

گشودن همه جانبه افق‌های آسمان :

اندونزی و توسعه «اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع»¹



چکیده

اندونزی با توجه به ویژگی‌های جغرافیایی مجمع‌الجزایری، پراکندگی مراکز جمعیتی و اقتصادی، تراکم ترافیک شهری و هزینه‌های بالای لجستیک، در حال حرکت به سمت توسعه نظام حمل‌ونقل هوشمند، چندوجهی و یکپارچه است. یکی از محورهای نوظهور این سیاست، توسعه اقتصاد فضای هوایی کم‌ارتفاع (LAE) و حمل‌ونقل هوایی پیشرفته (AAM) با بهره‌گیری از پهپادها، هواگردهای بدون سرنشین و وسایل پرنده عمودپرواز برقی (eVTOL) است که می‌تواند به بهبود اتصال جزایر، تسریع حمل کالا، ارائه خدمات اضطراری و کاهش محدودیت‌های حمل‌ونقل شهری کمک نماید. دولت اندونزی با تشکیل کمیته تخصصی در سال ۲۰۲۴ و برنامه‌ریزی برای تدوین نقشه راه ملی ۲۰۲۶ تا ۲۰۴۵، درصدد ایجاد زیرساخت‌های قانونی، فنی و سرمایه‌گذاری این حوزه می‌باشد. همزمان، توسعه سامانه‌های دیجیتال مانند IntegrasiHub، استفاده از هوش مصنوعی و فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم، گسترش حمل‌ونقل چندوجهی و تدوین پیش‌نویس قانون سیستم حمل‌ونقل ملی (RUU SISTRANAS)، از دیگر محورهای تحول ساختاری این بخش محسوب می‌شوند. هدف نهایی این سیاست‌ها، ایجاد شبکه‌ای هماهنگ از حمل‌ونقل زمینی، ریلی، دریایی و هوایی، کاهش هزینه‌های لجستیک، افزایش بهره‌وری، تقویت اتصال مناطق دورافتاده و حرکت به سمت حمل‌ونقل پایدار و کم‌کربن است.

واژگان کلیدی

اقتصاد فضای هوایی کم‌ارتفاع (LAE)، حمل‌ونقل هوایی پیشرفته (AAM)، پهپادها و هواگردهای بدون سرنشین (UAV)، وسایل پرنده عمودپرواز برقی (eVTOL)، مدیریت ترافیک هوایی بدون سرنشین (UTM)،

بر اساس گزارش وزارت حمل‌ونقل اندونزی، دولت این کشور در کنار توسعه شبکه‌های متعارف زمینی، ریلی، دریایی و هوایی، توجه خود را به مفهوم جدید اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع معطوف نموده است. مبنای این رویکرد آن است که توسعه جاده‌ها، خطوط ریلی، کشتیرانی و حتی مسیرهای هوایی متعارف به‌تنهایی قادر به رفع تمامی شکاف‌های ارتباطی اندونزی نیست؛

¹ Low-Altitude Economy – LAE

به‌ویژه با توجه به جغرافیای مجمع‌الجزایری، پراکندگی سکونتگاه‌ها و تراکم شدید ترافیکی در کلان‌شهرهای کشور. در این چارچوب، فضای هوایی در ارتفاع پایین به‌عنوان یک «لایه جدید حمل‌ونقل و فعالیت اقتصادی» مورد توجه قرار گرفته است.

اقتصاد اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع به مجموعه فعالیت‌هایی گفته می‌شود که با استفاده از پهپادها، هواگردهای بدون سرنشین، وسایل پرنده عمودپرواز برقی (eVTOL) و سامانه‌های لجستیک هوایی در ارتفاعات پایین انجام می‌شود. LAE می‌تواند به یک محرک جدید رشد اقتصادی و بهره‌وری تبدیل شود و همزمان زمینه ادغام فناوری‌های دیجیتال و سبز را فراهم کند. برای اندونزی، این فناوری به دلیل وجود هزاران جزیره و دشواری دسترسی به برخی مناطق، می‌تواند کاربرد ویژه‌ای در حمل کالا، خدمات اضطراری و اتصال مناطق فاقد زیرساخت مناسب داشته باشد.

کمیته اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع در سال ۲۰۲۴ با محوریت سازمان برنامه‌ریزی توسعه ملی اندونزی تشکیل شده تا سیاست‌گذاری و هدایت توسعه این بخش را بر عهده گیرد. تشکیل یک نهاد اختصاصی نشان‌دهنده تلاش دولت برای ایجاد چارچوب نهادی و هماهنگی میان بخش‌های مرتبط با حمل‌ونقل، فناوری، سرمایه‌گذاری و تحول دیجیتال است. گام مهم بعدی، تدوین نقشه راه ملی اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع برای دوره ۲۰۲۶ تا ۲۰۴۵ است. این نقشه راه قرار است چارچوبی برای ایجاد قطعیت مقرراتی، هدایت سرمایه‌گذاری‌های دولتی و خصوصی و توسعه مقیاس فعالیت‌های مرتبط با هواگردهای بدون سرنشین و حمل‌ونقل هوایی پیشرفته فراهم کند. در کنار توسعه خدمات، جذب سرمایه‌گذاری، ایجاد ظرفیت تولید داخلی و ایجاد فرصت‌های شغلی نیز از اهداف این برنامه عنوان شده است.

یکی از محورهای اصلی این سیاست، توسعه پهپاد، eVTOL و لجستیک هوایی و در سطح گسترده‌تر، مفهوم *Advanced Air Mobility (AAM)* می‌باشد. هدف آن است که حمل‌ونقل هوایی پیشرفته به‌عنوان مکمل شبکه‌های موجود عمل نماید؛ برای مثال، پهپادها می‌توانند در تحویل کالا به مناطق دورافتاده یا پرتراфик به کار گرفته شوند و در آینده eVTOLها امکان ایجاد مسیرهای کوتاه هوایی برای جابه‌جایی مسافر و بار را فراهم کنند.

در مجموع، رویکرد جدید اندونزی نشان‌دهنده تلاش برای افزودن «لایه سوم جابه‌جایی» در فضای هوایی کم‌ارتفاع به شبکه زمینی و دریایی کشور است. در صورت ایجاد مقررات مناسب، زیرساخت کنترل ترافیک هوایی کم‌ارتفاع، استانداردهای ایمنی و مدل اقتصادی قابل اجرا، LAE می‌تواند برای اندونزی به‌ویژه در لجستیک جزیره‌ای، اتصال مناطق دورافتاده، کاهش فشار بر شبکه جاده‌ای و توسعه خدمات شهری هوشمند اهمیت قابل‌توجهی پیدا کند.

رویکرد جدید اندونزی برای افزایش کارایی فضایی و حمل‌ونقل

رویکرد جدید اندونزی در برنامه‌ریزی حمل‌ونقل بر ترکیب شبکه‌های زمینی و ریلی، هاب‌های دریایی و فضای هوایی کم‌ارتفاع استوار است. هدف آن است که به‌جای توسعه مستقل هر شیوه حمل‌ونقل، یک شبکه چندلایه و مکمل ایجاد

² Bappenas

شود که متناسب با ویژگی مجمع‌الجزایری اندونزی، مراکز اقتصادی، صنعتی و جمعیتی را به یکدیگر متصل کند. در این چارچوب، «اقتصاد فضای هوایی کم‌ارتفاع» به‌عنوان لایه جدیدی در کنار جاده، راه‌آهن و حمل‌ونقل دریایی مطرح شده است.

نخستین محور این سیاست، **تقویت اتصال مجمع‌الجزایری^۳** است. اندونزی به دلیل پراکندگی هزاران جزیره با محدودیت‌های جدی در ایجاد اتصال مستقیم زمینی مواجه است. بر همین اساس، استفاده ترکیبی از هاب‌های دریایی، شبکه‌های زمینی و سامانه‌های حمل‌ونقل هوایی کم‌ارتفاع می‌تواند مراکز اقتصادی دورافتاده را به مناطق صنعتی و بازارهای اصلی متصل کند. در این مدل، فناوری‌هایی مانند پهپادهای باری و در آینده *eVTOL* می‌توانند به‌ویژه در بخش «آخرین حلقه اتصال» میان هاب‌های اصلی و مناطق فاقد دسترسی مناسب نقش داشته باشند.

محور دوم، جهش به سمت نوآوری سبز^۴ است. رویکرد پیشنهادی بر این اساس است که اندونزی در توسعه نسل جدید حمل‌ونقل، به‌جای طی کردن مراحل متکی بر سوخت‌های فسیلی، مستقیماً به سمت فناوری‌های کم‌کربن و بدون انتشار حرکت کند. توسعه وسایل پرنده برقی و سایر فناوری‌های پاک در این چارچوب با هدف ملی اندونزی برای دستیابی به انتشار خالص صفر تا سال ۲۰۶۰ (*Net Zero 2060*) مرتبط شده است.

سومین محور، عبور از گلوگاه ترافیک کلان‌شهرها^۵ است. وزارت حمل‌ونقل اندونزی استفاده از حمل‌ونقل هوایی کارآمد در ارتفاع پایین و در آینده تاکسی‌های هوایی را به‌عنوان یکی از گزینه‌های مکمل برای جابه‌جایی مسافر و محموله‌های حساس یا فوری در مناطق شهری پرتراکم مطرح می‌کند. هدف، جایگزینی کامل حمل‌ونقل زمینی نیست، بلکه ایجاد یک مسیر جایگزین برای برخی سفرها و خدماتی است که ارزش زمانی بالایی دارند و می‌توانند بخشی از فشار موجود بر شبکه زمینی را کاهش دهند.

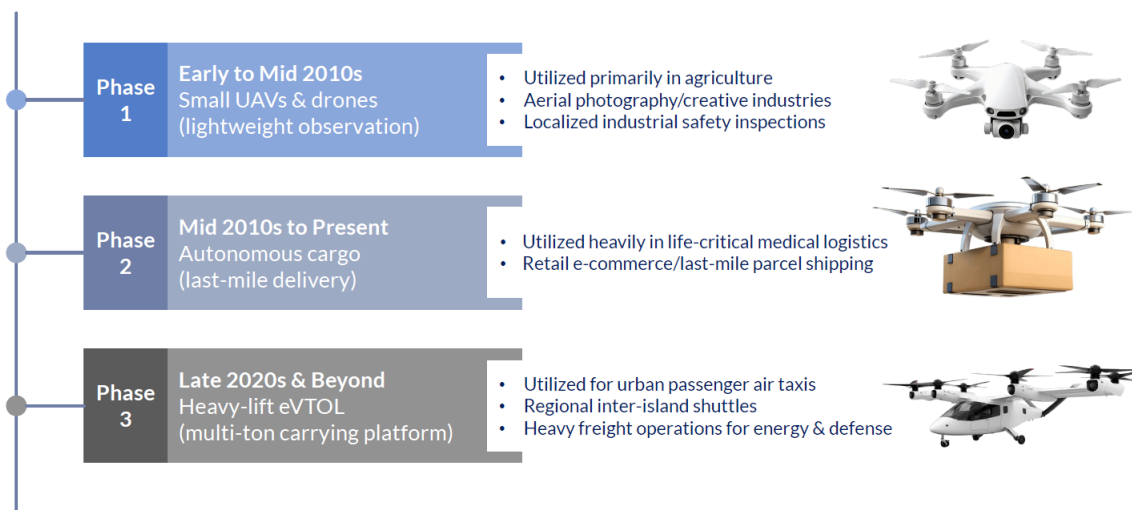
این رویکرد نشان می‌دهد اندونزی در حال بررسی مدلی است که در آن «زمین، دریا و فضای هوایی کم‌ارتفاع» به سه لایه مکمل شبکه حمل‌ونقل ملی تبدیل شوند. اهمیت این سیاست برای اندونزی بیش از بسیاری از کشورهاست، زیرا همزمان باید با سه مسئله پراکندگی جغرافیایی جزایر، ضعف اتصال برخی مناطق دورافتاده و ازدحام شدید کلان‌شهرها مقابله کند. در صورت توسعه مقررات، زیرساخت و فناوری لازم، اقتصاد ارتفاع پایین می‌تواند در آینده به حلقه مکمل شبکه چندوجهی کشور، به‌ویژه در لجستیک سریع، اتصال جزایر و حمل‌ونقل شهری پیشرفته تبدیل شود.

مراحل توسعه حمل‌ونقل هوایی پیشرفته در اندونزی

³ (Archipelagic Connectivity)

⁴ (Green Innovation Leap)

⁵ (Urban Congestion Bypass)



توسعه حمل و نقل هوایی پیشرفته^۶ به عنوان یک روند تدریجی از پهپادهای کوچک و ساده آغاز شده و در آینده به سمت استفاده از هواگردهای برقی عمودپرواز سنگین^۷ برای حمل مسافر و بار حرکت خواهد کرد. این مسیر توسعه در سه مرحله اصلی ترسیم شده است که نشان دهنده افزایش تدریجی ظرفیت، خودکارسازی و پیچیدگی کاربردهای این فناوری است.

مرحله نخست از اوایل تا اواسط دهه ۲۰۱۰ با گسترش پهپادها و هواگردهای بدون سرنشین کوچک (UAV) آغاز شد. این تجهیزات عمدتاً برای عملیات سبک نظارتی به کار گرفته شدند و کاربردهای اصلی آنها شامل کشاورزی، تصویربرداری و عکاسی هوایی، صنایع خلاق و بازرسی های ایمنی محدود در واحدهای صنعتی بود. در این مرحله، پهپاد بیشتر به عنوان ابزار جمع آوری اطلاعات و نظارت مورد استفاده قرار می گرفت و نقش مستقیمی در جابه جایی بار یا مسافر نداشت.

مرحله دوم که از اواسط دهه ۲۰۱۰ آغاز شده و تا امروز ادامه دارد، به توسعه حمل خودکار بار و تحویل در آخرین حلقه زنجیره توزیع (*Last-Mile Delivery*) اختصاص دارد. در این مرحله، پهپادها از ابزار نظارتی به وسیله حمل و نقل تبدیل شده اند. از مهم ترین کاربردهای مورد اشاره، لجستیک پزشکی و انتقال اقلام حیاتی و همچنین تحویل بسته های تجارت الکترونیکی و خرده فروشی است. برای کشوری مانند اندونزی با هزاران جزیره و مناطق متعدد دورافتاده، این کاربرد می تواند در کاهش زمان و هزینه تحویل کالا اهمیت ویژه ای داشته باشد. **مرحله سوم** برای اواخر دهه ۲۰۲۰ و پس از آن پیش بینی شده و بر توسعه *eVTOL* های سنگین با قابلیت حمل بار در مقیاس چند تن تمرکز دارد. در این مرحله، حمل و نقل هوایی کم ارتفاع از پهپادهای کوچک فراتر رفته و وارد حوزه جابه جایی مسافر و محموله های سنگین می شود. کاربردهای

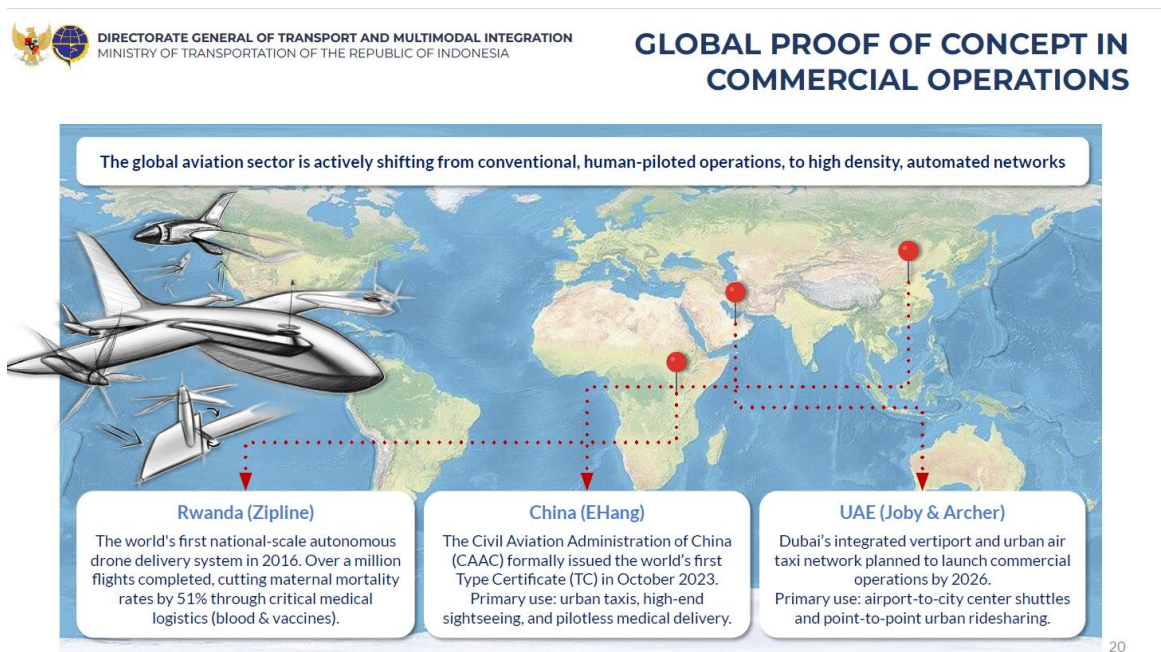
⁶ (Advanced Air Mobility – AAM)

⁷ (eVTOL)

پیش‌بینی‌شده شامل تاکسی هوایی شهری، شاتل‌های منطقه‌ای میان جزایر و عملیات حمل بار سنگین برای بخش‌هایی مانند انرژی و دفاع است.

اهمیت این مرحله برای اندونزی در آن است که *eVTOL* ها در صورت دستیابی به توجیه اقتصادی و استانداردهای ایمنی لازم می‌توانند بخشی از محدودیت‌های ناشی از ترافیک کلان‌شهرها و پراکندگی جغرافیایی جزایر را کاهش دهند. به‌ویژه ایجاد شاتل‌های هوایی کوتاه‌برد میان جزایر می‌تواند مکمل شبکه دریایی و هوایی متعارف باشد، در حالی که تاکسی‌های هوایی می‌توانند برای برخی سفرهای دارای ارزش زمانی بالا در مناطق شهری پرتراکم مورد استفاده قرار گیرند. نقشه ارائه‌شده مسیر تحول *AAM* را از «پهپاد برای مشاهده و پایش» به «پهپاد برای حمل کالا» و در نهایت *eVTOL* برای حمل مسافر و بار سنگین ترسیم می‌کند. این تحول در صورت تحقق، یکی از اجزای اصلی برنامه گسترده‌تر اندونزی برای توسعه اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع خواهد بود و می‌تواند یک لایه جدید به شبکه حمل‌ونقل چندوجهی این کشور اضافه کند.

نمونه‌های جهانی تجاری‌سازی حمل‌ونقل هوایی پیشرفته



توسعه حمل و نقل هوایی پیشرفته و اقتصاد ارتفاع پایین دیگر صرفاً در مرحله آزمایش فناوری قرار ندارد و نمونه‌هایی از کاربرد عملی و تجاری آن در کشورهای مختلف شکل گرفته است. روند جهانی نیز به تدریج از عملیات متعارف وابسته به خلبان به سمت شبکه‌های هوایی خودکار، پرتراکم و مبتنی بر پهپاد و *eVTOL* حرکت می‌کند.

در ادامه سه نمونه از مدل‌های کاربردی متفاوت تجاری سازی حمل و نقل هوایی در کشورهای رواندا، چین و امارات متحده بررسی شده است.

رواندا نمونه‌ای از کاربرد پهپاد در لجستیک پزشکی است. شرکت *Zipline* از سال ۲۰۱۶ شبکه تحویل خودکار پهپادی را در مقیاس ملی راه‌اندازی کرد و از آن برای انتقال اقلام پزشکی حیاتی، به‌ویژه خون و واکسن، به مراکز درمانی استفاده شده است. طبق اطلاعات ارائه شده، این شبکه تاکنون بیش از یک میلیون پرواز انجام داده و استفاده از لجستیک پزشکی هوایی با کاهش قابل توجه مرگ و میر مرتبط با تأخیر در تأمین اقلام حیاتی همراه بوده است. تجربه رواندا نشان می‌دهد پهپادها می‌توانند در مناطقی که زیرساخت جاده‌ای یا دسترسی سریع زمینی محدود است، بخشی از زنجیره رسمی تأمین خدمات عمومی شوند.

چین مسیر متفاوتی را طی کرده و بر صدور مجوز و تجاری‌سازی هواگردهای بدون خلبان برای حمل مسافر تمرکز کرده است. بر اساس این گزارش، اداره هوانوردی غیرنظامی چین (CAAC) در اکتبر ۲۰۲۳ نخستین گواهینامه نوع (Type Certificate) جهان را برای یک *eVTOL* بدون خلبان شرکت *EHang* صادر کرد. کاربردهای مورد نظر شامل تاکسی هوایی شهری، گردشگری هوایی و حمل بدون خلبان اقلام پزشکی است. اهمیت تجربه چین در این است که توسعه فناوری با ایجاد چارچوب رسمی تأیید صلاحیت و مقررات هوانوردی همراه شده و زمینه حرکت از مرحله آزمایش به بهره‌برداری تجاری را فراهم کرده است.

امارات متحده عربی و به‌ویژه دبی نیز بر ایجاد اکوسیستم تاکسی هوایی شهری تمرکز کرده‌اند. در این مدل، توسعه *Vertiport* یا پایانه‌های ویژه نشست و برخاست عمودی در کنار ناوگان *eVTOL* مورد توجه قرار گرفته و شرکت‌هایی مانند *Joby* و *Archer* در برنامه‌های توسعه این بازار حضور دارند. کاربرد اصلی مورد نظر، ایجاد شاتل‌های سریع میان فرودگاه و مراکز شهری و سفرهای نقطه‌به‌نقطه در داخل شهر است. در ارائه وزارت حمل و نقل اندونزی، آغاز عملیات تجاری این شبکه از سال ۲۰۲۶ هدف‌گذاری شده است.

در مجموع، این سه تجربه سه الگوی متفاوت برای اقتصاد ارتفاع پایین (رواندا، پهپاد برای لجستیک حیاتی؛ چین، تجاری‌سازی و صدور مجوز *eVTOL* بدون خلبان؛ و امارات، ایجاد شبکه تاکسی هوایی شهری و زیرساخت) ارائه می‌کنند. برای اندونزی، هر سه مدل قابل توجه هستند؛ مدل رواندا برای اتصال جزایر و مناطق دورافتاده، تجربه چین برای طراحی مقررات و صدور گواهینامه و مدل دبی برای کلان‌شهرهایی مانند جاکارتا که با تراکم بالای ترافیکی مواجه‌اند. این نمونه‌ها می‌توانند در تدوین نقشه راه اقتصاد ارتفاع پایین و *Advanced Air Mobility* اندونزی به‌عنوان الگوهای عملی مورد بررسی قرار گیرند.

وضعیت مقرراتی حمل و نقل هوایی پیشرفته و اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع در اندونزی

بر اساس ارائه وزارت حمل و نقل اندونزی، یکی از چالش‌های اصلی در توسعه اقتصاد ارتفاع پایین (*LAE*) و حمل و نقل هوایی پیشرفته (*AAM*)، فاصله میان مقررات موجود هوانوردی غیرنظامی و نیازهای فناوری‌های جدیدی مانند پهپادها، هواگردهای خودکار و *eVTOL* است. از دیدگاه وزارت حمل و نقل اندونطس، ایجاد یک اکوسیستم کامل *LAE* نیازمند چارچوب حقوقی سخت‌گیرانه و منسجمی است که حداقل سه حوزه اصلی مدیریت فضای هوایی، صلاحیت پروازی وسایل پرنده (*Airworthiness*) و صلاحیت و مجوز اپراتور یا خلبان را پوشش دهد.

چارچوب پایه فعلی، قانون شماره ۱ سال ۲۰۰۹ درباره هوانوردی غیرنظامی است که مبنای حقوقی اصلی صنعت هوانوردی اندونزی را تشکیل می‌دهد. با این حال، تصریح شده است که این قانون برای پاسخگویی کامل به الزامات *Advanced Air Mobility (AAM)* و *Urban Air Mobility (UAM)* نیاز به تکمیل یا تطبیق دارد. دلیل اصلی آن است که فناوری‌هایی مانند تاکسی هوایی، *eVTOL* و عملیات گسترده خودکار، هنگام تدوین قانون فعلی هنوز به شکل امروزی مطرح نبوده‌اند.

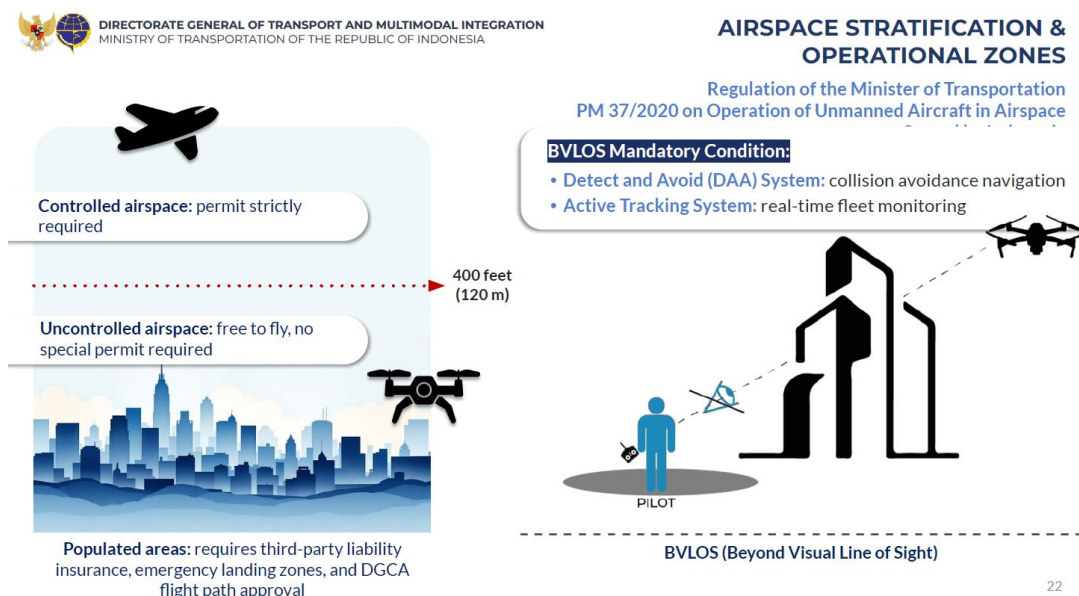
در زمینه مدیریت فضای هوایی و عملیات پهپادها، مقرر وزارت حمل و نقل *PM 37/2020* چارچوب فعالیت هواگردهای بدون سرنشین در فضای هوایی تحت کنترل اندونزی را مشخص می‌کند. این مقرر موضوعاتی مانند منطقه‌بندی فضای هوایی، محدودیت‌های عملیاتی و محدودیت پرواز بر فراز مناطق پرجمعیت را پوشش می‌دهد. نکته مهم آن است که مقررات امکان عملیات *BVLOS* یا پرواز فراتر از خط دید مستقیم اپراتور را نیز در نظر گرفته، مشروط بر اینکه وسیله پرنده به فناوری *Detect and Avoid (DAA)* برای تشخیص و اجتناب از برخورد با هواگردها و موانع و همچنین سامانه ردیابی مجهز باشد. این قابلیت برای توسعه شبکه‌های تجاری پهپادی در مسافت‌های طولانی اهمیت اساسی دارد.

دومین بخش مقرراتی به صلاحیت پروازی مربوط می‌شود. مقرر *PM 34/2021* استانداردهای *Airworthiness* برای سامانه‌های هواگرد هدایت‌شونده از راه دور (*RPAS*) را تعیین کرده است. این مقررات بر صدور گواهینامه، استانداردهای طراحی فنی، کاهش خطر خرابی‌های بحرانی و همچنین پیشگیری از اختلالات الکترومغناطیسی تمرکز دارد. بنابراین، اندونزی در حوزه پهپادها از مرحله صرفاً تعیین محدوده پرواز عبور کرده و الزامات فنی مربوط به قابلیت اطمینان و ایمنی خود وسیله پرنده را نیز وارد چارچوب مقرراتی کرده است.

سومین حوزه، مجوزها و صلاحیت اپراتورها است که در مقرر وزارت حمل و نقل *PM 63/2021* و مقررات ایمنی هوانوردی غیرنظامی *CASR 107* مورد توجه قرار گرفته است. این چارچوب الزاماتی را درباره مجوز فعالیت، فرماندهی از راه دور و محدودیت‌های عملیاتی تعیین می‌کند. طبق اسلاید، این مقررات مشخصاً برای ناوگان هواگردهای کوچک با حداکثر وزن ۲۵ کیلوگرم طراحی شده است؛ بنابراین، برای *eVTOL* های سنگین و سامانه‌های آینده حمل مسافر کفایت نمی‌کند. اندونزی از نظر مقررات پهپادهای کوچک و *RPAS* دارای یک پایه حقوقی اولیه است، اما برای ورود گسترده به مرحله تاکسی هوایی، *eVTOL* و شبکه‌های تجاری *AAM* هنوز با خلأ مقرراتی روبه‌روست. مسئله اصلی آینده، توسعه مقررات از «پهپادهای کوچک کنترل‌شونده از راه دور» به سمت «هواگردهای سنگین، خودکار و مسافربری» خواهد بود. این امر مستلزم تدوین استانداردهای جدید برای گواهینامه نوع، صلاحیت پروازی *eVTOL*، مدیریت ترافیک فضای هوایی کم‌ارتفاع،

Vertiport ها، عملیات خودکار و بدون خلبان و مسئولیت‌های حقوقی و ایمنی اپراتورهاست. از این منظر، تکمیل چارچوب مقرراتی یکی از پیش‌شرط‌های اصلی تحقق نقشه راه اقتصاد ارتفاع پایین‌اندونزی تا سال ۲۰۴۵ محسوب می‌شود.

لایه‌بندی فضای هوایی و الزامات عملیاتی پهپادها در اندونزی



بر اساس مقررہ **PM 37/2020**، فعالیت هواگردهای بدون سرنشین در این کشور بر اساس نوع فضای هوایی، ارتفاع پرواز، محل عملیات و شیوه کنترل پهپاد تنظیم می‌شود. هدف اصلی این چارچوب، فراهم کردن امکان توسعه عملیات پهپادی در کنار حفظ ایمنی هوانوردی عمومی و جلوگیری از تداخل با هواپیماهای سرنشین‌دار است. یکی از مهم‌ترین مرزهای عملیاتی، ارتفاع **۴۰۰ فوت یا حدود ۱۲۰ متر** است. در **فضای هوایی کنترل‌شده**^۸ فعالیت پهپادها نیازمند دریافت مجوز است و الزامات سخت‌گیرانه‌تری اعمال می‌شود. در مقابل، در **فضای هوایی کنترل‌نشده**^۹ امکان فعالیت پهپادها با محدودیت کمتری وجود دارد و در محدوده‌های تعیین‌شده، مجوز ویژه‌ای که برای فضای کنترل‌شده لازم است، مطالبه نمی‌شود. بنابراین، نوع فضای هوایی یکی از عوامل اصلی تعیین‌کننده الزامات قانونی عملیات پهپادی است.

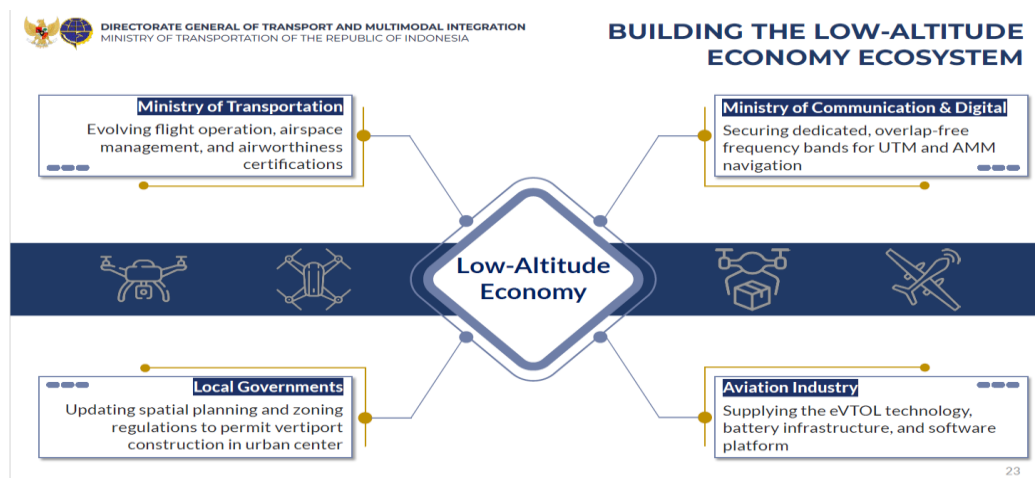
برای پرواز پهپادها در **مناطق پرجمعیت** نیز الزامات اضافی پیش‌بینی شده است. طبق ارائه، اپراتور باید **بیمه مسئولیت** در برابر اشخاص ثالث داشته باشد، مناطق مناسب برای فرود اضطراری را از قبل مشخص کند و مسیر پرواز نیز به تأیید اداره کل هوانوردی غیرنظامی اندونزی (**DGCA**) برسد. این الزامات با توجه به افزایش خطرات احتمالی برای افراد و اموال در محیط‌های شهری در نظر گرفته شده است.

^۸ **Controlled Airspace**

^۹ **(Uncontrolled Airspace)**

بخش مهم دیگر مقررات به عملیات^۱ یا «پرواز فراتر از خط دید مستقیم خلبان» مربوط می‌شود. در این نوع عملیات، پهپاد می‌تواند از محدوده‌ای که اپراتور قادر به مشاهده مستقیم آن است خارج شود؛ قابلیت‌هایی که برای ایجاد شبکه‌های تجاری تحویل کالا و لجستیک پهپادی ضروری است. اندونزی چنین عملیاتی را مشروط به رعایت الزامات فنی مشخص امکان‌پذیر کرده است. برای **BVLOS** دو شرط فنی اساسی در این ارائه ذکر شده است: نخست، برخورداری از سامانه^۱ (DAA) که امکان شناسایی هواگردها یا موانع و انجام اقدامات لازم برای جلوگیری از برخورد را فراهم می‌کند؛ و دوم، وجود سامانه ردیابی فعال^۲ که موقعیت و حرکت پهپاد یا ناوگان را به‌صورت لحظه‌ای قابل پایش می‌کند. این دو فناوری برای کاهش خطر عملیات خارج از دید مستقیم اپراتور اهمیت اساسی دارند. چارچوب موجود نشان می‌دهد اندونزی از نظر قانونی زمینه اولیه برای عملیات پیشرفته پهپادی، از جمله **BVLOS**، را فراهم کرده است؛ اما فعالیت آزاد پهپادها به نوع فضای هوایی، ارتفاع، تراکم جمعیت و تجهیزات ایمنی وابسته است. این مقررات به‌ویژه برای برنامه آینده اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع (LAE) اهمیت دارد، زیرا توسعه لجستیک پهپادی در مقیاس وسیع بدون امکان پرواز **BVLOS** عملاً محدود خواهد بود. از این رو، مقرر PM 37/2020 را می‌توان یکی از پایه‌های اولیه حرکت اندونزی از استفاده محدود پهپادها به سمت شبکه‌های گسترده و تجاری حمل‌ونقل هوایی کم‌ارتفاع دانست.

الزامات ایجاد اکوسیستم «اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع» در اندونزی



توسعه اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع صرفاً با ورود پهپادها یا هواگردهای **eVTOL** امکان‌پذیر نیست، بلکه نیازمند شکل‌گیری یک اکوسیستم هماهنگ میان دولت مرکزی، دولت‌های محلی و صنعت هوانوردی است. در این چارچوب، چهار بازیگر اصلی شامل وزارت حمل‌ونقل، وزارت ارتباطات و دیجیتالی، دولت‌های محلی و بخش صنعت هوانوردی هستند که هر یک مسئول بخشی از زیرساخت قانونی، فنی و عملیاتی این بازار جدید خواهند بود.

¹ BVLOS (Beyond Visual Line of Sight)

¹ Detect and Avoid

¹ (Active Tracking System)

وزارت حمل و نقل اندونزی مسئول اصلی توسعه چارچوب هوانوردی این حوزه خواهد بود. وظایف آن شامل به روزرسانی مقررات عملیات پروازی، مدیریت فضای هوایی و تدوین استانداردها و فرآیندهای صدور **گواهینامه صلاحیت پروازی**³ برای نسل جدید وسایل پرنده است. با ورود *eVTOL* ها و توسعه عملیات خودکار، مقررات موجود پهبادی باید به تدریج به چارچوبی گسترده تر برای مدیریت همزمان هواگردهای متعارف، پهبادهای و وسایل حمل و نقل هوایی پیشرفته تبدیل شود.

وزارت ارتباطات و دیجیتال اندونزی مسئول تأمین بخش مهمی از زیرساخت ارتباطی این اکوسیستم است. بر اساس این ارائه، باید **باند های فرکانسی اختصاصی و بدون تداخل** برای سامانه های مدیریت ترافیک هواگردهای بدون سرنشین (*UTM*) و سامانه های مرتبط با حمل و نقل هوایی پیشرفته فراهم شود. اهمیت این موضوع در آن است که ناوگان پرتعداد پهبادهای *eVTOL* ها برای ناوبری، ارتباطات، تبادل اطلاعات و مدیریت لحظه ای ترافیک به شبکه ارتباطی مطمئن و پایدار نیاز خواهند داشت.

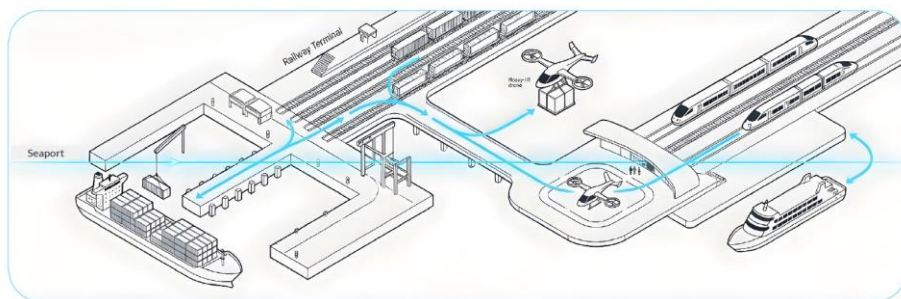
دولت های محلی نیز نقش مستقیمی در عملیاتی شدن این فناوری در شهرها خواهند داشت. مهم ترین وظیفه آنها اصلاح طرح های فضایی و مقررات منطقه بندی شهری (*Zoning*) برای فراهم کردن امکان احداث پایانه های ویژه نشست و برخاست عمودی⁴ در مراکز شهری است. بنابراین، حتی در صورت صدور مجوز برای *eVTOL* ها در سطح ملی، بدون اختصاص زمین و اصلاح ضوابط شهری، ایجاد شبکه تاکسی هوایی امکان پذیر نخواهد بود. در کنار دولت، صنعت هوانوردی و بخش خصوصی مسئول تأمین فناوری و زیرساخت تجاری خواهد بود. این بخش باید هواگردهای *eVTOL*، زیرساخت باتری و شارژ و پلتفرم های نرم افزاری مورد نیاز برای مدیریت عملیات را تأمین کند. از این منظر، اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع تنها یک پروژه حمل و نقلی نیست، بلکه می تواند زنجیره جدیدی از صنایع شامل ساخت هواگرد، باتری، نرم افزار، ارتباطات، زیرساخت های شهری و خدمات دیجیتال ایجاد کند.

رویکرد پیشنهادی اندونزی بر تقسیم مسئولیت میان تنظیم گر هوانوردی، تنظیم گر ارتباطات، دولت های محلی و بخش خصوصی استوار است. نکته مهم این است که گلوگاه توسعه *LAE* صرفاً فناوری *eVTOL* نیست؛ بلکه موفقیت آن به شکل گیری همزمان مقررات پروازی، مدیریت فضای هوایی، فرکانس ارتباطی، پایانه های ویژه نشست و برخاست عمودی، زیرساخت باتری و شارژ و پلتفرم های دیجیتال وابسته خواهد بود. بنابراین، ایجاد هماهنگی میان این بازیگران یکی از مهم ترین پیش شرط های تبدیل اقتصاد ارتفاع پایین از یک طرح فناورانه به یک بازار عملیاتی و تجاری در اندونزی خواهد بود.

ادغام فضای هوایی کم ارتفاع با شبکه های دریایی و زمینی اندونزی

³ (Airworthiness Certification)¹

⁴ Vertiport



Intermodal/Multimodal Hub

Classify AAM legally and operationally as a direct extension of land and sea freight corridors. Establish AAM hubs directly at existing transport nodes.

Spatial Integration

Mandate the co-location of future vertiports at existing railway, bus, and marine terminals to streamline the movement of people and goods

Service Integration

Implement a digitized & integrated payment to enable unified invoicing and single-transaction tracking across sea, road, rail, and low-altitude air networks

Integrated System

Synchronize low-altitude UTM with ground & sea shipping trackers to create a unified operating system for passenger & logistics

رویکرد پیشنهادی برای توسعه حمل‌ونقل هوایی پیشرفته^۵ آن است که این بخش به‌عنوان یک شبکه مستقل ایجاد نشود، بلکه به‌طور مستقیم با زیرساخت‌های موجود دریایی، ریلی و زمینی ادغام شود. در این الگو، پهپادها و هواگردهای eVTOL می‌توانند حلقه جدیدی از زنجیره حمل‌ونقل مسافر و کالا باشند و بنادر، پایانه‌های ریلی و سایر مراکز حمل‌ونقل را به یکدیگر متصل کنند. نخستین محور، ایجاد هاب‌های بین‌وجهی و چندوجهی^۶ است. پیشنهاد می‌شود AAM از نظر حقوقی و عملیاتی به‌عنوان امتداد مستقیم کریدورهای حمل‌ونقل زمینی و دریایی تعریف شود و هاب‌های مربوط به آن مستقیماً در مراکز حمل‌ونقل موجود ایجاد شوند. در چنین مدلی، انتقال کالا برای مثال می‌تواند از کشتی به پهپاد باری و سپس به شبکه زمینی یا ریلی انجام شود، بدون آنکه شبکه هوایی کم‌ارتفاع به‌صورت مجزا عمل کند. محور دوم، یکپارچگی فضایی^۷ است. بر اساس این پیشنهاد، احداث پایانه‌های ویژه نشست و برخاست عمودی آینده باید تا حد امکان در مجاورت پایانه‌های موجود راه‌آهن، اتوبوس و حمل‌ونقل دریایی انجام شود. هدف آن است که جابه‌جایی مسافر و کالا میان شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل سریع‌تر و ساده‌تر شود. این موضوع همچنین به معنای ضرورت هماهنگی توسعه AAM با برنامه‌ریزی شهری و کاربری زمین است. محور سوم، یکپارچگی خدمات^۸ است. وزارت حمل‌ونقل پیشنهاد می‌کند یک سامانه دیجیتال یکپارچه ایجاد شود که صدور صورتحساب، پرداخت و رهگیری تراکنش‌ها را در شبکه‌های دریایی، جاده‌ای، ریلی و هوایی کم‌ارتفاع به یکدیگر متصل کند. در نتیجه، کاربر یا صاحب کالا بتواند یک سفر یا محموله چندوجهی را در قالب یک فرآیند و تراکنش واحد مدیریت و رهگیری کند.

چهارمین محور، ایجاد یک سیستم عملیاتی یکپارچه^۹ است. در این چارچوب، سامانه مدیریت ترافیک هوایی کم‌ارتفاع باید با سامانه‌های ردیابی حمل‌ونقل زمینی و دریایی هماهنگ شود. هدف نهایی، ایجاد یک بستر واحد برای مشاهده و مدیریت حرکت مسافر و کالا در شبکه‌های مختلف است؛ به‌گونه‌ای که اطلاعات مربوط به پهپادها و eVTOL ها در کنار اطلاعات کشتی‌ها،

^۱ Advanced Air Mobility (AAM)

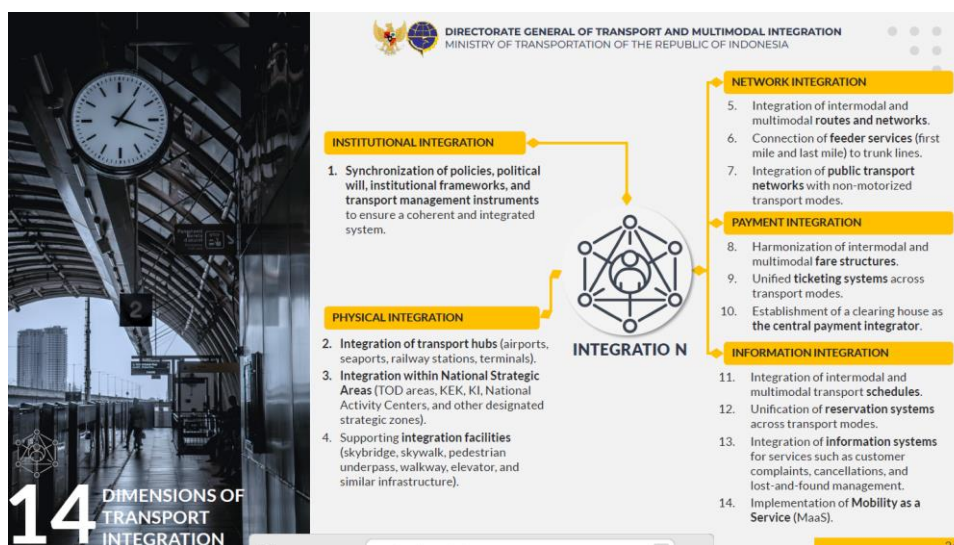
^۱ (Intermodal/Multimodal Hub) ^۶

^۱ (Spatial Integration) ^۷

^۱ (Service Integration) ^۸

^۱ (Integrated System) ^۹

قطارها و وسایل حمل و نقل زمینی قابل مدیریت باشد. این طرح نشان می‌دهد که اندونزی اقتصاد فضای هوایی کم ارتفاع را صرفاً به عنوان توسعه تاکسی هوایی یا پهباد نمی‌بیند، بلکه آن را به عنوان لایه جدیدی از نظام حمل و نقل چندوجهی کشور در نظر گرفته است. چهار پایه این رویکرد شامل ایجاد هاب‌های مشترک، یکپارچگی فضایی زیرساخت‌ها، یکپارچگی دیجیتال خدمات و اتصال سامانه‌های مدیریت و رهگیری است. برای کشوری مجمع‌الجزایری مانند اندونزی، چنین مدلی می‌تواند به ویژه در اتصال بنادر و جزایر به شبکه‌های ریلی و زمینی و همچنین تسریع حمل بار و مسافر در مسیرهایی که اتصال مستقیم زمینی ندارند، اهمیت داشته باشد.



بر اساس چارچوب ارائه شده از سوی اداره کل حمل و نقل و یکپارچه سازی چندوجهی وزارت حمل و نقل اندونزی، سیاست یکپارچه سازی حمل و نقل این کشور بر ۱۴ بُعد اصلی استوار است که در پنج حوزه «یکپارچگی نهادی، فیزیکی، شبکه‌ای، پرداخت و اطلاعات» دسته‌بندی شده‌اند. هدف این چارچوب، ایجاد یک نظام حمل و نقل منسجم است که در آن زیرساخت‌ها، شیوه‌های مختلف جابه‌جایی، نظام‌های پرداخت و اطلاعات مسافر به یکدیگر متصل باشند.

در بخش یکپارچگی نهادی، بر هماهنگی سیاست‌ها، اراده سیاسی، چارچوب‌های نهادی و ابزارهای مدیریت حمل و نقل تأکید شده است تا دستگاه‌های مختلف در قالب یک سیستم واحد فعالیت کنند. در حوزه یکپارچگی فیزیکی نیز اتصال مراکز اصلی حمل و نقل شامل فرودگاه‌ها، بنادر، ایستگاه‌های راه‌آهن و پایانه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. این سیاست همچنین یکپارچه سازی حمل و نقل در «مناطق راهبردی ملی» اندونزی، از جمله مناطق ویژه اقتصادی (KEK)، مناطق صنعتی (KI) و مراکز فعالیت ملی را شامل می‌شود. ایجاد زیرساخت‌های اتصال دهنده مانند پل‌های هوایی، اسکای‌واک، زیرگذرهای عابر پیاده، مسیرهای پیاده‌روی و آسانسورها نیز بخشی از این برنامه است.

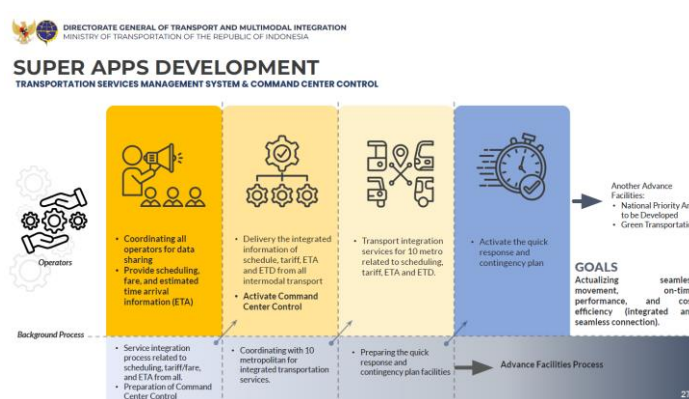
در حوزه یکپارچگی شبکه، دولت اندونزی به دنبال اتصال مسیرها و شبکه‌های حمل و نقل بین‌وجهی و چندوجهی است. اتصال خدمات تغذیه‌کننده^۲ در مبدأ و مقصد به خطوط اصلی حمل و نقل و همچنین پیوند شبکه حمل و نقل عمومی با شیوه‌های غیرموتوری مانند پیاده‌روی و دوچرخه از محورهای این بخش محسوب می‌شود. این رویکرد نشان می‌دهد که

² Feeder

یکپارچه‌سازی صرفاً به اتصال پروژه‌های بزرگ ریلی، جاده‌ای، هوایی و دریایی محدود نیست و دسترسی مسافر در «اولین و آخرین مایل» نیز بخشی از برنامه محسوب می‌شود.

در بخش یکپارچگی پرداخت، سه اقدام اصلی هماهنگ‌سازی ساختار تعرفه‌های حمل‌ونقل بین‌وجهی و چندوجهی، ایجاد سیستم بلیت یکپارچه برای شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل و ایجاد یک اتاق تسویه‌آبه‌عنوان مرکز تسویه و یکپارچه‌کننده پرداخت‌ها پیش‌بینی شده است. در نتیجه، هدف نهایی این است که مسافر برای استفاده از چند وسیله و شبکه حمل‌ونقل مختلف با مجموعه‌ای از نظام‌های مستقل پرداخت و بلیت مواجه نباشد. آخرین بخش به یکپارچگی اطلاعات اختصاص دارد. در این حوزه، هماهنگ‌سازی برنامه‌های زمانی وسایل مختلف حمل‌ونقل، یکپارچه‌کردن سیستم‌های رزرو و اتصال سامانه‌های اطلاعاتی خدمات مسافر، از جمله رسیدگی به شکایات، لغو سفر و اشیای گمشده پیش‌بینی شده است. همچنین اجرای مفهوم «حمل و نقل به عنوان یک خدمت» آبه‌عنوان چهاردهمین بُعد این سیاست مطرح شده است؛ مفهومی که می‌تواند امکان برنامه‌ریزی سفر، رزرو، دریافت اطلاعات و پرداخت هزینه چند شیوه حمل‌ونقل را در قالب یک بستر یکپارچه فراهم کند.

در مجموع، این چارچوب نشان‌دهنده حرکت اندونزی از نگاه «توسعه جداگانه زیرساخت‌های حمل‌ونقل» به سمت ایجاد یک اکوسیستم یکپارچه حمل‌ونقل چندوجهی است؛ به‌گونه‌ای که اتصال فیزیکی بنادر، فرودگاه‌ها، راه‌آهن و پایانه‌ها با هماهنگی نهادی، شبکه‌های تغذیه‌کننده، بلیت و پرداخت مشترک و سامانه اطلاعاتی واحد تکمیل شود. این رویکرد به‌ویژه برای کشوری مجمع‌الجزایری مانند اندونزی اهمیت دارد، زیرا کارآمدی شبکه حمل‌ونقل بیش از توسعه منفرد هر شیوه حمل‌ونقل، به کیفیت اتصال میان حمل‌ونقل دریایی، زمینی، ریلی و هوایی وابسته است.



بر اساس برنامه ارائه‌شده از سوی اداره کل حمل‌ونقل و یکپارچه‌سازی چندوجهی وزارت حمل‌ونقل اندونزی، این کشور توسعه یک برنامه جامع کاربردی یکپارچه حمل‌ونقل را در دستور کار قرار داده است. این سامانه قرار است علاوه بر مدیریت خدمات حمل‌ونقل، به مرکز فرماندهی و کنترل شبکه حمل‌ونقل تبدیل شود و اطلاعات اپراتورها و شیوه‌های مختلف جابه‌جایی را در یک بستر مشترک تجمیع کند. در مرحله نخست، اپراتورهای مختلف حمل‌ونقل برای اشتراک‌گذاری داده‌ها و ارائه اطلاعات مربوط به برنامه حرکت، تعرفه و کرایه و زمان تخمینی ورود (ETA) با یکدیگر هماهنگ خواهند شد. به

² Clearing House

² Mobility as a Service (MaaS)

موازات این اقدام، فرآیند یکپارچه‌سازی خدمات مربوط به زمان‌بندی، تعرفه و اطلاعات سفر انجام شده و زیرساخت‌های لازم برای راه‌اندازی مرکز فرماندهی و کنترل آماده می‌شود. در مرحله بعد، سامانه قادر خواهد بود اطلاعات یکپارچه مربوط به برنامه حرکت، تعرفه، زمان تخمینی ورود (ETA) و زمان تخمینی حرکت یا خروج (ETD) را از تمامی شیوه‌های حمل‌ونقل بین‌وجهی ارائه کند. همزمان، مرکز فرماندهی و کنترل فعال شده و هماهنگی برای ارائه خدمات حمل‌ونقل یکپارچه در ۱۰ منطقه کلان‌شهری اندونزی صورت خواهد گرفت. پس از ایجاد زیرساخت‌های اولیه، خدمات حمل‌ونقل در این ۱۰ منطقه کلان‌شهری از نظر زمان‌بندی، تعرفه، ETA و ETD به یکدیگر متصل خواهند شد. همچنین امکانات لازم برای واکنش سریع در برابر اختلالات شبکه و اجرای برنامه‌های اضطراری و جایگزین (Contingency Plan) ایجاد می‌شود. در مرحله پیشرفته‌تر، این قابلیت‌ها به صورت عملیاتی در مرکز کنترل فعال خواهند شد.

هدف نهایی این برنامه، دستیابی به جابه‌جایی روان و بدون گسست، افزایش کارایی شبکه، اتصال یکپارچه شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل، بهبود پایبندی به زمان‌بندی و کاهش هزینه‌های سفر است. وزارت حمل‌ونقل همچنین توسعه این سامانه در مناطق دارای اولویت ملی و استفاده از آن برای پیشبرد حمل‌ونقل سبز را به عنوان مراحل تکمیلی برنامه در نظر گرفته است.

در مجموعه سامانه موردنظر اندونزی صرفاً یک اپلیکیشن مسافری نیست، بلکه قرار است به زیرساخت دیجیتال مدیریت یکپارچه حمل‌ونقل تبدیل شود؛ بستری که اپراتورها، اطلاعات سفر، تعرفه‌ها، زمان‌بندی و مدیریت شرایط اضطراری را به یک مرکز فرماندهی مشترک متصل می‌کند. اجرای اولیه آن در ۱۰ منطقه کلان‌شهری نیز می‌تواند زمینه گسترش تدریجی این مدل در سطح ملی را فراهم سازد.

این کشور در حال حرکت به سمت تحول دیجیتال در بخش حمل‌ونقل و لجستیک با تکیه بر فناوری‌های انقلاب صنعتی چهارم است. افزایش تقاضای حمل‌ونقل، انتظار مشتریان برای تحویل سریع‌تر و شفافیت بیشتر، پیچیده‌تر شدن زنجیره‌های تأمین جهانی و ضرورت افزایش بهره‌وری و کاهش انتشار کربن، از مهم‌ترین عوامل حرکت به این سمت عنوان شده‌اند. هدف اصلی نیز افزایش کارایی، انعطاف‌پذیری و خودکارسازی زنجیره تأمین، امکان ردیابی لحظه‌ای کالا و کاهش هزینه‌های لجستیکی است. در این چارچوب، مفهوم **Logistics 4.0** مطرح شده که به معنای بهینه‌سازی فرآیندهای لجستیکی با استفاده از سیستم‌های هوشمند، نرم‌افزارها، پایگاه‌های داده و تبادل مستمر اطلاعات است. وزارت حمل‌ونقل اندونزی مجموعه‌ای از فناوری‌های صنعت ۴.۰ شامل اینترنت اشیا (IoT)، رایانش ابری و کلان‌داده، بلاک‌چین، شبیه‌سازی و دوقلوهای دیجیتال، سیستم‌های سایبر-فیزیکی، رباتیک پیشرفته، تولید افزایشی و واقعیت افزوده را به عنوان ابزارهای اصلی تحول دیجیتال لجستیک معرفی کرده است.

یکی از مهم‌ترین فناوری‌ها اینترنت اشیا (IoT) است که با ایجاد شبکه‌ای میان تجهیزات و اشیای فیزیکی و سامانه‌های مجازی، امکان جمع‌آوری و انتقال اطلاعات را فراهم می‌کند. از کاربردهای عملی آن می‌توان به ردیابی کانتینرها^{۲۳} و انبارهای هوشمند^{۲۴} اشاره کرد. در کنار آن، استفاده از رایانش ابری و کلان‌داده‌ها^{۲۵} امکان پردازش حجم بسیار بزرگی از

³ (Container Tracking)

⁴ (Smart Warehouse)

اطلاعات و بهره‌گیری از روش‌های آماری، ریاضی و شبیه‌سازی برای تصمیم‌گیری بهتر را فراهم می‌سازد. نتیجه مورد انتظار این فناوری‌ها افزایش بهره‌وری عملیاتی، شفافیت زنجیره تأمین، تحویل به‌موقع کالا و کاهش خطر مفقود شدن محموله‌ها است.

یکی از پروژه‌های مهم اندونزی در این زمینه، پلتفرم ملی **IntegrasiHub** است. این سامانه به‌عنوان مرکز متمرکز یکپارچه‌سازی داده‌های حمل‌ونقل بین‌وجهی طراحی شده و اطلاعات مربوط به حمل‌ونقل زمینی، ریلی، دریایی و هوایی را جمع‌آوری و توزیع می‌کند. این پلتفرم علاوه بر پایش و تحلیل اطلاعات، زمینه توسعه خدمات مبتنی بر داده را فراهم می‌کند و از طریق وب‌سایت مدیریتی و **Data Hub** و همچنین اپلیکیشن تلفن همراه برای **Android** و **iOS** در دسترس قرار می‌گیرد. در کنار این فناوری‌ها، هوش مصنوعی نیز به‌عنوان یکی از محورهای جدید توسعه لجستیک اندونزی مورد توجه قرار گرفته است. کاربردهای پیش‌بینی‌شده شامل پیش‌بینی تقاضا، مسیریابی پویا^۲، نگهداری و تعمیرات پیش‌بینانه وسایل نقلیه و بهینه‌سازی ظرفیت بار است. استفاده از هوش مصنوعی می‌تواند دقت برنامه‌ریزی و پیش‌بینی تقاضا را افزایش داده، هزینه حمل‌ونقل و لجستیک را کاهش دهد، مدیریت ریسک را بهبود بخشد و فرآیندهای عملیاتی را ساده‌تر و سریع‌تر کند.

برنامه تحول دیجیتال حمل‌ونقل و لجستیک اندونزی نشان می‌دهد که سیاست این کشور از دیجیتالی‌کردن خدمات منفرد به سمت ایجاد یک اکوسیستم ملی داده‌محور و هوشمند حمل‌ونقل در حال حرکت است. اتصال **IntegrasiHub** با فناوری‌هایی مانند **IoT**، کلان‌داده، هوش مصنوعی، انبارهای هوشمند و ردیابی کانتینر می‌تواند در نهایت امکان مدیریت یکپارچه جریان مسافر، کالا و اطلاعات در شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل را فراهم کرده و به کاهش هزینه‌های لجستیکی و افزایش رقابت‌پذیری زنجیره تأمین اندونزی کمک کند. یکی از قابلیت‌های پیش‌بینی‌شده برای این سامانه، ارائه خدمات حمل‌ونقل کالای چندوجهی پاسخگو^۳ است. هدف این طرح آن است که صاحبان کالا، به‌ویژه در شرایطی که مسیر موردنظر آنها تحت پوشش سرویس‌های برنامه‌ریزی‌شده‌ای مانند **Sea Toll (Tol Laut)** نیست، بتوانند از طریق یک سامانه واحد مسیرهای جایگزین حمل کالا را شناسایی و انتخاب کنند. یکی دیگر از قابلیت‌های پیش‌بینی‌شده، رهگیری محموله^۴ است؛ به این ترتیب، پس از انتخاب سرویس، صاحب کالا می‌تواند وضعیت جابه‌جایی محموله را نیز از طریق همان سامانه پیگیری کند. این موضوع **IntegrasiHub** را از یک سامانه صرفاً اطلاع‌رسانی به بستری برای برنامه‌ریزی، انتخاب سرویس و مدیریت حمل کالا تبدیل می‌کند.

در مجموع، مدل مدل تحویل کالا بر اساس فراخوان/درخواست^۵ تلاشی برای انعطاف‌پذیرتر کردن شبکه لجستیکی اندونزی و پوشش مسیرهایی است که سرویس‌های منظم دریایی به‌تنهایی پاسخگوی آنها نیستند. این موضوع به‌ویژه برای کشوری مجمع‌الجزایری مانند اندونزی و مناطق دورافتاده شرق کشور اهمیت دارد و می‌تواند با ترکیب خدمات دریایی و سایر شیوه‌های حمل‌ونقل، دسترسی تولیدکنندگان و صاحبان کالا به بازارهای بین‌جزیره‌ای را بهبود بخشد.

² Cloud و Big Data 5

² (Dynamic Routing) 6

² (On-Call) 7

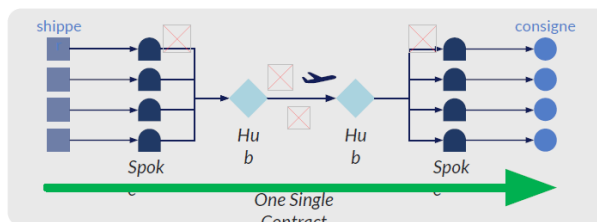
² Tracking & Tracing 8

² «On-Call Commodity Delivery»⁹

ROLE OF MULTIMODAL TRANSPORTATION IN THE SUPPLY CHAIN

Legal Basis Multimodal Transport

UU 23/2007 on Railways
UU 17/2008 on Shipping
UU 1/2009 on Aviation
UU 22/2009 on Road Traffic and Transportation
PP 8/2011 on Multimodal Transport
PP 28/2025 on Risk-Based Business Licensing
PM 8/2012 on The Implementation and Operation of Multimodal Transport (Minister of Transportation Regulation)
PM 1/2026 on Business Activity Standards and/or Product/Service Standards in Risk-Based Business Licensing for the Transportation Sector (Minister of Transportation Regulation)
<i>In effect since 2 February 2026</i>
BPS Regulation 7/2025 on The Indonesian Standard Industrial Classification



Multimodal transport is the transport of goods using at least two different modes of transport under a single contract

Benefits of Multimodal Transportation in the Supply Chain

The supply chain requires the right combination of transportation modes to deliver raw materials, process them into finished goods, and deliver them to the end consumer

- Reduced Logistics Costs (25%)**
By combining various modes of transportation, costs can be minimized by selecting the most economical mode for each segment and reducing handling costs
- Improved Delivery Time Efficiency (30%)**
Reducing transit time through better-coordinated schedules, resulting in reduced risk of delays
- Route Optimization**
Intermodal integration enables the selection of the best routes and provides flexibility in rerouting, especially when disruptions occur in one of the modes of transport

Governance Licensing & Supervision

PM No. 8 of 2012

licensing implementation carried out by the Legal Bureau, Secretariat General of the Ministry of Transportation.

PM No. 4 of 2025

transfer of licensing to the Directorate General of INTRAM.



59

Number of Licensed BUAM Companies
As of August 18, 2026

Source: Rusmansar, YF & Tohir, M, 2025

30

حمل و نقل چندوجهی یکی از ابزارهای اصلی برای افزایش کارایی زنجیره تأمین این کشور محسوب می‌شود. در این چارچوب، حمل و نقل چندوجهی به جابه‌جایی کالا با استفاده از حداقل دو شیوه متفاوت حمل و نقل، تحت یک قرارداد واحد تعریف شده است. این مدل می‌تواند ترکیبی از حمل و نقل جاده‌ای، ریلی، دریایی و هوایی باشد و با استفاده از ساختارهای مدل هاب و شبکه‌های پیرامون^۳، جریان کالا از فرستنده تا گیرنده را در قالب یک زنجیره واحد مدیریت کند. بر اساس ارزیابی ارائه‌شده، استفاده از حمل و نقل چندوجهی می‌تواند هزینه‌های لجستیکی را حدود ۲۵ درصد کاهش دهد. این کاهش از طریق انتخاب اقتصادی‌ترین شیوه حمل برای هر بخش از مسیر، ترکیب مناسب روش‌های مختلف حمل و نقل و کاهش هزینه‌های جابه‌جایی و تخلیه و بارگیری حاصل می‌شود. همچنین این رویکرد می‌تواند کارایی زمان تحویل را حدود ۳۰ درصد بهبود دهد؛ زیرا هماهنگی بهتر برنامه‌های حرکت، زمان ترانزیت را کاهش داده و احتمال تأخیر در انتقال کالا را محدود می‌کند.

یکی دیگر از مزایای مهم این مدل، بهینه‌سازی مسیر^۳ است. یکپارچگی بین شیوه‌های مختلف حمل و نقل امکان انتخاب مناسب‌ترین مسیر را فراهم می‌کند و در صورت بروز اختلال در یکی از بخش‌های شبکه، انعطاف لازم برای تغییر مسیر و استفاده از گزینه جایگزین وجود خواهد داشت. از این منظر، حمل و نقل چندوجهی علاوه بر کاهش هزینه و زمان، می‌تواند به افزایش تاب‌آوری زنجیره تأمین اندونزی نیز کمک کند.

اندونزی برای فعالیت در این حوزه مجموعه نسبتاً گسترده‌ای از قوانین و مقررات را ایجاد کرده است. قوانین مربوط به راه‌آهن مصوب ۲۰۰۷، کشتیرانی ۲۰۰۸، هوانوردی ۲۰۰۹ و حمل و نقل جاده‌ای ۲۰۰۹ در کنار مقررات اختصاصی حمل و نقل

³ Hub-and-Spoke

0

³ Route Optimization

1

چندوجهی، چارچوب حقوقی این بخش را تشکیل می‌دهند. در سال‌های اخیر نیز مقررات مربوط به صدور مجوز کسب‌وکار مبتنی بر ریسک و استانداردهای فعالیت و خدمات حمل‌ونقل به این چارچوب اضافه شده‌اند. مقررات جدید وزارت حمل‌ونقل در این زمینه از ۲ فوریه ۲۰۲۶ اجرایی شده است.

از نظر ساختار نظارتی نیز تغییراتی صورت گرفته است. صدور مجوز فعالیت شرکت‌های حمل‌ونقل چندوجهی که پیش‌تر بر اساس مقررات سال ۲۰۱۲ از طریق بخش حقوقی دبیرخانه کل وزارت حمل‌ونقل انجام می‌شد، بر اساس مقررات سال ۲۰۲۵ به اداره کل یکپارچه‌سازی حمل‌ونقل و حمل‌ونقل چندوجهی^{۳۲} منتقل شده است. طبق اطلاعات این ارائه، تا ۱۸ اوت ۲۰۲۶، تعداد ۵۹ شرکت *BUAM* دارای مجوز در اندونزی فعالیت داشته‌اند. سیاست اندونزی در مجموع در این حوزه بر این مبنا استوار است که زنجیره تأمین کارآمد تنها با توسعه جداگانه جاده، بندر، راه‌آهن یا حمل‌ونقل هوایی ایجاد نمی‌شود، بلکه باید این شیوه‌ها در قالب یک شبکه و قرارداد واحد به یکدیگر متصل شوند. هدف نهایی، کاهش هزینه لجستیک، کوتاه‌تر کردن زمان تحویل، انتخاب مسیرهای بهینه و افزایش انعطاف‌پذیری شبکه در برابر اختلالات است.

بر اساس ارائه اداره کل حمل‌ونقل و یکپارچه‌سازی چندوجهی وزارت حمل‌ونقل اندونزی، دولت این کشور در حال تدوین پیش‌نویس قانونی تحت عنوان *RUU SISTRANAS* برای ایجاد چارچوب یکپارچه «سیستم حمل‌ونقل ملی» است. نکته مهم آن است که این قانون قرار نیست جایگزین قوانین موجود در حوزه‌های جاده‌ای، ریلی، دریایی و هوایی شود، بلکه به‌عنوان یک قانون چتری^{۳۳} عمل خواهد کرد تا شیوه‌های مختلف حمل‌ونقل را در قالب یک نظام ملی واحد به یکدیگر متصل کند. در حال حاضر هر یک از بخش‌های حمل‌ونقل اندونزی دارای قانون مستقل؛ از جمله قانون شماره ۳۸ سال ۲۰۰۴ درباره راه‌ها، قانون شماره ۲۲ سال ۲۰۰۹ درباره ترافیک و حمل‌ونقل جاده‌ای، قانون شماره ۲۳ سال ۲۰۰۷ درباره راه‌آهن، قانون شماره ۱۷ سال ۲۰۰۸ درباره کشتیرانی و قانون شماره ۱ سال ۲۰۰۹ درباره هوانوردی است. *RUU SISTRANAS* با حفظ این قوانین بخشی، قرار است هماهنگی و پیوند میان آنها را تقویت کند.

چارچوب پیشنهادی این قانون بر هفت رکن اصلی یکپارچگی سیاست‌ها، یکپارچگی زیرساخت‌ها، یکپارچگی خدمات، یکپارچگی دیجیتال، یکپارچگی تأمین مالی، حمل‌ونقل پایدار و تاب‌آور و تقویت حکمرانی استوار است. بنابراین رویکرد دولت تنها بر اتصال فیزیکی جاده، راه‌آهن، بندر و فرودگاه‌ها متمرکز نیست، بلکه هماهنگی مقررات، خدمات، داده‌ها، منابع مالی و ساختار مدیریتی نیز بخشی از سیستم یکپارچه حمل‌ونقل ملی خواهد بود. در تدوین این چارچوب، هفت ملاحظه اساسی مورد توجه قرار گرفته است. نخست، سیاست‌های حمل‌ونقل باید خدمات مسافری و باری را در سراسر زنجیره تأمین یکپارچه کنند. دوم، برنامه‌ریزی باید بر داده‌های ملی حمل‌ونقل شامل عرضه و تقاضا، خدمات موجود و بهینه‌سازی دارایی‌های راهبردی استوار باشد تا ضمن افزایش کارایی لجستیک، برنامه‌ریزی لحظه‌ای نیز امکان‌پذیر شود. سوم، سیستم حمل‌ونقل باید یکپارچه، تاب‌آور، عادلانه و پایدار باشد و از اهداف کاهش انتشار و اقدامات اقلیمی حمایت کند. همچنین مشارکت ذی‌نفعان در طراحی سیستم، هماهنگی با برنامه‌های توسعه ملی و تحولات جهانی و استفاده از فناوری‌های نوین و سازگار شونده حمل‌ونقل مورد تأکید قرار گرفته است. تأمین نیروی انسانی متخصص، منابع مالی پایدار و سازوکارهای تجاری

³ (INTRAM)

2

³ (Umbrella Act)

3

مناسب نیز از الزامات اجرای این نظام محسوب می‌شود. در حوزه نظارتی نیز پیش‌نویس، اعمال مجازات‌های اداری را پیش‌بینی کرده است، در حالی که مقررات و مجازات‌های کیفری همچنان تابع قوانین تخصصی هر بخش باقی خواهند ماند.

در مجموع، **RUU SISTRANAS** را می‌توان تلاش اندونزی برای عبور از مدیریت بخشی حمل‌ونقل به سمت حکمرانی یکپارچه ملی دانست؛ به‌گونه‌ای که جاده، راه‌آهن، کشتیرانی و هوانوردی همچنان قوانین تخصصی خود را حفظ کنند، اما سیاست‌گذاری، زیرساخت، خدمات، دیجیتالی‌سازی، تأمین مالی و اهداف پایداری آنها تحت یک چارچوب ملی هماهنگ شود. این رویکرد به‌ویژه برای اندونزی به‌عنوان یک کشور مجمع‌الجزایری، با توجه به ضرورت اتصال شبکه‌های زمینی، دریایی و هوایی و کاهش هزینه‌های لجستیکی، اهمیت ویژه‌ای دارد.