

Pengaruh Perkembangan Teknologi 4.0 terhadap Transformasi Logistik Modern TNI Angkatan Laut dalam Mendukung Kesiapan Operasional Alutsista

Pramono Sigit Raharjo*¹

¹Program Magister Terapan Operasi Laut, Universitas Indonesian Naval Staff and Command College,
Indonesia
Email: 1harakiri_jpg@yahoo.com

Abstrak

TNI Angkatan Laut memiliki kebutuhan logistik yang kompleks dan dinamis, realitas menunjukkan bahwa sistem logistik TNI Angkatan Laut masih menghadapi berbagai tantangan struktural dan fungsional. Penelitian pada artikel ilmiah ini bertujuan untuk mengkaji pengaruh perkembangan teknologi 4.0 terhadap transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut dalam mendukung kesiapan operasional alutsista. Pendekatan yang digunakan menggabungkan metode Delphi untuk memperoleh konsensus pakar dan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk menetapkan prioritas elemen teknologi yang paling berpengaruh. Hasil penelitian menunjukkan bahwa teknologi seperti predictive maintenance, sistem ERP logistik terintegrasi, dan otomatisasi distribusi memiliki kontribusi dominan dalam meningkatkan efisiensi, kecepatan dan keandalan sistem logistik militer. Dimensi smart logistics menjadi prioritas utama dalam struktur keputusan yang menandakan pentingnya pendekatan logistik berbasis prediksi dan otomatisasi. Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa transformasi logistik TNI Angkatan Laut tidak hanya bergantung pada penerapan teknologi digital, tetapi juga memerlukan dukungan kelembagaan yang adaptif dan penguatan kompetensi Sumber Daya Manusia. Keberhasilan implementasi teknologi 4.0 dalam sistem logistik sangat ditentukan oleh sinergi antara inovasi teknologi, integrasi sistem informasi dan kesiapan organisasi dalam menghadapi perubahan. Dengan strategi yang tepat, transformasi ini diharapkan mampu membentuk sistem logistik TNI Angkatan Laut yang modern, tangguh dan responsif terhadap tuntutan operasi maritim masa kini dan mendatang.

Kata Kunci: AHP, Delphi, Kesiapan Operasional, Transformasi Logistik, Teknologi 4.0, TNI Angkatan Laut

Abstract

The Indonesian Navy (TNI-AL) has complex and dynamic logistics needs, and reality shows that the TNI-AL's logistics system still faces various structural and functional challenges. The research in this scientific article aims to examine the influence of 4.0 technology developments on the transformation of the TNI-AL's modern logistics in supporting the operational readiness of defense equipment. The approach used combines the Delphi method to obtain expert consensus and the Analytical Hierarchy Process (AHP) method to prioritize the most influential technological elements. The results show that technologies such as predictive maintenance, integrated logistics ERP systems, and distribution automation have a dominant contribution in improving the efficiency, speed, and reliability of the military logistics system. The smart logistics dimension is a top priority in the decision structure, indicating the importance of a predictive and automation-based logistics approach. The conclusion of this study indicates that the TNI-AL's logistics transformation does not only depend on the application of digital technology but also requires adaptive institutional support and strengthening of human resource competencies. The successful implementation of 4.0 technology in logistics systems is largely determined by the synergy between technological innovation, information systems integration, and organizational readiness to face change. With the right strategy, this transformation is expected to create a modern, resilient, and responsive Indonesian Navy logistics system that meets the demands of current and future maritime operations.

Keywords: AHP, Delphi, Indonesian Navy, Logistics Transformation, Operational Readiness, Technology 4.0

1. PENDAHULUAN

Revolusi Industri 4.0 telah memicu gelombang transformasi teknologi di berbagai sektor, termasuk sistem pertahanan negara. Perkembangan teknologi seperti *Internet of Things* (IoT), *Artificial*

Intelligence (AI), Big Data dan Cyber-Physical Systems telah mengubah cara organisasi merancang strategi operasional dan logistik (Cimini et al., 2021). Dalam konteks militer modern, munculnya konsep *smart logistics* menjadi fondasi untuk mendukung kesiapan dan mobilitas pasukan melalui pemanfaatan teknologi secara terintegrasi dan prediktif (Kostiuchenko & Kostiuchenko, 2020). Hal ini mencerminkan bahwa logistik tidak lagi berfungsi sebagai elemen pendukung semata, melainkan sebagai komponen strategis utama yang menentukan efektivitas operasi militer. TNI Angkatan Laut sebagai bagian dari sistem pertahanan nasional memiliki kebutuhan logistik yang kompleks dan dinamis. Berbagai operasi militer baik dalam konteks Operasi Militer Perang (OMP) maupun Operasi Selain Selain Perang (OMSP) menuntut sistem logistik yang cepat, akurat dan adaptif terhadap perubahan perkembangan lingkungan strategis (Octaviana, 2024). Namun, realitas menunjukkan bahwa sistem logistik TNI Angkatan Laut masih menghadapi berbagai tantangan struktural dan fungsional: keterbatasan sistem informasi yang terintegrasi, keterlambatan distribusi suku cadang dan minimnya kemampuan prediksi kebutuhan logistik. Ketertinggalan dalam adopsi teknologi 4.0 dapat berimplikasi pada terganggunya kesiapan operasional alutsista serta ineffisiensi penggunaan sumber daya (Suryawan, 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya telah menyoroti pentingnya modernisasi sistem logistik militer melalui digitalisasi dan otomasi proses (Widodo & Sos, 2025). Namun demikian, sebagian besar studi tersebut masih terbatas pada pendekatan konseptual dan belum secara eksplisit menganalisis sejauh mana elemen-elemen teknologi 4.0 memberikan kontribusi konkret terhadap transformasi logistik militer. Kesenjangan ini menciptakan kebutuhan mendesak untuk melakukan pemetaan prioritas teknologi berdasarkan pengaruh strategisnya terhadap kinerja sistem logistik dan kesiapan tempur. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistematis yang mampu mengidentifikasi, mengukur dan memprioritaskan elemen-elemen tersebut berdasarkan masukan para *expert*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh perkembangan teknologi 4.0 terhadap transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut dalam mendukung kesiapan operasional alutsista. Studi ini berpijak pada kerangka Teori *Resource-Based View* (RBV), yang memposisikan teknologi dan kapabilitas organisasi sebagai sumber keunggulan kompetitif jangka panjang (Madhani, 2010). Di samping itu, Teori *Smart Logistics* digunakan untuk menjelaskan bagaimana integrasi digital, otomatisasi dan koneksi data dapat meningkatkan efisiensi dan ketepatan sistem logistik militer (Mohammadi & Mohammadi, 2021). Pendekatan teoritis ini memberikan dasar konseptual yang kuat dalam merumuskan arah transformasi logistik berbasis teknologi.

Dari sisi metodologi, penelitian ini menggabungkan metode Delphi dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode Delphi digunakan untuk memperoleh konsensus para pakar mengenai elemen teknologi 4.0 yang paling relevan dan strategis dalam konteks logistik TNI Angkatan Laut (Lange et al., 2020). Selanjutnya, metode AHP digunakan untuk memberikan bobot prioritas terhadap elemen-elemen tersebut berdasarkan kriteria pengaruh terhadap efisiensi sistem dan kesiapan operasional (Çalik, 2021). Kombinasi kedua metode ini tidak hanya memberikan pendekatan berbasis partisipasi ahli, tetapi juga menghasilkan hasil yang terukur dan dapat dijadikan dasar dalam pengambilan kebijakan strategis transformasi logistik militer di era digital (Chuang et al., 2013).

2. METODE PENELITIAN

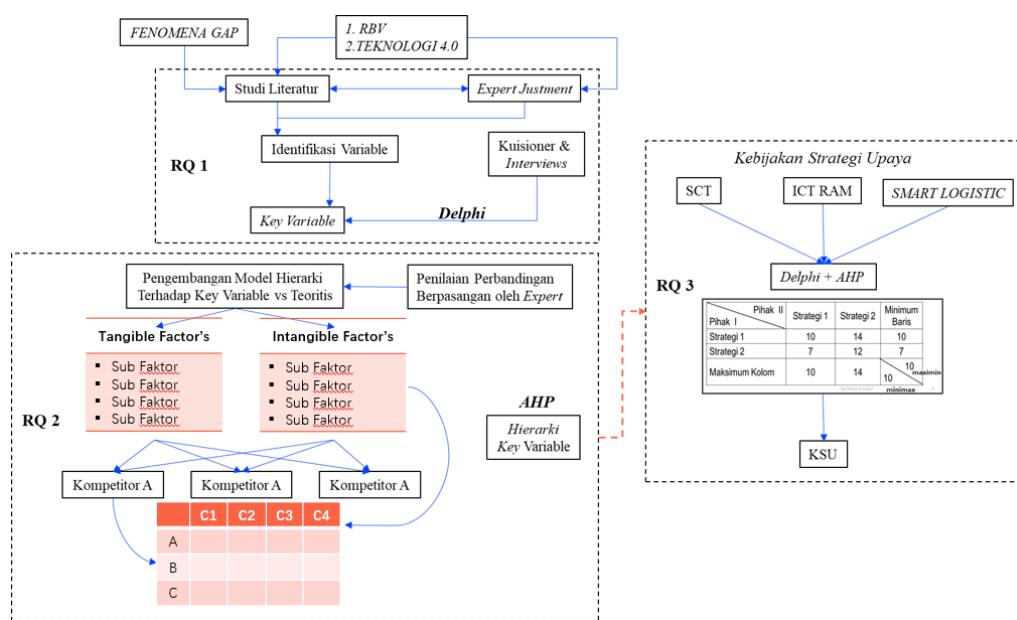
Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif eksploratif untuk mengkaji secara sistematis pengaruh perkembangan teknologi 4.0 terhadap transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut dalam mendukung kesiapan operasional alutsista (Mikhailov & Singh, 1999). Pendekatan ini dipilih karena objek kajian melibatkan fenomena strategis yang bersifat multidimensi dan kontekstual, yaitu integrasi teknologi dalam sistem logistik militer yang belum banyak dikaji secara empirik di lingkungan TNI Angkatan Laut. Dengan pendekatan ini, peneliti tidak hanya berupaya memahami persepsi dan pengalaman para pemangku kepentingan (*stakeholders*), tetapi juga mengolahnya secara sistematis menggunakan teknik analisis statistik berbasis persepsi ahli. Untuk itu, digunakan kombinasi metode Delphi dan *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Metode Delphi digunakan untuk memperoleh konsensus ahli terhadap elemen teknologi 4.0 yang paling relevan dan strategis, sedangkan AHP digunakan untuk memberikan bobot prioritas terhadap elemen-elemen tersebut berdasarkan kriteria strategis. Pendekatan

kualitatif eksploratif memungkinkan proses eksplorasi gagasan dan kuantifikasi prioritas dilakukan secara terpadu dan terstruktur (Chakrabarty & Chuan, 2009).

Pengumpulan data dilakukan melalui dua tahapan. Tahap pertama diawali dengan identifikasi awal elemen-elemen teknologi 4.0 melalui kajian pustaka dan wawancara pendahuluan. Selanjutnya, dilakukan dua putaran Delphi terhadap panel *Expert* terdiri dari 10 orang, yang mewakili perwira logistik, pejabat pemeliharaan, perencana pengadaan serta akademisi pertahanan. Putaran pertama bertujuan untuk menyaring elemen teknologi yang dipandang strategis, sedangkan putaran kedua bertujuan untuk memperoleh kesepakatan terhadap hasil pemeringkatan awal. Konsensus dianggap tercapai jika tingkat kesepakatan mencapai $\geq 75\%$ dan koefisien variasi $< 0,2$. (Lange et al. 2020). Pada tahap selanjutnya, setelah diperoleh daftar elemen teknologi yang disepakati, tahapan AHP dilaksanakan untuk menghitung tingkat prioritas antar elemen berdasarkan penilaian *pairwise comparison* (Mikhailov & Singh, 1999). Panelis diminta membandingkan tiap elemen berdasarkan tiga kriteria:

- Efektivitas terhadap efisiensi dan keandalan logistik.
- Relevansi terhadap kesiapan organisasi dan operasional alutsista.
- Kesesuaian dengan struktur dan kapabilitas logistik TNI Angkatan Laut.

Instrumen penilaian menggunakan skala Likert 1–9 sesuai dengan prinsip dasar AHP dari (Saaty, 2008). Untuk melakukan analisis data, penulis menggunakan metode analisis Delphi untuk mengidentifikasi elemen-elemen teknologi 4.0 sebagai variabel utama, menudian hasil pengolahan Delphi dianalisis menggunakan teknik statistik deskriptif untuk mengukur konsistensi dan konvergensi opini antar panelis. Parameter yang digunakan adalah nilai rata-rata, simpangan baku dan koefisien variasi. Elemen yang memiliki nilai koefisien variasi $< 0,2$ dianggap stabil dan valid untuk dilanjutkan ke tahap AHP. Analisis ini memastikan bahwa elemen yang dianalisis secara kuantitatif benar-benar merepresentasikan persepsi kolektif ahli. Pada tahap selanjutnya, proses analisis AHP mencakup penyusunan matriks perbandingan berpasangan antar elemen, perhitungan *eigenvector* untuk memperoleh bobot prioritas dan pengujian konsistensi logis melalui nilai *Consistency Ratio* (CR). Matriks dengan nilai $CR \leq 0,1$ dianggap valid; apabila lebih, maka perlu dilakukan revisi oleh panelis (Saaty, 1980). Hasil akhir dari analisis ini berupa peringkat elemen teknologi 4.0 yang paling strategis dalam mendukung transformasi logistik militer. Nilai bobot dari tiap elemen menjadi dasar untuk perumusan strategi pengembangan logistik berbasis teknologi di lingkungan TNI Angkatan Laut.



Gambar 1. Desain Penelitian

Metodologi pada penelitian ini dirancang untuk menghasilkan pemahaman yang tidak hanya mendalam secara kualitatif, tetapi juga memiliki ketepatan dan akurasi dalam pemetaan prioritas

kebijakan yang akan dirumuskan (James et al., 2016). Dengan demikian, hasil penelitian ini dapat dijadikan dasar dan rujukan dalam perumusan strategi transformasi logistik yang berbasis bukti dan selaras dengan kebutuhan operasional sistem pertahanan modern. Secara sistematika, metodologi penelitian ini dirancang dengan desain penelitian seperti tampak pada Gambar 1.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Metode Delphi

Sebagai tahap awal, penelitian ini menggunakan metode Delphi untuk menyaring dan mengidentifikasi elemen-elemen teknologi 4.0 yang dipandang memiliki pengaruh strategis terhadap transformasi logistik TNI Angkatan Laut. Analisis metode Delphi dilakukan dengan melalui dua putaran penilaian yang melibatkan 10 panel ahli dari berbagai latar belakang (logistik, pengadaan, sistem informasi dan akademisi militer), sehingga diperoleh konsensus terhadap tujuh elemen utama. Elemen-elemen pada variabel tersebut dinilai berdasarkan tingkat relevansi dan kontribusinya terhadap efektivitas, efisiensi dan kesiapan sistem logistik TNI Angkatan Laut seperti tampak pada Tabel 1, Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 1. Variabel Kunci *Resource-Based View*

No	Variabel Kunci	Deskripsi Pengaruh
RBV1	Infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi (TIK)	Kemampuan sistem ERP, CMMS dan IoT yang menjadi <i>core capability</i> logistik
RBV2	Kompetensi SDM Digital	Penguasaan personel terhadap sistem otomasi, pengolahan big data dan pemodelan simulasi logistik
RBV3	Keamanan siber logistik	Perlindungan sistem digital logistik dari serangan siber yang bisa mengganggu kesiapan alutsista
RBV4	Kapabilitas pemrosesan data <i>real-time</i>	Kemampuan pengambilan keputusan logistik berbasis data aktual (mis. status suku cadang, kebutuhan BBM)
RBV5	Ketahanan teknologi	Ketangguhan sistem logistik digital terhadap gangguan fisik dan sistemik (<i>war-resilient ICT</i>)

Sumber: Olah Data Penulis

Tabel 2. Variabel Kunci *Supply Chain Transformation*

No	Variabel Kunci	Deskripsi Pengaruh
SCT1	Digitalisasi proses pengadaan	Penggunaan e-procurement untuk mempercepat siklus pengadaan alutsista dan suku cadang
SCT2	Integrasi vertikal dan horizontal	Konektivitas antara unit pemeliharaan, depot logistik, dan vendor eksternal
SCT3	Transparansi dan visibilitas rantai pasok	Kemampuan memantau arus logistik secara menyeluruh dan waktu nyata
SCT4	Adaptabilitas logistik terhadap ancaman operasional	Respons sistem logistik terhadap kondisi darurat seperti konflik atau bencana
SCT5	Kolaborasi berbasis data antar unit	Koordinasi berbasis platform antara Slog, Fasharkan, dan satuan operasional

Sumber: Olah Data Penulis

Tabel 3. Variabel Kunci *Smart Logistics*

No	Variabel Kunci	Deskripsi Pengaruh
SL1	Penggunaan IoT dan sensor dalam peralatan	Pemantauan kondisi <i>real-time</i> pada mesin dan suku cadang alutsista
SL2	Sistem prediktif perawatan (<i>Predictive Maintenance</i>)	Deteksi dini potensi kerusakan melalui AI dan <i>big data analytics</i>
SL3	Otomatisasi gudang dan distribusi	Robotisasi dan sistem otomatis dalam penyimpanan dan pengiriman logistik
SL4	Platform integratif logistik (e-log)	Penggunaan <i>dashboard</i> pusat berbasis web untuk koordinasi logistik satuan
SL5	<i>Fleet Management System</i>	Manajemen pergerakan kendaraan logistik laut/darat berbasis GPS dan AI <i>routing</i>

Sumber: Olah Data Penulis

Tabel 4. Variabel Kunci ICT Readiness Assessment Model.

No	Variabel Kunci	Deskripsi Pengaruh
ICT1	Infrastruktur digital militer	Tersedianya jaringan tertutup dan server nasional untuk mendukung sistem logistik militer
ICT2	Literasi digital personel logistik	Kemampuan teknis SDM dalam mengoperasikan sistem berbasis TIK
ICT3	Regulasi dan kebijakan digitalisasi logistik	SOP, protokol dan kebijakan pengadaan berbasis sistem elektronik
ICT4	Investasi TIK dalam bidang logistik	Alokasi anggaran khusus untuk transformasi digital logistik TNI AL
ICT5	Keberlanjutan adopsi teknologi baru	Kemampuan organisasi untuk meng-update dan mengadaptasi inovasi TIK terbaru

Sumber: Olah Data Penulis

Tabel 5. Hasil Iterasi Delphi

No	Variabel Kunci	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	Total	V	Keterangan
RBV1	Infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi	9	9	9	9	7	9	9	9	8	8	76	0,950	Sangat valid
RBV2	Kompetensi SDM Digital	9	9	9	9	8	9	8	9	7	8	75	0,938	Sangat valid
SCT1	Digitalisasi proses pengadaan	8	7	9	9	8	9	9	9	8	8	74	0,925	Sangat valid
SCT2	Integrasi vertikal dan horizontal	8	8	9	9	7	9	9	9	7	8	73	0,913	Sangat valid
SL3	Otomatisasi gudang dan distribusi	8	8	8	8	9	9	7	8	9	7	71	0,888	Sangat valid
SL4	Platform integratif logistik (e-log)	8	7	9	8	7	9	8	9	8	8	71	0,888	Sangat valid
ICT2	Literasi digital personel logistik	8	8	8	8	6	7	8	8	9	8	68	0,850	Sangat valid
ICT4	Investasi TIK dalam bidang logistik	8	8	8	9	8	9	7	8	6	7	68	0,850	Sangat valid

Sumber: Olah Data Penulis

Dari hasil analisis metode Delphi yang ada pada Tabel 5, ditemukan bahwa seluruh elemen yang terpilih memiliki koefisien variasi (V) mempunyai nilai konsensus di atas 75%. Ini menunjukkan tingkat kesepakatan yang tinggi dan validitas data yang kuat. Variabel seperti Infrastruktur TIK (RBV1), Kompetensi SDM Digital (RBV2) serta Kolaborasi antar unit berbasis data (SCT5) memperoleh nilai konsensus tertinggi, menandakan bahwa para ahli secara kolektif menganggap elemen-elemen ini sangat berpengaruh terhadap transformasi logistik. Interpretasi utama dari hasil Delphi menunjukkan bahwa elemen teknologis seperti ERP, IoT dan otomatisasi gudang dipandang sebagai prioritas utama dalam transformasi logistik modern. Namun, aspek kompetensi SDM dan literasi digital juga mendapat penilaian sangat valid. Hal ini mengindikasikan bahwa keberhasilan transformasi logistik tidak hanya bertumpu pada ketersediaan teknologi, tetapi juga pada kesiapan dan kemampuan sumber daya manusia TNI Angkatan Laut dalam mengelola dan mengadopsi inovasi tersebut. Elemen-elemen yang lolos seleksi Delphi menggambarkan pentingnya sinergi antara sistem digital dan struktur organisasi. Misalnya, digitalisasi pengadaan (SCT1) dan integrasi vertikal-horizontal (SCT2) menjadi penanda bahwa transformasi logistik tidak dapat berjalan efektif tanpa keterpaduan fungsi antar unit logistik dan pengambil keputusan. Dengan demikian, hasil dari tahap Delphi ini tidak hanya menunjukkan kesepakatan kolektif dari para pakar, tetapi juga membentuk dasar yang kuat untuk proses penilaian kuantitatif yang selanjutnya dianalisis menggunakan metode AHP.

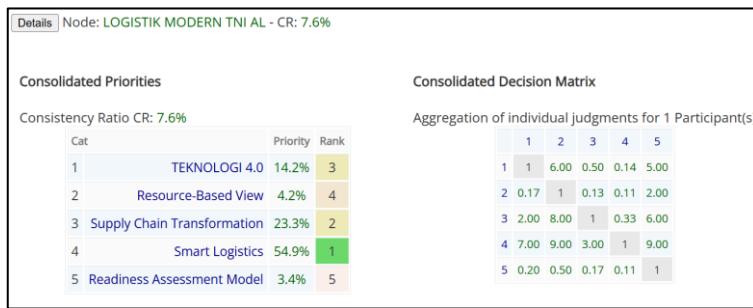
3.2. Analisis Metode AHP

Tujuan dari penggunaan analisis metode AHP ini adalah untuk menentukan peringkat (prioritas) dari elemen teknologi 4.0 yang paling strategis dalam mendukung transformasi logistik TNI Angkatan Laut. Dengan menggunakan input data berdasarkan hasil olah data Delphi, kemudian peneliti menggunakan software *Super Decision* untuk melakukan analisis lebih lanjut, maka dapat disajikan data analisis AHP sebagai berikut:

Tabel 6. Struktur Hierarki Keputusan AHP.

Decision Hierarchy			
Level 0	Level 1	Level 2	Glb Prio.
TEKNOLOGI 4.0 0.142	<i>Resource-Based View</i> 0.042	<i>Internet of Things (IoT)</i> 0.032	0.4%
		<i>Big Data Analytics</i> 0.144	2.1%
		<i>Artificial Intelligence (AI)</i> 0.025	0.4%
		<i>Cloud Computing</i> 0.020	0.3%
		<i>Cyber security Systems</i> 0.113	1.6%
		<i>Integrated ERP Logistics Systems</i> 0.238	3.4%
		<i>Predictive Maintenance Technologies</i> 0.429	6.1%
	<i>Supply Chain Transformation</i> 0.233	Infrastruktur Teknologi Informasi & Komunik	1.9%
		Kompetensi SDM Digital	0.8%
		Keamanan siber logistik	1.1%
		Kapabilitas pemrosesan data real-time	0.3%
		Ketahanan teknologi	0.1%
LOGISTIK MODERN TNI AL 0.549	<i>Smart Logistics</i> 0.549	Digitalisasi proses pengadaan	2.4%
		Integrasi vertikal dan horizontal	2.4%
		Transparansi dan visibilitas rantai pasok	0.8%
		Adaptabilitas logistik terhadap ancaman operasional	2.5%
		Kolaborasi berbasis data antar unit	15.1%
	<i>Readiness Assessment Model</i> 0.034	Penggunaan IoT dan sensor dalam peralatan	8.2%
		<i>Predictive Maintenance</i>	20.5%
		Otomatisasi gudang dan distribusi	19.2%
		Platform integratif logistik (e-log)	2.0%
		<i>Fleet Management System</i>	5.0%
		Infrastruktur digital militer	1.4%
		Literasi digital personel logistik	1.0%
		Regulasi dan kebijakan digitalisasi logistik	0.8%
		Investasi TIK dalam bidang logistik	0.1%
		Keberlanjutan adopsi teknologi baru	0.2%
			1.0

Sumber: Olah Data Penulis.



Gambar 2 Dimensi Pendukung Transformasi
Sumber: Olah Data Penulis.

Pada

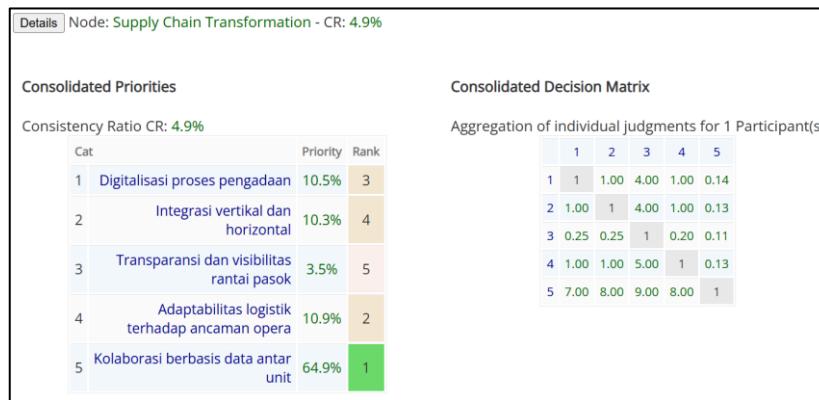
Tabel 6 menunjukkan hasil struktur hierarki keputusan AHP (*Decision Hierarchy*) yang diperoleh melalui pengolahan data menggunakan *tools analisis Super Decision*, dapat diinterpretasikan bahwa transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut sangat dipengaruhi oleh lima elemen dimensi utama, yakni: *Smart Logistics*, *Supply Chain Transformation*, Teknologi 4.0, *Resource-Based View* (RBV) dan *ICT Readiness Assessment Model*. Sedangkan pada Gambar 2 menunjukkan **Error! Reference source not found.** Dari kelima dimensi tersebut, elemen *Smart Logistics* memiliki bobot tertinggi sebesar 54,9% diikuti oleh *Supply Chain Transformation* (23,3%) dan Teknologi 4.0 (14,2%), yang mencerminkan dominasi pendekatan berbasis prediktif dan otomatisasi dalam mendukung efisiensi logistik. *Resource-Based View* (4,2%) dan *Readiness Assessment Model* (3,4%) berada pada prioritas rendah, menandakan bahwa faktor internal dan kesiapan kelembagaan belum menjadi fokus utama dalam tahap awal transformasi. Nilai *Consistency Ratio* sebesar 7,6% menunjukkan bahwa penilaian dilakukan secara konsisten dan valid sebagai dasar pengambilan keputusan strategis.

Sedangkan analisis lebih lanjut pada hierarki level 2 dari Variabel *Smart Logistics* menunjukkan bahwa pendekatan yang berbasis pada prediksi (*predictive*), otomatisasi serta pengaplikasian sensor *real-time* merupakan prioritas paling strategis dalam memperkuat sistem logistik TNI Angkatan Laut yang lebih efisien dan adaptif terhadap dinamika operasi. Dalam kelompok ini, teknologi *Predictive Maintenance* menempati posisi teratas dengan kontribusi sebesar 20,5%, diikuti oleh Otomatisasi Gudang dan Distribusi (19,2%) dan Penggunaan IoT dan Sensor pada Peralatan (8,2%) seperti tampak pada Gambar 3. Hal ini mencerminkan kebutuhan kritis terhadap sistem logistik yang mampu mendeteksi dan memprediksi kerusakan secara dini, mengurangi waktu henti alutsista serta mempercepat rantai suplai secara otomatis dan presisi.



Gambar 3. Elemen Spesifik *Smart Logistic*
Sumber: Olah Data Penulis.

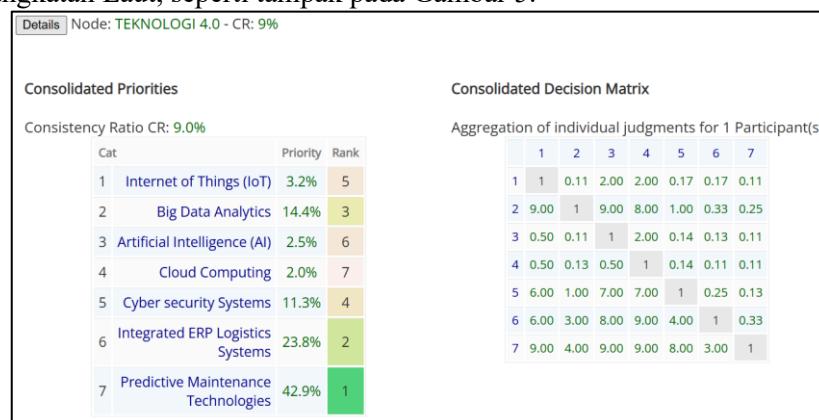
Selanjutnya pada Gambar 4 menunjukkan hasil dari analisis pada dimensi *Supply Chain Transformation* memberikan kontribusi sebesar 23,3% terhadap keseluruhan tujuan. Dari kelompok ini, elemen Kolaborasi Data Antar Unit memperoleh bobot global tertinggi sebesar 15,1%, yang menegaskan pentingnya sinergi data antara satuan logistik seperti Slog, Fasharkan dan unsur operasional. Disusul oleh Adaptabilitas terhadap Ancaman Operasional (2,5%), Digitalisasi Proses Pengadaan (2,4%) dan Integrasi hubungan Vertikal dan Horizontal (2,4%) yang memperlihatkan kebutuhan akan fleksibilitas sistem logistik dalam merespons krisis serta konsistensi konektivitas antar bagian dalam rantai pasok. Integrasi ini menjadi penting agar logistik dapat dikelola secara *end-to-end* dan tidak terfragmentasi, terutama dalam menghadapi situasi darurat atau kontinjensi militer.



Gambar 4. Level 2 – Elemen Spesifik (Supply Chain Transformation)

Sumber: Olah Data Penulis.

Di sisi lain, Dimensi Teknologi 4.0 memiliki bobot global sebesar 14,2%, yang menunjukkan perannya sebagai salah satu faktor penting dalam mendorong transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut. Ketika dibagi ke dalam sub-kriteria berdasarkan bobot lokalnya, terlihat bahwa elemen *Predictive Maintenance Technologies* memperoleh bobot tertinggi (42,9% dari 14,2%) atau sekitar 6,1% bobot global, menjadikannya elemen teknologi paling strategis dalam konteks logistik militer. Elemen ini dinilai mampu meningkatkan efisiensi pemeliharaan alutsista melalui deteksi kerusakan secara dini dan pengurangan waktu henti operasional. Selanjutnya, *Integrated ERP Logistics Systems* berada di posisi kedua dengan bobot lokal 23,8%, menghasilkan bobot global sekitar 3,4%, menandakan pentingnya sistem manajemen logistik terintegrasi dalam menghubungkan fungsi-fungsi logistik secara menyeluruh. *Big Data Analytics* menempati posisi ketiga (14,4% lokal / 2,1% global), memperlihatkan perannya dalam mendukung pengambilan keputusan logistik berbasis analisis data real-time. Sementara itu, *Cyber security Systems* (11,3% lokal / 1,6% global) juga cukup penting sebagai penjaga keandalan sistem digital. Di sisi lain, *Internet of Things* (IoT) (3,2% lokal / 0,4% global), *Artificial Intelligence* (AI) (2,5% lokal / 0,4% global) dan *Cloud Computing* (2,0% lokal / 0,3% global) memiliki bobot global yang lebih rendah, namun tetap relevan sebagai teknologi pendukung dalam kerangka digitalisasi logistik TNI Aangkatan Laut, seperti tampak pada Gambar 5.



Gambar 5. Level 2 – Elemen Spesifik (Teknologi 4.0)

Sumber: Olah Data Penulis.

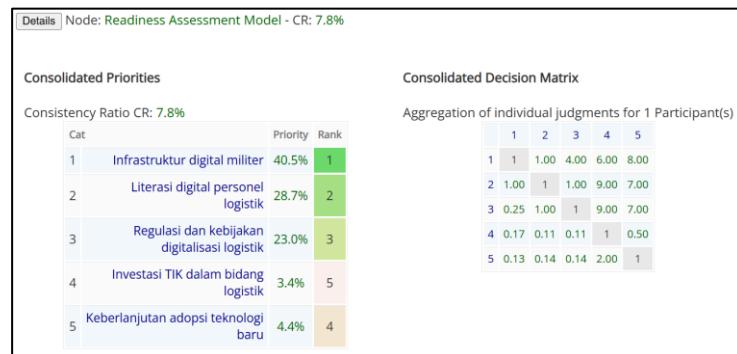
Adapun Gambar 6 menunjukkan analisis pada dimensi *Resource-Based View* (RBV) memiliki kontribusi sebesar 4,2%, dengan Infrastruktur Teknologi Informasi dan Komunikasi sebagai elemen dominan (1,9%). Disusul oleh variabel seperti Keamanan Siber Logistik (1,1%) dan Kompetensi SDM Digital (0,8%), RBV menggarisbawahi pentingnya kapabilitas internal organisasi dalam mendukung adopsi teknologi. Meskipun perannya tidak sebesar teknologi atau sistem logistik, RBV tetap krusial

karena keberhasilan transformasi teknologi bergantung pada kesiapan dan ketangguhan internal, baik dari sisi sistem maupun SDM.



Gambar 6. Level 2 – Elemen Spesifik (Resource-Based View)
 Sumber: Olah Data Penulis.

Terakhir, dimensi *Readiness Assessment Model* menunjukkan nilai bobot global terkecil yaitu 3,4%. Meskipun secara kuantitatif rendah, aspek ini tetap vital karena mencerminkan kesiapan institusional terhadap digitalisasi. Elemen Infrastruktur Digital Militer (1,4%) dan Literasi Digital Personel (1,0%) menyoroti tantangan implementasi sistem digital dalam konteks organisasi militer yang masih didominasi oleh sistem manual dan tradisional. Rendahnya bobot elemen seperti Investasi TIK (0,1%) dan Keberlanjutan Adopsi Teknologi Baru (0,2%) menunjukkan bahwa perhatian terhadap keberlanjutan transformasi digital masih belum menjadi prioritas strategis dalam perencanaan logistik TNI Angkatan Laut saat ini, hal tersebut tampak pada Gambar 7.



Gambar 7. Level 2 – Elemen Spesifik (Readiness Assessment Model)
 Sumber: Olah Data Penulis.

Secara keseluruhan, interpretasi ini menunjukkan bahwa modernisasi logistik TNI Angkatan Laut harus difokuskan pada teknologi yang aplikatif dan berdampak langsung terhadap efisiensi operasional, khususnya predictive maintenance dan otomatisasi distribusi. Namun demikian, keberhasilan transformasi ini akan sangat bergantung pada kesiapan sistem ERP, integrasi data lintas satuan dan kompetensi SDM dalam mengelola sistem berbasis digital. Dengan demikian, strategi transformasi logistik perlu dibangun secara simultan antara penguatan teknologi, integrasi proses logistik serta pengembangan kapasitas organisasi secara struktural dan kultural.

3.3. Interpretasi Temuan

Berdasarkan hasil analisis data dengan metode Delphi dan *Analytical Hierarchy Process* (AHP), dapat disimpulkan bahwa perkembangan teknologi 4.0 memberikan pengaruh yang sangat signifikan dan terstruktur terhadap transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut, khususnya dalam mendukung kesiapan operasional alutsista. Temuan dari proses Delphi mengidentifikasi elemen-elemen teknologi 4.0 yang paling relevan berdasarkan konsensus para ahli logistik militer, meliputi sistem ERP logistik, *predictive maintenance*, *big data analytics*, IoT, dan digitalisasi proses pengadaan. Sementara itu, AHP menyusun hierarki prioritas dari elemen-elemen tersebut dan menghasilkan peta pengaruh yang menunjukkan bahwa teknologi yang bersifat prediktif, integratif dan otomatis menjadi pengungkit utama dalam modernisasi sistem logistik TNI Angkatan Laut. Secara keseluruhan, hasil menunjukkan bahwa sistem *predictive maintenance* (42.9%), ERP logistik (23.8%) dan otomatisasi distribusi (35%) mendominasi bobot prioritas karena dampaknya yang langsung terhadap kecepatan, ketepatan dan keandalan dukungan logistik terhadap kesiapan tempur.

Interpretasi dari hasil tersebut secara mantik (logis dan sistematis) menunjukkan bahwa transformasi logistik modern dalam tubuh TNI Angkatan Laut tidak dapat dilepaskan dari adopsi selektif dan bertahap terhadap teknologi 4.0, dengan titik berat pada integrasi fungsi logistik ke dalam satu sistem digital yang adaptif dan prediktif. Implementasi teknologi 4.0 tidak hanya bertujuan untuk menggantikan sistem manual, tetapi untuk menciptakan sistem logistik militer yang *resilien*, responsif dan proaktif dalam merespon dinamika operasi laut dan kontinjenji wilayah. Bobot tinggi pada *predictive maintenance* menunjukkan bahwa kesiapan alutsista sangat bergantung pada kemampuan sistem logistik dalam melakukan deteksi dini dan perawatan berbasis data, bukan sekadar responsif terhadap kerusakan. Demikian pula, ERP logistik berperan sebagai tulang punggung keterpaduan proses distribusi, pengadaan dan pemeliharaan. Oleh karena itu, perkembangan teknologi 4.0 bukan hanya bersifat revolusioner secara teknis, tetapi transformatif secara kelembagaan, yang menuntut kesiapan struktur organisasi, SDM digital dan kebijakan anggaran yang sinkron. Penerapan hasil ini akan memberikan lompatan strategis bagi TNI Angkatan Laut dalam membangun sistem logistik yang sejajar dengan standar militer global, sekaligus memperkuat postur pertahanan laut yang tangguh dan siap tempur di era digital.

3.4. Pembahasan.

Hasil analisis yang diperoleh melalui metode Delphi dan AHP menunjukkan bahwa transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut sangat dipengaruhi oleh kemampuan adopsi teknologi 4.0 secara tepat guna, dengan penekanan pada sistem *predictive maintenance*, ERP logistik terintegrasi dan otomatisasi proses distribusi. Temuan ini secara nyata menempatkan teknologi sebagai faktor pengungkit utama dalam meningkatkan efisiensi, kecepatan dan kesiapan operasional alutsista. Di sisi lain, keberhasilan implementasi teknologi tersebut sangat bergantung pada kesiapan struktur kelembagaan dan kapabilitas sumber daya manusia yang mendukung. Oleh karena itu, hasil analisis ini menjadi dasar penting dalam merumuskan kebijakan yang adaptif, strategi yang operasional serta upaya yang konkret dan berkesinambungan. Perumusan kebijakan, strategi dan upaya ini dimaksudkan untuk menjawab kebutuhan transformasi logistik secara menyeluruh, dimulai dari arah kebijakan makro, kerangka implementasi teknis, hingga aksi taktis di tingkat operasional satuan logistik TNI Angkatan Laut.

3.4.1. Kebijakan

Kebijakan utama TNI Angkatan Laut dalam menghadapi era Revolusi Industri 4.0 adalah menetapkan arah transformasi logistik berbasis teknologi digital yang adaptif dan terintegrasi. Penerapan teknologi 4.0, seperti *predictive maintenance*, *Internet of Things* (IoT), *Big Data Analytics* dan sistem ERP (*Enterprise Resource Planning*), harus dijadikan landasan kebijakan logistik modern TNI Angkatan Laut. Kebijakan ini mengatur bahwa setiap lini fungsi logistik mulai dari pengadaan, penyimpanan, distribusi hingga perawatan alutsista harus berbasis sistem digital yang dapat saling terhubung dan diawasi dan dianalisis secara *real-time*. Selain itu, kebijakan juga perlu mengatur

peningkatan sistem keamanan siber untuk menjaga keberlangsungan sistem digital dari ancaman eksternal serta mendorong pengalokasian anggaran khusus untuk modernisasi sistem dan perangkat keras pendukung teknologi logistik militer. Berdasarkan pada analisis hasil dan pembahasan, maka dapat Kebijakan sebagai berikut:

“Terwujudnya transformasi logistik modern TNI Angkatan laut melalui penerapan Teknologi 4.0 yang adaptif dan terintegrasi, restrukturisasi kelembagaan/organisasi secara efisien dan peningkatan literasi digital dan kompetensi sumber daya manusia guna mendukung kesiapan Alutsista”.

Dari sisi kelembagaan dan regulasi, kebijakan harus diarahkan pada pembentukan dan penyesuaian struktur organisasi logistik TNI Angkatan Laut yang mendukung penerapan sistem digital secara efisien. Hal ini mencakup pembentukan unit-unit fungsional baru seperti divisi sistem informasi logistik, satuan pengendali sistem ERP dan unit perlindungan siber logistik. Reformasi tata kelola kelembagaan diperlukan untuk menghindari tumpang tindih fungsi, mempercepat alur koordinasi dan meningkatkan transparansi pengambilan keputusan. Sehingga perlu dannya penerapan regulasi, kebijakan dan SOP digitalisasi logistik yang adaptif terhadap ancaman operasional modern. Sementara itu, dalam aspek sumber daya manusia (SDM), kebijakan wajib menekankan peningkatan literasi digital, pelatihan teknis dan pengembangan kompetensi berbasis teknologi untuk seluruh personel logistik. Penataan jabatan fungsional, sistem insentif berbasis keterampilan digital serta integrasi pendidikan logistik 4.0 dalam kurikulum pendidikan militer menjadi bagian dari kebijakan SDM strategis. Dengan kebijakan yang mencakup aspek teknologi, kelembagaan dan SDM secara holistik, transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut dapat berjalan secara sistematis, terukur dan berkelanjutan.

3.4.2. Strategi

Untuk mendukung arah kebijakan tersebut, maka dirumuskan beberapa strategi sebagai berikut:

Strategi 1. Implementasi transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut dengan pendekatan bertahap dan berbasis prioritas teknologi. Fokus awal diarahkan pada strategi transformasi teknologi, yaitu dengan mengimplementasikan *predictive maintenance* sebagai sistem pemeliharaan alutsista. Langkah ini bertujuan untuk meningkatkan reliabilitas dan efektivitas logistik dengan cara mengurangi potensi kerusakan mendadak melalui pemantauan kondisi peralatan secara *real-time*. Selain itu, perlu dilaksanakan digitalisasi proses pergudangan dan distribusi logistik melalui teknologi otomatisasi dan sistem robotik, sehingga aliran barang dan informasi dapat berlangsung lebih cepat, akurat dan efisien.

Strategi 2. Integrasi digitalisasi sistem dan data logistik TNI Angkatan Laut secara menyeluruh. Hal ini dilakukan melalui pembangunan platform logistik terintegrasi (e-log) yang dapat menghubungkan seluruh satuan kerja logistik TNI Angkatan Laut, mulai dari Mabesal hingga pangkalan-pangkalan seperti Slog, Disharkap, Dismatbek dan Fasharkan. Platform ini menjadi dasar bagi sinergi operasional logistik secara horizontal maupun vertikal. Selain itu, pengembangan sistem manajemen armada logistik (*fleet management system*) berbasis GPS dan AI routing akan membantu dalam perencanaan dan pengendalian pergerakan logistik.

Strategi 3. Peningkatan kapabilitas SDM melalui peningkatan literasi dan kompetensi logistik digital, penyesuaian struktur organisasi logistik dan penerapan budaya kerja berbasis *Big Data*. Hal tersebut dilakukan melalui pelatihan bersertifikasi dan menyesuaikan kurikulum logistik berbasis teknologi 4.0 di sektor pendidikan TNI Angkatan Laut yang dipersiapkan sebagai pengawak organisasi dan struktur logistik modern TNI Angkatan Laut tersebut.

3.4.3. Upaya

Berdasarkan strategi yang telah dirumuskan, maka usaha-usaha yang dapat dilakukan oleh TNI Angkatan Laut dalam bentuk upaya nyata yang selaras dan terstruktur untuk mendukung strategi di atas adalah sebagai berikut:

- a. Strategi 1: “Implementasi transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut dengan pendekatan bertahap dan berbasis prioritas teknologi”:
 - 1) Melaksanakan proyek percontohan (*pilot project*) penerapan sistem *predictive maintenance* di beberapa KRI prioritas yang memiliki intensitas operasi tinggi.
 - 2) Optimalisasi Digitalisasi Sistem SPT dari Tingkat bawah sampai pusat.

- 3) Mengembangkan *Logistics Data Center* berbasis ERP sebagai pusat integrasi data logistik dan pengambilan keputusan berbasis data analitik serta meningkatkan sistem cyber defense logistik melalui pembangunan *firewall* militer dan enkripsi data komunikasi logistik.
- b. Strategi 2: "Integrasi digitalisasi sistem dan data logistik TNI Angkatan Laut secara menyeluruh".
 - 1) Pembangunan platform logistik terintegrasi (e-log) yang dapat menghubungkan seluruh satuan kerja logistik TNI Angkatan Laut, mulai dari Mabesal, hingga pangkalan-pangkalan seperti Slog, Disharkap, Dismatbek dan Fasharkan selain itu, perlu dibentuk divisi sistem informasi logistik, unit pengendali ERP & satuan keamanan siber logistik di setiap Komando Armada dan Pangkalan Utama.
 - 2) Melakukan audit menyeluruh sistem informasi logistik yg ada untuk identifikasi celah integrasi dan penguatan struktur.
 - 3) pengembangan sistem manajemen armada logistik (*fleet management system*) berbasis GPS dan *AI routing* akan membantu dalam perencanaan dan pengendalian pergerakan logistik.
- c. Strategi 3: "Peningkatan kapabilitas SDM melalui peningkatan literasi dan kompetensi logistik digital, penyesuaian struktur organisasi logistik dan penerapan budaya kerja berbasis Big Data".
 - 1) Menyelenggarakan program pelatihan dan sertifikasi logistik digital (ERP, IoT, *Big Data*) bagi personel pengawak logistik.
 - 2) Mengintegrasikan kurikulum logistik 4.0 pada sistem pendidikan TNI Angkatan Laut.
 - 3) Melakukan simulasi tanggap darurat logistik berbasis digital utk meningkatkan kesiapsiagaan operasi dan penggunaan sistem.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang menggabungkan metode Delphi dan AHP dengan didasari kerangka analisis *teoritical*, dapat disimpulkan bahwa perkembangan teknologi 4.0 memberikan pengaruh yang signifikan terhadap arah transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut. Transformasi ini tidak hanya memperbaiki efisiensi distribusi dan perawatan logistik, tetapi juga menjadi fondasi utama dalam mendukung kesiapan operasional alutsista secara berkelanjutan. Temuan utama penelitian ini menunjukkan bahwa elemen teknologi seperti *predictive maintenance*, sistem ERP logistik terintegrasi dan otomatisasi distribusi menjadi pengungkit dominan yang harus diimplementasikan secara bertahap namun terstruktur. Dalam konteks kelembagaan dan SDM, modernisasi tidak akan berhasil tanpa dukungan dengan struktur organisasi yang adaptif serta personel TNI Angkatan Laut yang kompeten secara digital. (Melawati, 2025) Kesimpulan ini memperkuat urgensi perencanaan strategis berbasis teknologi untuk membangun sistem logistik militer yang responsif, presisi dan berdaya saing tinggi. Rangkuman dari kesimpulan utama penelitian ini adalah sebagai berikut:

Teknologi *Predictive Maintenance* menempati bobot prioritas tertinggi dalam transformasi sistem logistik militer karena kemampuannya dalam mendeteksi potensi kerusakan secara dini pada alutsista. Pendekatan ini memungkinkan pelaksanaan perawatan berdasarkan kondisi aktual daripada jadwal rutin, sehingga mengurangi waktu henti operasional dan meningkatkan kesiapan tempur. Melalui sistem ini, data performa peralatan dikumpulkan dan dianalisis untuk memprediksi kapan komponen akan mengalami degradasi. Hasilnya, kegiatan pemeliharaan dapat dilakukan lebih efisien, menekan biaya logistik serta memperpanjang usia pakai alutsista secara signifikan.

Enterprise Resource Planning (ERP) Logistik Terintegrasi menjadi tulang punggung digitalisasi sistem logistik modern di lingkungan TNI Angkatan Laut. Sistem ini berfungsi mengintegrasikan seluruh proses pengadaan, pemeliharaan dan distribusi dalam satu platform yang saling terhubung dan transparan. Melalui ERP, setiap satuan kerja dapat mengakses data logistik secara *real-time*, sehingga pengambilan keputusan menjadi lebih cepat, akurat dan berbasis data. Selain itu, sistem ini juga meminimalkan risiko redundansi data, kehilangan informasi, dan ketidakefisienan birokrasi yang selama ini menjadi tantangan dalam pengelolaan logistik militer. Dengan demikian, ERP menjadi fondasi penting bagi efisiensi dan akuntabilitas tata kelola logistik TNI Angkatan Laut di era digital. (Arifin, 2024)

Otomatisasi pergudangan dan distribusi memiliki peran strategis dalam meningkatkan kecepatan serta akurasi rantai pasok logistik TNI Angkatan Laut. Dengan penerapan sistem otomatisasi seperti

automated storage and retrieval system (AS/RS) dan *robotic handling*, proses penyimpanan dan pengiriman material dapat dilakukan dengan presisi tinggi, mengurangi kesalahan manusia, dan mempercepat waktu respons terhadap kebutuhan operasional di lapangan. Sistem ini juga mendukung efisiensi ruang penyimpanan dan mempermudah pemantauan stok secara *real-time*. Dalam konteks operasi militer dengan ritme tinggi, otomatisasi menjadi faktor kunci untuk menjamin kontinuitas suplai logistik dan kesiapan misi.

Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dan *Big Data* menjadi elemen penting dalam mendukung implementasi sistem prediktif dan pemantauan logistik secara *real-time*. Dengan menghubungkan berbagai perangkat dan sensor, data operasional dapat dikumpulkan, dianalisis dan diolah menjadi informasi strategis untuk mendukung pengambilan keputusan cepat. Namun, efektivitas penerapan teknologi ini sangat bergantung pada ketersediaan infrastruktur jaringan, kapasitas penyimpanan data, serta integrasi sistem yang andal di seluruh satuan kerja TNI Angkatan Laut. Tanpa dukungan arsitektur teknologi yang kuat dan kebijakan keamanan siber yang ketat, pemanfaatan IoT dan *Big Data* berpotensi menghadapi kendala implementasi yang signifikan.

Kapabilitas sumber daya manusia digital dan kesiapan kelembagaan menjadi faktor pelengkap yang sangat menentukan keberhasilan adopsi teknologi industri 4.0 dalam logistik militer. Teknologi canggih tidak akan memberikan dampak optimal tanpa personel yang memiliki kompetensi digital, kemampuan analisis data dan pemahaman terhadap sistem logistik terintegrasi. Oleh karena itu, peningkatan kapasitas personel melalui pelatihan, sertifikasi dan reformasi struktur organisasi menjadi hal yang mutlak. Selain itu, kesiapan kelembagaan harus diarahkan pada pembentukan budaya kerja berbasis digital dan kolaboratif agar transformasi logistik dapat berjalan secara berkelanjutan.

Transformasi logistik modern di lingkungan TNI Angkatan Laut harus dibangun di atas tiga pilar utama. Pertama, penerapan teknologi berbasis prediktif dan otomatisasi yang menjamin efisiensi dan ketepatan dalam setiap proses logistik. Kedua, pemberian struktur organisasi agar lebih responsif dan adaptif terhadap tuntutan digitalisasi, termasuk integrasi fungsi-fungsi manajemen data dan operasional. Ketiga, pengembangan sumber daya manusia yang kompeten dan terbuka terhadap inovasi teknologi baru. Ketiga pilar ini merupakan fondasi sinergis yang akan memastikan keberhasilan transformasi logistik dari sistem konvensional menuju sistem digital yang cerdas dan tangguh.

Perencanaan strategis jangka panjang berbasis roadmap prioritas AHP sangat dibutuhkan untuk menjamin konsistensi dan efektivitas transformasi logistik TNI Angkatan Laut. Dengan pendekatan *Analytic Hierarchy Process* (AHP), setiap aspek prioritas dapat dievaluasi secara objektif berdasarkan bobot kepentingannya terhadap kesiapan operasional dan kebutuhan alutsista. *Roadmap* ini berfungsi sebagai panduan arah kebijakan, sehingga seluruh inisiatif digitalisasi logistik dapat berjalan secara terukur, terintegrasi dan sejalan dengan visi kesiapan tempur TNI Angkatan Laut di masa depan. Pendekatan ini juga memungkinkan evaluasi berkala terhadap capaian dan kendala implementasi, menjadikan transformasi logistik sebagai proses yang dinamis dan berorientasi hasil.

Dengan demikian, Transformasi logistik modern TNI Angkatan Laut yang berorientasi pada teknologi 4.0 bukan hanya merupakan keharusan teknis, tetapi merupakan sebuah strategi pertahanan yang krusial dalam menjawab tantangan operasional alutsista TNI Angkatan Laut yang modern secara efektif dan efisien.

DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, F. M. (2024). The Concept of Digital-Based Military Logistics Supply Chain Management: Strengthening Accuracy and Speed As Well As Transparency and Accountability. *STTAL POSTGRADUATE-INTERNATIONAL CONFERENCE*, 8(1), 207–217.
- Çalik, A. (2021). A novel Pythagorean fuzzy AHP and fuzzy TOPSIS methodology for green supplier selection in the Industry 4.0 era. *Soft Computing*, 25(3), 2253–2265.
- Chakrabarty, A., & Chuan, T. K. (2009). An exploratory qualitative and quantitative analysis of Six Sigma in service organizations in Singapore. *Management Research News*, 32(7), 614–632. <https://doi.org/10.1108/01409170910965224>
- Chuang, Y. F., Chia, S. H., & Wong, J. Y. (2013). Supply chain alliance factors evaluation by the Delphi-

- AHP method. *WSEAS Transactions on Business and Economics*, 10(2), 69–79.
- Cimini, C., Boffelli, A., Lagorio, A., Kalchschmidt, M., & Pinto, R. (2021). How do Industry 4.0 Technologies Influence Organisational Change? An Empirical Analysis of Italian SMEs. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 32(3), 695–721. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2019-0135>
- James, K. L., Randall, N. P., & Haddaway, N. R. (2016). A methodology for systematic mapping in environmental sciences. *Environmental Evidence*, 5(1), 1–13. <https://doi.org/10.1186/s13750-016-0059-6>
- Kostiuchenko, L., & Kostiuchenko, A. (2020). The logistical support system elements for the preparedness for military operations. *Electronic Scientific Journal Intellectualization of Logistics and Supply Chain Management #1 2020*, 2(2), 16–31. <https://doi.org/10.46783/smart-scm/2020-2-2>
- Lange, T., Kopkow, C., Lützner, J., Günther, K. P., Gravius, S., Scharf, H. P., Stöve, J., Wagner, R., & Schmitt, J. (2020). Comparison of different rating scales for the use in Delphi studies: Different scales lead to different consensus and show different test-retest reliability. *BMC Medical Research Methodology*, 20(1), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s12874-020-0912-8>
- Madhani, P. (2010). Resource Based View (RBV) of Competitive Advantage RESOURCE BASED VIEW: CONCEPTS AND PRACTICES. *Icfai University Press*, 3–22. http://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=1578704
- Melawati, F. (2025). Human Resource Management Training In The Digital Era For Micro, Small And Medium Enterprises (MSMES). *INTERNATIONAL JOURNAL OF SOCIETY REVIEWS*, 3(3), 1–10.
- Mikhailov, L., & Singh, M. G. (1999). Comparison analysis of methods for deriving priorities in the analytic hierarchy process. *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 1, 1037–1042. <https://doi.org/10.1109/icsmc.1999.814236>
- Mohammadi, A., & Mohammadi, S. (2021). Providing a Conceptual Model for the Innovation Strategy By Using Scenariobased Technology Roadmap in Context of Smart Logistic System. *Journal of Organizational Culture, Communications and Conflict, Suppl.* Special Issue 3, 25(January 2021), 1–12. https://www.proquest.com/scholarly-journals/providing-conceptual-model-innovation-strategy/docview/2585992069/se-2?accountid=14774%0Ahttps://utuvolter.fi/openurl/358FIN_UTUR/358FIN_UTUR:VU1??url_ver=Z39.88-2004&rft_val_fmt=info:ofi/fmt:kev:mtx:journal&gen
- Octaviana, S. L. (2024). *Manajemen Logistik Pertahanan Era Society 5.0 (Issue November)*.
- Saaty, T. L. (1980). *The Analytic Hierarchy Process (Planning, Priority Setting, Resource Allocation)*. Mc Graw-Hill Book Company.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Suryawan, A. (2023). Optimization of Logistics Support on Natuna Island as a Base Carrier in Uploading the Sovereignty of the Republic of Indonesia. *International Journal of Social and Management* ..., 4(4), 18–25. <https://www.ijosmas.org/index.php/ijosmas/article/view/335%0Ahttps://www.ijosmas.org/index.php/ijosmas/article/download/335/252>
- Widodo, S. I. P., & Sos, S. (2025). *Memimpin Tentara Di Era Society 5.0; Sebuah Gagasan Strategis Tentang Kepemimpinan Militer Berbasis Algoritmik Leadership*. Nas Media Pustaka.