

TESIS

**ALGORITMA ELITISME GENETIKA DAN OPTIMASI ELITISME KOLONI
SEMUT PADA PENJADWALAN SUMBER DAYA DI *FIELD CLOUD*
MANUFAKTUR**

*ELITIST GENETIC ALGORITHM AND ELITIST ANT COLONY OPTIMIZATION ON
RESOURCE SCHEDULING IN FIELD CLOUD MANUFACTURING*

HAMDY NUR SAIDY

D032182004



PROGRAM STUDI S2 TEKNIK ELEKTRO

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

GOWA

2023

TESIS

**ALGORITMA ELITISME GENETIKA DAN OPTIMASI ELITISME KOLONI
SEMUT PADA PENJADWALAN SUMBER DAYA DI *FIELD CLOUD*
MANUFAKTUR**

Tesis

Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar magister

Program Studi

Teknik Elektro

Disusun dan diajukan oleh

HAMDY NUR SAIDY

D032182004

kepada

PROGRAM STUDI S2 TEKNIK ELEKTRO

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO

UNIVERSITAS HASANUDDIN

FAKULTAS TEKNIK

GOWA

2023

TESIS

ALGORITMA ELITISME GENETIKA DAN OPTIMASI ELITISME KOLONI SEMUT PADA PENJADWALAN SUMBER DAYA DI *FIELD CLOUD* MANUFAKTUR

*ELITIST GENETIC ALGORITHM AND ELITIST ANT COLONY OPTIMIZATION ON
RESOURCE SCHEDULING IN FIELD CLOUD MANUFACTURING*

HAMDY NUR SAIDY
D032 182 004

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 20 Januari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT
NIP. 19731010 199802 1 001

Pembimbing Pendamping



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T. M.Eng. IPU
NIP. 19740530 199903 1 003

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T
NIP. 19730926 2000 121 002

Ketua Program Studi
S2 Teknik Elektro



Dr. Eng. Ir. Wardi, S.T., M.Eng
NIP. 19720828 199903 1 003

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang betanda tangan di bawah ini:

Nama : Hamdy Nur Saidy

NIM : D032182004

Program Studi : S2 Teknik Elektro

Dengan ini saya menyatakan bahwa, tesis dengan judul Algoritma Elitisme Genetika dan Optimasi Elitisme Koloni Semut pada Penjadwalan Sumber Daya di Field Cloud Manufaktur ini adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT. dan Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T. M.Eng. IPU. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi tesis ini telah dipublikasikan di Jurnal/Prosiding (2022 2nd International Seminar on Machine Learning, Optimization, & Data Science (ISMODE)) sebagai artikel dengan judul "*Elitist Genetic Algorithm and Elitist Ant Colony Optimization on Resource Scheduling in Field Cloud Manufacturing*".

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 20 Januari 2023

Yang menyatakan



Hamdy Nur Saidy

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT, berkat rahmat dan karunia-Nyalah penulis dapat menyelesaikan penulisan proposal tesis ini dengan baik. Tesis ini merupakan bagian dari persyaratan penyelesaian Magister Teknik Elektro Pascasarjana Universitas Hasanuddin.

Selama penulisan tesis ini penulis memiliki banyak kendala namun berkat bimbingan, arahan dan kerjasamanya dari berbagai pihak baik secara moril maupun materil tesis ini dapat terselesaikan. Dalam kesempatan ini penulis dengan tulus ingin menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. Dr. Amil Ahmad Ilham, S.T., M.IT. selaku Pembimbing I yang selalu memberikan arahan, masukan, bimbingan serta bantuannya sehingga siap untuk di ujikan di depan penguji.
2. Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T. M.Eng. IPU. selaku Pembimbing II yang telah dengan sabar memberikan arahan, masukan, bimbingan serta bantuannya sehingga siap untuk di ujikan di depan penguji.
3. Para dosen dan Staf Program Studi Magister Teknik Elektro yang telah dengan tulus memberikan ilmunya selama menempuh pendidikan.
4. Teman-teman seperjuangan Magister Teknik Elektro angkatan 2018 khususnya untuk teman-teman yang telah memberikan dukungan, bantuan, serta semangatnya dalam penyusunan hasil penelitian ini.
5. Terkhusus kepada kedua orang tua (Dr.H.Nurman Said, M.A. dan Rahmatiah Rauf, S.E.) yang telah tulus ikhlas memberikan kasih sayang, cinta, doa, perhatian, dukungan moral dan materil yang telah diberikan selama ini.

Akhir kata penulis mengharapkan kritik dan saran membangun sehingga perbaikan dan penyempurnaan penelitian ini dapat memberi manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan dilapangan serta bisa dikembangkan lagi lebih lanjut.

Gowa, 20 Januari 2023



Hamdy Nur Saidy

ABSTRAK

HAMDY NUR SAIDY *Algoritma Elitisme Genetika dan Optimasi Elitisme Koloni Semut pada Penjadwalan Sumber Daya di Field Cloud Manufaktur* (dibimbing oleh **Amil Ahmad Ilham** dan **Syafaruddin**).

Telah terdapat beberapa penelitian mengenai mekanisme *scheduling* pada *cloud manufacturing* dalam situasi *on-factory manufacturing*. Namun masalah *scheduling* pada *cloud manufacturing* dalam situasi *off-factory (field manufacturing)* masih belum banyak diteliti. Meskipun banyak *manufacturing task* yang perlu diimpelentasikan menggunakan skema *field manufacturing*. Sehingga pada penelitian ini dilakukan penelitian masalah *scheduling* pada *field manufacturing* berbasis *cloud*. Proses penelitian diawali dengan membuat model *scheduling* untuk *field cloud manufacturing*. Model ini dirancang dengan menganalisis alur kerja dari *field cloud manufacturing*. Kemudian dengan menganalisis asumsi dan batasan yang terdapat pada *field manufacturing*, dapat ditentukan metode *encoding* dan *decoding* dari model *scheduling* dan parameter yang digunakan untuk mengukur performansi dari solusi yang dicetuskan. Setelah itu, *Elitist Genetic Algorithm* (EGA) dan *Elitist Ant Colony Optimization* (EACO) diterapkan kedalam model *scheduling* untuk melakukan proses pencarian solusi *scheduling* yang optimal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa EGA dan EACO dapat digunakan untuk mengoptimasi masalah penjadwalan pada *field cloud manufacturing* dan peningkatan keseluruhan skema *scheduling* yang dioptimasi meningkat sebesar 40,3% menggunakan EGA dan 38,78% menggunakan EACO. Dapat dilihat bahwa EGA dan EACO cocok untuk mengoptimalkan masalah dengan *solution space* yang besar seperti masalah *scheduling* di *field cloud manufacturing*. Namun penelitian ini juga menunjukkan bahwa performa EGA jauh lebih unggul baik dari segi nilai *fitness schedule* yang dihasilkan maupun dari segi waktu yang digunakan untuk menghasilkan jadwal tersebut dibandingkan dengan EACO.

Kata kunci: *Cloud manufacturing, Elitism, Elitist Genetic Algorithm (EGA), Elitist Ant Colony Optimization (EACO), Field manufacturing, Scheduling.*

ABSTRACT

HAMDY NUR SAIDY *Elitist Genetic Algorithm and Elitist Ant Colony Optimization on resource scheduling in field cloud manufacturing* (supervised by **Amil Ahmad Ilham** and **Syafaruddin**).

There have been several studies on the scheduling mechanism in cloud manufacture in on-factory manufacturing situations. However, scheduling mechanism in cloud manufacture in an off-factory situation (field manufacturing) has not been widely studied. Even though there are many manufacturing tasks that need to be implemented using field manufacturing scheme. So in this study, a research on scheduling problems in field cloud manufacture system was carried out. The research process begins with creating a model for scheduling problem in field cloud manufacturing. This model is designed by analyzing the workflow of field cloud manufacture system. Then by analyzing the assumptions and limitations contained in the field manufacturing scheme, the encoding and decoding methods of the scheduling model and the parameters used to measure the performance of the proposed solutions can be determined. After that, the Elitist Genetic Algorithm (EGA) and Elitist Ant Colony Optimization (EACO) were applied to the scheduling problem model to carry out the process of finding optimal scheduling solutions. The results of this study showed that the Elitist Genetic Algorithm (EGA) and Elitist Ant Colony Optimization (EACO) can be used to optimize the scheduling problem in field cloud manufacturing and the overall improvement of the optimized schedule scheme is improved by 40,3% by EGA and 38,78% by EACO. It can be seen that EGA and EACO suitable for optimizing the problems with large solution spaces like scheduling in field cloud manufacturing. But this study also shows that the performance of EGA is far superior both in terms of the value of the resulting fitness schedule and in terms of the time consumed to produce the schedule compared to EACO.

Keywords: Cloud manufacturing, Field manufacturing, Scheduling, Elitism, Elitist Genetic Algorithm (EGA), Elitist Ant Colony Optimization (EACO).

DAFTAR ISI

	<u>Halaman</u>
HALAMAN DEPAN	i
PENGAJUAN TESIS	ii
PERSETUJUAN TESIS	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian	5
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah	6
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Landasan Teori	9
2.1.1. Evolusi Sistem Manufaktur	9
2.1.2. <i>Cloud Manufacturing</i>	12
2.1.3. <i>Field Manufacturing</i>	14
2.1.4. <i>Scheduling pada Cloud Manufacturing</i>	15
2.1.5. <i>Elitist Genetic Algorithm</i>	15
2.1.6. <i>Elitist Ant Colony Optimization</i>	16
2.2. Penelitian Terkait	17
2.3. <i>State of the Art</i>	19

2.4.	Kerangka Pikir	20
BAB III METODE PENELITIAN		21
3.1.	Rancangan Penelitian	21
3.2.	Analisis dan Perancangan Simulasi	23
3.2.1.	Analisis Alur Proses <i>Field Manufacturing</i>	23
3.2.2.	Analisis Alur Proses <i>Field Manufacturing</i> Berbasis <i>Cloud</i>	26
3.2.3.	Asumsi dan Batasan Simulasi	27
3.2.4.	Notasi Digunakan Pada Perancangan Simulasi	28
3.2.5.	Parameter Performansi Hasil Simulasi	30
3.2.6.	<i>Encoding</i> dan <i>Decoding</i>	32
3.3.	Analisis dan Rancangan Metode	37
3.3.1.	<i>Elitist Genetic Algorithm</i>	37
3.3.2.	<i>Elitist Artificial Ant Colony</i>	41
3.4.	Rancangan Sampel Data Simulasi	44
3.4.1.	Skala Simulasi	44
3.4.2.	Nilai Minimum dan Maksimum <i>Quality of Service</i>	45
3.4.3.	Koefisien Berat	46
3.4.4.	<i>Task</i> dan <i>Subtask</i>	46
3.4.5.	Penyedia Layanan Manufaktur dan Layanan Manufaktur	47
3.4.6.	Jarak Logistik	48
3.4.7.	Parameter kontrol algoritma EGA dan EACO	49
3.5.	Rancangan Simulasi	49
3.5.1.	Rancangan Alur Kerja EGA pada Simulasi	51
3.5.2.	Rancangan Alur Kerja EACO pada Simulasi	52
3.6.	Jumlah Iterasi Algoritma pada Simulasi	53
3.7.	Spesifikasi Perangkat Penelitian	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		54
4.1.	Proses dan Hasil Simulasi	54
4.1.1.	Proses Simulasi	54
4.1.2.	Hasil Simulasi dengan EGA	60
4.1.3.	Hasil Simulasi dengan EACO	61
4.2.	Analisis Hasil Simulasi	61
4.3.	Verifikasi Data	62
4.4.	Validasi Hasil	66

4.5.	Analisis Validasi Hasil	70
4.6.	Konsumsi Waktu pada Skala Simulasi Berbeda	71
4.7.	Analisis Konsumsi Waktu pada Skala Simulasi Berbeda	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		74
5.1.	Kesimpulan	74
5.2.	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN		79

DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
Tabel 1. Evolusi sistem manufaktur (Wu et al., 2015)	9
Tabel 2. <i>State of the Art</i>	19
Tabel 3. Nilai ID dan MT untuk tiap SC	34
Tabel 4. Nilai ID SC yang melakukan eksekusi tiap ST	34
Tabel 5. Nilai Phase A	34
Tabel 6. Urutan eksekusi ST	35
Tabel 7. T dari urutan eksekusi ST	35
Tabel 8. Nilai dari Phase B	35
Tabel 9. Skala simulasi	45
Tabel 10. Parameter minimum dan maksimum QoS	45
Tabel 11. Koefisien Berat	46
Tabel 12. Data <i>task</i> dan <i>subtask</i> simulasi	46
Tabel 13. Data MSP dan SC	47
Tabel 14. Daftar Lokasi	48
Tabel 15. Jarak logistik antar lokasi	48
Tabel 16. Parameter kontrol algoritma EGA dan EACO	49
Tabel 17. Spesifikasi perangkat penelitian	53
Tabel 18. Hasil eksekusi simulasi EGA	60
Tabel 19. Hasil eksekusi simulasi EACO	61
Tabel 20. Hasil verifikasi data	65
Tabel 21. Perbandingan performansi skema <i>scheduling</i> EGA	68
Tabel 22. Perbandingan performansi skema <i>scheduling</i> EACO	69
Tabel 23. Waktu konsumsi dengan skala simulasi berbeda	72

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
Gambar 1. Gambaran umum cloud manufacturing (Liu et al., 2018)	12
Gambar 2. Skema kerja cloud manufacturing (Liu et al., 2017)	13
Gambar 3. Perbandingan on-site manufacturing dan field manufacturing	14
Gambar 4. Kerangka pikir.	20
Gambar 5. Tahapan penelitian	21
Gambar 6. Contoh dari alur proses field manufacture	24
Gambar 7. Proses enkapsulasi pada cloud manufacturing platform	26
Gambar 8. Encoding proses scheduling pada cloud manufacturing platform	33
Gambar 9. Rencana urutan eksekusi ST	37
Gambar 10. Contoh hasil pembuatan populasi	39
Gambar 11. Proses crossover	40
Gambar 12. Proses mutasi	41
Gambar 13. Solution space Phase A dan Phase B	42
Gambar 14. Flowchart alur kerja simulasi	50
Gambar 15. Flowchart alur kerja EGA pada simulasi	51
Gambar 16. Flowchart alur kerja EACO pada simulasi	52
Gambar 17. Tampilan client dan task yang dibuat oleh simulasi	54
Gambar 18. Tampilan subtask yang dibuat oleh simulasi	55
Gambar 19. Tampilan MSP dan layanan manufaktur yang dibuat oleh simulasi	56
Gambar 20. Tampilan MSP dan layanan manufaktur yang dibuat oleh simulasi	57
Gambar 21. Tampilan populasi awal yang dibuat oleh simulasi	57
Gambar 22. Tampilan skema scheduling sebelum optimasi	58
Gambar 23. Tampilan hasil optimasi EGA	59
Gambar 24. Tampilan hasil optimasi EACO	59
Gambar 25. Tampilan waktu konsumsi optimasi EGA dan EACO	60
Gambar 26. Skema scheduling sebelum optimasi	62
Gambar 27. Phase A dan Phase B skema scheduling sebelum dan setelah optimasi EGA	66
Gambar 28. Rute perjalanan dan urutan eksekusi skema scheduling sebelum optimasi	67
Gambar 29. Rute perjalanan dan urutan eksekusi skema scheduling setelah optimasi EGA	67
Gambar 30. Phase A dan Phase B skema scheduling setelah optimasi EACO	69

Gambar 31. Rute perjalanan dan urutan eksekusi skema scheduling setelah optimasi EACO

69

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tampilan console hasil eksekusi

Lampiran 2. JAVA source code simulasi

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Meningkatnya persaingan global dibidang manufaktur pada beberapa dekade terakhir membuat proses manufaktur semakin bertambah kompleks. Ini mengakibatkan spesifikasi produk yang dimanufaktur semakin bertambah rumit dan sumber daya manufaktur yang diperlukan juga semakin beragam. Tidak jarang suatu produk merupakan hasil dari kolaborasi beberapa perusahaan penyedia sumber daya manufaktur yang saling terpisah ratusan bahkan ribuan kilometer.

Telah ada beberapa metode yang dicetuskan untuk mengatasi masalah ini seperti *agile manufacturing* dan *grid manufacturing*. Metode-metode ini menggabungkan teknologi informasi dan teknologi manufaktur untuk membuat sistem manufaktur berbasis internet dimana perusahaan manufaktur menggunakan sistem ini untuk melakukan kolaborasi sumber daya manufaktur pada lokasi yang berbeda (Lee et al., 2017).

Namun metode ini hanya berfokus untuk melakukan integrasi sumber daya manufaktur untuk membangun sistem manufaktur yang dapat melayani kebutuhan konsumen dengan spesifikasi produk yang bersifat tetap. Masalah seperti meningkatnya kebutuhan untuk kostumisasi produk manufaktur dan semakin cepatnya iterasi pengembangan produk pada beberapa tahun terakhir masih belum bisa teratasi oleh metode-metode diatas. Hal ini mendorong perusahaan manufaktur untuk melakukan inovasi agar tetap bisa bersaing pada situasi pasar saat ini (Helo et al., 2021).

Salah satu inovasi sistem manufaktur yang berkembang belakangan ini ialah kombinasi sistem manufaktur yang telah dikembangkan sebelumnya dengan teknologi-teknologi baru seperti *cloud computing* (komputasi awan), *internet of things*, dan lainnya. Teknologi *cloud computing*, khususnya, telah terbukti sebagai teknologi yang bersifat disruptif. Dimana teknologi ini dapat mendorong transformasi besar-besaran jika diterapkan disuatu area seperti bidang desain dan manufaktur. Sistem ini dinamakan sistem manufaktur berbasis *cloud* atau *cloud manufacturing system* (sistem manufaktur berbasis awan) (Aziz et al., 2020).

Cloud manufacture adalah sebuah model manufaktur yang melakukan virtualisasi berbagai sumber daya manufaktur (*machine tools, design capability, raw materials, logistics capability*, dan lainnya) yang terdistribusi untuk menjadi suatu *service* (layanan) yang dapat diakses secara *on-demand* menggunakan sistem informasi *enterprise* yang berbasis dari kombinasi teknologi *cloud computing, internet of things, virtualization, service-oriented technologies*, dan *advanced computing technologies* yang lainnya (Liu et al., 2019). Dengan memanfaatkan model manufaktur seperti ini, sumber daya manufaktur yang sedang tidak digunakan (*idle*) dapat divirtualisasikan menjadi sebuah *manufacturing resource as-a-service* kepada konsumen yang mengakses *cloud manufacturing platform*.

Penerapan konsep *cloud manufacture* pada model manufaktur tradisional, akan secara signifikan meningkatkan kemampuan *resource reuse*, utilisasi mesin, menurunkan *overall cost*, meningkatkan skalabilitas produksi, mengurangi waktu *delivery* produk, dan menjaga agar produk yang dihasilkan tetap kompetitif (Wu et al., 2013). Karena potensi ini, meskipun belum diterapkan secara massal, penelitian-penelitian terkait topik yang berkaitan dengan *cloud manufacture* telah banyak dilakukan dalam beberapa tahun terakhir.

Menurut survei literatur (Ghomi et al., 2019), penelitian-penelitian yang dilakukan dalam *cloud manufacturing* dapat dibagi menjadi beberapa kategori: (1) Penelitian yang berfokus pada perancangan arsitektur dan *platform* dari *cloud manufacture*, (2) Penelitian yang berkonsentrasi pada proses *resource description* dan *resource encapsulation* pada *cloud manufacture*, (3) Penelitian yang berfokus pada proses *service selection* dan *service composition* pada *cloud manufacture*, (4) Penelitian yang berfokus pada proses *resource allocation* dan *service scheduling* pada *cloud manufacture*, dan (5) Penelitian yang berfokus pada *service searching* dan *service matching* pada *cloud manufacture*. Dari beberapa kategori yang telah disebutkan, penelitian mengenai *resource allocation* dan *service scheduling* atau singkatnya *cloud manufacture scheduling* merupakan salah satu yang paling menarik perhatian para peneliti dibidang *cloud manufacture* (Wu et al., 2015).

Scheduling dalam *cloud manufacture* ialah sebuah proses alokasi layanan (*service*) atau sumber daya manufaktur kepada *task* yang diterima oleh sistem *cloud manufacture*. *Scheduling* pada *cloud manufacture* juga memonitor, mengontrol, dan mengoptimasi penggunaan sumber daya manufaktur pada eksekusi *task* sehingga *task* dapat di-*deliver* kepada konsumen sesuai *requirements* yang diberikan (Tao et al., 2015).

Merancang sebuah mekanisme *scheduling* pada *cloud manufacture* merupakan isu yang kompleks. Hal-hal seperti jarak konsumen dengan sumber daya manufaktur, ketersediaan bahan baku, kemampuan sumber daya manufaktur untuk memproses *task* yang diterima dari konsumen, dan kemampuan logistik merupakan sekumpulan dari banyak parameter-parameter yang perlu diperhatikan ketika melakukan perancangan mekanisme *scheduling* pada *cloud manufacture*.

Telah terdapat beberapa penelitian mengenai mekanisme *scheduling cloud manufacture* pada situasi *on-factory manufacturing* dimana penyedia layanan manufaktur bersifat *stationary*. Namun *scheduling cloud manufacture* dalam situasi *off-factory* atau dapat disebut juga *field manufacturing* dimana penyedia layanan manufaktur yang melakukan perjalanan ke lokasi yang dispesifikasikan oleh pengguna layanan manufaktur, masih belum banyak diteliti. Meskipun ada banyak manufacturing task yang perlu diimpelentasikan pada lokasi yang ditentukan oleh *user* seperti *assembly*, *measurement* dan *maintenance* perangkat yang besar (Yang et al., 2021).

Ada beberapa pendekatan yang telah digunakan untuk menyelesaikan masalah scheduling pada field cloud manufacturing, seperti algoritma heuristic optimization (Yumbe et al., 2019), hybrid fruit fly optimization (Wu et al., 2020), multi-population competitive-cooperative grey wolf optimizer (Yang et al., 2021). Namun dalam penelitian ini, akan digunakan suatu metode yang belum pernah digunakan untuk menyelesaikan masalah *scheduling* pada *field cloud manufacturing*. Metode ini adalah *Elitist Genetic Algorithm* (EGA) (Yusoff et al., 2018) dan *Elitist Ant Colony Optimization* (EACO) (Chaouch et al., 2017).

Untuk menguji performa kedua metode di atas, proses penelitian diawali dengan membuat model *scheduling* untuk *field cloud manufacturing*. Model ini dirancang dengan menganalisis alur kerja dari *field cloud manufacturing*. Kemudian dengan menganalisis asumsi dan batasan yang terdapat pada *field manufacturing*, dapat ditentukan metode *encoding* dan *decoding* dari model *scheduling* dan parameter yang digunakan untuk mengukur performansi dari solusi yang dicetuskan. Setelah itu, EGA dan EACO diterapkan kedalam model *scheduling* untuk melakukan proses pencarian solusi *scheduling* yang optimal. Hasil penelitian kemudian dianalisa sehingga dapat memberikan gambaran

mengenai pro dan kontra penerapan metode ini pada mekanisme *scheduling* pada *field cloud manufacturing*.

1.2. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang maka permasalahan yang dijadikan objek penelitian ini adalah:

1. Bagaimana mengevaluasi kinerja EGA dan EACO ketika melakukan optimasi skema *scheduling* pada *field cloud manufacturing* dibandingkan dengan skema *scheduling* sebelum dilakukan optimasi.
2. Bagaimana mengetahui konsumsi waktu dan sumber daya komputasi dari kedua metode tersebut untuk menghasilkan skema *scheduling* yang optimal.

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan yang akan dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi kinerja EGA dan EACO ketika melakukan optimasi skema *scheduling* pada *field cloud manufacturing* dibandingkan dengan skema *scheduling* sebelum dilakukan optimasi.
2. Mengetahui konsumsi waktu dan sumber daya komputasi dari kedua metode tersebut untuk menghasilkan skema *scheduling* yang optimal.

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah hasil dari simulasi yang dilakukan dapat dijadikan sebagai evaluasi kinerja mekanisme *scheduling* EGA dan EACO ketika

diterapkan pada sistem *field cloud manufacturing*. Sehingga dapat memberikan gambaran mengenai pro dan kontra penerapan metode ini pada mekanisme *scheduling* pada *field cloud manufacturing*.

1.5. Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini adalah penelitian ini hanya akan membahas *scheduling* pada *field cloud manufacturing* dimana tidak terjadi *dynamic task arrival*. Pada penelitian ini juga diasumsikan semua *task* yang diterima dapat diproses oleh satu atau lebih layanan manufaktur yang terdaftar pada *cloud manufacturing platform*.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan pada penelitian ini adalah:

Pada Bab I Pendahuluan, diberikan latar belakang yang menjabarkan perlunya penelitian pada masalah *scheduling* pada *field cloud manufacturing* dan alasan penggunaan EGA dan EACO untuk mengatasi masalah *scheduling* ini. Pada bagian ini juga diberikan rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah penelitian, serta sistematika penulisan pada penelitian ini.

Pada Bab II Tinjauan Pustaka, disertakan landasan teori mengenai evolusi sistem manufaktur yang membahas tentang bagaimana sistem manufaktur dari era *assembly line* yang dicetuskan Henry Ford hingga sistem manufaktur berbasis *cloud*. Kemudian dibahas lebih lanjut definisi *cloud manufacture* dan bagaimana gambaran umum dari arsitektur *cloud manufacture*. Selanjutnya dijelaskan definisi *scheduling* pada *cloud manufacturing* dan *field cloud manufacturing*. Lalu dibahas apa itu teknik EGA dan EACO yang akan digunakan pada perancangan

mekanisme *scheduling* pada *field cloud manufacturing*. Pada bagian ini akan disertakan juga Penelitian terkait yang telah dilakukan dan tabel *State of the Art* terkait dengan penelitian ini. Terakhir disertakan juga Kerangka Pikir yang dilakukan dalam penyelaksanaan penelitian ini.

Pada Bab III Metode Penelitian, diberikan analisis alur proses *field manufacturing* dan alur proses *field cloud manufacturing*. Dari hasil analisis kemudian diketahui asumsi dan batasan yang ada ketika merancang simulasi yang akan dilakukan. Kemudian notasi yang digunakan pada perancangan simulasi juga dijabarkan. Setelah itu parameter performansi *scheduling* hasil simulasi juga ditentukan untuk mengukur baik tidaknya skema *scheduling* yang dihasilkan. Proses *encoding* dan *decoding* skema *scheduling* kemudian dijelaskan sebagai representasi skema *scheduling* ketika diterapkan pada simulasi *field cloud manufacturing*. Kemudian dilakukan analisis dan perancangan metode yang digunakan yaitu EGA dan EACO ketika menyelesaikan masalah *scheduling* pada *field cloud manufacturing*. Kemudian rancangan sampel data yang digunakan pada simulasi dipenelitian ini ditampilkan. Pada akhir bab ini, jumlah iterasi algoritma pada simulasi dan spesifikasi perangkat penelitian juga akan disertakan.

. Pada Bab IV Hasil dan Pembahasan, diberikan proses dan hasil simulasi yang dilakukan pada penelitian ini. Hasil yang dimaksud adalah hasil simulasi dengan menggunakan EGA dan EACO. Hasil ini dijabarkan kemudian dianalisis untuk melihat performansi masing masing metode seiring meningkatnya iterasi proses yang dilakukan. Setelah itu dilakukan validasi data yang digunakan pada simulasi dengan hasil kalkulasi secara manual untuk melihat validasi data yang didapatkan. Kemudian hasil simulasi divalidasi untuk melihat selisih performansi sebelum dan setelah optimasi. Konsumsi waktu dari tiap metode pada skala simulasi yang berbeda juga akan ditampilkan untuk melihat waktu dan sumber

daya komputasi yang dibutuhkan oleh tiap metode untuk menemukan skema *scheduling* yang optimal. Hasil ini kemudian dianalisis untuk melihat metode yang mana yang paling baik dari segi penggunaan waktu dan sumber daya manufaktur.

Pada Bab V Kesimpulan dan Saran, diberikan pro dan kontra dari kedua metode EGA dan EACO ketika digunakan untuk menyelesaikan masalah *scheduling* pada *field cloud manufacturing*. Diberikan juga saran yang diberikan untuk melakukan penelitian selanjutnya sehingga kedepannya penelitian yang dilakukan dapat dikembangkan dan bisa memperoleh hasil yang jauh lebih baik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Landasan Teori

Sebelum melakukan penelitian berikut merupakan landasan teori yang digunakan pada penelitian ini.

2.1.1. Evolusi Sistem Manufaktur

Sistem manufaktur telah melalui beberapa transisi besar seiring dengan perubahan permintaan pasar dan perkembangan teknologi (Lee et al., 2017). Pada Tabel 1 ditunjukkan secara singkat tahap-tahap evolusi dari paradigma manufaktur yang berawal dari *assembly line*, ke *toyota production systems* (TPSs), ke *reconfigurable manufacturing systems* (RMSs), ke *web-based* dan *agent-based manufacturing systems*, lalu akhirnya ke sistem manufaktur berbasis *cloud* (*Cloud Manufacturing*).

Tabel 1. Evolusi sistem manufaktur (Wu et al., 2015)

Waktu	Sistem	Konfigurasi
1900an	Assembly line	Terpusat
1960an	Toyota production systems	Terpusat
1980an	Flexible manufacturing systems	Terpusat
1990an	Reconfigurable manufacturing systems	Terpusat
2000an	Sistem manufaktur berbasis web dan agent	Terdistribusi
Setelah 2010an	Sistem manufaktur berbasis <i>Cloud</i> (<i>Cloud manufacturing</i>)	Terdistribusi

Pada tahun 1910an, Henry Ford menggunakan konsep *assembly line* untuk model manufaktur pabrik mobilnya, dimana *interchangeable parts* dapat ditambahkan ke produk dalam bentuk sekuensial untuk menghasilkan produk akhir dengan lebih efisien dan *cost effective*.

Kemudian pada tahun 1960an, untuk meminimalisasi biaya manufaktur, Toyota menerapkan Toyota production systems (TPSs) atau secara umum dikenal sebagai *just-in-time production systems* pada model manufaktur produknya. TPSs dikarakteristikan dengan penggunaan beberapa prinsip yang membantu mengeliminasi *waste* dengan mengurangi *waiting time*, *inventory*, dan jumlah produk defektif.

Pada tahun 1980an, untuk menghasilkan produk varian baru, konsep Flexible Manufacturing Systems (FMSs) dicetuskan, untuk memperbolehkan variasi part diperbolehkan masuk kedalam tahapan *assembly line*, namun FMSs dikenal meningkatkan biaya produksi. Sehingga konsep *Reconfigurable manufacturing systems* (RMSs) didesain untuk menangani masalah ini. Fitur utama dari RMSs ialah modularitas, integrabilitas, kostumisasi, konvertibilitas, dan *diagnosability*.

Sistem manufaktur yang telah disebutkan diatas masuk kedalam kategori manufaktur terpusat. Dengan perkembangan teknologi informasi khususnya internet, sistem manufaktur terdistribusi semakin menarik perhatian penggiat industri. Dua pendekatan utama dari sistem manufaktur terdistribusi ialah sistem manufaktur berbasis *web* dan *agent*.

Sistem berbasis *web* menggunakan arsitektur *client-server* dengan internet sebagai penyedia *light-weight platform* bagi sekelompok orang yang secara geografis terpisah mengakses dan melakukan share informasi yang terkait dengan manufacturing via *web browser*. Namun seiring meningkatnya kompleksitas struktural dan fungsional dari sistem berbasis *web*, sistem manufaktur berbasis *agent* bertujuan untuk meningkatkan performansi komputasi dan komunikasi menggunakan *agent*.

Sistem manufaktur berbasis *agent* terdiri atas *agent* (contohnya, *manufacturing cell*, *machine tool*, dan *robot*) yang mempertunjukkan kemampuan *autonomous* dan *intelligent behavior* seperti mencari, berpikir, dan belajar. Contohnya, sebuah *agent* adalah sebuah *problem-solver* yang independen yang dapat mengambil keputusan dengan memanfaatkan interaksi dengan *agent* lain dan lingkungannya.

Evolusi sistem manufaktur yang berkembang belakangan ini ialah sistem manufaktur yang melakukan kombinasi sistem manufaktur yang telah dikembangkan sebelumnya dengan teknologi-teknologi baru seperti *cloud computing*, *Internet of Things*, dan lainnya. Teknologi *Cloud computing*, khususnya, telah terbukti sebagai teknologi yang bersifat disruptif. Dimana teknologi ini dapat mendorong transformasi besar-besaran jika diterapkan disuatu area seperti bidang desain dan manufaktur.

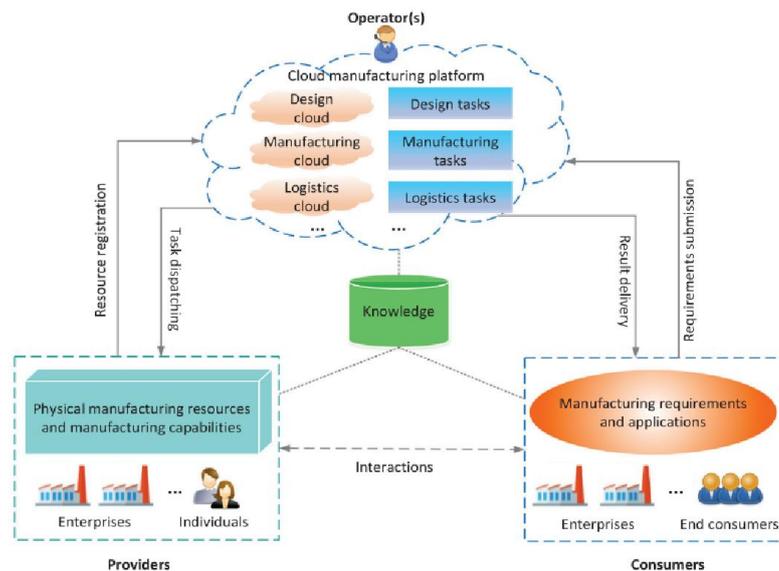
Sistem manufaktur berbasis *cloud* (*cloud manufacturing*) adalah sebuah model manufaktur berorientasi *service* dan *computing* yang dikembangkan dari model manufaktur yang digunakan saat ini (e.g., *application service providers*, *agile manufacturing*, *networked manufacturing*, *manufacturing grids*) dan sistem informasi *enterprise* dengan support dari teknologi *cloud computing*, *Internet of things* (IoT), *virtualization* dan *service-oriented technologies*, dan *advanced computing technologies* yang lainnya.

Definisi lain dari sistem manufaktur berbasis *cloud* adalah sebuah *network* model manufaktur yang menggunakan akses *on-demand* dari kumpulan dari *manufacturing resource* yang terdiri dari berbagai jenis sumber daya manufaktur yang terdistribusi untuk membentuk suatu *production line* yang bersifat *temporary* dan *reconfigurable* yang meningkatkan efisiensi, mengurangi biaya product

lifecycle, dan memungkinkan alokasi sumber daya manufaktur yang optimal ketika terdapat *demand*.

2.1.2. **Cloud Manufacturing**

Cloud manufacturing adalah sebuah model manufaktur yang baru yang memanfaatkan teknologi *cloud computing*, *internet of things*, *virtualization*, *service-oriented technologies*, dan *advanced computing technologies* yang lainnya untuk memanfaatkan berbagai sumber daya manufaktur yang terdistribusi dan mengelola sumber daya manufaktur tersebut secara terpusat (Liu et al., 2019). Gambaran umum *cloud manufacturing* dapat dilihat pada Gambar 1 dibawah ini.



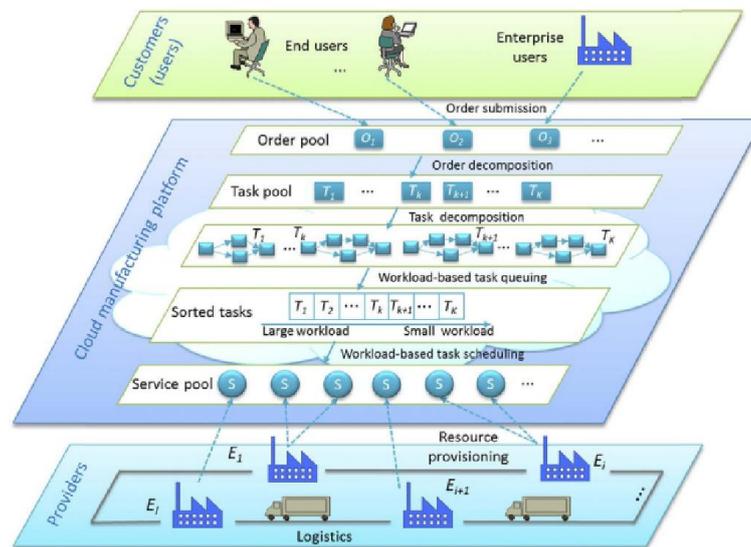
Gambar 1. Gambaran umum *cloud manufacturing* (Liu et al., 2018)

Sumber daya manufaktur yang dimaksud sebelumnya dapat terbagi menjadi dua tipe, yaitu: Sumber daya perangkat keras dan sumber daya perangkat lunak. Termasuk dalam kategori sumber daya perangkat keras contohnya ialah mesin *lathe*, *milling machine*, mesin CNC, 3D-printer, kendaraan logistik, dan lainnya yang mempunyai bentuk fisik nyata. Sementara yang termasuk dalam

kategori sumber daya perangkat lunak contohnya *computer aided design* (CAD), manajemen *supply chain*, dan lainnya yang tidak memiliki bentuk fisik nyata.

Individu maupun korporasi yang memiliki sumber daya manufaktur, dapat mendaftarkan sumber daya manufaktur yang mereka miliki kedalam *cloud manufacturing platform*. Sumber daya manufaktur tersebut kemudian diproses menjadi sebuah layanan (*service*) yang dikelola secara terpusat pada *cloud manufacturing platform*.

Layanan (*service*) ini kemudian ditawarkan ke pengguna lain yang mengakses *cloud manufacturing platform*. Dengan kata lain surplus sumber daya manufaktur maupun sumber daya manufaktur yang sedang tidak digunakan dalam waktu tertentu (*temporary idle*) dapat dienkapsulasi menjadi sebuah *Manufacturing resource as-a service* kepada konsumen yang mengakses *cloud manufacturing platform*.



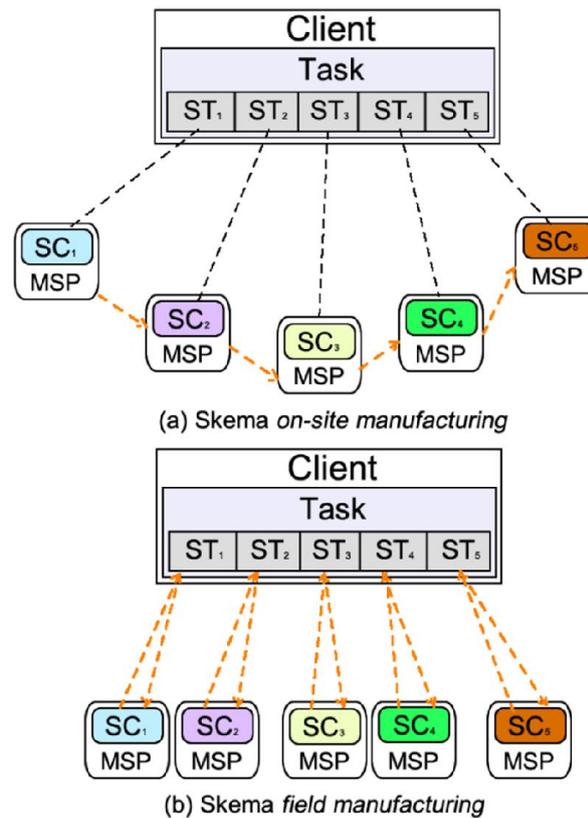
Gambar 2. Skema kerja *cloud manufacturing* (Liu et al., 2017)

Terlihat dari Gambar 2 diatas pengguna *cloud manufacturing platform* dapat melakukan submit task ke dalam *cloud manufacturing platform*. Task kemudian dipecah menjadi beberapa *subtask* kecil dan dimasukkan kedalam

subtask pool. Menggunakan skema *scheduling* tertentu. *Subtask* yang ada pada *subtask pool* kemudian di urutkan dan di kirim ke penyedia sumber daya manufaktur untuk di proses.

2.1.3. **Field Manufacturing**

Field manufacturing adalah proses *manufacturing* dimana penyedia layanan manufaktur yang melakukan perjalanan ke lokasi yang dispesifikasikan oleh pengguna layanan manufaktur untuk mengeksekusi proses manufaktur di lokasi tersebut. Berbeda dengan *on-site manufacturing* dimana pengguna layanan manufaktur yang melakukan perjalanan ke lokasi penyedia layanan manufaktur (Yang et al., 2021). Perbandingan antara skema *on-site manufacturing* dan *field manufacturing* dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Perbandingan *on-site manufacturing* dan *field manufacturing*

2.1.4. Scheduling pada Cloud Manufacturing

Scheduling dalam *cloud manufacture* baik itu pada *on-site manufacturing* atau pada *field manufacturing* ialah sebuah proses alokasi layanan (*service*) atau sumber daya manufaktur kepada *task* yang diterima oleh sistem *cloud manufacture*. *Scheduling* pada *cloud manufacturing* juga memonitor, mengontrol, dan mengoptimasi penggunaan sumber daya manufaktur pada eksekusi *task* sehingga *task* dapat dieksekusi sesuai *requirements* yang diberikan (Tao et al., 2015).

Performansi mekanisme *scheduling* sangat mempengaruhi performansi *cloud manufacturing platform* secara keseluruhan. Mekanisme *scheduling* yang optimal dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya manufaktur dan mengurangi cost manufaktur sehingga menguntungkan bagi semua pihak terkait baik itu penyedia sumber daya manufaktur, konsumen, dan juga *operator cloud manufacturing platform*.

Namun karena sifat dari *task* yang diterima pada *cloud manufacturing platform* cenderung heterogen dan faktor-faktor lain yang mempengaruhi proses manufaktur seperti keberadaan sumber daya dan kondisi logistik, membuat perancangan mekanisme *scheduling* menjadi isu yang perlu diselesaikan.

2.1.5. Elitist Genetic Algorithm

Elitist genetic algorithm (EGA) ialah algoritma genetika (GA) yang menerapkan prinsip *elitism* pada proses iterasinya. *Elitism* adalah prinsip menyimpan individu paling elit dari populasi dari generasi-ke generasi. Jika satu individu elit memiliki *fitness* terbaik dalam 100 generasi maka individu tersebut akan selalu ada pada dalam 100 generasi tersebut. Hal ini dicetuskan agar

menjaga hasil terbaik dari *randomness* proses *crossover* dan *mutation* yang terjadi dari generasi ke generasi pada proses GA yang normal (Yusoff et al., 2018). *Genetic Algorithm* (GA) sendiri merupakan algoritma berjenis metaheuristik yang pertama kali dicetuskan oleh Holland pada tahun 1975 dan merepresentasikan sebuah mekanisme *optimization* berbasis populasi yang terinspirasi dari proses evolusi yang terjadi di alam.

Pada GA, tiap *chromosome* (Individual dalam populasi) merepresentasikan sebuah solusi yang mungkin dari suatu masalah dan tersusun dari sebuah *string of genes*. Populasi awal yang diambil secara random digunakan sebagai *starting point* pada GA. Kemudian sebuah *fitness function* didefinisikan untuk mengecek sustainabilitas tiap *chromosome* dari lingkungannya.

Menggunakan nilai *fitness*-nya sebagai basis, *chromosome* dipilih dan di-*crossover* sehingga terjadi mutasi pada *offspring* yang dihasilkan. *Offspring* tersebut kemudian digunakan sebagai populasi baru. *Fitness function* digunakan untuk mengevaluasi setiap *offspring* pada populasi. Proses ini diulang hingga jumlah *offspring* yang diciptakan cukup (Zhou et al., 2018).

2.1.6. *Elitist Ant Colony Optimization*

Elitist ant colony optimization (EACO) atau biasa disebut juga sebagai *elitist ant-system*, adalah algoritma optimisasi *ant colony* (ACO) yang menerapkan konsep *elitism* pada penggunaannya (Chaouch et al., 2017). ACO sendiri merupakan algoritma berjenis metaheuristik yang terinspirasi dari perilaku semut untuk mencari jarak terkecil antara sebuah sumber makanan dan sangkarnya. Metode ini di usulkan oleh Dorigo pada tahun 1992 (Cao et al., 2016).

Ketika melintas melalui jalur antara sumber makanan dan sangkarnya, semut meninggalkan *pheromones* untuk menandai jalur yang mereka lalui. Intensitas *pheromone* dari jalur tersebut akan meningkat seiring dengan meningkatnya jumlah semut yang melintas dan semakin berkurang jika berkurangnya semut yang melintas. Seiring berjalannya waktu, intensitas *pheromone* jalur terpendek antara sumber makanan dan sangkar semut akan semakin meningkat. Intensitas *pheromone* inilah yang membantu semut untuk menemukan jalur terpendek antara sangkar dan sumber makanannya.

ACO biasanya digunakan untuk menyelesaikan *discrete optimization problems* dan persoalan yang kompleks dimana terdapat banyak variabel. Proses *elitism* diterapkan ke ACO dengan cara menyimpan jalur yang terbaik pada iterasi sebelumnya ke iterasi yang akan dieksekusi selanjutnya.

2.2. Penelitian Terkait

Beberapa penelitian yang telah dilakukan mengenai masalah *scheduling* pada *cloud manufacturing*, *scheduling* pada *field cloud manufacturing*, dan juga *scheduling* pada *field service* yang serupa dengan masalah *scheduling* pada *field manufacturing* dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Cao et al. (2016) melakukan penelitian mengenai *scheduling* pada *on-site cloud manufacturing* dengan menggunakan *modified Ant Colony Optimization* (ACOS). Hasil penelitian menunjukkan ACOS menghasilkan performansi *scheduling* lebih baik dibandingkan *Genetic Algorithm*, *Chaos Optimization*, dan *Particle Swarm Optimization*.
2. Zhou et al. (2018) melakukan penelitian mengenai *diverse task scheduling* untuk *individualized requirement* pada *on-site cloud manufacturing* menggunakan *improved Genetic Algorithm* (iGA). Hasil penelitian

menunjukkan *improved Genetic Algorithm* (iGA) menghasilkan performansi scheduling lebih baik dibandingkan *Simulated Annealing* dan *Pattern Search*.

3. Yumbe et al. (2018) melakukan penelitian mengenai masalah *scheduling* pada *field service* yang serupa dengan *field manufacturing* menggunakan metode *Heuristic Optimization Algorithm* (HOA). Hasil penelitian menunjukkan HOA dapat menurunkan total jarak tempuh sebanyak 20,9% dan juga menurunkan total jumlah pekerja yang dibutuhkan sebanyak 12,9% dibandingkan dengan *scheduling* secara manual.
4. Wu et al. (2020) melakukan penelitian mengenai masalah *scheduling* pada *field service* yang serupa dengan *field manufacturing* menggunakan metode *Hybrid Fruit-fly Optimization Algorithm* (HFOA). Hasil penelitian menunjukkan HFOA menghasilkan performansi scheduling lebih baik dibandingkan GRASP, GA, RTR, dan MA.
5. Yang et al. (2021) melakukan penelitian mengenai masalah *scheduling* pada *field cloud manufacturing* menggunakan metode *Multi-population competitive-cooperative Grey Wolf Optimizer* (MPCCGWO). Hasil penelitian menunjukkan MPCCGWO dapat meningkatkan performansi hasil *scheduling* sebesar 10,53%.

2.3. State of the Art

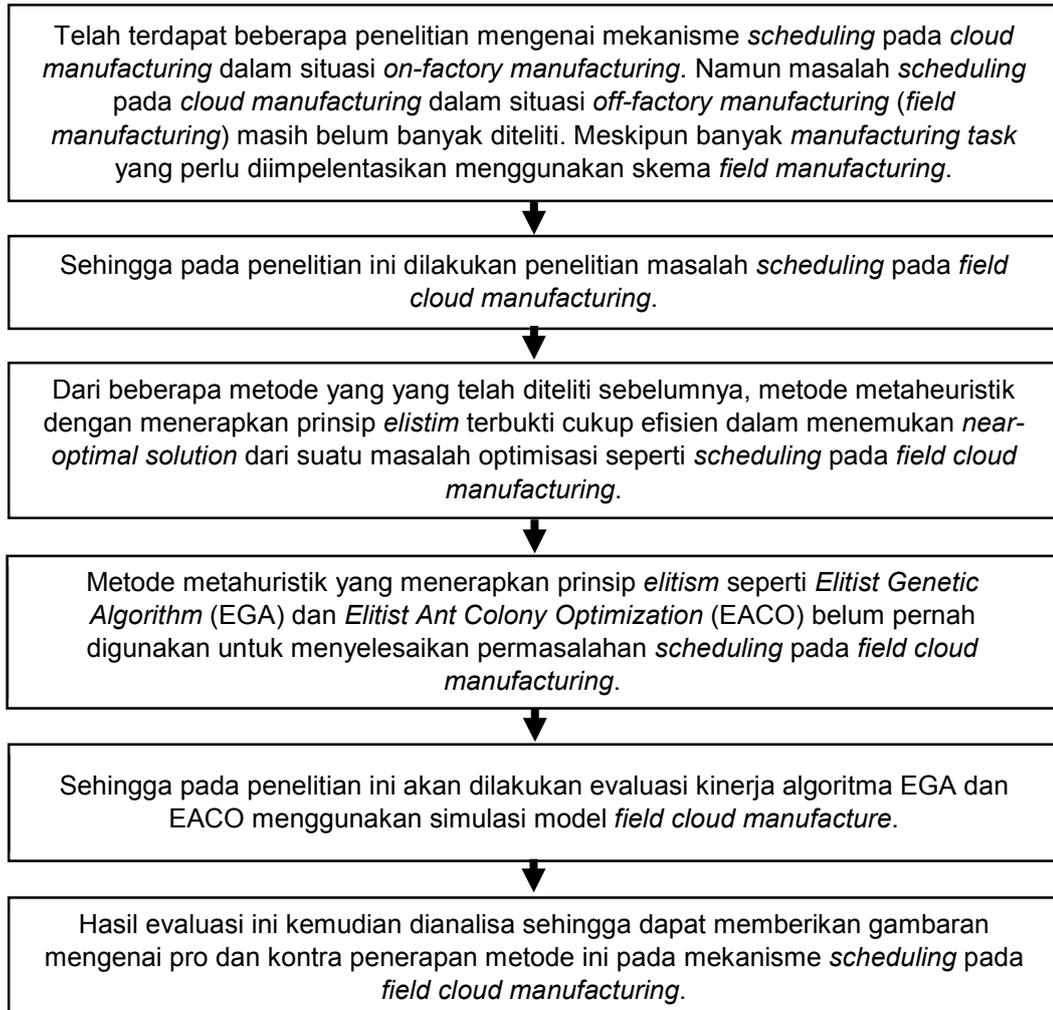
State of The Art merupakan sebuah ringkasan tabel yang memuat penelitian-penelitian sebelumnya yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan seperti judul, penulis, penerbit, tahun, metode dan hasil yang dicapai.

Tabel 2. State of the Art

No.	Judul	Penulis	Penerbit	Tahun	Metode	Hasil
1	A TQCS-based Service Selection and Scheduling Strategy in Cloud Manufacturing	Cao et al.	International Journal of Advanced Manufacturing Technology	2016	Modified Ant Colony Optimization (ACOS)	Hasil penelitian menunjukkan <i>Modified Ant Colony Optimization</i> (ACOS) menghasilkan performansi <i>scheduling</i> lebih baik dibandingkan <i>Genetic Algorithm</i> (GA), <i>Chaos Optimization</i> (CO), dan <i>Particle Swarm Optimization</i> (PSO).
2	Diverse Task Scheduling for Individualized Requirements in Cloud Manufacturing	Zhou et al.	Enterprise Information Systems	2018	Improved Genetic Algorithm (iGA)	Hasil penelitian menunjukkan <i>improved Genetic Algorithm</i> (iGA) menghasilkan performansi <i>scheduling</i> lebih baik dibandingkan <i>Simulated Annealing</i> dan <i>Pattern Search</i> .
3	Workforce scheduling system to manage static optimization and dynamic re-optimization for Field Service	Yumbe et al.	IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (SMC)	2019	Heuristic Optimization Algorithm (HOA)	Hasil penelitian menunjukkan HOA dapat menurunkan total jarak tempuh sebanyak 20,9% dan juga menurunkan total jumlah pekerja yang dibutuhkan sebanyak 12,9% dibandingkan dengan <i>scheduling</i> secara manual.
4	Hybrid fruit fly optimisation algorithm for Field Service Scheduling Problem	Wu et al.	International Journal of Automation and Control	2020	Hybrid fruit fly optimization Algorithm (HFOA)	Hasil penelitian menunjukkan <i>Hybrid Fruit-fly Optimization Algorithm</i> (HFOA) menghasilkan performansi <i>scheduling</i> lebih baik dibandingkan GRASP, GA, RTR, dan MA.
5	Scheduling of field service resources in cloud manufacturing based on multi-population competitive-cooperative GWO	Yang et al.	Computers & Industrial Engineering	2021	Multi-population competitive-cooperative Grey Wolf Optimizer (MPCCGWO)	Hasil penelitian menunjukkan <i>Multi-population competitive-cooperative Grey Wolf Optimizer</i> (MPCCGWO) dapat meningkatkan performansi hasil <i>scheduling</i> sebesar 10,53%.

2.4. Kerangka Pikir

Prosedur dan alur pelaksanaan penelitian yang akan dikerjakan dituangkan dalam sebuah kerangka berpikir yang diperlihatkan oleh gambar berikut:



Gambar 4. Kerangka pikir.