

MODEL MATEMATIKA PENJADWALAN ANGKUTAN MILITER UNTUK MENDUKUNG ADMINISTRASI LOGISTIK TERPADU MENGGUNAKAN *MATLAB*

Anung Nugroho¹, Yuwono²

Prodi Administrasi Pertahanan, Akademi Militer, Magelang^{1,2}
anungnugroho2010@gmail.com¹, muhyuwono2294@gmail.com²

* Corresponding Author

Abstrak

Efisiensi distribusi logistik militer merupakan faktor krusial dalam mendukung kesiapan operasional dan administrasi terpadu. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model matematika penjadwalan angkutan militer berbasis *MATLAB* untuk memaksimalkan efisiensi alokasi kendaraan, rute, dan kapasitas muatan. Metode penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan data simulasi distribusi logistik selama tujuh periode, melibatkan lima pangkalan, empat lokasi tujuan, dan delapan kendaraan (truk 5 ton, truk 10 ton, APC, helikopter). Analisis dilakukan melalui penghitungan jarak tempuh, biaya operasional, muatan, dan tingkat efisiensi distribusi. Hasil menunjukkan total jarak per periode berkisar 2.160–2.480 km, biaya operasional Rp 388,8–478,4 juta, serta efisiensi distribusi 40,7–61,5%. Truk dominan dalam pemenuhan muatan, sedangkan helikopter meningkatkan fleksibilitas dengan biaya lebih tinggi. Temuan ini membuktikan model matematika mampu memberikan panduan perencanaan angkutan militer yang efisien, adaptif, dan mendukung pengambilan keputusan logistik terpadu.

Kata kunci: Angkutan Militer; Efisiensi; Logistik; *MATLAB*; Penjadwalan.

Matematical Model of Military Transport Scheduling to Support Integrated Logistics Administration Using MATLAB

Abstract

The efficiency of military logistics distribution is a crucial factor in supporting integrated operational and administrative readiness. This study aims to develop a MATLAB-based mathematical model for military transport scheduling to maximise the efficiency of vehicle allocation, routes, and load capacity. The research method uses a descriptive quantitative approach with simulated logistics distribution data over seven periods, involving five bases, four destination locations, and eight vehicles (5-ton trucks, 10-ton trucks, APCs, helicopters). The analysis was conducted by calculating the distance travelled, operational costs, load, and distribution efficiency level. The results show that the total distance per period ranges from 2,160 to 2,480 km, operational costs from Rp 388.8 to 478.4 million, and distribution efficiency from 40.7 to 61.5%. Trucks are dominant in fulfilling loads, while helicopters increase flexibility at a higher cost. These findings prove that mathematical models can provide guidance for efficient, adaptive military transport planning and support integrated logistics decision-making.

Keywords: Military Transport; Efficiency; Logistics; *MATLAB*; Scheduling.

PENDAHULUAN

Distribusi logistik militer merupakan salah satu aspek paling kritis dalam mendukung operasi pertahanan yang efektif (Ekström et al., 2020; Mishra et al., 2018). Efisiensi alokasi kendaraan, pemilihan rute, dan pengaturan muatan tidak hanya memengaruhi kesiapan tempur, tetapi juga berdampak signifikan terhadap biaya operasional dan keberlanjutan administrasi logistik. Dalam konteks modern, kebutuhan akan sistem logistik yang cepat, terintegrasi, dan adaptif semakin meningkat, terutama ketika menghadapi dinamika operasional yang kompleks di berbagai lokasi strategis. Hal ini menuntut penerapan metode ilmiah dan sistematis dalam perencanaan angkutan militer (Fedorovich et al., 2022).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menyoroti pentingnya optimasi distribusi logistik militer. Metode berbasis *linear programming*, *heuristic*, dan simulasi komputer telah banyak digunakan untuk meminimalkan biaya dan waktu tempuh, serta memaksimalkan pemanfaatan kapasitas kendaraan (McConnell et al., 2021). Studi terdahulu menunjukkan bahwa model matematika dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi pengiriman logistik dengan memperhitungkan variabel kendaraan, jarak, dan kapasitas muatan (Chobar et al., 2024).

Meski demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih terbatas pada skala simulasi tertentu atau tidak mengintegrasikan berbagai jenis kendaraan secara simultan, termasuk truk, *armoured*



personnel carrier (APC), dan helikopter (Bury, 2021). Selain itu, beberapa studi kurang menekankan aspek administratif yang terkait dengan perencanaan terintegrasi antar pangkalan dan lokasi tujuan. Hal ini menciptakan kesenjangan praktis bagi pengambil keputusan di tingkat militer, yang memerlukan sistem perencanaan yang tidak hanya optimal secara teknis, tetapi juga kompatibel dengan proses administrasi logistik yang ada (Juan et al., 2022).

Kesenjangan literatur tersebut menegaskan perlunya model penjadwalan angkutan militer yang terintegrasi, mampu memadukan berbagai moda transportasi, dan secara simultan mempertimbangkan jarak, biaya, serta kapasitas kendaraan. Selain itu, implementasi berbasis *MATLAB* memungkinkan integrasi algoritma optimasi dengan visualisasi data dan simulasi skenario realistis, sehingga hasilnya dapat langsung digunakan dalam pengambilan keputusan logistik (Kay, 2016).

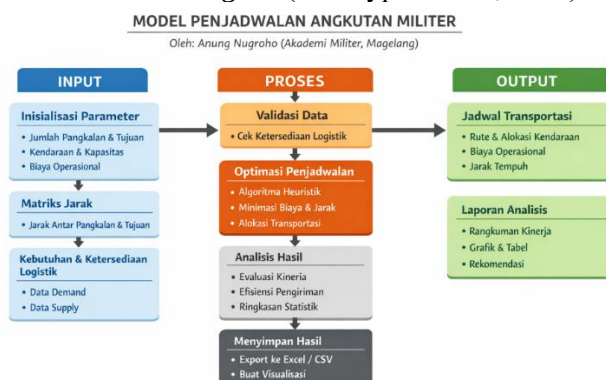
Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematika penjadwalan angkutan militer berbasis *MATLAB* untuk mendukung administrasi logistik terpadu. Model ini dirancang untuk menghitung distribusi kendaraan secara optimal, menentukan rute terbaik, serta memaksimalkan efisiensi pemanfaatan kapasitas angkut pada periode perencanaan tertentu (Kurasov, 2020). Penekanan diberikan pada integrasi antara efisiensi operasional dan kesesuaian dengan proses administratif.

Kebaruan penelitian ini terletak pada pendekatan terintegrasi yang menggabungkan beberapa jenis kendaraan (truk, *APC*, dan helikopter) dalam satu model, sekaligus memperhitungkan faktor biaya, jarak, dan kapasitas angkut. Selain itu, model ini mampu mensimulasikan distribusi logistik harian secara realistis, sehingga dapat memberikan panduan kuantitatif yang jelas bagi perencana logistik militer dalam membuat keputusan operasional dan administratif (Mishra et al., 2018; Mohammed et al., 2017).

Urgensi penelitian semakin diperkuat oleh meningkatnya tuntutan efisiensi anggaran pertahanan dan kompleksitas operasi di berbagai wilayah strategis. Dengan memanfaatkan *MATLAB*, perencanaan distribusi dapat dilakukan secara cepat, akurat, dan dapat disesuaikan dengan skenario yang berubah, sehingga membantu meminimalkan kesalahan perencanaan dan mengoptimalkan penggunaan armada militer (Wang et al., 2021). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi terhadap pengembangan metodologi distribusi logistik militer, tetapi juga menghasilkan alat bantu perencanaan yang aplikatif bagi administrasi logistik terpadu. Model yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya, sekaligus memberikan dasar bagi pengambilan keputusan strategis dalam operasi militer modern.

METODE

Metode penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan memanfaatkan pemodelan matematika dan simulasi komputasi berbasis *MATLAB (R2021a version)* untuk menyusun penjadwalan angkutan militer secara terintegrasi (Oszczypała et al., 2023).



Gambar 1. Diagram Alir Proses Penelitian

Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan dan inisialisasi data input yang meliputi jumlah pangkalan dan lokasi tujuan, karakteristik kendaraan angkut (kapasitas, kecepatan, dan biaya operasional), matriks jarak, serta data kebutuhan (*demand*) dan ketersediaan logistik (*supply*) pada setiap periode waktu (Kay, 2016; Oszczypała et al., 2023).

Tabel 1. Parameter Sistem

Parameter	Nilai	Satuan	Keterangan
Jumlah Pangkalan (n_{bases})	5	unit	Titik asal logistik
Jumlah Tujuan ($n_{destinations}$)	4	unit	Titik tujuan pengiriman
Jumlah Kendaraan ($n_{vehicles}$)	8	unit	Total armada tersedia
Periode Waktu ($n_{periods}$)	7	hari	Horizon perencanaan

Tabel 2. Spesifikasi Kendaraan

Kendaraan	Kapasitas (ton)	Kecepatan (km/jam)	Biaya per km (juta Rp)
Truck 5T	5	60	0,05
Truck 10T	10	50	0,08
APC	3	70	0,15
Heli	2	150	0,50

Tabel 3. Matriks Jarak (km)

Dari / Ke	Lokasi 1	Lokasi 2	Lokasi 3	Lokasi 4
Pangkalan A	120	180	250	300
Pangkalan B	200	150	180	220
Pangkalan C	160	210	140	190
Pangkalan D	280	240	200	160
Pangkalan E	150	190	230	270

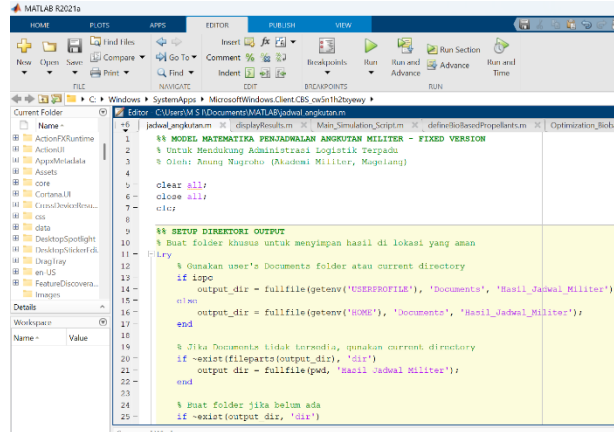
Tabel 4. Kebutuhan Logistik - Demand (ton)

Tujuan	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7
Lokasi 1	15	20	18	22	16	19	21
Lokasi 2	18	16	20	19	17	18	20
Lokasi 3	12	15	13	16	14	15	17
Lokasi 4	20	18	22	21	19	20	23
Total	65	69	73	78	66	72	81

Tabel 5. Ketersediaan Logistik - Supply (ton)

Pangkalan	Hari 1	Hari 2	Hari 3	Hari 4	Hari 5	Hari 6	Hari 7
Pangkalan A	30	32	28	35	30	33	36
Pangkalan B	25	28	26	30	27	29	31
Pangkalan C	20	22	21	24	22	23	25
Pangkalan D	28	26	29	27	28	30	32
Pangkalan E	22	24	23	26	24	25	27
Total	125	132	127	142	131	140	151

Selanjutnya dilakukan proses validasi data untuk memastikan kecukupan *supply* terhadap *demand* sebelum tahap optimasi. Proses optimasi penjadwalan dilaksanakan menggunakan pendekatan *heuristic greedy* untuk menentukan alokasi kendaraan, rute distribusi, jarak tempuh, dan biaya operasional secara efisien pada setiap periode (McConnell et al., 2021; Mishra et al., 2018; Wang et al., 2021). Hasil optimasi kemudian dianalisis melalui perhitungan indikator kinerja seperti total biaya, total jarak tempuh, jumlah logistik terangkut, dan tingkat efisiensi pengiriman. Tahap akhir penelitian mencakup penyajian hasil dalam bentuk visualisasi grafis serta ekspor data ke dalam format CSV sebagai dasar evaluasi dan pengambilan keputusan dalam administrasi logistik militer terpadu (Setiawan et al., 2019).



Gambar 2. Script code MATLAB dalam Penelitian

Penelitian ini mengembangkan model matematika untuk optimasi penjadwalan angkutan militer menggunakan pendekatan *Vehicle Routing Problem (VRP)* dengan karakteristik *multi-depot*, *multi-period*, dan *heterogeneous fleet* (Agárdi et al., 2022; Mancini, 2016; Mohammed et al., 2017). Model dirancang untuk meminimalkan total biaya operasional transportasi logistik militer sambil memenuhi seluruh kebutuhan di lokasi tujuan dengan mempertimbangkan keterbatasan ketersediaan kendaraan dan *supply* di setiap pangkalan (Mancini, 2016; Setiawan et al., 2019).

Indeks dan Himpunan

i	$\in I = \{1, 2, \dots, n_{bases}\}$	Indeks pangkalan
j	$\in J = \{1, 2, \dots, n_{destinations}\}$	Indeks lokasi tujuan
k	$\in K = \{1, 2, \dots, n_{vehicles}\}$	Indeks kendaraan
t	$\in T = \{1, 2, \dots, n_{periods}\}$	Indeks periode waktu

Parameter

d_{ij}	= Jarak dari pangkalan i ke tujuan j (km)
c_k	= Biaya operasional kendaraan k per km (Juta Rp/km)
q_k	= Kapasitas kendaraan k (ton)
v_k	= Kecepatan kendaraan k (km/jam)
D_{jt}	= Demand di tujuan j pada periode t (ton)
S_{it}	= Supply di pangkalan i pada periode t (ton)

Minimasi Total Biaya:

$$\min Z = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (2 \cdot d_{ij} \cdot c_k \cdot x_{ijk}^t)$$

Keterangan, faktor 2 untuk memperhitungkan perjalanan pulang-pergi (*round trip*) dan Z adalah total biaya operasional (Juta Rp) (Agárdi et al., 2022; Kay, 2016; Mohammed et al., 2017). Dengan batasan antara lain yaitu:

Constraint 1: Pemenuhan Kebutuhan (Demand Fulfillment)

$$\sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^K m_{ijk}^t \geq D_{jt}, \forall j \in J, \forall t \in T$$

Constraint 2: Batasan Ketersediaan (Supply Limitation)

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K m_{ijk}^t \leq S_{it}, \forall i \in I, \forall t \in T$$

Constraint 3: Kapasitas Kendaraan

$$m_{ijk}^t \leq q_k \cdot x_{ijk}^t, \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall t \in T$$

Constraint 4: Ketersediaan Kendaraan (One Trip per Vehicle)

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J x_{ijk}^t \leq 1, \forall k \in K, \forall t \in T$$

Constraint 5: Non-Negativity dan Binary

$$x_{ijk}^t \in \{0,1\}, \forall i, j, k, t$$

$$m_{ijk}^t \geq 0, \forall i, j, k, t$$

Total Jarak Tempuh:

$$\text{Total Distance} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K (2 \cdot d_{ij} \cdot x_{ijk}^t)$$

Total Muatan Terangkut:

$$\text{Total Transport} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K m_{ijk}^t$$

Efisiensi Pengiriman:

$$\eta_t = \frac{\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K m_{ijk}^t}{\sum_{j=1}^J D_{jt}} \times 100\%$$

Waktu Tempuh:

$$W_{ijk}^t = \frac{2 \cdot d_{ij}}{v_k} \cdot x_{ijk}^t (\text{jam})$$

Biaya per Ton:

$$\text{Cost per Ton}_t = \frac{\sum_{i,j,k} (2 \cdot d_{ij} \cdot c_k \cdot x_{ijk}^t)}{\sum_{i,j,k} m_{ijk}^t}$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

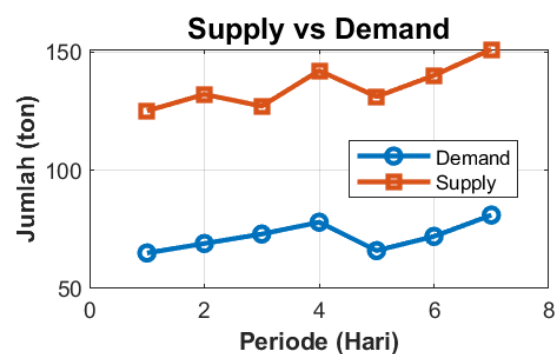
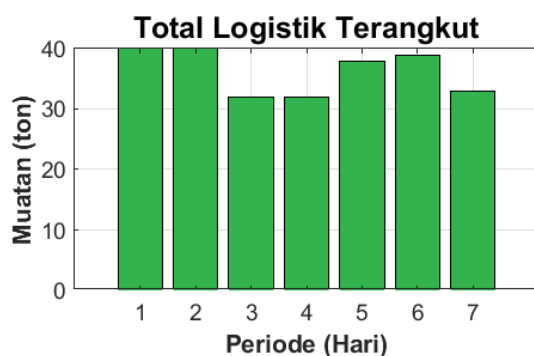
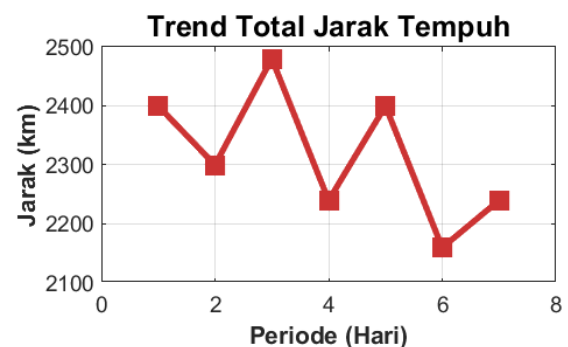
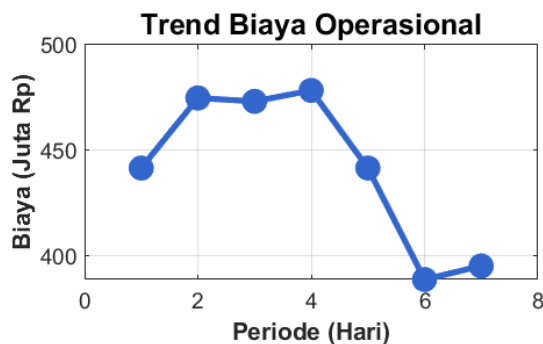
Berdasarkan hasil simulasi distribusi logistik selama tujuh periode perencanaan, diperoleh variasi kinerja distribusi yang dipengaruhi oleh perbedaan rute, jenis kendaraan, serta kapasitas angkut yang digunakan pada setiap periode. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total jarak tempuh distribusi berada pada rentang 2.160–2.480 km per periode, dengan total biaya operasional berkisar antara Rp388,8 juta hingga Rp478,4 juta. Variasi ini menunjukkan bahwa perubahan kombinasi armada dan rute distribusi memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi sistem logistik pertahanan (Agárdi et al., 2022).

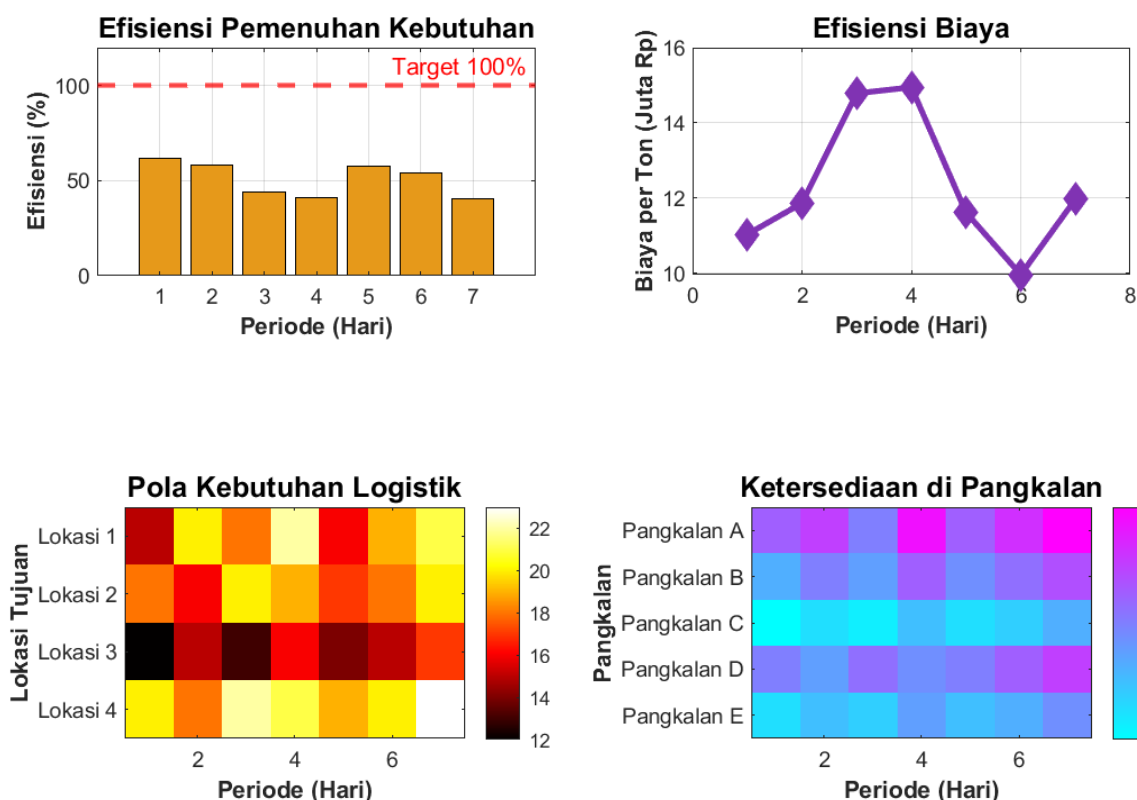
Tabel 6. Proses Optimasi Penjadwalan Angkutan Militer

Periode (Hari)	Total Biaya (Rp juta)	Total Jarak (km)	Total Angkutan (ton)	Efisiensi (%)
1	441.60	2400	40	61,54
2	474.80	2300	40	57,97
3	473.20	2480	32	43,84
4	478.40	2240	32	41,03
5	441.60	2400	38	57,58
6	388.80	2160	39	54,17
7	395.20	2240	33	40,74

Analisis lebih lanjut memperlihatkan bahwa penggunaan kendaraan darat, khususnya truk 5 ton dan 10 ton, memberikan kontribusi terbesar terhadap pemenuhan muatan logistik dengan biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan moda udara. Pada beberapa periode, seperti periode ke-1 dan ke-5, pemanfaatan truk sebagai moda utama mampu menghasilkan tingkat efisiensi distribusi di atas 57%, meskipun tetap melibatkan dukungan helikopter dan APC untuk memenuhi kebutuhan lokasi dengan tingkat urgensi tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa kendaraan darat memiliki peran dominan dalam distribusi logistik rutin, sedangkan kendaraan udara berfungsi sebagai elemen pendukung dalam kondisi tertentu (Mohammed et al., 2017).

Sebaliknya, peningkatan penggunaan helikopter secara signifikan berdampak langsung terhadap kenaikan biaya operasional. Hal ini terlihat pada periode ke-2 dan ke-4, dimana total biaya distribusi mencapai nilai tertinggi meskipun total muatan yang diangkut relatif tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Temuan ini memperkuat karakteristik umum sistem logistik pertahanan bahwa moda udara memiliki keunggulan dari sisi kecepatan dan fleksibilitas, namun kurang efisien apabila digunakan secara masif tanpa mempertimbangkan prioritas dan urgensi distribusi (Mishra et al., 2018).





Gambar 3. Dashboard Analisis

Hasil simulasi diatas menunjukkan keterkaitan yang erat antara biaya operasional, jarak tempuh, kapasitas angkutan, serta tingkat efisiensi pemenuhan kebutuhan logistik dalam sistem administrasi logistik terpadu. Berdasarkan grafik tren biaya operasional, terlihat bahwa biaya mengalami peningkatan pada periode ke-2 hingga ke-4, kemudian menurun signifikan pada periode ke-6 dan sedikit meningkat kembali pada periode ke-7. Pola ini menunjukkan bahwa biaya sangat dipengaruhi oleh kombinasi antara jarak tempuh dan volume muatan yang diangkut. Penurunan biaya pada periode akhir mengindikasikan adanya penyesuaian penjadwalan dan rute yang lebih efisien dalam model.

Grafik tren total jarak tempuh memperlihatkan fluktuasi jarak yang relatif dinamis, dengan jarak maksimum terjadi pada periode ke-3 dan minimum pada periode ke-6. Kondisi ini menandakan bahwa model penjadwalan mampu mengadaptasi rute distribusi sesuai kebutuhan operasional, sehingga tidak selalu mempertahankan jarak terpanjang meskipun demand meningkat. Hal ini menjadi bukti bahwa model tidak hanya berorientasi pada pemenuhan kebutuhan, tetapi juga pada optimalisasi rute transportasi.

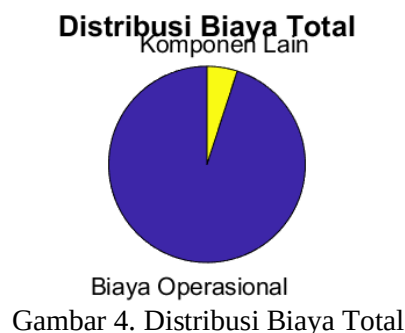
Pada aspek total logistik terangkut, terlihat bahwa muatan tertinggi terjadi pada periode ke-1 dan ke-2, sedangkan periode ke-3 dan ke-4 mengalami penurunan. Variasi ini selaras dengan perubahan demand di lokasi tujuan. Meskipun demikian, sistem tetap mampu menjaga kontinuitas distribusi tanpa terjadi kekurangan pasokan yang ekstrem, menunjukkan keandalan model dalam mengatur kapasitas angkutan.

Perbandingan *supply* dan *demand* menunjukkan bahwa total *supply* selalu berada di atas *demand* pada seluruh periode. Kondisi ini menandakan adanya *buffer* logistik yang penting dalam konteks operasi militer, guna mengantisipasi kondisi darurat dan ketidakpastian lapangan. Namun, kelebihan *supply* tersebut berdampak pada efisiensi pemenuhan kebutuhan yang belum mencapai target ideal 100%.

Hal ini diperkuat oleh grafik efisiensi pemenuhan kebutuhan, yang menunjukkan efisiensi berkisar antara 40% hingga 60%. Nilai efisiensi tertinggi terjadi pada periode ke-1 dan ke-5, sedangkan efisiensi terendah terjadi pada periode ke-4 dan ke-7. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun kebutuhan terpenuhi, masih terdapat potensi peningkatan sinkronisasi antara *supply*, *demand*, dan kapasitas angkut agar sistem menjadi lebih optimal.

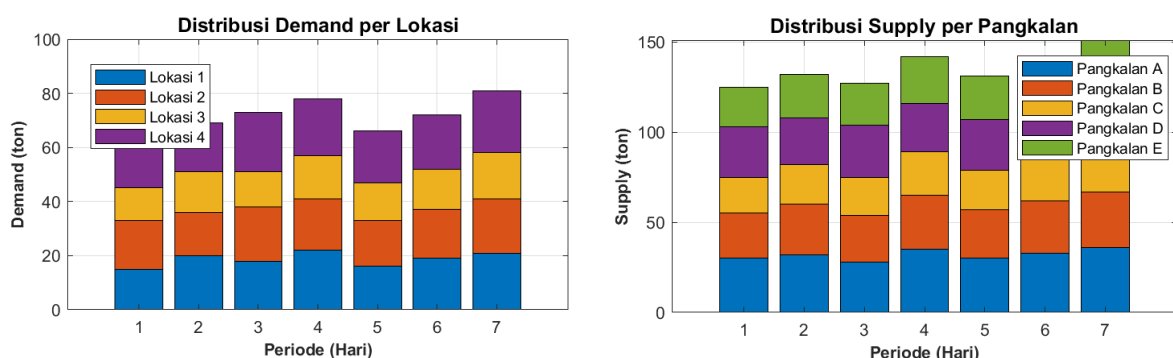
Analisis pola kebutuhan logistik menunjukkan bahwa Lokasi 4 memiliki kebutuhan paling tinggi dan relatif konsisten, sedangkan Lokasi 3 memiliki kebutuhan paling rendah. Informasi ini penting dalam penentuan prioritas distribusi dan perencanaan penugasan armada. Sementara itu, grafik ketersediaan di pangkalan memperlihatkan bahwa Pangkalan D dan A memiliki kapasitas *supply* yang lebih besar dan stabil, menjadikannya sebagai pusat distribusi utama dalam sistem.

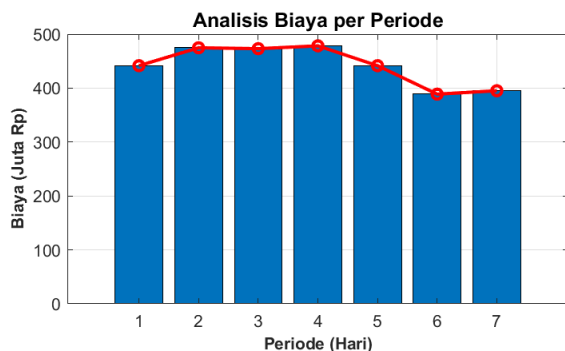
Selanjutnya, grafik efisiensi biaya menunjukkan bahwa biaya per ton terendah terjadi pada periode ke-6, sedangkan biaya tertinggi terjadi pada periode ke-3 dan ke-4. Hal ini mengonfirmasi bahwa periode dengan jarak tempuh tinggi dan efisiensi pemanfaatan muatan rendah akan menghasilkan biaya logistik yang lebih mahal.



Dari sisi distribusi biaya total, terlihat bahwa biaya operasional mendominasi komponen biaya secara signifikan dibandingkan komponen lain. Hal ini menegaskan bahwa aspek transportasi merupakan faktor paling krusial dalam sistem logistik militer, sehingga optimalisasi jadwal, rute, dan pemanfaatan armada menjadi kunci utama dalam pengendalian biaya (Loska et al., 2025).

Hasil penelitian ini membuktikan bahwa model matematika penjadwalan angkutan militer berbasis *MATLAB* mampu mendukung administrasi logistik terpadu dengan memberikan gambaran kuantitatif terkait hubungan antara biaya, jarak, *supply-demand*, dan efisiensi. Model ini dapat dijadikan alat bantu pengambilan keputusan strategis dalam perencanaan dan evaluasi operasi logistik militer, serta memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut melalui optimasi lanjutan dan integrasi data operasional *real-time*.





STATISTIK RINGKASAN

Total Biaya: Rp 3093.60 juta
Rata-rata Biaya: Rp 441.94 juta
Std Dev Biaya: Rp 37.41 juta

Total Jarak: 16220.00 km
Rata-rata Jarak: 2317.14 km

Total Transport: 254.00 ton
Efisiensi Rata-rata: 50.98%
Efisiensi Minimum: 40.74%
Efisiensi Maksimum: 61.54%

Gambar 5. Analisis Distribusi *Demand*, *Supply*, dan Biaya per Periode

Berdasarkan hasil simulasi diatas, diperoleh gambaran komprehensif mengenai keterkaitan antara demand logistik, *supply* pangkalan, biaya transportasi, dan efisiensi distribusi dalam periode perencanaan tujuh hari. Distribusi *demand* per lokasi menunjukkan adanya fluktuasi kebutuhan logistik di empat lokasi tujuan. Lokasi 4 secara konsisten memiliki demand relatif paling tinggi dibandingkan lokasi lain, terutama pada periode ke-4 dan ke-7. Hal ini mengindikasikan bahwa lokasi tersebut merupakan prioritas utama dalam perencanaan angkutan, sehingga memerlukan alokasi armada dan jadwal pengiriman yang lebih optimal. Sementara itu, variasi *demand* pada lokasi lain mencerminkan dinamika kebutuhan operasional yang harus direspons secara adaptif oleh sistem penjadwalan.

Pada sisi *supply*, distribusi pasokan dari lima pangkalan memperlihatkan bahwa Pangkalan D dan E memiliki kontribusi *supply* yang cukup besar dan stabil sepanjang periode. Kondisi ini menunjukkan peran strategis pangkalan tersebut sebagai *hub* logistik utama dalam sistem angkutan militer. Ketidakseimbangan *supply* antar pangkalan juga menjadi faktor penting yang memengaruhi keputusan penugasan rute dan frekuensi pengiriman dalam model matematis yang dikembangkan (Fedorovich et al., 2022).

Analisis biaya per periode memperlihatkan bahwa biaya transportasi mengalami puncak pada periode ke-2 hingga ke-4, dengan nilai mendekati Rp 480 juta, kemudian menurun pada periode ke-6 dan ke-7. Pola ini sejalan dengan meningkatnya total demand dan jarak tempuh pada periode tengah perencanaan. Total biaya kumulatif sebesar Rp 3.093,60 juta dengan standar deviasi Rp 37,41 juta menunjukkan bahwa model mampu menjaga stabilitas biaya meskipun menghadapi variasi *demand* dan *supply*.

Dari aspek jarak dan efisiensi, total jarak tempuh mencapai 16.220 km dengan rata-rata 2.317,14 km per periode. Nilai efisiensi rata-rata sebesar 50,98%, dengan efisiensi maksimum 61,54% dan minimum 40,74%, mengindikasikan bahwa model penjadwalan telah mampu menghasilkan pemanfaatan kapasitas angkutan yang cukup baik, meskipun masih terdapat ruang untuk peningkatan, khususnya pada periode dengan efisiensi rendah (Żółtowski et al., 2022).

Tabel 7. Penjadwalan Angkutan Hasil Optimasi Model Matematika

Periode (hari)	Kendaraan (2 unit)	Rute (Dari – Ke)	Jarak (km)	Biaya (juta Rp)	Muatan (ton)
1	Truck 5T	Pangkalan D → Lokasi 4	640	32,0	10
	Truck 10T	Pangkalan D/B → Lokasi 4/2	620	49,6	20
	APC	Pangkalan B → Lokasi 2	600	90,0	6
	Heli	Pangkalan A/B → Lokasi 1/2	540	270,0	4
2	Truck 5T	Pangkalan A → Lokasi 1	480	24,0	10
	Truck 10T	Pangkalan A/D → Lokasi 1/4	560	44,8	20
	APC	Pangkalan D → Lokasi 4	640	96,0	6
	Heli	Pangkalan B/D → Lokasi 2/4	620	310,0	4
3	Truck 5T	Pangkalan D → Lokasi 4	640	32,0	10
	Truck 10T	Pangkalan D → Lokasi 4	640	51,2	12
	APC	Pangkalan B → Lokasi 2	600	90,0	6
	Heli	Pangkalan B → Lokasi 2	600	300,0	4

4	<i>Truck 5T</i>	Pangkalan A → Lokasi 1	480	24,0	10
	<i>Truck 10T</i>	Pangkalan A → Lokasi 1	480	38,4	12
	<i>APC</i>	Pangkalan D → Lokasi 4	640	96,0	6
	<i>Helikopter</i>	Pangkalan D → Lokasi 4	640	320,0	4
5	<i>Truck 5T</i>	Pangkalan D → Lokasi 4	640	32,0	10
	<i>Truck 10T</i>	Pangkalan D/B → Lokasi 4/2	620	49,6	19
	<i>APC</i>	Pangkalan B → Lokasi 2	600	90,0	6
	<i>Heli</i>	Pangkalan A/B → Lokasi 1/2	540	270,0	3
6	<i>Truck 5T</i>	Pangkalan D → Lokasi 4	640	32,0	10
	<i>Truck 10T</i>	Pangkalan D/A → Lokasi 4/1	560	44,8	20
	<i>APC</i>	Pangkalan A → Lokasi 1	480	72,0	6
	<i>Heli</i>	Pangkalan A → Lokasi 1	480	240,0	3
7	<i>Truck 5T</i>	Pangkalan D → Lokasi 4	640	32,0	10
	<i>Truck 10T</i>	Pangkalan D → Lokasi 4	640	51,2	13
	<i>APC</i>	Pangkalan A → Lokasi 1	480	72,0	6
	<i>Heli</i>	Pangkalan A → Lokasi 1	480	240,0	4

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa model matematika penjadwalan angkutan militer berbasis *MATLAB* ini efektif dalam mendukung administrasi logistik terpadu. Model mampu mengintegrasikan variabel demand, supply, biaya, dan jarak tempuh secara sistematis, sehingga dapat digunakan sebagai alat bantu pengambilan keputusan dalam perencanaan operasi logistik militer yang lebih efisien, adaptif, dan terukur (Loska et al., 2025; Mohammed et al., 2017; Qiang et al., 2020).

SIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa model matematika penjadwalan angkutan militer berbasis *MATLAB* mampu meningkatkan efisiensi distribusi logistik dengan mengoptimalkan pemilihan rute, alokasi kendaraan, dan kapasitas muatan secara terpadu, sehingga mendukung administrasi logistik militer yang lebih terstruktur dan adaptif. Secara teoretis, temuan ini menegaskan pentingnya integrasi berbagai moda transportasi dan variabel operasional dalam perencanaan logistik, memperluas pemahaman tentang pengaruh kombinasi kendaraan darat dan udara terhadap efisiensi sistem. Secara praktis, model ini dapat dijadikan alat bantu pengambilan keputusan untuk mengalokasikan armada secara optimal dan menurunkan biaya operasional di lapangan. Keterbatasan penelitian mencakup penggunaan data simulasi dan asumsi kapasitas tetap pada setiap kendaraan, yang mungkin berbeda pada kondisi nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Agárdi, A., Kovács, L., & Bányai, T. (2022). Mathematical Model for the Generalized VRP Model. *Sustainability (Switzerland)*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/su141811639>
- Bury, P. (2021). Conceptualising the quiet revolution: the post-Fordist revolution in western military logistics. *European Security*, 30(1), 112–136. <https://doi.org/10.1080/09662839.2020.1796650>
- Chobar, A. P., Bigdeli, H., Shamami, N., & Abolghasemian, M. (2024). Optimizing Hub Location for Military Equipment: A Robust Mathematical Model for Uncertainty and Meta-Heuristic Approaches. *Fuzzy Optimization and Modelling Journal*, 5(4), 44–59. <https://doi.org/10.71808/2024.fomj./1002657>
- Ekström, T., Hilletoft, P., & Skoglund, P. (2020). Differentiation strategies for defence supply chain design. *Journal of Defense Analytics and Logistics*, 4(2), 183–202. <https://doi.org/10.1108/JDAL-06-2020-0011>
- Fedorovich, O., Chepkov, I., Lukhanin, M., Pronchakov, Y., Rybka, K., & Leshchenko, Y. (2022). Modeling of Supply Logistics and Training of Military Personnel for the Successful Use of Weapons in a Combat Area. *Radioelectronic and Computer Systems*, 2022(3), 33–46. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.3.03>
- Juan, L., Haliza, J., & Zahari, M. (2022). Military Strategy: Exploitation of Military Logistics Intelligence for the Malaysian Armed Forces. *The Journal of Defence and Security*, 16(1), 2022.

- Kay, M. G. (2016). Matlog: Logistics Engineering Using Matlab. *Araştırma Makalesi Suleyman Demirel University Journal of Engineering Sciences and Design*, 4(1), 1308–6693.
- Kurasov, D. (2020). Mathematical modeling system MatLab. *Journal of Physics: Conference Series*, 1691(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1691/1/012123>
- Loska, D., Hazen, B., Rich, N., Genchev, S., & Malik, T. (2025). Military Supply Chain Logistics and Dynamic Capabilities: A Literature Review and Synthesis. *Transportation Journal*, 64(2). <https://doi.org/10.1002/tjo3.70002>
- Mancini, S. (2016). A real-life Multi Depot Multi Period Vehicle Routing Problem with a Heterogeneous Fleet: Formulation and Adaptive Large Neighborhood Search based Matheuristic. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 70, 100–112. <https://doi.org/10.1016/j.trc.2015.06.016>
- McConnell, B. M., Hodgson, T. J., Kay, M. G., King, R. E., Liu, Y., Parlier, G. H., Thoney-Barletta, K., & Wilson, J. R. (2021). Assessing uncertainty and risk in an expeditionary military logistics network. *Journal of Defense Modeling and Simulation*, 18(2), 135–156. <https://doi.org/10.1177/1548512919860595>
- Mishra, B. K., Adhikari, T. N., Dahal, K., & Pervez, Z. (2018). Priority-Index Based Multi-Priority Relief Logistics Scheduling with Greedy Heuristic Search. *2018 5th International Conference on Information and Communication Technologies for Disaster Management, ICT-DM 2018*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/ICT-DM.2018.8636390>
- Mohammed, M. A., Abd Ghani, M. K., Hamed, R. I., Mostafa, S. A., Ahmad, M. S., & Ibrahim, D. A. (2017). Solving vehicle routing problem by using improved genetic algorithm for optimal solution. *Journal of Computational Science*, 21, 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.jocs.2017.04.003>
- Oszczypała, M., Ziolkowski, J., & Małachowski, J. (2023). Modelling the Operation Process of Light Utility Vehicles in Transport Systems Using Monte Carlo Simulation and Semi-Markov Approach. *Energies*, 16(5). <https://doi.org/10.3390/en16052210>
- Qiang, X., Appiah, M. Y., Boateng, K., & Appiah, F. V. W. (2020). Route optimization cold chain logistic distribution using greedy search method. *Opsearch*, 57(4), 1115–1130. <https://doi.org/10.1007/s12597-020-00459-4>
- Setiawan, F., Masrurroh, N. A., & Pramuditha, Z. I. (2019). On Modelling and Solving Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Multi-Trips and Multi-Products. *Jurnal Teknik Industri: Jurnal Keilmuan Dan Aplikasi Teknik Industri*, 21(2), 91–104. <https://doi.org/10.9744/jti.21.2.91-104>
- Wang, C.-L., Wang, Y., Zeng, Z.-Y., Lin, C.-Y., & Yu, Q.-L. (2021). Research on Logistics Distribution Vehicle Scheduling Based on Heuristic Genetic Algorithm. *Complexity*, 2021(1). <https://doi.org/10.1155/2021/8275714>
- Żółtowski, B., Simiński, P., & Kosiuczenko, K. (2022). Statistical procedures for determining of parameters for the evaluation of the condition and safety in logistic of military vehicles. *Systemy Logistyczne Wojsk*, 57(2), 143–160. <https://doi.org/10.37055/slww/163231>