

SKRIPSI

**SIMULASI PEMODELAN SISTEM RELOKASI KONTAINER
MENGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA (STUDI KASUS
TERMINAL PETI KEMAS NEW MAKASSAR 1)**

Disusun dan diajukan oleh:

SHEKINAH QUEENY LIMUANG

D121 20 1056



PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INFORMATIKA

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2024

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Simulasi Pemodelan Sistem Relokasi Kontainer Menggunakan Algoritma Genetika (Studi Kasus Terminal Peti Kemas New Makassar 1)

Disusun dan diajukan oleh

Shekinah Queeny Limuang

D121 20 1056

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

Mukarramah Yusuf, B.Sc., M.Sc., Ph.D
NIP. 19831008 201212 2 003

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Shekinah Queeny Limuang

NIM : D121201056

Program Studi : Teknik Informatika

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

Simulasi Pemodelan Sistem Relokasi Kontainer Menggunakan Algoritma
Genetika (Studi Kasus Terminal Peti Kemas New Makassar I)

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, 19 Juni 2024

Yang Menyatakan


Shekinah Queeny Limuang

ABSTRAK

SHEKINAH QUEENY LIMUANG. *Simulasi Pemodelan Sistem Relokasi Kontainer Menggunakan Algoritma Genetika (Studi Kasus Terminal Peti Kemas New Makassar 1)* (dibimbing oleh Ingrid Nurtanio, Mukarramah Yusuf).

Sebagai negara maritim dengan posisi strategis, Indonesia mengandalkan pelabuhan sebagai kunci pertumbuhan ekonomi. Peningkatan volume barang impor melalui jalur laut menambah beban terminal peti kemas, memperpanjang waktu tunggu (*dwelling time*) di pelabuhan. Kondisi ini memerlukan solusi untuk efisiensi operasional, terutama di Terminal Peti Kemas New Makassar 1. Salah satu tantangan adalah optimalisasi proses bongkar muat, khususnya saat relokasi kontainer yang dapat menambah biaya dan waktu operasional

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan algoritma genetika guna mengurangi waktu relokasi kontainer selama proses pembongkaran di terminal. Dengan menggunakan metode heuristik, penelitian ini mengembangkan model simulasi yang diharapkan dapat diterapkan untuk meningkatkan efisiensi operasional di Terminal Peti Kemas New Makassar 1.

Metode penelitian melibatkan pengumpulan data kontainer dari Terminal Peti Kemas New Makassar 1 dan simulasi menggunakan perangkat lunak Unity. Algoritma genetika diterapkan untuk menentukan solusi optimal dalam meminimalkan perpindahan kontainer yang tidak perlu. Setiap skenario pengujian diukur untuk mendapatkan parameter algoritma dengan nilai fitness terbaik.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi berdasarkan algoritma genetika berhasil mengurangi rata-rata waktu *dwelling time* hingga 89,59% dibandingkan kondisi nyata. Hal ini membuktikan bahwa sistem relokasi kontainer dengan algoritma genetika dapat meningkatkan efisiensi di terminal. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan solusi berbasis teknologi untuk optimasi operasional pelabuhan.

Kata Kunci: Algoritma Genetika, Masalah Relokasi Kontainer, Dwelling Time, Terminal Peti Kemas, Simulasi Unity.

ABSTRACT

SHEKINAH QUEENY LIMUANG. *Simulation Modeling of Container Relocation System Using Genetic Algorithm (Case Study at New Makassar Container Terminal 1)* (supervised by Ingrid Nurtanio, Mukarramah Yusuf).

As a maritime nation with a strategic position, Indonesia relies on ports as key drivers of economic growth. The increasing volume of imported goods via sea routes adds pressure to container terminals, extending dwelling time at ports. This situation requires solutions for operational efficiency, especially at New Makassar Container Terminal 1. One challenge is optimizing the loading and unloading process, particularly during container relocations that can increase operational costs and time.

This study aims to implement a genetic algorithm to reduce container relocation time during unloading at the terminal. Using a heuristic method, this research develops a simulation model expected to be applicable for improving operational efficiency at New Makassar Container Terminal 1.

The research method involves collecting container data from New Makassar Container Terminal 1 and simulating using Unity software. The genetic algorithm is applied to determine the optimal solution for minimizing unnecessary container movements. Each test scenario is measured to obtain the algorithm parameters with the best fitness value.

The research results show that the simulation based on the genetic algorithm successfully reduced the average dwelling time by 89,59% compared to the actual condition. This demonstrates that the container relocation system with a genetic algorithm can enhance terminal efficiency. Thus, this study significantly contributes to the development of technology-based solutions for optimizing port operations.

Keywords: Genetic Algorithm, Container Relocation Problem, Dwelling Time, Container Terminal, Unity Simulation.

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa atas karena berkat, anugerah dan kebaikan-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul “Simulasi Pemodelan Sistem Relokasi Kontainer Menggunakan Algoritma Genetika (Studi Kasus Terminal Peti Kemas New Makassar 1)” 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. Keluarga penulis yang senantiasa mendoakan, memberikan semangat dan bantuan materi maupun non-materi kepada penulis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Indrabayu, S.T., M.T., M.Bus.Sys., IPM. ASEAN. Eng. selaku ketua departemen Teknik Informatika Universitas Hasanuddin
3. Ibu Dr. Ir. Ingrid Nurtanio, M.T. selaku pembimbing I dan Ibu Mukkaramah Yusuf, B.Sc., M.Sc., Ph.D selaku pembimbing II, yang senantiasa menyempatkan waktu untuk mengarahkan dan berbagi pikiran kepada penulis untuk menyelesaikan tugas akhir.
4. Bapak Capt. Zainal Yahya Idris, S.Si.T. M.A.P., M.Mar dan Ibu Capt. Endang Lestari, S.Si.T., M.Adm.S.D.A., M.Mar. sebagai supervisor kerja praktek di Politeknik Ilmu Pelayaran yang membantu penulis dalam memperoleh data penelitian.
5. Tasya, Calvin, Agung, Rischa, dan semua anggota Mahasiswa Tanpa Lab yang senantiasa mendukung dan memberi semangat kepada penulis.
6. Agung dan Firman yang telah membantu penulis dalam visualisasi model container dan penggunaan Unity.
7. Seluruh dosen dan staf Departemen Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin yang telah membantu penulis selama masa perkuliahan

8. Seluruh pihak yang tidak disebutkan dan tanpa sadar telah menjadi inspirasi dan membantu penulis dalam menyelesaikan tugas akhir.

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, 26 Juni 2024

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
PERNYATAAN KEASLIAN	iii
ABSTRAK.....	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Ruang Lingkup.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pemodelan dan Simulasi	5
2.2 Pelabuhan.....	5
2.3 Terminal Peti Kemas.....	6
2.4 Kontainer.....	6
2.5 <i>Dwelling Time</i>	10
2.6 <i>Container Relocation Problem</i> (Masalah Pemindahan Kontainer)	11
2.7 Algoritma Genetika.....	13
2.8 Unity	17
2.9 Penelitian Terkait	18
BAB III METODE PENELITIAN	20
3.1 Tahapan Penelitian	20
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian.....	21
3.3 Instrumen Penelitian	22
3.4 Teknik Pengambilan Data	22
3.5 Perancangan dan Implementasi Model	23
3.6 Skenario Pengujian	33
3.6.1 Pengujian Parameter Algoritma	34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Pengujian Parameter Algoritma.....	38
4.2 Perhitungan <i>Dwelling Time</i>	70
BAB V PENUTUP	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA.....	77
LAMPIRAN	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Keadaan Tumpukan di Pelabuhan	2
Gambar 2. Tumpukan peti kemas di Terminal Peti Kemas New Makassar 1	7
Gambar 3. Tahapan Dwelling Time	11
Gambar 4. Contoh Proses Pengambilan dan Relokasi Kontainer	13
Gambar 5. Langkah-langkah Algoritma Genetika	15
Gambar 6. Proses Pindah Silang	17
Gambar 7. Proses Mutasi	17
Gambar 8. Diagram Alur Penelitian	20
Gambar 9. Cuplikan data kontainer yang diperoleh	22
Gambar 10. Cuplikan data kapal yang diperoleh	23
Gambar 11. Flowchart Perancangan Sistem	23
Gambar 12. Data kapal yang digunakan dalam algoritma	24
Gambar 13. Cuplikan data kontainer yang digunakan	24
Gambar 14. Data yang disaring	25
Gambar 15. (a) Posisi yang diinput (b) Hasil visualisasi posisi yang diinput	25
Gambar 16. Cuplikan program sebagai input pada algoritma	26
Gambar 17. Flowchart Algoritma	26
Gambar 18. Representasi R1	27
Gambar 19. Representasi R2	28
Gambar 20. Representasi R3	28
Gambar 21. Representasi R4	29
Gambar 22. Representasi R5	29
Gambar 23. Representasi R6	30
Gambar 24. Representasi Kromosom	30
Gambar 25. Hasil kombinasi relokasi kontainer yang paling optimal	32
Gambar 26. Kontainer di kapal	33
Gambar 27. Kontainer di lapangan	33
Gambar 28. Waktu rata-rata pembongkaran per kontainer pada kapal Meratus Sorong	35
Gambar 29. Hasil waktu relokasi setiap kontainer pada bay 1	36
Gambar 30. Waktu truk keluar dari pelabuhan ke gerbang	37
Gambar 31. Hasil fitness percobaan 1 dengan 13 kontainer	39
Gambar 32. Hasil fitness percobaan 1 dengan 14 kontainer	39
Gambar 33. Hasil fitness percobaan 1 dengan 15 kontainer	40
Gambar 34. Hasil fitness percobaan 1 dengan 16 kontainer	41
Gambar 35. Hasil fitness percobaan 1 dengan 17 kontainer	41
Gambar 36. Hasil fitness percobaan 1 dengan 18 kontainer	42
Gambar 37. Hasil fitness percobaan 1 dengan 19 kontainer	42
Gambar 38. Hasil fitness percobaan 1 dengan 20 kontainer	43

Gambar 39. Hasil fitness percobaan 1 dengan 21 kontainer	43
Gambar 40. Hasil fitness percobaan 2 dengan 13 kontainer	44
Gambar 41. Hasil fitness percobaan 2 dengan 14 kontainer	45
Gambar 42. Hasil fitness percobaan 2 dengan 15 kontainer	45
Gambar 43. Hasil fitness percobaan 2 dengan 16 kontainer	46
Gambar 44. Hasil fitness percobaan 2 dengan 17 kontainer	46
Gambar 45. Hasil fitness percobaan 2 dengan 18 kontainer	47
Gambar 46. Hasil fitness percobaan 2 dengan 19 kontainer	47
Gambar 47. Hasil fitness percobaan 2 dengan 20 kontainer	48
Gambar 48. Hasil fitness percobaan 2 dengan 20 kontainer	48
Gambar 49. Hasil percobaan 3 dengan 13 kontainer	49
Gambar 50. Hasil percobaan 3 dengan 14 kontainer	50
Gambar 51. Hasil percobaan 3 dengan 15 kontainer	50
Gambar 52. Hasil percobaan 3 dengan 16 kontainer	50
Gambar 53. Hasil percobaan 3 dengan 17 kontainer	51
Gambar 54. Hasil percobaan 3 dengan 18 kontainer	51
Gambar 55. Hasil percobaan 3 dengan 19 kontainer	52
Gambar 56. Hasil percobaan 3 dengan 20 kontainer	52
Gambar 57. Hasil percobaan 3 dengan 21 kontainer	53

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ukuran Peti Kemas.....	9
Tabel 2. Penelitian Terkait.....	18
Tabel 3. Contoh data yang diperoleh di Terminal Peti Kemas New Makassar 1 ..	20
Tabel 4. Skenario percobaan parameter yang akan dilakukan	34
Tabel 5. Parameter percobaan 1	38
Tabel 6. Parameter percobaan 2	43
Tabel 7. Parameter percobaan 3	48
Tabel 8. Parameter percobaan 4	53
Tabel 9. Hasil percobaan 4	54
Tabel 10. Parameter percobaan 5	54
Tabel 11. Hasil percobaan 5	55
Tabel 12. Parameter percobaan 6	55
Tabel 13. Hasil percobaan 6	56
Tabel 14. Parameter percobaan 7	56
Tabel 15. Hasil percobaan 7	57
Tabel 16. Parameter percobaan 8	57
Tabel 17. Hasil percobaan 8	58
Tabel 18. Parameter percobaan 9	58
Tabel 19. Hasil percobaan 9	59
Tabel 20. Parameter percobaan 10	59
Tabel 21. Hasil percobaan 10	60
Tabel 22. Parameter percobaan 11	60
Tabel 23. Hasil percobaan 11	61
Tabel 24. Parameter percobaan 12	61
Tabel 25. Hasil percobaan 12	62
Tabel 26. Parameter percobaan 13	62
Tabel 27. Hasil percobaan 13	63
Tabel 28. Parameter percobaan 14	63
Tabel 29. Hasil percobaan 14	64
Tabel 30. Parameter percobaan 15	64
Tabel 31. Hasil percobaan 15	65
Tabel 32. Parameter percobaan 16	65
Tabel 33. Hasil percobaan 16	66
Tabel 34. Parameter percobaan 17	66
Tabel 35. Hasil percobaan 17	67
Tabel 36. Parameter percobaan 18	67
Tabel 37. Hasil percobaan 18	68
Tabel 38. Parameter percobaan 19	68
Tabel 39. Hasil percobaan 19	69

Tabel 40. Parameter GA yang digunakan.....	69
Tabel 41. Waktu kontainer diturunkan dari kapal ke lapangan	70
Tabel 42. Waiting handling pada data nyata.....	71
Tabel 43. Waiting handling setelah diterapkan algoritma genetika.....	72
Tabel 44. Perbandingan waktu waiting handling nyata dan hasil algoritma.....	73
Tabel 45. Waktu kontainer diturunkan dari kapal ke lapangan	74
Tabel 46. Dwelling time berdasarkan analisis.....	75
Tabel 47. Perbandingan dwelling time hasil algoritma dengan dwelling time nyata	75

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
3D	Tiga Dimensi
GA	Genetic Algorithm
CRP	Container Relocation Problem (Masalah Relokasi Kontainer)

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dataset	80
Lampiran 2. Algoritma Genetika.....	82
Lampiran 3. Hasil Algoritma.....	89
Lampiran 4. Model Simulasi.....	91
Lampiran 5. Dokumentasi Kunjungan ke Terminal Peti Kemas New Makassar	192
Lampiran 6. Daftar hadir dan berita acara seminar hasil	93
Lampiran 7. Daftar hadir dan berita acara ujian skripsi.....	97
Lampiran 8. Lembar perbaikan skripsi	101

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebagai negara maritim dan memiliki letak geografis yang menguntungkan, Indonesia berada di persimpangan jalur perdagangan dunia. Hal ini membuat peran pelabuhan dalam pertumbuhan ekonomi, mobilitas sosial, dan perdagangan di wilayah ini sangat besar. Pemenuhan kebutuhan masyarakat di kawasan yang sangat luas dan strategis ini, membutuhkan sistem transportasi yang efektif, efisien dan produktif, seperti transportasi laut. Transportasi laut adalah salah satu cara untuk memenuhi kebutuhan transportasi yang diantisipasi karena keunggulan kompetitifnya dibandingkan sistem transportasi lainnya. Transportasi laut dapat mengangkut barang dengan jumlah besar dalam satu waktu, memiliki biaya yang relatif murah, dan dapat menjangkau seluruh pelosok dunia (Amiruddin, 2023).

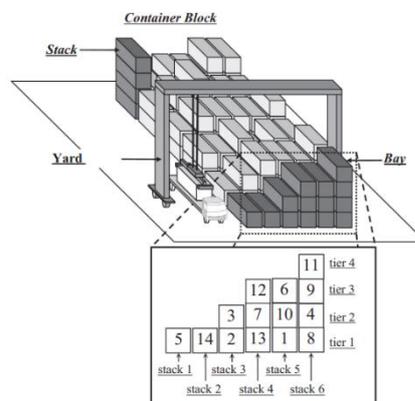
Menurut Badan Pusat Statistik (BPS) pada tahun 2021, sekitar 88.05% atau US\$172,73 miliar barang impor di Indonesia masuk melalui moda transportasi laut. Nilai tersebut mengalami peningkatan 39,97% dibandingkan tahun sebelumnya yang sebesar US\$123,4 miliar (Annur, 2022). Hal ini menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada barang di pelabuhan dan kontainer atau peti kemas sebagai media pengiriman barang. Peningkatan tersebut secara langsung menyebabkan meningkatnya *dwelling time* di pelabuhan, khususnya di Terminal Peti Kemas New Makassar 1.

Dwelling time adalah waktu yang dihitung diawali dari sebuah peti kemas (kontainer) dibongkar muat dan diangkat (*unloading*) dari kapal hingga peti kemas itu meninggalkan terminal pelabuhan lewat pintu utama. Umumnya ada 3 tahapan utama pada rangkaian proses *dwelling time*, yaitu *pre-customs clearance* atau waktu yang dibutuhkan sejak peti kemas dibongkar dari kapal sampai pemberitahuan pabean impor mendapatkan nomor pendaftaran; *customs clearance* atau waktu yang dibutuhkan sejak pemberitahuan pabean impor mendapatkan nomor pendaftaran sampai dengan diterbitkannya persetujuan barang oleh bea cukai; dan *post-customs clearance* atau waktu yang dibutuhkan sejak persetujuan pengeluaran barang

sampai dengan pengeluaran barang impor dari tempat penimbunan sementara (Zurkanain, 2022).

Menurut Permenhub RI Nomor PM 116 Tahun 2016 Pasal 2(1), batas waktu penumpukan barang di lapangan penumpukan terminal peti kemas paling lama 3 (tiga) hari sejak barang ditumpuk di lapangan penumpukan (Permenhub RI, 2016). Namun, menurut data Terminal Peti Kemas New Makassar 1, tercatat *dwelling time* di pelabuhan tersebut melebihi 3 hari. Oleh karena itu, penelitian ini mempertimbangkan masalah bongkar muat kontainer di terminal pada waktu *post-customs clearance* yang masih kurang efisien.

Pada terminal pelabuhan, kontainer ditumpuk berdampingan di atas satu sama lain dan membentuk blok. Ketika kontainer target akan diambil, ada kemungkinan besar bahwa satu atau lebih kontainer ditumpuk di atasnya dan menghalangi pengambilannya. Memindahkan kontainer yang menghalangi akan menambah biaya tambahan untuk pengambilan kontainer target karena adanya tambahan waktu kerja *crane* dan peningkatan waktu pengambilan (Gulic dkk, 2022). Pemindahan kontainer tidak dapat dihindari karena lokasi kontainer tidak selalu dapat diatur sesuai dengan prioritas pengambilannya (Ting dan Wu, 2017). Maka, pengambilan kontainer yang terhalang perlu diminimalisir untuk memaksimalkan utilitas setiap *crane* yang beroperasi di area penumpukan dan meningkatkan efisiensi operasional di terminal (Gulic dkk, 2022).



Gambar 1. Keadaan Tumpukan di Pelabuhan

(Sumber : Ting dan Wu, 2017)

Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada reduksi waktu relokasi kontainer dengan menggunakan metode heuristik untuk meminimalisir perpindahan kontainer saat proses pembongkaran di Terminal Peti Kemas New

Makassar 1. Metode heuristik merupakan suatu teknik yang dirancang untuk memecahkan suatu permasalahan dalam pencarian dan digunakan untuk menemukan suatu solusi yang dapat dibuktikan dengan benar (Respati dkk, 2015). Melalui hasil yang diperoleh algoritma, akan dibuat pemodelan dan simulasi melalui software Unity sebagai representasi sistem yang diharapkan dapat diterapkan di Terminal Peti Kemas New Makassar 1.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan di atas maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

- a. Bagaimana implementasi algoritma genetika untuk mereduksi waktu relokasi kontainer saat proses pembongkaran?
- b. Bagaimana pemodelan simulasi sistem reduksi waktu relokasi kontainer Terminal Peti Kemas New Makassar 1 berdasarkan metode heuristik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah:

- a. Mengimplementasikan algoritma genetika untuk mereduksi waktu relokasi kontainer saat proses pembongkaran.
- b. Membuat pemodelan simulasi sistem reduksi waktu relokasi kontainer Terminal Peti Kemas New Makassar 1 berdasarkan metode heuristik.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Bagi Perusahaan
 - Penelitian ini dapat membantu menghindari keterlambatan dalam pengiriman barang dan mengoptimalkan penggunaan infrastruktur pelabuhan, khususnya penggunaan RTG Crane.
 - Dengan mengurangi *dwelling time* melalui pembongkaran kontainer yang lebih efisien, perusahaan dan pelabuhan dapat menghemat biaya operasional. Ini mencakup pengurangan biaya penyimpanan dan biaya tambahan yang mungkin timbul karena keterlambatan.

b. Bagi Akademisi

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi akademisi maupun peneliti berikutnya dalam melakukan penelitian yang terkait dengan tema yang penulis teliti

1.5 Ruang Lingkup

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Metode yang digunakan adalah metode heuristik dengan algoritma genetika
- b. Terdapat 4 tier, 6 kolom, serta terdapat 32 bay pada 1 lapangan kontainer.
- c. Bahasa pemrograman yang digunakan adalah Python
- d. Model simulasi dibuat menggunakan Unity.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pemodelan dan Simulasi

Model merupakan representasi sistem dalam kehidupan nyata yang menjadi fokus perhatian dan menjadi pokok permasalahan. Pemodelan dapat didefinisikan sebagai proses pembentukan model dari sistem tersebut dengan menggunakan bahasa formal tertentu (Suryani, 2006)

Dalam KBBI (Kamus Besar Bahasa Indonesia), simulasi adalah metode pelatihan yang meragakan sesuatu dalam bentuk tiruan yang mirip dengan keadaan yang sesungguhnya. Berdasarkan *The Oxford American Dictionary* (1980) yang dikutip oleh Harrell, C., Ghosh, B. K., & Bowden, R (2004) di dalam buku *Simulation Using Promodel* simulasi didefinisikan sebagai cara untuk mereproduksi kondisi situasi dengan menggunakan model untuk pembelajaran, pengujian, atau pelatihan. Model yang digunakan adalah model komputer.

2.2 Pelabuhan

Menurut Gurning dan Budiyanto, (2007), pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan dan sekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan Pemerintahan dan kegiatan layanan jasa. Utamanya pelabuhan adalah tempat kapal bersandar, berlabuh, naik turun penumpang dan/atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antar moda transportasi. Sementara itu Suranto (2004), mengatakan pelabuhan adalah tempat yang terdiri dari daratan dan perairan disekitarnya dengan batas-batas tertentu sebagai tempat kegiatan pemerintahan dan kegiatan ekonomi yang dipergunakan sebagai tempat kapal bersandar, berlabuh, naik-turun penumpang, dan/atau bongkar muat barang yang dilengkapi dengan fasilitas keselamatan pelayaran dan kegiatan penunjang pelabuhan dan serta sebagai tempat perpindahan intra dan antarmoda transportasi. Pelabuhan umum adalah pelabuhan yang diselenggarakan untuk kepentingan pelayanan masyarakat umum.

2.3 Terminal Peti Kemas

Dalam sistem pelabuhan laut dikenal ada 3 (tiga) jenis pelabuhan menurut jenis input yang dilayaninya, yaitu pelabuhan penumpang atau orang, pelabuhan cargo untuk barang curah dan pelabuhan peti kemas. Pelabuhan peti kemas sendiri merupakan pelabuhan yang dioperasikan untuk melayani proses pengangkutan barang yang sudah dikemas dalam peti kemas (Kurniawati, 2015).

Sedangkan terminal petikemas adalah terminal yang dilengkapi sekurang-kurangnya dengan fasilitas berupa tambatan, dermaga, lapangan penumpukan (*container yard*) serta peralatan yang layak untuk melayani kegiatan bongkar muat petikemas. Dalam sistem pelabuhan peti kemas terdapat 3 (tiga) komponen utama yaitu adanya pelabuhan atau dermaga dan fasilitasnya, peti kemas dan peti kemas sendiri. Menurut Triatmodjo (2008), proses bongkar muat peti kemas membutuhkan beberapa fasilitas seperti dermaga sebagai tempat sandar kapal, apron merupakan tempat penyandaran kapal dengan *marshalling yard*, *container yard*, gudang konsolidasi, *container freight station*, *maintenance and repair shop*, *gate and interchange*, pusat pengendali dan depot peti kemas (Kurniawati, 2015)..

Beberapa komponen yang berfungsi menunjang kelancaran penanganan peti kemas termasuk bongkar muat di dalam suatu terminal petikemas antara lain meliputi *forklift*, *side loader/top loader*, *transtainer*, *gantry crane/total crane*, *headtruck*, *chasis trailer*, *fix spreader dan straddle carrier*. Termasuk juga fasilitas lain seperti sumber tenaga listrik khusus berpendingin, suplai bahan bakar, suplai air tawar, penerangan, peralatan keamanan dan keselamatan (Kurniawati, 2015).

2.4 Kontainer

Kontainer atau peti kemas merupakan satu kemasan yang dibuat khusus dengan ukuran tertentu dan dapat dipakai berulang-ulang kali. Peti kemas berfungsi untuk mengangkut muatan yang ada di dalamnya (Suyono, 2005). Menurut Wahyu Agung Prihartanto (2014), peti kemas adalah suatu kemasan yang telah dirancang khusus dan memiliki ukuran tertentu, digunakan untuk menyimpan muatan di dalamnya, dan dapat digunakan berulang kali.

Peti kemas atau container merupakan kemasan yang dapat dipindahkan yang dirancang khusus dengan ukuran tertentu yang digunakan untuk menyimpan dan

mengangkut muatan. Peti kemas ini bisa di pakai berulang kali dan conatiner ini bisa mengangkut muatan sesuai jenis muatannya dan langsung dikirim ke tempat tujuan. Jenis peti kemas terbagi menjadi dua, yaitu peti kemas berdasarkan jenis komoditas dan peti kemas berdasarkan ukuran.



Gambar 2. Tumpukan peti kemas di Terminal Peti Kemas New Makassar 1
(Sumber : Dokumentasi Penulis)

2.4.1 Peti Kemas Berdasarkan Jenis Komoditas

Menurut Ridwan (2014) terdapat beberapa jenis container berdasarkan komoditas , antara lain :

2.4.1.1 General Purpose Container

General Purpose Container/ Dry container di gunakan untuk General Cargo atau barang-barang yang tahan suhu udara panas tertentu. Container ini merupakan jenis container yang tertutup, dimana muatan yang terdapat di dalamnya tidak akan terkontaminasi selama pelayaran. Container ini juga memiliki atap, lantai, dinding, dan dinding, serta memiliki sedikitnya satu sisi yang dapat dipakai sebagai pintu keluar masuknya barang (Ridwan, 2014).

2.4.1.2 Open Top Container

Open Top Container merupakan Container dengan kerangka atapnya bisa di buka/tutup sesuai dengan kebutuhan, dengan di lengkapi “terpal” sebagai alat penutupnya. Container ini dipergunakan untuk memuat serangkaian barang-barang berat yang cara

memuat/membongkarnya harus di lakukan dari arah atas dengan menggunakan “crane”, misalnya: satu unit mesin pabrik (Ridwan, 2014).

2.4.1.3 Reefer Container

Reefer Container yaitu Container yang dilengkapi dengan “*Refrigerated*” atau alat pendingin udara sangat sesuai digunakan untuk muatan yang memerlukan suhu tertentu sampai minus 18 derajat “celcius” , misalnya: sayuran, daging, ikan, udang dll (Ridwan, 2014).

2.4.1.4 Tank Container

Tank container adalah container yang terbuat dari besi baja, tetapi body containernya terbuat dari alumunium berbentuk *cylinder* menyerupai tanki, di pergunakan untuk memuat barang-barang curah-cair, seperti : minyak, oksigen cair dll (Ridwan, 2014).

2.4.1.5 Hanger Container

Hanger Container adalah Container GP yang dimodifikasi khusus untuk memuat barang sejenis garment (pakaian). Peti kemas ini dilengkapi dengan gantungan baju didalamnya dan diperuntukan untuk membawa pakaian dengan cara digantung. Hanger container merupakan tempat khusus penyimpanan bahan baku textile siap pakai. Hanger container dibuat khusus untuk yang ingin mengeksport barang jadi atau siap pakai yang berupa pakaian seperti baju, celana, kaos, rok, atau jas yang sudah siap untuk dipakai (Ridwan, 2014).

2.3.1.6 Flat Rack Container

Flat Rack container yaitu container yang di gunakan untuk memuat muatan berat dengan ukuran panjang, lebar dan tingginya melebihi ukuran standar, misalnya: Travo, mesin- mesin dll. Container flat rack adalah salah container paling serbaguna untuk pengiriman dan transportasi, yang merupakan bagian penting dari beberapa industry

seperti batu bara, pertambangan, konstruksi, minyak dan gas. Container dengan tipe ini mempunyai dua sisi yang dapat dilipat dan akan membuat container menjadi rata (Ridwan, 2014).

2.4.2 Peti Kemas Berdasarkan Ukuran

Badan *Internasional Standart Organization* (ISO) telah menetapkan ukuran dari peti kemas yaitu,

Tabel 1. Ukuran Peti Kemas

Container	Ukuran Luar	Ukuran Dalam	Kapasitas
20' Dry Freight (20 feet)	6,058 x 2,438 x 2,591 m	5,919 x 2,340 x 2,380 m	33 Cbm dan 22,1 ton
40' Dry Freight (40 feet)	12,192 x 2,438 x 2,591 m	12,045 x 2,309 x 2,379 m	67,3 Cbm dan 27,396 ton
40' High Cube Dry	12,192 x 2,438 x 2,926 m	12,056 x 2,347 x 2,684 m	76 Cbm dan 29,6 ton

Kontainer yang berada di perusahaan terbagi menjadi dua ukuran yaitu kontainer 20 feet dan kontainer 40 feet. Satuan kontainer yang digunakan adalah TEU atau *twenty-foot equivalent unit*, artinya kontainer 20 feet setara dengan 1 TEU dan kontainer 40 feet setara dengan 2 TEUs. Apabila terdapat kontainer 20 feet sebanyak tiga puluh kontainer dan kontainer 40 feet sebanyak tiga kontainer, maka dikatakan bahwa total TEUs kontainer adalah 36 TEUs (Rosalia dkk, 2020).

2.4.3 Peti Kemas Berdasarkan Asal

Berdasarkan asal kontainer, terdapat dua jenis kontainer di Indonesia, yaitu kontainer internasional dan kontainer domestik.

Kontainer domestik biasanya digunakan untuk transportasi barang dalam negeri. Berdasarkan regulasi cabotage Indonesia, rute pengiriman domestik hanya dapat dilakukan oleh kapal berbendera Indonesia atau kapal internasional dengan awak kapal Indonesia. Kontainer domestik di Indonesia kemungkinan dirancang dan digunakan khusus untuk memenuhi kebutuhan logistik di dalam negeri, mengingat geografi kepulauan Indonesia yang unik dan kebutuhan spesifik untuk transportasi antarpulau.

Kontainer Internasional biasanya digunakan untuk pengiriman barang lintas negara. Kontainer ini umumnya mematuhi standar ukuran internasional dan dirancang untuk transportasi jarak jauh, termasuk pengiriman lintas lautan. Kontainer internasional di Indonesia mungkin terlibat dalam operasi impor dan ekspor, melintasi pelabuhan internasional dan mendukung perdagangan global Indonesia.

Perbedaan utama antara kedua jenis kontainer ini terletak pada ruang lingkup penggunaannya - domestik untuk transportasi di dalam negeri dan internasional untuk operasi lintas negara. Kedua jenis kontainer ini memainkan peran penting dalam mendukung logistik dan perdagangan di Indonesia, dengan masing-masing memiliki peran yang disesuaikan dengan kebutuhan spesifik pasar domestik dan internasional.

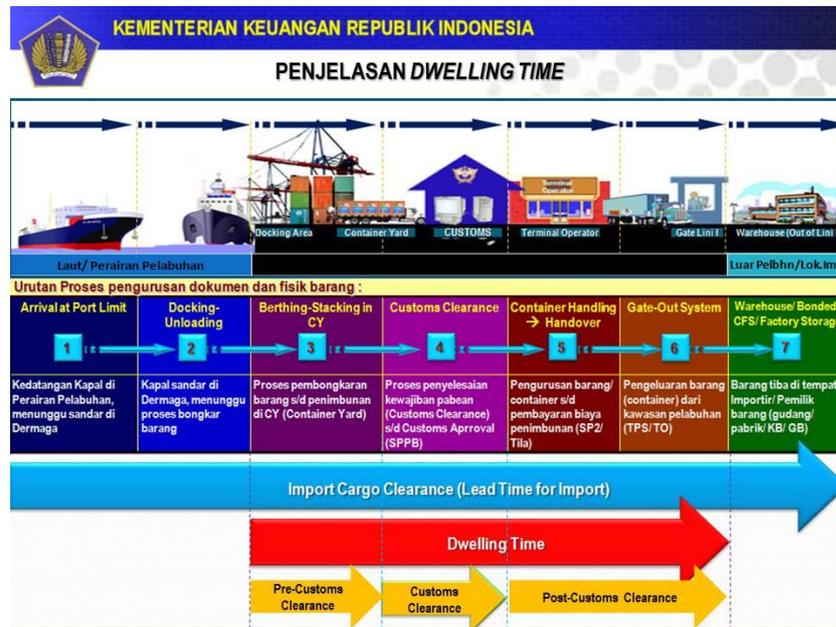
2.5 Dwelling Time

Dwelling time merupakan waktu yang dihitung mulai dari suatu peti kemas (container) dibongkar muat dan diangkat (unloading) dari kapal sampai peti kemas tersebut meninggalkan terminal Pelabuhan melalui pintu utama (World Bank, 2011).

Melansir laman resmi Kantor Pengawasan dan Pelayanan Bea dan Cukai Tipe Madya Pabean Tanjung Emas, *dwelling time* adalah proses yang dibutuhkan sejak barang turun dari kapal atau barang ditimbun sampai barang keluar dari pelabuhan. Merujuk pada SE-04/BC/2017, *dwelling time* merupakan waktu yang diperlukan oleh suatu peti kemas mulai dari proses penimbunan sampai dengan keluar Kawasan Pelabuhan (*gate out*). Secara umum, terdapat 3 tahapan utama dalam rangkaian proses *dwelling time*, yaitu :

- i. *Pre-customs clearance*, yaitu waktu yang diperlukan sejak peti kemas dibongkar dari kapal sampai dengan pemberitahuan pabean impor mendapatkan nomor pendaftaran
- ii. *Customs clearance*, yaitu waktu yang dibutuhkan sejak pemberitahuan pabean impor mendapatkan nomor pendaftaran sampai dengan diterbitkannya persetujuan pengeluaran barang oleh bea cukai

- iii. *Post-customs clearance*, yaitu waktu yang dibutuhkan sejak persetujuan pengeluaran barang sampai dengan pengeluaran barang impor dari tempat penimbunan sementara (Asmarani, 2020)



Gambar 3. Tahapan Dwelling Time
(Sumber : Dokumentasi Bea Cukai Belawan)

2.6 Container Relocation Problem (Masalah Pemindahan Kontainer)

Masalah pemindahan kontainer mempertimbangkan teluk kontainer di mana N kontainer awalnya dialokasikan dan setiap kontainer memiliki prioritas pengambilan yang berbeda yang diketahui sebelumnya. Masalah ini melibatkan minimisasi jumlah total pemindahan saat mengambil kontainer dari teluk dengan mengikuti prioritas pengambilan. Crane lapangan dapat memindahkan kontainer ke tumpukan di teluk yang sama lebih cepat daripada ke tumpukan di teluk yang berbeda. Crane lapangan menangani kontainer di teluk yang sama menggunakan troli angkat; namun, ia harus bergerak maju dan mundur untuk mencapai kontainer di teluk yang berbeda. Dengan demikian, penelitian ini hanya mempertimbangkan masalah pemindahan dalam satu teluk (Ting dan Wu, 2017).

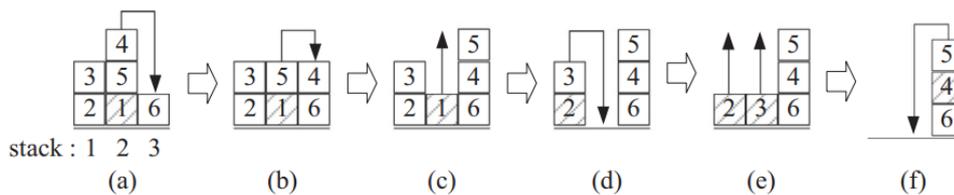
Kontainer yang segera diambil di teluk disebut *kontainer target* dan tumpukan yang berisi kontainer target disebut *tumpukan sumber*. Kontainer di atas kontainer target dalam tumpukan sumber disebut kontainer penghalang, yang harus

dipindahkan ke tumpukan lain untuk mengizinkan akses ke kontainer target. Tumpukan tempat menempatkan kontainer yang dipindahkan disebut tumpukan target. Ketika kontainer target diambil, kontainer berikutnya dengan prioritas pengambilan tertinggi menjadi kontainer target baru. Prosedur pengambilan diulang sampai semua kontainer yang diminati telah dikeluarkan dari teluk (Ting dan Wu, 2017).

Contoh dalam Gambar 4 menggambarkan masalah pemindahan dengan rendering dua dimensi teluk di Gambar 4(a), di mana kolom dan baris mewakili tumpukan dan tingkat, masing-masing. Kotak-kotak mewakili kontainer dan angka di dalam kotak (kontainer) menunjukkan prioritas pengambilannya. Dalam artikel ini, semakin kecil nilai angka yang dialokasikan untuk sebuah kontainer, semakin tinggi prioritas pengambilannya. Dengan demikian, kontainer pertama yang akan diambil ditunjuk sebagai kontainer 1. Dua kontainer penghalang ada di atas kontainer target (kontainer 4 dan 5) dalam contoh ini. Pemindahan diperlukan untuk membebaskan kontainer target. Dalam kasus ini, ini melibatkan memindahkan kontainer penghalang dari tumpukan 2 ke tumpukan 3, dan kontainer 1 dapat diambil dari teluk (Gambar 4(a)-(c)). Gambar 4(d) menyajikan konfigurasi dengan kontainer target baru (kontainer 2) setelah pengambilan kontainer 1. Prosedur serupa diterapkan pada kontainer yang tersisa sampai teluk kosong. Pada tahap akhir (Gambar 4(f)), tidak ada pemindahan yang diperlukan setelah memindahkan kontainer 5, dan jumlah total pemindahan adalah 4. Dalam masalah ini, asumsi-asumsi berikut dibuat.

- i. Semua kontainer memiliki ukuran yang setara.
- ii. Jumlah tumpukan W dan tingkat H dalam sebuah teluk diberikan.
- iii. Kontainer yang dipindahkan hanya boleh dipindahkan dalam teluk yang sama.
- iv. Konfigurasi penumpukan awal teluk dan prioritas pengambilan setiap kontainer diketahui sebelumnya.
- v. Tidak ada kontainer baru yang tiba selama proses pengambilan.
- vi. Hanya kontainer penghalang yang ditempatkan di atas kontainer target yang boleh dipindahkan.

Karena penelitian kami fokus pada pengambilan kontainer ekspor, adalah masuk akal bahwa kami tidak akan memuat kontainer baru ke dalam teluk sesuai dengan asumsi kelima yang dinyatakan. Asumsi terakhir ini masuk akal dalam aspek praktis yang membatasi pemindahan hanya pada kontainer penghalang di tumpukan sumber, membuat ini menjadi masalah yang terbatas (Zehendner dan Feillet, 2014). Tanpa asumsi A6, ini menjadi masalah yang tidak terbatas secara berlawanan, yang memungkinkan pemindahan kontainer di tumpukan lain selain di tumpukan sumber selama proses membebaskan kontainer target. Karena masalah pemindahan adalah NP-hard (Caserta dkk., 2012), ini tidak dapat diselesaikan menggunakan metode solusi eksak, seperti cabang-dan-batas, dalam waktu komputasi yang wajar. Untuk mengatasi kesulitan ini, studi ini menerapkan heuristik konstruktif dan algoritma pencarian berkas (Ting dan Wu, 2017).



Gambar 4. Contoh Proses Pengambilan dan Relokasi Kontainer

2.7 Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah algoritma yang memanfaatkan proses seleksi alamiah yang dikenal dengan proses evolusi. Dalam proses evolusi, individu secara terus-menerus mengalami perubahan gen untuk menyesuaikan dengan lingkungan hidupnya. Proses seleksi alamiah ini melibatkan perubahan gen yang terjadi pada individu melalui proses perkembangbiakan. Dalam algoritma genetika ini, proses perkembangbiakan merupakan proses dasar yang menjadi perhatian utama, dengan tujuan mendapatkan keturunan yang lebih baik (Handoyo, 2008).

Konsep dasar dari proses evolusi dapat dianalogikan dengan serangkaian individu di alam yang saling berkompetisi untuk mempertahankan hidupnya, salah satu caranya adalah dengan penyesuaian diri dengan lingkungannya. Karakteristik tiap individu dalam mempertahankan hidup dapat ditentukan oleh inti dasar yang disebut sebagai gen. Sedangkan kromosom adalah kumpulan dari gen yang

merupakan komponen utama individu dalam berkembang biak. Kromosom dibentuk dari komposisi gen yang berderet teratur didalamnya. Fungsi dari gen dapat dilihat dari posisi gen yang tersimpan dalam tiap segmen yang khas dari kromosom yang disebut *locus*. Gen-gen yang terletak pada *locus* yang bersesuaian dari kromosom yang mempunyai pekerjaan yang sama atau hampir sama disebut *allele* (Handoyo, 2008).

Dalam kompetisi mempertahankan hidup akan mendorong adanya dominasi dari individu yang kuat terhadap individu yang lemah. Individu yang kuat akan terus bertahan hidup sedangkan individu yang lemah akan pelan-pelan tersingkir dan kemudian mati. Individu yang hidup akan terus berusaha menyesuaikan diri dengan lingkungannya yang bisa menimbulkan variasi dalam suatu keturunan. Hal ini terjadi karena beberapa sebab antara lain:

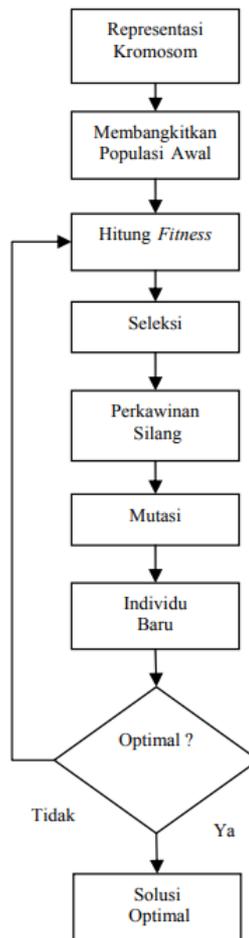
- i. Adanya mutasi gen, yaitu perubahan gen dari individu.
- ii. Adanya rekombinasi (pindah silang) gen dalam suatu keturunan yang menghasilkan variasi-variasi kromosom baru.

Pada algoritma genetika, untuk mencari solusi optimal maka individu akan mengalami evolusi dari generasi ke generasi dengan terjadinya variasi genetika dan seleksi alam. Seleksi alam dianggap sebagai proses optimasi dari individu-individu tersebut. Jadi individu yang unggul, yang mampu beradaptasi dengan lingkungannya adalah individu yang muncul sebagai solusi yang optimal.

Algoritma genetika merupakan prosedur iteratif, bekerja dengan suatu set untaian yang disebut populasi sebagai kandidat solusi dengan jumlah yang konstan. Populasi ini kemudian berkembang biak dari generasi ke generasi melalui operator genetik seperti pindah silang dan mutasi. Selama tiap langkah iterasi yang disebut generasi, struktur dalam populasi akan dievaluasi, dan selanjutnya akan diseleksi untuk menentukan populasi pada generasi selanjutnya (Handoyo, 2008).

Tiap kandidat solusi akan mempunyai nilai *fitness* yang memperlihatkan kelebihan dari suatu solusi dibandingkan solusi yang lainnya. Lebih tinggi nilai *fitness* suatu individu maka akan lebih besar kemungkinan individu tersebut untuk bertahan hidup dan menghasilkan keturunan (Handoyo, 2008).

Struktur utama dari algoritma genetika dapat digambarkan dengan langkah-langkah pada Gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 5. Langkah-langkah Algoritma Genetika

Dari Gambar 5. dapat dijelaskan dalam tiga struktur utama yaitu sebagai berikut:

- i. Membangkitkan populasi awal, yaitu dengan proses acak sehingga didapatkan solusi awal.
- ii. Membentuk generasi baru dengan menggunakan 3 operator yaitu seleksi, pindah silang dan mutasi.
- iii. Evaluasi solusi, yaitu dengan menghitung nilai fitness tiap kromosom sampai memenuhi kriteria yang diinginkan.

Komponen-komponen dari algoritma genetika dapat dijelaskan sebagai berikut:

- i. Populasi, yaitu kumpulan dari beberapa kromosom. Individu bisa dikatakan sama dengan kromosom, yang merupakan sebuah solusi yang dibangkitkan dalam algoritma genetika dan dibentuk dari kumpulan gen. Gen merupakan suatu nilai yang menyatakan satuan dasar

yang membentuk suatu arti tertentu. Nilai dari gen ini bisa biner, float, dan kombinatorial.

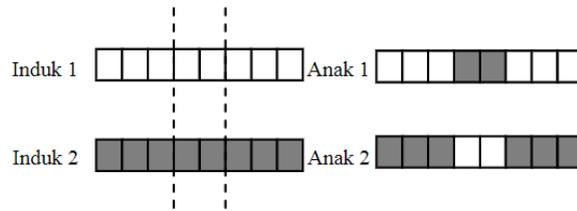
- ii. Fungsi Fitness, yaitu nilai yang menyatakan baik tidaknya suatu solusi (individu). Semakin besar nilai fitness suatu individu maka semakin baik pula solusinya. Algoritma genetika bertujuan mencari individu dengan nilai fitness yang paling tinggi. Pada permasalahan relokasi container kali ini, fungsi fitness yang digunakan adalah:

$$f_c = \sum R; \quad (1)$$

$$F = f_c,$$

Di mana f_c merepresentasikan nilai fungsi fitness kromosom; $\sum R$ merepresentasikan jumlah relokasi container pada bay sebelum pengambilan container target; F merepresentasikan total nilai fitness pada semua container yang direlokasi pada bay.

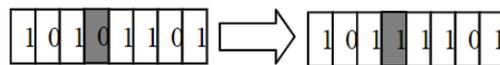
- iii. Seleksi, proses ini dilakukan untuk mendapatkan calon induk yang baik. Dalam pengertian induk yang baik akan menghasilkan keturunan yang baik. Semakin tinggi nilai fitness suatu individu semakin besar kemungkinannya untuk terpilih. Seleksi dapat dilakukan dengan cara roulette wheel. Seleksi roulette wheel untuk memilih induk dilakukan dengan menggunakan persentase fitness setiap individu, dimana setiap individu mendapatkan luas bagian sesuai dengan persentase nilai fitnessnya.
- iv. Pindah silang dilakukan dengan melakukan pertukaran gen dari dua induk secara acak. Ada dua macam pindah silang yaitu pindah silang satu titik dan pindah silang banyak titik. Pada aplikasi ini digunakan pindah silang satu titik. Pindah silang dilakukan dengan cara menentukan posisi awal dan akhir gen pada individu yang akan dikawinkan secara acak. Kemudian dilakukan penukaran nilai gen induk 1 dan induk 2 dari posisi awal sampai dengan posisi akhir untuk diperoleh anak 1 dan anak 2 seperti terlihat pada Gambar 6 berikut:



Gambar 6. Proses Pindah Silang

Dari Gambar 6 dapat dilihat bahwa proses pindah silang terjadi pada satu titik yaitu pada gen ke-3 dan ke-4.

- v. Mutasi, yaitu merupakan operator yang menukar nilai pada gen, misalnya gennya bernilai 0 menjadi 1. Mutasi dilakukan dengan memberikan nilai inversi atau menggeser nilai gen pada gen yang terpilih untuk dimutasikan. Pada aplikasi ini mutasi dilakukan dengan cara menggeser posisi gen yang dimutasi. Penggeseran ini dilakukan dengan melakukan penambahan atau pengurangan pada posisi tersebut. Proses ini dapat digambarkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Proses Mutasi

Dari Gambar 7 dapat dijelaskan bahwa proses mutasi terjadi pada gen ke-4 yaitu nilainya berubah dari 0 menjadi 1 (Handoyo, 2008).

2.8 Unity

Unity adalah salah satu platform pengembangan game paling populer yang digunakan oleh para pengembang di seluruh dunia. Dengan keunggulan dalam kemudahan penggunaan, fleksibilitas, dan dukungan lintas platform, Unity telah menjadi pilihan utama untuk membuat berbagai jenis permainan, termasuk game 2D. Editor Unity tersedia untuk sistem operasi desktop utama, Windows, MacOS, dan Linux. Aplikasi Unity sendiri dapat diimplementasikan pada sistem operasi desktop yang disebutkan sebelumnya, serta sistem operasi mobile Android dan iOS, konsol PlayStation 4 dan Xbox One, dan sebagai aplikasi web melalui WebGL. Bahkan Mesin ini telah diadopsi oleh industri di luar video game, seperti film, otomotif, arsitektur, teknik, dan konstruksi (Kuznetsov et al., 2022).

2.9 Penelitian Terkait

Berikut penelitian terkait yang dijadikan bahan perbandingan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Penelitian Terkait

Judul	Penulis	Metode	Hasil
Optimization Of Container Relocation Operations In Port Container Terminals	Livia Maglić, Marko Gulić, dan Lovro Maglić	Penelitian ini menerapkan GA untuk mengoptimalkan urutan pengambilan kontainer dalam Container Relocation Problem (CRP). Model GA yang diajukan menggunakan empat aturan heuristik untuk menentukan posisi kontainer yang dipindahkan. Aturan-aturan tersebut diterapkan untuk mengurangi jumlah perpindahan kontainer dalam satu bay.	Algoritma Genetika mencapai hasil terbaik kedua dengan total rata-rata relokasi kontainer 280,66, dibandingkan dengan algoritma beam search dan algoritma branch & bound, dengan total rata-rata relokasi 265,38 atau perbedaan sebesar 5,4% yaitu sekitar 15 relokasi kontainer.
Solving the Container Relocation Problem by Using a Metaheuristic Genetic Algorithm	Marko Gulić, Livia Maglić, Tomislav Krljan, dan Lovro Maglić	Metode penelitian yang digunakan dalam jurnal ini adalah metode berbasis algoritma genetika baru untuk memecahkan masalah relokasi kontainer (CRP). Para penulis mengusulkan metode baru yang menggunakan algoritma genetika sebagai algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari alam untuk mengoptimalkan relokasi kontainer di area penumpukan	Algoritma genetika baru berhasil memperoleh total rata-rata relokasi kontainer yaitu 266.04, kedua terbaik setelah algoritma beam search dengan total rata-rata relokasi kontainer yaitu 265.38.

		terminal kontainer pelabuhan.	
GA For Optimization In The Container Relocation Problem. Improvements In Solving Time And Quality Of Results	Jon Irigoien dan María Jesus Álvarez	Pendekatan Algoritma Genetika (Genetic Algorithm atau GA) untuk optimasi masalah relokasi kontainer di terminal peti kemas.	Algoritma genetika baru berhasil memperoleh total rata-rata relokasi kontainer yaitu 265.93 dan berhasil menyelesaikannya dalam waktu yang jauh lebih singkat.
Machine learning-driven algorithms for the container relocation problem	Canrong Zhang, Hao Guan, Yifei Yuan, Weiwei Chen, dan Tao Wu	Metode yang digunakan adalah metode perhitungan baru untuk upper bounds, yang menggabungkan metode look-ahead dan machine learning untuk memfasilitasi konvergensi. Kemudian the machine learning-driven upper bounds dimasukkan ke dalam algoritma eksak branch-and-bound dan metode beam search untuk meningkatkan performa masing-masing.	Eksperimen numerik menunjukkan bahwa upper bounds (UB) yang digerakkan oleh machine learning yang diusulkan, algoritma eksak, dan heuristik menunjukkan kinerja yang lebih baik daripada metode-metode mutakhir yang dilaporkan dalam literatur berdasarkan contoh uji benchmark