Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia p–ISSN: 2541-0849
e-ISSN: 2548-1398
Vol. 10, No. 2, Februari 2025

Evaluasi Implementasi Fasilitas Intelligent Transport System di Kota Surabaya

Sitti Adiyaksa Fazrian*, Joni Hermana
Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya, Indonesia
Email: sfadiyaksa@gmail.com* hermana@its.ac.id

Abstrak

Kota Surabaya menghadapi tantangan besar terkait kemacetan lalu lintas dan emisi gas rumah kaca (GRK) akibat pertumbuhan kendaraan bermotor yang pesat. Pertumbuhan ini memberikan dampak negatif terhadap kualitas udara dan memperburuk perubahan iklim. Oleh karena itu, penting untuk mencari solusi yang efektif dalam mengurangi emisi GRK di sektor transportasi. Salah satu solusi yang potensial adalah penerapan Intelligent Transport System (ITS), yang dapat meningkatkan manajemen lalu lintas dan efisiensi transportasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas implementasi ITS dalam mengurangi emisi GRK di Kota Surabaya. Metode penelitian yang digunakan mencakup pengumpulan data primer melalui wawancara dan kuesioner, serta data sekunder yang diperoleh dari laporan resmi dan sistem ITS yang telah diterapkan. Analisis dilakukan dengan mempertimbangkan tiga aspek utama: teknis, lingkungan, dan kelembagaan, menggunakan metode CLIMACT Prio untuk menentukan prioritas tindakan mitigasi yang tepat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan *Intelligent Transport System* (ITS) di Kota Surabaya dapat mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) melalui beberapa pendekatan utama. ITS mengoptimalkan manajemen lalu lintas dengan mengurangi kemacetan dan idle time, sehingga mengurangi emisi. Selain itu, ITS meningkatkan penggunaan transportasi umum dan mendukung integrasi kendaraan ramah lingkungan, seperti kendaraan listrik, yang mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Kata kunci : Emisi gas rumah kaca, Mitigasi perubahan iklim, Intelligent Transport System

Abstract

Due to the rapid growth of motorized vehicles, Surabaya City faces significant challenges related to traffic congestion and greenhouse gas (GHG) emissions. This growth harms air quality and worsens climate change. Therefore, finding practical solutions to reduce GHG emissions in the transportation sector is important. One potential solution is the implementation of an Intelligent Transport System (ITS), which can improve traffic management and transportation efficiency. This study aims to evaluate the effectiveness of ITS implementation in reducing GHG emissions in Surabaya City. The research methods used include primary data collection through interviews and questionnaires and secondary data obtained from official reports and the implemented ITS system. The analysis was carried out by considering three main aspects: technical, environmental, and institutional, using the CLIMACT Prio method to determine the priority of appropriate mitigation actions. The study's results indicate that implementing an Intelligent Transport System (ITS) in Surabaya City can reduce greenhouse gas (GHG) emissions through several main approaches. ITS optimizes traffic management by reducing congestion and idle time, reducing emissions. In addition, ITS increases the use of public transportation and supports the integration of environmentally friendly vehicles, such as electric vehicles, which reduce dependence on fossil fuels.

Keywords: *Greenhouse gas emissions, Climate change mitigation, Intelligent Transport System.*

Pendahuluan

Surabaya, sebagai kota metropolitan terbesar kedua di Indonesia, menghadapi tantangan serius terkait kemacetan lalu lintas dan efek lingkungan yang dipengaruhi oleh emisi gas rumah kaca (GRK). Penambahan frekuensi kendaraan bermotor di kota ini semakin memperburuk masalah tersebut. Menurut data dari Dinas Perhubungan Kota Surabaya, pada tahun 2020, lebih dari 3 juta unit kendaraan beroperasi di kota ini, dengan perningkatan rata-rata sekitar 5% per tahun (DISHUB, 2021). Peningkatan volume kendaraan ini menyebabkan kepadatan lalu lintas yang signifikan, yang pada akhirnya meningkatkan emisi gas buang yang berakibat buruk untuk mutu udara dan kesehatan masyarakat (Devia & Prihanika, 2020).

Polusi udara di Kota Surabaya disebabkan oleh emisi gas buang dari kendaraan bermotor yang juga berkontribusi besar terhadap peningkatan emisi karbon di atmosfer (Ratag, 2017). Sektor transportasi adalah penyumbang signifikan emisi karbon, dengan perkiraan peningkatan emisi sejumlah 10% per tahun. Hal ini diakibatkab oleh pembakaran bahan bakar minyak dalam aktivitas transportasi, yang menciptakan emisi karbon dan memperburuk konsentrasi GRK di atmosfer. Studi Zhang (2013) juga menunjukkan bahwa transportasi darat memberi 77% dari total emisi transportasi, dengan kendaraan pribadi sebagai penyumbang terbesar.

Peningkatan emisi GRK ini berakbiat langsung pada penurunan kualitas udara di Surabaya dan memperburuk risiko kesehatan masyarakat. Emisi yang tinggi ini tidak hanya mencemari udara, tetapi juga berkontribusi terhadap pemanasan global, yang berakbibat pada pergantian cuaca (Florence, 2018). Selain itu, peningkatan GRK di atmosfer dapat memicu berbagai bencana alam, seperti kenaikan suhu global dan naiknya permukaan air laut, yang dapat berdampak serius bagi kehidupan masyarakat di perkotaan. Untuk menghadapi tantangan ini, pemerintah Kota Surabaya telah mengimplementasikan *Intelligent Transportation System* sebagai strategi utama untuk mengurangi emisi GRK (Sahira & Megawati, 2022). ITS bertujuan untuk meningkatkan efisiensi transportasi dan mengurangi kemacetan, yang pada akhirnya dapat menurunkan konsumsi bahan bakar dan emisi CO_2 .Salah satu contoh penerapan ITS di Surabaya adalah sistem manajemen lalu lintas adaptif yang menggunakan sensor dan kamera untuk memonitor kondisi jalan secara real-time (Ilham, 2019). Sistem ini mampu menyesuaikan durasi lampu lalu lintas berdasarkan kepadatan kendaraan, sehingga mengurangi waktu tunggu dan kemacetan.

Menurut laporan dari Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, penerapan sistem manajemen lalu lintas adaptif ini telah berhasil mengurangi waktu perjalanan rata-rata hingga 20% dan konsumsi bahan bakar hingga 15%, yang secara langsung berkontribusi pada penurunan emisi CO_2 (Kemhub RI, 2022). Dengan berkurangnya kemacetan dan peningkatan efisiensi transportasi, emisi GRK dapat diminimalisir, membantu Surabaya dalam upaya mitigasi dampak perubahan iklim. Hal ini menegaskan pentingnya penerapan teknologi pintar dalam pengelolaan transportasi untuk menggapai wilayah yang lebih baik (Pamudi & Suryani, 2018).

Penurunan emisi gas rumah kaca (GRK) di bidang transportasi merupakan bagian penting dari upaya global untuk mengatasi perubahan iklim. Pemerintah Indonesia, melalui Peraturan Presiden No. 61 tahun 2011 tentang Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca (RAN-GRK), telah menetapkan target ambisius guna mengurangi emisi GRK sejumlah 26% tanpa bantuan, dan hingga 41% dengan sokongan global pada tahun 2020. Dalam kerangka ini, setiap pemerintah daerah, termasuk Kota Surabaya, memiliki tanggung jawab untuk Menyusun daftar emisi GRK sebagaimana

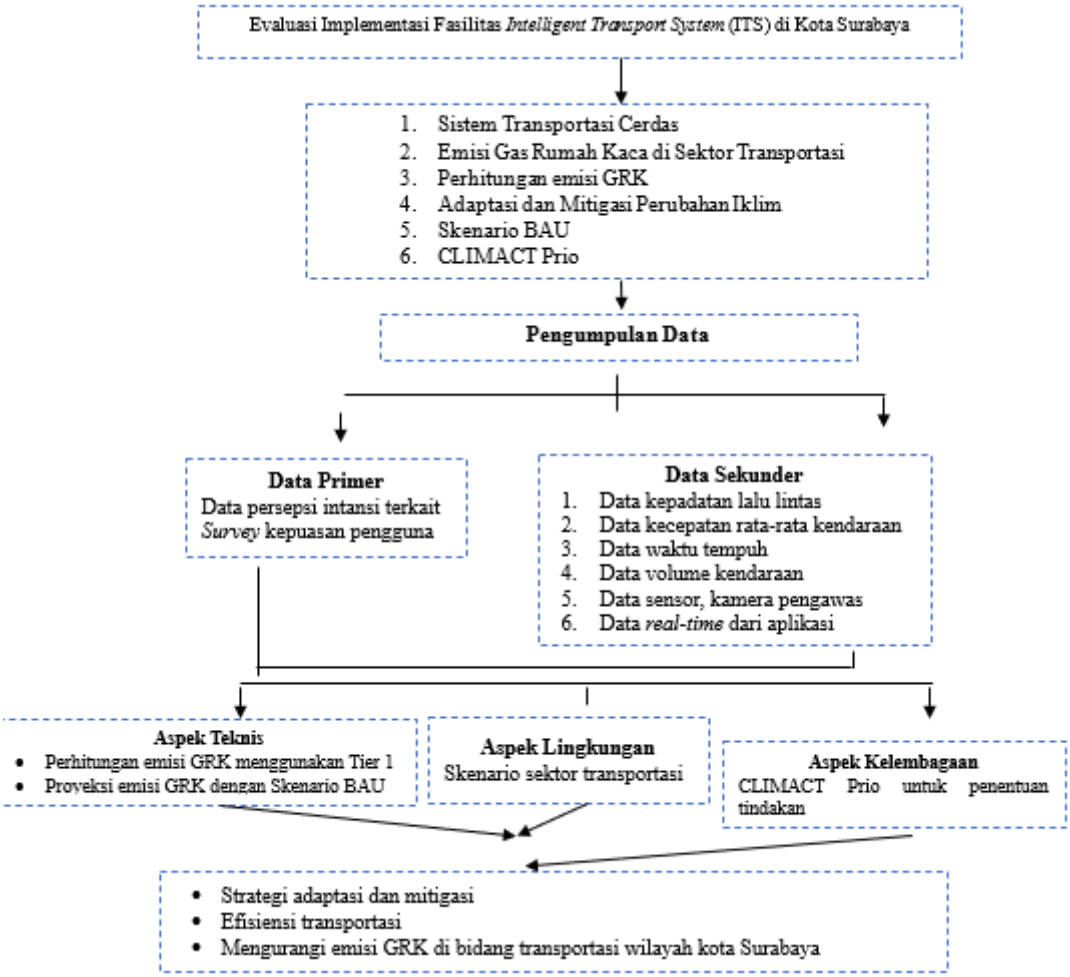
diatur dalam Peraturan Presiden No. 71 tahun 2011. Pencatatan ini bertujuan untuk mengukur dan memetakan emisi GRK yang ada, sebagai landasan bagi perencanaan kebijakan lingkungan yang efektif.

Inventarisasi emisi GRK di Surabaya memberikan gambaran yang jelas tentang kondisi emisi saat ini, serta memungkinkan perbandingan untuk menilai efektivitas kebijakan yang telah diambil. *Skenario Business as Usual* (BAU) sering kali menunjukkan peningkatan emisi yang dapat memperburuk efek pergantian cuaca, seperti kenaikan suhu bumi dan peningkatah permukaan laut (Firmanda, 2019). Oleh karena itu, langkah-langkah strategis diperlukan guna menyeimbangkan fokus GRK di atmosfer di level aman. Implementasi ITS di Surabaya memiliki potensi besar dalam mendukung cara penyesuaian dan pengurangan terhadap pergantian cuaca, khususnya dalam mengurangi emisi di sektor transportasi. Evaluasi terhadap implementasi ITS menjadi penting untuk memastikan efektivitasnya, serta untuk menilai kontribusinya terhadap pencapaian target RAN-GRK dan upaya nasional serta internasional dalam mengatasi pergantian cuaca (Hariani et al., 2024).

Rumusan masalah penelitian ini yaitu: Bagaimana efektivitas penerapan Intelligent Transport System (ITS) dalam mengurangi emisi GRK dalam berdaptasi terhadap perubahan iklim di Kota Surabaya. Tujuan dalam penelitian ini adalah mengevaluasi efektivitas Intelligent Transport System (ITS) dalam mengurangi emisi GRK dalam berdaptasi terhadap perubahan iklim di Kota Surabaya. Penelitian ini diharapkan bisa menambah informasi bagi penelitian terkait evaluasi implementasi *Intelligent Transport System* (ITS) di Kota Surabaya. Hasil riset ini juga bisa menambah masukan pada penyusunan perencanaan dan pengelolaan ITS, khususnya di Kota Surabaya.

Metode Penelitian

Penelitian ini mengadopsi pendekatan deskriptif-kualitatif dengan mendukung analisis kuantitatif. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengeksplorasi pandangan pemangku kepentingan dan pengguna jalan tentang implementasi Intelligent Transport System (ITS) di Kota Surabaya. Data kuantitatif dari sumber sekunder digunakan untuk memberikan gambaran objektif tentang efektivitas ITS dalam mengatasi kemacetan, mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK), dan meningkatkan mobilitas kota.



Gambar 1. Kerangka Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu data primer dan data sekunder: a) Data Primer, dikumpulkan melalui wawancara mendalam dan pembagian kuesioer dengan perwakilan Dinas Perhubungan Kota Surabaya, operator transportasi, dan pengguna jalan untuk memahami persepsi mereka terhadap ITS. b) Data Sekunder, berupa data statistik dari laporan resmi, sistem ITS, dan lembaga transportasi. Penelitian ini melibatkan analisis pada berbagai segmen Jalan Lingkar dalam Timur, yang meliputi Tambak Sumur (Perumahan Pondok Tjandra Indah dan dekat Jalan Tol Waru-Juanda), Rungkut (dekat UPN Veteran Jatim dan Kawasan Industri SIER), Kedung Baruk (dekat Kebun Bibit Wonorejo dan Kebun Bibit Wonorejo), hingga Kenjeran (dekat Pantai Kenjeran dan Jembatan Nasional Suramadu).

Wawancara dilakukan secara semi-terstruktur kepada pihak DISHUB Kota Surabaya dan DISHUB pengelola SITS yang berada di Jln. Raya Nginden, Kota Surabaya sebanyak 6 orang untuk memperoleh informasi mendalam dari pihak terkait mengenai implementasi dan hasil ITS. Dari hasil wawancara tersebut kemudian para narasumber diminta untuk mengisi penilaian menggunakan tools Climact Prio. Data Kuesioner dikumpulkan melalui penyebaran dan pengisian kuesioner yang ditujukan kepada para pakar yang memiliki peran dan wewenang dalam manajemen transportasi dan lingkungan, serta pengguna dari ITS di Kota Surabaya yang diisi sebanyak 15 responden. Kuesioner yang digunakan untuk mengumpulkan data persepsi seperti yang terlampir

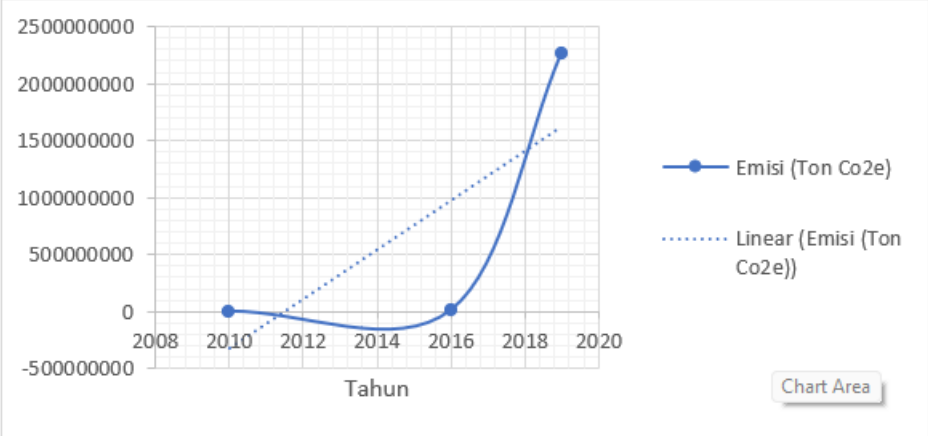
pada Lampiran 1. Menelaah laporan tahunan, hasil monitoring ITS, dan kebijakan transportasi kota untuk melengkapi analisis.

Hasil dan Pembahasan

Aspek Teknis

Proyeksi Emisi GRK menggunakan Skenario Business as Usual (BAU)

Proyeksi dampak dari penerapan Intelligent Transportation Systems (ITS) dimulai dengan penentuan tahun acuan dan tahun target. Tahun acuan berfungsi sebagai titik awal untuk menghitung dampak penerapan ITS, baik dalam hal emisi maupun perubahan pola arus lalu lintas. Di sisi lain, tahun target adalah periode yang ditentukan di masa depan untuk memperkirakan dampak tersebut, dengan asumsi bahwa penerapan ITS dan aktivitas terkait lainnya berlangsung tanpa adanya perubahan signifikan (business as usual, BAU). Dalam penelitian ini, tahun target ditetapkan hingga tahun 2030, dengan menggunakan metode proyeksi yang didasarkan pada data historis inventarisasi gas rumah kaca (GRK) kota surabaya, yaitu proyeksi linier yang mengikuti pola data selama tahun acuan.

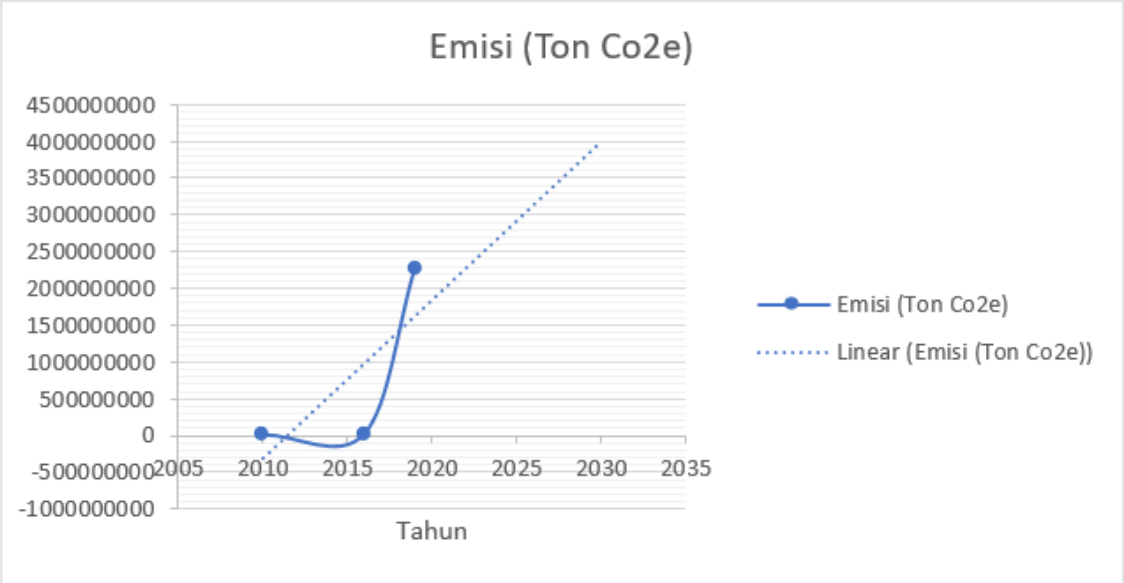


Gambar 1. Emisi GRK Sektor Transportasi Kota Surabaya Tahun 2010-2019

Pada tahun 2010, emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor transportasi di Kota Surabaya tercatat sebesar 184 ton CO_2 e, menunjukkan tingkat emisi yang relatif rendah. pada tahun 2016, jumlah kendaraan mengalami peningkatan drastis hingga mencapai sekitar 2.135.850 unit, seiring dengan lonjakan emisi yang tercatat sebesar 9.815.910 ton CO_2 e. Peningkatan ini menunjukkan adanya pertumbuhan pesat dalam penggunaan kendaraan bermotor akibat urbanisasi, aktivitas ekonomi, dan kurangnya infrastruktur transportasi publik. Pada tahun 2019, emisi sektor transportasi kembali melonjak secara signifikan menjadi 2.267.661.000 ton CO_2 e, yang diperkirakan setara dengan sekitar 492.100.217 unit kendaraan.

Lonjakan luar biasa ini mencerminkan peningkatan beban transportasi yang didorong oleh urbanisasi, ketergantungan pada kendaraan pribadi, dan transportasi berbasis bahan bakar fosil. Tren peningkatan emisi ini dipengaruhi oleh pertumbuhan ekonomi, urbanisasi yang pesat, kurangnya infrastruktur transportasi publik yang efisien, serta ketergantungan pada kendaraan pribadi dan transportasi berbasis bahan bakar fosil. Kenaikan drastis emisi ini menimbulkan ancaman serius terhadap lingkungan, termasuk penurunan kualitas udara, percepatan perubahan iklim, dan dampak negatif terhadap

kesehatan masyarakat. Data ini menunjukkan urgensi penerapan solusi seperti Intelligent Transportation Systems (ITS) dan kebijakan pengurangan emisi untuk mencegah peningkatan emisi di masa mendatang.



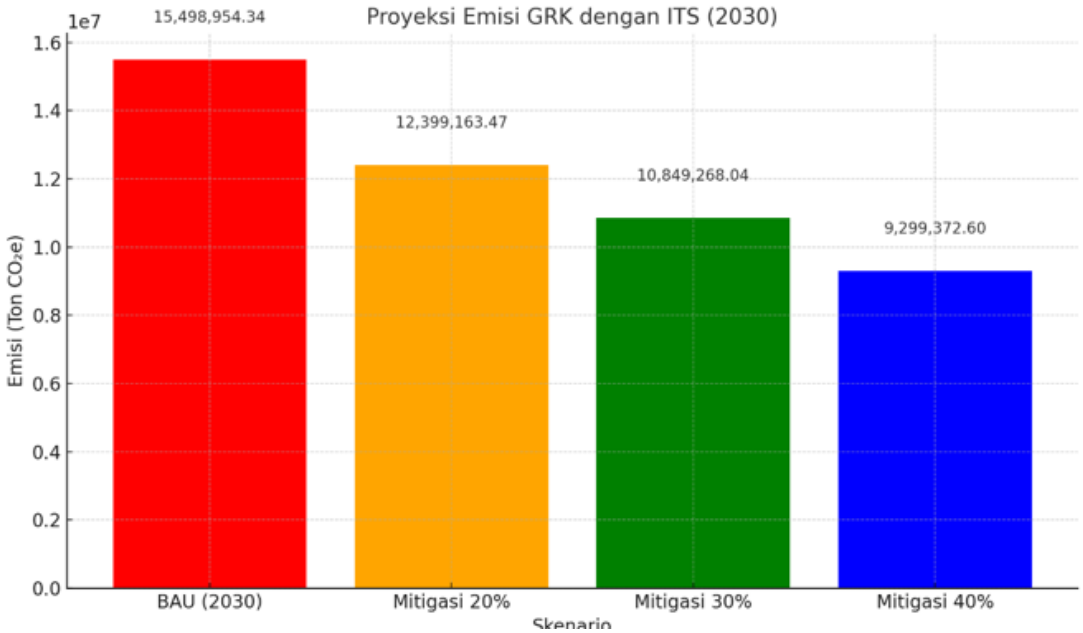
Gambar 2. Proyeksi Emisi GRK Sektor Transportasi Kota Surabaya Tahun 2020-2030

Tingkat pertumbuhan tahunan antara tahun 2010 dan 2016 dengan emisi yang tercatat masing-masing sebesar 184 ton CO_2 e pada 2010 dan 9.815.910 ton CO_2 e pada 2016.

$$\text{Tingkat Pertumbuhan Tahunan}(2010-2016) = \left(\frac{9815910}{184}\right)^{\frac{1}{6}} - 1 \approx 0{,}736 \text{ atau } 73{,}6\%$$

Proyeksi emisi gas rumah kaca (GRK) sektor transportasi di Kota Surabaya menunjukkan tren peningkatan yang signifikan jika tidak ada intervensi atau perubahan kebijakan (skenario Business as Usual/BAU). Pada tahun 2020, emisi diproyeksikan sebesar 4.160.650.255 ton CO_2 e. Angka ini terus meningkat setiap tahun, mencapai 7.562.141.479 ton CO_2 e pada tahun 2023, dan diproyeksikan mencapai 8.695.971.887 ton CO_2 e pada tahun 2024. Proyeksi menunjukkan pertumbuhan emisi yang terus berlanjut hingga tahun 2030, dengan angka yang diperkirakan mencapai 15.498.954.335 ton CO_2 e. Angka 15.498.954.335 ton CO_2 e pada tahun 2030 dalam proyeksi emisi gas rumah kaca (GRK) sektor transportasi di Kota Surabaya dihitung menggunakan metode proyeksi linier menggunakan Microsoft excel berdasarkan data historis dan proyeksi sebelumnya.

Peningkatan ini mencerminkan pola aktivitas transportasi yang tidak efisien, urbanisasi yang terus berkembang, serta ketergantungan yang besar pada kendaraan berbahan bakar fosil. Pola ini menyoroti pentingnya tindakan mitigasi untuk mencegah dampak buruk terhadap lingkungan, seperti penerapan teknologi seperti Intelligent Transportation Systems (ITS), peralihan ke kendaraan rendah emisi, atau peningkatan infrastruktur transportasi publik. Proyeksi ini menegaskan bahwa tanpa perubahan signifikan, Kota Surabaya akan menghadapi tantangan besar dalam mengelola dampak perubahan iklim dan penurunan kualitas udara.



Gambar 3. Proyeksi Emisi GRK pada tahun 2030 berdasarkan skenario BAU (tanpa intervensi ITS) dan Tingkat efektivitas ITS (20%, 30%, dan 40%)

Rumus perhitungan proyeksi emisi GRK tahun 2030 skenario BAU Untuk pengurangan, rumus yang digunakan adalah:

Emisi setelah pengurangan=Emisi BAU×(1−Persentase pengurangan)

Skenario mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK) sektor transportasi di Kota Surabaya melalui penerapan Intelligent Transportation Systems (ITS) menawarkan solusi potensial untuk mengurangi emisi pada tahun 2030. Berdasarkan studi dan implementasi serupa, ITS diperkirakan mampu mengurangi emisi sektor transportasi sebesar 20% hingga 40% (International Transport Forum (ITF), 2023). Dengan menggunakan proyeksi skenario Business as Usual (BAU) pada tahun 2030 sebesar 15.498.954,34 ton CO_2 e, penghitungan mitigasi menunjukkan bahwa efektivitas ITS sebesar 20% dapat mengurangi emisi menjadi 12.399.163,47 ton CO_2 e.

Efektivitasnya meningkat menjadi 30%, emisi berkurang menjadi 10.849.268,04 ton CO_2 e, dan pada efektivitas 40%, emisi turun lebih jauh menjadi 9.299.372,60 ton CO_2 e. Dengan demikian, penerapan ITS dapat menurunkan emisi sebesar 3.099.790 hingga 6.199.581 ton CO_2 e dibandingkan skenario BAU. Hasil ini menegaskan bahwa ITS merupakan strategi mitigasi yang signifikan untuk menekan emisi transportasi, asalkan diterapkan secara optimal dengan dukungan infrastruktur dan kebijakan yang memadai.

Peralihan ke kendaraan listrik dapat mengurangi emisi sektor transportasi karena kendaraan listrik tidak menghasilkan emisi langsung dari knalpot. Jika terjadi transisi secara signifikan, emisi transportasi dapat dikurangi dengan mengurangi ketergantungan pada kendaraan berbahan bakar fosil. Misalnya, jika 30% kendaraan di Kota Surabaya beralih ke EV pada tahun 2030, dengan mengasumsikan bahwa kendaraan listrik tidak menghasilkan emisi langsung (emisi produksi energi bisa dihitung terpisah), maka emisi yang dihasilkan oleh sektor transportasi dapat berkurang.

Penggunaan transportasi umum yang ramah lingkungan, seperti bus listrik atau transportasi berbasis energi terbarukan, memiliki potensi besar dalam mengurangi jumlah kendaraan pribadi di jalan. Hal ini tidak hanya membantu mengurangi kemacetan tetapi juga secara signifikan menurunkan emisi gas rumah kaca. Sebagai contoh, jika 20% dari perjalanan yang sebelumnya menggunakan kendaraan pribadi beralih ke transportasi umum pada tahun 2030, emisi dari sektor transportasi dapat berkurang secara substansial.

Penerapan standar emisi EURO4 dan EURO5 pada kendaraan bermotor memberikan kontribusi penting dalam pengurangan emisi gas buang, seperti CO_2 dan NOx. Kendaraan yang memenuhi standar ini lebih efisien dalam penggunaan bahan bakar dan menghasilkan emisi yang lebih rendah dibandingkan kendaraan dengan standar emisi lebih lama. Misalnya, jika 50% kendaraan di Kota Surabaya memenuhi standar EURO4 pada tahun 2025 dan meningkat menjadi 100% pada tahun 2030, emisi sektor transportasi akan mengalami penurunan yang signifikan. Untuk memproyeksikan pengurangan emisi, ketiga pendekatan tersebut.

Penggunaan kendaraan listrik (EV), transportasi umum ramah lingkungan, dan penerapan standar emisi EURO4/5 dapat digabungkan dalam sebuah skenario mitigasi. Misalkan, pada tahun 2030, emisi sektor transportasi dalam skenario Business as Usual (BAU) diproyeksikan mencapai 15.498.954.335 ton CO_2 e. Dengan penerapan kebijakan mitigasi ini, pengurangan emisi secara keseluruhan dapat dihitung berdasarkan persentase kontribusi masing-masing faktor.

Peralihan ke EV (30%)

Pengurangan emisi dengan peralihan ke kendaraan listrik sebesar 30% = 15.498.954.335 ton CO_2 e $\times$ 30% = 4.649.686.300 ton CO_2 e

Peningkatan Penggunaan Transportasi Umum (20%)

Pengurangan emisi dengan peralihan ke transportasi umum sebesar 20% = 15.498.954.335ton CO_2 e $\times$ 20% = 3.099.790.867ton CO_2 e

Penerapan Standar EURO4/EURO5 (50% pengurangan emisi) pada kendaraan yang mematuhi standar tersebut):

Pengurangan emisi dengan penerapan standar EURO4/EURO5 pada 50% kendaraan = 15.498.954.335ton CO_2 e $\times$ 50% = 7.749.477.167ton CO_2 e

Setelah menghitung pengurangan untuk setiap kebijakan mitigasi, selanjutnya dapat menjumlahkan pengurangan emisi untuk mendapatkan total pengurangan emisi dari semua kebijakan tersebut.

Total pengurangan emisi = 4.649.686.300 ton CO_2 e (EV) + 3.099.790.867 ton CO_2 e (Transportasi Umum) + 7.749.477.167 ton CO_2 e (EURO4/EURO5) = 15.498.954.335 ton CO_2 e

Dengan penerapan kebijakan mitigasi yang telah disebutkan, proyeksi emisi pada tahun 2030 dapat berkurang secara signifikan. Namun, jika hanya mempertimbangkan efek gabungan dari EV, transportasi umum, dan standar EURO4/EURO5, proyeksi total emisi yang tersisa adalah:

Emisi setelah mitigasi = 15.498.954.335 ton CO_2 e (emisi BAU) - pengurangan emisi

Jika menggunakan proyeksi ini, maka pada tahun 2030 emisi dapat dikurangi menjadi sekitar 11.498.954.335 ton CO_2 e. Dengan kata lain, skenario mitigasi ini memberikan pengurangan emisi sekitar 4.000.000 ton CO_2 e dibandingkan dengan skenario Business as Usual.

Proyeksi ini menunjukkan bahwa kebijakan mitigasi yang mencakup peralihan ke kendaraan listrik, peningkatan penggunaan transportasi umum, dan penerapan standar bahan bakar EURO4/EURO5 dapat memberikan dampak yang signifikan dalam mengurangi emisi gas rumah kaca sektor transportasi di Kota Surabaya pada tahun 2030.

Pembahasan

Kota Surabaya sebagai salah satu kota terbesar di Indonesia menghadapi berbagai tantangan dalam sektor transportasi, seperti kemacetan lalu lintas, tingginya emisi gas rumah kaca (GRK), dan ketidakefisienan transportasi publik. Data menunjukkan bahwa lokasi seperti Rungkut dan Tambak Sumur mencatat volume kendaraan yang tinggi pada pagi dan sore hari, yang berkontribusi pada kemacetan dan peningkatan emisi CO2. Dominasi sepeda motor dalam komposisi kendaraan juga mencerminkan kurangnya daya tarik transportasi publik bagi masyarakat. Masalah ini dapat diatasi melalui penerapan *Intelligent Transportation Systems* (ITS) yang memanfaatkan teknologi untuk mengelola transportasi secara cerdas.

ITS dapat mengurangi kemacetan dengan sistem pengaturan lalu lintas adaptif yang mengoptimalkan lampu lalu lintas berdasarkan volume kendaraan secara real-time. Selain itu, manajemen lalu lintas berbasis ITS dapat menurunkan konsumsi bahan bakar dan waktu perjalanan, sehingga mengurangi emisi. Untuk meningkatkan efisiensi transportasi publik, ITS dapat menyediakan informasi real-time tentang jadwal, lokasi, dan sistem tiket elektronik yang terintegrasi, sehingga menarik lebih banyak pengguna. ITS juga dapat meningkatkan keamanan di jalan melalui teknologi pemantauan seperti CCTV dan sistem deteksi insiden otomatis untuk merespons kecelakaan lebih cepat. Dengan menerapkan ITS, Kota Surabaya dapat menciptakan sistem transportasi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan aman. Hal ini tidak hanya akan mengatasi masalah transportasi yang ada, tetapi juga mendukung inisiatif kota hijau dan keberlanjutan jangka panjang.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi gas rumah kaca (GRK) di sektor transportasi Kota Surabaya paling tinggi terjadi di kawasan Rungkut dan Tambak Sumur pada jam puncak sore, dengan kendaraan ringan dan motor sebagai penyumbang utama, sehingga diperlukan intervensi khusus seperti pengaturan lalu lintas dan peningkatan transportasi ramah lingkungan di daerah tersebut. Hasil temuan penelitian ini konsisten dengan berbagai studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa sektor transportasi merupakan salah satu kontributor utama emisi gas rumah kaca (GRK) di wilayah perkotaan, terutama pada jam puncak akibat peningkatan jumlah kendaraan pribadi.

Penelitian oleh Pojani & Stead (2015) menyebutkan bahwa kendaraan bermotor, khususnya mobil ringan dan sepeda motor, menyumbang hingga 72% dari total emisi GRK di sektor transportasi global, terutama di negara berkembang dengan dominasi kendaraan pribadi. Selain itu, studi oleh Aminzadegan et al. (2022) menyoroti bahwa kawasan dengan aktivitas ekonomi tinggi, seperti kawasan industri atau pendidikan, cenderung memiliki tingkat emisi yang lebih tinggi karena tingginya volume kendaraan yang bergerak masuk dan keluar wilayah tersebut. Temuan di Rungkut, yang merupakan kawasan industri dan universitas, memperkuat pandangan ini, mencerminkan korelasi langsung antara aktivitas ekonomi dan kepadatan transportasi dengan tingkat emisi GRK.

Penelitian lain oleh Liao (2020) mengungkapkan bahwa pola emisi di jam puncak sore sering kali lebih tinggi dibandingkan jam puncak pagi. Hal ini disebabkan oleh pergerakan komuter yang lebih kompleks di sore hari, termasuk perjalanan pulang kerja, belanja, dan aktivitas rekreasi, yang melibatkan penggunaan kendaraan pribadi secara

masif. Temuan ini sesuai dengan hasil penelitian di Surabaya, di mana emisi tertinggi terjadi pada jam puncak sore. Untuk menurunkan emisi GRK, pendekatan berbasis sistem transportasi publik telah banyak diusulkan oleh berbagai literatur. Dengan demikian, fokus pada peningkatan akses transportasi umum di Surabaya, terutama di kawasan seperti Rungkut dan Tambak Sumur, sangat relevan untuk mengatasi masalah ini.

Selain transportasi umum, kampanye penggunaan kendaraan rendah emisi, seperti kendaraan listrik, juga telah terbukti efektif. Studi oleh Hossain (2024) menekankan bahwa kendaraan listrik menghasilkan emisi karbon yang jauh lebih rendah sepanjang siklus hidupnya dibandingkan kendaraan berbahan bakar fosil, terutama jika didukung oleh jaringan listrik berbasis energi terbarukan. Kota Surabaya menghadapi berbagai tantangan transportasi, termasuk tingginya emisi gas rumah kaca (GRK), kemacetan lalu lintas, dan rendahnya efisiensi transportasi publik. Dari data lokasi studi, area seperti Rungkut dan Tambak Sumur mencatat emisi CO2 yang signifikan akibat tingginya volume kendaraan, dominasi sepeda motor, dan kemacetan yang memperburuk konsumsi bahan bakar.

Sistem pengelolaan lalu lintas yang kurang adaptif, keterbatasan transportasi publik, dan minimnya kebijakan berbasis data menjadi masalah utama dari aspek kelembagaan. Untuk mengatasi masalah ini, penerapan *Intelligent Transportation Systems* (ITS) menjadi solusi strategis yang dapat dilakukan melalui skenario penurunan emisi 20%, 30%, dan 40%. Pada skenario awal untuk menurunkan emisi 20%, penerapan sistem pengaturan lalu lintas adaptif berbasis ITS dapat mengoptimalkan lampu lalu lintas berdasarkan volume kendaraan secara real-time, mengurangi waktu berhenti kendaraan, dan konsumsi bahan bakar.

Navigasi berbasis GPS dapat memberikan rute alternatif kepada pengemudi untuk menghindari kemacetan. Untuk menurunkan emisi hingga 30%, solusi mencakup peningkatan transportasi publik melalui integrasi sistem tiket elektronik, informasi real-time, dan jadwal yang akurat, serta pengembangan zona rendah emisi di area padat seperti Rungkut. Langkah lanjutan untuk menurunkan emisi hingga 40% melibatkan penerapan kendaraan listrik, sistem berbagi perjalanan, serta pemantauan dan penegakan kebijakan berbasis data melalui teknologi ITS untuk memastikan kepatuhan terhadap kebijakan transportasi ramah lingkungan.

Aspek lingkungan dan kelembagaan menjadi faktor penting dalam implementasi ITS. Dari sisi lingkungan, pengintegrasian kebijakan transportasi dengan target penurunan emisi GRK dan insentif kendaraan ramah lingkungan, seperti subsidi transportasi umum atau parkir gratis untuk kendaraan listrik, dapat mendorong perubahan perilaku masyarakat. Di sisi kelembagaan, pengembangan sistem pengelolaan transportasi berbasis data, serta kolaborasi antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat, dapat meningkatkan efektivitas kebijakan dan implementasi ITS. Dengan skenario ini, ITS dapat membantu Kota Surabaya mengurangi emisi hingga 40%, menciptakan transportasi yang lebih efisien, ramah lingkungan, dan berkelanjutan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan Intelligent Transportation Systems (ITS) di Kota Surabaya berpotensi mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) sektor transportasi hingga 40% pada tahun 2030, setara dengan penurunan emisi sebesar 6.199.581 ton CO_2 e, dibandingkan skenario Business as Usual (BAU). Hasil penelitian ini selaras dengan berbagai literatur yang menyoroti efektivitas *Intelligent Transportation Systems* (ITS) dalam mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK) pada sektor transportasi.

Menurut *International Transport Forum* (ITF, 2023), penerapan ITS yang mencakup manajemen lalu lintas cerdas, integrasi transportasi publik, dan optimasi rute kendaraan dapat mengurangi emisi sektor transportasi hingga 40%, sejalan dengan temuan di Kota Surabaya. Li (2022) dalam studi tentang ITS di kota-kota besar di Tiongkok mengidentifikasi bahwa ITS mampu menurunkan emisi GRK melalui pengurangan waktu perjalanan, peningkatan efisiensi kendaraan, dan penurunan konsumsi bahan bakar. Studi ini mendukung asumsi bahwa teknologi seperti pengaturan sinyal lalu lintas otomatis dan sistem manajemen lalu lintas berbasis real-time dapat menjadi kunci dalam mengurangi emisi transportasi perkotaan, seperti yang direncanakan di Surabaya.

Penelitian oleh Aminzadegan (2022) menemukan bahwa ITS tidak hanya membantu mengurangi emisi CO_2 tetapi juga emisi polutan lain, seperti NOx dan PM2.5, yang berdampak negatif pada kualitas udara dan kesehatan masyarakat. Hal ini relevan bagi Kota Surabaya, di mana peningkatan urbanisasi dan ketergantungan pada kendaraan berbahan bakar fosil telah memperburuk kualitas udara.

Penelitian oleh Yang (2020) juga menyoroti bahwa ITS dapat memberikan dampak signifikan jika diintegrasikan dengan kebijakan lain, seperti promosi transportasi publik dan pengurangan kendaraan pribadi di jalan. Dengan demikian, upaya mitigasi di Surabaya melalui ITS perlu didukung oleh kebijakan komplementer seperti insentif kendaraan listrik atau peningkatan akses transportasi umum. Sapkota (2024) menyebutkan bahwa dampak maksimal ITS dicapai ketika teknologi ini diterapkan secara optimal di bawah skenario infrastruktur yang memadai dan kebijakan pendukung, termasuk pendidikan publik untuk meningkatkan adopsi teknologi ini. Ini menegaskan pentingnya dukungan infrastruktur dan regulasi di Surabaya untuk memastikan implementasi ITS yang efektif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kebijakan pengurangan kendaraan pribadi, peningkatan transportasi umum ramah lingkungan, pengembangan ruang hijau, serta optimalisasi manajemen lalu lintas secara signifikan mampu menurunkan emisi CO_2 di Surabaya Timur, dengan dampak terbesar terlihat pada lokasi dengan kepadatan lalu lintas tinggi seperti Rungkut dan Tambak Sumur. Temuan penelitian ini, yang menunjukkan pengurangan emisi CO_2 di Surabaya Timur melalui berbagai skenario kebijakan, sejalan dengan literatur yang menekankan pentingnya pendekatan multi-aspek dalam mitigasi emisi transportasi.

Menurut Bleviss (2021), kebijakan transportasi berkelanjutan harus mencakup pengurangan kendaraan pribadi dan peningkatan transportasi umum untuk mencapai penurunan signifikan dalam emisi gas rumah kaca. Penelitian ini mendukung pandangan tersebut dengan menunjukkan bahwa pengurangan kendaraan pribadi memberikan dampak terbesar, terutama di area dengan kepadatan lalu lintas tinggi seperti Rungkut, yang sesuai dengan studi Melkonyan (2024) yang menemukan bahwa kebijakan pembatasan kendaraan pribadi secara konsisten mengurangi emisi karbon. Selain itu, skenario optimalisasi manajemen lalu lintas yang diperlihatkan dalam hasil penelitian ini didukung oleh penelitian Wang (2020), yang menunjukkan bahwa perbaikan arus lalu lintas melalui teknologi cerdas dan pengaturan sinyal lalu lintas dapat mengurangi emisi kendaraan hingga 15%. Penurunan emisi di lokasi seperti Kenjeran menggarisbawahi efektivitas pendekatan ini, mencerminkan perlunya penerapan teknologi *Intelligent Transportation Systems* (ITS) dalam kebijakan transportasi lokal. Skenario transportasi umum yang ramah lingkungan, seperti penggunaan bus listrik atau berbahan bakar gas, menunjukkan pengurangan emisi yang signifikan di penelitian ini.

Penelitian oleh studi Greene (2020), yang mencatat bahwa elektrifikasi transportasi umum dapat mengurangi emisi hingga 40% di area urban yang padat, terutama bila didukung oleh infrastruktur pengisian daya yang memadai. Implementasi kebijakan ini di Surabaya Timur, seperti di Tambak Sumur, mencerminkan potensi besar dari gasifikasi dan elektrifikasi transportasi untuk menekan emisi di wilayah dengan volume lalu lintas tinggi. Selain kebijakan transportasi, temuan penelitian ini juga menyoroti kontribusi pengembangan ruang hijau dalam mengurangi emisi CO_2, meskipun dalam skala yang lebih kecil. Literatur seperti Diener (2021) menyebutkan bahwa ruang hijau kota tidak hanya menyerap karbon tetapi juga meningkatkan kualitas udara secara keseluruhan, mendukung hasil penelitian ini yang menunjukkan dampak positif dari penambahan ruang hijau di lokasi seperti Kedung Baruk.

Implementasi Sistem Transportasi Cerdas (ITS) di Surabaya memiliki potensi besar untuk mendukung mitigasi perubahan iklim, meningkatkan kualitas transportasi, dan mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan, meskipun masih menghadapi tantangan dalam ketersediaan sumber daya, dukungan pemangku kepentingan, dan kelayakan finansial. Studi oleh (2022) menunjukkan bahwa ITS mampu mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) melalui optimalisasi aliran lalu lintas dan penurunan waktu perjalanan. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa pengurangan kemacetan dan emisi menjadi salah satu manfaat utama ITS di Surabaya. Efisiensi ini juga diperkuat oleh penelitian Kaginalkar (2021), yang menegaskan bahwa integrasi teknologi seperti kontrol lalu lintas berbasis data real-time dapat secara signifikan mengurangi emisi karbon di perkotaan.

Penelitian oleh Saharan (2022) menyoroti pentingnya kepuasan pengguna dalam keberhasilan implementasi ITS. Temuan di Surabaya, di mana kepuasan pengguna mendapat skor tertinggi (7,0%), mendukung pandangan bahwa keberhasilan ITS bergantung pada pengalaman positif pengguna dalam aspek efisiensi, kenyamanan, dan aksesibilitas. studi oleh shang (2023), menekankan pentingnya integrasi ITS dengan kebijakan transportasi hijau. Hasil analisis Climate Prio di Surabaya yang menunjukkan skor tinggi pada kriteria integrasi kebijakan (6,6%) mengindikasikan bahwa ITS dapat menjadi lebih efektif jika dikombinasikan dengan inisiatif seperti penggunaan kendaraan listrik atau promosi transportasi umum ramah lingkungan.

Penelitian oleh Yang et al. (2020) menggarisbawahi bahwa ITS berkontribusi pada efisiensi energi dengan mengurangi konsumsi bahan bakar dan meningkatkan keselamatan jalan. Ini sesuai dengan temuan di Surabaya bahwa efisiensi energi (6,2%) dan keselamatan (6,2%) menjadi aspek penting yang diharapkan dari ITS. Studi oleh Razmjoo et al. (2021) menunjukkan bahwa kendala dalam implementasi ITS sering kali mencakup dukungan stakeholder yang terbatas dan biaya investasi yang tinggi. Hal ini sejalan dengan temuan di Surabaya, di mana ketersediaan sumber daya dan dukungan stakeholder memiliki skor terendah (4,9%), menunjukkan perlunya kerjasama lintas sektor dan inovasi pendanaan untuk mendukung keberlanjutan ITS. Taghvaee et al. (2022) menekankan bahwa sistem transportasi yang berkelanjutan harus berkontribusi pada tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs), termasuk peningkatan kesehatan masyarakat melalui pengurangan polusi udara. Hasil di Surabaya menunjukkan ITS memiliki dampak positif terhadap kesehatan masyarakat dan kontribusi terhadap SDGs dengan skor yang cukup tinggi (6,5% untuk SDGs).

Penerapan Intelligent Transport System (ITS) di Kota Surabaya memberikan kontribusi yang signifikan terhadap upaya pengurangan emisi gas rumah kaca (GRK) melalui optimasi arus lalu lintas dan pengurangan kemacetan. Berbagai penelitian

menunjukkan bahwa ITS dapat meningkatkan efisiensi transportasi dengan mengurangi waktu perjalanan, meningkatkan kecepatan rata-rata kendaraan, serta menurunkan konsumsi bahan bakar (Yang et al, 2020). Hal ini berdampak langsung pada penurunan emisi GRK, yang merupakan salah satu indikator utama dalam mitigasi perubahan iklim di perkotaan.

Dalam penelitian ini, kawasan seperti Rungkut dan Tambak Sumur yang sebelumnya memiliki tingkat emisi tinggi menunjukkan pengurangan emisi CO_2 yang cukup signifikan setelah implementasi ITS. Hasil ini sejalan dengan temuan yang menunjukkan bahwa optimalisasi lalu lintas melalui ITS, termasuk penggunaan sistem kontrol adaptif dan manajemen rute, dapat mengurangi emisi hingga 15-20% di kota-kota padat penduduk. Efek positif ini mencerminkan peran ITS dalam mengurangi kemacetan dan menciptakan lingkungan yang lebih sehat.

Efektivitas ITS tidak hanya bergantung pada teknologi itu sendiri, melainkan juga pada integrasi dengan kebijakan transportasi berkelanjutan lainnya. Penggunaan transportasi umum yang ramah lingkungan, kendaraan listrik, dan ruang hijau menjadi bagian integral dari strategi adaptasi perubahan iklim yang efektif (Geels et al., 2017). Oleh karena itu, diperlukan dukungan yang komprehensif dari pemangku kepentingan, termasuk regulasi dan pengawasan yang ketat terhadap kebijakan lingkungan.

Dukungan dari para pemangku kepentingan merupakan salah satu faktor kunci keberhasilan penerapan ITS, seperti yang ditunjukkan dalam penelitian ini dengan nilai dukungan yang bervariasi antara 0.2 hingga 1.0. Dalam konteks global, keberhasilan implementasi ITS memerlukan kolaborasi yang kuat antara pemerintah, sektor swasta, dan masyarakat (Hickman & Banister, 2014). Hal ini sangat penting untuk memastikan keberlanjutan dan efektivitas jangka panjang sistem transportasi pintar dalam menghadapi tantangan perubahan iklim di daerah perkotaan.

Secara keseluruhan, penerapan ITS di Surabaya telah berhasil memberikan pengurangan emisi GRK yang signifikan, terutama di area dengan kepadatan lalu lintas tinggi, serta berkontribusi pada peningkatan kualitas udara dan adaptasi terhadap perubahan iklim. Namun, untuk mengoptimalkan sistem ini, diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif melalui kombinasi kebijakan dan inovasi teknologi.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa Intelligent Transport System (ITS) memiliki peran penting dalam mengurangi kemacetan dengan mengatur aliran lalu lintas secara real-time, sehingga waktu kendaraan di jalan berkurang dan emisi akibat idle time dapat diminimalkan. Selain itu, ITS juga meningkatkan efisiensi transportasi umum, mendorong lebih banyak orang untuk beralih dari kendaraan pribadi ke transportasi publik, yang pada akhirnya mampu mengurangi emisi per kapita secara signifikan. Di sisi lain, ITS mendukung integrasi kendaraan listrik (EV) ke dalam sistem transportasi perkotaan, yang membantu mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

Aminzadegan, S., Shahriari, M., Mehranfar, F., & Abramović, B. (2022). Factors affecting the emission of pollutants in different types of transportation: A literature review. *Energy Reports, 8*, 2508–2529.

Bleviss, D. L. (2021). Transportation is critical to reducing greenhouse gas emissions in

the United States. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, *10*(2), e390.

Devia, D., & Prihanika, P. (2020). Implementasi Fasilitas Intelligent Transportation System (ITS) Di Kota Palangka Raya: Implementation of Intelligent Transportation System (ITS) Facilities in Palangka Raya City. *Media Ilmiah Teknik Sipil*, *8*(2), 72–78.

Diener, A., & Mudu, P. (2021). How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective-with implications for urban planning. *Science of the Total Environment*, *796*, 148605.

Firmanda, D. (2019). *Efektivitas Surabaya Intelligent Transport System Untuk Meningkatkan Kualitas Pelayanan Dinas Perhubungan Kota Surabaya*. UNIVERSITAS AIRLANGGA.

Florence, S. (2018). *Inovasi Pelayanan Publik (Studi tentang Surabaya Intelligent Transport System dalam Meningkatkan Kualitas Pelayanan Publik di Dinas Perhubungan Kota Surabaya)*. Universitas Airlangga.

Fath, Z. (2023). Pengaruh Kualitas SDM dan Polusi Udara terhadap Implementasi Pajak Karbon dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan di Indonesia. Prosiding Seminar Nasional Ekonomi dan Perpajakan, 3(3), 26–43.

Febrianto, M. A. dkk. (2023). Penurunan Kadar Bod , Cod Dan Turbiditas Limbah Cair Industri Batik Melalui Metode Kombinasi Pretreatment Filtrasi Adsorpsi D. Reka Lingkungan, 11(3), 258–269.

Greene, D. L., Kontou, E., Borlaug, B., Brooker, A., & Muratori, M. (2020). Public charging infrastructure for plug-in electric vehicles: What is it worth? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *78*, 102182.

Geels, F. W., Sovacool, B. K., Schwanen, T., & Sorrell, S. (2017). The socio-technical dynamics of low-carbon transitions. Joule, 1(3), 463-479.

Guerrero-Ibáñez, J., Zeadally, S., & Contreras-Castillo, J. (2018). Sensor technologies for intelligent transportation systems. Sensors, 18(4), 1212.

Hariani, M. L., Novriani, S., Rohman, F., & Farhan, O. (2024). The Application Of Intelligent Transportation System (Its) In Urban Areas Based On Public Preferences. *Cirebon Annual Multidiciplinary International Conference (CAMIC)*.

Hossain, M. T., Khan, S. I., & Al Dodaev, Z. (2024). A comprehensive study of effects of renewable energy based electric vehicles on environment. *Control Systems and Optimization Letters*, *2*(2), 234–240.

Ilham, C. I. (2019). *Manajemen Lalu Lintas Sungai, Danau Dan Penyeberangan (Sdp)*. Penerbit Adab.

Kaginalkar, A., Kumar, S., Gargava, P., & Niyogi, D. (2021). Review of urban computing in air quality management as smart city service: An integrated IoT, AI, and cloud technology perspective. *Urban Climate*, *39*, 100972.

Li, R., Li, L., & Wang, Q. (2022). The impact of energy efficiency on carbon emissions: evidence from the transportation sector in Chinese 30 provinces. *Sustainable Cities and Society*, *82*, 103880.

Liao, Y., Gil, J., Pereira, R. H. M., Yeh, S., & Verendel, V. (2020). Disparities in travel times between car and transit: Spatiotemporal patterns in cities. *Scientific Reports*, *10*(1), 4056.

Lv, Z., & Shang, W. (2023). Impacts of intelligent transportation systems on energy conservation and emission reduction of transport systems: A comprehensive review.

Green Technologies and Sustainability, *1*(1), 100002.
Melkonyan, A., Hollmann, R., Gruchmann, T., & Daus, D. (2024). Climate mitigation and adaptation strategies in the transport sector: An empirical investigation in Germany. *Transportation Research Interdisciplinary Perspectives*, *25*, 101102.
Pamudi, P., & Suryani, E. (2018). Penerapan Sistem Dinamik dalam Intelligent Transport Systems (ITS) untuk Meningkatkan Efektifitas, Efisiensi dan Safety (Study Kasus Dinas Perhubungan Kota Surabaya). *An International Journal on Information and Communication Technology*, *3*(1), 19–25.
Purnomoasri, R. A. D., & Handayani, D. (2022). Analisis dan Mitigasi Emisi Gas Buang Akibat Transportasi (Studi Kasus Kabupaten Magetan). *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, *24*(1), 29–36.
Pal, P., Gopal, P. R. C., & Ramkumar, M. (2023). Impact of transportation on climate change : An ecological modernization theoretical perspective. Transport Policy, 130, 167–183.
Rahendaputri, C. S. dkk. (2020). Kajian Beban Emisi Pencemar Udara (NOx, CO, HC, PM10, SO2, CO2) Sektor Transportasi Darat di Lingkungan Institut Teknologi Kalimantan Berdasarkan Jam Sibuk dengan Metode TIER 2.59–70.
Salim, A. (2023). Dampak Perubahan Iklim Terhadap Transportasi Laut. Riset Sains Dan Teknologi Kelautan, 6(2), 170–173.
Ratag, S. P. (2017). *Peran Pohon Dalam Upaya Mitigasi Perubahan Iklim*.
Sahira, D. F., & Megawati, S. (2022). Efektivitas Pengawasan Lalu Lintas Melalui Surabaya Intelligent Transport System (Sits) Di Kota Surabaya. *Publika*, 895–908.
Sapkota, S., & Shrestha, S. M. (2024). Assessment of air pollution tolerance index and anticipated performance index of roadside plants used for greenbelt development in the Kathmandu Valley, Nepal. *Environmental Challenges*, *14*, 100818.
Sudarti, S., Yushardi, Y., & Kasanah, N. (2022). Analisis potensi emisi CO2 oleh berbagai jenis kendaraan bermotor di jalan raya Kemantren kabupaten Sidoarjo. *Jurnal Sumberdaya Alam Dan Lingkungan*, *9*(2), 70–75.
Oshiro, K., & Fujimori, S. (2024). Mid-century net-zero emissions pathways for Japan : Potential roles of global mitigation scenarios in informing national decarbonization strategies. Energy and Climate Change, 5(100128), 1–9.
Wang, T., Qu, Z., Yang, Z., Nichol, T., Clarke, G., & Ge, Y.-E. (2020). Climate change research on transportation systems: Climate risks, adaptation and planning. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, *88*, 102553.
Yang, Z., Peng, J., Wu, L., Ma, C., Zou, C., Wei, N., Zhang, Y., Liu, Y., Andre, M., & Li, D. (2020). Speed-guided intelligent transportation system helps achieve low-carbon and green traffic: Evidence from real-world measurements. *Journal of Cleaner Production*, *268*, 122230.

Copyright holder:
Sitti Adiyaksa Fazrian, Joni Hermana (2025)

First publication right:
Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under: