

MODEL MATEMATIKA DALAM MENENTUKAN PRIORITAS DISTRIBUSI LOGISTIK PERTAHANAN MENGGUNAKAN MATLAB

*Anung Nugroho¹, Tjatur Supriyono²

Prodi Administrasi Pertahanan, Akademi Militer, Magelang^{1,2}
anungnugroho2010@gmail.com¹, tjatursupriyono96@gmail.com²

* Corresponding Author

Abstrak

Distribusi logistik pertahanan merupakan aspek kritis dalam mendukung kesiapan operasional, namun pengalokasian sumber daya terbatas masih menghadapi tantangan terkait prioritas dan efisiensi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan model matematika terintegrasi untuk menentukan prioritas distribusi logistik pertahanan menggunakan MATLAB. Metode yang diterapkan mencakup *Analytical Hierarchy Process (AHP)* untuk menentukan bobot kriteria, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* untuk ranking lokasi, *Linear Programming* untuk optimasi alokasi logistik, serta Simulasi *Monte Carlo* untuk menganalisis ketidakpastian. Hasil penelitian menunjukkan bobot kriteria tertinggi pada urgensi (0.4673), dengan Pangkalan A menempati peringkat pertama prioritas distribusi (skor 0.7719). Optimasi *linear programming* menghasilkan biaya total optimal -289448.37, sedangkan simulasi *Monte Carlo* menegaskan *robustness model* dengan tingkat keberhasilan 100% dan variasi biaya $\pm 2.66\%$. Model terintegrasi terbukti lebih efisien dibanding metode alternatif, memberikan kontribusi signifikan terhadap pengambilan keputusan logistik pertahanan.

Kata kunci: AHP; Linear Programming; Logistik Pertahanan; MATLAB Monte Carlo; TOPSIS

Mathematical Models in Determining Defence Logistics Distribution Priorities Using MATLAB

Abstract

Defence logistics distribution is a critical aspect in supporting operational readiness, but the allocation of limited resources still faces challenges related to priority and efficiency. This study aims to develop an integrated mathematical model to determine the priority of defence logistics distribution using MATLAB. The methods applied include the *Analytical Hierarchy Process (AHP)* to determine the weight of criteria, the *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* for location ranking, *Linear Programming* for logistics allocation optimisation, and *Monte Carlo Simulation* to analyse uncertainty. The results show that the highest criterion weight is urgency (0.4673), with Base A ranking first in distribution priority (score 0.7719). *Linear programming* optimisation produces an optimal total cost of -289,448.37, while *Monte Carlo* simulation confirms the robustness of the model with a success rate of 100% and cost variation of $\pm 2.66\%$. The integrated model has proven to be more efficient than alternative methods, contributing significantly to defence logistics decision-making.

Keywords: AHP; Linear Programming; Defence Logistics; MATLAB Monte Carlo; TOPSIS.

PENDAHULUAN

Distribusi logistik dalam konteks pertahanan merupakan elemen strategis yang menentukan efektivitas operasi militer dan keberhasilan misi pertahanan nasional. Kompleksitas pengambilan keputusan dalam alokasi logistik pertahanan melibatkan multiple stakeholders, kriteria yang saling berkonflik, keterbatasan sumber daya, dan kondisi operasional yang dinamis dan tidak pasti (Ekström, 2026). Ketidaktepatan dalam prioritas distribusi dapat mengakibatkan kegagalan misi, kerugian material, bahkan korban jiwa (Ekström et al., 2020; Serrano et al., 2023).

Dalam praktiknya, pengambilan keputusan distribusi logistik pertahanan masih banyak bergantung pada intuisi, pengalaman, dan metode konvensional yang kurang sistematis. Pendekatan tradisional seperti *First Come First Serve (FCFS)* atau distribusi merata cenderung mengabaikan perbedaan tingkat urgensi, kondisi geografis, dan dinamika ancaman di setiap lokasi (Pliekhova, 2024). Hal ini dapat mengakibatkan alokasi suboptimal, dimana lokasi dengan tingkat ancaman rendah mendapat prioritas yang sama dengan zona konflik aktif.



Perkembangan riset operasi dan *computational intelligence* telah memungkinkan pengembangan model matematika yang lebih *sophisticated* untuk mengatasi kompleksitas tersebut. Metode *Multi-Criteria Decision Making (MCDM)* seperti *Analytical Hierarchy Process (AHP)* dan *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* telah terbukti efektif dalam menangani problem dengan kriteria majemuk dan *trade-off* yang kompleks (Dordevic et al., 2022; Munayang, 2025). Sementara itu, teknik optimasi seperti *Linear Programming* memberikan solusi optimal dalam alokasi sumber daya dengan *constraint* yang kompleks (Dordevic et al., 2022; Sadabadi, 2021). Integrasi metode-metode tersebut dengan simulasi probabilistik dapat menghasilkan model yang robust terhadap ketidakpastian (Kay, 2016).

Namun demikian, literatur yang mengintegrasikan *multiple methods* secara komprehensif untuk konteks logistik pertahanan masih terbatas. Penelitian sebelumnya cenderung menggunakan *single method* atau kombinasi parsial, sehingga belum mampu menangkap kompleksitas problem secara holistik (Bury, 2021). Selain itu, implementasi komputasi yang *user-friendly* dan dapat direplikasi masih menjadi *gap* dalam literatur (Chobar et al., 2024).

MATLAB sebagai platform komputasi telah menjadi standar industri dan akademik untuk pemodelan matematika, optimasi, dan simulasi (Kay, 2016; Kurasov, 2020). Kemampuan *MATLAB* dalam menangani operasi matriks, algoritma optimasi, dan visualisasi data menjadikannya pilihan ideal untuk implementasi model matematika kompleks. Integrasi *AHP-TOPSIS-Linear Programming-Monte Carlo* dalam *environment MATLAB* dapat menghasilkan *Decision Support System (DSS)* yang *powerful* namun *accessible* (Juan et al., 2022).

Penelitian ini bertujuan mengembangkan model matematika terintegrasi berbasis *AHP-TOPSIS-Linear Programming-Monte Carlo* untuk mengoptimalkan prioritas distribusi logistik pertahanan secara objektif dan adaptif terhadap ketidakpastian. Model diimplementasikan dalam *MATLAB* serta diuji melalui analisis sensitivitas dan perbandingan metode guna menilai *robustness* dan kinerjanya (Chobar et al., 2024). Secara teoritis, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan metodologi *defense operations research* melalui pendekatan deterministik-stokastik terintegrasi, sedangkan secara praktis memberikan dukungan pengambilan keputusan, peningkatan efisiensi alokasi sumber daya, serta rekomendasi kebijakan distribusi logistik berbasis analisis kuantitatif (Heijungs, 2020; Kodors et al., 2022).

Logistik pertahanan merupakan sistem strategis yang berperan penting dalam menjamin keberhasilan misi militer, dengan karakteristik utama berupa keterbatasan sumber daya, tekanan waktu tinggi, lingkungan operasi yang dinamis, serta kebutuhan pengambilan keputusan multitujuan. Berbeda dengan logistik komersial yang berorientasi pada efisiensi biaya, logistik pertahanan memprioritaskan keberhasilan misi dan keselamatan personel. Kompleksitas tersebut menuntut pendekatan analitis yang mampu mengakomodasi berbagai kriteria, kepentingan pemangku kebijakan, serta kondisi operasional yang tidak pasti (Ekström, 2026; Ekström et al., 2020; Juan et al., 2022).

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan mengembangkan model matematika terintegrasi untuk menentukan prioritas distribusi logistik pertahanan. Model ini menggabungkan empat metode komplementer, yaitu *Analytical Hierarchy Process (AHP)* untuk menghitung bobot kriteria prioritas, *Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)* untuk menentukan peringkat lokasi berdasarkan skor prioritas, *Linear Programming (LP)* untuk mengoptimalkan alokasi logistik secara efisien dengan memperhatikan kapasitas dan permintaan, serta Simulasi *Monte Carlo* untuk menganalisis ketidakpastian dan *robustness* keputusan (Dordevic et al., 2022; Kodors et al., 2022; Sadabadi, 2021; Siregar, 2019). Data input yang digunakan meliputi permintaan logistik per lokasi, kapasitas stok total, dan biaya transportasi per unit, yang diorganisasikan dalam matriks untuk setiap jenis logistik dan lokasi distribusi. Seluruh perhitungan dan analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *MATLAB*, sehingga model dapat melakukan evaluasi skenario secara cepat, sistematis, dan adaptif terhadap variasi parameter, serta menghasilkan rekomendasi alokasi logistik yang optimal dan stabil.

Tabel 1. Data Lokasi dan Jenis Logistik

Lokasi	Jenis Logistik (Unit)			
	Amunisi	Bahan Bakar	Makanan	Medis
Pangkalan A	100	500	200	50
Pangkalan B	150	700	300	80
Pangkalan C	120	600	250	60
Pangkalan D	80	400	150	40
Pangkalan E	110	550	220	55

Tabel 2. Kapasitas Total Stok per Jenis Logistik

Jenis Logistik	Kapasitas Total (Unit)
Amunisi	600
Bahan Bakar	3000
Makanan	1200
Medis	300

Tabel 3. Biaya Transportasi per Unit (Lokasi × Jenis Logistik)

Lokasi	Amunisi	Bahan Bakar	Makanan	Medis
Pangkalan A	5	2	3	8
Pangkalan B	7	3	4	10
Pangkalan C	6	2.5	3.5	9
Pangkalan D	4	1.8	2.5	7
Pangkalan E	5.5	2.2	3.2	8.5

Persamaan model matematika *AHP* merepresentasikan tahapan perhitungan bobot kriteria yang diimplementasikan secara langsung pada kode *MATLAB* (Kay, 2016; Ugolnikov et al., 2021). Persamaan normalisasi matriks:

$$\bar{a}_{kl} = \frac{a_{kl}}{\sum_{k=1}^p a_{kl}}$$

sesuai dengan proses `matriks_normal = matriks_AHP./ jumlah_kolom`, yang bertujuan menormalkan setiap elemen matriks perbandingan berpasangan agar berada pada skala yang sebanding (Ugolnikov et al., 2021). Selanjutnya, bobot kriteria:

$$w_k = \frac{1}{p} \sum_{l=1}^p \bar{a}_{kl}$$

diimplementasikan melalui `bobot_kriteria = mean(matriks_normal,2)`, yaitu dengan menghitung rata-rata setiap baris matriks normalisasi sebagai tingkat kepentingan relatif tiap kriteria (Kurasov, 2020). Adapun persamaan *Consistency Ratio* (CR) digunakan untuk mengukur konsistensi penilaian pengambil keputusan, yang pada kode direalisasikan melalui perhitungan λ_{max} , *Consistency Index* (CI), dan *Random Index* (RI), sehingga memastikan bahwa bobot kriteria yang dihasilkan valid dan layak digunakan pada tahap *TOPSIS* dan optimasi distribusi logistik selanjutnya (Ugolnikov et al., 2021).

$$CR = \frac{(\lambda_{max} - p)/(p - 1)}{RI}$$

Persamaan model matematika *TOPSIS* menjelaskan tahapan penentuan prioritas lokasi yang diimplementasikan pada kode *MATLAB* (Kay, 2016). Normalisasi Euclidean:

$$r_{ik} = \frac{x_{ik}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ik}^2}}$$

sesuai dengan perintah `matriks_norm = matriks_keputusan./sqrt(sum(matriks_keputusan.^2))`, yang bertujuan menyetarakan skala setiap kriteria agar dapat dibandingkan secara objektif. Nilai hasil normalisasi kemudian dikalikan dengan bobot AHP melalui `matriks_terbobot = matriks_norm.* bobot_kriteria'`, sehingga menghasilkan matriks keputusan terbobot v_{ik} . Selanjutnya, jarak terhadap solusi ideal positif dan negatif yang dirumuskan dalam D_i^+ dan D_i^- direpresentasikan pada perhitungan `jarak_positif` dan `jarak_negatif`, yang mengukur kedekatan setiap lokasi terhadap kondisi terbaik dan terburuk (Kurasov, 2020). Selanjutnya, skor Kedekatan:

$$C_i = \frac{D_i^-}{D_i^+ + D_i^-}$$

$$\text{dimana } D_i^+ = \sqrt{\sum_k (v_{ik} - v_k^+)^2} \text{ dan } D_i^- = \sqrt{\sum_k (v_{ik} - v_k^-)^2}$$

kemudian diimplementasikan melalui `skor_topsis`, yang menjadi dasar penentuan peringkat prioritas distribusi logistik, dimana nilai yang semakin besar menunjukkan lokasi dengan tingkat prioritas yang semakin tinggi.

Persamaan matematika *Linear Programming* dan *Monte Carlo* merepresentasikan tahapan optimasi dan analisis risiko yang diimplementasikan pada kode *MATLAB*. Fungsi objektif:

$$\min Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (d_i \cdot c_j - C_i \cdot \theta) \cdot x_{ij}$$

diimplementasikan melalui pembentukan vektor $\mathbf{f}$, dimana biaya transportasi yang dipengaruhi jarak dan biaya per kilometer dikurangi faktor prioritas lokasi (skor *TOPSIS*) untuk mendorong pemenuhan pada lokasi berprioritas tinggi. *Constraint* stok:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq S_j, \forall j$$

direalisasikan melalui matriks `A_stok` dan `b_stok`, yang memastikan distribusi tidak melebihi ketersediaan logistik (Chobar et al., 2024; Nakonechnyi, 2020). *Constraint* pemenuhan minimum:

$$x_{ij} \geq 0.8 \cdot D_{ij}, \forall i \in I_{high}, \forall j$$

dimana $I_{high} = \{i: R_i \leq 3\}$ diterapkan pada lokasi prioritas tinggi (peringkat tiga teratas *TOPSIS*) melalui `A_min` dan `b_min`, sehingga menjamin minimal 80% kebutuhan terpenuhi (Chobar et al., 2024). Selanjutnya, model *Monte Carlo* dengan distribusi probabilitas:

$$\tilde{D}_{ij} \sim \mathcal{N}(\mu_{ij}, \sigma_{ij}^2)$$

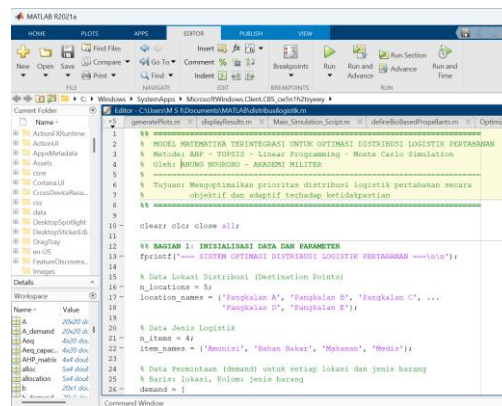
dimana $\mu_{ij} = D_{ij}$ dan $\sigma_{ij} = 0.1 \cdot D_{ij}$

diimplementasikan dengan menghasilkan variasi acak kebutuhan menggunakan `randn`, yang merepresentasikan ketidakpastian kebutuhan lapangan. Interval kepercayaan 95% kemudian dihitung menggunakan fungsi `prctile`, sehingga memberikan gambaran rentang risiko dan stabilitas sistem distribusi logistik terhadap fluktuasi kebutuhan operasional (Nakonechnyi, 2020).

$$CI_{95\%}(T_i) = [P_{2.5}(\tilde{T}_i), P_{97.5}(\tilde{T}_i)]$$

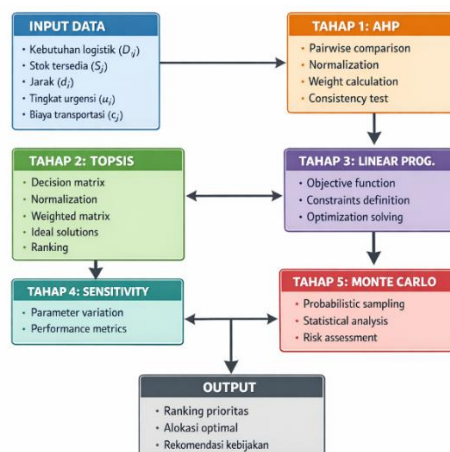
Penelitian ini menggunakan *MATLAB R2021a* sebagai *platform* pemodelan dan simulasi, dengan dukungan *Optimization Toolbox* untuk melakukan perhitungan optimasi *linear programming*. Semua analisis dijalankan pada sistem operasi *Windows 10* dengan konfigurasi perangkat keras minimum

berupa *RAM 8 GB* dan prosesor *Intel Core i5*, yang menjamin kemampuan komputasi cukup untuk menangani matriks data logistik, perhitungan bobot kriteria *AHP*, ranking *TOPSIS*, serta simulasi *Monte Carlo* secara efisien. Pemilihan spesifikasi perangkat lunak dan perangkat keras ini memastikan reproduksibilitas hasil serta kestabilan eksekusi model matematika distribusi logistik pertahanan (Kurasov, 2020).



Gambar 1. Proses simulasi menggunakan *software MATLAB*

Adapun *flowchart* berikut menggambarkan alur proses penelitian dalam menentukan prioritas distribusi logistik pertahanan secara sistematis.



Gambar 2. Diagram alir proses penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem optimasi distribusi logistik pertahanan merupakan suatu pendekatan terintegrasi yang bertujuan untuk menentukan prioritas dan alokasi logistik secara paling efektif dan efisien dalam kondisi sumber daya terbatas. Sistem ini memanfaatkan model kuantitatif dan matematis untuk mengolah berbagai parameter penting, seperti kebutuhan satuan, tingkat urgensi, ketersediaan stok, jarak distribusi, serta biaya transportasi, sehingga keputusan distribusi dapat dilakukan secara objektif dan terukur. Melalui proses optimasi, sistem ini mampu meminimalkan risiko keterlambatan, meningkatkan kesiapan operasional satuan, serta mendukung keberlangsungan operasi pertahanan secara optimal dan berkelanjutan (Nakonechnyi, 2020).

ANALISIS *AHP*

Hasil penelitian pada Tahap 1 menggunakan metode *AHP* menunjukkan bahwa kriteria urgensi memiliki bobot tertinggi sebesar 0,4673, yang berarti faktor kebutuhan mendesak di suatu lokasi menjadi pertimbangan utama dalam pengambilan keputusan distribusi logistik pertahanan. Selanjutnya, tingkat ancaman memperoleh bobot 0,2772, menandakan bahwa kondisi keamanan dan potensi ancaman wilayah juga berpengaruh signifikan terhadap prioritas distribusi. Jarak distribusi memiliki bobot

0,1601, yang menunjukkan bahwa faktor geografis tetap dipertimbangkan namun tidak lebih dominan dibanding urgensi dan ancaman. Sementara itu, kapasitas penyimpanan memiliki bobot terendah sebesar 0,0954, sehingga berperan sebagai faktor pendukung. Nilai *Consistency Ratio (CR)* sebesar 0,0115 ($< 0,1$) membuktikan bahwa penilaian perbandingan berpasangan yang dilakukan bersifat konsisten dan hasil bobot kriteria dapat dinyatakan valid serta layak digunakan pada tahap analisis selanjutnya.

ANALISIS TOPSIS

Hasil penelitian pada Tahap 2 menggunakan metode *TOPSIS* menunjukkan bahwa Pangkalan A menempati prioritas tertinggi (Rank 1) dengan skor 0,7719, yang mengindikasikan lokasi tersebut paling mendekati solusi ideal berdasarkan bobot kriteria hasil *AHP*. Posisi kedua ditempati oleh Pangkalan E dengan skor 0,6505, menandakan tingkat prioritas yang masih tinggi namun berada di bawah Pangkalan A. Selanjutnya, Pangkalan B berada pada peringkat ketiga dengan skor 0,5796, yang menunjukkan kebutuhan distribusi bersifat menengah. Sementara itu, Pangkalan D (0,3341) dan Pangkalan C (0,3333) berada pada peringkat terbawah, menandakan tingkat prioritas distribusi relatif rendah dibandingkan lokasi lainnya. Perbedaan nilai skor *TOPSIS* ini mencerminkan variasi kondisi operasional tiap pangkalan, sehingga hasil ranking dapat dijadikan dasar objektif dalam penentuan urutan distribusi logistik pertahanan.

Tabel 4. Data Kriteria Untuk Setiap Lokasi

Lokasi	Urgensi (Benefit)	Jarak (km, Cost)	Tingkat Ancaman (Benefit)	Kapasitas Penyimpanan (Benefit)
Pangkalan A	9	150	7	0.85
Pangkalan B	8	220	8	0.90
Pangkalan C	7	180	6	0.80
Pangkalan D	6	100	5	0.75
Pangkalan E	8.5	200	7.5	0.88

ANALISIS LINEAR PROGRAMMING

Hasil penelitian pada Tahap 3 menggunakan metode *Linear Programming* menunjukkan bahwa proses optimasi alokasi distribusi logistik berhasil dilakukan secara optimal berdasarkan fungsi tujuan dan batasan yang telah ditetapkan. Nilai fungsi objektif sebesar $-289.448,37$ mengindikasikan bahwa model mampu meminimalkan total biaya distribusi atau parameter efisiensi yang dirumuskan dalam sistem. Hasil alokasi optimal memperlihatkan bahwa Pangkalan A menerima distribusi terbesar (2.008 unit), sejalan dengan hasil *TOPSIS* yang menempatkannya sebagai prioritas utama. Selanjutnya, Pangkalan B (984 unit), Pangkalan C (824 unit), Pangkalan E (748 unit), dan Pangkalan D (536 unit) menerima alokasi sesuai tingkat prioritas dan keterbatasan sumber daya. Distribusi tiap jenis logistik (amunisi, bahan bakar, makanan, dan medis) menunjukkan keseimbangan antara kebutuhan operasional, kapasitas, serta efisiensi biaya, sehingga model ini mampu menghasilkan keputusan distribusi yang rasional, terukur, dan mendukung kesiapan operasional pertahanan.

ANALISIS SENSITIVITAS

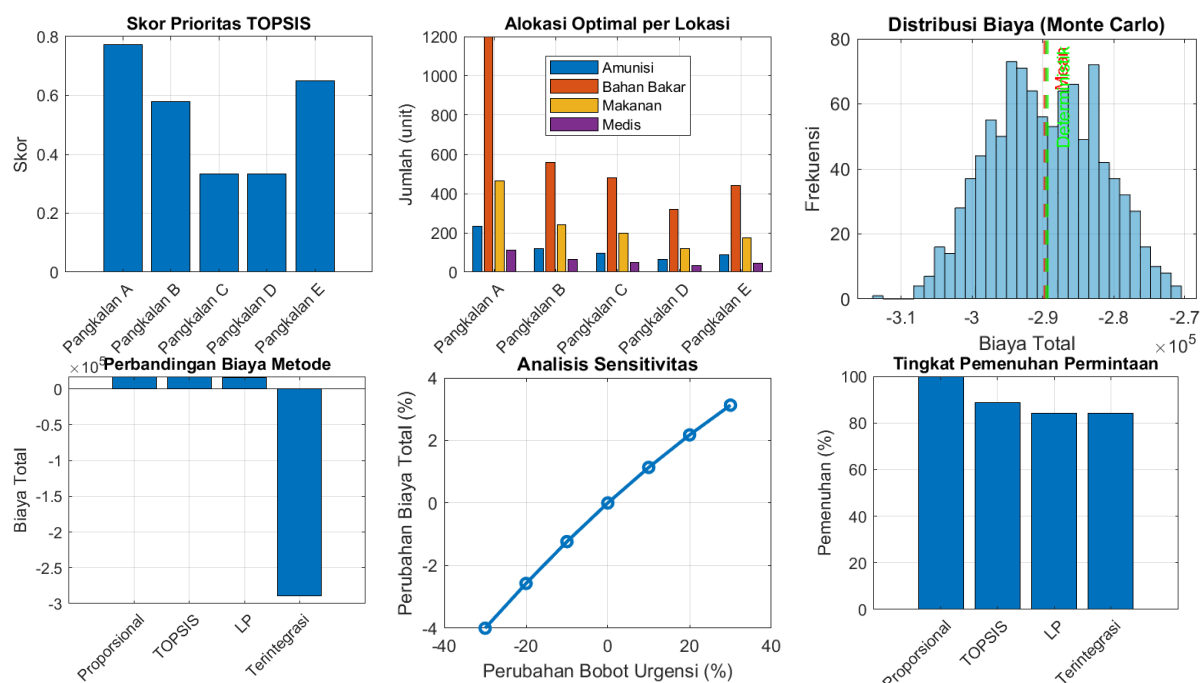
Hasil penelitian pada Tahap 4 melalui analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan bobot kriteria urgensi memberikan pengaruh langsung terhadap nilai biaya total distribusi, namun tidak mengubah pola alokasi logistik. Ketika bobot urgensi diturunkan hingga -30% , biaya total meningkat efisiensinya menjadi $-277.853,93$ (perubahan $-4,01\%$), sedangkan ketika bobot urgensi dinaikkan hingga $+30\%$, biaya total berubah menjadi $-298.503,03$ (kenaikan $3,13\%$). Meskipun terjadi variasi biaya, nilai maksimum perubahan alokasi tetap 0,00, yang menandakan bahwa keputusan distribusi bersifat stabil dan tidak sensitif terhadap perubahan bobot urgensi dalam rentang tersebut. Temuan ini menunjukkan bahwa model optimasi memiliki ketahanan struktural (*structural robustness*) yang baik, di mana variasi preferensi pengambil keputusan tidak menyebabkan perubahan keputusan alokasi, melainkan hanya memengaruhi efisiensi biaya secara marginal.

ANALISIS SIMULASI MONTE CARLO

Hasil penelitian pada Tahap 5 menggunakan simulasi *Monte Carlo* menunjukkan bahwa model optimasi distribusi logistik memiliki tingkat *robustness* yang sangat tinggi, ditunjukkan oleh keberhasilan optimasi sebesar 100% pada 1.000 kali simulasi. Hal ini menandakan bahwa model tetap mampu menghasilkan solusi optimal meskipun terjadi variasi parameter dan ketidakpastian kondisi operasional. Nilai biaya rata-rata sebesar -289.666,54 dengan deviasi $\pm 7.702,43$ menunjukkan fluktuasi biaya yang relatif kecil, sehingga sistem tergolong stabil. Sementara itu, biaya minimum sebesar -313.488,24 mencerminkan skenario paling efisien, sedangkan biaya maksimum sebesar -270.559,78 menggambarkan kondisi terburuk yang masih berada dalam batas yang dapat diterima. Secara keseluruhan, hasil ini membuktikan bahwa model distribusi logistik pertahanan tidak hanya optimal secara matematis, tetapi juga andal dan adaptif terhadap ketidakpastian lapangan, sehingga layak digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan strategis (Beskorovainyi, 2021).

PERBANDINGAN METODE MODEL MATEMATIKA

Hasil penelitian menunjukkan keunggulan signifikan model terintegrasi yang diusulkan dibandingkan metode alternatif. Berdasarkan perbandingan biaya total, distribusi proporsional, *TOPSIS* saja, dan *Linear Programming* (*LP*) saja menghasilkan biaya positif yang relatif tinggi, masing-masing sebesar 17.187,41; 16.728,95; dan 16.085,20. Sebaliknya, model terintegrasi *AHP-TOPSIS-LP* menghasilkan nilai fungsi objektif -289.448,37, yang menandakan efisiensi biaya paling optimal. Hal ini tercermin dari peningkatan efisiensi yang sangat besar, yaitu 1.784,07% dibanding metode proporsional, 1.830,22% dibanding *TOPSIS* saja, dan 1.899,47% dibanding *LP* saja. Dari sisi tingkat pemenuhan permintaan, metode proporsional mampu memenuhi 100% kebutuhan, namun dengan biaya tinggi, sedangkan model terintegrasi hanya memenuhi 84% permintaan namun dengan efisiensi biaya yang jauh lebih unggul. Temuan ini menunjukkan adanya *trade-off* antara tingkat pemenuhan kebutuhan dan efisiensi biaya, serta menegaskan bahwa model terintegrasi lebih tepat digunakan dalam kondisi operasi pertahanan dengan keterbatasan sumber daya dan tuntutan efisiensi tinggi (Barykin et al., 2020).



Gambar 3. Analisis Optimasi Distribusi Logistik Pertahanan

Berdasarkan hasil simulasi optimasi distribusi logistik pertahanan pada Gambar 3, metode *TOPSIS* menunjukkan kemampuan yang baik dalam menentukan prioritas pangkalan secara objektif. Skor prioritas memperlihatkan bahwa Pangkalan A memiliki nilai tertinggi, diikuti oleh Pangkalan E dan Pangkalan B, sementara Pangkalan C dan D berada pada prioritas lebih rendah. Hal ini

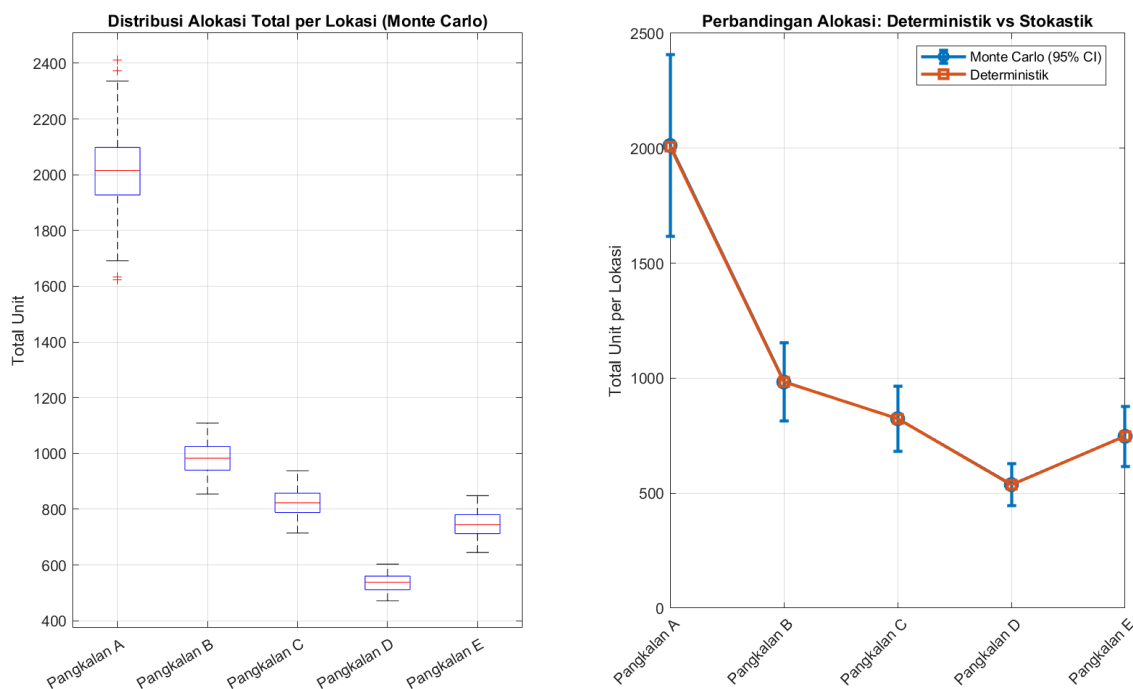
mengindikasikan bahwa Pangkalan A memiliki tingkat urgensi dan kebutuhan logistik paling tinggi berdasarkan kriteria yang digunakan, sehingga layak mendapatkan alokasi sumber daya lebih besar dibandingkan pangkalan lainnya.

Hasil alokasi optimal per lokasi menunjukkan distribusi logistik yang tidak merata namun rasional. Pangkalan dengan skor prioritas tinggi menerima alokasi amunisi, bahan bakar, makanan, dan medis yang lebih besar. Bahan bakar menjadi komponen dengan alokasi terbesar di seluruh pangkalan, mencerminkan perannya yang krusial dalam mendukung mobilitas dan kesiapan operasional. Sementara itu, alokasi medis relatif lebih kecil namun tetap terdistribusi secara proporsional untuk menjamin kesiapsiagaan kesehatan personel.

Pada analisis distribusi biaya menggunakan simulasi *Monte Carlo*, biaya total menunjukkan pola sebaran mendekati normal dengan nilai rata-rata sekitar titik tengah distribusi. Hal ini menandakan bahwa sistem distribusi relatif stabil terhadap variasi ketidakpastian biaya, serta risiko lonjakan biaya ekstrem tergolong rendah. Dengan demikian, skema optimasi yang digunakan mampu menjaga efisiensi biaya secara konsisten dalam berbagai skenario kemungkinan.

Perbandingan biaya antar metode memperlihatkan bahwa metode terintegrasi menghasilkan penghematan biaya paling signifikan dibandingkan metode proporsional, *TOPSIS* saja, maupun *linear programming (LP)*. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi antara penentuan prioritas dan optimasi matematis mampu menghasilkan solusi yang lebih efisien secara ekonomi. Selain itu, analisis sensitivitas menunjukkan bahwa perubahan bobot urgensi berpengaruh linear terhadap perubahan biaya total, namun masih dalam rentang yang dapat dikendalikan, sehingga model tergolong robust.

Dari sisi tingkat pemenuhan permintaan, metode proporsional mencapai pemenuhan tertinggi, namun dengan konsekuensi efisiensi biaya yang lebih rendah. Metode *TOPSIS*, *LP*, dan terintegrasi menunjukkan tingkat pemenuhan sedikit lebih rendah tetapi tetap berada di atas 80%, yang masih dapat diterima dalam konteks logistik pertahanan. Secara keseluruhan, hasil simulasi ini menunjukkan bahwa pendekatan terintegrasi merupakan solusi paling seimbang antara efisiensi biaya, pemenuhan kebutuhan, dan keadilan distribusi logistik antar pangkalan.



Gambar 4. Analisis Ketidakpastian *Monte Carlo*

Berdasarkan hasil simulasi ketidakpastian menggunakan metode *Monte Carlo* pada Gambar 4, terlihat bahwa distribusi alokasi total logistik di setiap pangkalan menunjukkan tingkat variasi yang berbeda-beda. Pangkalan A memiliki nilai median alokasi tertinggi dengan rentang interkuartil yang relatif lebar, menandakan kebutuhan logistik yang besar sekaligus tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi dibandingkan pangkalan lain. Sebaliknya, Pangkalan D menunjukkan alokasi total paling rendah

dengan sebaran yang sempit, yang mengindikasikan kebutuhan relatif kecil dan tingkat variabilitas yang rendah. Pangkalan B, C, dan E berada pada tingkat menengah dengan variasi moderat, mencerminkan keseimbangan antara kebutuhan dan ketidakpastian permintaan.

Perbandingan antara pendekatan deterministik dan stokastik (*Monte Carlo*) memperlihatkan bahwa nilai alokasi deterministik umumnya berada di sekitar nilai rata-rata hasil simulasi *Monte Carlo* dan masih berada dalam rentang interval kepercayaan 95%. Hal ini menunjukkan bahwa model deterministik cukup representatif dalam menggambarkan kondisi rata-rata, namun pendekatan stokastik memberikan informasi tambahan yang penting terkait risiko dan ketidakpastian. Interval kepercayaan yang lebih lebar pada Pangkalan A dan B mengindikasikan sensitivitas yang lebih tinggi terhadap fluktuasi parameter, sehingga perencanaan logistik di lokasi tersebut memerlukan cadangan dan fleksibilitas yang lebih besar.

Secara keseluruhan, hasil simulasi ini menegaskan bahwa penggunaan pendekatan *Monte Carlo* mampu melengkapi analisis deterministik dengan memberikan gambaran menyeluruh mengenai variabilitas dan risiko alokasi logistik (Barykin et al., 2020). Dengan mempertimbangkan hasil stokastik, pengambil keputusan dapat merancang strategi distribusi yang lebih adaptif dan *robust*, khususnya pada pangkalan dengan tingkat ketidakpastian tinggi, sehingga kesiapan operasional tetap terjaga meskipun terjadi perubahan kondisi di lapangan (Beskorovainyi, 2021).

SIMPULAN

Model matematika terintegrasi berbasis *MATLAB* yang menggabungkan *AHP*, *TOPSIS*, *Linear Programming*, dan Simulasi *Monte Carlo* secara efektif mampu menentukan prioritas distribusi logistik pertahanan secara objektif, efisien, dan adaptif terhadap ketidakpastian. Pendekatan ini tidak hanya memfasilitasi pengambilan keputusan yang lebih rasional dalam alokasi sumber daya terbatas, tetapi juga meningkatkan efisiensi operasional dan memastikan robustitas distribusi logistik terhadap variasi permintaan dan biaya. Secara teoretis, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan metode kuantitatif untuk optimasi logistik pertahanan, sedangkan secara praktis menyediakan alat bantu analisis bagi perencana militer dalam merencanakan distribusi yang tepat sasaran. Keterbatasan penelitian mencakup penggunaan data simulasi dan asumsi parameter yang masih ideal, sehingga penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji model dengan data riil lapangan, memperluas jenis logistik yang dianalisis, dan mengeksplorasi integrasi dengan sistem informasi manajemen logistik berbasis waktu nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- Barykin, S. Y., Kapustina, I. V., Sergeev, S. M., & Yadykin, V. K. (2020). Algorithmic foundations of economic and mathematical modeling of network logistics processes. *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 6(4), 1–16. <https://doi.org/10.3390/joitmc6040189>
- Beskorovainyi, V. (2021). Mathematical Models of Decision Support in The Problems of Logistics Networks Optimization. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 4(18), 5–14.
- 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>
- Dordevic, M., Tešić, R., Todorović, S., Jokić, M., Das, D. K., Stević, Ž., & Vrtagic, S. (2022). Development of Integrated Linear Programming Fuzzy-Rough MCDM Model for Production Optimization. *Axioms*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/axioms11100510>
- Ekström, T. (2026). Introduction to the Special Collection on Military Logistics : The Transformation from Peace Support Operations to Territorial Defence. *Scandinavian Journal of Military Studies*, 9(1), 19–28. <https://doi.org/10.31374/sjms.538>
- 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

- Heijungs, R. (2020). On the number of Monte Carlo runs in comparative probabilistic LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(2), 394–402. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01698-4>
- 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.
- Kodors, S., Zvaigzne, A., Litavniece, L., Lonska, J., Silicka, I., Kotane, I., & Dekšne, J. (2022). Plate Waste Forecasting Using the Monte Carlo Method for Effective Decision Making in Latvian Schools. *Nutrients*, 14(3), 1–19. <https://doi.org/10.3390/nu14030587>
- Kurasov, D. (2020). Mathematical modeling system MatLab. *Journal of Physics: Conference Series*, 1691(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1691/1/012123>
- Munayang, M. (2025). Analisis Komparatif dan Tren Implementasi Metode Multi-Criteria Decision Making (SAW, AHP, TOPSIS) pada Sistem Pendukung Keputusan: Sebuah Tinjauan Literatur Semantik (2020-2025). *Kohesi: Jurnal Multidisiplin Saintek*, 10(7), 1–7.
- Nakonechnyi, O. (2020). Mathematical Model for Forecasting the State of a Logistical System of State Defense. *Advanced Information Systems*, 4(1), 28–32. <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2020.1.05>
- Pliekhova, G. (2024). Logistics Models of Critical Situations, Their Use During Warfare. *Silesian University Publishing*, 210.
- Sadabadi, S. A. (2021). A Linear Programming Technique to Solve Fuzzy Multiple Criteria Decision Making Problems With an Application. *RAIRO Operations Research*, 55, 83–97.
- Serrano, A., Kalenatic, D., López, C., & Montoya-Torres, J. R. (2023). Evolution of Military Logistics. *Logistics*, 7(2). <https://doi.org/10.3390/logistics7020022>
- Siregar, I. (2019). Supplier Selection by Using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Techniques for Order Preference Methods with Similarities to Ideal Solutions (TOPSIS). *Journal of Physics: Conference Series*, 1339(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1339/1/012023>
- Ugolnikov, A., Diachenko, V., Kliat, Y., Kosenko, A., & Shelukhin, S. (2021). Devising Matrix Technology for Forecasting the Dynamics in the Operation of a Closed Military Logistics System. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(3(114)), 36–46. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.249270>