

AUTONOMOUS RAIL RAPID TRANSIT: INOVASI TRANSPORTASI MODERN UNTUK MENGATASI KENDALA-KENDALA KONVENSIONAL DI KOTA BESAR INDONESIA

Budi Sitorus

Sekretariat Jenderal, Kementerian Perhubungan Republik Indonesia

Email: sitorus@kemenhub.go.id

Abstract :

The rapid development of big cities in Indonesia encourages economic growth that has an impact on the urbanization of big cities, as a reason for people to choose a place to live and find jobs. The problem of urbanization is that it requires mobility. The need for urban mobility is caused by conventional transportation conditions that currently often experience delays and overcapacity, dense population growth in big cities and less regular traffic in big cities. Autonomous Rail Rapid Transit (ART) being a novelty in transportation in Indonesia, the operation of autonomous trains began in the Ibu Kota Nusantara. Autonomous trains are capable of transforming urban travel in the future. Using autonomous technology and advanced sensors, trains can operate without human control, unlocking the potential for increased efficiency, safety and comfort in rail transport systems. The research problem is to determine policy alternatives in legal and regulatory aspects such as the level of autonomy, testing and certification, licensing and licensing, legal responsibility, data security, communication and interoperability standards, security checks and education and public awareness. The research method uses a descriptive qualitative approach, with secondary data collection and the use of problem trees. The results show that Autonomous Rail Rapid Transit (ART) offers a future of safe, efficient and accessible mobility. The implementation of ART in Indonesia requires the collaboration of government, industry, education, and society to overcome technical, regulatory, and socio-cultural challenges.

Abstrak :

Pesatnya pembangunan kota-kota besar di Indonesia mendorong pertumbuhan ekonomi yang berdampak pada urbanisasi kota-kota besar, sebagai alasan masyarakat dalam pemilihan tempat tinggal dan mencari lapangan kerja. Permasalahan kota akibat urbanisasi yaitu memerlukan mobilitas. Kebutuhan mobilitas perkotaan disebabkan oleh kondisi transportasi konvensional yang saat ini sering mengalami keterlambatan dan overkapasitas, pertumbuhan populasi yang padat di kota besar dan lalu lintas kurang teratur di kota besar. Autonomous Rail Rapid Transit (ART) menjadi hal baru dalam transportasi di Indonesia, pengoperasian kereta otonom dimulai di Ibu Kota Nusantara. Kereta otonom mampu mengubah perjalanan perkotaan di masa depan. Penerapan ART ini menggunakan teknologi otonom dan sensor canggih, yang memungkinkan kereta api untuk beroperasi tanpa kendali manusia, membuka potensi untuk meningkatkan efisiensi, keamanan/keselamatan dan kenyamanan dalam sistem transportasi rel. Permasalahan penelitian yaitu menentukan alternatif kebijakan dalam aspek hukum dan regulasi seperti level otonomi, pengujian dan sertifikasi, lisensi dan perizinan, tanggung jawab hukum, keamanan data, komunikasi dan standar interoperabilitas, pemeriksaan keamanan dan pendidikan dan kesadaran publik. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif, dengan pengumpulan data sekunder dan penggunaan pohon masalah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Autonomous Rail Rapid Transit (ART) menawarkan masa depan mobilitas yang aman, efisien, dan aksesibel. Penerapan ART di Indonesia memerlukan kolaborasi pemerintah, industri, pendidikan, dan masyarakat untuk mengatasi tantangan teknis, regulasi, serta sosial budaya.

Keyword: *Modern Transportation, Urban Mobility, Autonomous Train, Conventional Constraints, Indonesia*

PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, kemajuan teknologi informasi dan komunikasi memberikan dampak bagi berkembangnya revolusi industri dengan pesat yang membawa perubahan signifikan

berbagai aspek kehidupan, termasuk perkembangan teknologi telah mengubah perencanaan dan tata kota serta pelayanan transportasi secara drastis. Transportasi sebagai alat angkut memindahkan orang maupun barang menuju tujuan Miro, (2005)

dalam (M, Steven, 2005) yang memerlukan efisiensi dan efektivitas dalam memberikan pelayanan kepada masyarakat.

Pergerakan masyarakat seharusnya dapat tertuang dalam tata kota, sehingga kebutuhan mobilitas masyarakat perkotaan dapat terpenuhi. Tingginya tingkat kebutuhan mobilitas perkotaan disebabkan oleh permintaan (*demand*) dan penawaran (*supply*) dari transportasi umum, namun transportasi umum konvensional mengalami keterlambatan dan overkapasitas, pertumbuhan populasi yang padat di kota besar dan lalu lintas kurang teratur di kota besar. Pesatnya perkembangan kota-kota besar di Indonesia mendorong pertumbuhan ekonomi yang berdampak pada urbanisasi kota-kota besar, terutama akibat disparitas pertumbuhan dan ketimpangan fasilitas-fasilitas dari pembangunan antara wilayah pedesaan dan perkotaan (Harahap, 2013). Masalah lalu lintas dapat disebabkan oleh berbagai faktor. Faktor yang terpenting adalah unsur manusia sebagai pengguna jalan, baik sebagai pengemudi maupun sebagai pengguna jalan. Di sisi lain, kedisiplinan dan kesadaran hukum di kalangan pengguna jalan masih kurang baik, serta masih kurangnya kepatuhan terhadap peraturan perundang-undangan yang berlaku (Anggraini, 2013).

Salah satu inovasi terbesar dalam mengatasi permasalahan kebutuhan mobilitas masyarakat perkotaan adalah *Autonomous Rail Rapid Transit (ART)*, yang menjanjikan revolusi dalam cara bepergian, dengan memanfaatkan kecerdasan buatan (AI) dan sensor canggih. Kendaraan otonom mampu mengemudi tanpa intervensi manusia dan membuka pintu bagi sejumlah manfaat dan tantangan baru di masa depan. Manfaat dan tantangan terkait dengan pengoperasian kereta otonom di perkotaan memiliki kekurangan dan kelebihan masing-masing, sehingga memerlukan penelitian lanjutan bagi pengembangan transportasi modern di kota-kota besar di Indonesia.

Maraknya pembangunan di kota-kota besar di Indonesia dapat memacu

pertumbuhan ekonomi, sehingga memberikan dampak bagi kota-kota tersebut akan menjadi magnet bagi penduduk untuk mencari pekerjaan dan tempat tinggal.

Ditemukan berbagai kendala-kendala konvensional yang diakibatkan oleh kendaraan transportasi yang ada saat ini, seperti Kemacetan lalu lintas di kota-kota besar di Indonesia memengaruhi efektivitas dan efisiensi mobilitas penduduk, serta kereta otonom menjadi solusi yang berkelanjutan. Kemudian, Tingkat kecelakaan lalu lintas dan *human error* berperan menjadi hal utama dalam keselamatan perkotaan di Indonesia, dan teknologi kereta otonom mampu meningkatkan keselamatan transportasi massal. Karenanya dianggap perlu untuk menginovasi hal tersebut dengan menerapkan transportasi modern seperti kereta otonom di kota-kota besar di Indonesia mampu mengatasi masalah keterlambatan transportasi publik, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat.

Sehingga *problem statement*, yaitu transportasi konvensional sering mengalami keterlambatan dan overkapasitas, keterbatasan perencanaan grafik perjalanan kereta dan keterbatasan anggaran pengadaan kereta menyebabkan tingginya tingkat kebutuhan mobilitas perkotaan

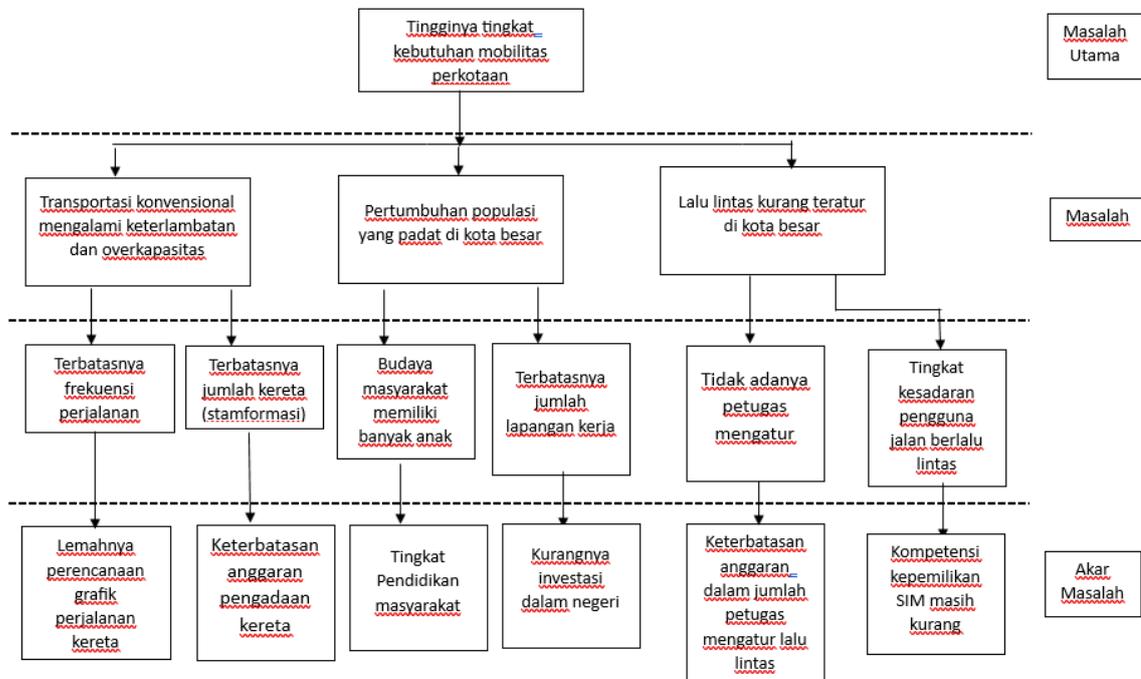
METODE PENELITIAN

Pendekatan penelitian ini adalah kualitatif deskriptif, yang memfokuskan kajian pada pergerakan perjalanan atau mobilitas masyarakat perkotaan dengan adanya pertumbuhan populasi yang padat di kota besar dan lalu lintas kurang teratur di kota besar. Metode literatur studi terkait kebutuhan mobilitas perkotaan dengan menentukan frekuensi dan kapasitas angkutan umum yang mempengaruhi kebutuhan perjalanan. Pengumpulan data dilakukan memilih dokumen meliputi: 1) jurnal sebanyak 16 buah, 2) berita online sebanyak 3 buah, 3) Peraturan sebanyak 1 buah, dan 4) Laporan sebanyak 1 buah. Kerangka berpikir penelitian menggunakan

pohon masalah yang menitikberatkan masalah berdasarkan sebab dan akibat.

Pohon masalah tersebut yang menjadi masalah utama yaitu tingginya tingkat kebutuhan mobilitas perkotaan, sebagai berikut:

tersebut antara lain misalnya di wilayah tujuan terdapat banyak peluang dari jenis pekerjaan, sedangkan di daerah asal berbanding terbalik peluang kerjanya sedikit, jenis pekerjaannya pun terbatas.



Gambar 1. Pohon Masalah Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pertumbuhan penduduk Indonesia mengalami pertumbuhan yang cukup pesat hingga tahun 2023, jumlah penduduk Indonesia menempati peringkat ke-4 (empat) di dunia berada di bawah India, Tiongkok dan Amerika Serikat. Bonus demografi penduduk ini memberikan tantangan yaitu menyediakan tenaga kerja terdidik dan terlatih, memberikan lapangan pekerjaan yang cukup, urbanisasi yang menyebabkan kemacetan, polusi, kekurangan perumahan

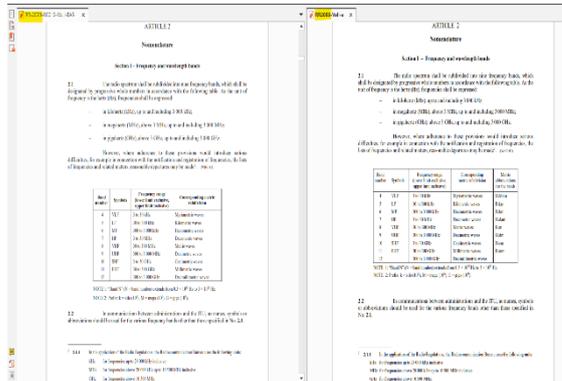
Tingkat kesejahteraan masyarakat ikut menentukan dalam mobilitas masyarakat. Fenomena yang ada di wilayah asal berhubungan dengan fenomena yang ada di daerah tujuan, dari fenomena yang saling berhubungan tersebut terbentuklah migrasi atau yang lebih dikenal dengan mobilitas. Fenomena

Fenomena ini, dapat menjadi terjadinya suatu mobilitas (Dumin, 2019) dalam (Rahmawati, 2022). Mudahnya masyarakat untuk memiliki kendaraan bermotor dikarenakan tingginya daya beli masyarakat serta budaya memiliki kendaraan bermotor mempengaruhi mobilitas masyarakat. Namun beberapa penelitian menyatakan bahwa daya beli masyarakat terhadap kepemilikan kendaraan bermotor tidak mempengaruhi mobilitas masyarakat akan tetapi dipengaruhi oleh besarnya tarif pajak progresif, sehingga hal tersebut berbanding terbalik (Ida Ayu Putri Ratnasari & Putu Ery Setiawan, 2016). Berdasarkan dari hasil penelitian di atas, untuk mengatasi mobilitas penduduk maka Pemerintah perlu menyediakan angkutan umum yang memadai agar masyarakat dapat berpindah untuk menggunakan angkutan umum dan

angkutan umum mampu mengikuti kemajuan teknologi.

Seiring dengan perkembangan zaman, kemajuan teknologi memberikan dampak positif bagi sektor transportasi dengan adanya kendaraan autonomous, kendaraan tersebut dilengkapi oleh sensor antara lain *Global Positioning System (GPS)*, kamera video, LIDAR, dan RADAR dan terkoneksi dengan komputer pusat. Menurut (Wirjaputra, 2012), komputer dapat memilih jalur mana yang akan diikuti dengan memanfaatkan berbagai algoritma. Komputer pusat kemudian mengeluarkan perintah yang diperlukan ke kendaraan pada saat itu.. (Basuhail et al., 2022) menulis bahwa Kendaraan ART yang digunakan sebagai transportasi umum di Ibu Kota Nusantara memerlukan spektrum dan pita frekuensi, sistem transportasi cerdas (*Cyber-physical systems (CPSs), including intelligent transportation systems (ITSs), will be the lifeline of smart cities in future*). Hal ini tentunya perlu dukungan teknologi *Internet of Thing (IoT)* dalam penerapannya serta keamanan cyber yang canggih.

Gambar 2. Radio Regulation Articles, Tahun 2020 dan Tahun 2008



Sumber: (Basuhail et al., 2022)

Berdasarkan *Handbook Spectrum Monitoring Geneva Switzerland International Telecommunications Union, 2008 dan Report ITU-R Radio Communication Sector, 2015* dalam (Christian & Hartanto, 2023) menulis bahwa spektrum frekuensi radio adalah kumpulan dari pita frekuensi radio dan sumber daya alam yang terbatas. Pita Frekuensi Radio merupakan bagian dari spektrum frekuensi radio yang memiliki

lebar tertentu, yang juga sebagai sumber daya alam strategis dan mempunyai nilai ekonomis tinggi, sehingga pemanfaatannya harus tertib dan tunduk terhadap peraturan nasional maupun internasional.

Penerapan teknologi dalam *Autonomous Rail Rapid Transit* diharapkan dapat memberikan keamanan dan kenyamanan penggunanya. Dalam beberapa penelitian autonomous merupakan kendaraan yang dapat mendeteksi obyek yang ada di sekelilingnya dan penggunaan IoT (Rasdiyanti et al., 2024).

(Yusuf, 2024) menulis ART beroperasi di Ibu Kota Nusantara dan di perlintasan jalan raya, ART diprioritaskan melalui sistem persinyalan. Untuk menjamin bahwa kereta ART melewati perlintasan dengan aman dan tepat waktu, kereta api, pada jarak 100 meter dari lampu lalu lintas, memberi sinyal lampu lalu lintas, yang kemudian digunakannya untuk mengubah sistem lampu lalu lintas.

Otonomus transportasi merujuk pada kendaraan yang dapat beroperasi tanpa bantuan langsung dari manusia, terbagi menjadi 5 level yaitu level 0 (tidak otonomus) hingga level 5 (sepenuhnya otonomus) (Rasdiyanti et al., 2024). Kendaraan otonomus menggunakan berbagai sensor seperti *Light Detection and Ranging (LIDAR)*, *Radio Detection and Ranging (RADAR)*, dan kamera, serta perangkat lunak cerdas untuk mengenali lingkungan sekitarnya dan membuat keputusan navigasi. Hal ini tentunya tak terlepas dari dukungan telekomunikasi yang semakin maju dari generasi jaringan komunikasi 5G (generasi ke-5) bahkan memasuki 6G (generasi ke-6) yang menyediakan lebih banyak bandwidth (memberikan kapasitas yang jauh lebih tinggi) dan latensi yang jauh lebih rendah pada kecepatan mikrodetik.

Selain itu penggunaan pita spektrum frekuensi radio untuk ART yang penggunaannya masih dalam pengembangan akan menggunakan alokasi pada pita untuk layanan radiolokasi (berbagi/share dengan dinas

lainnya) yang kemungkinan didukung oleh *internet of things* (IoT) belum umum untuk digunakan pada pita tersebut, sebagaimana tertuang dalam Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika RI Nomor 12 Tahun 2022 tentang Tabel Alokasi Spektrum Frekuensi Radio Indonesia (Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia, 2022).

Namun saat ini pengembangan prototype konsep menggunakan "*Wireless charging system with Electromagnetic-Coupling*" (Sunardi et al., 2022) dan mulai banyak terdapat Perancangan *Aplikasi Internet of Thing (IoT) Autonomous Pada Mobil* (Setyo et al., 2018). Terkait *Internet of Thing (IoT)* ada dalam informasi media yang dirilis Kominfo dengan link https://www.kominfo.go.id/content/detail/14110/spektrum-frekuensi-dan-standar-iot-dirilis-tahun-ini/0/sorotan_media.

Berdasarkan penelitian (Juliansyah, 2022), pro dan kontra terkait kendaraan otonom ini menimbulkan perdebatan antara produsen, pemangku kebijakan dan pengguna kendaraan tersebut. Kehadiran kendaraan otonom tidak dapat dihindari lagi, sekalipun masih terdapat banyak kekurangan, namun produsen berusaha untuk memperbaikinya dan menawarkan fitur-fitur tercanggih yang diaplikasikan pada kendaraan tersebut, dengan teknologi ini peran manusia dapat tergantikan. Namun, kehadiran teknologi autopilot pada kendaraan ini, melahirkan persoalan, apabila terjadi kecelakaan lalu lintas akibat kesalahan sistem navigasi atau sensor autopilot tersebut.

Mada (2021) menulis bahwa masih ada sejumlah kekurangan, termasuk saat digunakan, apabila ART digunakan dalam lalu lintas campuran alam memperlambat transportasi lainnya seperti mobil dan bus, jika tidak direncanakan dengan baik, bahkan dapat mengakibatkan kemacetan, kerusakan maupun kecelakaan.

Analisis Kebijakan

Perencanaan tata kota untuk menciptakan pengelolaan ruang kota yang

optimal dan berkelanjutan diperlukan guna mendukung berbagai aspek kehidupan masyarakat. Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) sebagai instrumen dokumen perencanaan kota untuk mendukung perwujudan kota berkelanjutan. Proses perencanaan terpadu dapat tercapai melalui ketersediaan dokumen penataan ruang. Berdasarkan data Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Kepala Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN), terdapat 34 dari 38 provinsi telah memiliki Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) pada tahun 2023, jadi pemanfaatan tata ruang di Indonesia masih sekitar 89%. Pertumbuhan jumlah penduduk di suatu daerah memp

Bonus demografi penduduk di kota-kota besar sebagai tempat mencari kerja maupun tempat tinggal menimbulkan masalah yang tidak dapat dihindari seperti kebutuhan mobilitas di kota-kota besar Indonesia. Berdasarkan data BPS, jumlah penduduk Indonesia

Tabel 1. Jumlah Penduduk Indonesia 3 tahun terakhir

Provinsi di Indonesia	Jumlah Penduduk Menurut Provinsi di Indonesia (Ribu Jiwa)		
	2021	2022	2023
Aceh	5274,9	5334,9	5409,2
Sumatera Utara	14799,4	14970,5	15180,5
Sumatera Barat	5534,5	5597,3	5677,6
Riau	6394,1	6466,8	6555,8
Kep. Riau	2064,6	2089,9	2121,5
Jambi	3548,2	3586,4	3633,2
Sumatera Selatan	8467,4	8548,6	8647,3
Kep. Bangka Belitung	1455,7	1471,8	1492
Bengkulu	2010,7	2032,4	2059,4
Lampung	9007,8	4438,6	4496,6
DKI Jakarta	10562,1	10605,4	10640
Jawa Barat	48274,2	48738,8	49306,8
Banten	11904,6	12023	12167
Jawa Tengah	36516	36811,1	37180,4

Provinsi di Indonesia	Jumlah Penduduk Menurut Provinsi di Indonesia (Ribu Jiwa)		
	2021	2022	2023
DI Yogyakarta	3668,7	3687,8	3712,6
Jawa Timur	40665,7	40921,1	41230
Kalimantan Barat	5414,4	5474,7	5549,7
Kalimantan Tengah	2670	2700,1	2737,2
Kalimantan Selatan	4073,6	4116,9	4170,2
Kalimantan Timur	3766	3803,5	3856,8
Kalimantan Utara	701,8	710	720,1
Sulawesi Utara	2621,9	2639,5	2660,8
Gorontalo	1171,7	1183,5	1198,4
Sulawesi Tengah	2985,7	3015	3051,2
Sulawesi Selatan	9073,5	9156,9	9260,1
Sulawesi Barat	1419,2	1436,7	1458,9
Sulawesi Tenggara	2624,9	2659,9	2704,6
Bali	4317,4	4343,4	4374,3
Nusa Tenggara Barat	5320,1	5387,2	5474
Nusa Tenggara Timur	5325,6	5394,4	5481,8
Maluku	1848,9	1869,5	1895,1
Maluku Utara	1282,9	1299,6	1318,5
Papua Barat	1134,1	1149,4	1168,4
Papua	4303,7	4356,8	4429,7
Indonesia	270203,9	272679,2	275719,9

Sumber: BPS, 2023

Berdasarkan Tabel 1, kenaikan jumlah penduduk Indonesia kurun 3 tahun terakhir mengalami kenaikan jumlah penduduk tahun 2022 sebesar 0,91% dan tahun 2023 sebesar 1,1%. Kenaikan jumlah penduduk memerlukan transportasi yang dapat memberikan keamanan, kenyamanan dan keselamatan.

Bonus demografi penduduk tersebut, dimana tiap keluarga memiliki

kendaraan bermotor akibat daya beli masyarakat tinggi, animo masyarakat terhadap kepemilikan kendaraan bermotor sebagai kebutuhan pokoknya sehingga menimbulkan kemacetan di kota besar. Menurut berbagai laporan, kemacetan di kota-kota besar di Indonesia telah mencapai tingkat kritis, menyebabkan kehilangan waktu, peningkatan biaya transportasi (Asrahmaulyana et al., 2020), dan produktivitas yang menurun (M & Handoyo, 2014). Jakarta menempati peringkat 1 dengan kehilangan waktu 65 jam disusul kota Surabaya dengan 35 jam, Denpasar dengan kehilangan waktu 22 jam dan kota Bogor dengan kehilangan waktu 7 jam.

Tabel 2. Data kemacetan lalu lintas di beberapa kota besar di Indonesia

No	Kota	Kehilangan Waktu (jam)	Kejadian di Tahun
1	Jakarta	65	2023
2	Surabaya	35	2022
3	Denpasar	22	2022
4	Bogor	7	2022

Sumber: INRIX Global Traffic Scorecard, 2024

Kebutuhan mobilitas perkotaan ditentukan oleh karakteristik operasional angkutan umum dengan memberikan kenyamanan dalam angkutan umum, waktu tempuh, waktu antara (*headway*) dan *load factor*. Beberapa hasil penelitian yang dilakukan tampak bahwa ketepatan waktu (*headway*) terjadi permasalahan di saat *peak hours* demikian juga dengan *load factor* ataupun tingkat keterisian penumpang terjadi permasalahan pada sore hari (Sumasto, 2019). Mengatasi masalah *peak hours* atau jam sibuk dalam layanan angkutan umum adalah tantangan yang sering dihadapi banyak kota besar. Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengantisipasi *peak hours*:

- a. Meningkatkan Kapasitas Angkutan Umum yaitu

- 1) Meningkatkan Frekuensi: Menambah jumlah perjalanan, terutama pada jam-jam sibuk.
 - 2) Mengoperasikan Armada Lebih Besar: Menambah jumlah kendaraan yang beroperasi, baik bus, kereta, atau moda transportasi lainnya.
 - 3) Memperpanjang Jam Operasional: Memperpanjang waktu layanan, terutama pada pagi dan sore hari saat jam sibuk.
 - 4) Menerapkan Armada Articulated: Menggunakan bus-bus besar yang dapat menampung penumpang lebih banyak.
- b. Mengelola Permintaan
- 1) Sistem Tiketing Dinamis: Menerapkan sistem tarif yang fleksibel, misalnya emberikan diskon pada jam-jam yang tidak sibuk.
 - 2) Kampanye Promosi: Melakukan kampanye untuk mendorong masyarakat menggunakan angkutan umum di luar jam sibuk.
 - 3) Program Kerja Fleksibel: Mendorong perusahaan untuk menerapkan program kerja fleksibel, sehingga karyawan dapat menghindari jam sibuk.
 - 4) Pengembangan Transportasi Berkelanjutan: Mendorong penggunaan moda transportasi lain seperti sepeda dan berjalan kaki, terutama untuk jarak dekat.
- c. Optimasi Rute dan Jadwal
- 1) Analisis Data: Menggunakan data perjalanan untuk mengoptimalkan rute dan jadwal, sehingga lebih efisien dan sesuai dengan kebutuhan penumpang.
 - 2) Prioritaskan Transportasi Umum: Memberikan prioritas pada angkutan umum di jalan raya, seperti jalur bus khusus atau lampu lalu lintas yang diprioritaskan untuk bus.
 - 3) Integrasi Sistem: Mengintegrasikan berbagai moda transportasi untuk memudahkan penumpang

berpindah dari satu moda ke moda lainnya.

Penggunaan *Origin-Destination* (O-D) survey mempengaruhi dalam pemodelan transportasi, seperti jumlah perjalanan, asal tujuan, biaya yang dikeluarkan untuk transportasi. Tujuan perencanaan transportasi adalah untuk mencari solusi optimal terhadap permasalahan transportasi dengan menggunakan sumber daya yang ada. Perencanaan transportasi pada hakikatnya merupakan perkiraan kebutuhan transportasi di masa depan yang harus dibarengi dengan permasalahan rekayasa transportasi. Biasanya dimulai dengan upaya untuk menjamin pemanfaatan optimal fasilitas yang ada dan bertujuan untuk merencanakan dan membangun berbagai fasilitas baru (Arsyad, 2001).

Alternatif Kebijakan

Transportasi memiliki peran penting dalam mendorong dan mengungkit kegiatan ekonomi dan sosial masyarakat. Transportasi juga menjadi sarana untuk menjamin konektivitas antar wilayah. Berbagai macam transportasi umum yang ada seperti LRT, MRT dan BRT mempermudah mobilitas penduduk perkotaan.

Meskipun masih dalam tahap *positioning*, ART telah menarik minat berbagai stakeholder sebagai solusi mengatasi tantangan mobilitas di perkotaan (urban). Regulasi yang baik dan kuat sangat penting untuk memastikan bahwa implementasi ART dapat berjalan dengan aman dan selamat dalam lingkungan perkotaan yang kompleks. Kompleksitas masalah yang menjadi tantangan dalam operasional kereta otonom yaitu pihak bertanggung jawab, pengujian dan sertifikasi, standar keselamatan dan keamanan data.

Aspek regulasi yang dapat diatur dalam alternatif kebijakan meliputi:

1. Level Otonomi: Peraturan membagi kendaraan otonomus ke dalam level, sesuai dengan tingkat otonomi yang dimiliki kendaraan tersebut. Ini dapat mengacu pada skala level otonomi SAE (Society of Automotive Engineers), yang berkisar dari level 0 (tanpa otonomi) hingga level 5 (otonomi penuh).
2. Pengujian dan Sertifikasi: Peraturan mengatur proses pengujian dan sertifikasi kendaraan otonomus sebelum diizinkan beroperasi secara komersial. Pengujian dan sertifikasi termasuk pengujian keamanan, kepatuhan terhadap standar teknis, dan verifikasi kemampuan otonominya. Memasang "kotak hitam" (*black box*) pada kereta otonom untuk merekam data operasional dan memungkinkan investigasi yang lebih menyeluruh jika terjadi kecelakaan.
3. Lisensi dan Perizinan: Kendaraan otonomus memungkinkan memerlukan lisensi khusus atau izin operasi, baik untuk pengujian maupun operasi komersial. Persyaratan ini mungkin berbeda dari lisensi pengemudi manusia dan dapat mencakup persyaratan pelatihan khusus untuk operator ART.
4. Tanggung Jawab: Peraturan harus menemukan pihak yang tanggung jawab dalam kasus kecelakaan atau insiden serta penyebabnya. Menetapkan tanggung jawab gabungan bagi berbagai pihak yang terlibat dalam pengembangan dan pengoperasian kereta otonom.
5. Keamanan Data: Perlindungan data menjadi isu penting dalam peraturan perundangan terkait kendaraan otonomus, mengingat kendaraan mengumpulkan dan memproses *logic data* secara yang digunakan terus menerus,
6. Komunikasi dan Standar Interoperabilitas: Peraturan juga mengatur komunikasi antar kendaraan otonomus dan infrastruktur jalan, serta menetapkan standar interoperabilitas untuk memastikan bahwa kendaraan dari produsen yang berbeda dapat beroperasi secara aman bersama.
7. Pemeriksaan Keamanan: Mengingat kompleksitas teknologi dan dampak potensial dari kegagalan sistem, pemeriksaan keamanan harus dilakukan secara menyeluruh dan berkelanjutan.

Aspek operasional yang dapat diatur dalam alternatif kebijakan meliputi:

- 1) Meningkatkan Frekuensi. Kendala yang dihadapi oleh angkutan umum terkait dengan jumlah sarana yang nantinya akan mempengaruhi dalam menentukan frekuensi yang dibutuhkan. Menambah jumlah perjalanan, terutama pada jam-jam sibuk dan menjaga waktu tempuh serta waktu antara (*headway*) kereta otonom sehingga tidak terjadi penumpukan di halte.
- 2) Mengoperasikan trainset yang lebih Besar. Sebagai informasi, satu trainset kereta otonom yang akan beroperasi di IKN memiliki tiga gerbong (*cars*) dengan kapasitas 302 penumpang. Trem otonom ini akan beroperasi searah jarum jam dengan *headway* sekitar 5 menit (Rahayu; & Djumena, 2024).
Menambah jumlah trainset kereta otonom yang beroperasi pada saat jam sibuk maupun penumpang harian dapat terpenuhi dan jumlah jalur dan fasilitas pendukung dibuat mengikuti spesifikasi teknisnya.
- 3) Memperpanjang Jam Operasional, Memperpanjang waktu layanan, terutama pada pagi dan sore hari saat jam sibuk. Penambahan jam operasional juga dapat mengurai jumlah penumpang di halte, sehingga kereta tidak overkapasitas dalam mengangkut penumpang. Selain itu tantangan dalam melaksanakan perpanjangan waktu

operasional yaitu biaya operasional kereta otonom tetap perlu dipertimbangkan, terutama terkait dengan perawatan dan pemeliharaan sistem.

KESIMPULAN

Autonomus Rail Rapid Transit bagian integral dari masa depan mobilitas yang menjanjikan dan memberikan manfaat besar dalam hal keamanan, keselamatan, kenyamanan, efisiensi, dan aksesibilitas semakin meningkat.

Aspek yang menjadi pertimbangan Pemerintah dalam penerapan ART di Indonesia yaitu **Perizinan dan Sertifikasi, Tanggung Jawab, Perlindungan Data, Keamanan Cyber**. Namun, untuk mewujudkannya sepenuhnya, perlu ada kolaborasi antara pemerintah, industri, dunia pendidikan dan masyarakat untuk mengatasi tantangan teknis, regulasi dan sosial budaya masyarakat. Dengan pendekatan yang tepat, dan perencanaan perjalanan ART memiliki potensi untuk mengubah pergerakan orang dan barang.

REKOMENDASI RISET

Rekomendasi dari hasil penelitian ini, *Pertama*, Regulasi dan Kerangka Hukum yang Jelas. Penyusunan regulasi yang terintegrasi sangatlah penting untuk mendukung implementasi ART. Regulasi ini mencakup aspek teknis, operasional, tata ruang, dan keselamatan. Mengingat secara teknis ART akan bergabung dengan kendaraan lainnya atau (mixed traffic) maka apabila ART tersebut memasuki jalurnya, mendapatkan prioritas dari pengguna jalan. Pemerintah melakukan amandemen terhadap Undang-Undang Nomor 23 Tahun 2007 tentang Perkeretaapian untuk dapat mengimplimentasikan ART, terhadap perubahan lingkungan dan teknologi di sektor perkeretaapian. Dianjurkan bahwa dalam menyusun peraturan turunannya agar dapat berkolaborasi dengan Kementerian/Lembaga maupun Pemerintah Daerah.

Kedua, Pembangunan Infrastruktur dan Teknologi yang Memadai. Teknologi

sensor pada ART yang akan digunakan di Indonesia seperti Light Detection and Ranging (LiDAR) dan Global Positioning System (GPS) maupun penggunaan pita frekuensi radio untuk memastikan bahwa ART dapat beroperasi secara akurat dan aman. Penelitian terkait dengan penggunaan pita frekuensi radio berdasarkan rekomendasi Detail Engineering Design dan studi kelayakan (feasibility study) yang disusun dan disetujui oleh Direktorat Teknis agar dapat dipergunakan.

Membangun infrastruktur termasuk jalur dan fasilitas pendukung sesuai dengan spesifikasi teknis seperti rambu, marka agar tidak terjadi kesalahan (error) yang dapat mengakibatkan kecelakaan maupun gangguan lalu lintas. Hal ini juga perlu didukung sinergi sistem komunikasi antara pusat pengendali dan sarana yang dapat berjalan secara produktif dengan keamanan yang canggih. Infrastruktur lainnya yaitu membuat halte atau shalter tempat turun/naik penumpang dan membuat tempat pengisian listrik untuk ART.

Ketiga, Penelitian Lanjutan. Melakukan penelitian lanjutan untuk mengevaluasi kinerja ART dan mengadaptasi keadaan lalu lintas di Indonesia baik segi lalu lintas Harian, tingkat okupansi penumpang dan sosial budaya untuk menentukan kebutuhan rangkaian kereta. Penelitian harus melibatkan uji coba publik untuk memastikan keselamatan, keamanan dan kenyamanan. Penelitian lainnya terkait dengan itu melakukan analisis pengaruh terhadap kondisi alam, apabila terjadi perubahan cuaca tidak mengganggu kinerja sistem operasi dan komunikasi ART.

Melakukan penelitian tentang alokasi frekuensi yang dibutuhkan dengan mendaftarkan dalam Radio Regulation pada organisasi internasional (ITU), serta pemanfaatan teknologi (Revolusi Industry) dan Generasi komunikasi (Generation, misal 6G, WiFi 6, Ipv6) yang cepat dan stabil yang didukung keamanan canggih terdapat enkripsi serta autentikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, D. (2013). Studi tentang Perilaku Pengendara Kendaraan Bermotor di Kota Samarinda. *Studi Tentang Perilaku Pengendara Kendaraan Bermotor Di Kota Samarinda*, 1(1), 10–19.
- Arsyad, M. (2001). Generating A Bus Route Origin-Destination Matrix From On-Off Data. *Info Teknik*, 2(1), 20–26.
- Asrahmaulyana, Qarina, & Edison, L. E. (2020). Kerugian Ekonomi Akibat Kemacetan Lalu Lintas Terhadap Masyarakat Muslim Yang Bermukim Di Kota Makassar. *Jurnal Iqtisaduna*, 6(2), 157–166.
- Basuhail, A., Khemakhem, M., Eassa, F. E., Qurashi, J. M., & Jambi, K. (2022). N-Versions-Based Resilient Traffic Control Systems. *Electronics (Switzerland)*, 11(15). <https://doi.org/10.3390/electronics11152414>
- Christian, M., & Hartanto. (2023). Analisis dan Perancangan Sistem Informasi Monitoring Spektrum Frekuensi Radio. *Media Informatika*, 22(1), 10–24. <https://doi.org/10.37595/mediainfo.v22i1.163>
- Harahap, F. R. (2013). Dampak Urbanisasi Bagi Perkembangan Kota di Indonesia. *Jurnal Society*, 1(1), 35–45.
- Ida Ayu Putri Ratnasari, & Putu Ery Setiawan. (2016). Pengaruh Pajak Pertambahan Nilai Dan Pajak Kendaraan Bermotor Tarif Progresif Terhadap Daya Beli Kendaraan di Denpasar. *E - Jurnal Akuntansi Universitas Udayana*, 15(2), 887–914.
- Juliansyah, F. M. (2022). Kepastian Hukum Terhadap Mobil Berteknologi Auto Pilot Ditinjau Dari Perspektif Hukum Lalu Lintas Jalan Di Indonesia. *Bureaucracy Journal : Indonesia Journal of Law and Social-Political Governance*, 2(2), 794–805. <https://doi.org/10.53363/bureau.v2i2.108>
- Steven, M. (2005). Pengertian Transportasi. *NASPA Journal*, 42(4), 1.
- M, U. A., & Handoyo, P. (2014). Penanggulangan Kemacetan Dan Kebutuhan Alat Transportasi Di Kota Surabaya. *Paradigma*, 2(3), 2014.
- Mada, G. (2021). *Pustral UGM Kaji Penerapan Autonomous-rail Rapid Transit*.
- Rahmawati, D. W. M. S. A. (2022). Faktor-Faktor Yang mempengaruhi Mobilitas Ulang-Alik Penduduk Dari Desa Oesao ke Kota Kupang Kecamatan Kupang Timur Kabupaten Kupang. 18(4), 115–127.
- Rasdiyanti, A. D., Hayat, H., & Suyeno, S. (2024). Indonesia Government Policy Strategy to Support Autonomous Vehicles Implementation for Public Transport. *Aristo*, 12(2), 452–474. <https://doi.org/10.24269/ars.v12i2.7860>
- Setyo, A., Dodo, W., & Prasetyaningrum, P. T. (2018). Perancangan Aplikasi Internet of Thing (IoT) Autonomous Pada Mobil Designing Car Autonomus Internet of Thing (IoT) Application. 4(84), 35–38.
- Sumasto, F. (2019). Evaluasi Kinerja Angkutan Kota (Waktu Tempuh, Load Factor Dan Headway): Studi Kasus D11 Dan D112. *Jurnal Teknologi dan Manajemen*, 17(2), 57–64.
- Sunardi, S., Raffli Bachtiar, R., Duta Septione, A., Ayu Larasati, N., Adi Perwira, D., Setio Pribadi, F., Nurtanto, M., Selvan Subramaniam, T., & Soediby. (2022). Autonomous Rail Rapid Transit (ART) Prototype Concept Using Wireless Charging System with Electromagnetic Induction Coupling. *Journal of Railway Transportation and Technology*, 1(1), 1–12. <https://doi.org/10.37367/jrtt.v1i1.4>
- Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Menteri Komunikasi Dan Informatika Republik Indonesia Nomor 12 Tahun 2022*. https://jdih.kominfo.go.id/produk_hukum/view/id/834/t/peraturan+menteri+komunikasi+dan+informatika+nomor+12+tahun+2022
- Rahayu, I. R. S., & Djumena, E. (2024). *1 Rangkaian Kereta Otonom Telah Tiba di Indonesia , Kapan 2 Rangkaian Lagi ?*
- Wirjaputra, A. (2012). " Google Autonomous Car ." *Binus University*, 1.

Yusuf, L. M. (2024). *Mengenal ART, Kereta Otonom Tanpa Rel yang Akan Beroperasi di IKN*. Kompas.Com.