuk mengukur performa perangkat lunak. Mengukur tingkat keoptimalan dari proses optimasi yang dilakukan oleh perangkat lunak.
5. Pengambilan Kesimpulan
Mengambil kesimpulan yang bisa didapatkan dari hasil eksperimen. Melakukan dokumentasi dari skripsi ini.
6. Dokumentasi
Penyusunan laporan hasil seluruh kegiatan ke dalam skripsi.

1.6 Sistematika Pembahasan

Sistematika penulisan karya tulis ini adalah sebagai berikut:

1. Bab 1: Pendahuluan untuk mendefinisikan masalah yang akan dibahas dan usulan solusi.
2. Bab 2: Bab 2 berisi dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini. Pembahasan permasalahan *job shop*. Pembahasan cara kerja dari algoritma *clonal selection*. Pembahasan akan meliputi permasalahan penjadwalan, *job shop* dan *clonal selection* cara mengaplikasikan algoritma *clonal selection* untuk optimasi proses penjadwalan *job shop*.

3. Bab 3: Analisis masalah yang akan dilakukan pada penelitian ini. Pembahasan cara penerapan algoritma *artificial immune system* dan rancangan awal dari perangkat lunak yang telah dibuat.
4. Bab 4: Perancangan perangkat lunak. Detil informasi mengenai perangkat lunak yang telah dibuat. Struktur kelas dan desain antarmuka grafis dari perangkat lunak yang telah dibuat.
5. Bab 5: implementasi dan pengujian. Hasil implementasi algoritma *clonal selection* pada perangkat lunak. Penjelasan cara penggunaan perangkat lunak. Hasil pengujian dan eksperimen kasus *job shop* pada perangkat lunak.
6. Bab 6: Kesimpulan dan saran. Hal-hal yang dapat disimpulkan dari penelitian ini. Saran pengembangan yang dapat dilakukan pada penelitian selanjutnya.