

Analysis of The Implementation of The Concept of Higher Airspace Operations in Indonesia

Marchel Jeriko Togu Limbong¹, Rully Medianto^{2*}, Prasetyo Edi³, Gunawan⁴, Fajar Khanif Rahmawati⁵, Elisabeth Anna Prattiwi⁶

^{1,2,3,5,6}Department of Aerospace Engineering, ITD Adisutjipto, Indonesia

⁴Department of Industrial Engineering, ITD Adisutjipto, Indonesia

Article Info

Article history:

Received Februari 12, 2025

Accepted Agustus 1, 2025

Published Januari 22, 2026

Keywords:

Higher Airspace Operation,
Upper airspace,
Systematic Literature
Review,
Air traffic management,
Aviation policy.

ABSTRACT

The advancement of aviation technology and growing airspace demand have introduced the Higher Airspace Operation (HAO) concept, which manages airspace above FL550 (55,000 feet). Globally, regions like the United States and the European Union are developing regulatory and technological systems to integrate HAO into existing air traffic management. In contrast, Indonesia's readiness remains limited due to the lack of specific regulations, infrastructure, and surveillance capabilities. This study assesses Indonesia's preparedness to adopt HAO through a Systematic Literature Review (SLR) and expert interviews. Findings indicate the need for adaptive policies aligned with technological progress, improved communication, navigation, and surveillance systems, and comprehensive legal frameworks to support emerging airspace vehicles such as High-Altitude Platform Systems (HAPS), suborbital aircraft, and reentry vehicles. The research also proposes a dynamic, collaborative operational model suited to Indonesia's unique geographical conditions and institutional environment.



Corresponding Author:

Rully Medianto
Department of Aerospace Engineering,
ITD Adisutjipto, Indonesia
Email: rullymedianto@gmail.com

1. PENGANTAR

Higher Airspace Operations (HAO) atau Operasi di Ruang Udara Tinggi adalah bentuk kegiatan penerbangan yang dilakukan pada ketinggian di atas jalur penerbangan konvensional, umumnya dimulai dari *Flight Level* (FL) 550 ke atas [1], [2]. Berdasarkan penelitian oleh Oliver Pohling dalam jurnal *Aerospace* [3], HAO mencakup aktivitas yang dilakukan oleh jenis kendaraan udara baru seperti system platform udara ketinggian tinggi (*High Altitude Platform System*/HAPS), kendaraan sub-orbital, kendaraan orbital, dan kendaraan dari orbit kembali ke bumi. Berdasarkan pengertian tersebut, dapat disimpulkan bahwa HAO merupakan bentuk operasi penerbangan modern yang memerlukan pengelolaan dan kebijakan baru agar dapat berjalan selaras dengan penerbangan konvensional.

Sebagai negara kepulauan dengan lalu lintas udara padat dan posisi geostrategis di persimpangan jalur penerbangan internasional, Indonesia menghadapi tantangan unik dalam pengelolaan ruang udara [4], [5]. Meski potensi HAO untuk meningkatkan konektivitas, pemantauan maritim, dan pertahanan udara sangat besar, implementasinya masih terhambat oleh ketiadaan kerangka regulasi dan infrastruktur pendukung. Proyek percontohan HAO di luar negeri, seperti *NASA's Upper-Class E Airspace* [6], [7] dan inisiatif SESAR-JU di Eropa [8], dapat menjadi acuan, namun adaptasi terhadap kondisi lokal seperti geografi kepulauan, keragaman cuaca, dan kepadatan lalu lintas udara rendah masih perlu dikaji mendalam.

Ketertinggalan Indonesia dalam mengadopsi HAO berisiko menimbulkan masalah seperti fragmentasi kedaulatan udara, inefisiensi rute penerbangan jarak jauh, serta ketergantungan pada sistem asing. Di sisi lain, HAO juga membuka peluang untuk memperkuat posisi Indonesia sebagai aviation hub di Asia Tenggara, mendukung agenda *Net Zero Emission* melalui optimalisasi rute penerbangan, dan meningkatkan kapasitas pengawasan wilayah perbatasan. Penelitian ini hadir untuk menganalisis kesenjangan antara konsep HAO global dengan kesiapan Indonesia, sekaligus merumuskan rekomendasi kebijakan yang selaras dengan visi pembangunan nasional.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR). Metode ini dipilih untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis literatur yang relevan mengenai *Higher Airspace Operation* (HAO) secara sistematis dan terstruktur. SLR memungkinkan peneliti mengumpulkan informasi yang komprehensif dan terkini dari berbagai sumber yang kredibel guna menjawab pertanyaan penelitian secara objektif dan metodologis [9]–[11]. Objek penelitian dalam studi ini adalah literatur ilmiah yang membahas tentang *Higher Airspace Operations*, meliputi aspek teknologi, kebijakan, konsep pengelolaan ruang udara tinggi, serta tantangan regulasi dan operasional. Literatur yang dikaji dapat berupa artikel jurnal, maupun dokumen teknis dari organisasi internasional seperti NASA dan SESAR-JU.

Jurnal pertama yang dikaji dalam penelitian ini adalah karya Giovanni Di Antonio (2023) berjudul "*Towards the Integration of Higher Airspace Operations in the European ATM Network*". Penelitian ini disusun dalam kerangka proyek SESAR-JU/ECHO (Negara Eropa) dan bertujuan untuk mengembangkan konsep operasional serta solusi teknis guna mengintegrasikan *Higher Airspace Operations* (HAO) ke dalam sistem manajemen lalu lintas udara (ATM) di kawasan Eropa. Fokus utama dari jurnal ini adalah bagaimana berbagai jenis kendaraan udara nonkonvensional seperti *High Altitude Platform Systems* (HAPS), kendaraan suborbital dan orbital, serta pesawat hipersonik dapat beroperasi secara aman dan efisien di ruang udara atas tanpa mengganggu lalu lintas udara konvensional yang padat di wilayah tersebut [12].

Jurnal kedua yang merupakan salah satu jurnal penting yang dikaji dalam penelitian ini adalah karya Oliver Pohling (2023) yang berjudul "*Impact of Higher Airspace Operations on Air Traffic in Europe*" dan diterbitkan dalam jurnal *Aerospace*. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak operasional dari berbagai jenis HAO terhadap lalu lintas udara konvensional di wilayah udara Eropa, khususnya kawasan UK-Irlandia, dengan menggunakan simulasi *fast-time* berbasis data trafik aktual. Penelitian ini memiliki kontribusi signifikan dalam konteks pengembangan kebijakan dan strategi manajemen ruang udara tinggi, yang sangat relevan untuk dijadikan referensi dalam merumuskan kerangka HAO di Indonesia [3].

Jurnal ketiga yang dikaji dan dibahas dalam penelitian ini adalah *Upper Class E Traffic Management (ETM) Concept of Operations V1.0* yang dibuat oleh FAA (2021). Dokumen ETM ConOps V1.0 disusun oleh Federal Aviation Administration (FAA) Amerika Serikat pada tahun 2021 dan merupakan rancangan awal konsep manajemen lalu lintas untuk operasi penerbangan yang berlangsung di ruang udara *Upper Class E*, yaitu di atas FL600 (60.000 kaki). Tujuan utama dari dokumen ini adalah untuk mengembangkan pendekatan awal terhadap tata kelola operasi non-tradisional di ruang udara tinggi yang tidak terjangkau oleh sistem *Air Traffic Management* (ATM) konvensional, termasuk operasi seperti HAPS, kendaraan suborbital, dan kendaraan reusable launch yang tidak sepenuhnya diklasifikasikan sebagai wahana antariksa [13].

Jurnal ke empat yang dikaji untuk penelitian skripsi adalah *New Types of Higher Airspace Flight Operations and Their Legal Challenges* karya Attila Horváth (2023). Artikel ilmiah yang ditulis oleh Attila Horváth ini diterbitkan pada tahun 2023 dan membahas secara mendalam berbagai bentuk operasi penerbangan baru di ruang udara tinggi, serta tantangan hukum yang ditimbulkan akibat kemunculan kategori-kategori kendaraan baru di atas FL660. Tujuan utama artikel ini adalah untuk mengidentifikasi aspek hukum internasional yang belum mampu mengakomodasi kemajuan teknologi penerbangan dan ruang angkasa, khususnya terhadap entitas seperti HAPS, *pseudo-satellites*, *suborbital transport*, dan kendaraan ruang angkasa berawak yang kembali ke atmosfer bumi [14].

Yang terakhir, peneliti mengkaji regulasi Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 9 tahun 2022 yang diterbitkan oleh Menteri perhubungan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 9 Tahun 2022 diterbitkan sebagai revisi dan pengganti atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 55 Tahun 2016 [15]. Peraturan ini bertujuan untuk mengatur secara teknis dan administratif penataan struktur dan rute ruang udara nasional, khususnya terkait klasifikasi layanan Air Traffic Services (ATS), mekanisme penetapan ruang udara

terbatas (*Restricted, Prohibited, Dangerous Areas*), serta pembagian tanggung jawab pengelolaan ruang udara antara otoritas sipil dan militer. Metode pendekatan regulasi ini bersifat normatif-yuridis, yaitu disusun sesuai dengan hirarki perundang-undangan nasional di sektor penerbangan sipil. PM ini menetapkan prinsip-prinsip penting seperti *Collaborative Decision Making* (CDM) antara regulator, penyedia layanan navigasi, dan pengguna ruang udara, serta prosedur pengajuan dan evaluasi rute penerbangan baru atau perubahan ruang udara.

3. HASIL DAN ANALISIS

Pembahasan hasil kajian jurnal dan dokumen regulasi yang telah dilakukan menunjukkan bahwa implementasi *Higher Airspace Operations* (HAO) memerlukan kesiapan multidimensi dari sisi teknologi, operasional, regulatif, hingga kelembagaan. HAO merupakan bentuk baru dari aktivitas penerbangan modern yang melibatkan kendaraan non-tradisional seperti *High Altitude Platform Systems* (HAPS), kendaraan suborbital dan orbital, serta pesawat hipersonik, yang beroperasi di atas wilayah ruang udara konvensional (di atas FL600). Dari sisi operasional dan manajerial, studi oleh Giovanni Di Antonio (2023) dan Oliver Pohling (2023) menunjukkan pentingnya integrasi dinamis dan berbasis data antara HAO dan sistem *Air Traffic Management* (ATM) yang telah ada. Konsep *4D Operating Zones* serta pendekatan *Collaborative Decision Making* (CDM) dinilai efektif dalam mengurangi potensi konflik lalu lintas dan mendukung efisiensi ruang udara. Di samping itu, simulasi menunjukkan bahwa kendaraan seperti HAPS memiliki potensi gangguan tertinggi terhadap penerbangan konvensional, terutama jika beroperasi di wilayah dengan lalu lintas padat. Sementara itu, kajian dari Attila Horváth (2023) menyoroti aspek legal yang belum terakomodasi secara tuntas dalam hukum internasional, khususnya pada wilayah transisi antara udara dan ruang angkasa. Ditekankan bahwa masih terdapat kekosongan hukum yang dapat berisiko pada isu yurisdiksi, tanggung jawab negara, dan keadilan akses terhadap ruang udara tinggi.

Dalam konteks nasional, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 9 Tahun 2022 menjadi satu-satunya regulasi yang saat ini relevan terhadap pengelolaan ruang udara. PM ini memang belum secara eksplisit mengatur kendaraan HAO seperti HAPS dan kendaraan suborbital, namun memberikan landasan awal melalui prinsip fleksibilitas struktur ruang udara dan integrasi sistem berbasis data (CNS/ATM). Prinsip CDM yang juga disebutkan dalam regulasi ini menunjukkan adanya kesadaran awal terhadap kebutuhan koordinasi multipihak. Oleh karena itu, PM 9 Tahun 2022 harus dikembangkan lebih lanjut untuk mencakup kategori kendaraan non-konvensional dan kebutuhan regulasi untuk wilayah di atas FL600. Secara keseluruhan, kajian ini memperlihatkan bahwa Indonesia memiliki peluang besar untuk mengembangkan sistem HAO yang adaptif, namun perlu segera merumuskan kerangka regulasi, sistem informasi interoperabel, dan strategi implementasi bertahap yang sesuai dengan karakteristik wilayah udara nasional.

Implementasi HAO di Indonesia menghadapi tantangan regulasi dan operasional yang signifikan. Dari sisi regulasi, PM No. 9 Tahun 2022 belum mengatur secara eksplisit ruang udara di atas FL600, sehingga menciptakan kekosongan hukum yang dapat memunculkan risiko seperti ambiguitas yurisdiksi dan ketidakpastian tanggung jawab negara terhadap kendaraan HAO. Secara internasional, batas vertikal antara wilayah udara dan ruang angkasa belum disepakati, yang memperumit pengaturan kendaraan seperti HAPS atau suborbital. Di Indonesia, harmonisasi antara regulasi sipil (DJPu, AirNav) dan militer (TNI AU) juga menjadi tantangan, mengingat kepentingan kedaulatan udara yang sensitive di wilayah perbatasan. Secara operasional menunjukkan bahwa operasi HAO, terutama HAPS, dapat mengganggu lalu lintas konvensional karena volume udara yang besar dan durasi operasi yang lama. Di Indonesia, wilayah udara sibuk seperti Selat Malaka atau Laut Jawa memiliki kepadatan lalu lintas tinggi, sehingga integrasi HAO memerlukan sistem pemisahan lalu lintas yang canggih, seperti *4D Operating Zones*. Keterbatasan infrastruktur pengawasan (*surveillance*) di ketinggian ekstrem juga menjadi hambatan, karena radar konvensional tidak efektif di atas FL600, sebagaimana dijelaskan dalam dokumen ETM FAA (2021). Selain itu, koordinasi lintas sektor antara operator, regulator, dan militer memerlukan mekanisme *Collaborative Decision Making* (CDM) yang kuat, yang saat ini masih dalam tahap awal di Indonesia. Tantangan ini diperparah oleh minimnya sumber daya manusia yang terlatih untuk mengelola HAO dan kurangnya investasi dalam teknologi khusus, seperti space-based ADS-B. Namun, tantangan ini dapat diatasi dengan mengadopsi pendekatan bertahap, dengan memulai operasi HAO di wilayah dengan lalu lintas rendah, seperti di atas Maluku atau Papua. Dengan memperkuat regulasi nasional dan infrastruktur teknis, Indonesia dapat mengurangi risiko operasional dan regulasi, sekaligus memanfaatkan potensi HAO untuk kebutuhan strategis nasional.

Peneliti melakukan wawancara dengan ahli dalam bidang ruang udara/ruang angkasa sebagai bentuk verifikasi terhadap hasil penelitian dan pengolahan data yang dibuat oleh peneliti secara sepihak. Wawancara dilakukan bersama dengan Ibu Ery Fitrianiingsih dari LAPAN/BRIN sebagai narasumber. Berdasarkan hasil wawancara,

narasumber menyatakan bahwa Indonesia mempunyai tantangan tersendiri terkait upaya penerapan konsep operasi HAO di Indonesia. Tantangan tersebut disebutkan oleh narasumber dengan sebagai berikut.

Pertama, Penguasaan teknologi dan sumber daya manusia (SDM) yang sangat krusial dan diutamakan agar dapat memastikan bahwa operasi di ruang udara HAO harus berjalan dengan baik, tidak mengganggu penerbangan komersil, dan keamanan yang pasti. Kedua, Regulasi yang dibuat harus berkoordinasi dengan negara lain yang terdampak, diperlukan adanya timbal balik (*feedback*) antar negara dan instansi yang terlibat. Ketiga, Adanya kesiapan dalam penanggulangan hal-hal yang tidak diinginkan (kecelakaan, bencana alam, human error, dsb) dikarenakan operasi di ruang udara HAO lebih riskan daripada penerbangan komersil.

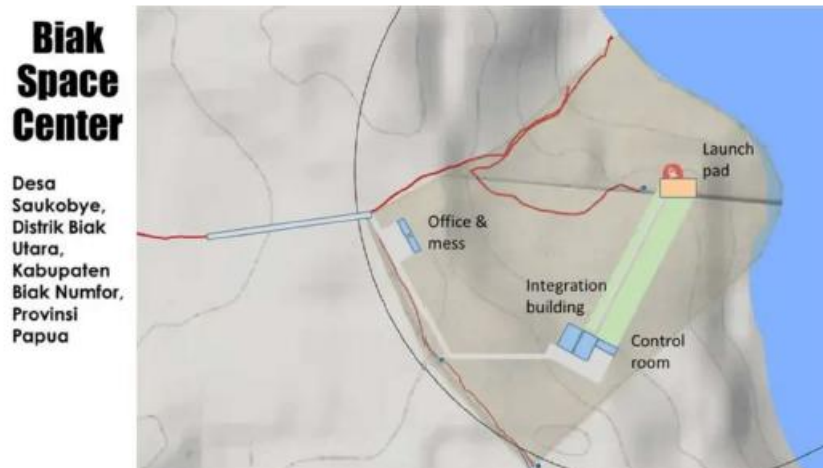
Narasumber menyatakan bahwa Sebelumnya, ruang udara HAO hanya digunakan untuk operasi militer, belum marak digunakan dan diregulasi. Proses regulasi sedang berlangsung karena penggunaan ruang udara HAO sudah mulai ramai, ditambah adanya upaya komersialisasi ruang udara tersebut oleh beberapa perusahaan. Masalah regulasi dan urgensinya berdasarkan dan berkaitan dengan kedaulatan udara nasional. Jika tidak segera diregulasi, maka pihak manapun bias melewati ruang udara Indonesia secara bebas dan berujung riskan (*Airspace breach*, upaya *spionase*). Dalam segi manajemen lalu lintas udara/*Air Traffic Management* (ATM), wahana HAO akan tetap melewati zona komersil (*commercial zone*). Maka sebab itu, pengoperasian wahana HAO harus tetap mengikuti peraturan setempat serta mendapatkan perizinan yang sesuai untuk beroperasi di wilayah udara Indonesia. Berdasarkan narasumber, belum adanya kontribusi Indonesia terhadap forum internasional terkait pembahasan HAO karena belum adanya regulasi/*policy* yang dibuat terkait penerapan konsep operasi tersebut di Indonesia. Jika Indonesia serius dan ingin membahas tentang konsep operasi HAO, maka bisa dimulai dengan penyusunan konsep dan dilanjutkan dengan identifikasi *potential partner*, penguasaan teknologi dan sumber daya manusia, serta melakukan upaya penerapan, sambil secara paralel berdiskusi dengan negara yang terdampak.

Dalam konteks implementasi konsep operasi HAO di Indonesia, *platform balon stratosfer* seperti BLAST seperti pada Gambar 1 menawarkan manfaat besar, terutama untuk pengawasan maritim dan pemantauan wilayah-wilayah terpencil atau perbatasan. Dengan kapasitas untuk melayang di udara selama berminggu-minggu dan kemampuan membawa *payload* komunikasi atau penginderaan jauh, balon stratosfer sangat cocok untuk negara kepulauan seperti Indonesia yang memiliki wilayah luas namun akses infrastruktur terbatas. Teknologi ini juga dapat menjadi bagian dari sistem pemantauan bencana nasional dan mendukung layanan darurat berbasis data ketika infrastruktur komunikasi darat terganggu. Karena sifatnya yang relatif statis dan tidak bermanuver cepat, implementasi balon stratosfer dalam HAO juga lebih mudah dari sisi pengelolaan lalu lintas udara, menjadikannya kandidat ideal untuk demonstrasi awal integrasi sistem HAO di atas FL600.



Gambar 1 *Balloon-borne Large Aperture Submillimeter Telescope* (BLAST) yang merupakan salah satu contoh dari platform HAPS (Northwestern Edu, 2024)

Gambar 2 menampilkan ilustrasi rencana pembangunan bandar antariksa milik LAPAN di Biak, Provinsi Papua. Gambar ini menggambarkan salah satu bentuk kesiapan infrastruktur peluncuran orbit (*space launch infrastructure*) di Indonesia, yang bertujuan untuk mendukung kegiatan peluncuran satelit, misi penelitian luar angkasa, serta eksplorasi orbit rendah bumi (*Low Earth Orbit*/LEO). Keberadaan bandar antariksa seperti ini menjadi elemen penting dalam mendukung operasi kendaraan dari dan menuju orbit — yang merupakan salah satu kategori utama dalam konsep operasi HAO, terutama pada subkategori orbital dan *fromorbit vehicles*.



Gambar 2 Ilustrasi Rencana Pembangunan bandar antariksa LAPAN di Biak, Provinsi Papua (Badan Riset dan Inovasi Nasional, 2021)

Pengembangan kendaraan suborbital, seperti yang direncanakan melalui proyek peluncuran roket di Biak oleh BRIN, juga menawarkan potensi strategis. Kendaraan suborbital, baik tipe A-to-A (kembali ke titik awal) maupun A-to-B (antar lokasi), dapat digunakan untuk wisata antariksa atau transportasi cepat lintas benua, meskipun saat ini masih dalam tahap awal di Indonesia. Peran wahana ini di Indonesia meliputi penguatan posisi sebagai *aviation* hub di Asia Tenggara, mendukung riset antariksa nasional, dan meningkatkan kapasitas peluncuran satelit domestik. Dengan memanfaatkan posisi geografis dekat ekuator, Indonesia dapat menjadi pusat peluncuran suborbital yang kompetitif. Penerapan wahana HAO ini akan memperkuat konektivitas digital, keamanan nasional, dan kemampuan riset Indonesia. Namun, untuk mewujudkan potensi ini, diperlukan investasi dalam teknologi lokal, pelatihan sumber daya manusia, dan penguatan regulasi nasional, seperti amandemen PM No. 9 Tahun 2022, agar dapat mengakomodasi karakteristik operasional wahana HAO. Dengan pendekatan yang terintegrasi, wahana ini dapat menjadi katalis bagi transformasi penerbangan dan antariksa Indonesia.

Tabel 1 menyajikan perbandingan empat jenis wahana dalam konsep HAO yaitu UAV HALE, HAPS, balon stratosfer, dan kendaraan suborbital berdasarkan karakteristik operasional, fungsi utama, serta relevansi penerapannya di Indonesia. UAV HALE menonjol dalam misi pengawasan dan intelijen jarak jauh dengan daya tahan tinggi, menjadikannya efektif untuk pengamanan wilayah perbatasan seperti Laut Natuna. HAPS, dengan kemampuan terbang lama di stratosfer, sangat potensial untuk meningkatkan konektivitas digital dan pemantauan bencana di wilayah terpencil. Balon stratosfer lebih difokuskan pada riset atmosfer dan iklim, mendukung kebutuhan ilmiah nasional di tengah perubahan iklim. Sementara itu, kendaraan suborbital, meskipun masih dalam tahap awal pengembangan, memiliki potensi strategis besar untuk peluncuran wahana antariksa dan transportasi cepat lintas benua, khususnya jika dikembangkan dari wilayah ekuator seperti Biak. Dengan keragaman fungsi dan karakteristik ini, keempat wahana tersebut dapat memainkan peran saling melengkapi dalam penguatan sistem pertahanan, konektivitas, dan riset di Indonesia. Tabel 1 menyajikan perbandingan empat jenis wahana dalam konsep HAO yaitu UAV HALE, HAPS, balon stratosfer, dan kendaraan suborbital berdasarkan karakteristik operasional, fungsi utama, serta relevansi penerapannya di Indonesia.

Tabel 1 Perbandingan Wahana *Higher Airspace Operation* (HAO)

No	Jenis Wahana HAO	Jenis Operasi & Karakteristik	Fungsi Utama	Peran & Potensi di Indonesia
1	UAV HALE (<i>High Altitude Long Endurance UAV</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Operasi di stratosfer (FL600+) - Kecepatan rendah – sedang - Daya tahan sangat tinggi (berhari-hari hingga berminggu) - Berbasis <i>fixedwing</i> dan system otonom 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengintaian dan intelijen - Pengumpulan data ISR (<i>Intelligence, Surveillance, Reconnaissance</i>) - Monitoring perbatasan atau maritim 	<ul style="list-style-type: none"> - Pemantauan wilayah rawan seperti Laut Natuna Utara - Dukungan patroli udara nonkonvensional - Pendukung keamanan laut dan perbatasan RI
2	HAPS (<i>High-Altitude Platform Station</i>)	<ul style="list-style-type: none"> - Operasi stabil di stratosfer (18–22 km) - Bertenaga surya - Durasi tinggal sangat lama (bulan) 	<ul style="list-style-type: none"> - Telekomunikasi (backhaul, internet 3T) - Observasi bumi (EO) - Pemantauan lingkungan dan bencana 	<ul style="list-style-type: none"> - Alternatif BTS untuk Wilayah terpencil (Papua, NTT) - Pemantauan kebakaran hutan atau gempa

		- Bisa berbentuk UAV <i>fixedwing</i> atau <i>airship</i>		- Sistem komunikasi darurat di bencana
3	Balon Stratosfer	- Operasi pasif pada ketinggian FL600 - Mengandalkan arus angin stratosfer - Tidak bermanuver, semi-navigasi	- Penelitian atmosfer - Pengukuran iklim dan cuaca ekstrem - Observasi nonagresif jangka panjang	- Riset iklim di wilayah rawan El Niño/La Niña - Prediksi cuaca ekstrem untuk BMKG - Pengumpulan data atmosfer tinggi
4	Kendaraan Suborbital (A-to-A dan A-to-B)	- Operasi lintas batas atmosfer (hingga 100 km) - Kecepatan tinggi (Mach >3) - Durasi pendek (menit hingga jam) - Tipe A-to-A (wisata), A-to-B (transportasi cepat)	- Wisata luar angkasa - Transportasi cepat lintas benua - Uji teknologi luar angkasa	- Potensi peluncuran dari Biak sebagai lokasi strategis - Dukungan program BRIN untuk roket nasional - Posisi sebagai pusat wisata atau logistic antariksa

Berdasarkan hasil analisis dan sintesis literatur yang telah disampaikan dalam subbab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa implementasi HAO di Indonesia memerlukan dukungan regulasi yang komprehensif dan visioner. Saat ini, kerangka hukum nasional belum sepenuhnya mengakomodasi dinamika operasional di ruang udara tinggi, khususnya di atas FL600, yang menjadi domain utama aktivitas HAO seperti HAPS, penerbangan suborbital, dan kendaraan pseudo-satellite. Meskipun Peraturan Menteri Perhubungan No. 9 Tahun 2022 memberikan landasan awal melalui prinsip fleksibilitas ruang udara dan integrasi sistem CNS/ATM, regulasi ini masih bersifat umum dan belum mengatur secara eksplisit mengenai klasifikasi wilayah udara tinggi, jenis kendaraan udara nonkonvensional, maupun prosedur operasionalnya. Oleh karena itu, diperlukan penyusunan peraturan baru atau amandemen terhadap regulasi yang ada untuk memberikan kepastian hukum dan operasional terhadap aktivitas HAO di wilayah udara Indonesia.

Jenis regulasi yang dibutuhkan meliputi pembentukan Peraturan Pemerintah atau Undang-Undang khusus mengenai manajemen ruang udara tinggi, yang mencakup definisi operasional HAO, yurisdiksi negara terhadap ruang udara di atas FL600, serta tata kelola sistem lalu lintas udara modern berbasis prinsip *cooperative separation* dan interoperabilitas data. Selain itu, perlu dilakukan amandemen terhadap Undang-Undang No. 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan, untuk memasukkan klasifikasi kendaraan udara baru dan ruang transisi antara udara dan antariksa. Di tingkat teknis, dibutuhkan pula peraturan turunan dari Kementerian Perhubungan yang mengatur secara rinci standar operasional, sistem notifikasi penerbangan, dan mekanisme kolaboratif antara otoritas sipil, militer, serta operator swasta nasional maupun asing. Mengingat adanya potensi tumpang tindih dengan domain *Space Traffic Management* (STM), regulasi mengenai perlindungan data strategis, keamanan nasional, dan protokol pengawasan berbasis teknologi tinggi seperti *space-based* ADS-B juga menjadi prioritas.

4. KESIMPULAN

Konsep Operasi HAO yang cocok untuk Indonesia dikarenakan:

- HAO mencakup jenis wahana seperti UAV HALE, HAPS, balon stratosfer, dan kendaraan sub-orbital, yang beroperasi di atas FL600.
- Konsep 4D *Operating Zones* dan *Cooperative Separation* adalah pendekatan yang paling relevan untuk diterapkan di Indonesia agar HAO dapat terintegrasi tanpa konflik dengan sistem ATM konvensional.
- Jenis operasi HAO seperti HAPS sangat cocok untuk Indonesia karena dapat dimanfaatkan untuk komunikasi di wilayah 3T, pemantauan maritim, dan pengawasan bencana.

Sumber Daya yang Dibutuhkan untuk Implementasi HAO di Indonesia:

- Regulasi nasional yang eksplisit dan adaptif terhadap operasi di atas FL600 masih perlu dikembangkan lebih lanjut dari PM No. 9 Tahun 2022.
- Infrastruktur pengawasan dan komunikasi seperti radar *high-altitude*, *spacebased* ADS-B, dan sistem CNS/ATM berbasis data menjadi kebutuhan utama.
- Sumber daya manusia yang terlatih di bidang manajemen lalu lintas udara tinggi, teknologi kendaraan udara non-konvensional, dan kerangka hukum internasional juga diperlukan.
- Koordinasi kelembagaan antara DJPU, TNI AU, AirNav, dan BRIN diperlukan untuk manajemen ruang udara lintas sipil-militer.

Tantangan dan Peluang Penerapan HAO di Indonesia:

- a. Tantangan utama meliputi kekosongan hukum, keterbatasan teknis pengawasan di ketinggian tinggi, dan potensi konflik kepentingan antar instansi sipil dan militer.
- b. Peluang HAO di Indonesia sangat besar, terutama untuk mendukung konektivitas digital nasional di daerah terpencil, memperkuat keamanan dan pengawasan wilayah perbatasan, menjadi lokasi strategis peluncuran suborbital karena posisi geografis dekat ekuator, serta Mendukung visi Indonesia sebagai aviation hub Asia Tenggara dan pusat riset antariksa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Stilwell and S. Kaltenhaeuser, "Flying high: Comparing the concepts for higher airspace operations in the US and Europe," 2023, doi: <https://doi.org/10.2514/6.2023-3958>.
- [2] N. Özgür and S. J. Truxal, "On increasing commercial space operations and global integrated airspace safety governance," *J. Sp. Law*, vol. 47, no. 1, pp. 11–35, 2024.
- [3] O. Pohling, L. Losensky, S. Lorenz, and S. Kaltenhäuser, "Impact of Higher Airspace Operations on Air Traffic in Europe," *Aerospace*, vol. 10, no. 10, 2023, doi: 10.3390/aerospace10100835.
- [4] A. Wahyudi, C. Chomariyah, and W. A. Dewanto, "Indonesia's Airspace Sovereignty and FIR Management with Singapore," *Indones. J. Innov. Stud.*, vol. 26, no. 1, pp. 1–10, 2025, doi: 10.21070/ijins.v26i1.1322.
- [5] L. H. Putro, U. Indonesia, and C. Tjandra, "Meningkatkan Ketahanan Ruang Udara Indonesia melalui Analisis Intelijen," *J. Kaji. Strat. Ketahanan Nas.*, vol. 7, no. 1, 2024, doi: 10.7454/jkskn.v7i1.10087.
- [6] H.-S. Yoo, J. Li, R. Torres, R. H. Jacoby, J. Homola, and C. O'Hara, "Cooperative Separation in Upper Class E Airspace," California, 2022.
- [7] D. L. Bakowski, P. U. Lee, C. L. Brasil, and M. Evans, "Integrating Upper Class E Traffic Management (ETM) Operations into the National Airspace System: Use Cases and Research Questions," *AIAA/IEEE Digit. Avion. Syst. Conf. - Proc.*, vol. 2022-September, 2022, doi: 10.1109/DASC55683.2022.9925861.
- [8] T. Bolić and P. Ravenhill, "SESAR: The Past, Present, and Future of European Air Traffic Management Research," *Engineering*, vol. 7, no. 4, pp. 448–451, 2021, doi: 10.1016/j.eng.2020.08.023.
- [9] G. Lame, "Systematic literature reviews: An introduction," *Proc. Des. Soc. Int. Conf. Eng. Des.*, vol. 2019-August, no. August, pp. 1633–1642, 2019, doi: 10.1017/dsi.2019.169.
- [10] J. Paul and M. Barari, "Meta-analysis and traditional systematic literature reviews-What, why, when, where, and how?," *Psychol. Mark.*, vol. 39, no. 6, pp. 1099–1115., 2022, doi: 10.1002/mar.21657.
- [11] F. H. Wada *et al.*, *Buku Ajar Metodologi Penelitian*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2024.
- [12] G. Di Antonio *et al.*, "Towards the Integration of Higher Airspace Operations in the European ATM Network," *SESAR Innov. Days*, vol. 2023-Novem, 2023.
- [13] F. A. Administration, "Upper Class E Traffic Management (ETM)," 2021.
- [14] A. Horvath, "New Types of Higher Airspace Flight Operations and Their Legal Challenges," *Eur. Integr. Stud.*, vol. 20, no. 2, pp. 87–106, 2024.
- [15] K. P. Indonesia, *Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 9 Tahun 2022 tentang Perubahan Atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 55 Tahun 2016 Tentang Tata Navigasi Penerbangan Nasional*. Indonesia, 2022, pp. 1–36.