Pengembangan Integrated Airspace Security System (IASS) sebagai Kerangka Tata Kelola Ruang Udara Terintegrasi

Afen Sena*, [1], Budi Santoso[2]

[1]Program Studi Diploma III Operasi Pesawat Udara, Akademi Penerbang Indonesia
Jl. Pantai Blimbingsari, Kecamatan Blimbingsari, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur 68462, Indonesia
[2]Program Studi Doktor Konsentrasi Strategi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia
Kawasan Indonesia Peace and Security Center (IPSC), Sentul, Sukahati, Citeureup, Bogor, Jawa Barat 16810, Indonesia

*E-mail: afensena@mail.com

Diterima: 22 Januari 2026, direvisi: 30 Maret 2026, disetujui: 8 Mei 2026,
tersedia daring: 22 Oktober 2026, diterbitkan: 23 Oktober 2026

Abstrak

Ruang udara merupakan sistem sosio-teknis yang kompleks karena melibatkan interaksi antara penerbangan sipil, pertahanan militer, teknologi navigasi, dan keamanan siber, sementara tata kelolanya masih bersifat sektoral sehingga belum mendukung pengambilan keputusan yang terintegrasi. Penelitian ini bertujuan mengembangkan *Integrated Airspace Security System Framework* (IASSF) sebagai kerangka tata kelola ruang udara terintegrasi berbasis pendekatan *systems-of-systems*. Penelitian menggunakan metode *mixed methods* melalui integrasi *Systematic Literature Review* (35 artikel), *Constructivist Grounded Theory* (18 wawancara mendalam dengan pemangku kepentingan sipil dan militer di wilayah Kepulauan Riau–Natuna), serta *Partial Least Squares Structural Equation Modelling* terhadap 231 responden dengan 214 data valid. Proses integrasi dilakukan secara bertahap, yaitu CGT digunakan untuk mengidentifikasi dan membangun konstruk konseptual beserta hubungan antarkonstruk, sedangkan PLS-SEM memvalidasi model struktural dan menguji kekuatan hubungan empiris antarvariabel. Hasil penelitian menghasilkan konstruk *Layered CNS Interface Framework* (LCIF**)** sebagai elemen inti kerangka tata kelola ruang udara terintegrasi. Model empiris menunjukkan kemampuan penjelasan yang kuat dengan nilai R^2 sebesar 0,62 untuk integrasi manajemen lalu lintas udara sipil–militer dan 0,71 untuk efektivitas keamanan ruang udara. LCIF berpengaruh signifikan terhadap integrasi manajemen lalu lintas udara sipil–militer ($\beta = 0{,}41$; $p < 0{,}001$) dan efektivitas keamanan ruang udara ($\beta = 0{,}22$; $p < 0{,}001$), sedangkan integrasi sipil–militer menjadi determinan utama efektivitas keamanan ruang udara ($\beta = 0{,}52$; $p < 0{,}001$). Temuan ini menunjukkan bahwa penguatan interoperabilitas kelembagaan, integrasi sipil–militer, dan tata kelola adaptif merupakan fondasi utama bagi pengembangan kerangka tata kelola ruang udara yang lebih efektif dalam menghadapi ancaman multidomain dan dinamika geopolitik.

Kata kunci: *Constructivist grounded theory*, integrasi sipil–militer, *integrated airspace security system theory*, keamanan ruang udara, *systems-of-systems*

Abstract

Development of an Integrated Airspace Security System (IASS) as a Framework for Integrated Airspace Governance*: Airspace constitutes a complex and strategic socio-technical system in which civil aviation, military defense, navigation technologies, and cybersecurity functions are highly interconnected and interdependent. However, existing studies on airspace governance remain fragmented across aviation safety, air defense, and cybersecurity domains, resulting in the absence of an integrated and predictive governance model. This study aims to develop and validate a systems-of-systems (SoS)-based framework for airspace security governance by integrating Constructivist Grounded Theory (CGT), Systematic Literature Review (SLR), and Partial Least Squares Structural Equation Modelling (PLS-SEM). A mixed-methods approach was employed, involving a systematic review of 35 articles, 18 in-depth interviews with civil and military stakeholders in the Riau Islands–Natuna region, and a survey of 231 respondents (214 valid responses) representing airspace governance actors in western Indonesia. The study developed the Layered CNS Interface Framework (LCIF) as a construct representing multi-layer interactions across political-strategic, institutional, technological, and operational dimensions. The empirical model demonstrated substantial explanatory power, with R^2 values of 0.62 for civil–military air traffic management integration and 0.71 for airspace security effectiveness. LCIF exerted significant effects on civil–military air traffic management integration ($\beta = 0.41$, $p < 0.001$) and airspace security effectiveness ($\beta = 0.22$, $p < 0.001$), while civil–military integration emerged as the strongest determinant of airspace security effectiveness ($\beta = 0.52$, $p < 0.001$). Multi-domain threat adaptation capacity and strategic defense posture were found to enhance system resilience, whereas political-strategic support acted as a moderating variable that strengthened inter-organizational coordination. Based on these findings, this study proposes the Integrated Airspace Security System Theory (IASST) as a conceptually grounded framework for integrated airspace governance. Practically, the findings underscore that strengthening civil–military integration, institutional interoperability, and adaptive governance constitute a fundamental prerequisite for improving airspace security effectiveness amid evolving threat dynamics and increasing geopolitical complexity.*

Keywords**:** *Airspace security; civil–military integration; constructivist grounded theory; integrated airspace security system theory; systems-of-systems.*

http://dx.doi.org/10.25104/wartaardhia.v52i1.3040.41-55
2528-4045/ 0215-9066 ©2026 Badan Kebijakan Transportasi, diterbitkan oleh Sekretariat Badan Kebijakan Transportasi.
Artikel ini *open access* dibawah lisensi CC BY-NC-SA (https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)
Jurnal Warta Ardhia telah terakreditasi Sinta 4.

1. Pendahuluan

Ruang udara telah berevolusi dari sekadar domain transportasi menjadi sistem sosio-teknis strategis yang ditandai oleh interaksi erat antara penerbangan sipil, pertahanan militer, teknologi komunikasi, navigasi, dan pengawasan (*Communication, Navigation, and Surveillance*—CNS), serta keamanan siber. Pertumbuhan lalu lintas udara global, digitalisasi sistem navigasi, meningkatnya ancaman siber terhadap infrastruktur kritis, dan dinamika geopolitik di kawasan Indo-Pasifik telah menjadikan ruang udara sebagai infrastruktur ekonomi sekaligus domain keamanan nasional yang memerlukan tata kelola yang terintegrasi [1][2][3][4][5][6]. Dalam konteks tersebut, efektivitas keamanan ruang udara tidak lagi ditentukan oleh kinerja masing-masing organisasi, melainkan oleh kemampuan berbagai aktor untuk membangun interoperabilitas, koordinasi lintas sektor, dan pengambilan keputusan secara terpadu.

Dalam konteks Indonesia, tantangan tata kelola ruang udara semakin kompleks karena adanya kebutuhan untuk menjaga keseimbangan antara keselamatan penerbangan sipil, kepentingan pertahanan negara, kedaulatan ruang udara, dan efisiensi pengelolaan lalu lintas udara. Karakteristik geografis Indonesia sebagai negara kepulauan serta dinamika keamanan di wilayah Kepulauan Riau dan Natuna memperlihatkan pentingnya mekanisme koordinasi yang mampu menghubungkan berbagai aktor dan sistem tanpa menghilangkan mandat, kewenangan, serta tanggung jawab masing-masing institusi.

Perkembangan tersebut mendorong pemanfaatan perspektif SoSE dalam kajian ruang udara modern. SoSE memandang ruang udara sebagai kumpulan sistem otonom yang saling berinteraksi, memiliki tujuan berbeda, namun harus menghasilkan keluaran kolektif melalui koordinasi dan interoperabilitas [7][8][9]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian SoSE masih berfokus pada integrasi arsitektur sistem, interoperabilitas teknologi, dan rekayasa sistem, sementara aspek tata kelola, koordinasi antarlembaga, dan pengambilan keputusan lintas organisasi belum dioperasionalisasikan sebagai konstruk empiris yang dapat diuji. Dengan demikian, SoSE menjelaskan bagaimana sistem saling terhubung [10][11], tetapi belum menjelaskan bagaimana mekanisme tata kelola menentukan efektivitas keamanan ruang udara.

Perkembangan tersebut mendorong pemanfaatan perspektif *Systems-of-Systems Engineering* (SoSE) dalam kajian ruang udara modern. SoSE memandang ruang udara sebagai kumpulan sistem otonom yang saling berinteraksi, memiliki tujuan berbeda, namun harus menghasilkan keluaran kolektif melalui koordinasi dan interoperabilitas [12][13][14][15]. Meskipun demikian, sebagian besar penelitian SoSE masih berfokus pada integrasi arsitektur sistem, interoperabilitas teknologi, dan rekayasa sistem, sementara aspek tata kelola, koordinasi antarlembaga, dan pengambilan keputusan lintas organisasi belum dioperasionalisasikan sebagai konstruk empiris yang dapat diuji. Dengan demikian, SoSE menjelaskan bagaimana sistem saling terhubung, tetapi belum menjelaskan bagaimana mekanisme tata kelola menentukan efektivitas keamanan ruang udara.

Keterbatasan serupa juga ditemukan dalam literatur *Airspace Governance*. Kajian pada bidang ini umumnya membahas regulasi penerbangan, manajemen lalu lintas udara, pembagian kewenangan antarotoritas, serta koordinasi antara aktor sipil dan militer [16][17][18][19]. Sementara itu, literatur *security governance* lebih menekankan koordinasi keamanan nasional, manajemen risiko, dan perlindungan infrastruktur kritis, termasuk keamanan siber [20][21]. Walaupun ketiga perspektif tersebut saling melengkapi, masing-masing berkembang dalam disiplin yang relatif terpisah sehingga belum menghasilkan kerangka konseptual yang secara simultan mengintegrasikan dimensi kelembagaan, teknologi, operasional, dan keamanan dalam satu model tata kelola yang mampu menjelaskan sekaligus memprediksi efektivitas keamanan ruang udara.

Berdasarkan telaah literatur tersebut, penelitian ini mengidentifikasi tiga kesenjangan utama (*research gaps*). Pertama, *structural gap*, yaitu belum tersedianya model yang mengintegrasikan dimensi tata kelola, teknologi CNS, dan operasi penerbangan dalam satu kerangka *systems-of-systems*. Kedua, *causal gap*, yaitu masih terbatasnya pemahaman mengenai mekanisme hubungan antara koordinasi sipil–militer, interoperabilitas kelembagaan, dan efektivitas keamanan ruang udara. Ketiga, predictive gap, yaitu dominasi pendekatan konseptual dan studi kasus yang belum menghasilkan model empiris dengan kemampuan prediksi terhadap efektivitas sistem keamanan ruang udara.

Selain kesenjangan konseptual tersebut, masih sangat sedikit penelitian yang mengintegrasikan *Constructivist Grounded Theory* (CGT) dengan *Partial Least Squares Structural Equation Modelling* (PLS-SEM) dalam kajian tata kelola ruang udara. Sebagian besar penelitian menggunakan CGT untuk membangun konsep secara induktif atau PLS-SEM untuk menguji hubungan antarvariabel yang telah ditentukan sebelumnya. Penelitian ini mengintegrasikan kedua pendekatan tersebut secara berurutan, di mana CGT digunakan untuk mengidentifikasi konstruk dan hubungan konseptual berdasarkan data lapangan, sedangkan PLS-SEM digunakan untuk memvalidasi model struktural, menguji hubungan kausal, dan mengevaluasi kemampuan prediktif model. Integrasi metodologis ini memungkinkan transformasi temuan induktif menjadi kerangka tata kelola yang memiliki dukungan empiris.

Konteks empiris penelitian dipusatkan pada *Flight Information Region* (FIR) Indonesia di wilayah Kepulauan Riau–Natuna. Pemilihan wilayah ini bukan semata-mata karena merupakan kawasan strategis nasional, tetapi karena merepresentasikan *critical case* bagi tata kelola ruang udara. Wilayah ini berada pada persimpangan jalur penerbangan internasional yang padat, berbatasan langsung dengan Laut Natuna Utara yang memiliki dinamika geopolitik tinggi, serta mempertemukan kepentingan keselamatan penerbangan sipil, operasi pertahanan udara, pengawasan wilayah, dan keamanan maritim. Kompleksitas tersebut menjadikan Kepulauan Riau–Natuna sebagai laboratorium empiris yang relevan untuk mengamati interaksi antarlembaga dalam menghadapi ancaman multidomain, sehingga memberikan dasar yang kuat untuk mengembangkan kerangka konseptual yang memiliki *analytical transferability* pada sistem ruang udara lain dengan karakteristik interdependensi dan kompleksitas yang sebanding.

Berdasarkan konteks tersebut, penelitian ini mengembangkan *Integrated Airspace Security System Framework* (IASSF) melalui integrasi *Systematic Literature Review* (SLR), CGT, dan PLS-SEM. Hasil integrasi tersebut menghasilkan *Layered CNS Interface Framework* (LCIF) sebagai konstruk inti yang merepresentasikan mekanisme integrasi antara dimensi politik-strategis, kelembagaan, teknologi, dan operasional dalam tata kelola ruang udara. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih menitikberatkan pada integrasi sistem atau koordinasi kelembagaan secara parsial, penelitian ini memosisikan tata kelola sebagai mekanisme penghubung (*governance mechanism*) yang menjelaskan bagaimana interoperabilitas antarlembaga dan koordinasi sipil–militer memengaruhi efektivitas keamanan ruang udara.

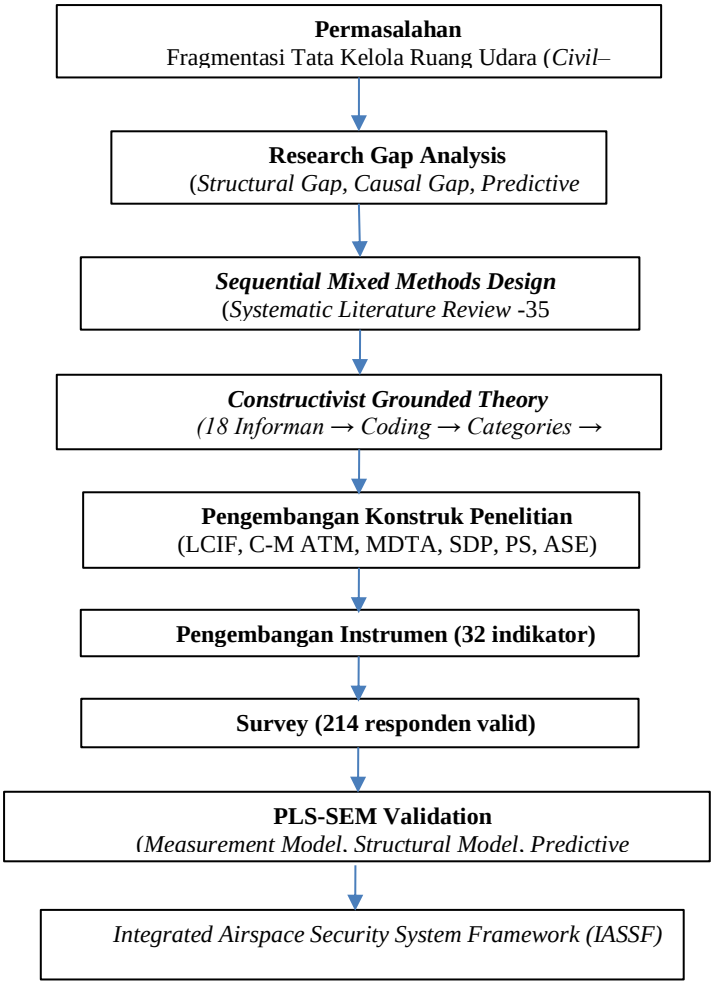
Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi determinan utama integrasi tata kelola ruang udara berbasis *systems-of-systems*; mengembangkan dan memvalidasi *Layered CNS Interface Framework* (LCIF) sebagai model tata kelola ruang udara terintegrasi; menganalisis hubungan kausal antara LCIF, integrasi manajemen lalu lintas udara sipil–militer, kapasitas adaptasi ancaman multidomain, dan efektivitas keamanan ruang udara; serta mengevaluasi kemampuan prediktif model dalam menjelaskan efektivitas keamanan ruang udara.

Kontribusi penelitian ini bersifat teoritis, metodologis, dan praktis. Secara teoritis, penelitian ini tidak mengusulkan teori baru, melainkan memperluas literatur *Systems-of-Systems Engineering*, *Airspace Governance*, dan *Security Governance* melalui pengembangan *Integrated Airspace Security System Framework* (IASSF) yang mengintegrasikan dimensi kelembagaan, teknologi, operasional, dan keamanan ke dalam satu kerangka tata kelola yang tervalidasi secara empiris. Secara metodologis, penelitian ini menunjukkan bagaimana integrasi CGT, SLR, dan PLS-SEM dapat digunakan untuk mentransformasikan temuan induktif menjadi model kausal yang memiliki kemampuan penjelasan sekaligus prediksi. Secara praktis, kerangka yang dihasilkan memberikan dasar empiris bagi penguatan interoperabilitas kelembagaan, integrasi sipil–militer, dan pengembangan tata kelola adaptif dalam menghadapi kompleksitas ruang udara modern.

2. Metodologi

Bab ini menyajikan hasil penelitian dan pembahasan secara terpadu, meliputi pengembangan konstruk, evaluasi model pengukuran dan struktural, pengujian kemampuan prediktif, serta interpretasi temuan dalam perspektif *systems-of-systems* dan tata kelola keamanan ruang udara.

2.1. Kerangka Penelitian



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *mixed methods* dengan desain *sequential exploratory explanatory–predictive* yang mengintegrasikan *Constructivist Grounded Theory* (CGT), *Systematic Literature Review* (SLR) berbasis PRISMA, dan *Partial Least Squares Structural Equation Modelling* (PLS-SEM). Pendekatan ini dipilih karena tata kelola keamanan ruang udara merupakan fenomena *systems-of-systems* (SoS) yang melibatkan interaksi kompleks antara dimensi kelembagaan, teknologi, operasional, dan politik-strategis. CGT digunakan untuk mengembangkan konstruk secara induktif, SLR memvalidasi konstruk berdasarkan bukti empiris dan landasan teoritis, sedangkan PLS-SEM menguji hubungan kausal, mengevaluasi validitas model, serta menilai kemampuan prediktifnya. Integrasi ketiga metode tersebut menghasilkan kerangka penelitian yang sistematis, transparan, dan dapat ditelusuri dari eksplorasi teori hingga validasi empiris.

2.2. Tahap Kualitatif: *Constructivist Grounded Theory* (CGT)

Tahap kualitatif digunakan untuk mengeksplorasi konsep dan pola hubungan dalam tata kelola keamanan ruang udara melalui pendekatan *Constructivist Grounded Theory* (CGT). Hasilnya menjadi dasar pengembangan konstruk yang dikonsolidasikan melalui *Systematic Literature Review* (SLR) dan diuji menggunakan PLS-SEM.

2.2.1. Partisipan dan Prosedur Wawancara

Data kualitatif diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur terhadap pemangku kepentingan utama dalam tata kelola ruang udara Indonesia dengan menggunakan *theoretical sampling*. Teknik ini dipilih untuk memperoleh variasi pengalaman dan perspektif hingga tercapai saturasi teoritis. Kriteria partisipan meliputi: memiliki pengalaman minimal lima tahun dalam pengelolaan ruang udara; menduduki posisi pengambilan keputusan, koordinasi, atau fungsi teknis strategis; serta terlibat langsung dalam penyusunan kebijakan, regulasi, atau operasi ruang udara sipil maupun militer.

Sebanyak 18 informan diwawancarai, terdiri atas AirNav Indonesia (5 orang), Kementerian Perhubungan (4 orang), TNI Angkatan Udara (5 orang), Kementerian Pertahanan (2 orang), dan akademisi/pakar (2 orang). Wawancara berlangsung selama 45–90 menit, direkam dengan persetujuan responden, kemudian ditranskripsikan secara verbatim.

Pedoman wawancara mencakup empat tema utama, yaitu: koordinasi sipil–militer; interoperabilitas sistem *Communication, Navigation and Surveillance* (CNS); tata kelola kelembagaan; serta ancaman multidomain terhadap keamanan ruang udara. Pengumpulan data dihentikan setelah mencapai *theoretical saturation,* yaitu ketika wawancara tambahan tidak lagi menghasilkan kategori konseptual baru.

2.2.2. Analisis Data Kualitatif dan Transformasi Konstruk

Analisis dilakukan mengikuti prosedur *Constructivist Grounded Theory* (CGT) yang meliputi *initial coding, focused coding, theoretical coding, memo writing*, dan *constant comparative analysis*. Tahap initial coding menghasilkan lebih dari 120 kode awal yang kemudian dikelompokkan menjadi 18 kategori konseptual. Selanjutnya, melalui proses *focused coding* dan *theoretical coding*, kategori-kategori tersebut diintegrasikan menjadi enam konstruk penelitian, yaitu *Layered CNS Interface Framework (LCIF), Civil–Military Air Traffic Management (C-M ATM), Multi-Domain Threat Adaptability (MDTA), Strategic Defense Posture (SDP), Political–Strategic Support (PS),* dan *Airspace Security Effectiveness (ASE).*

Berbeda dengan penelitian grounded theory konvensional yang berhenti pada pembentukan teori substantif, penelitian ini melanjutkan proses transformasi konstruk menuju instrumen kuantitatif. Setiap kategori hasil CGT dipetakan ke dalam dimensi konseptual, kemudian dibandingkan dengan temuan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk memperoleh kesesuaian teoritis (*conceptual matching*). Tahap berikutnya adalah menyusun definisi operasional setiap konstruk, mengidentifikasi dimensi utamanya, dan menerjemahkan masing-masing dimensi menjadi indikator pengukuran yang dapat diobservasi menggunakan skala *Likert* lima poin.

Tabel 1. Transformasi CGT menjadi Indikator Survei

Temuan Wawancara (CGT)	Kode Awal	Kategori	Konstruk	Indikator Survei
Koordinasi sipil–militer belum terintegrasi secara efektif	*Fragmented coordination*	*Institutional interoperability*	C-M ATM	Efektivitas koordinasi lintas institusi; mekanisme pengambilan keputusan bersama
Sistem CNS belum terintegrasi dan standar data berbeda	*Technology fragmentation*	*CNS interoperability*	LCIF	Interoperabilitas sistem CNS; integrasi data dan antarmuka; pertukaran informasi real-time
Ancaman siber dan elektronik semakin kompleks	*Cyber vulnerability*	*Multi-domain threats*	MDTA	Kemampuan adaptasi terhadap ancaman multidomain; kesiapan menghadapi serangan siber
Kesiapan pertahanan dipengaruhi sinkronisasi operasi	*Defense readiness*	*Defense preparedness*	SDP	Tingkat kesiapan operasi; integrasi perencanaan pertahanan
Dukungan kebijakan dan komitmen antarinstansi belum konsisten	*Policy commitment*	*Strategic governance*	PS	Dukungan kebijakan nasional; komitmen politik; keberlanjutan koordinasi
Efektivitas pengamanan ruang udara dipengaruhi kolaborasi seluruh pemangku kepentingan	*Security effectiveness*	*Airspace security performance*	ASE	Efektivitas pengamanan ruang udara; kecepatan respons; pencapaian kinerja keamanan

(Sumber: Hasil olahan penulis)

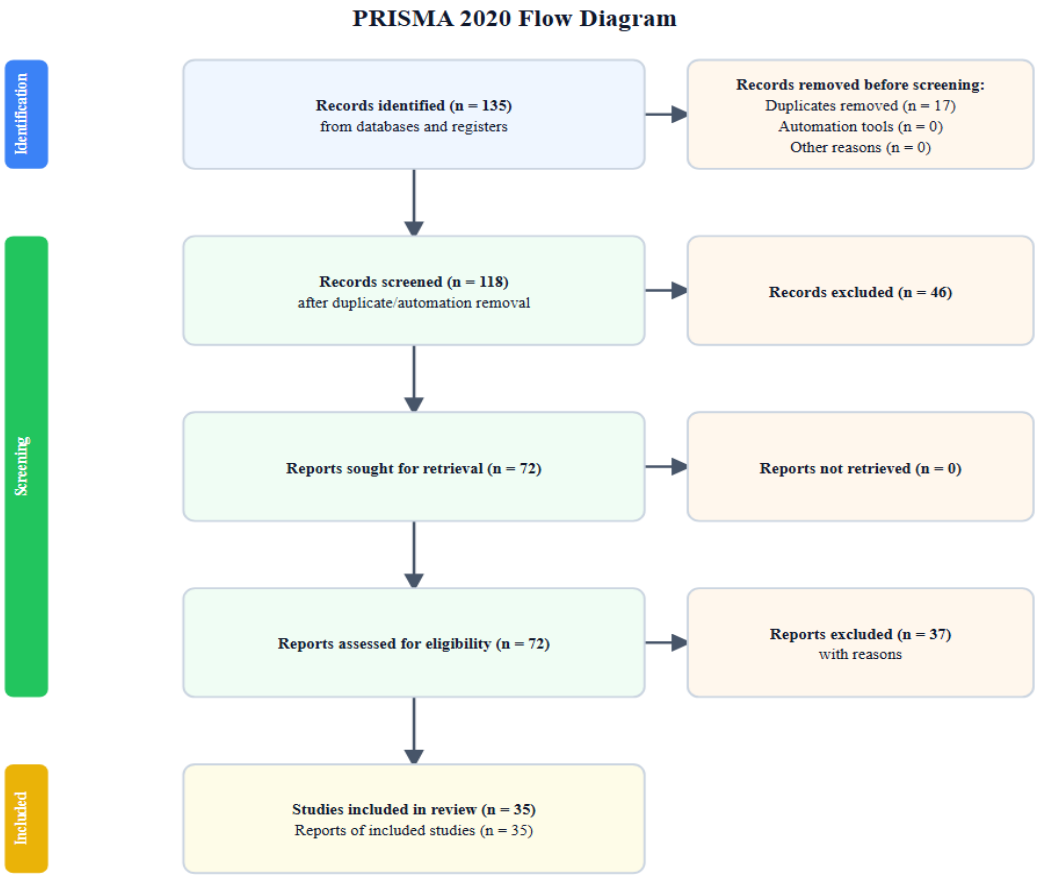
Proses tersebut menghasilkan 32 indikator yang memiliki *traceability* yang jelas mulai dari kutipan wawancara, kode awal, kategori konseptual, konstruk teoritis, hingga indikator survei. Dengan demikian, hubungan antara hasil eksplorasi kualitatif dan pengujian kuantitatif dapat ditelusuri secara transparan serta meningkatkan validitas konseptual penelitian.

2.3. *Systematic Literature Review* (SLR)

SLR dilakukan mengikuti pedoman PRISMA 2020. Basis data menggunakan Scopus, *Web of Science*, dan *ScienceDirect*. Kata kunci pencarian yaitu: "*airspace governance", "civil-military air traffic management", "airspace security", "systems-of-systems", "air defense integration*", dan "*aviation cybersecurity*"

Kriteria Inklusi: artikel jurnal *peer-reviewed*; diterbitkan tahun 2010–2025; berbahasa Inggris; dan relevan dengan tata kelola ruang udara dan keamanan.

Kriteria Eksklusi: prosiding dan editorial; artikel non-empiris; dan studi yang tidak membahas dimensi tata kelola.



Gambar 2. Kerangka Penelitian

Sebanyak 35 artikel digunakan untuk memperkuat validitas konseptual dan pengembangan indikator penelitian.

2.4. Tahap Kuantitatif dan Pengumpulan Data

Tahap kuantitatif dilakukan untuk menguji konstruk dan hubungan struktural yang dikembangkan pada tahap kualitatif dan dikonsolidasikan melalui SLR. Pengumpulan data menggunakan kuesioner terstruktur dengan *stratified purposive sampling* terhadap pemangku kepentingan tata kelola ruang udara, kemudian dianalisis menggunakan PLS-SEM untuk mengevaluasi model pengukuran, model struktural, kemampuan prediktif, dan *robustness* model.

2.4.1. Populasi dan Sampel

Populasi penelitian diperkirakan berjumlah 480–600 pemangku kepentingan yang berasal dari AirNav Indonesia (27%), Kementerian Perhubungan (23%), TNI Angkatan Udara (28%), Kementerian Pertahanan (12%), dan akademisi/pakar (10%). Teknik pengambilan sampel menggunakan *stratified purposive sampling* untuk memastikan keterwakilan setiap kelompok institusi sesuai dengan perannya dalam tata kelola ruang udara.

Dari 231 respons kuesioner yang diterima, sebanyak 17 respons dikeluarkan melalui proses penyaringan data sebelum analisis PLS-SEM, sehingga 214 respons memenuhi kriteria untuk digunakan dalam analisis akhir. Proses penyaringan meliputi pemeriksaan kelengkapan jawaban, kesesuaian responden dengan kriteria inklusi penelitian, indikasi pengisian ganda, konsistensi pola jawaban, serta kecukupan informasi untuk memverifikasi kelayakan responden. Setiap respons yang dikeluarkan diklasifikasikan berdasarkan kriteria eksklusi yang telah ditetapkan dan hasil pemeriksaan data. Dengan demikian, keputusan eksklusi didasarkan pada kriteria metodologis yang dapat ditelusuri dan dipertanggungjawabkan, bukan semata-mata pada pertimbangan subjektif peneliti.

Untuk memperkuat representativitas sampel, karakteristik responden disajikan sebagai berikut. Berdasarkan institusi, responden terdiri atas AirNav Indonesia (58 orang; 27,1%), Kementerian

Perhubungan (49 orang; 22,9%), TNI Angkatan Udara (60 orang; 28,0%), Kementerian Pertahanan (25 orang; 11,7%), dan akademisi/pakar (22 orang; 10,3%). Berdasarkan pengalaman kerja, 32 responden (15,0%) memiliki pengalaman 5–10 tahun, 87 responden (40,7%) memiliki pengalaman 11–20 tahun, dan 95 responden (44,3%) memiliki pengalaman lebih dari 20 tahun. Berdasarkan jabatan, responden terdiri atas manajemen strategis (83 orang; 38,8%), manajemen menengah (69 orang; 32,2%), dan personel operasional/fungsional senior (62 orang; 29,0%).

2.5. Pengembangan Instrumen dan Operasionalisasi Konstruk

Instrumen penelitian dikembangkan melalui integrasi hasil CGT dan SLR. Seluruh indikator diukur menggunakan skala *Likert* lima poin.

Tabel 2. Operasionalisasi Konstruk

Konstruk	Jumlah Item	Sumber
LCIF	6	CGT + SLR
C-M ATM	6	CGT + SLR
MDTA	5	CGT + SLR
SDP	5	CGT + SLR
PS	4	CGT + SLR
ASE	6	CGT + SLR

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Total indikator: 32 item pengukuran.

2.6. Pengolahan dan Evaluasi Model PLS-SEM

Data diproses melalui tahapan: pemeriksaan data hilang; imputasi (<5%); deteksi *outlier* menggunakan *Mahalanobis Distance*; evaluasi normalitas; dan uji multikolinearitas. Tidak ditemukan permasalahan multikolinearitas:VIF < 5.

Potensi *common method bias* diuji menggunakan: *Harman's single-factor test; dan Full collinearity VIF*, dengan kriteria: *Harman's single factor* < 50%; dan VIF < 3,3. Hasil menunjukkan tidak terdapat indikasi bias metode umum.

Analisis dilakukan menggunakan SmartPLS 4. Evaluasi model pengukuran meliputi: *Outer loading* > 0,70; *Cronbach's Alpha* > 0,70; *Composite Reliability* > 0,70; AVE > 0,50; dan HTMT < 0,90. Sedangkan evaluasi model struktural meliputi: *Path coefficient; t-value; p-value; f^2 effect size; R^2;* dan *Q^2 predictive relevance*. Signifikansi hubungan diuji menggunakan: *Bootstrapping* 5.000 *resampling*.

Kemampuan prediktif model dievaluasi menggunakan: *PLS-Predict; Q^2_predict;* dan *RMSE comparison*.

Kriteria: *Q^2_predict > 0*; dan *RMSEPLS < RMSELM*. Potensi endogenitas diuji menggunakan: *Gaussian Copula Approach.*

2.7. Integrasi Kualitatif–Kuantitatif

Integrasi metodologis dilakukan melalui proses transformasi kategori CGT menjadi konstruk SEM.

Tabel 3 Matriks Integrasi CGT–SEM

Kategori CGT	Konstruk SEM
CNS interoperability	LCIF
Civil-military coordination	C-M ATM
Adaptive threat response	MDTA
Defense preparedness	SDP
Political commitment	PS
Security performance	ASE

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Pendekatan ini memungkinkan keterlacakan (*traceability*) antara data empiris kualitatif dan model kuantitatif yang diuji.

2.8. Validitas dan *Robustness*

Robustness model dievaluasi melalui: *Leave-one-out analysis; Sub-sample analysis; Indicator deletion;* dan *Predictive assessment.*

Konsistensi model juga diperiksa melalui: *SRMR; PLS-Predict; Q^2_predict;* dan *Gaussian Copula.*

2.9. Etika Penelitian dan Kontribusi Metodologis

Penelitian mengikuti prinsip: *informed consent; voluntary participation;* anonimitas responden; kerahasiaan data; dan penggunaan data hanya untuk tujuan akademik.

Penelitian ini mengembangkan kerangka metodologis CGT–SLR–PLS-SEM yang mengintegrasikan pengembangan teori induktif, konsolidasi literatur, dan validasi kausal-prediktif dalam satu arsitektur penelitian yang terpadu.

Pendekatan ini menghasilkan tiga kontribusi utama: pengembangan konstruk berbasis bukti empiris; validasi model tata kelola ruang udara berbasis *systems-of-systems*; dan penyediaan model yang memiliki kemampuan penjelasan dan prediksi terhadap efektivitas keamanan ruang udara.

Dengan demikian, metodologi yang dikembangkan menyediakan pendekatan yang *rigor*, transparan, dan dapat direplikasi untuk penelitian tata kelola keamanan ruang udara pada sistem yang kompleks dan saling bergantung.

3. Hasil dan pembahasan

3.1.Evaluasi Model Pengukuran dan Kualitas Data

Evaluasi model pengukuran reflektif dilakukan mengikuti prosedur *Partial Least Squares Structural Equation Modelling* (PLS-SEM) [19][20]. Seluruh indikator pada model akhir memenuhi kriteria reliabilitas indikator dengan nilai *outer loading* berada pada rentang 0,70–0,92.

Tabel 4. Evaluasi Model Pengukuran

Konstruk	Outer Loading	Cronbach's α	rho_A	CR	AVE
LCIF	0,71–0,89	0,91	0,92	0,94	0,68
C-M ATM	0,73–0,91	0,90	0,90	0,93	0,67
MDTA	0,70–0,88	0,88	0,91	0,92	0,65
SDP	0,72–0,90	0,89	0,89	0,93	0,66
PS	0,75–0,87	0,85	0,93	0,90	0,64
ASE	0,74–0,92	0,93	0,91	0,95	0,70

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Seluruh konstruk menunjukkan reliabilitas yang sangat baik (CR > 0,70) dan validitas konvergen yang memadai (AVE > 0,50). Konsistensi pengukuran diperkuat oleh nilai rho_A yang seluruhnya berada di atas ambang batas yang direkomendasikan.

Tabel 5. Validitas Diskriminan (HTMT)

Konstruk	LCIF	C-M ATM	MDTA	SDP	PS	ASE
LCIF	–	0,72	0,69	0,74	0,65	0,77
C-M ATM	0,72	–	0,71	0,76	0,68	0,80
MDTA	0,69	0,71	–	0,73	0,66	0,74
SDP	0,74	0,76	0,73	–	0,70	0,78
PS	0,65	0,68	0,66	0,70	–	0,69
ASE	0,77	0,80	0,74	0,78	0,69	–

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Seluruh nilai HTMT berada di bawah 0,90 sehingga validitas diskriminan terkonfirmasi.

Pengujian common method bias menunjukkan tidak adanya bias signifikan. Nilai Harman's *single factor* sebesar 32,4% (<50%) dan seluruh nilai VIF berada di bawah 3,3.

Tabel 6. *Full Collinearity* VIF

Konstruk	VIF
LCIF	2,31
C-M ATM	2,87
MDTA	2,45
SDP	2,12
PS	1,98
ASE	2,64

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Hasil pengujian endogenitas menggunakan pendekatan Gaussian Copula menunjukkan nilai signifikansi di atas 0,05 pada hubungan yang diuji. Hasil tersebut tidak menunjukkan adanya indikasi endogenitas yang signifikan secara statistik berdasarkan pendekatan pengujian yang digunakan.

3.2.Evaluasi Model Struktural dan Daya Jelaskan

Tidak ditemukan permasalahan multikolinearitas karena seluruh VIF berada di bawah 3,5. Model menunjukkan daya jelaskan yang kuat dengan nilai: R^2 (*Civil–Military ATM Integration*) = 0,62, dan R^2 (*Airspace Security Effectiveness*) = 0,71

Tabel 7. Daya Jelaskan dan Relevansi Prediktif

Konstruk Endogen	R^2	Q^2
C-M ATM	0,62	0,39
ASE	0,71	0,48

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Nilai Q^2 yang positif mengonfirmasi bahwa model memiliki relevansi prediktif yang baik.

3.3.Pengujian Hipotesis dan Hubungan Kausal

Tabel 8. Hasil Pengujian Hipotesis

Hipotesis	Jalur	β	t-value	p-value	f^2	Keputusan
H1	LCIF → C-M ATM	0,41	7,82	<0,001	0,24	Didukung
H2	LCIF → ASE	0,22	4,31	<0,001	0,10	Didukung
H3	SDP → C-M ATM	0,28	5,64	<0,001	0,16	Didukung
H4	SDP → ASE	0,19	3,98	<0,001	0,08	Didukung
H5	MDTA → C-M ATM	0,25	5,11	<0,001	0,12	Didukung
H6	MDTA → ASE	0,17	3,45	<0,01	0,07	Didukung
H7	C-M ATM → ASE	0,52	9,36	<0,001	0,39	Didukung
H8	LCIF → C-M ATM → ASE	0,16	4,02	<0,001	–	Didukung
H9	SDP → C-M ATM → ASE	0,14	3,77	<0,001	–	Didukung
H10	MDTA → C-M ATM → ASE	0,13	3,21	<0,01	–	Didukung
H11	PS × LCIF → C-M ATM	0,18	3,88	<0,001	–	Didukung
H12	PS × SDP → C-M ATM	0,15	3,41	<0,01	–	Didukung
H13	PS × MDTA → C-M ATM	0,06	1,52	n.s.	–	Tidak Didukung
H14	PS × C-M ATM → ASE	0,21	4,67	<0,001	–	Didukung

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Hasil bootstrapping menunjukkan seluruh hubungan kausal signifikan pada $p < 0,01$ kecuali interaksi PS–MDTA [19].

Koefisien terbesar terdapat pada C-M ATM terhadap ASE (β = 0,52), menegaskan peran integrasi operasional sebagai mekanisme utama sistem [20]. LCIF, SDP, dan MDTA juga berpengaruh signifikan terhadap C-M ATM.

3.4. Analisis Mediasi dan Mekanisme Integrasi

C-M ATM terbukti memediasi secara signifikan hubungan LCIF, SDP, dan MDTA terhadap ASE dengan pola *partial mediation* [19][20].

Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan kapasitas struktural, strategis, dan adaptif tidak langsung menghasilkan kinerja tanpa mekanisme integrasi operasional.

3.5. Analisis Moderasi dan Peran PS

Political–Strategic Support (PS) memoderasi hubungan LCIF–C-M ATM, SDP–C-M ATM, dan C-M ATM–ASE secara signifikan, namun tidak signifikan terhadap MDTA [19].

3.6. Validitas Prediktif dan Kinerja Model

Tabel 9. Hasil PLS-Predict

Indikator	RMSE (PLS)	RMSE (LM)	Q^2predict
ASE1	0,52	0,57	0,31
ASE2	0,49	0,55	0,34
ASE3	0,51	0,54	0,29
ASE4	0,53	0,58	0,30
ASE5	0,50	0,56	0,33

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Pada indikator ASE1–ASE5 yang disajikan dalam Tabel 9, nilai RMSE model PLS lebih rendah daripada model linier dan seluruh nilai Q^2predict positif. Dengan demikian, hasil tersebut mendukung kemampuan prediktif model pada lima indikator yang dilaporkan.

Tabel 10. Model Fit

Indikator	**Nilai**
SRMR	0,067
NFI	0,92

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Nilai SRMR yang berada pada rentang 0,06–0,08 menunjukkan model fit yang baik.

3.7. *Robustness*, Stabilitas, dan Integrasi CGT–PLS

Tabel 11. Uji Stabilitas Model

Jenis Uji	Hasil
Leave-one-out	$\Delta\beta < 0{,}03$
Sub-sample analysis	Stabil
Penghapusan indikator	$\Delta R^2 < 0{,}02$
Variasi jalur	$\Delta\beta < 0{,}04$

(Sumber: Hasil olahan penulis)

Model menunjukkan stabilitas tinggi melalui uji *leave-one-out* dan *sub-sample analysis* [19]. Integrasi CGT–PLS-SEM menunjukkan koherensi kuat antara konstruk kualitatif dan hubungan kuantitatif [19].

3.8. Sintesis Hasil dan Implikasi Sistemik

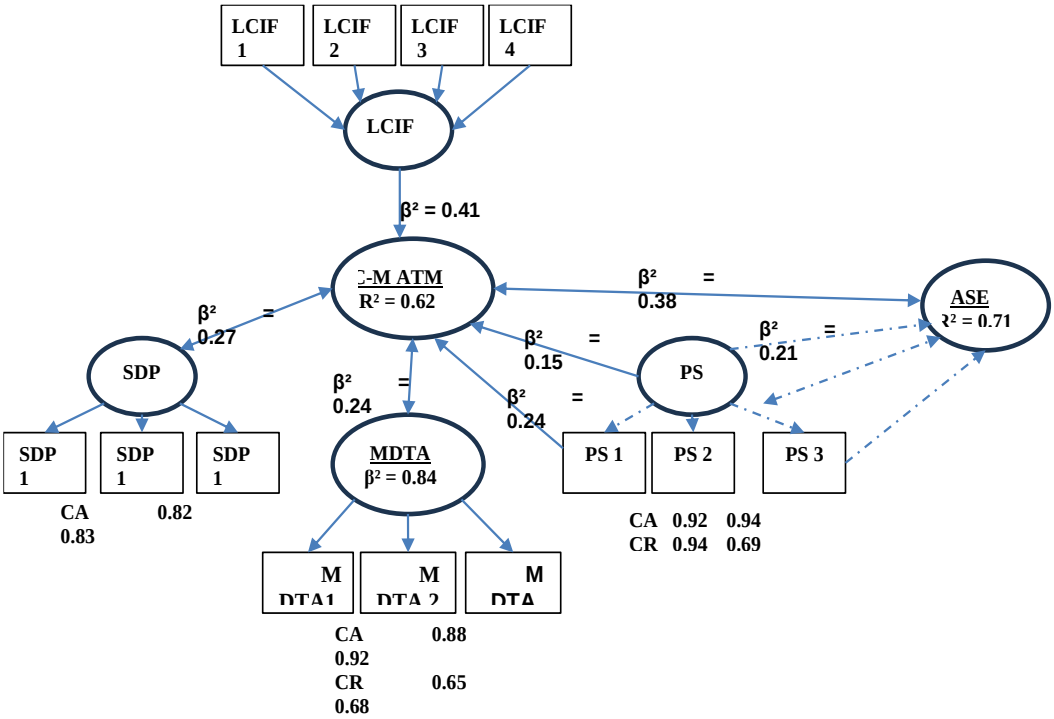
LCIF berfungsi sebagai enabler struktural, C-M ATM sebagai mekanisme inti transformasi, MDTA dan SDP sebagai penguat adaptif-strategis, dan PS sebagai faktor kondisional [19][20].

ASE terbukti sebagai konstruk emergent dengan $R^2 = 0{,}71$ yang menunjukkan sistem bersifat interaction dependent [20].

Model menunjukkan daya jelaskan yang tinggi dengan nilai R^2 sebesar 0,71 serta validitas prediktif yang kuat, sehingga layak digunakan untuk analisis sistem sosio-teknis yang kompleks.

3.9. Interpretasi Temuan dalam Perspektif Sistem

Hasil penelitian memberikan dukungan empiris kuat bahwa keamanan ruang udara merupakan fenomena *systems-of-systems* (SoS) yang ditandai oleh keterikatan struktural, otonomi terdistribusi, dan



Gambar 3. PLS-SEM *Structural Model*

interdependensi non-linear [21][22][23]. *Integrasi Constructivist Grounded Theory* (CGT) dan *Partial Least Squares Structural Equation Modelling* (PLS-SEM) menghasilkan interpretasi konvergen, di mana struktur sistem yang dibangun secara induktif tervalidasi dalam kerangka kausal prediktif.

Kekuatan eksplanatori model ($R^2 = 0{,}71$ pada *Airspace Security Effectiveness* / ASE) menegaskan bahwa efektivitas sistem tidak ditentukan oleh kinerja subsistem secara terpisah, melainkan oleh interaksi antara *Layered CNS Interface Framework* (LCIF), *Civil–Military ATM Integration* (CMI), *Strategic*

Defense Posture (SDP), dan *Multi-Domain Threat Adaptability* (MDTA). Fragmentasi lintas domain sipil, militer, dan siber terbukti sebagai kendala struktural utama terhadap kinerja sistem. LCIF tervalidasi sebagai mekanisme integrasi kausal dengan pengaruh signifikan terhadap CMI (β = 0,41) dan ASE (β = 0,22), menunjukkan bahwa keterpaduan tata kelola dan teknologi berlapis merupakan determinan aktif perilaku sistem [21].

3.10. Kontribusi Teoretis: Menuju SoS Berbasis Tata Kelola

Penelitian ini memperluas *Systems-of-Systems Engineering* (SoSE) dengan menggeser fokus dari interoperabilitas teknis menuju arsitektur berbasis tata kelola [22][23]. Tata kelola tidak lagi diposisikan sebagai batasan eksternal, melainkan sebagai variabel endogen yang membentuk kinerja sistem.

LCIF mengoperasionalkan integrasi tersebut melalui keterkaitan kebijakan, koordinasi operasional, teknologi CNS, dan ketahanan siber. Interoperabilitas diredefinisi sebagai konstruk multidimensi yang mencakup kompatibilitas teknis, koordinasi kelembagaan, dan sinkronisasi keputusan. Dengan demikian, kontribusi teoretis utama terletak pada transformasi paradigma dari sistem berbasis teknologi menuju governance-embedded system [22].

3.11. Interpretasi Lintas Domain: Sipil, Militer, dan Siber

Keamanan ruang udara terbukti sebagai hasil interaksi tiga domain utama, yaitu penerbangan sipil, pertahanan militer, dan keamanan siber [23][24]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi manajemen lalu lintas udara sipil–militer (C-M ATM) berperan sebagai mekanisme mediasi dalam hubungan LCIF, SDP, dan MDTA dengan efektivitas keamanan ruang udara (ASE).

Peran mediasi CMI (β tidak langsung LCIF → ASE = 0,16) menegaskan bahwa kinerja lintas domain bersifat *interaction-dependent*. Inefisiensi sistem terutama muncul pada antarmuka antar subsistem, sehingga LCIF berfungsi sebagai mekanisme penyelarasan struktural untuk mengurangi friksi koordinasi dan memperkuat integrasi sistem multi-domain [21][23].

3.12. Validasi LCIF sebagai Arsitektur Koordinasi Berlapis

LCIF tervalidasi sebagai arsitektur koordinasi hierarkis yang menghubungkan level makro, meso, dan mikro. Pengaruh langsung dan tidak langsung terhadap ASE menunjukkan keberadaan jalur kausal hibrida. Peran mediasi CMI yang dominan (β = 0,52 terhadap ASE) menegaskan bahwa integrasi merupakan mekanisme transformasi utama dalam sistem [21].

Karakter non-linear sistem tercermin dari potensi efek propagasi antar lapisan, di mana ketidaksinkronan pada satu level dapat memicu disfungsi sistemik. Dengan demikian, LCIF dipahami sebagai arsitektur adaptif yang bergantung pada sinkronisasi berkelanjutan, bukan konfigurasi statis [22].

3.13. Batasan Kontekstual dan Ketergantungan Geopolitik

Efektivitas LCIF bersifat kontekstual dan dipengaruhi oleh dinamika geopolitik [24]. Peran moderasi Political–Strategic Support (PS) memperkuat hubungan LCIF → CMI (β = 0,18), SDP → CMI (β = 0,15), dan CMI → ASE (β = 0,21) [21].

Namun, tidak signifikannya interaksi PS dengan MDTA menunjukkan bahwa kapasitas adaptif lebih ditentukan oleh kesiapan teknologi dan operasi. Hal ini menegaskan bahwa sebagian dimensi sistem memiliki otonomi relatif terhadap tata kelola [23].

3.14. Kontribusi Metodologis: Integrasi CGT dan PLS-SEM

Penelitian ini mengintegrasikan CGT dan PLS-SEM dalam desain eksploratori–konfirmatori [19][21]. CGT menghasilkan konstruk berbasis realitas empiris, sementara PLS-SEM memvalidasi hubungan struktural dan kemampuan prediktif.

Kinerja PLS-Predict menunjukkan RMSE yang lebih rendah dibanding model linier serta nilai Q^2 positif, mengonfirmasi validitas prediktif [20]. Integrasi ini menjembatani kesenjangan antara pendekatan kualitatif dan kuantitatif dalam sistem sosio-teknis kompleks.

3.15. Implikasi Kebijakan dan Praktik

Temuan menunjukkan bahwa peningkatan keamanan ruang udara memerlukan tata kelola multi-lapis terintegrasi [22]. Modernisasi CNS harus disertai sinkronisasi kebijakan dan koordinasi operasional.

Keamanan siber perlu diposisikan sebagai komponen struktural inti karena perannya dalam membentuk kerentanan sistem [24]. Integrasi sipil–militer menjadi determinan utama efektivitas, sementara dukungan politik berfungsi sebagai penguat sistem.

3.16. Sintesis Hasil Penelitian: *Integrated Airspace Security System Framework* (IASSF) dan Proposisi IASST

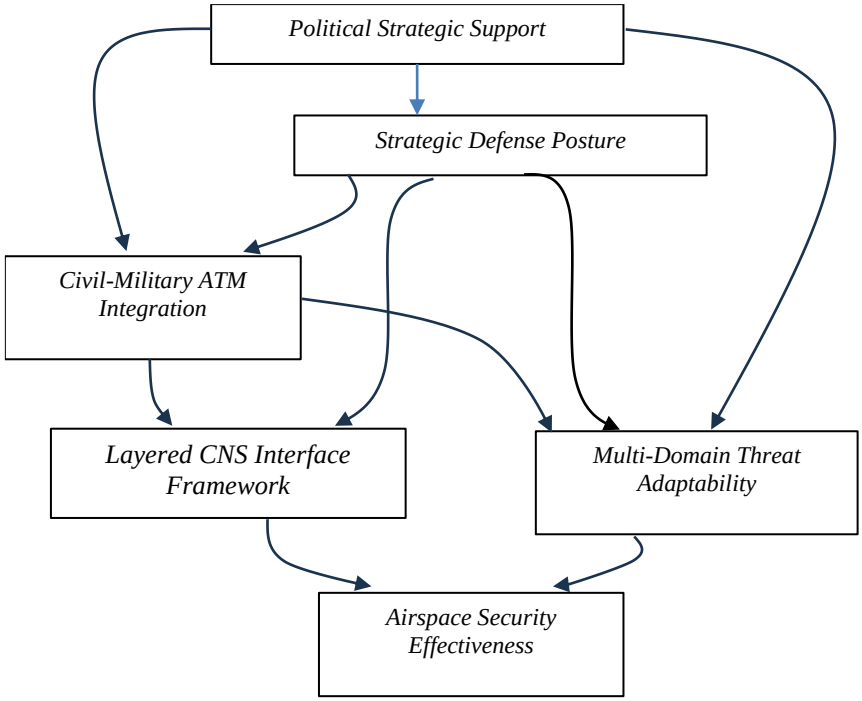
Sintesis akhir penelitian menghasilkan *Integrated Airspace Security System Framework* (IASSF) sebagai kerangka konseptual yang menjelaskan hubungan sistemik antara dimensi kelembagaan, teknologi, operasional, dan politik-strategis dalam membentuk *Airspace Security Effectiveness* (ASE). Berdasarkan integrasi hasil *Constructivist Grounded Theory* (CGT), *Systematic Literature Review* (SLR), dan pengujian empiris menggunakan *Partial Least Squares Structural Equation Modelling* (PLS-SEM), penelitian ini menunjukkan bahwa efektivitas keamanan ruang udara dapat dipahami sebagai hasil emergen (*emergent outcome*) dari interaksi berbagai subsistem dalam tata kelola ruang udara yang bersifat berlapis dan saling bergantung (*systems-of-systems*) [21][22]. Dalam perspektif tersebut, efektivitas keamanan tidak hanya ditentukan oleh kinerja masing-masing subsistem, tetapi juga oleh kualitas koordinasi, interoperabilitas, dan integrasi antarlembaga.

Hasil analisis empiris menunjukkan bahwa *Civil–Military Air Traffic Management Integration* (C-M ATM) merupakan mekanisme integrasi utama (*core integration mechanism*) dengan pengaruh terbesar terhadap *Airspace Security Effectiveness* ($\beta = 0{,}52$). Temuan ini menunjukkan bahwa *Layered CNS Interface Framework* (LCIF), *Strategic Defense Posture* (SDP), *Multi-Domain Threat Adaptability* (MDTA), dan *Political–Strategic Support* (PS) berkontribusi terhadap peningkatan efektivitas keamanan ruang udara melalui penguatan integrasi sipil–militer. Dengan demikian, pada konteks penelitian ini, integrasi tata kelola berfungsi sebagai mekanisme yang menghubungkan berbagai kapabilitas organisasi menjadi kinerja keamanan ruang udara yang lebih efektif.

Berdasarkan sintesis tersebut, penelitian ini tidak mengklaim menghasilkan grand theory maupun teori universal. Sebaliknya, penelitian mengajukan *Integrated Airspace Security System Theory* (IASST) sebagai proposisi teoritis tingkat menengah (*middle-range theoretical proposition*) yang dibangun secara induktif melalui integrasi CGT, SLR, dan validasi empiris menggunakan PLS-SEM. Oleh karena itu, IASST lebih tepat dipahami sebagai abstraksi konseptual yang menjelaskan mekanisme hubungan antar konstruk pada konteks tata kelola ruang udara Indonesia, sekaligus menyediakan landasan konseptual bagi penelitian lanjutan.

Kontribusi utama penelitian ini bersifat pengembangan kerangka konseptual (*framework development*), bukan pembentukan teori universal. Secara teoritis, penelitian ini memperluas diskursus mengenai *Systems-of-Systems Engineering* (SoSE), *Airspace Governance*, dan *Security Governance* melalui pengembangan Integrated Airspace Security System Framework (IASSF) yang mengintegrasikan dimensi kelembagaan, teknologi, operasional, dan keamanan ke dalam satu kerangka tata kelola yang tervalidasi secara empiris. Pengembangan framework ini sejalan dengan pandangan bahwa pada sistem yang kompleks, tata kelola merupakan komponen penting yang memengaruhi koordinasi, interoperabilitas, dan kinerja sistem secara keseluruhan [21][22].

IASSF mengonstruksi empat lapisan utama yang saling berinteraksi, yaitu lapisan makro-strategis yang merepresentasikan kebijakan nasional dan dukungan politik; lapisan integrasi kelembagaan melalui koordinasi sipil–militer; lapisan kapabilitas operasional dan teknologi yang mencakup interoperabilitas sistem CNS dan kemampuan adaptasi terhadap ancaman multi-domain; serta lapisan keluaran sistem berupa efektivitas keamanan ruang udara. Struktur ini menunjukkan bahwa hubungan antarlapisan bersifat dinamis dan saling memengaruhi, sebagaimana karakteristik sistem kompleks yang dijelaskan dalam literatur *systems-of-systems* [22][24].



Gambar 4. Model *Integrated Airspace Security System Theory* (IASST): Struktur Sistem Berlapis Keamanan Ruang Udara.

Walaupun model empiris menunjukkan kemampuan penjelasan dan prediksi yang memadai, ruang lingkup generalisasi penelitian ini perlu dipahami secara proporsional. Seluruh data empiris diperoleh dari pemangku kepentingan dalam tata kelola ruang udara Indonesia sehingga karakteristik kelembagaan, regulasi, struktur komando, dan lingkungan strategis nasional dapat memengaruhi hubungan antar konstruk. Oleh karena itu, IASSF maupun proposisi IASST belum dapat digeneralisasikan sebagai model universal, melainkan lebih tepat diposisikan sebagai *context-bound explanatory framework* yang memerlukan validasi empiris pada berbagai negara dan konteks tata kelola yang berbeda.

Selain itu, penelitian ini menggunakan data persepsi responden sebagai dasar pengukuran konstruk laten. Walaupun instrumen telah memenuhi kriteria validitas, reliabilitas, *common method bias*, dan *predictive assessment*, hasil penelitian tetap merepresentasikan persepsi para pemangku kepentingan terhadap efektivitas tata kelola, bukan ukuran langsung terhadap kondisi keamanan ruang udara yang sesungguhnya. Oleh karena itu, interpretasi hasil perlu dilakukan secara hati-hati dan sebaiknya dilengkapi pada penelitian mendatang dengan indikator operasional yang lebih objektif, seperti data pelanggaran wilayah udara, waktu respons intersepsi, maupun indikator *surveillance performance* [18].

Penelitian selanjutnya disarankan melakukan validasi lintas konteks (*cross-context validation*) melalui studi komparatif antarnegara, penggunaan indikator objektif, serta desain longitudinal untuk menguji konsistensi hubungan antar konstruk dalam berbagai lingkungan strategis. Pendekatan tersebut diharapkan dapat memperkuat validitas eksternal framework sekaligus mengevaluasi keberlakuan proposisi IASST pada konteks tata kelola ruang udara yang berbeda.

Gambar 4 menyajikan sintesis konseptual *Integrated Airspace Security System Framework* (IASSF) berdasarkan hasil integrasi temuan kualitatif dan kuantitatif. Diagram tersebut menggambarkan keterkaitan antarkomponen tata kelola ruang udara secara konseptual, sedangkan hubungan struktural yang diuji secara empiris disajikan pada Gambar 3 dan Tabel 8.

Dengan demikian, kontribusi penelitian ini terletak pada pengembangan *Integrated Airspace Security System Framework (IASSF)* sebagai kerangka konseptual yang tervalidasi secara empiris serta penyusunan proposisi *Integrated Airspace Security System Theory (IASST)* sebagai *middle-range theoretical proposition*. Pada tahap ini, IASST diposisikan sebagai abstraksi konseptual yang menjelaskan mekanisme hubungan antara kapabilitas teknologi, kelembagaan, strategi, dan integrasi sipil–militer terhadap efektivitas keamanan ruang udara pada konteks penelitian yang dikaji. Generalisasi

teoritis yang lebih luas masih memerlukan validasi empiris lintas negara, lintas rezim tata kelola, dan lintas lingkungan strategis.

4. Kesimpulan

Penelitian ini mengembangkan dan memvalidasi model tata kelola keamanan ruang udara berbasis *systems-of-systems* (SoS) melalui integrasi *Constructivist Grounded Theory* (CGT), *Systematic Literature Review* (SLR), dan *Partial Least Squares Structural Equation Modelling* (PLS-SEM). Hasil menunjukkan bahwa *Airspace Security Effectiveness* (ASE) merupakan properti emergen yang terbentuk melalui interaksi tata kelola, koordinasi sipil–militer, kapabilitas teknologi, dan adaptabilitas terhadap ancaman multi-domain.

Secara empiris, model menjelaskan 62% varians *Civil–Military Air Traffic Management* (C-M ATM) dan 71% varians ASE. *Layered CNS Interface Framework* (LCIF) berpengaruh signifikan terhadap C-M ATM ($\beta = 0{,}41$; $p < 0{,}001$) dan ASE ($\beta = 0{,}22$; $p < 0{,}001$), sedangkan C-M ATM menjadi determinan utama ASE ($\beta = 0{,}52$; $p < 0{,}001$) sekaligus mekanisme mediasi. *Multi-Domain Threat Adaptability* (MDTA) dan *Strategic Defense Posture* (SDP) memperkuat kapasitas integrasi dan ketahanan sistem, sementara *Political–Strategic Support* (PS) berperan sebagai variabel kondisional dalam hubungan koordinatif tertentu.

Kontribusi utama penelitian adalah pengembangan *Integrated Airspace Security System Framework* (IASSF) sebagai kerangka *governance-embedded systems-of-systems* yang mengintegrasikan dimensi kelembagaan, teknologi, operasional, dan strategis. Penelitian ini juga merumuskan *Integrated Airspace Security System Theory* (IASST) sebagai proposisi teoritis tingkat menengah (*middle-range theoretical proposition*) dalam konteks tata kelola ruang udara Indonesia, bukan sebagai teori universal. Secara praktis, temuan menegaskan bahwa penguatan keamanan ruang udara memerlukan integrasi C-M ATM, interoperabilitas CNS, pertukaran informasi, keamanan siber, serta penguatan koordinasi lintas institusi.

Keterbatasan penelitian meliputi penggunaan data berbasis persepsi pemangku kepentingan, desain *cross-sectional*, dan validasi yang berfokus pada konteks tata kelola ruang udara Indonesia. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan validasi lintas negara atau *Flight Information Region* (FIR), mengintegrasikan indikator kinerja operasional yang objektif, menggunakan desain longitudinal, serta menerapkan *System Dynamics*, *Agent-Based Modelling*, atau *Digital Twin Airspace* untuk menguji dinamika sistem dan berbagai skenario kebijakan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pertahanan Republik Indonesia dan Akademi Penerbang Indonesia atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama penelitian ini. Terima kasih juga disampaikan kepada AirNav Indonesia, Kementerian Perhubungan, TNI Angkatan Udara, dan Kementerian Pertahanan atas kontribusi data dan wawasan empiris yang sangat berharga.

Apresiasi turut diberikan kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan moral, intelektual, dan teknis dalam penyelesaian penelitian ini.

Deklarasi

Kontribusi Penulis

Afen Sena dan **Budi Santoso** berkontribusi secara setara sebagai kontributor utama dalam artikel ini. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir artikel.

Pernyataan Pendanaan

Penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga pendanaan di sektor publik, komersial, maupun nirlaba.

Konflik Kepentingan

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang diketahui yang dapat dianggap memengaruhi penelitian yang dilaporkan dalam artikel ini.

Penggunaan Kecerdasan Artifisial atau Teknologi Berbantuan Kecerdasan Artifisial

Dalam proses penyusunan karya ini, penulis menggunakan Chat GPT untuk memperbaiki struktur kalimat sesuai dengan kaidah bahasa Indonesia. Setelah menggunakan alat/layanan tersebut, penulis meninjau dan menyunting kembali konten yang dihasilkan sesuai kebutuhan serta bertanggung jawab penuh atas seluruh isi publikasi ini.

Daftar Pustaka

[1] International Civil Aviation Organization, *Global Air Traffic Management Operational Concept*, Doc. 9854, 1st ed. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2005.

[2] North Atlantic Treaty Organization, *Allied Joint Doctrine for Air and Space Operations*, AJP-3.3, Edition B, Version 1. Brussels, Belgium: NATO Standardization Office, 2016.

[3] International Civil Aviation Organization, *Manual on Civil-Military Cooperation in Air Traffic Management*, Doc. 10088, 1st ed. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2021.

[4] International Civil Aviation Organization, *Aviation Cybersecurity Strategy*. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2019.

[5] International Civil Aviation Organization, *Cybersecurity Action Plan*, 2nd ed. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2022.

[6] International Civil Aviation Organization, *Global Cyber Risk Considerations*, Doc. 10213, 1st ed. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2025.

[7] M. W. Maier, "Architecting principles for systems-of-systems," *Systems Engineering*, vol. 1, no. 4, pp. 267–284, 1998, doi: 10.1002/(SICI)1520-6858(1998)1:4<267::AID-SYS3>3.0.CO;2-D.

[8] A. Gorod, B. Sauser, and J. Boardman, "System-of-Systems Engineering Management: A Review of Modern History and a Path Forward," *IEEE Systems Journal*, vol. 2, no. 4, pp. 484–499, Dec. 2008, doi: 10.1109/JSYST.2008.2007163.

[9] D. D. Woods, "Four concepts for resilience and the implications for the future of resilience engineering," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 141, pp. 5–9, 2015, doi: 10.1016/j.ress.2015.03.018.

[10] K. Charmaz, *Constructing Grounded Theory*, 2nd ed. London, U.K.: SAGE Publications, 2014.

[11] J. F. Hair, G. T. M. Hult, C. M. Ringle, and M. Sarstedt, *A Primer on Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM)*, 3rd ed. Los Angeles, CA, USA: SAGE Publications, 2022.

[12] C. M. Ringle, S. Wende, and J.-M. Becker, *SmartPLS 4*. Bönningstedt, Germany: SmartPLS, 2024.

[13] J. F. Hair, J. J. Risher, M. Sarstedt, and C. M. Ringle, "When to use and how to report the results of PLS-SEM," *European Business Review*, vol. 31, no. 1, pp. 2–24, 2019, doi: 10.1108/EBR-11-2018-0203.

[14] J. F. Hair, M. Sarstedt, C. M. Ringle, and S. P. Gudergan, *Advanced Issues in Partial Least Squares Structural Equation Modeling*. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE Publications, 2017.

[15] W. W. Chin, "The partial least squares approach to structural equation modeling," in *Modern Methods for Business Research*, G. A. Marcoulides, Ed. Mahwah, NJ, USA: Lawrence Erlbaum Associates, 1998, pp. 295–336.

[16] M. J. Page, J. E. McKenzie, P. M. Bossuyt, I. Boutron, T. C. Hoffmann, C. D. Mulrow, L. Shamseer, J. M. Tetzlaff, E. A. Akl, S. E. Brennan, R. Chou, J. Glanville, J. M. Grimshaw, A. Hróbjartsson, M. M. Lalu, T. Li, E. W. Loder, E. Mayo-Wilson, Steve McDonald, L. A. McGuinness, L. A. Stewart, J. Thomas, A. C. Tricco, Vivian A. Welch, P. Whiting, and D. Moher, "The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews," *BMJ*, vol. 372, p. n71, 2021, doi: 10.1136/bmj.n71.

[17] G. Shmueli, S. Ray, J. M. Velasquez Estrada, and S. B. Chatla, "The elephant in the room: Predictive performance of PLS models," *Journal of Business Research*, vol. 69, no. 10, pp. 4552–4564, 2016, doi: 10.1016/j.jbusres.2016.03.049.

[18] G. Shmueli, M. Sarstedt, J. F. Hair, J.-H. Cheah, H. Ting, S. Vaithilingam, and C. M. Ringle, "Predictive model assessment in PLS-SEM: Guidelines for using PLSpredict," *European Journal of Marketing*, vol. 53, no. 11, pp. 2322–2347, 2019, doi: 10.1108/EJM-02-2019-0189.

[19] G. T. M. Hult, J. F. Hair, D. Proksch, M. Sarstedt, A. Pinkwart, and C. M. Ringle, "Addressing Endogeneity in International Marketing Applications of Partial Least Squares Structural Equation Modeling," *Journal of International Marketing*, vol. 26, no. 3, pp. 1–21, 2018, doi: 10.1509/JIM.17.0151.

[20] J. F. Hair, M. Sarstedt, T. M. Pieper, and C. M. Ringle, "The use of partial least squares structural equation modeling in strategic management research: A review of past practices and recommendations for future applications," *Long Range Planning*, vol. 45, nos. 5–6, pp. 320–340, 2012, doi: 10.1016/j.lrp.2012.09.008.

[21] P. M. Podsakoff, S. B. MacKenzie, J.-Y. Lee, and N. P. Podsakoff, "Common method biases in behavioral research: A critical review of the literature and recommended remedies," *Journal of Applied Psychology*, vol. 88, no. 5, pp. 879–903, 2003, doi: 10.1037/0021-9010.88.5.879.

[22] J. Henseler, C. M. Ringle, and M. Sarstedt, "A new criterion for assessing discriminant validity in variance-based structural equation modeling," *Journal of the Academy of Marketing Science*, vol. 43, pp. 115–135, 2015, doi: 10.1007/s11747-014-0403-8.

[23] N. Kock and P. Hadaya, "Minimum sample size estimation in PLS-SEM: The inverse square root and gamma-exponential methods," *Information Systems Journal*, vol. 28, no. 1, pp. 227–261, 2018, doi: 10.1111/isj.12131.

[24] I. D. Henry, "What allies want: Reconsidering loyalty, reliability, and alliance interdependence," *International Security*, vol. 44, no. 4, pp. 45–83, 2020, doi: 10.1162/ISEC_a_00375.

[25] International Civil Aviation Organization, *Global Air Navigation Plan*, Doc. 9750, 5th ed. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2016.

[26] International Civil Aviation Organization, *Manual on the Regulation of International Air Transport*, Doc. 9626, 3rd ed. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2018.

[27] International Civil Aviation Organization, *Air Traffic Management Security Manual*, Doc. 9985, 1st ed. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2013.

[28] International Civil Aviation Organization, *Aviation Security Manual*, Doc. 8973, 13th ed. Montréal, QC, Canada: ICAO, 2022.