

NASKAH ORISINAL

Peningkatan Efektivitas Operasional Angkatan Laut Untuk mendukung Pertahanan Laut Natuna Utara Melalui Pendekatan *System Thinking*

Erma Suryani^{1,*} | Arman Hakim Nasution¹ | Mukhlis³ | Rahmatika Jagad Pramundito¹ | Muhammad Syamil Fadlillah¹ | Berlian Rahmy Lidiawaty² | Moch. Farrel Arrizal Kusuma¹ | Yoyok Nurkaya Santosa³ | Kusliana³ | Okol Sri Suharyo³ | Rudi Hartono Siregar³ | April Kukuh³ | Imtyaaz Achsanul Kamila¹ | Hajid Alauddin Ramadhan¹ | Andika Insan Patria¹ | Dinanti Vita Rachman¹ | Ahmad Nabil¹ | Rafie Chalvani¹

¹Departemen Sistem Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

²Departemen Sistem Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

³Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut, Surabaya, Indonesia

Korespondensi

*Erma Suryani, Departemen Sistem Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat e-mail: erma.suryani@gmail.com

Alamat

Laboratorium Sistem Enterprise,
Departemen Sistem Informasi, Institut
Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya,
Indonesia.

Abstrak

Studi ini berfokus pada peningkatan efektivitas operasional Angkatan Laut Indonesia di Laut Natuna Utara melalui pendekatan *system thinking* sebagai bagian dari implementasi program *Minimum Essential Force* (MEF). Meskipun Indonesia adalah negara kepulauan terbesar dengan posisi strategis, wilayah Laut Natuna Utara menghadapi potensi ancaman yang memerlukan kekuatan pertahanan maritim yang tangguh. Program MEF, yang bertujuan membangun kekuatan pertahanan yang efektif hingga tahun 2029, menghadapi tantangan, terbukti dari selisih ketercapaian realisasi MEF sebesar 12,35% pada Tahap II (2015-2019), yang mengindikasikan adanya kendala signifikan dalam modernisasi alutsista. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model berbasis *system thinking* yang tidak hanya mengidentifikasi variabel kekuatan dan ancaman dari sudut pandang TNI Angkatan Laut, tetapi juga memetakan hubungan sebab-akibatnya melalui penyusunan *Causal Loop Diagram* (CLD). Model CLD ini mengintegrasikan 55 variabel (41 endogen, 14 eksogen) yang mencakup aspek pertahanan, ekonomi, dan politik. Hasil analisis menekankan pentingnya pengelolaan terpadu di luar sekadar penambahan alutsista. Model ini berfungsi sebagai kerangka strategis pendukung keputusan untuk meminimalkan kesenjangan realisasi MEF.

Kata Kunci:

Causal Loop Diagram, Governance, Minimum Essential Force (MEF), National Security, Security Threats.

1 | PENDAHULUAN

1.1 | Latar Belakang

Indonesia, sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, memiliki posisi strategis yang sangat penting dalam konteks geopolitik dan geostrategis global. Laut Natuna Utara, yang merupakan bagian integral dari wilayah Indonesia, menghadapi berbagai potensi ancaman yang dapat mengganggu kedaulatan dan keamanan nasional^[1]. Keberadaan ancaman tersebut, baik yang bersifat aktual maupun potensial, menuntut adanya kekuatan pertahanan yang tangguh untuk menjaga keutuhan wilayah dan keselamatan bangsa^[2]. Dalam menghadapi tantangan ini, penting bagi Indonesia untuk memperkuat pertahanan maritimnya, terutama di kawasan Laut Natuna Utara.

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, pemerintah Indonesia telah menetapkan program *Minimum Essential Force* (MEF) yang bertujuan untuk membangun kekuatan pertahanan yang efektif hingga tahun 2029. Program ini berfokus pada modernisasi alat utama sistem persenjataan (alutsista) dan penguatan postur pertahanan nasional^[3]. MEF dirancang untuk memastikan bahwa Indonesia memiliki kemampuan pertahanan yang memadai untuk menghadapi berbagai ancaman, serta untuk menjaga kedaulatan dan integritas wilayahnya^[4]. Pada program pengabdian sebelumnya, telah melakukan proses untuk menganalisis pertahanan keamanan Laut Natuna Utara^[5], dari hasil tersebut, pada program pengabdian masyarakat ini berfokus pada efektivitas operasional angkatan laut sebagai penerapan MEF. Fokus utamanya adalah identifikasi variabel-variabel kekuatan dan ancaman dari sudut pandang TNI AL, kemudian memetakan hubungan sebab-akibatnya melalui penyusunan *Causal Loop Diagram* (CLD).

Dalam pelaksanaan MEF, terdapat beberapa pertimbangan penting yang menjadi dasar perencanaan, antara lain skala prioritas dalam menghadapi ancaman nyata, penguatan kemandirian pertahanan, serta perencanaan yang realistik sesuai dengan kemampuan ekonomi negara^[3, 6]. Selain itu, pencapaian efek penggantian juga menjadi fokus utama untuk memperkuat diplomasi pertahanan^[7]. Untuk mendukung program ini, anggaran pertahanan pada Tahun Anggaran 2025 ditetapkan sebesar Rp 155 triliun, meningkat hampir Rp 16 triliun dari tahun sebelumnya, sebagai wujud keseriusan pemerintah dalam mendukung modernisasi alutsista dan pembangunan MEF secara menyeluruh^[8].

Pendekatan *system thinking* dipilih pada program pengabdian masyarakat ini karena mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai keterkaitan antar variabel dalam sistem pertahanan, sehingga mendukung pengambilan keputusan strategis yang lebih tepat^[9]. Dengan demikian, hasil pengabdian ini diharapkan dapat menjadi referensi awal dalam perencanaan strategis penguatan pertahanan maritim Indonesia, khususnya di Laut Natuna Utara, serta mendukung pencapaian target MEF tahap ketiga secara efektif.

1.2 | Solusi Permasalahan atau Strategi Kegiatan

Pada pengabdian masyarakat sebelumnya, telah dikembangkan model awal untuk mengenali variabel-variabel kekuatan dan ancaman di LNU^[5]. Namun, model tersebut belum dirancang untuk mendukung pencapaian target MEF. Sementara itu, berdasarkan Buku III Rencana Kerja dan Anggaran Kementerian Negara Lembaga RKA (K/L) tahun 2021, selisih ketercapaian realisasi MEF mencapai 12,35% yang menunjukkan adanya keterlambatan atau kendala signifikan dalam modernisasi alutsista^[10]. Data tersebut menunjukkan bahwa tanpa adanya perbaikan strategi dan pemodelan yang komprehensif, target MEF tahap ketiga berpotensi kembali tidak tercapai^[11]. Oleh karena itu, program pengabdian masyarakat ini berfokus pada pengembangan model berbasis *system thinking* yang tidak hanya mengidentifikasi variabel kekuatan dan ancaman, tetapi juga memetakan hubungan sebab-akibatnya melalui penyusunan *Causal Loop Diagram* (CLD). Dengan cara ini, diharapkan dapat diperoleh gambaran sistemik mengenai interaksi faktor pertahanan, sehingga dapat menjadi acuan dalam merumuskan kebijakan dan strategi operasional TNI AL di Laut Natuna Utara. Dalam pelaksanaannya, kegiatan dilakukan melalui serangkaian pertemuan koordinatif dan pelatihan interaktif bersama mitra, yaitu Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL). Tim pengabdian melakukan diskusi dan validasi model secara langsung dengan dosen STTAL, yang memiliki kompetensi dan pengalaman dalam bidang pertahanan laut. Interaksi ini dilakukan baik secara luring di kampus STTAL yang berlokasi di Jl. Bumi Moro, Morokrembangan, Surabaya, maupun secara daring melalui *Zoom Meeting* untuk memperluas partisipasi dan memastikan proses validasi berjalan efektif.

Selain validasi, dilakukan pula sesi pelatihan dan sosialisasi model simulasi pertahanan laut yang dikembangkan oleh tim. Kegiatan ini bertujuan untuk meningkatkan kemampuan mitra dalam memahami konsep *system thinking*, membaca diagram

kausal, serta mengoperasikan model yang dihasilkan. Melalui kegiatan tersebut, mitra diharapkan dapat menggunakan model ini sebagai alat bantu pengambilan keputusan strategis dalam merumuskan kebijakan operasional dan modernisasi alutsista di wilayah Laut Natuna Utara. Secara praktis, kegiatan ini memberikan dampak positif bagi STTAL berupa peningkatan kapasitas sumber daya manusia dalam penerapan metode analisis sistem dinamik, serta menyediakan model konseptual yang dapat digunakan dalam pendidikan dan perencanaan strategis pertahanan maritim. Sementara bagi tim pengabdian, kegiatan ini memperkuat kolaborasi akademik dengan instansi militer serta membuka peluang pengembangan model lanjutan yang lebih aplikatif. Adapun waktu pelaksanaan kegiatan berlangsung pada periode Mei hingga September 2025, dengan pendampingan langsung dari Komandan STTAL, Wadan STTAL, beserta jajaran.

Pendekatan *System Thinking* dalam Abmas peningkatan efektivitas operasional TNI AL di Laut Natuna Utara memberikan dampak signifikan bagi STTAL melalui tiga aspek utama. Pertama, penguatan kapasitas keilmuan dan riset, dengan integrasi model inovatif seperti *dashboard* simulasi DASINA ke dalam kurikulum dan fokus riset pertahanan terintegrasi. Kedua, peningkatan peran operasional, melalui kontribusi nyata dalam pengembangan produk strategis yang mendukung pengambilan keputusan TNI AL serta melahirkan lulusan berkemampuan *System Thinking*. Ketiga, penguatan kolaborasi dan reputasi institusi, melalui sinergi dengan perguruan tinggi dan satuan TNI AL yang memperkuat implementasi Tri Dharma serta citra STTAL sebagai lembaga pertahanan yang inovatif dan berkontribusi pada kedaulatan nasional.

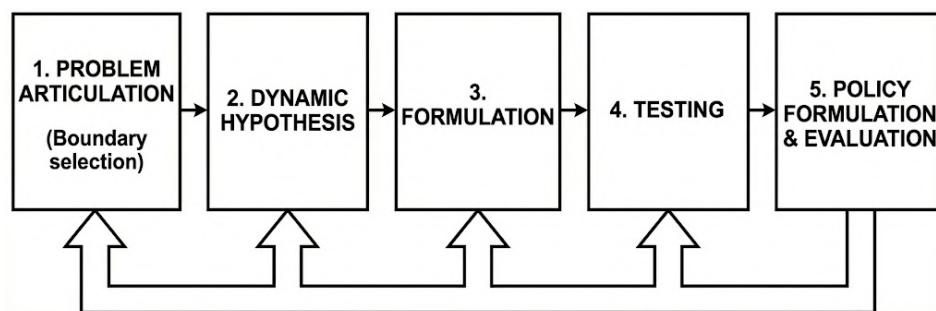
1.3 | Target Luaran

Luaran utama dari program pengabdian masyarakat ini adalah tersusunnya *Causal Loop Diagram* (CLD) yang memetakan keterkaitan variabel kekuatan dan ancaman TNI AL di Laut Natuna Utara, sesuai dengan pencapaian target MEF. Model CLD ini berfungsi sebagai kerangka analisis untuk memahami dinamika sistem pertahanan maritim secara menyeluruh^[12], sehingga dapat mengidentifikasi faktor-faktor kunci yang mempengaruhi efektivitas operasional Angkatan Laut^[13]. Keberadaan CLD diharapkan tidak hanya memberikan gambaran konseptual, tetapi juga menjadi instrumen strategis yang dapat mendukung pencapaian target *Minimum Essential Force* (MEF). Dengan memanfaatkan CLD, pemangku kepentingan dapat mensimulasikan berbagai skenario kebijakan pertahanan dan merumuskan langkah-langkah prioritas guna memperkecil kesenjangan realisasi MEF yang pada periode sebelumnya masih menghadapi keterlambatan signifikan.

2 | TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian ini dijelaskan mengenai kajian pemodelan sistem dinamik dan kebijakan Minimum Essential Force dalam pertahanan dan keamanan negara yang diterapkan dalam melaksanakan program pengabdian masyarakat ini.

2.1 | Sistem Dinamik



Gambar 1 Tahapan Pengembangan Model Sistem Dinamik berdasarkan Sterman (2000).

Dalam konteks sistem dinamik, pengembangan dimulai dengan *Problem Articulation (Boundary Selection)*, di mana perlu mendefinisikan masalah dengan menetapkan batasan sistem yang jelas serta perincian variabel dari tujuan sistem yang dituju. Tahap berikutnya, *Dynamic Hypothesis*, mengajak untuk membentuk asumsi mengenai hubungan sebab akibat yang terjadi

dalam sistem tersebut. Pada tahapan ini diagram Causal Loop Diagram mulai dikembangkan. Melalui *Formulation*, asumsi tersebut menjadi model matematis atau simulasi. Pada tahapan ini diagram *Stock and Flow Diagram* (SFD) dikembangkan di disimulasikan. Testing adalah tahap untuk menguji keakuratan dan validasi model tersebut. Pada tahap terakhir, *Policy Formulation & Evaluation* dilakukan untuk merumuskan dan mengevaluasi kebijakan berdasarkan hasil dari model yang telah diuji. Setiap tahap ini saling terkait dan memberikan kontribusi penting dalam pengembangan solusi yang efektif untuk masalah yang dihadapi, dan siklus ini dapat diulang secara berkelanjutan untuk penyempurnaan lebih lanjut^[9]. Tahapan pengembangan model sistem dinamik dapat dilihat pada Gambar 1.

2.2 | Minimum Essential Force (MEF)

Minimum Essential Force (MEF) adalah konsep yang diterapkan oleh pemerintah Indonesia untuk membangun kekuatan pertahanan yang memadai dalam menghadapi berbagai ancaman terhadap kedaulatan dan keamanan nasional. MEF berfokus pada modernisasi alat utama sistem persenjataan (alutsista) dan penguatan postur pertahanan, dengan tujuan mencapai efektivitas operasional yang optimal. Program ini dirancang berdasarkan pertimbangan skala prioritas, kemandirian pertahanan, perencanaan realistik, dan pencapaian efek penggartar untuk mendukung diplomasi pertahanan.

MEF merupakan bagian integral dari Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) yang ditetapkan oleh pemerintah Indonesia, dengan tujuan untuk meningkatkan kemampuan pertahanan negara hingga tahun 2029^[3, 10]. Dalam implementasinya, MEF dibagi menjadi tiga tahap, yaitu tahap pertama dari 2010 hingga 2014, tahap kedua dari 2015 hingga 2019, dan tahap ketiga dari 2020 hingga 2024^[6], yang realisasi ketercapaiananya dapat dilihat pada Tabel 1. Kebijakan ini tidak hanya berfokus pada pengadaan alutsista, tetapi juga mencakup pengembangan strategi pertahanan yang komprehensif, termasuk penguatan kerjasama internasional dalam bidang pertahanan.

Tabel 1 Pencapaian Alutsista MEF per Tahap

Tahap MEF	Target MEF	Realisasi MEF
Sebelum MEF (2010)	45,23%	41,92%
Tahap I (2010-2014)	57,24%	54,97%
Tahap II (2015-2019)	75,54%	63,19%
Tahap III (2020-2024)	100%	-

Berdasarkan Tabel 1, target capaian MEF pada setiap tahap menunjukkan adanya kecenderungan peningkatan yang signifikan, namun realisasi yang dicapai belum sepenuhnya memenuhi target yang telah ditetapkan. Pada Tahap I (2010–2014), realisasi MEF hanya mencapai 54,97% dari target 57,24%, sehingga masih terdapat selisih sebesar 2,27%. Selanjutnya pada Tahap II (2015–2019), kesenjangan antara target (75,54%) dan realisasi (63,19%) semakin melebar hingga 12,35%, yang menandakan adanya hambatan serius dalam modernisasi alutsista maupun implementasi kebijakan pertahanan. Sementara itu, untuk Tahap III (2020–2024) ditetapkan target 100%, namun hingga kini laporan realisasi resmi secara komprehensif belum dipublikasikan. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun MEF dirancang sebagai fondasi utama pembangunan postur pertahanan negara, pelaksanaannya menghadapi tantangan yang kompleks, baik dari aspek anggaran, kesiapan industri pertahanan dalam negeri, maupun dinamika geopolitik kawasan.

Ketercapaian realisasi MEF apabila dirincikan khusus untuk per angkatan Tentara Negara Indonesia (TNI), dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2, terlihat bahwa capaian MEF pada tiap matra tidak konsisten. Pada fase sebelum MEF, TNI AL mencatat capaian tertinggi sebesar 60,29%, menunjukkan bahwa kekuatan laut relatif lebih siap dibanding TNI AD dan TNI AU. Namun, pada Tahap I (2010–2014), pencapaian TNI AL hanya naik tipis menjadi 60,71%, berbeda dengan TNI AD dan TNI AU yang melonjak signifikan. Pada Tahap II (2015–2019), capaian TNI AL justru turun menjadi 46,12%, mengindikasikan adanya keterlambatan modernisasi alutsista laut. Kondisi ini memperlihatkan bahwa meskipun Laut Natuna Utara memiliki posisi strategis, pembangunan kekuatan TNI AL belum berjalan optimal. Dengan demikian, penguatan alutsista maritim perlu menjadi prioritas agar peran TNI AL dalam mendukung pencapaian MEF dan menjaga kedaulatan maritim Indonesia dapat lebih maksimal.

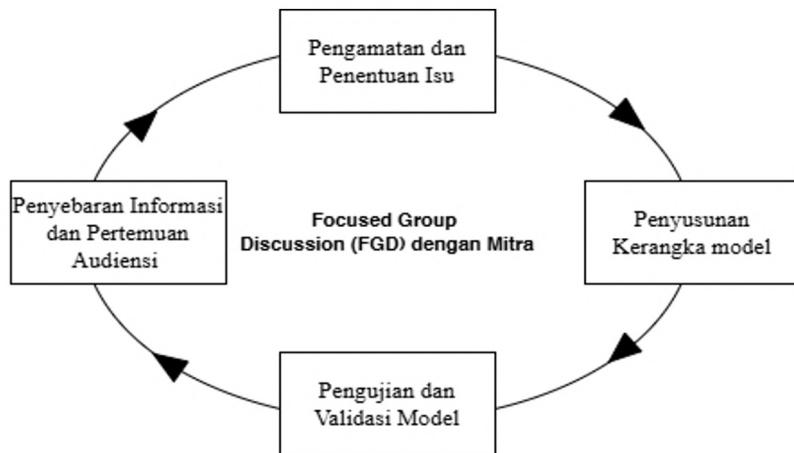
Tabel 2 Pencapaian Alutsista MEF per Angkatan

Angkatan	Pencapaian Tahapan		
	Sebelum MEF	MEF Tahap 1	MEF Tahap 2
TNI AD	37,26%	64,89%	38,15%
TNI AL	60,29%	60,71%	46,12%
TNI AU	38,15%	67,57%	45,19%

Dengan anggaran pertahanan yang terus meningkat, seperti yang ditetapkan pada Tahun Anggaran 2025 sebesar Rp 155 triliun, MEF diharapkan dapat memberikan dampak signifikan terhadap postur pertahanan Indonesia. Peningkatan anggaran ini mencerminkan komitmen pemerintah untuk mendukung modernisasi alutsista dan memperkuat pertahanan maritim^[14], khususnya di kawasan Laut Natuna Utara yang strategis. Dengan demikian, MEF perlu memperhatikan target alutsista tahap tiga sesuai dengan anggaran yang diberikan. Berikut merupakan gambar penjelasan target alutsista MEF tahap tiga.

3 | METODE KEGIATAN

Metodologi pelaksanaan program pengabdian kepada masyarakat ini dirancang dengan mengacu pada pendekatan pengembangan model berbasis sistem dinamik, yang disesuaikan dengan kondisi faktual selama proses pelaksanaan. Secara umum, rangkaian tahapan metode yang digunakan dalam program ini disajikan pada Gambar 2.

**Gambar 2** Diagram alir tahap kegiatan.

Berdasarkan Gambar (3), program pengabdian kepada masyarakat diawali dengan tahap observasi dan identifikasi permasalahan, dilanjutkan dengan pengembangan model, serta diikuti oleh validasi model. Ketiga tahapan tersebut dilaksanakan secara berurutan, dengan setiap tahapannya disertai pelaksanaan diskusi bersama mitra. Proses diskusi ini memungkinkan adanya umpan balik yang dapat mengarahkan kembali ke tahapan sebelumnya atau melanjutkan ke tahap berikutnya, hingga diperoleh *Causal Loop Diagram* (CLD) yang bersifat komprehensif.

3.1 | Pengamatan dan Penentuan Isu

Tahap awal dimulai dengan melakukan observasi, pengumpulan data, dan analisis terhadap kondisi pertahanan dan keamanan di Laut Natuna Utara, khususnya terkait efektivitas operasional TNI AL dalam kerangka program *Minimum Essential Force* (MEF). Kegiatan ini mencakup identifikasi variabel-variabel kekuatan (*strength*) dan ancaman (*threat*) yang relevan dari sudut pandang TNI AL, termasuk faktor sumber daya, kesiapan alutsista, dan tingkat ancaman di wilayah tersebut.

3.2 | Penyusunan Kerangka model

Berdasarkan hasil kompilasi informasi dari berbagai sumber, seperti penelitian terdahulu, literatur, serta masukan dari para ahli, telah diidentifikasi sejumlah variabel yang saling berkaitan dalam membangun model sistem pertahanan dan kekuatan negara di wilayah Laut Natuna Utara. Variabel-variabel ini mencakup aspek pertahanan laut, keamanan, dan faktor ekonomi yang relevan. Seluruh variabel tersebut digunakan oleh tim KKN sebagai dasar dalam pengembangan model sistem dinamik, yang bertujuan untuk memetakan potensi peningkatan pertahanan dan keamanan, sekaligus optimalisasi nilai ekonomi kawasan. Model ini dikembangkan menggunakan perangkat lunak *Ventana Simulation PLE* dengan pendekatan metode sistem dinamik. Daftar lengkap variabel, tipe variabel, serta satuan yang digunakan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3 Variabel Signifikan dan Variabel Model

Variabel	Tipe Variabel	Satuan yang Mungkin Digunakan
Naval Capabilities	Endogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Deterrence Factor	Endogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Minimum Essential Force	Endogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Economy	Endogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Natuna Sea Threat Based	Endogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Fighters Purchase	Endogen	Jumlah Unit
Number of Aircraft Fighters	Endogen	Unit
Fighters Operating Duration	Endogen	Jam / Bulan / Tahun
Enablers Aircraft	Endogen	Unit
Marine Personnel Forces	Endogen	Orang / Unit
Works Span	Endogen	Tahun
Combat Vehicle Purchase	Endogen	Jumlah Unit
Number of Combat Vehicle	Endogen	Unit
Combat Vehicle Operating Duration	Endogen	Jam / Bulan / Tahun
Number of Warships on Production	Endogen	Unit
Number of Operating Warships	Endogen	Unit
Warships Send on Patrolling Mission	Endogen	Unit
Warships Send on Supporting Mission	Endogen	Unit
Warships Send on Striking Mission	Endogen	Unit
Chance of Warships on Patrolling	Endogen	Persentase (%) / Proporsi (0-1)
Chance of Warships on Supporting	Endogen	Persentase (%) / Proporsi (0-1)
Chance of Warships on Striking	Endogen	Persentase (%) / Proporsi (0-1)
Patrolling Score	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Supporting Score	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Striking Score	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Warships Strength	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Refuel	Endogen	Proses / Waktu (jam) / Jumlah (liter)
Rest	Endogen	Proses / Waktu (jam) / Hari
Repair	Endogen	Proses / Waktu (jam) / Hari
Replenishment	Endogen	Proses / Jumlah (unit)
Marine Forces Strength	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Harbour	Endogen	Lokasi / Jumlah / Kapasitas
Combat Vehicle Score	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Marine Ability Score	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Aircraft Strength	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Optimal Marine Personel Score	Endogen	Nilai Skala (mis. 1-10) / Indeks
Optimal Aircraft Fighters Number	Endogen	Unit
Optimal Patrolling Ships	Endogen	Unit

Tabel 3 – Lanjutan

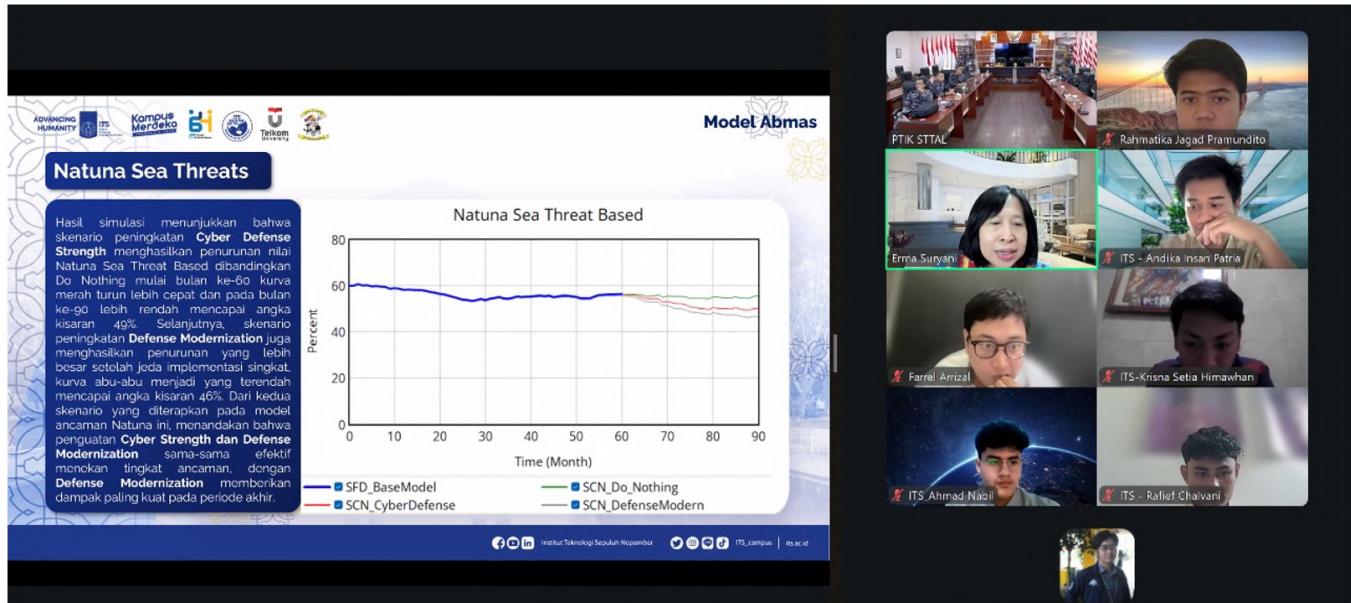
Variabel	Tipe Variabel	Satuan yang Mungkin Digunakan
Optimal Supporting Ships	Endogen	Unit
Optimal Striking Ships	Endogen	Unit
Optimal Combat Vehicle	Endogen	Unit
Intelligence	Eksogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Support	Eksogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Diplomacy	Eksogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Defense	Eksogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Regional Empowerment	Eksogen	Nilai Indeks / Kualitatif
GDP Indonesia	Eksogen	Rupiah (IDR) / Dolar (USD)
Military Threats	Eksogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Non Military Threats	Eksogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Combined Deployed	Eksogen	Unit
Grouped Deployed	Eksogen	Unit
Unit Deployed	Eksogen	Unit
Diplomacy Country	Eksogen	Nilai Indeks / Kualitatif
Naval Deployment	Eksogen	Unit
Recruit	Endogen	Jumlah Orang

3.3 | Pengujian dan Validasi Model

Model yang telah disusun diuji dan divalidasi melalui simulasi serta diskusi bersama mitra, dalam hal ini pihak Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL) dan unsur terkait. Proses validasi dilakukan untuk memastikan CLD yang dihasilkan mampu merepresentasikan kondisi faktual di lapangan, sekaligus memprediksi potensi dampak perubahan variabel terhadap efektivitas operasional TNI AL di Laut Natuna Utara^[11].

3.4 | Penyebaran Informasi dan Pertemuan Audiensi

Hasil akhir model dan temuan dari program pengabdian ini disosialisasikan melalui kegiatan audiensi dan penyebaran informasi yang dilaksanakan di Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL), berlokasi di Jl. Bumi Moro, Morokrembangan, Surabaya, Jawa Timur. Kegiatan ini dilaksanakan pada bulan September 2025 sebagai tahap penutup dari rangkaian kegiatan pengabdian yang berlangsung sejak Mei 2025. Peserta kegiatan terdiri atas perwakilan dosen, perwira mahasiswa STTAL, serta tim pengabdian dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) 3 dosen dan 9 mahasiswa. Kegiatan ini juga dihadiri oleh Komandan STTAL, Wadan STTAL, dan jajaran pejabat struktural, yang berperan aktif dalam memberikan masukan terhadap hasil model yang dikembangkan. Pelaksanaan audiensi dilakukan dalam bentuk *Focus Group Discussion* (FGD) yang diawali dengan penyampaian informasi dan pemaparan hasil model simulasi, termasuk variabel-variabel kunci dan hubungan sebab-akibat yang digambarkan melalui *Causal Loop Diagram* (CLD). Setelah itu, peserta terlibat dalam diskusi terbuka dan sesi tanya jawab untuk meninjau kesesuaian model dengan kondisi operasional di lapangan seperti yang dijelaskan pada gambar 3. Selain FGD, kegiatan juga mencakup pelatihan singkat dan validasi bersama mitra, yang bertujuan untuk memastikan bahwa model dapat digunakan secara praktis dalam proses pengambilan keputusan di lingkungan STTAL dan TNI AL. Dalam sesi ini, tim pengabdian memberikan panduan teknis penggunaan model dan interpretasi hasil simulasi, serta mendokumentasikan masukan dari mitra untuk penyempurnaan model di tahap selanjutnya. Melalui kegiatan audiensi dan penyebaran informasi ini, dihasilkan kesepakatan bersama antara tim pengabdian dan pihak STTAL terkait langkah tindak lanjut, yaitu pemanfaatan model secara berkelanjutan sebagai alat bantu analisis strategis dan pembelajaran internal dalam mendukung pencapaian *Minimum Essential Force* (MEF) di wilayah Laut Natuna Utara.



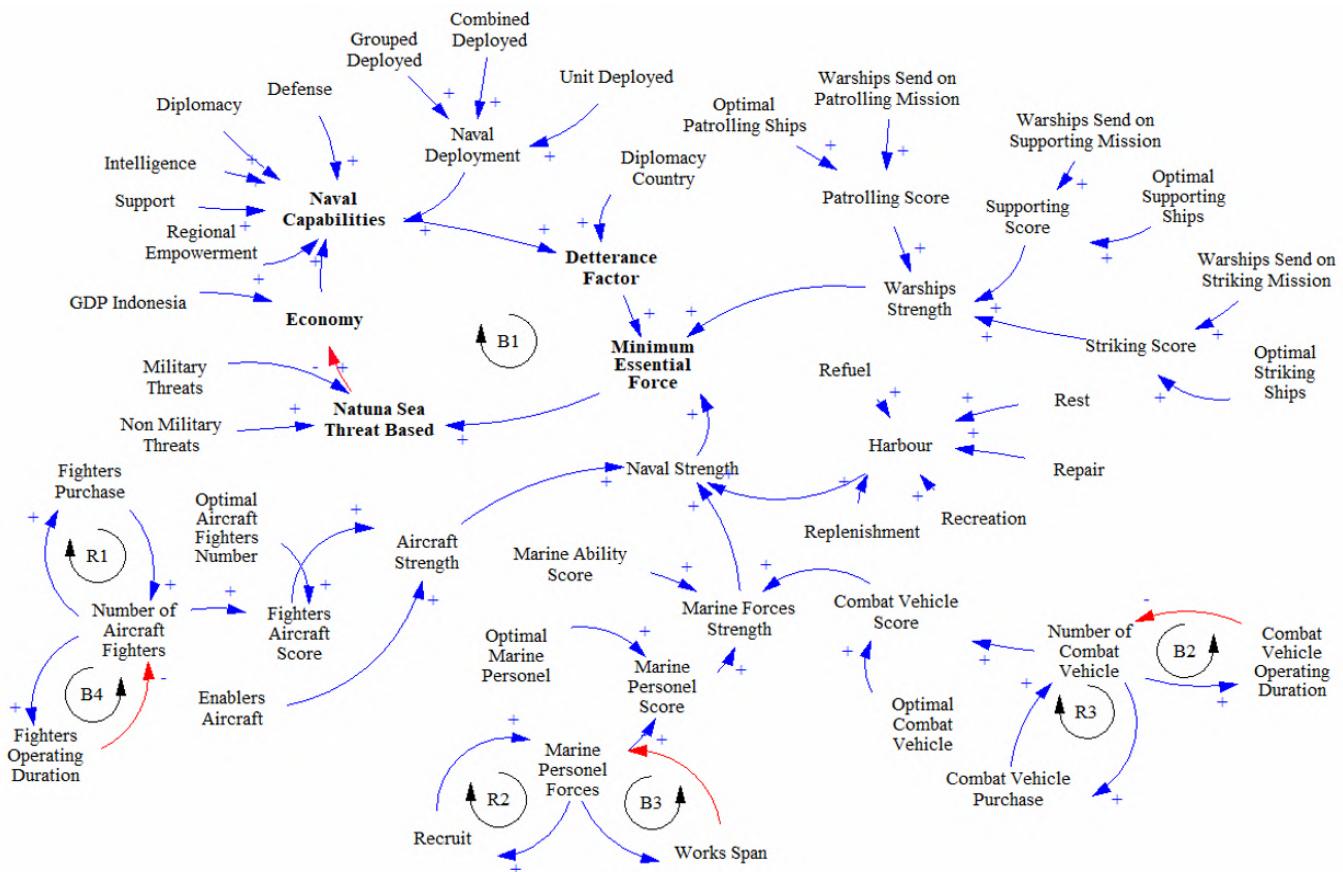
Gambar 3 Proses diksusi abmas dalam penyusunan CLD MEF.

4 | HASIL DAN DISKUSI

Causal Loop Diagram (CLD) merepresentasikan interaksi dan umpan balik kompleks dalam sistem pertahanan nasional Indonesia, khususnya dalam konteks efektivitas operasional TNI Angkatan Laut (TNI AL) sebagai implementasi program *Minimum Essential Force* (MEF), seperti ditunjukkan dalam Gambar 3. Pembangunan kekuatan pertahanan nasional dalam kerangka MEF tidak hanya sekadar memenuhi kebutuhan alutsista, tetapi juga dirancang secara strategis dengan mempertimbangkan empat prinsip utama: (1) *threat based design*, yaitu menetapkan skala prioritas dalam menghadapi ancaman nyata tanpa mengabaikan potensi ancaman; (2) *capability based defense*, yakni penguatan kemandirian melalui kemampuan pertahanan yang memadai; (3) perencanaan realistik sesuai kemampuan ekonomi negara; serta (4) pencapaian *deterrence effect* sebagai efek penggantar untuk memperkuat diplomasi pertahanan.

Model CLD mencakup sektor-sektor utama, yaitu operasi angkatan laut, pasukan marinir, kekuatan udara, serta faktor ekonomi dan politik yang turut memengaruhi postur pertahanan. Hubungan antarvariabel ditunjukkan melalui tanda positif (+) yang merepresentasikan pengaruh searah dan tanda negatif (-) yang merepresentasikan pengaruh berlawanan. Lingkaran penguatan (ditandai panah biru) menggambarkan mekanisme peningkatan kemampuan yang saling memperkuat, seperti peningkatan pengerahan kapal perang yang berdampak pada peningkatan kemampuan tempur dan justifikasi pengerahan lanjutan. Sebaliknya, lingkaran penyeimbang (ditandai panah merah) menunjukkan keterbatasan yang timbul akibat kebutuhan pemeliharaan, pengisian logistik, dan keterbatasan sumber daya manusia maupun anggaran.

Analisis CLD mengungkap bahwa peningkatan jumlah atau kapabilitas salah satu elemen pertahanan, seperti kapal perang atau pesawat tempur, tidak serta-merta menghasilkan efek peningkatan pertahanan yang linier. Efektivitas sistem bergantung pada pengelolaan terpadu seluruh variabel, termasuk kesiapan personel, kapasitas pemeliharaan, dukungan diplomatik, serta stabilitas ekonomi. Dalam konteks MEF, *deterrence effect* menjadi variabel sentral yang dipengaruhi langsung oleh kekuatan laut, kekuatan udara, dan pasukan marinir. Dengan demikian, CLD ini berfungsi sebagai alat analisis strategis yang dapat digunakan pembuat kebijakan untuk mensimulasikan skenario, mengevaluasi alternatif kebijakan pertahanan, dan memprediksi dampak jangka panjang dari strategi seperti peningkatan anggaran, pengadaan alutsista baru, atau penguatan cabang militer tertentu.



Gambar 4 Struktur Causal Loop Diagram (CLD) strategi pertahanan di laut Natuna Utara berbasis MEF.

4.1 | Balancing Loops (B)

- Loop B1:** Menggambarkan hubungan antara *Deterrence Factor* (Faktor Penggentar) dan *Natuna Sea Threat Based* (Ancaman Berbasis Laut Natuna). Peningkatan ancaman di Laut Natuna mendorong peningkatan *Deterrence Factor*, yang pada gilirannya akan mengurangi (menyeimbangkan) ancaman tersebut. Ini adalah contoh mekanisme penyeimbang, di mana peningkatan suatu faktor akan memicu respon yang bertujuan untuk menormalkan atau mengurangi faktor tersebut.
- Loop B2:** Menjelaskan dinamika *Combat Vehicle* (Kendaraan Tempur) dan *Combat Vehicle Operating Duration* (Durasi Operasional Kendaraan Tempur). Ketika *Number of Combat Vehicle* (Jumlah Kendaraan Tempur) meningkat, *Combat Vehicle Operating Duration* juga akan meningkat. Namun, durasi operasional yang semakin lama akan menyebabkan kelelahan dan kerusakan, sehingga mengurangi jumlah kendaraan tempur yang siap operasional.
- Loop B3:** Menunjukkan interaksi antara *Marine Personnel Score* (Skor Personel Marinir) dan *Works Span* (Masa Kerja). Peningkatan skor personel Marinir menyebabkan peningkatan *Works Span*, yang kemudian dapat menurunkan skor tersebut. Hal ini bisa terjadi karena masa kerja yang panjang tanpa regenerasi yang memadai dapat menurunkan kualitas atau efektivitas personel.

4.2 | Reinforcing Loops (R)

- Loop R1:** Menggambarkan mekanisme penguatan positif antara *Number of Aircraft Fighters* (Jumlah Pesawat Tempur), *Fighters Operating Duration* (Durasi Operasional Pesawat Tempur), dan *Fighters Purchase* (Pembelian Pesawat Tempur). Peningkatan jumlah pesawat tempur yang dimiliki akan memperpanjang durasi operasional, dan durasi operasional yang lama dapat memicu kebutuhan untuk pembelian pesawat tempur baru, yang selanjutnya akan meningkatkan jumlah pesawat tempur secara keseluruhan.

- **Loop R2:** Menjelaskan siklus penguatan dalam perekutan *Marine Personnel*. Peningkatan jumlah rekrutan (*Recruit*) akan meningkatkan *Marine Personnel Score* (Skor Personel Marinir), yang pada akhirnya akan memotivasi peningkatan rekrutasi. Ini adalah siklus penguatan positif di mana hasil yang baik memicu aksi yang lebih intens, yang kemudian menghasilkan hasil yang lebih baik lagi.
- **Loop R3:** Menunjukkan hubungan antara *Combat Vehicle Purchase* (Pembelian Kendaraan Tempur) dan *Number of Combat Vehicle*. Peningkatan pembelian kendaraan tempur secara langsung meningkatkan jumlah kendaraan tempur, yang kemudian dapat mendorong lebih banyak pembelian di masa depan untuk modernisasi atau ekspansi.
- **Loop R4:** Menggambarkan bagaimana *Fighters Operating Duration* (Durasi Operasional Pesawat Tempur) memengaruhi *Number of Aircraft Fighters*. Durasi operasional yang lama dapat menandakan efektivitas dan kebutuhan yang tinggi, yang mendorong pembelian pesawat tempur baru (*Fighters Purchase*). Pembelian ini pada akhirnya akan meningkatkan jumlah pesawat tempur yang tersedia, memungkinkan durasi operasional yang lebih panjang.

Sementara itu, model hasil pengabdian masyarakat ini telah disampaikan kepada pihak Tentara Negara Indonesia Angkatan laut (TNI AL), melalui pertemuan bersama Sekolah Tinggi Teknologi Angkatan Laut (STTAL). Bukti dari proses validasi tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5 Proses validasi ke pihak STTAL.

5 | KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini menghasilkan *Causal Loop Diagram* (CLD) yang secara komprehensif memetakan hubungan sebab-akibat dan mekanisme umpan balik dalam sistem pertahanan nasional Indonesia, khususnya dalam konteks efektivitas operasional TNI Angkatan Laut (TNI AL) sebagai implementasi *Minimum Essential Force* (MEF). Model yang dibangun memuat 55 variabel, terdiri dari 41 variabel endogen dan 14 variabel eksogen, yang mencakup sektor operasi angkatan laut, pasukan marinir, kekuatan udara, serta variabel pendukung seperti logistik, pemeliharaan, dan dukungan politik-ekonomi. CLD ini menjawab permasalahan utama penelitian, yaitu bagaimana memetakan interaksi antar variabel kekuatan dan ancaman dari sudut pandang TNI AL sehingga dapat diidentifikasi faktor-faktor penentu keberhasilan pembangunan kekuatan esensial minimum.

Hasil analisis menunjukkan bahwa *deterrence effect* merupakan variabel sentral yang menentukan efektivitas sistem, dipengaruhi secara langsung oleh kekuatan laut, udara, dan marinir. Lingkaran penguatan (*reinforcing loop*) memperlihatkan adanya potensi percepatan peningkatan kemampuan tempur jika variabel pendukung terkelola dengan baik, sementara lingkaran penyeimbang (*balancing loop*) menegaskan adanya keterbatasan logistik, pemeliharaan alutsista, rotasi personel, dan anggaran yang dapat menahan laju peningkatan kekuatan. Dengan demikian, penguatan satu variabel utama tidak akan optimal jika tidak diimbangi dengan penguatan variabel pendukung.

Temuan ini menegaskan bahwa pembangunan pertahanan nasional dalam kerangka MEF tidak cukup berfokus pada jumlah alutsista semata, melainkan harus mengikuti empat prinsip strategis, yaitu: (1) *threat based design* untuk memprioritaskan

ancaman nyata tanpa mengabaikan potensi ancaman, (2) *capability based defense* guna membangun kemandirian dan ketahanan, (3) perencanaan realistik sesuai kemampuan ekonomi negara, dan (4) pencapaian *deterrence effect* untuk memperkuat diplomasi pertahanan. Dengan pendekatan ini, kebijakan pertahanan dapat dirancang lebih adaptif, berkelanjutan, dan mampu menjawab tantangan multidimensi yang dihadapi Indonesia.

Causal loop diagram ini memberikan gambaran konseptual tentang interaksi variabel pertahanan, tetapi juga menawarkan kerangka aplikatif yang dapat digunakan dalam perencanaan dan pengambilan keputusan strategis. CLD ini memiliki potensi untuk dikembangkan menjadi *stock-flow* diagram sebagai dasar simulasi skenario kebijakan, termasuk pengaruh peningkatan anggaran, pengadaan alutsista baru, atau penyesuaian strategi patroli laut. Program ini penting karena mampu menyediakan alat analisis yang berkelanjutan bagi perencanaan pertahanan untuk mengantisipasi perubahan ancaman dan sumber daya. Disarankan agar validasi model dilakukan secara berkala dengan data terbaru agar relevansi dan akurasinya terjaga, sehingga hasil yang diperoleh tetap mampu menjawab judul penelitian dan menyelesaikan permasalahan inti yang diangkat.

6 | UCAPAN TERIMA KASIH

Pengabdian masyarakat ini didukung oleh Direktorat Riset dan Pengabdian Kepada Masyarakat, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, serta Pusat Studi Pengembangan Industri dan Kebijakan Publik, Nomor kontrak pengabdian kepada masyarakat 1999/PKS/ITS/2025.

Referensi

1. Sugianto A, Agussalim D, Armawi A. Penanganan Keamanan Maritim Perbatasan Wilayah Laut Dan Dampaknya Pada Aspek Pertahanan Keamanan. *Jurnal Lemhannas RI* 2021;9(2):113–126.
2. Dikarev A, Lukin A. Russia's approach to South China Sea territorial dispute: it's only business, nothing personal. *The Pacific Review* 2022;35(4):617–646.
3. Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Pertahanan Republik Indonesia Nomor 19 Tahun 2012 tentang Kebijakan Penyalarasan Minimum Essential Force Komponen Utama; 2012. Available: <http://www.djpp.depriumham.go.id>. Jakarta: Kementerian Pertahanan Republik Indonesia.
4. Karyadie YA. Respons dan Kebijakan Pertahanan Indonesia dalam Menghadapi ARMS Race di Kawasan Asia Tenggara (2014-2023). *Diplomacy and Global Security Journal: Jurnal Mahasiswa Magister Hubungan Internasional* 2024;1(1).
5. Suryani E, et al. Potensi Pengembangan Pertahanan dan Keamanan Laut Natuna Utara untuk Meningkatkan Nilai Ekonomi dan Keamanan Melalui Pembuatan Causal Loop Diagram. *Sewagati* 2024;8(4).
6. Andalus MK, Djuyandi Y. Analisis Implementasi Kebijakan Pengadaan Alutsista RI Dalam Kerangka Kebijakan Minimum Essential Force (MEF) Pada Tahun 2020-2024. *Aliansi: Jurnal Politik, Keamanan Dan Hubungan Internasional* 2022;1(3):175–188.
7. Prasetyo TB, Berantas S. Diplomasi Pertahanan Sebagai Bagian Dari Diplomasi Total RI. *Jurnal Pertahanan dan Bela Negara* 2014;4(2):165–184.
8. Aida AN. Pemenuhan MEF Alutsista dalam Mendukung Kekuatan Pertahanan Indonesia. *Politik dan Keamanan Budget Issue Brief* 2021;01(5):1–2. Available: <https://www.puskajianggaran.dpr.go.id>.
9. Sterman J. *Instructor's manual to accompany business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world*. McGraw-Hill; 2000.
10. Kementerian Pertahanan Republik Indonesia, Buku III Himpunan RKA-KL TA 2021; 2021. Jakarta: Kementerian Pertahanan RI.
11. Sarjito A, Ali Y, Wijaya AF. Efektivitas Kebijakan Minimum Essential Force Komponen Utama Tentara Nasional Indonesia Angkatan Laut. *Manajemen Pertahanan: Jurnal Pemikiran Dan Penelitian Manajemen Pertahanan* 2019;4(2).

12. Nurdiansyah DR. Analisa Strategis Kesiapan Operasional TNI Angkatan Laut dalam Menghadapi Dinamika Lingkungan Maritim. *Ranah Research: Journal of Multidisciplinary Research and Development* 2024;6(6):2579–2589.
13. Rulianto, Fajarwati SD. Analisis Kesiapan Alutsista TNI AD dalam Mendukung Minimum Essential Force. *Jurnal Pertahanan & Bela Negara* 2015;5(3):35–54.
14. Adestria E, Almubaroq HZ, Risdhianto A. Evaluation of the Minimum Essential Force Program on the Independence of the Indonesian Defense Industry. *The Management Journal of Binaniaga* 2024;9(02):95–106.

Cara mengutip artikel ini: Suryani, E., Nasution, A. H., Mukhlis, Pramundito, R. J., Fadlillah, M. S., Lidiawaty, B. R., Kusuma, M. F. A., Santosa, Y. N., Kusliana, Suharyo, O. S., Siregar, R. H., Kukuh, A., Kamila, I. A., Ramadhan, H. A., Patria, A. I., Rach-man, D. V., Nabil, A., Chalvani, R., (2025), Peningkatan Efektivitas Operasional Angkatan Laut Untuk mendukung Pertahanan Laut Natuna Utara Melalui Pendekatan *System Thinking*, *Sewagati*, 9(6):1449–1460, <https://doi.org/10.12962/j26139960.v9i6.8054>.