

**PERANCANGAN WAREHOUSE EXECUTION SYSTEM (WES)
BERBASIS TASK ASSIGNMENT GUNA MENINGKATKAN
EFISIENSI OPERASIONAL GUDANG**

TUGAS AKHIR



PUJA AHMAD MAULANA WAHYUDI

1242923001

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE
JAKARTA**

2026

**PERANCANGAN WAREHOUSE EXECUTION SYSTEM (WES)
BERBASIS TASK ASSIGNMENT GUNA MENINGKATKAN
EFISIENSI OPERASIONAL GUDANG**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Industri**



PUJA AHMAD MAULANA WAHYUDI

1242923001

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK DAN ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS BAKRIE**

JAKARTA

2026

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Tugas Akhir ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Puja Ahmad Maulana Wahyudi

NIM : 1242923001

Tanda Tangan :



Tanggal : 21 Agustus 2026

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Puja Ahmad Maulana Wahyudi
NIM : 1242923001
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer
Judul Tugas Akhir :

PERANCANGAN WAREHOUSE EXECUTION SYSTEM (WES) BERBASIS TASK
ASSIGNMENT GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI OPERASIONAL GUDANG

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Industri pada Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer Universitas Bakrie

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Invanos Tertiana, M.M., MBA.

()

Penguji I : Dr. Adi Budipriyanto, S.T., M.T., IPM

()

Penguji II : Tri Susanto, S.E., M.T., CIPM

()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 21 Agustus 2026

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT., karena atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul **"PERANCANGAN WAREHOUSE EXECUTION SYSTEM (WES) BERBASIS TASK ASSIGNMENT GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI OPERASIONAL GUDANG"**. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Industri.

Penulis menyadari bahwa keberhasilan dalam penyusunan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan, arahan, dukungan, serta bantuan dari berbagai pihak, baik secara moril maupun materil. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Prof. Ir. Sofia W. Alisjahbana, M.Sc., Ph.D., IPU., ASEAN Eng. selaku Rektor Universitas Bakrie yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menuntut ilmu.
2. Bapak Mohammad Ihsan, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Teknik, serta Bapak Edo Suryo Pratomo, S.T., M.Sc., Ph.D., CAMF selaku Ketua Program Studi Teknik Industri yang telah memfasilitasi kelancaran akademik penulis.
3. Bapak Ir. Invanos Tertiana, M.M., MBA. selaku Dosen Pembimbing, yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, kritik, serta saran yang sangat berharga selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
4. Manajemen dan seluruh tim operasional Finish Good Warehouse PT XYZ, yang telah memberikan izin penelitian, ruang kolaborasi, serta bantuan data operasional lapangan yang sangat krusial bagi pengembangan sistem WES ini.
5. Seluruh rekan operator gudang yang telah bersedia memberikan masukan praktis serta berpartisipasi dalam proses validasi dan pengujian prototipe sistem optimasi penugasan ini.
6. Kedua orang tua tercinta dan keluarga besar, yang tiada henti memberikan doa, kasih sayang, kesabaran, serta dukungan moral dan material yang menjadi kekuatan terbesar bagi penulis.
7. Rekan-rekan mahasiswa kelas karyawan Teknik Industri angkatan 2025 serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, terima kasih atas diskusi, semangat, dan kebersamaan selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa rancangan sistem dan laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari para pembaca demi perbaikan di masa yang akan datang. Akhir kata, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat nyata bagi perkembangan ilmu Teknik Industri, khususnya di bidang sistem pergudangan dan logistik.

Jakarta, 21 Agustus 2026

Penulis

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'P' followed by a series of loops and a final horizontal stroke.

Puja Ahmad Maulana Wahyudi
(1242923001)

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Sebagai sivitas akademik Universitas Bakrie, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Puja Ahmad Maulana Wahyudi
NIM : 1242923001
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Bakrie Hak Bebas Royalti Non eksklusif (Non-exclusive Royalti-Free Right) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**“PERANCANGAN WAREHOUSE EXECUTION SYSTEM (WES)
BERBASIS TASK ASSIGNMENT GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI
OPERASIONAL GUDANG”**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non eksklusif ini Universitas Bakrie berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta untuk kepentingan akademis.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 21 Agustus 2026

Yang Menyatakan



Puja Ahmad Maulana Wahyudi

PERANCANGAN WAREHOUSE EXECUTION SYSTEM (WES) BERBASIS TASK ASSIGNMENT GUNA MENINGKATKAN EFISIENSI OPERASIONAL GUDANG

Puja Ahmad Maulana Wahyudi

ABSTRAK

Finish Good Warehouse PT XYZ menghadapi permasalahan tingginya Travel Time proses replenishment (RPL) yang didominasi oleh perjalanan kosong alat angkut (dead heading). Pada aliran Storage ke Floor, waktu dead heading mencapai 95 detik dari total Travel Time 155 detik per pallet dari keseluruhan waktu perjalanan. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh mekanisme Oracle WMS yang mengurutkan tugas berdasarkan nomor lokasi rak tanpa mempertimbangkan posisi akhir reach truck, lokasi pengambilan berikutnya, keseimbangan beban kerja, dan hubungan akses rak double-deep.

Penelitian ini bertujuan merancang prototipe Warehouse Execution System (WES) berbasis Python yang mampu menghasilkan task assignment dan drop sequencing secara otomatis. Model optimasi menggunakan Sequential Hybrid Ant Colony Optimization–Simulated Annealing (ACO-SA), dengan ACO membentuk kandidat urutan task dan solusi terbaik ACO digunakan sebagai solusi awal SA untuk pencarian lokal. Model mengintegrasikan representasi spasial tiga dimensi gudang, kinematika reach truck berbasis GLBB, hard repair pasangan front–rear double-deep, fixed resource dan zona kerja, workload balancing dengan ambang 60%, urutan fase operasional, serta closed route. Prototipe dikembangkan menggunakan metode Rapid Application Development dan memproses data hasil ekspor Oracle WMS secara on-demand.

Pengujian menggunakan 153 task RPL. Hasil black box testing menunjukkan seluruh fungsi utama berjalan sesuai rancangan. Hasil benchmark menunjukkan Hybrid ACO-SA menghasilkan total estimasi waktu closed route sebesar 6.330,16 detik, lebih rendah 19,50% dibandingkan Oracle Feasible sebesar 7.863,82 detik. Total estimasi jarak menurun 27,38%, sedangkan estimasi makespan menurun 20,57%. Validasi pada instance kecil 10 task RT01 menunjukkan Hybrid ACO-SA menghasilkan solusi dengan optimality gap sebesar 0,027% terhadap optimum global OpenSolver–CBC sebesar 910,329 detik. Prototipe menyelesaikan pengolahan 153 task dalam waktu komputasi 5,663 detik sehingga memenuhi kebutuhan waktu proses kurang dari satu menit pada batch penelitian. Hasil penelitian merupakan estimasi model komputasional dan belum menunjukkan penurunan aktual operasional tanpa validasi lapangan.

Kata kunci: *Warehouse Execution System, Ant Colony Optimization, Simulated Annealing, task assignment, drop sequencing, dead heading, replenishment.*

ABSTRACT

he Finished Goods Warehouse of PT XYZ experiences high travel time in the replenishment (RPL) process, primarily due to empty material-handling travel, or dead heading. In the Storage-to-Floor flow, dead heading accounts for 95 seconds of the total travel time of 155 seconds per pallet of the overall travel time. This condition is influenced by the Oracle WMS task-sequencing mechanism, which sorts tasks based on rack-location numbers without considering the final position of the reach truck, the next pickup location, workload balance, or double-deep rack-access relationships.

This study aims to design a Python-based Warehouse Execution System (WES) prototype capable of automatically generating task assignment and drop sequencing. The optimization model applies a Sequential Hybrid Ant Colony Optimization–Simulated Annealing (ACO-SA) approach, in which ACO constructs candidate task sequences and the best ACO solution is subsequently used as the initial solution for SA local search. The model integrates a three-dimensional warehouse representation, reach-truck kinematics based on uniformly accelerated motion, hard repair for front–rear double-deep pairs, fixed-resource and work-zone constraints, workload balancing with a 60% threshold, operational-phase sequencing, and a closed route. The prototype was developed using the Rapid Application Development method and processes data exported from Oracle WMS on demand.

The evaluation used 153 RPL tasks. Black-box testing showed that all major functions operated according to the system design. Benchmark results showed that Hybrid ACO-SA produced a total estimated closed-route time of 6,330.16 seconds, which was 19.50% lower than the Oracle Feasible baseline of 7,863.82 seconds. The total estimated travel distance decreased by 27.38%, while the estimated makespan decreased by 20.57%. Validation using a small instance of 10 RT01 tasks showed that Hybrid ACO-SA achieved an optimality gap of 0.027% relative to the OpenSolver-CBC global optimum of 910.329 seconds. The prototype processed all 153 tasks in 5.663 seconds, thereby meeting the processing-time requirement of less than one minute for the research batch. The findings are based on a computational model and do not yet demonstrate actual operational reductions without field validation.

Keywords: *Warehouse Execution System, Ant Colony Optimization, Simulated Annealing, task assignment, drop sequencing, dead heading, replenishment.*

DAFTAR ISI

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	III
HALAMAN PENGESAHAN	IV
KATA PENGANTAR	V
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	VII
ABSTRAK.....	VIII
DAFTAR ISI	X
DAFTAR GAMBAR.....	XIV
DAFTAR TABEL.....	XIV
DAFTAR LAMPIRAN	XV
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.4.1 Ruang Lingkup Proses Operasional	5
1.4.2 Objek dan Parameter Teknis Penelitian	5
1.4.3 Metodologi dan Status Implementasi.....	6
1.5 Manfaat Penelitian.....	7
1.5.1 Manfaat Bagi Penulis	7
1.5.2 Manfaat Bagi Universitas.....	7
1.5.3 Manfaat Bagi Perusahaan.....	8
BAB II LANDASAN TEORI.....	9
2.1 Sistem Pergudangan	9
2.1.1 Warehouse Management System (WMS)	9
2.1.2 Warehouse Execution System (WES).....	10
2.2 Optimasi Routing Pergudangan	11
2.2.1 Vehicle Routing Problem (VRP).....	11
2.2.2 Ant Colony Optimization (ACO)	12
2.2.3 Simulated Annealing (SA)	14
2.2.4 Sequential Hybrid ACO-SA	16
2.3 Pengembangan Sistem	16
2.3.1 Rapid Application Development	16
2.4 Penelitian Terdahulu.....	18

2.5 Kerangka Berpikir.....	19
BAB III METODOLOGI.....	21
3.1 Kerangka Penelitian	21
3.2 Identifikasi Masalah	21
3.3 Requirements Planning	22
3.3.1 Analisis Sistem Eksisting	22
3.3.1.1 Proses Administrasi RPL pada Oracle.....	23
3.3.1.2 Proses Drop Sequencing Berdasarkan Algoritma Urutan RPL Oracle	24
3.3.1.3 Proses RPL oleh Operator	25
3.3.1.4 Pembagian Area Kerja Alat Angkut	25
3.3.2 Analisis Kebutuhan Sistem	26
3.3.2.1 Konsolidasi Key User.....	27
3.3.2.2 Kebutuhan Fungsional Sistem.....	27
3.3.2.3 Kebutuhan Nonfungsional Sistem.....	28
3.4 User Design	28
3.4.1 Arsitektur Warehouse Execution System	29
3.4.2 Pemodelan Permasalahan.....	30
3.4.3 Algoritma Kinematika MHE 3D	32
3.4.3.1 Waktu Pergerakan Horizontal.....	33
3.4.3.2 Waktu Pergerakan Vertikal	34
3.4.3.3 Waktu Retract dan Extend	35
3.4.3.4 Total Estimasi Waktu Pergerakan Rack-to-Rack.....	36
3.4.4 Perancangan Routing Engine dengan Sequential Hybrid ACO-SA.....	36
3.4.4.1 Algoritma ACO dan Justifikasi Parameter	37
3.4.4.2 Algoritma SA dan Justifikasi Parameter.....	40
3.4.5 Kendala Operasional	42
3.4.5.1 Rak Double-Deep	42
3.4.5.2 Fixed Resource dan Zone Governance.....	44
3.4.5.3 Workload Balancing	45
3.4.5.4 Urutan Fase Operasional dan Task Chaining	46
3.4.6 Perancangan Antarmuka GUI	47
3.4.7 Rancangan Iterasi Rapid Prototyping.....	48
3.4.7.1 Rencana Iterasi I: Validasi Algoritma Kinematika MHE 3D	49
3.4.7.2 Rencana Iterasi II: Validasi Kendala Operasional	49

3.4.7.3 Rencana Iterasi III: Validasi Prototipe GUI dan Fungsionalitas Cetak	50
3.5 Construction	50
3.5.1 Implementasi Prototipe	51
3.5.2 Integrasi Modul	53
3.6 Implementation/Cutover Terbatas dan Rancangan Pengujian	55
3.6.1 Data Penelitian	55
3.6.2 Skenario Pengujian dan Parameter Evaluasi	57
3.6.2.1 Pengujian Titik Optimum pada Instance Kecil.....	59
3.6.2.2 Pengujian Benchmark Oracle dan Hybrid ACO-SA	61
3.6.2.3 Black Box Testing	62
3.6.2.4 Pengujian Kinerja Waktu Komputasi	64
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	66
4.1 Gambaran Umum Pengolahan Data dan Pengujian WES Engine	66
4.1.1 Objek dan Data Pengujian.....	66
4.1.2 Konfigurasi Model dan Parameter Pengujian	67
4.1.3 Alur Integrasi Modul WES Engine	69
4.2 Hasil Pengolahan Berdasarkan Alur Integrasi Modul WES Engine	69
4.2.1 Data Hasil Ekspor Oracle WMS	69
4.2.2 Persiapan dan Normalisasi Data	70
4.2.3 Pembentukan Task dan Double-Deep Group	72
4.2.4 Klasifikasi Fase Operasional.....	73
4.2.5 Task Assignment RT01 dan RT02	73
4.2.6 Workload Balancing.....	74
4.2.7 Pembentukan Matriks Jarak dan Waktu	76
4.2.8 Optimasi Sequential Hybrid ACO-SA	77
4.2.9 Validasi Kendala dan Pembentukan Closed Route	78
4.2.10 Dashboard Monitoring dan RPL List.....	79
4.3 Hasil Pengujian Fungsional Prototipe	81
4.3.1 Hasil Black Box Testing.....	81
4.3.2 Hasil Pengujian Kinerja Waktu Komputasi	83
4.4 Evaluasi Hasil Optimasi WES Engine	85
4.4.1 Penetapan Baseline dan Metode Perbandingan.....	85
4.4.2 Perbandingan Indikator Utama Hasil Optimasi	86
4.4.3 Validasi terhadap Optimum Global pada Instance Kecil	87

4.4.4 Validasi Kelayakan dan Pembuktian Optimasi	93
4.5 Pembahasan Hasil Penelitian.....	94
4.5.1 Peran WES Engine dalam Proses RPL	94
4.5.2 Pengaruh Task Assignment dan Workload Balancing.....	95
4.5.3 Pengaruh Sequential Hybrid ACO-SA terhadap Routing	97
4.5.4 Pengaruh Kendala Operasional terhadap Solusi	99
4.5.5 Ketercapaian Tujuan Penelitian.....	100
4.5.6 Posisi dan Kontribusi Penelitian	101
4.6 Keterbatasan Penelitian	103
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	105
5.1 Kesimpulan.....	105
5.2 Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Ilustrasi Rute Proses RPL Pada Gudang Sebelum Optimasi	2
Gambar 2 Siklus RAD.....	17
Gambar 3 Kerangka Berpikir	19
Gambar 4 Alur Penelitian Perancangan WES Engine	21
Gambar 5 Swimlane Diagram Alur Kerja Sistem RPL Eksisting	23
Gambar 6 Peta Pool Dan Area Kerja Reach Truck.....	26
Gambar 7 Alur Kerja Sistem RPL Dengan Integrasi WES Engine (Sistem Usulan)	26
Gambar 8 Diagram Proses WES Engine	29
Gambar 9 Alur Integrasi Modul WES Engine.....	53
Gambar 10 Cuplikan Data Hasil Ekspor Oracle WMS	66
Gambar 11 Contoh Dashboard Monitoring WES Engine	80
Gambar 12 Contoh RPL List Operator	80

DAFTAR TABEL

tabel 1 Data Travel Time Proses RPL.....	1
Tabel 2 Peta Korespondensi Rumusan Masalah dan Tujuan Penelitian.....	4
Tabel 3 Peta Perbandingan Literatur dan Gap Penelitian	18
Tabel 4 Daftar Item RPL Yang Dihasilkan Oracle.....	23
Tabel 5 Struktur Sesi Konsolidasi Kebutuhan Fase I RAD.....	27
Tabel 6 Daftar Kebutuhan Fungsional WES Engine Yang disepakati Key Users	27
Tabel 7 Kebutuhan Nonfungsional WES Engine	28
Tabel 8 Parameter ACO dan Justifikasi Penetapan Nilai	39
Tabel 9 Parameter SA dan Justifikasi Penetapan Nilai.....	42
Tabel 10 Konfigurasi Sumber Daya	44
Tabel 11 Rencana Tiga Iterasi RAD User Design Workshop	48
Tabel 12 Integrasi Modul WES Engine	53
Tabel 13 Variabel Data Yang Digunakan Dalam Penelitian	55
Tabel 14 Parameter Evaluasi Prototipe WES Engine	58
Tabel 15 Rancangan Skenario Black Box Testing WES Engine	62
Tabel 16 Rancangan Pengujian Kinerja Waktu Komputasi.....	64
Tabel 17 Konfigurasi Resource WES Engine.....	67
Tabel 18 Parameter Model dan Algoritma.....	67
Tabel 19 Hasil Pembacaan data Ekspor Oracle WMS.....	70
Tabel 20 Contoh Hasil Normalisasi Data Oracle.....	71
Tabel 21 Hasil Pembentukan Task Dan Double-Deep Group	72
Tabel 22 Hasil Klasifikasi Operational.....	73
Tabel 23 Hasil Task Assigment Awal	74
Tabel 24 Kelompok Task Yang Dipindahkan Oleh Workload Balancing.....	75
Tabel 25 Perbandingan Estimasi Beban Sebelum Dan Setelah Balancing.....	75
Tabel 26 Cuplikan Matriks Waktu Dead Heading RT01	76

Tabel 27 Hasil Sequential Hybrid ACO-SA Per Resource dan Fase	77
Tabel 28 Hasil Closed Route RT01 Dan RT02	78
Tabel 29 Hasil Validasi Kendala Rute	79
Tabel 30 Hasil Rekonsiliasi Input Dan Output WES Engine	80
Tabel 31 Hasil Black Box Testing WES Engine.....	81
Tabel 32 Runtime Eksekusi Batch Utama	83
Tabel 33 Perbandingan Indikator Utama Hasil Optimasi	86
Tabel 34 Perbandingan Hasil Exact dan Sequential Hybrid ACO-SA pada Instance Kecil	90
Tabel 35 Validasi Kelayakan Hasil Hybrid ACO-SA	93
Tabel 36 Ketercapaian Tujuan Penelitian	100

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Cuplikan Data Hasil Ekspor Oracle WMS	109
Lampiran 2 Dokumentasi Iterasi Pengembangan WES Engine Berbaasis RAD	111
Lampiran 3 Dokumentasi Validasi Optimum Global pada Instance Kecil Menggunakan Opensolver.....	128
Lampiran 4 Memo Penunjukan Proyek	135