

Optimasi Penjadwalan Truk di Pelabuhan Barat PT XYZ Untuk Meminimalkan Total Biaya Keterlambatan Aktivitas Inter-Terminal Transportation

1st Anisa Fauziyah
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
anisafauziyah@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Erlangga Bayu Setyawan
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
erlanggabs@telkomuniversity.ac.id

3rd Femi Yulianti
Fakultas Rekayasa Industri
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
femiyulianti@telkomuniversity.ac.id

Abstrak— Pelabuhan Barat PT XYZ memainkan peran penting dalam sistem Inter-Terminal Transportation (ITT) untuk pemindahan peti kemas antar terminal, namun pada Januari 2024 terdapat 47,68% pesanan mengalami keterlambatan. Hal ini disebabkan oleh tingginya perjalanan truk tanpa muatan yang mencapai 85,43%, menimbulkan ketidakefisienan operasional dan total biaya keterlambatan yang besar. Untuk mengatasi permasalahan ini, penelitian ini menggunakan algoritma *simulated annealing with normalized exploration rate* (SANE) untuk mengoptimalkan penjadwalan truk, mengurangi perjalanan kosong, serta meminimalkan total biaya keterlambatan. Data yang digunakan mencakup posisi awal truk, waktu pengiriman dan biaya keterlambatan. Hasil optimasi menunjukkan bahwa perjalanan kosong berkurang dari 518 menjadi 115 kali, keterlambatan pesanan turun dari 607 menjadi 128, dan total biaya keterlambatan berkurang dari RM 10.400 menjadi RM 1.936, meskipun belum mencapai target RM 0, algoritma SANE terbukti efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi beban biaya secara signifikan.

Kata kunci— Optimasi Penjadwalan Truk, *Simulated Annealing with Normalized Exploration Rate*, Inter-Terminal Transportation, Total Biaya Keterlambatan

I. PENDAHULUAN

Pelabuhan Barat PT XYZ memiliki peran vital dalam sistem pelabuhan nasional Malaysia, terutama dalam kegiatan *Inter-Terminal Transportation* (ITT) untuk pemindahan peti kemas antar terminal. Proses ITT ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi keterlambatan pengiriman, mengingat setiap terminal memiliki fungsi yang berbeda dan tidak selalu dilengkapi dengan fasilitas yang lengkap. Untuk menjalankan ITT, pelabuhan bekerja sama dengan perusahaan transportasi, di mana setiap hari pelabuhan memberikan daftar pekerjaan kepada perusahaan transportasi, kemudian perusahaan transportasi menugaskan truk-truknya untuk melaksanakan pengiriman tersebut.

Namun, pada Januari 2024, perusahaan transportasi menghadapi tantangan besar di mana 47,68% pesanan

mengalami keterlambatan. Penyebab utama keterlambatan ini adalah tingginya persentase perjalanan truk tanpa muatan, mencapai 85,34%, yang mengindikasikan adanya ketidakefisienan dalam penugasan truk. Ketidakefisienan ini terlihat jelas pada contoh kasus tanggal 7 Januari 2024, dimana dua truk yang ditugaskan menempuh total perjalanan kosong selama 52 menit, padahal dengan penjadwalan yang lebih optimal, waktu tempuh perjalanan kosong tersebut bisa diturunkan menjadi 7 menit. Situasi ini menunjukkan adanya peluang besar untuk meningkatkan efisiensi penjadwalan truk.

Dampak dari ketidakefisienan ini tidak hanya terbatas pada operasional, tetapi juga berpengaruh signifikan terhadap aspek finansial perusahaan. Perusahaan transportasi dikenakan biaya keterlambatan sebesar RM 2 per menit, yang mengakibatkan total biaya keterlambatan pada Januari 2024 mencapai RM 10.400, jauh melebihi target yang ditetapkan perusahaan. Untuk mengatasi permasalahan ini, algoritma *simulated annealing with normalized exploration rate* (SANE) dipilih karena kemampuannya dalam menangani kompleksitas masalah *NP-hard*, seperti penjadwalan truk dengan berbagai pembatas dan dapat menjelajahi ruang solusi secara efisien. Selain itu, algoritma ini dapat menemukan solusi mendekati optimal dan membantu dalam meminimalkan total biaya keterlambatan.

II. KAJIAN TEORI

A. Penjadwalan

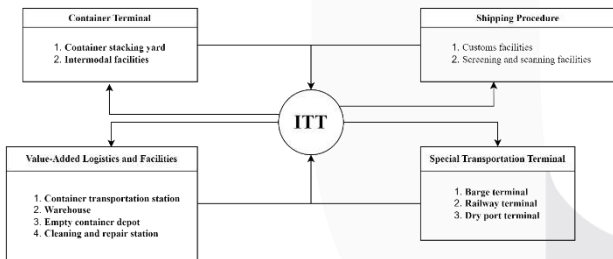
Penjadwalan adalah proses mengorganisasi dan memilih penggunaan sumber daya untuk aktivitas dalam batas waktu tertentu, dengan tetap memenuhi kendala waktu dan aktivitas. Conway (1967) melihatnya sebagai pengurutan pembuatan produk pada mesin tertentu, sementara Baker (1974) menekankan alokasi sumber daya untuk tugas dalam jangka waktu tertentu. Tujuannya adalah mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan waktu untuk mencapai output yang efisien.

B. Penjadwalan Truk

Penjadwalan truk merupakan masalah optimasi dalam logistik yang mengadaptasi prinsip dari *Job Shop Scheduling Problem (JSSP)* ke dalam konteks transportasi. Penjadwalan ini melibatkan penugasan truk untuk memenuhi pesanan pengiriman dalam jendela waktu tertentu, dengan mempertimbangkan ketersediaan truk, lokasi pengambilan dan pengiriman, serta batasan lainnya. Ramadhan, dkk (2023) mengoptimalkan penjadwalan truk di Pelabuhan Busan dengan memastikan setiap pesanan ditangani oleh satu truk, serta meminimalkan waktu dan biaya keterlambatan. Studi ini juga mempertimbangkan ketersediaan truk, waktu pengiriman, dan posisi awal truk. Begitu juga dalam penelitian Xiao, dkk (2022) dan Jiuzeng & Yi (2023), yang berfokus pada pengurangan biaya perjalanan, beban kerja, emisi, serta penyeimbangan pergerakan truk. Secara keseluruhan, penjadwalan truk bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi operasional dengan meminimalkan biaya dengan tetap memenuhi batasan seperti jendela waktu pengiriman, jumlah truk, dan mengurangi waktu tunggu.

C. Inter-Terminal Transportation

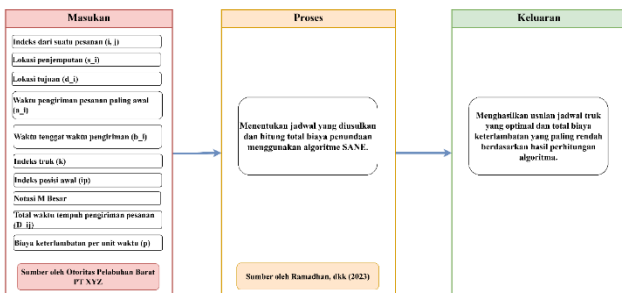
Inter-Terminal Transportation (ITT) merupakan sistem transportasi kompleks yang berperan penting dalam operasi pelabuhan modern, di mana peti kemas dan kargo konvensional dipindahkan antar area yang terpisah secara organisasi, seperti terminal peti kemas, gudang, dan fasilitas logistik lainnya. Berdasarkan penjelasan Heilig dan VoB (2016), ITT mencakup pergerakan antar terminal peti kemas, area prosedur pengiriman, fasilitas logistik dan bernilai tambah, serta terminal transportasi khusus. Hal tersebut pun selaras dengan peran ITT yang terdapat dalam gambar berikut ini.



GAMBAR 1 (PERAN ITT DI PELABUHAN)

III. METODE

A. Kerangka Berpikir

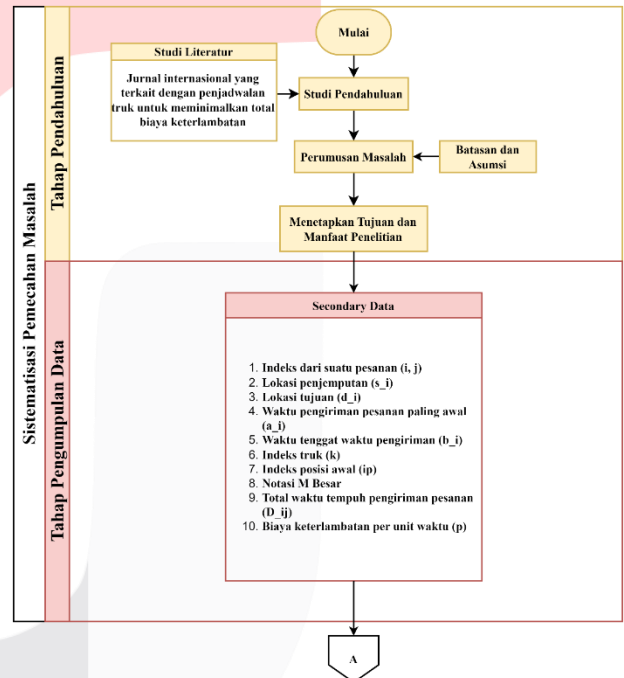


GAMBAR 4 (KERANGKA BERPIKIR PENELITIAN)

Kerangka berpikir penelitian ini menggambarkan penyelesaian masalah truk di Pelabuhan Barat PT XYZ melalui tiga tahap: masukan, proses, dan keluaran. Tahap masukan mencakup data pesanan, waktu pengiriman, posisi awal truk, waktu perjalanan, dan biaya keterlambatan, yang diperoleh dari Otoritas Pelabuhan Barat PT XYZ. Tahap proses melibatkan pengoptimalan jadwal menggunakan algoritma SANE, yang dikembangkan oleh Ramadhan, dkk (2023) untuk meminimalkan total biaya keterlambatan. Tahap keluaran menghasilkan usulan jadwal truk yang optimal dengan biaya keterlambatan terendah, memberikan solusi praktis sekaligus wawasan dalam optimasi biaya.

B. Sistematisa Penyelesaian Masalah

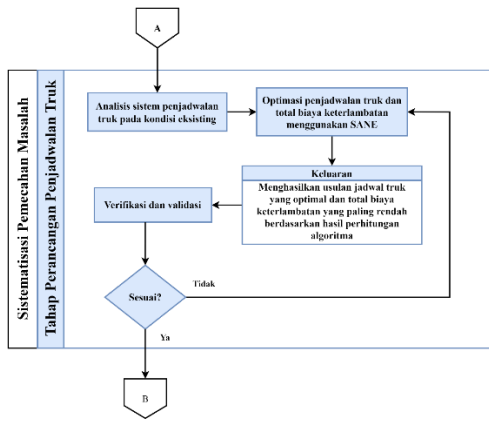
Sistematisa penyelesaian masalah merupakan serangkaian langkah yang diambil secara terorganisir dan terstruktur untuk mengatasi suatu masalah dalam penelitian. Langkah-langkah ini meliputi tahap pendahuluan, tahap pengumpulan data, tahap analisis, serta tahap kesimpulan dan saran. Semua tahapan tersebut digambarkan dalam gambar 3, gambar 4, dan gambar 5.



GAMBAR 3 (SISTEMATIKA PENYELESAIAN MASALAH)

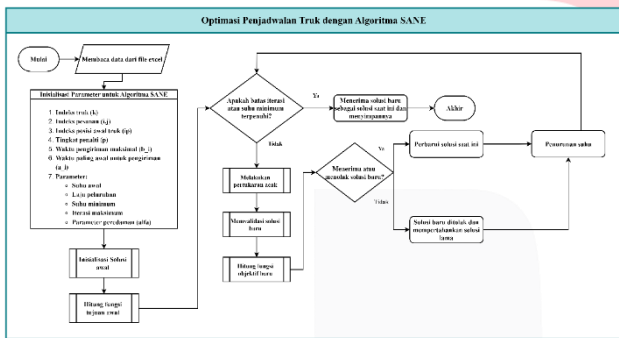
Pada tahap pendahuluan, penelitian dimulai dengan studi literatur terkait penjadwalan truk dan minimasi total biaya keterlambatan. Langkah ini penting untuk membangun fondasi ilmiah berdasarkan penelitian sebelumnya. Studi pendahuluan kemudian dilakukan untuk merumuskan masalah yang diteliti dengan memperhatikan batasan dan asumsi, sehingga cakupan penelitian menjadi lebih realistis. Setelah perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian ditetapkan untuk merumuskan kontribusi yang diharapkan.

Pada tahap pengumpulan data, data sekunder dikumpulkan, termasuk indeks pesanan, lokasi pengambilan dan tujuan, waktu pengiriman paling awal dan batas waktu, indeks truk, indeks posisi awal truk, total waktu perjalanan, serta biaya keterlambatan per unit waktu. Data ini menjadi masukan penting dalam mengoptimalkan penjadwalan truk untuk meminimalkan keterlambatan dan biaya yang terkait.



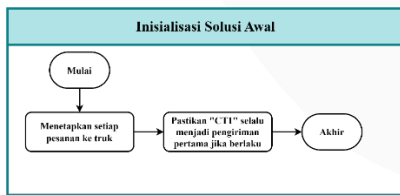
GAMBAR 4 (SISTEMATIKA PENYELESAIAN MASALAH LANJUTAN)

Kemudian, proses sistematika penyelesaian masalah berlanjut hingga masuk ke tahap perancangan sistem penjadwalan truk, seperti yang terlihat pada gambar 4 dan gambar 5.



GAMBAR 5 (DIAGRAM ALIR OPTIMASI PENJADWALAN TRUK DENGAN ALGORITMA SANE)

Pada tahap awal, beberapa parameter diinisialisasi, seperti indeks truk, indeks pesanan, posisi awal truk, dan biaya keterlambatan, serta parameter algoritma, termasuk suhu awal, tingkat pengurangan suhu, suhu minimum, iterasi maksimal, dan nilai alpha.



GAMBAR 6 (DIAGRAM ALIR INISIALISASI SOLUSI AWAL)

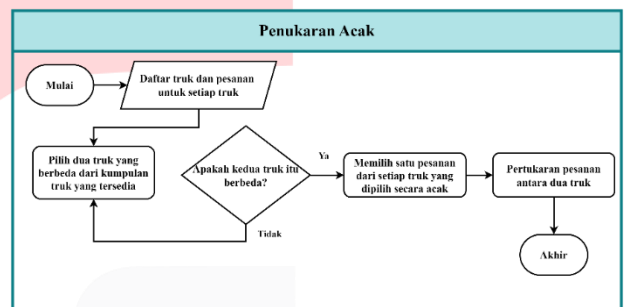
Selanjutnya, algoritma masuk pada bagian inialisasi solusi awal, di mana pesanan secara acak ditugaskan ke truk, dan CT1 ditetapkan sebagai pengiriman pertama jika berlaku. Solusi ini digunakan untuk menghitung fungsi objektif awal, yaitu total biaya keterlambatan. Seperti yang terlihat pada gambar berikut.



GAMBAR 7 (PERHITUNGAN FUNGSI TUJUAN AWAL)

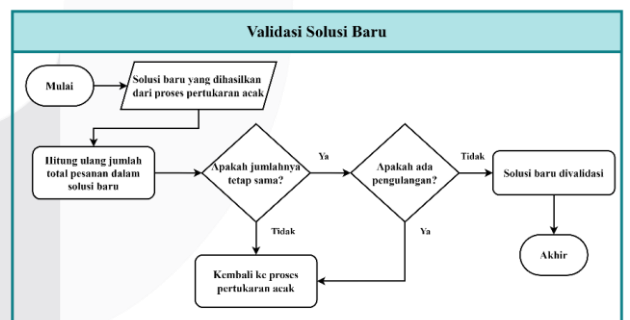
Perhitungan didasarkan pada posisi truk, pesanan, dan data waktu tempuh dari 'Time Distance Matrix'. Keterlambatan dihitung berdasarkan selisih waktu pengiriman dan batas waktu maksimal, dengan biaya tambahan yang dihitung dari total biaya keterlambatan dikalikan biaya keterlambatan.

Setelah solusi awal didefinisikan, algoritma memasuki tahap penukaran acak, di mana pesanan antara dua truk dipertukarkan untuk menghasilkan solusi baru. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 8 berikut.



GAMBAR 8 (DIAGRAM ALIR PENUKARAN ACAK)

Selanjutnya, dilakukan validasi untuk memastikan bahwa solusi baru tidak memiliki pengulangan pesanan dan jumlah pesanan konsisten. Seperti yang terlihat pada gambar berikut ini.



GAMBAR 9 (DIAGRAM ALIR VALIDASI SOLUSI BARU)

Jika validasi berhasil, solusi dipertimbangkan berdasarkan kriteria penerimaan probabilitas dan suhu saat ini. Algoritma berhenti ketika suhu mencapai batas minimum atau iterasi maksimal tercapai, dan solusi terbaik dianggap sebagai solusi optimal, yaitu penjadwalan truk yang meminimalkan biaya keterlambatan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kasus yang ada pada latar belakang menunjukkan bahwa penugasan truk yang tidak optimal menyebabkan tingginya perjalanan kosong seperti terlihat pada truk PM1 yang harus menempuh 29 menit perjalanan kosong dari FLEXI ke CT2,

dan truk PM6 yang menempuh 23 menit dari CT1 ke TPH, total 52 menit perjalanan kosong. Optimasi jadwal truk kemudian dilakukan dengan menugaskan truk berdasarkan kedekatan lokasi, baik antara lokasi posisi awal dengan lokasi pengambilan, maupun antara lokasi pengiriman terakhir dengan pengambilan selanjutnya. Contoh implementasi optimasi ini terlihat pada jadwal usulan di mana PM1 dan PM6 memiliki urutan pengiriman yang lebih efisien, sehingga waktu tempuh dan jumlah perjalanan kosong menurun secara signifikan. Jika optimasi serupa diterapkan pada pesanan lainnya, perjalanan kosong secara keseluruhan berkurang dari 518 kali menjadi 115 kali atau sekitar 63,67%.

Tanggal	Perjalanan kosong (Eksisting)	Perjalanan kosong (Usulan)	Selisih Penurunan Antara Kondisi Aktual dan Eksisting	Persentase Penurunan
03-Jan	23	0	23	100,00%
04-Jan	18	0	18	100,00%
05-Jan	25	1	24	92,31%
06-Jan	22	4	18	69,23%
07-Jan	6	4	2	20,00%
09-Jan	20	1	19	90,48%
10-Jan	33	5	28	73,68%
11-Jan	12	0	12	100,00%
12-Jan	14	0	14	100,00%
13-Jan	7	1	6	75,00%
14-Jan	10	6	4	25,00%
16-Jan	29	3	26	81,25%
17-Jan	30	20	10	20,00%
18-Jan	25	2	23	85,19%
19-Jan	28	10	18	47,37%
20-Jan	34	10	24	54,55%
21-Jan	10	4	6	42,86%
25-Jan	41	14	27	49,09%
26-Jan	27	7	20	58,82%
27-Jan	37	6	31	72,09%
28-Jan	15	6	9	42,86%
30-Jan	11	7	4	22,22%
31-Jan	41	4	37	82,22%
Total Selama Bulan Januari 2024	518	115	403	63,67%

GAMBAR 10
(PENURUNAN TOTAL PERJALANAN KOSONG SETELAH PROSES OPTIMASI PENJADWALAN TRUK)

Penurunan signifikan dalam perjalanan kosong ini juga berdampak langsung pada pengurangan keterlambatan pesanan. Optimasi jadwal truk yang lebih efisien tidak hanya mengurangi perjalanan kosong, tetapi juga menurunkan total keterlambatan pesanan selama bulan Januari, dari 607 pesanan yang terlambat pada kondisi eksisting menjadi hanya 128 pesanan yang terlambat pada kondisi usulan. Hal ini berarti terjadi penurunan sebesar 479 pesanan terlambat atau sekitar 65,17%.

Tanggal	Pesanan yang Terlambat (Eksisting)	Pesanan yang Terlambat (Usulan)	Selisih Penurunan Antara Kondisi Aktual dan Eksisting	Persentase Penurunan
03-Jan	29	0	29	100,00%
04-Jan	20	0	20	100,00%
05-Jan	30	1	29	93,55%
06-Jan	32	4	28	77,78%
07-Jan	7	4	3	27,27%
09-Jan	25	2	23	85,19%
10-Jan	38	6	32	72,73%
11-Jan	17	0	17	100,00%
12-Jan	16	0	16	100,00%
13-Jan	10	1	9	81,82%
14-Jan	15	7	8	36,36%
16-Jan	34	3	31	83,78%
17-Jan	37	20	17	29,82%
18-Jan	30	2	28	87,50%
19-Jan	31	12	19	44,19%
20-Jan	45	11	34	60,71%
21-Jan	13	4	9	52,94%
25-Jan	45	14	31	52,54%
26-Jan	32	7	25	64,10%
27-Jan	42	8	34	68,00%
28-Jan	18	8	10	38,46%
30-Jan	17	7	10	41,67%
31-Jan	24	7	17	54,84%
Total Selama Bulan Januari 2024	607	128	479	65,17%

GAMBAR 11
(PENURUNAN TOTAL PESANAN YANG TERLAMBAT SETELAH PROSES OPTIMASI PENJADWALAN TRUK)

Selain itu, penurunan total pesanan yang terlambat ini juga berdampak pada penurunan biaya keterlambatan. Biaya keterlambatan yang awalnya mencapai RM 10.400, kini menurun menjadi RM 1.936, seiring dengan berkurangnya jumlah pesanan yang terlambat. Meskipun penjadwalan truk menggunakan algoritma SANE belum mencapai target perusahaan untuk menghilangkan biaya keterlambatan sepenuhnya (RM 0), optimasi ini tetap dinilai layak karena berhasil menurunkan total biaya keterlambatan secara signifikan.

V. KESIMPULAN

Optimasi penjadwalan truk di Pelabuhan Barat PT XYZ menggunakan algoritma SANE terbukti efektif dalam mengurangi perjalanan kosong, total keterlambatan pesanan, dan biaya keterlambatan selama Januari 2024. Dengan penurunan perjalanan kosong dari 518 menjadi 115 kali (sekitar 63,67%) dan keterlambatan pesanan dari 607 menjadi 128 pesanan (65,17%), biaya keterlambatan juga berkurang signifikan, dari RM 10.400 menjadi RM 1.936. meskipun belum mencapai target biaya keterlambatan RM 0, optimasi ini tetap dinilai layak karena mampu meningkatkan efisiensi dan mengurangi beban biaya secara signifikan.

REFERENSI

[1] K. Baker, *Introduction to Sequencing and Scheduling*. Wiley, 1974.
 [2] L. Heilig and S. VoB, "Inter-terminal transportation: an annotated bibliography and research agenda," *Springer*, pp. 36–38, 2016.
 [3] M. Ramadhan, I. Kamal, D. K., and H. Bae, "Solving the Inter-Terminal Truck Routing Problem for Delay Minimization Using Simulated Annealing with Normalized Exploration Rate," *Journal of Marine Science and Engineering*, 2023.

[4] S. Jiuzeng and D. Yi, "Research on integrated scheduling strategy of inter-terminal container transportation," *Civil Engineering and Urban Research*, 2023.

[5] Q. Xiao, F. Li, X. Ge, and X. Yu, "Research on scheduling optimization of internal trucks for," *Journal of Physics: Conference*, 2022.

