

SKRIPSI

**SIMULASI PEMODELAN SISTEM OPTIMASI ALOKASI
LAPANGAN PENUMPUKAN KONTAINER PADA TERMINAL
PETI KEMAS NEW MAKASSAR 1 MENGGUNAKAN
METODE *LOCAL SEARCH HEURISTIC***

Disusun dan diajukan oleh:

TASYA DELAROSA PAGAYANG PALAMBA

D121 20 1057



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**Simulasi Pemodelan Sistem Optimasi Alokasi Lapangan
Penumpukan Kontainer pada Terminal Peti Kemas New
Makassar 1 Menggunakan Metode *Local Search Heuristic***

Disusun dan diajukan oleh

**Tasya Delarosa Pagayang Palamba
D121201057**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 14 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T.
NIP 19610813 198811 2 001


Anugrayani Bustamin, S.T., M.T.
NIP 19901201 201807 4 001

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. Ir. Indrabayuni, S. T., M. T., M. Bus., Sys., IPM, ASEAN. Eng.
NIP 19750716 200212 1 004

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Tasya Delarosa Pagayang Palamba
NIM : D121201057
Program Studi : Teknik Informatika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Simulasi Pemodelan Sistem Optimasi Alokasi Lapangan Penumpukan Kontainer
pada Terminal Peti Kemas New Makassar 1 Menggunakan Metode *Local Search
Heuristic*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 15 Agustus 2024

Yang Menyatakan

Tasya Delarosa Pagayang Palamba

ABSTRAK

TASYA DELAROSA PAGAYANG PALAMBA. Simulasi Pemodelan Sistem Optimasi Alokasi Lapangan Penumpukan Kontainer pada Terminal Peti Kemas New Makassar 1 Menggunakan Metode *Local Search Heuristic* (dibimbing oleh Ingrid Nurtanio dan Anugrayani Bustamin).

Terminal peti kemas merupakan komponen vital dalam rantai logistik global, terutama bagi Indonesia yang dikenal sebagai negara kepulauan dengan posisi strategis di persimpangan rute perdagangan dunia. Meningkatnya arus kontainer seiring perkembangan ekonomi dan perdagangan menuntut optimasi alokasi lapangan penumpukan kontainer untuk meningkatkan efisiensi operasional terminal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode *Local Search Heuristic* dalam optimasi alokasi lapangan penumpukan kontainer dan membuat simulasi untuk membandingkan kondisi awal dengan hasil optimasi untuk menilai peningkatan efisiensi.

Metode yang digunakan adalah algoritma genetika, salah satu algoritma dari metode *Local Search Heuristic* untuk mengoptimalkan alokasi lapangan penumpukan. Data yang digunakan mencakup jarak tempat kapal sandar ke setiap lapangan penumpukan, kapasitas penumpukan kontainer, dan jumlah kontainer bongkaran dari setiap kapal. Simulasi dilakukan menggunakan Arena Simulation Software untuk memvalidasi hasil optimasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode algoritma genetika dengan parameter ukuran populasi sebesar 100, crossover rate sebesar 0.5, mutation rate sebesar 0.07, ukuran generasi efektif dalam menemukan solusi terbaik untuk alokasi lapangan penumpukan kontainer. Hasil optimasi menunjukkan bahwa terjadi pengurangan total jarak tempuh truk sebesar 16.74%, pengurangan ketidakseimbangan jumlah kontainer antar lapangan penumpukan sebesar 98.59% dan pengurangan waktu bongkar kontainer sebesar 21.07%.

Kata Kunci: Terminal peti kemas, alokasi lapangan penumpukan, *Local Search Heuristic*, algoritma genetika, simulasi.

ABSTRACT

TASYA DELAROSA PAGAYANG PALAMBA. Simulation Modeling of Container Yard Allocation Optimization System at New Makassar 1 Container Terminal Using the Local Search Heuristic Method (supervised by Ingrid Nurtanio and Anugrayani Bustamin).

Container terminals are a vital component of the global logistics chain, especially for Indonesia, which is known as an archipelago country with a strategic position at the crossroads of world trade routes. The increasing flow of containers in line with economic and trade development demands optimization of container yard allocation to improve the operational efficiency of terminals.

This study aims to implement the Local Search Heuristic method in optimizing container yard allocation and to create a simulation to compare the initial conditions with the optimization results to assess efficiency improvements.

The method used is a genetic algorithm, one of the algorithms from the Local Search Heuristic method, to optimize yard allocation. The data used includes the distance from the ship docking area to each yard, container yard capacity, and the number of containers unloaded from each ship. Simulations were conducted using Arena Simulation Software to validate the optimization results.

The research results show that the genetic algorithm method, with a population size parameter of 100, a crossover rate of 0.5, a mutation rate of 0.07, and an effective generation size, is effective in finding the best solution for container yard allocation. The optimization results indicate a reduction in total truck travel distance by 16.74%, a reduction in container imbalance between yards by 98.59%, and a reduction in container unloading time by 21.07%.

Keywords: Container terminal, yard allocation, Local Search Heuristic, genetic algorithm, simulation.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vii
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	13
1.1 Latar Belakang.....	13
1.2 Rumusan Masalah.....	14
1.3 Tujuan Penelitian.....	14
1.4 Manfaat Penelitian.....	15
1.5 Ruang Lingkup.....	15
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	16
2.1 Pelabuhan.....	16
2.2 Terminal Peti Kemas.....	16
2.3 Lapangan Penumpukan (<i>Container yard</i>).....	19
2.4 <i>Yard Allocation Problem</i> (YAP).....	22
2.5 Optimasi.....	22
2.6 Algoritma Genetika.....	23
2.7 Simulasi.....	32
2.8 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi.....	34
BAB III METODE PENELITIAN.....	36
3.1 Tahapan Penelitian.....	36
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	37
3.3 Instrumen Penelitian.....	38
3.4 Teknik Pengambilan Data.....	38
3.5 Perancangan Sistem Optimasi Menggunakan Algoritma Genetika.....	40
3.5.1 Input Parameter Algoritma Genetika.....	40
3.5.2 Inisialisasi Populasi Awal.....	41
3.5.3 Perhitungan Nilai <i>Fitness</i>	41
3.5.4 Seleksi.....	42
3.5.5 <i>Crossover</i>	43
3.5.6 Mutasi.....	43
3.5.7 Kriteria Telah Tercapai.....	44
3.6 Model Simulasi Kegiatan Bongkar.....	44
3.6.1 Perancangan Model Konseptual Kegiatan Bongkar.....	44
3.6.2 Perancangan Model Simulasi Kegiatan Bongkar.....	46
3.6.3 Skenario Simulasi Kegiatan Bongkar.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	53
4. 1 Hasil Pengujian Parameter Optimasi Algoritma Genetika.....	53
4. 1.1 Hasil Pengujian Ukuran Populasi.....	53

4. 1.2 Hasil Pengujian Nilai <i>Crossover Rate</i> dan <i>Mutation Rate</i>	54
4. 1.3 Hasil Pengujian Ukuran Generasi	56
4. 1.4 Parameter Algoritma Genetika Terpilih	58
4. 2 Model Simulasi Kegiatan Bongkar	59
4. 3 Hasil Optimasi.....	64
4.3.1 Jarak Tempuh Truk dalam Kegiatan Bongkar.....	64
4.3.2 Ketidakseimbangan antar Lapangan Penumpukan	66
4.3.3 Waktu Simulasi Kegiatan Bongkar	69
BAB V PENUTUP.....	72
5. 1 Kesimpulan	72
5. 2 Saran.....	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Diagram alir algoritma genetika.....	25
Gambar 2 Tahapan penelitian.....	36
Gambar 3 Lokasi penelitian	38
Gambar 4 Layout Terminal Peti Kemas New Makassar 1	39
Gambar 5 One point crossover.....	43
Gambar 6 Swap mutation.....	44
Gambar 7 (a) Diagram kegiatan bongkar; (b) Ilustrasi kegiatan bongkar	45
Gambar 8 Modul assign jumlah kontainer	50
Gambar 9 Modul assign dermaga	51
Gambar 10 Modul jenis kontainer.....	51
Gambar 11 Modul alokasi lapangan 20 feet.....	52
Gambar 12 Modul alokasi lapangan 40 feet	52
Gambar 13 Grafik pengujian ukuran populasi	54
Gambar 14 Grafik pengujian nilai crossover rate dan mutation rate	56
Gambar 15 Grafik pengujian ukuran generasi	57
Gambar 16 Proses kapal – container crane	59
Gambar 17 Representasi jenis kontainer.....	59
Gambar 18 Proses truk di dermaga	60
Gambar 19 Proses di lapangan penumpukan	60
Gambar 20 Verifikasi model arena.....	61

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Data kedatangan kapal tanggal 1 - 4 Januari 2023.....	39
Tabel 2 Jarak tempat sandar kapal ke lapangan penumpukan.....	39
Tabel 3 Kapasitas lapangan penumpukan	40
Tabel 4 Modul Arena yang digunakan	46
Tabel 5 Contoh data input simulasi kegiatan bongkar	50
Tabel 6 Pengujian ukuran populasi	53
Tabel 7 Pengujian nilai crossover rate dan mutation rate.....	54
Tabel 8 Pengujian ukuran generasi	56
Tabel 9 Validasi model arena	61
Tabel 10 Perbandingan total jarak tempuh truk	65
Tabel 11 Perbandingan ketidakseimbangan antar lapangan penumpukan	67
Tabel 12 Perbandingan waktu simulasi kegiatan bongkar	69

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
CY	<i>Container Yard</i> (Lapangan Penumpukan)
RTG	<i>Rubber Tyred Gantry</i>
YAP	<i>Yard Allocation Problem</i>
CC	<i>Container Crane</i>
GA	<i>Genetic Algorithm</i> (Algoritma Genetika)
DGA	<i>Distributed Genetic Algorithm</i>
TEUs	<i>Twenty-foot Equivalent Units</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
D_f	<i>Degree of Freedom</i>
H_w	<i>Half-Width</i>
α	Tingkat kepercayaan
Cr	<i>Crossover rate</i>
Mr	<i>Mutation rate</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Source Code.....	78
Lampiran 2 Video Simulasi Arena	84
Lampiran 3 Model simulasi kegiatan bongkar.....	85
Lampiran 4 Alokasi Lapangan Penumpukan Setelah Optimasi.....	90
Lampiran 5 Alokasi Lapangan Penumpukan Sebelum Optimasi.....	93
Lampiran 6 Perbanding Sebelum dan Sesudah Optimasi	96
Lampiran 7 Daftar hadir dan berita acara seminar hasil	99
Lampiran 8 Daftar hadir dan berita acara ujian skripsi.....	103
Lampiran 9 Lembar perbaikan skripsi	107

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Simulasi Pemodelan Sistem Optimasi Alokasi Lapangan Penumpukan Kontainer Pada Terminal Peti Kemas New Makassar 1 Menggunakan Metode *Local Search Heuristic*” sebagai salah satu syarat dalam menyelesaikan jenjang Strata-1 di Departemen Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan dan penulisan tugas akhir ini tidak dapat terselesaikan dengan baik tanpa adanya bimbingan dan bantuan baik materi maupun non-materi dari berbagai pihak. Bimbingan dan bantuan tersebut adalah alasan penulisan dan penyusunan tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan lancar. Oleh karena itu sebagai salah bentuk penghargaan yang setinggi-tingginya, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Enos Palamba, S.T, M.Si dan Ibu Dharmayanti, S.T yang senantiasa mendoakan, memberikan semangat dan dukungan selama penyelesaian skripsi ini.
2. Ibu Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T. selaku pembimbing I dan Ibu Anugrayani Bustamin. S.T., M.T selaku pembimbing II, yang senantiasa meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan dan membimbing penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Segenap dosen dan staf Departemen Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan.
4. Naura, Cici dan Thesa yang menjadi *support system* penulis dan telah memberikan banyak dukungan dan bantuan selama proses penyusunan tugas akhir ini.
5. Shekinah, Agung, Rischa, Calvin, Mutiah, Kisana, May, Firman, Ray, Avil, Rizal dan teman-teman dekat penulis yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

6. Teman-teman REZOLVER20 yang telah kebersamai penulis selama masa perkuliahan
7. Semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah memberikan dukungan dan bantuan baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini

Penulis berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala bantuan dan dukungan dari semua pihak yang membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan segala bentuk saran serta masukan yang membangun dari berbagai pihak. Semoga tugas akhir ini dapat berguna bagi para pembaca.

Gowa, 24 Juni 2024

Tasya Delarosa Pagayang Palamba

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Terminal peti kemas merupakan salah satu komponen vital dalam rantai logistik global (Koroleva et al., 2020), terutama bagi Indonesia yang dikenal sebagai negara kepulauan dengan posisi geografis yang strategis di persimpangan rute perdagangan dunia. Perkembangan pesat perdagangan global selaras dengan meningkatnya arus pengiriman barang, salah satunya menggunakan kontainer karena perangkat ini cukup terjangkau dan dapat mengirim dalam jumlah besar sekaligus. Mengingat arus kontainer yang semakin meningkat seiring dengan perkembangan ekonomi dan perdagangan, optimasi alokasi lapangan penumpukan kontainer menjadi keharusan untuk meningkatkan efisiensi operasional terminal (Guo et al., 2021).

Proses bongkar muat kontainer di terminal peti kemas memerlukan pengelolaan yang baik terhadap fasilitas yang ada, termasuk lapangan penumpukan kontainer atau *container yard* (CY). *Container yard* merupakan area untuk menyimpan dan menumpuk kontainer sebelum atau setelah proses bongkar muat dari kapal (Fetriansyah and Buwono, 2019). Pengelolaan yang tidak optimal dapat menyebabkan keterlambatan dan peningkatan biaya operasional.

Penentuan lokasi kontainer di lapangan penumpukan sangat penting karena alokasi ini berkaitan dengan semua aktivitas di terminal kontainer (Said and El-Horbaty, 2016). Jadwal sandar kapal dan jumlah kontainer menjadi panduan awal dalam penentuan lokasi kontainer. Dari jadwal tersebut memberikan informasi tentang lapangan penumpukan yang paling dekat dengan lokasi sandar kapal, namun kenyataannya tidak semua kontainer dapat ditempatkan di dekat kapal karena keterbatasan kapasitas lapangan penumpukan.

Pertimbangan beban kerja pada setiap lapangan penumpukan juga menjadi faktor penentuan lokasi kontainer. Setiap lapangan penumpukan memiliki kapasitas dan produktivitas tertentu yang harus dioptimalkan untuk menghindari ketidakseimbangan dalam distribusi beban kerja. Ketidakseimbangan dalam distribusi beban kerja dapat mengakibatkan antrian panjang, meningkatkan waktu

bongkar muat, dan biaya pengangkutan, serta mengurangi produktivitas terminal secara keseluruhan (Tan and He, 2016).

Dalam penelitian “An investigation into yard allocation for outbound containers” mengimplementasikan algoritma hibrida yaitu aturan heuristik dan *Distributed Genetic Algorithm* (DGA) untuk mengoptimalkan alokasi lapangan penumpukan. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi jadwal kedatangan kapal, jumlah kontainer 20 kaki dan 40 kaki, dermaga yang digunakan, kapasitas penyimpanan lapangan penumpukan, serta jarak antara lapangan penumpukan dan lokasi tambat kapal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan ini efektif dalam mengurangi jarak tempuh truk dan ketidakseimbangan pada lapangan penumpukan (Mi et al., 2009).

Oleh karena itu, pada penelitian ini metode *Local Search Heuristic* akan digunakan sebagai strategi untuk menemukan cara optimal dalam alokasi lapangan penumpukan kontainer di terminal peti kemas. Metode *Local Search Heuristic* merupakan suatu prosedur yang dapat memberikan solusi yang baik atau mendekati optimum dari sebuah masalah. Strategi ini bertujuan untuk meminimalkan total jarak transportasi truk dan menyeimbangkan beban kerja di antara lapangan penumpukan, sehingga diharapkan dapat menghasilkan alokasi lapangan penumpukan yang optimal.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka rumusan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Bagaimana implementasi metode *Local Search Heuristic* untuk optimasi alokasi lapangan penumpukan kontainer di Terminal Peti Kemas New Makassar 1?
2. Bagaimana pemodelan simulasi keadaan optimal lapangan penumpukan kontainer di Terminal Peti Kemas New Makassar 1 berdasarkan hasil penerapan metode *Local Search Heuristic*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan dapat diperoleh tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengimplementasikan metode *Local Search Heuristic* untuk optimasi alokasi lapangan penumpukan kontainer di Terminal Peti Kemas New Makassar 1.
2. Membuat simulasi keadaan alokasi lapangan penumpukan yang optimal di Terminal Peti Kemas New Makassar 1 berdasarkan hasil penerapan metode *Local Search Heuristic*.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dapat meningkatkan efisiensi operasional di Terminal Peti Kemas New Makassar 1 dengan mengurangi total jarak tempuh truk dan mengurangi ketidakseimbangan jumlah kontainer antar lapangan penumpukan.
2. Pemodelan simulasi keadaan optimal dari lapangan penumpukan kontainer memberikan gambaran yang jelas mengenai waktu bongkar muat yang lebih efisien apabila optimasi alokasi diterapkan. Simulasi ini dapat menjadi acuan bagi pengambil keputusan di Terminal Peti Kemas New Makassar.

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian adalah Terminal Peti Kemas New Makassar 1.
2. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah Python.
3. Faktor yang digunakan untuk optimasi alokasi lapangan penumpukan adalah jarak tempat kapal sandar ke setiap lapangan penumpukan, kapasitas penumpukan kontainer pada setiap lapangan penumpukan, dan jumlah kontainer bongkaran pada setiap kapal.
4. Metode *Local Search Heuristic* yang digunakan hanya terbatas pada algoritma genetika.
5. Optimasi lapangan penumpukan yang dilakukan hanya berfokus pada lapangan penumpukan bongkaran (7 lapangan penumpukan), ukuran kontainer terbatas pada kontainer 20 kaki dan kontainer 40 kaki, dan terdapat 3 dermaga yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelabuhan

Pelabuhan adalah tempat atau fasilitas di tepi laut yang digunakan sebagai tempat berlabuhnya kapal untuk kegiatan naik turun penumpang dan bongkar muat barang. Ada beberapa jenis pelabuhan berdasarkan fungsinya, seperti pelabuhan barang, pelabuhan penumpang, pelabuhan ikan, dan pelabuhan militer. Setiap jenis pelabuhan dirancang dan dibangun sesuai dengan kebutuhan khusus, seperti ukuran kapal yang dapat dilayani, jenis barang yang ditangani, dan layanan yang disediakan. Fasilitas di pelabuhan umumnya mencakup dermaga, area penumpukan kontainer, terminal penumpang, area pemeliharaan dan perbaikan kapal, serta infrastruktur pendukung lainnya.

Sebagai titik penghubung antara transportasi air dan darat, pelabuhan merupakan komponen kunci dari sistem transportasi dan logistik yang berperan penting dalam mendukung perekonomian dan pembangunan nasional. Operasional pelabuhan memiliki efek langsung pada variabel ekonomi yang relevan seperti daya saing ekspor dan harga impor akhir, yang mempengaruhi perkembangan ekonomi (Tovar et al., 2007). Karena itu, penting bagi pelabuhan untuk beroperasi secara efisien.

2.2 Terminal Peti Kemas

Penanganan muatan di pelabuhan dilakukan di terminal sesuai dengan jenis muatan yang diangkut. Jenis muatan dibagi menjadi tiga yaitu barang umum (*general cargo*), muatan curah/ lepas (*bulk cargo*), dan peti kemas (kontainer). Terminal peti kemas adalah fasilitas yang berfungsi sebagai titik transfer antara kapal pengangkut peti kemas dengan transportasi lainnya. Terminal ini dirancang untuk menjalankan fungsi utamanya yaitu tempat untuk pemuatan dan pembongkaran peti kemas dari kapal ke truk atau sebaliknya. Selain itu, terminal ini menyediakan layanan *Container Freight Station* (CFS) yang mencakup kegiatan pengepakan dan pembongkaran peti kemas, memastikan barang dapat dengan aman diangkut dalam kondisi optimal. Fungsi lain dari terminal peti

kemas adalah melakukan pengawasan dan penjagaan terhadap peti kemas serta muatannya, untuk memastikan keamanan dan menjaga integritas barang selama proses penyimpanan dan transportasi. Terminal peti kemas juga bertanggung jawab dalam penerimaan armada kapal, pelayanan *cargo handling* dan pengelolaan lapangan penumpukan peti kemas, yang memastikan efisiensi dan efektivitas dalam penanganan barang, mendukung kecepatan dan keamanan distribusi barang dalam skala global.

Sebuah terminal peti kemas dilengkapi dengan berbagai fasilitas pendukung untuk melaksanakan fungsinya. Fasilitas-fasilitas ini mencakup:

1. Dermaga

Dermaga merupakan fasilitas penting di terminal peti kemas, dirancang khusus untuk proses merapat dan menambatkan kapal yang melakukan aktivitas bongkar muat barang. Struktur dermaga bervariasi, tergantung pada jenis dan ukuran kapal, serta kebutuhan operasional. Hal ini penting untuk menjamin efisiensi operasional dan keamanan selama proses bongkar muat. Berdasarkan konstruksinya, dermaga dapat dikategorikan ke dalam tiga tipe utama, yaitu:

- a. Wharf : Biasanya merujuk pada struktur dermaga yang terbentang sepanjang pantai atau memanjang ke arah laut. Wharf dapat memiliki struktur tertutup, seperti dinding gravitasi atau turap, atau terbuka dengan dukungan tiang pancang. Fungsinya adalah untuk menampung sejumlah kapal secara bersamaan, terutama di pelabuhan yang sibuk.
- b. Pier : Merupakan dermaga yang menjorok ke dalam air dan memiliki fungsi serupa dengan wharf namun sering kali memiliki satu ujung yang terhubung langsung dengan daratan. Pier dapat mendukung operasi bongkar muat di kedua sisinya, meningkatkan kapasitas dan fleksibilitas operasional.
- c. Jetty : Biasanya lebih kecil dan lebih sederhana dibandingkan wharf atau pier. Jetty seringkali digunakan untuk keperluan spesifik seperti penambatan perahu atau kapal kecil dan biasanya berupa struktur terbuka dengan tiang pancang.

Konstruksi dermaga harus mempertimbangkan berbagai faktor seperti kedalaman air, kondisi tanah dasar, dan potensi erosi. Struktur tertutup menggunakan dinding gravitasi yang stabil berkat beratnya sendiri, ideal untuk kondisi tanah yang kokoh. Dinding turap, baik dari beton, kayu, atau sel turap baja, digunakan untuk mempertahankan tanah dan mengurangi erosi. Sementara itu, struktur terbuka yang didukung tiang pancang memberikan fleksibilitas dan ketahanan terhadap kondisi tanah yang kurang stabil.

2. Apron

Apron di terminal peti kemas adalah area yang terletak langsung di belakang dermaga, di mana aktivitas utamanya adalah pemuatan dan pembongkaran peti kemas dari kapal ke daratan atau sebaliknya. Apron harus dirancang untuk menahan berat yang signifikan dari peralatan bongkar muat seperti gantry cranes, serta kendaraan pengangkut seperti truk. Lebar apron biasanya berkisar antara 20 hingga 50 meter, tergantung pada kebutuhan operasional terminal dan peralatan yang digunakan.

3. Lapangan Penumpukan (*Container yard*)

Lapangan penumpukan adalah area luas di mana peti kemas disimpan sementara setelah dibongkar dari kapal atau sebelum dimuat ke kapal. Lapangan penumpukan dirancang dengan sistem baris atau blok untuk memudahkan identifikasi dan akses ke peti kemas. Area ini dibagi berdasarkan jenis peti kemas, seperti ekspor, impor, peti kemas dengan pendingin (*reefer containers*), dan peti kemas kosong. Pengelolaan yang efektif dari lapangan penumpukan sangat penting untuk optimasi aliran barang dan efisiensi operasional terminal

4. *Container Freight Station (CFS)*

Container Freight Station merupakan fasilitas khusus di terminal peti kemas yang ditujukan untuk mengelola dan memproses barang-barang yang tidak cukup memenuhi satu peti kemas secara penuh (*Less than Container Load*). Fasilitas ini memungkinkan barang dari berbagai pengirim dikumpulkan bersama (konsolidasi) untuk membentuk satu

muatan peti kemas penuh, memaksimalkan efisiensi dan mengurangi biaya pengiriman. Sebaliknya, pada proses dekonsolidasi, CFS membuka peti kemas yang datang dan mendistribusikan isinya kepada penerima yang berbeda.

5. Menara Pengawas

Menara pengawas berperan sebagai pusat kendali untuk memantau, mengatur, dan memberi petunjuk tentang seluruh aktivitas di terminal, yang mencakup penggunaan peralatan serta pemberian arahan terkait penyimpanan dan penempatan kontainer.

6. Bengkel Pemeliharaan

Bengkel pemeliharaan ditujukan untuk perbaikan dan pemeliharaan peralatan terminal, seperti gantry cranes, reach stackers, dan truk pengangkut, serta perawatan untuk peti kemas itu sendiri. Fasilitas ini sangat penting dalam menjaga keandalan operasi dengan memastikan seluruh peralatan berfungsi dengan baik, sehingga menghindari downtime yang bisa menyebabkan penundaan dalam operasi terminal.

7. Fasilitas Lain

Beberapa fasilitas lain yang diperlukan untuk mendukung operasional terminal peti kemas seperti jalan masuk, bangunan untuk kantor, tempat parkir, tempat penumpukan peti kemas berpendingin, suplai bahan bakar, suplai air tawar, penerangan untuk malam hari, dan peralatan bongkar muat.

2.3 Lapangan Penumpukan (*Container yard*)

Lapangan penumpukan adalah lapangan untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menumpuk peti kemas. Lapangan penumpukan diatur berdasarkan *blok*, *row*, *slot*, dan *tier*, untuk memaksimalkan penggunaan ruang dan memudahkan proses pengorganisasian serta pengambilan kembali peti kemas. Fungsi dari *kontainer yard* tidak hanya terbatas pada tempat penumpukan. CY juga berfungsi sebagai titik transfer, di mana peti kemas dipindahkan dari satu mode transportasi ke mode lainnya. Selain itu, CY bertindak sebagai titik penerimaan peti kemas, area untuk penumpukan yang terorganisir, dan tempat penanganan peti kemas.

Keseluruhan fungsi ini menjadikan CY sebagai komponen kritis dalam proses logistik dan manajemen rantai pasok.

Hampir semua operasi terminal bermula atau berakhir di lapangan penumpukan kontainer, sehingga kinerja operasional terminal pelabuhan secara keseluruhan sangat ditentukan oleh operasi di lapangan penumpukan ini (Kemme, 2013). Tantangan utama dalam pengelolaan lapangan penumpukan adalah ketika kontainer dengan ukuran, tipe, atau berat yang berbeda harus disimpan di lapangan yang sudah memiliki sejumlah kontainer yang tersimpan. Tantangan ini menjadi lebih kompleks ketika tanggal dan waktu keberangkatan kontainer tidak diketahui, seperti ketika kontainer diambil oleh perusahaan logistik pihak ketiga tanpa pemberitahuan sebelumnya (Abbas et al., 2018).

Triatmodjo (2009) dalam bukunya "Perencanaan Pelabuhan" menjelaskan bahwa pemindahan peti kemas dari kapal ke lapangan penumpukan (*container yard*) dan sebaliknya dilakukan dengan menggunakan berbagai peralatan. Tata letak peti kemas di lapangan penumpukan tergantung pada sistem penanganan peti kemas yang digunakan. Selain itu, setiap alat memiliki ukuran yang berbeda sehingga memerlukan lebar jalur yang berbeda dalam beroperasi. Berdasarkan pada peralatan yang digunakan di *container yard*, sistem penanganan peti kemas dapat dibedakan menjadi empat tipe berikut ini.

1. Sistem Chassis

Sistem ini menggunakan chassis untuk mengangkut peti kemas ekspor yang kemudian ditempatkan di lapangan penumpukan. Selama proses bongkar muat, peti kemas ditempatkan di lapangan penumpukan bersama dengan chassisnya, memungkinkan peti kemas diambil kapan saja karena tidak ditumpuk. Kelebihan sistem ini termasuk kemudahan akses peti kemas karena tidak ditumpuk, yang cocok untuk pengiriman door to door, serta pengurangan kerusakan muatan. Namun, sistem ini membutuhkan lapangan penumpukan yang luas dan jumlah chassis yang banyak.

2. Sistem Forklift

Dalam sistem ini, peti kemas diangkut dari lapangan penumpukan ke dermaga menggunakan *tractor-trailer*, kemudian diangkat oleh *quay*

gantry crane dari *tractor-trailer* dan dimasukkan ke dalam kapal. Selanjutnya, *quay gantry crane* memindahkan peti kemas dari kapal ke atas *tractor-trailer* di dermaga, yang selanjutnya dibawa kembali ke *container yard*. Di *container yard*, penanganan peti kemas dilakukan menggunakan *forklift truck*, *reach stacker*, dan/atau *side loader*; yang memungkinkan penumpukan peti kemas bermuatan penuh hingga dua atau tiga tingkat, dan peti kemas kosong hingga empat tingkat. Sistem ini memerlukan jalur yang cukup lebar agar peralatan dapat bergerak dengan lancar. Untuk peti kemas ukuran 40 kaki, diperlukan jalur dengan lebar 18 meter, sedangkan untuk peti kemas 20 kaki, jalur dengan lebar 12 meter diperlukan. Sistem *forklift* dan *reach stacker* ini merupakan solusi yang paling ekonomis untuk terminal kecil. Komposisi alat umumnya mencakup 3-5 *tractor-trailer* dan dua *reach stacker* untuk setiap *quay crane*, dengan kapasitas penumpukan yang relatif rendah.

3. Sistem Straddle Carrier

Pada sistem ini, peti kemas diletakkan di apron dan kemudian diangkut oleh *straddle carrier* ke lapangan penumpukan untuk ditata langsung. Sistem ini memungkinkan penumpukan hingga tiga tingkat, mengoptimalkan penggunaan ruang lapangan penumpukan. Biasanya, satu *quay crane* dilayani oleh 3-5 *straddle carrier*.

4. Sistem Rubber Tyred Gantry Crane (RTG)

Dalam sistem ini, *quay crane* menurunkan peti kemas dari kapal ke *head truck* di apron, yang kemudian membawa peti kemas ke lapangan penumpukan untuk dibongkar oleh RTG. RTG dapat menumpuk peti kemas hingga lima hingga enam tumpukan dan mencapai 6 hingga 9 baris. Penggunaan RTG memungkinkan lapangan penumpukan lebih efisien karena tidak memerlukan gang yang lebar. Satu *quay crane* biasanya didukung oleh 3-5 truk dan 2 *reach stacker*.

2.4 *Yard Allocation Problem (YAP)*

Yard Allocation Problem (YAP) adalah masalah yang terkait dengan penentuan alokasi ruang penyimpanan yang optimal untuk kontainer di lapangan penumpukan terminal peti kemas. Tujuan utama dari YAP adalah mengoptimalkan penggunaan ruang di lapangan penumpukan untuk meminimalkan total jarak pergerakan kontainer dalam yard dan meningkatkan keseimbangan beban kerja antar blok penyimpanan (Chen et al., 2014). Oleh karena itu, hasil dari YAP adalah penentuan blok di mana kontainer akan ditempatkan (*stacking*) dan jumlah kontainer yang akan ditempatkan di setiap blok tersebut.

Studi oleh (Chen et al., 2003) dan (Lim and Xu, 2006) menunjukkan bahwa integrasi batasan spasial dan temporal dalam model optimasi dapat menghasilkan peningkatan signifikan dalam efisiensi alokasi ruang di terminal peti kemas. Permasalahan alokasi lapangan penumpukan (YAP) di terminal peti kemas melibatkan dua jenis batasan utama yaitu batasan spasial dan batasan temporal. Batasan spasial berkaitan dengan jumlah blok penumpukan yang tersedia dan kapasitas masing-masing blok, yang menentukan seberapa banyak kontainer dapat disimpan di setiap lokasi. Sementara itu, batasan temporal berkaitan dengan jadwal kedatangan dan keberangkatan kapal serta jumlah kontainer yang harus dimuat atau dibongkar dalam jangka waktu tertentu.

2.5 **Optimasi**

Optimasi adalah proses menemukan solusi "terbaik" dari sejumlah opsi dengan memaksimalkan atau meminimalkan fungsi objektif tertentu tanpa atau dengan batasan tertentu. Optimasi merupakan alat yang sangat efektif dan kuat yang membantu dalam pemecahan masalah integrasi proses secara sistematis (El-Halwagi, 2012). Untuk mencapai solusi terbaik, dilakukan pemilihan nilai dari variabel-variabel, baik yang berupa bilangan bulat maupun bilangan riil.

Secara umum, penyelesaian masalah optimasi dapat dilakukan menggunakan dengan dua metode yaitu :

1. Metode Konvensional

Metode konvensional dalam optimasi umumnya didasarkan pada penggunaan perhitungan matematis eksak untuk menemukan solusi

optimal. Hal ini mencakup teknik-teknik seperti turunan pertama dan kedua, misalnya metode gradien turun dan metode Newton-Raphson, yang sangat bergantung pada kalkulus diferensial. Metode konvensional ini efektif untuk masalah yang fungsi objektif dan batasannya dapat dengan jelas didefinisikan dan diferensialkan. Namun, metode-metode ini dapat mengalami kesulitan dalam skenario skala besar atau ketika fungsi objektifnya kompleks dan non-linear, seringkali terjebak pada titik optimum lokal dan tidak mampu menangani masalah dengan banyak batasan dan variabel (Vahidi et al., 2019).

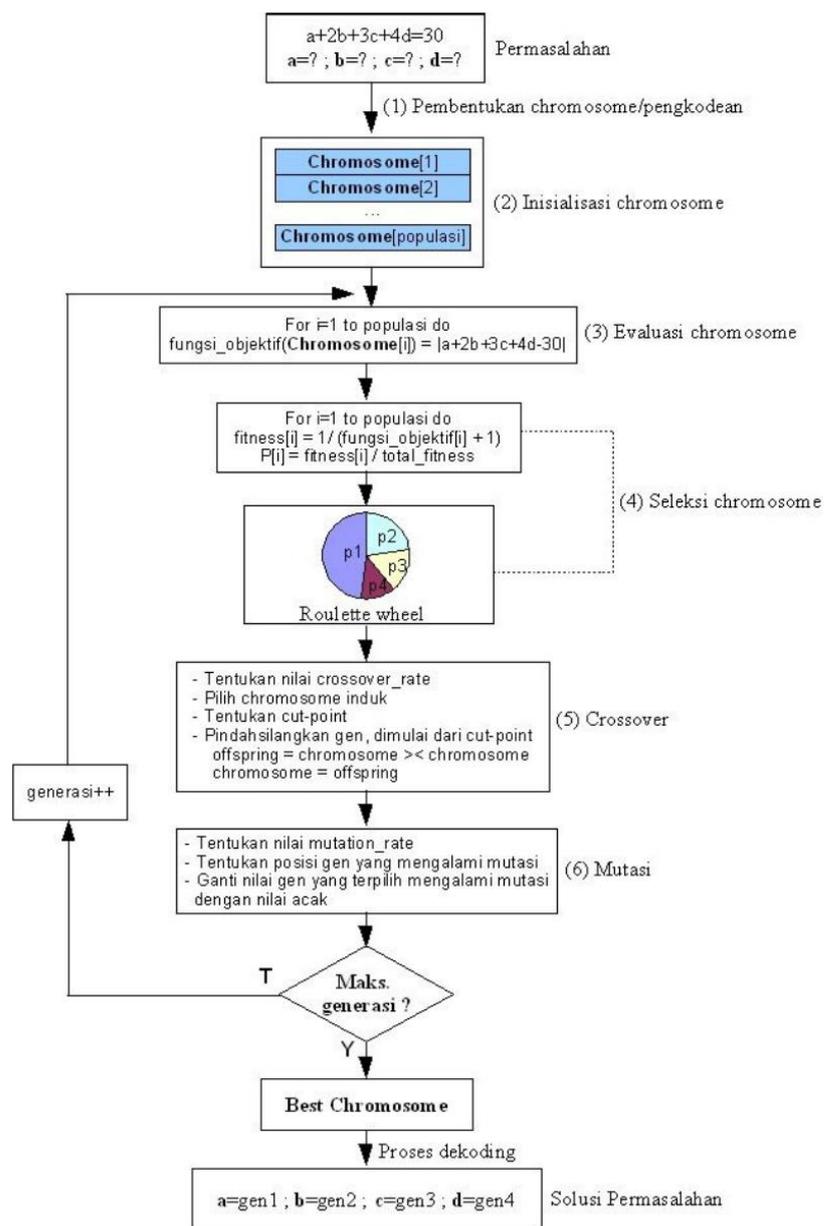
2. Metode Heuristic

Metode Heuristic merupakan metode yang berbasis pada intuisi atau aturan-aturan empiris untuk memperoleh solusi yang lebih baik dari pada solusi yang telah dicapai sebelumnya. Contoh algoritma dari metode Heuristic mencakup algoritma genetika, ant colony optimization, logika fuzzy, tabu search, dan simulated annealing. Berbeda dengan metode konvensional, metode Heuristic tidak bergantung pada turunan dari fungsi objektif. Metode ini tidak menjamin penemuan solusi optimal, namun jika dirancang dengan baik dapat memberikan solusi yang mendekati optimal dengan komputasi yang lebih efisien. Metode Heuristic seringkali digunakan ketika metode konvensional gagal menemukan solusi yang memuaskan atau membutuhkan waktu komputasi yang tidak praktis (Gilli et al., 2011). Oleh karena itu, metode ini cocok untuk masalah optimasi yang kompleks dan berdimensi tinggi.

2.6 Algoritma Genetika

Algoritma Genetika adalah metode yang berdasarkan prinsip-prinsip genetika dan seleksi alam untuk mencapai optimalisasi. Metode ini pertama kali dikembangkan oleh John Holland beserta kolega dan murid-muridnya di Universitas Michigan. Langkah prosedur algoritma ini diawali dengan menentukan suatu set solusi potensial dan melakukan perubahan dengan beberapa perulangan (iterasi) dengan algoritma genetika untuk menghasilkan solusi terbaik. Set solusi potensial ini ditetapkan diawal dan disebut dengan kromosom.

Kromosom ini dibentuk secara random berupa susunan angka binary yang di-generate dan dipilih. Keseluruhan set dari kromosom yang diobservasi mewakili suatu populasi (Heli et al., 2010). Kromosom-kromosom berevolusi beberapa kali tahapan iterasi yang disebut dengan generasi. Generasi baru (*offsprings*) di-generate dengan teknik kawin silang (*crossover*) dan mutasi (*mutation*). *Crossover* meliputi pemisahan atau pemecahan (*splitting*) dua kromosom, kemudian mengkombinasikan setengah bagian dari masing-masing kromosom dengan pasangan-pasangan lainnya. Mutasi meliputi pertukaran (*flipping*) satu bit (bagian) dari kromosom dengan satu bagian lain dari kromosom lain yang menjadi pasangannya. Kromosom-kromosom tersebut kemudian berevolusi dengan suatu kriteria kesesuaian (*fitness*) yang telah ditetapkan, hasil yang terbaik akan dipilih sedangkan yang lainnya diabaikan. Proses ini dilakukan secara berulang-ulang sampai menemukan suatu kromosom yang memiliki kesesuaian terbaik (*best fitness*) untuk dijadikan sebagai solusi terbaik dari suatu masalah (Suhartono, 2015).



Gambar 1 Diagram alir algoritma genetika

Sumber : (Hermawanto, 2003)

Ada 6 komponen utama yang terdapat dalam algoritma genetika yaitu :

1. Teknik Pengkodean

Teknik pengkodean merupakan proses pengkodean gen dari kromosom. Teknik ini berfungsi untuk mentransformasikan solusi potensial suatu masalah ke dalam bentuk kromosom. Teknik pengkodean ini meliputi pengkodean gen dan kromosom. Gen merupakan bagian dari kromosom yang dapat direpresentasikan dalam bentuk string bit, pohon, array bilangan real, daftar aturan, elemen permutasi, elemen program,

atau representasi lain yang dapat diimplementasikan untuk operator genetika (Suhartono, 2015).

2. Prosedur Inisialisasi (Membangkitkan Populasi Awal)

Suatu proses yang menghasilkan sejumlah individu secara acak (*random*). Banyaknya populasi tergantung pada masalah yang akan diselesaikan dan jenis operator genetika yang akan diterapkan. Setelah jumlah populasi ditentukan, selanjutnya dilakukan inisialisasi terhadap kromosom yang ada di dalam populasi tersebut. Inisialisasi kromosom dilakukan secara acak, dengan tetap memperhatikan domain solusi dan kendala permasalahan yang ada (Suhartono, 2015).

Inisialisasi populasi dalam algoritma genetika adalah langkah penting yang menentukan efektivitas dan efisiensi dari pencarian solusi yang optimal. Populasi awal yang dihasilkan secara acak ini harus mencakup variasi yang cukup luas dari solusi potensial agar algoritma dapat menjelajahi ruang solusi dengan efektif yang pada gilirannya dapat mempercepat proses pencarian solusi optimal.

3. Fungsi Evaluasi

Fungsi *fitness*, yang juga dikenal sebagai fungsi evaluasi, sangat krusial dalam algoritma genetika karena berfungsi untuk mengevaluasi seberapa baik solusi yang dihasilkan. Semua solusi yang terbentuk dalam populasi dinilai dengan menggunakan fungsi *fitness* untuk menentukan kelayakannya. Individu dengan nilai *fitness* yang tinggi pada kromosomnya dipertahankan, sedangkan mereka dengan nilai *fitness* rendah digantikan. Fungsi *fitness* ini disesuaikan berdasarkan masalah spesifik dan jenis representasi yang digunakan.

Untuk permasalahan alokasi lapangan kontainer, fungsi *fitness* yang digunakan untuk proses optimasi ada 3 yaitu (Mi et al., 2009) :

1. Meminimalkan Jarak Transportasi (f_1)

Fungsi ini bertujuan untuk meminimalkan jarak total transportasi antara lapangan penumpukan dan lokasi sandar kapal.

$$f_1 = \text{Min} \sum_{t=1}^{TP} \sum_{j \in VPt} \sum_{i=1}^{NA} (N2_{ijt} + N4_{ijt}) \cdot A_{ijt} \cdot D_{ijt} \quad (1)$$

2. Menyeimbangkan Beban Kerja di Semua Lapangan Penumpukan Untuk Setiap Periode (f_2)

Fungsi ini bertujuan untuk menyeimbangkan beban kerja di semua lapangan penumpukan untuk setiap periode, dengan cara meminimalkan perbedaan antara beban kerja maksimum dan minimum di seluruh lapangan penumpukan pada setiap periode.

$$f_2 = \text{Min} \left\{ \left(\text{Max} \sum_{k=1}^{K_{jt}} (N2_{ijt} + 2 \cdot N4_{ijt}) A_{ijt} \right) - \left(\text{Min} \sum_{k=1}^{K_{jt}} (N2_{ijt} + 2 \cdot N4_{ijt}) A_{ijt} \right) \right\} \quad (2)$$

3. Menyeimbangkan Beban Kerja di Semua Lapangan penumpukan untuk Setiap Kapal (f_3)

Fungsi ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap kapal memiliki distribusi kontainer yang seimbang di seluruh lapangan penumpukan.

$$f_3 = \text{Min} \left\{ \sum_{t=1}^{TP} \left(\text{Max} \sum_{j \in VPt} (N2_{ijt} + 2 \cdot N4_{ijt}) A_{ijt} \right) - \left(\text{Min} \sum_{j \in VPt} (N2_{ijt} + 2 \cdot N4_{ijt}) A_{ijt} \right) \right\} \quad (3)$$

Ketiga fungsi *fitness* ini kemudian digabungkan dalam sebuah fungsi multi-objektif sebagai berikut:

$$f = \text{Min}(\omega_1 \cdot f_1 + \omega_2 \cdot f_2 + \omega_3 \cdot f_3) \quad (4)$$

Dimana ω_1, ω_2 , dan ω_3 adalah bobot yang diberikan untuk setiap fungsi *fitness*.

Keterangan :

- TP : Jumlah periode waktu
- VPt : Set kapal yang datang pada periode waktu t
- NA : Jumlah lapangan penumpukan
- $Dijt$: Jarak dari lapangan penumpukan i ke lokasi bersandar kapal j
- $Aijt$: Variabel biner yang menunjukkan apakah lapangan penumpukan i dialokasikan untuk kapal j pada periode t
- $N2_{ijt}$: Jumlah peti kemas 20 kaki yang dialokasikan ke lapangan penumpukan i untuk kapal j pada periode t
- $N4_{ijt}$: Jumlah peti kemas 40 kaki yang dialokasikan ke lapangan penumpukan i untuk kapal j pada periode t
- K_{jt} : Jumlah lapangan penumpukan yang digunakan pada waktu t untuk kapal j

4. Seleksi

Proses seleksi dalam algoritma genetika bertujuan untuk memilih individu yang cocok untuk proses persilangan dan mutasi dengan harapan mendapatkan calon induk yang berkualitas tinggi. Induk yang berkualitas diharapkan dapat menghasilkan keturunan yang baik. Langkah awal dalam seleksi ini melibatkan penilaian nilai *fitness* setiap individu, di mana nilai ini menentukan probabilitas mereka untuk bereproduksi. Nilai *fitness* ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam tahap seleksi berikutnya. Ada beberapa metode untuk memilih kromosom yang digunakan antara lain (Chahar et al., 2021) :

a. *Roulette Wheel Selection*

Metode seleksi roda rolet (*roulette wheel*) ini dilakukan dengan cara menyeleksi *parent* dengan tujuan untuk mempertahankan nilai *fitness*nya, dimana kromosom yang memiliki nilai *fitness* tinggi mendapatkan kesempatan lebih besar untuk dipilih. Proses ini diibaratkan seperti permainan roda rolet, dimana semua kromosom ditempatkan dalam populasi, setiap tempat besar

sesuai dengan fungsi *fitness*. Kromosom dipilih berdasarkan nilai *fitness*, semakin besar nilai *fitness* maka kromosom tersebut mempunyai peluang untuk dipilih beberapa kali. Kelebihan utama dari metode ini adalah kesederhanaannya. Namun, metode ini dapat membuat individu terbaik terlalu sering terpilih, yang mengakibatkan berkurangnya keragaman genetik dalam populasi.

b. *Rank Selection*

Rank selection mengurutkan individu berdasarkan nilai *fitness* dan memberikan peringkat kepada mereka. Setiap individu kemudian dipilih berdasarkan peringkatnya, bukan nilai *fitness* absolutnya. Ini berarti individu dengan nilai *fitness* sedang juga memiliki peluang yang cukup baik untuk terpilih, sehingga menjaga variasi genetik dalam populasi dan mengurangi risiko konvergensi prematur. Dengan begitu, algoritma memiliki lebih banyak kesempatan untuk menemukan solusi optimal. Meski demikian, metode ini membutuhkan proses pengurutan yang bisa memakan waktu dan cenderung lebih lambat dalam konvergensi dibandingkan dengan metode lain, serta bisa menjadi mahal secara komputasional.

c. *Tournament Selection*

Tournament selection melibatkan pemilihan sejumlah individu secara acak dari populasi dan kemudian mengadakan "turnamen" di antara mereka. Individu dengan nilai *fitness* tertinggi dari grup ini dipilih untuk reproduksi. Teknik ini mempertahankan keragaman populasi dan memungkinkan implementasi paralel yang efektif. Selain itu, metode ini tidak memerlukan pengurutan seperti pada rank selection. Namun, jika ukuran turnamen terlalu besar, metode ini dapat menyebabkan hilangnya keragaman populasi yang signifikan.

d. *Stochastic Universal Sampling (SUS)*

SUS adalah pengembangan dari *roulette wheel selection* yang menggunakan titik awal acak pada daftar individu dari suatu generasi dan memilih individu baru pada interval yang sama. Teknik ini

memberikan kesempatan yang sama kepada semua individu untuk terpilih, meningkatkan keragaman populasi. Meskipun SUS bekerja dengan baik dalam beberapa kasus seperti Travelling Salesman Problem, performanya bisa menurun seiring dengan meningkatnya ukuran masalah, di mana metode roulette wheel selection tradisional bisa lebih efektif.

e. *Elitism*

Elitism memastikan bahwa individu terbaik dalam suatu generasi selalu diteruskan ke generasi berikutnya. Hal ini dilakukan dengan mengidentifikasi individu dengan nilai *fitness* tertinggi dan memastikan mereka tidak hilang selama proses seleksi, crossover, atau mutasi. Teknik ini membantu menjaga kualitas solusi terbaik sepanjang evolusi, tetapi ada risiko kehilangan individu terbaik jika mereka tidak dilindungi dari operator crossover dan mutasi. Implementasi elitisme juga membutuhkan mekanisme tambahan untuk memastikan bahwa individu elit tetap berada di populasi.

5. Operator Genetika

Algoritma genetika adalah metode pencarian yang mengandalkan teknik Heuristic dan acak, sehingga pemilihan operator sangat mempengaruhi kesuksesan algoritma dalam mencapai solusi optimal untuk masalah yang diberikan. Penting untuk memastikan bahwa algoritma tidak mengalami konvergensi prematur, yang terjadi ketika solusi optimal lokal ditemukan terlalu cepat sebelum solusi optimal sebenarnya tercapai. Terdapat dua jenis operator genetika yang digunakan dalam proses ini yaitu :

a. *Crossover* (Persilangan)

Crossover adalah sebuah metode dalam algoritma genetika yang menggabungkan dua kromosom induk untuk membentuk kromosom baru, yang dikenal sebagai keturunan, pada suatu titik tertentu. Proses ini berpotensi menghasilkan kromosom yang lebih dekat ke solusi yang diinginkan dengan mengambil segmen dari salah satu induk yang berada di sebelah kiri titik pemisahan dan

menggabungkannya dengan segmen dari induk lain yang berada di sebelah kanan titik tersebut. Metode ini merupakan salah satu cara sederhana untuk melakukan *crossover*.

b. Mutasi

Mutasi merupakan proses untuk mengubah satu atau lebih gen dalam sebuah kromosom. Fungsi utama dari proses ini adalah untuk menggantikan gen-gen yang mungkin hilang dari populasi karena seleksi. Ini memungkinkan gen yang tidak terwakili saat inisialisasi populasi untuk muncul kembali, sehingga meningkatkan keanekaragaman genetik dalam populasi. Proses ini sangat penting untuk menjaga variasi genetik yang diperlukan dalam pencarian solusi optimal.

6. Parameter Kontrol

Parameter kontrol genetika diperlukan untuk mengatur operator-operator seleksi dalam algoritma genetika. Pemilihan parameter ini sangat menentukan kinerja algoritma genetika dalam menyelesaikan masalah. Terdapat dua parameter utama dalam algoritma genetika, yaitu probabilitas *crossover* (P_c) dan probabilitas mutasi (P_m).

a. Probabilitas *crossover* (P_c)

Probabilitas *crossover* (P_c) adalah parameter yang menentukan seberapa sering *crossover* akan terjadi dalam populasi. Nilai P_c yang tinggi meningkatkan peluang terbentuknya individu baru yang berpotensi lebih baik dengan menggabungkan fitur-fitur baik dari kedua induk. Namun, nilai P_c yang terlalu tinggi bisa menyebabkan hilangnya solusi terbaik yang sudah ada karena gen yang baik mungkin terpecah dan tersebar di antara berbagai individu. Oleh karena itu, nilai P_c yang disarankan berkisar antara 80% hingga 95%, yang memungkinkan keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi dalam ruang pencarian.

b. Probabilitas mutasi

Probabilitas mutasi (P_m) mengontrol operator mutasi pada setiap generasi, dengan peluang mutasi yang biasanya lebih kecil

daripada peluang crossover. Dalam seleksi alam alami, mutasi jarang terjadi, sehingga operator mutasi dalam algoritma genetika juga tidak sering muncul. Oleh karena itu, nilai peluang mutasi dibuat lebih kecil untuk setiap generasi, disarankan berada dalam kisaran 0,5% hingga 1%.

Parameter lain yang juga penting dalam menentukan efisiensi kinerja algoritma genetika adalah ukuran populasi, yaitu jumlah kromosom dalam satu populasi. Ukuran populasi yang terlalu kecil dapat menyebabkan konvergensi prematur, dimana algoritma cepat mencapai solusi lokal dan kehilangan keragaman genetik yang diperlukan untuk eksplorasi solusi global. Di sisi lain, populasi yang terlalu besar dapat meningkatkan waktu komputasi tanpa memberikan perbaikan signifikan dalam kualitas solusi. Ukuran populasi yang disarankan sangat bergantung pada kompleksitas masalah yang dihadapi. Untuk masalah dengan kompleksitas sedang, ukuran populasi sekitar 100 kromosom seringkali efektif. Namun, untuk masalah yang lebih kompleks, mungkin diperlukan populasi yang lebih besar, tetapi dengan pertimbangan peningkatan waktu komputasi.

2.7 Simulasi

Simulasi adalah proses meniru operasi atau sistem di dunia nyata yang berlangsung dalam satuan waktu tertentu (Banks and Carson, 1985). Tujuan dari simulasi yaitu mengidentifikasi potensi masalah, menguji dan menerapkan berbagai strategi, serta mengevaluasi dampak dari berbagai skenario yang diujikan. Berdasarkan hasil simulasi, pengambil keputusan dapat memilih opsi terbaik untuk diimplementasikan, yang dapat mempercepat proses pengambilan keputusan, baik secara manual maupun dengan menggunakan perangkat lunak. Selain itu, simulasi dapat menjadi alternatif terakhir dalam menyelesaikan masalah ketika algoritma-algoritma yang ada tidak berhasil, karena simulasi menyediakan representasi nyata dari masalah yang dihadapi.

Terdapat beberapa situasi dimana simulasi sangat tepat untuk digunakan (Naylor et al., 1996) :

1. Simulasi digunakan untuk mempelajari dan menguji hubungan dalam sistem yang kompleks maupun sub-sistem dalam sistem tersebut.
2. Simulasi memungkinkan untuk mempelajari efek perubahan variabel terhadap perilaku model.
3. Perubahan input dan variabel dapat memberikan informasi tentang variabel mana yang paling signifikan dalam sistem dan bagaimana hubungan antar variabel tersebut.
4. Pengetahuan dan wawasan yang diperoleh selama proses pembuatan model dapat memberikan dampak positif dalam mengarahkan perubahan sistem ke arah yang lebih baik.
5. Simulasi memungkinkan untuk melakukan eksperimen pada rancangan kebijakan atau sistem baru yang belum diterapkan untuk mempersiapkan dampak perubahan tersebut.
6. Simulasi digunakan untuk memverifikasi solusi analitis yang telah ada.

Keunggulan dari pemecahan masalah menggunakan simulasi adalah sebagai berikut (Pedgen et al., 1995) :

1. Simulasi dapat digunakan untuk mengeksplorasi kebijakan baru, prosedur operasional, dan berbagai macam perubahan lainnya dalam sebuah sistem tanpa mengganggu sistem yang sudah berjalan di dunia nyata.
2. Simulasi dapat melakukan pengujian terhadap penambahan sumber-sumber daya baru tanpa harus mengeluarkan biaya untuk sumber daya tersebut.
3. Simulasi dapat digunakan untuk melakukan pengujian dari sebuah hipotesis awal.
4. Simulasi mampu melakukan rekayasa dalam satuan waktu yang berjalan sehingga dapat memberikan gambaran sebuah sistem terhadap perubahan waktu baik itu jangka pendek, menengah maupun jangka panjang.
5. Simulasi mampu memberikan gambaran hubungan antar variabel dalam sebuah sistem.
6. Simulasi dapat difungsikan sebagai alat untuk menjelajahi berbagai

skenario dalam proses perancangan sistem baru.

Penggunaan simulasi untuk memecahkan masalah memiliki banyak keuntungan, namun pendekatan simulasi juga memiliki beberapa kekurangan sebagai berikut :

1. Pembuatan model untuk simulasi yang akurat dan efektif memerlukan keahlian khusus, pelatihan dan pengalaman.
2. Simulasi menghasilkan hasil yang membutuhkan proses interpretasi yang lebih sulit. Hal ini dikarenakan mayoritas input dari sebuah simulasi berasal dari *random inputs*.
3. Pembuatan sebuah model untuk simulasi, dan proses analisis hasil simulasi membutuhkan waktu yang cukup memakan waktu.

2.8 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi

Verifikasi merupakan proses untuk mengecek dan memastikan bahwa model yang dibuat sudah benar-benar sesuai dengan desain konsep awal dan logika yang diharapkan, sehingga tidak ada kesalahan dalam logika pemodelan. Proses verifikasi juga dikenal sebagai *debugging* model (Kelton et al., 2015). Sementara itu validasi adalah proses yang memastikan bahwa model simulasi yang dibuat mampu menggambarkan kejadian yang sebenarnya terjadi di dunia nyata (Kelton et al., 2015). Salah satu metode dalam melakukan validasi model simulasi adalah *Welch's T-Interval*.

Welch's T-Interval adalah prosedur statistik yang digunakan untuk membandingkan rata-rata dari dua populasi dengan varians yang tidak diasumsikan sama (Ahad and Yahaya, 2014). Dua populasi yang dimaksudkan adalah hasil simulasi dan data aktual. Tujuan penggunaan metode ini untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara dua set data tersebut.

Langkah-langkah dari metode *Welch's T-Interval* :

1. Tentukan Hipotesis
 - $H_0 : \mu_1 = \mu_2$ (Tidak ada perbedaan signifikan antara rata-rata dua populasi)
 - $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$ (Ada perbedaan signifikan antara rata-rata dua populasi)

2. Hitung Derajat Kebebasan (D_f)

$$D_f = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}} \quad (5)$$

3. Cari Nilai t dari Tabel Distribusi t

- Tentukan tingkat kepercayaan (α)
- Cari nilai t yang sesuai dari Tabel Distribusi T untuk ($\alpha/2$) dan D_f

4. Hitung *Half-Width* (H_w)

$$H_w = t_{\alpha/2, D_f} \times \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}} \quad (6)$$

5. Hitung Interval Kepercayaan

$$P[(\bar{X}_1 - \bar{X}_2) - H_w \leq \mu_1 - \mu_2 \leq (\bar{X}_1 - \bar{X}_2) + H_w] \quad (7)$$

6. Interpretasi Hasil

- Jika 0 berada dalam interval kepercayaan, terima H_0 (tidak ada perbedaan signifikan, model simulasi valid)
- Jika 0 tidak berada dalam interval kepercayaan, tolak H_0 (ada perbedaan signifikan, model simulasi tidak valid)