

Daya Serap Ruang Terbuka Hijau Perkotaan Terhadap Emisi Sektor Transportasi. Studi Kasus Kota Bontang

Christia Meidiana^{1*}, Yan Akhbar Pamungkas¹, Muji Esti Wahyudi² dan Maria Evelyn¹

¹ Universitas Brawijaya

² Badan Perencanaan Pembangunan, Riset dan Inovasi Daerah Kota Bontang

Abstrak: Beragam kegiatan perkotaan yang terdapat di guna lahan berbeda di Kota Bontang termasuk permukiman, area komersial, kawasan public dan industri telah membentuk dinamika kota Bontang termasuk adanya pergerakan manusia dan barang yang melibatkan penggunaan bahan bakar. Penggunaan bahan bakar di sub-sektor transportasi, sebagai bagian dari emisi gas rumah kaca (GRK) sektor energi, menjadi salah satu penyumbang emisi di Kota Bontang sehingga penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kemampuan daya serap vegetasi RTH Kota Bontang terhadap emisi sektor transportasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah perhitungan emisi dan estimasi daya serap vegetasi yang tersebar di RTH Kota Bontang baik di daratan maupun pesisir. Perhitungan emisi karbon mengacu pada Tier 2 IPCC 2006 untuk sektor transportasi sedangkan estimasi daya serap dilakukan berdasarkan jenis tutupan lahan yang ada di Kota Bontang yaitu hutan alami, hutan mangrove dan padang lamun dan luas masing-masing tutupan lahan tersebut. Hasil perhitungan emisi menunjukkan jumlah total emisi sektor transportasi di Kota Bontang adalah rata-rata 0,15 Ggton/tahun dengan trend kenaikan sekitar 2,2% pertahun. Sedangkan estimasi perhitungan daya serap menunjukkan pada tahun 2023, hutan memiliki kemampuan menyerap karbondioksida sebesar 0,4 Ggton, sedangkan hutan mangrove dan padang lamun masing-masing menyerap sebesar 6,2 Ggton dan 0,031 Ggton. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa RTH Kota Bontang mampu menyerap emisi dari sektor transportasi. Namun al ini tidak berarti Kota Bontang telah mampu mengatasi emisi karbon di Kota Bontang karena sektor transportasi hanya bagian dari sektor energi

Keywords: Daya serap vegetasi, Tutupan lahan, Emisi gas rumah kaca

DOI:

<https://doi.org/10.47134/stti.v1i1.2411>

*Correspondence: Christia Meidiana

Email: c_meideiana@ub.ac.id

Received: 05-05-2024

Accepted: 05-05-2024

Published: 22-05-2024



Copyright: © 2024 by the authors.
Submitted for open access publication
under the terms and conditions of the
Creative Commons Attribution (BY SA)
license
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Abstract: Bontang City's urban dynamic comprises various activities across various land uses, including settlement, commercial, public service, and industrial areas which stimulates people and goods mobility involving fuel consumption. Fuel consumption in transportation as a part of energy sector emission contributes greenhouse gas emission especially in urban area like Bontang City. Therefore, the study aims to analyze the carbon absorption of transportation emissions through vegetation in three kinds of land uses namely forest, mangrove and seagrass bed. The method in the study includes the GHG emission calculation using Tier 2 IPCC 2006 and vegetation capacity to absorb GHG using the product of area and type of land covering. The result showed that the total amount of GHG emission is approximately 0.15.. Ggton/year with average yearly increase of 2.2%. Meanwhile, calculation of vegetation capacity shows that forest, mangrove and seagrass bed can absorb GHG about 0.4.Ggton, 6.2 Ggton, and 0.031 Ggton respectively in 2023. The outcome from the two calculation shows that vegetation in Bontang City can absorb the total GHG emission from transportation. However, it is not necessarily indicate that Bontang City has overcome the problem of GHG emission since transportation is only part of the wider sektor i.e. energy sector.

Keywords: Carbon absorption: land covering; greenhouse gas

Pendahuluan

Pendahuluan harus menggambarkan dengan jelas latar belakang penelitian. Ini juga mendefinisikan kebaruan penelitian. Dalam Pendahuluan, Penulis harus menyatakan tujuan karya/penelitian di akhir bagian pendahuluan. Sebelum tujuan, Penulis harus memberikan latar belakang yang memadai (maksimal 1 paragraf), dan survei/review literatur yang sangat singkat untuk merekam solusi/metode yang ada, untuk menunjukkan mana yang terbaik dari penelitian sebelumnya, untuk menunjukkan batasan utama dari penelitian sebelumnya, untuk menunjukkan apa yang ingin Anda capai (untuk mengatasi keterbatasan), dan untuk menunjukkan manfaat ilmiah atau kebaruan makalah. Hindari survei literatur rinci atau ringkasan hasil. Tidak menggambarkan survei/ulasan literatur sebagai penulis demi penulis, tetapi harus disajikan sebagai kelompok artikel per metode atau topik yang diulas yang mengacu pada beberapa literatur.

Perubahan iklim di wilayah perkotaan merupakan isu yang saat ini menjadi perhatian karena memiliki implikasi penting terhadap peningkatan suhu ekstrem, resiko banjir, dan pengelolaan wilayah pesisir (L. Zhao dan K. Oleson, 2023). Penelitian menunjukkan adanya kenaikan suhu dan penurunan kelembapan relatif di wilayah perkotaan sehingga mengakibatkan peningkatan stress (S. Kumar D et al, 2022). Beberapa dampak perubahan iklim di daerah perkotaan yang sudah terjadi yaitu peningkatan kejadian iklim/cuaca ekstrim seperti badai, angin kencang dan hujan lebat (F. Estrada and P. Perron, 2021)

Peningkatan konsentrasi GRK sebagai penyebab utama perubahan iklim global telah disadari oleh dunia sehingga komitmen dunia dalam rangka penanggulangan iklim dicanangkan melalui berbagai inisiatif misalnya melalui pertemuan tingkat dunia guna menghasilkan dokumen persetujuan misalnya *Paris Agreement* sebagai landasan negara-negara dunia untuk bertindak bersama mengurangi emisi karbon (P. Dargusch, and G. Hil, 2022). Indonesia telah meratifikasi Paris dan berkomitmen mengurangi emisi GRK dalam beberapa dekade ke depan (M.A. Oktaviani et al, 2023). Target ambisius pengurangan emisi serta Net Zero Emissions 2060 dicanangkan melalui Undang-Undang Nomor 16 Tahun 2016 (R. Ariani, 2022). Pencapaian target dilakukan dengan Upaya reduksi GRK dari 4 sektor penyumbang utama emisi nasional yaitu sektor energi (termasuk transportasi), sektor industri, sektor limbah dan sektor kehutanan.

Sektor transportasi secara signifikan menyumbang emisi gas rumah kaca (GRK) dalam dekade terakhir dan merupakan kontributor utama terhadap emisi gas rumah kaca (GRK) maupun polusi udara di wilayah perkotaan yang berdampak pada kesehatan manusia dan lingkungan secara global. Emisi sektor transportasi berasal terutama dari penggunaan bahan bakar fosil yang menghasilkan emisi sekitar 8.260 MtCO₂eq di tahun 2015 atau sekitar 15% emisi GRK yang bersumber dari kegiatan manusia (*anthropogenic greenhouse gas emissions*) (A. L. C. Ferrer and A. M. T. Thom, 2023) dimana penggunaan disel sebagai bahan bakar kendaraan menjadi penyumbang utama masalah kesehatan (M. Halakoo et al, 2023).

Penelitian mengindikasikan bahwa transportasi internasional angkutan barang menghasilkan 1.14 gigatons emisi CO₂ di tahun 2015 dengan Asia, Uni Eropa, dan Amerika serikat menyumbang

hampir tiga perempat jejak carbon (K. Abbood and F. Meszaros, 2023). Hal ini disebabkan adanya peningkatan perdagangan antar benua dan antar negara [8]. Pada tahun 2018, jaringan transportasi minyak mentah diperkirakan telah menyumbang emisi GRK sebesar 97 juta metric ton yang mengindikasikan besarnya kontribusi sektor transportasi terhadap emisi (Y. Wang, 2022). Penelitian tentang emisi karbon dari jasa transportasi secara global menunjukkan dampak sektor industri transportasi terhadap lingkungan khususnya terkait dengan perdagangan dunia dan kekhawatiran akan kebocoran pada siklus karbon (*carbon leakage*) (S. Ankathi et al, 2022). Penelitian tersebut menekankan peran penting sektor transportasi dalam pengurangan emisi GRK global dan kebutuhan akan strategi mitigasi yang berkelanjutan.

Mitigasi perubahan iklim melibatkan dua pendekatan yaitu pengurangan emisi sumber dan memperluas serapan karbon (A. Lindroth and L. Tranvik, 2021). Berbagai strategi pengurangan emisi GRK telah diterapkan di negara-negara di dunia termasuk promosi teknologi efisien energi seperti elektrifikasi, konektivitas dan otomatisasi (M. Seredynski, 2023), penggunaan model optimasi guna estimasi pengurangan emisi GRK dan konsekuensi kebijakan mobilitas elektrik (A. Soukhov et al, 2022). Upaya menginternalisasi eksternalitas akibat emisi lalu lintas dan menerapkan mekanisme insentif dan disinsentif merupakan strategi yang juga diterapkan di beberapa negara untuk mendorong penurunan emisi (Y. Liu, L. Chen, and C. Huang, 2022). Berbagai pendekatan tersebut dilakukan untuk menurunkan emisi global yang merupakan penyebab perubahan iklim serta meningkatkan kualitas udara dengan menurunkan emisi dari sektor transportasi.

Strategi penanggulangan GRK pada sektor transportasi dapat dilakukan misalnya dengan penerapan kebijakan transportasi rendah emisi (D. B. Rahut, and Q. R. Syed, 2022). Penelitian terkait teknologi di sektor transportasi guna menanggulangi perubahan iklim telah menunjukkan potensi penurunan emisi karbon (J. Miller et al, 2019). Emisi karbon mengalami peningkatan pesat dan diperkirakan akan bertambah dua kali lipat pada tahun 2050 (Randolph and A. Dimoka, 2010). Transisi penggunaan kendaraan listrik atau berbasis hydrogen merupakan upaya untuk mengurangi emisi secara signifikan di tahun 2050 (S. Khalili, 2019). Selain itu implementasi upaya reduksi seperti optimasi struktur energi, pengembangan teknologi hemat energi dan promosi transportasi rendah karbon dapat secara signifikan menurunkan emisi karbon. Strategi lain yang dapat dilakukan adalah dengan menggabungkan teknologi penanggulangan perubahan iklim di sektor transportasi telah menunjukkan hasil yang menggembirakan. Saat ini telah dilakukan pemanfaatan teknologi maju di sektor transportasi bertujuan untuk memperluas efisiensi emisi karbon termasuk diantaranya pengembangan *eco-driving control* (G. P. Incremona and P. Polteraue, 2023) penggunaan *artificial intelligence* (AI) pada platform perdagangan karbon (Z. Hua, and B. Shen, 2020), pembuatan model spasial untuk penurunan emisi transportasi regional (Y. Liu, L. Chen, and C. Huang, 2022). Sinergitas antara reduksi emisi GRK dan pencemaran udara melalui sektor transportasi menekankan pentingnya menyesuaikan struktur energi untuk tindakan mitigasi yang efisien. Pengenalan mekanisme perdagangan karbon dan penggabungan

sektor transportasi kendala skema perdagangan karbon juga merupakan langkah penting menuju transportasi rendah emisi (H. Sun, 2020).

Mitigasi perubahan iklim melalui perluasan serapan karbon merupakan strategi yang saat ini dirasa mendesak. Penanggulangan emisi sektor transportasi melalui penyerapan karbon oleh tumbuhan guna proses fotosintesa merupakan salah satu solusi penurunan emisi karbon khususnya di perkotaan. Peran vegetasi dalam menyerap emisi karbon dilakukan melalui perencanaan dan penataan ruang terbuka hijau (RTH) perkotaan dan perluasan tutupan lahan dengan vegetasi dengan kemampuan adaptasi dan mitigasi terhadap perubahan iklim, serta rehabilitasi kawasan hutan kota maupun alami. Hasil penelitian menunjukkan bahwa vegetasi dalam mengimbangi iklim perkotaan dan tekanan lingkungan akibat emisi kendaraan (Nadine, Unger et al, 2020). Penelitian lain menyatakan bahwa reduksi emisi dari transportasi darat dapat meningkatkan produktifitas primer bruto secara signifikan memberikan alternatif solusi iklim alami yang berkorelasi pengurangan emisi, peningkatan kualitas udara dan mitigasi perubahan iklim (H. Singh, 2022).

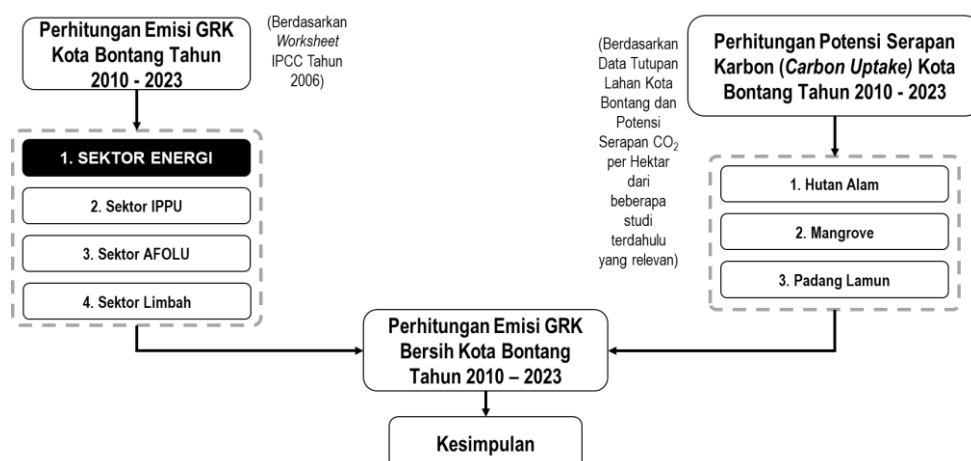
Penggunaan vegetasi sebagai strategi penanggulangan emisi transportasi menawarkan menfaat ekonomi dan sosial. Vegetasi, khususnya di wilayah perkotaan dapat membantu pengurangan polusi udara dengan menangkap polutan seperti PM_{2.5}, SO₂, NH₃, and NO₂ serta CO₂ (R. Popek, 2023). Penerapan solusi berbasis alami melalui vegetasi dapat menekan biaya lebih efektif dibandingkan dengan teknologi tradisional pengendalian polusi sehingga menciptakan manfaat ekonomi dan sekaligus mempromosikan resotransi ekologis dan memperluas kesejahteraan manusia.

Metode Penelitian

1. Wilayah Studi

Penelitian ini dilakukan pada tahun 2023 di Kota Bontang yang memiliki luas 497,57 km² dengan penduduk sebesar 183.161 jiwa tersebar di 3 Kecamatan yakni Kecamatan Bontang Utara, Kecamatan Bontang Selatan dan Kecamatan Bontang Barat. Kota Bontang merupakan kota pesisir dengan luas wilayah laut sekitar 70%. dan diapit oleh hutan lindung di sebelah Barat dan Selatan, Taman Nasional Kutai di sebelah Utara.

Proses penelitian dilakukan dengan mengacu pada Gambar 1 yang melibatkan 2 proses utama yaitu perhitungan emisi GRK dan perhitungan potensi serapan GRK dengan focus pada 1 macam GRK yang dihasilkan oleh transportasi yaitu karbondioksida. Pada perhitungan emisi GRK berdasar dokumen IPCC 2006, transportasi merupakan bagian dari sektor energi sehingga pada perhitungan selanjutnya, rumus yang digunakan adalah rumus perhitungan emisi karbondioksida sub-sektor transportasi. Penelitian ini merupakan tahap awal dari studi perhitungan emisi bersih (*Net emission*) Kota Bontang (V. Gopalakrishnan, 2019).

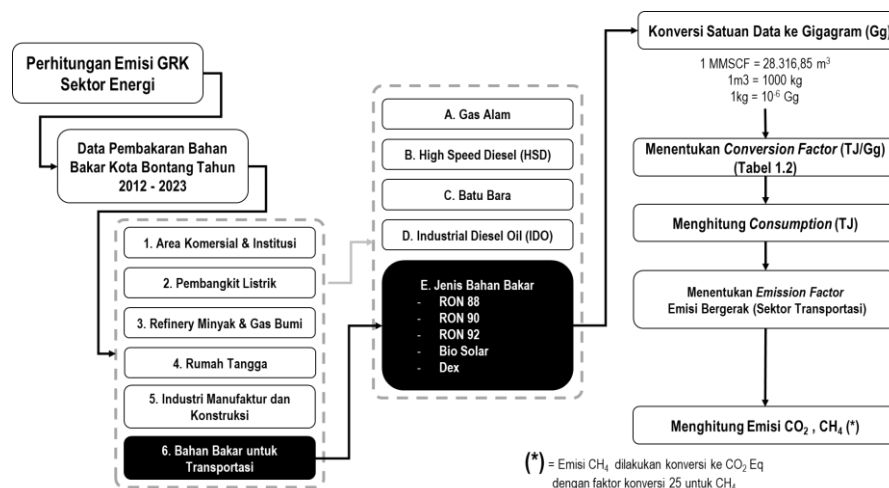


Gambar 1. Lingkup dan fokus penelitian

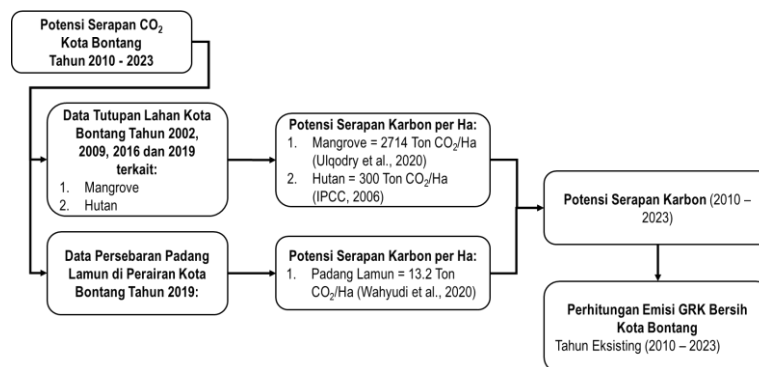
2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan baik secara primer maupun sekunder dengan tujuan mendapatkan nilai dari variable-variabel perhitungan emisi sektor transportasi maupun serapan karbon yang dilakukan oleh vegetasi di RTH di Kota Bontang. Gambar 2 menunjukkan data yang dibutuhkan dan proses perhitungan emisi karbon sektor transportasi. Data jenis bahan bakar didapatkan dari data sekunder sedangkan konsumsi bahan bakar didapatkan baik secara primer maupun sekunder dengan pengamatan di lapangan terkait volume kendaraan, jarak tempuh dan waktu puncak kendaraan.

Identifikasi vegetasi dilakukan untuk mevalidasi data sekunder jenis tutupan lahan utama yang ada di Kota Bontang yaitu hutan alami, mangrove dan padang lamun. Luas dan lokasi sebaran tutupan lahan didapatkan dari data sekunder berupa peta maupun foto-foto yang didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup maupun Bappedalitbang Kota Bontang. Beberapa asumsi digunakan pada perhitungan serapan karbon karena keterbatasan data serial luasan tutupan lahan yang hanya terdokumentasi hingga tahun 2019. Luasan padang lamun, hutan dan mangrove diasumsikan tidak berubah sejak tahun 2019 hingga 2023. Kapasitas serapan karbon setiap jenis tutupan lahan per hektar mengacu pada penelitian sebelumnya yang diasumsikan sama. Pengumpulan data dan proses perhitungan serapan karbon oleh vegetasi di Kota Bontang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Pengumpulan data dan proses perhitungan emisi



Gambar 3. Pengumpulan data dan proses perhitungan serapan karbon

3. Perhitungan EMisi Sektor Transportasi

Bahan bakar transportasi yang umum digunakan di Kota Bontang adalah bensin dan solar (diesel) dengan jenis RON 82, RON 90, RON 92 serta Biosolar dan DEX. Besar konsumsi dari masing-masing sumber emisi dikonversi satuannya menjadi Gigagram dan selanjutnya ditentukan faktor konversi masing-masing sumber emisi. Nilai konsumsi yang sudah dikonversi menjadi satuan Gigagram dikalikan dengan faktor konversi sehingga menghasilkan nilai konsumsi dengan satuan TJ yang selanjutnya digunakan untuk menghitung emisi CO₂.

Perhitungan emisi karbon dilakukan dengan menggunakan rumus yang ditetapkan oleh IPCC (2006) yang membutuhkan pengukuran jumlah total jarak (rumus 1) dan konsumsi bahan bakar. Total konsumsi bahan bakar kemudian dihitung dengan menggunakan rumus 2. Jumlah kendaraan dihitung selama jam puncak yang dibagi menjadi 3 sesi pengamatan yaitu jam 7 – 8 pagi, 12 – 1 siang, dan 5 – 6 sore.

$$S = P_r * N_k \quad (1)$$

$$K_{tot} = S * K_s \quad (2)$$

dimana S adalah jarak [km], P_r adalah panjang jalan [km] dan N_k adalah jumlah kendaraan. Sedangkan perhitungan dengan rumus 2 menghasilkan K_{tot} sebagai total konsumsi BB [liter] yang merupakan hasil perkalian antara S yang merupakan jarak [km] dengan efisiensi BB dalam liter/km (K_s). Total emisi karbon merupakan produk dari total konsumsi BB dan factor emisi seperti ditunjukkan oleh rumus 3. Nilai faktor emisi (FE) mengacu pada nilai default FE oleh Andriono et.al (2013).

$$E_{tot} = K_{tot} * FE \quad (3)$$

dimana E_{tot} adalah emisi total sedangkan K_{tot} adalah total konsumsi BB [liter] dan EF adalah emisi faktor [kg/liter]. Faktor emisi bensin adalah 69,3 kg/liter dan diesel adalah 74.1 kg/liter (Andriono, et al., 2013) Setelah dilakukan identifikasi terhadap jenis BB dan faktor emisinya, maka semua jenis bahan bakar dikonversi menjadi satuan Gigagram, dimana untuk 1 kg adalah 10^6 Gg.

4. Perhitungan Serapan Emisi dari Vegetasi

Kapasitas total vegetasi di Kota Bontang dilakukan dengan menggunakan rumus 4. Pada penelitian ini, perhitungan serapan karbon oleh vegetasi dilakukan berdasarkan jenis tutupan lahan, yaitu hutan alami, mangrove dan padang lamun. Perhitungan nilai serapan karbon pada hutan alam menggunakan nilai *default* untuk kapasitas serapan karbon oleh hutan, mangrove dan padang lamun masing-masing adalah 300 ton CO₂/Ha (IPCC, 2006), 2714 ton CO₂/Ha dan 13,2 ton CO₂/Ha sesuai dengan jenis mangrove dan padang lamun di Kota Bontang. Konversi satuan dari C/Ha//tahun menjadi tonCO₂/Ha/tahun dikalikan dengan faktor konversi 3,667 (Iksan, et al., 2019). Perhitungan nilai serapan karbon pada padang lamun (*blue carbon*) di Kota Bontang dilakukan menurut data yang tersedia yaitu pada tahun 2019. Nilai serapan carbon padang lamun di Kota Bontang dikalikan dengan faktor konversi 3,667 sehingga satuannya menjadi tonCO₂/Ha/tahun (Iksan, et al., 2019).

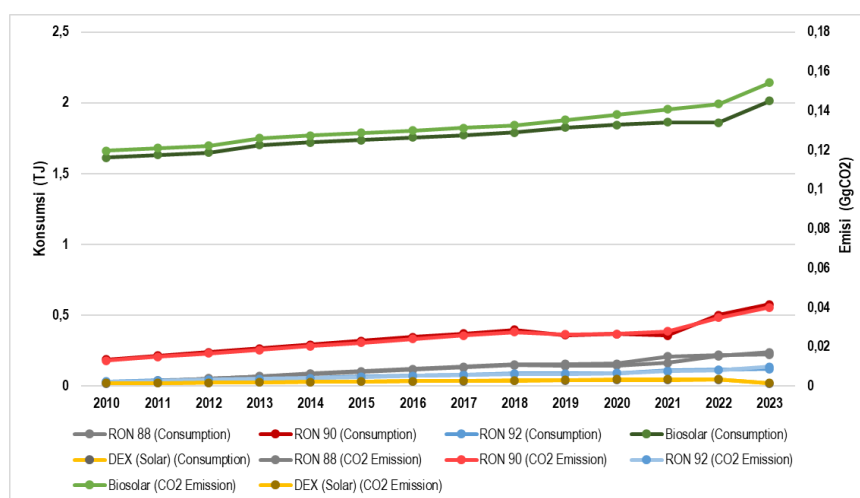
$$Ab_{tot} = \sum(C_i * A_i) \quad (4)$$

dimana Ab_{tot} adalah total serapan [kg CO₂], C_i adalah kapasitas serapan karbon per jenis tutupan lahan [ton CO₂/Ha] sedangkan A_i adalah luas per jenis tutuan lahan [Ha].

Hasil dan Pembahasan

Emisi sektor energi dari sektor transportasi berasal dari penggunaan bahan bakar baik bensin maupun solar yang menghasilkan emisi CO₂. Jenis bensin yang digunakan adalah RON 88, RON 90, RON 92 sedangkan jenis solar yang dikonsumsi adalah Biosolar dan DEX. Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa konsumsi BB untuk semua jenis di Kota Bontang mengalami trend peningkatan rata-rata relatif stabil dari tahun 2010 hingga 2023. Bensin mendominasi konsumsi BB di Kota Bontang dan mengalami fluktuasi sedangkan biosolar dan DEX cenderung meningkat. Seiring dengan peningkatan konsumsi BB, emisi di Kota Bontang dari sektor transportasi juga mengalami

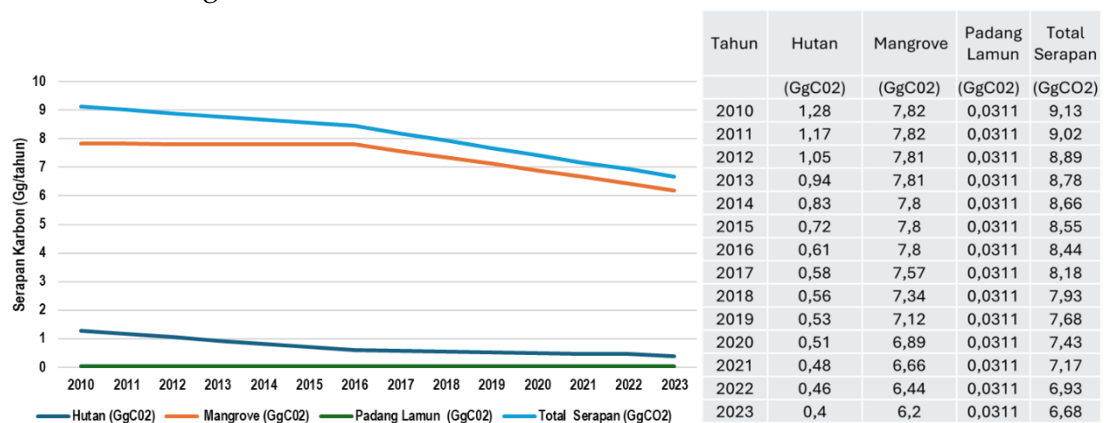
trend peningkatan. Pada tahun 2023, total emisi CO₂ yang dihasilkan dari sektor transportasi adalah sebesar 0,2 Gg. Jumlah ini lebih tinggi dibandingkan tahun-tahun sebelumnya. Diperkirakan jumlah emisi ini akan terus mengalami peningkatan karena jumlah kepemilikan kendaraan pribadi di Kota Bontang diproyeksikan meningkat seiring dengan jumlah penduduk dan perkembangan kota yang menyebabkan kebutuhan bermobilisasi untuk mencapai berbagai tujuan. Tidak adanya angkutan umum di Kota Bontang juga menjadi penyebab mengapa masyarakat membutuhkan kendaraan pribadi untuk melakukan mobilisasi baik ke tempat kerja, sekolah ataupun titik tujuan lainnya.



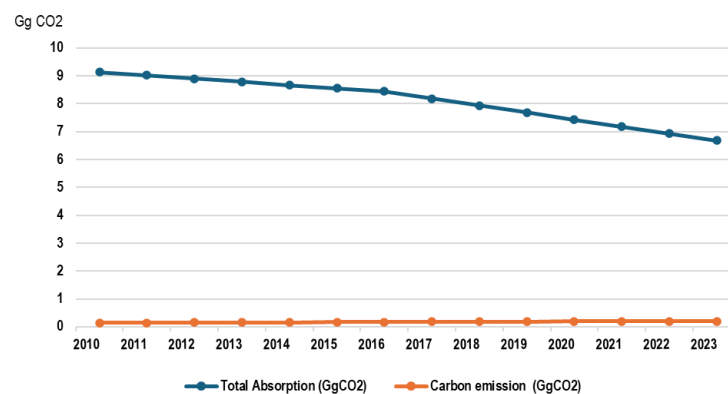
Gambar 4. Konsumsi dan EMisi BB di Kota Bontang

Kota Bontang direncanakan menjadi kota yang berbasis pada bidang industri, jasa dan perdagangan. Di kota ini terdapat 3 industri besar yaitu industri gas alam PT. Badak NGL. Industri pupuk (Urea dan NPK) dan amonia liquid serta industri Batubara PT Indominco Mandiri. Selain itu, terdapat Kaltim *Industrial Estate* yang merupakan kawasan industri petrokimia. Keberadaan industri-industri besar ini mendorong pemerintah setempat untuk selalu berupaya menjadikan kota Bontang menjadi kota yang nyaman baik melalui infrastruktur yang memadai maupun sarana yang mencukupi kebutuhan penduduknya, salah satunya adalah ruang terbuka hijau (RTH). Keberadaan RTH perkotaan dibutuhkan untuk menjaga kualitas udara dan menanggulangi resiko pencemaran akibat adanya industri besar di Kota Bontang. RTH ini juga ditujukan untuk menyerap emisi baik dari sektor industri maupun transportasi yang masih banyak bergantung pada penggunaan BB fosil. Tiga jenis tutupan lahan yang ada di Kota Bontang telah berkontribusi dalam menyerap emisi karbon. Hal ini dapat dilihat pada Gambar 5 yang memperlihatkan kapasitas hutan, mengrove dan padang lamun dalam menyerap karbon. Mangrove memiliki kapasitas terbesar dibandingkan hutan. Hal ini disebabkan intensitas daya serap Mangrove per ha yang lebih besar dibandingkan hutan maupun padang lamun. Luas mangrove mengalami penurunan sejak tahun 2016 hingga 2023 walaupun sudah ada upaya rehabilitasi mangrove yang dilakukan baik oleh pemerintah kota melalui dinas lingkungan hidup (DLH) maupun keterlibatan industri dengan program *corporate social responsibility* (CSR). Hal ini juga terjadi pada hutan yang terus mengalami penyusutan

sejak tahun 2010 hingga 2023. Perubahan guna lahan serta kegiatan *illegal logging* merupakan penyebab dari penurunan luas hutan maupun mangrove di Kota Bontang. Secara keseluruhan daya serap vegetasi yang tumbuh di tiga jenis tutupan lahan di Kota Bontang mengalami penurunan walaupun luas padang lamun tetap. Jika dibandingkan dengan jumlah emisi sektor transportasi, maka serapan vegetasi di Kota Bontang masih jauh lebih tinggi (Gambar 6). Namun, emisi yang dihasilkan oleh sektor transportasi hanya sebagian kecil dari emisi sektor lainnya, khususnya energi. Berdasarkan studi oleh ICLEI pada tahun 2016, diperkirakan emisi sektor energi menyumbang 80% total emisi di Kota Bontang.



Gambar 5. Kapasitas Serapan Karbon dari tiap jenis tutupan lahan di Kota Bontang



Gambar 6. Emisi bersih sektor transportasi di Kota Bontang

Simpulan

Penelitian yang bertujuan untuk menghitung emisi bersih Kota Bontang menghasilkan luaran berupa total emisi di Kota Bontang dari sektor transportasi dan total daya serap vegetasi yang ada di tiga jenis tutupan lahan yaitu hutan, mangrove dan padang lamun. Emisi sektor transportasi mengalami kenaikan 2,2% pertahun sedangkan daya serap vegetasi mengalami penurunan. Hasil perhitungan, terdapat selisih dimana daya serap vegetasi jauh lebih besar dibandingkan total emisi sektor transportasi. Namun hasil ini tidak berarti Kota Bontang telah mampu mengatasi emisi karbon di Kota Bontang karena sektor transportasi hanya bagian dari sektor energi. Oleh karena itu,

pada waktu mendatang penelitian akan dilanjutkan dengan menghitung emisi dari 3 sektor lain yang terdapat di Kota Bontang yaitu sektor energi, sektor industri, sektor limbah dan sektor kehutanan.

Daftar Pustaka

- Abbood, K., & Meszaros, F. (2023). Carbon Footprint Analysis of the Freight Transport Sector Using a Multi-Region Input–Output Model (MRIO) from 2000 to 2014: Evidence from Industrial Countries. *Sustainability*, 15(10). <https://doi.org/10.3390/su15107787>
- Anenberg, S. C., Miller, J., Henze, D. K., Minjares, R., & Achakulwisut, P. (2019). The global burden of transportation tailpipe emissions on air pollution-related mortality in 2010 and 2015. *Environmental Research Letters*, 14(9). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab35fc>
- Ankathi, S., Lu, Z., Zaimes, G. G., Hawkins, T., Gan, Y., & Wang, M. (2022). Greenhouse gas emissions from the global transportation of crude oil: Current status and mitigation potential. *Journal of Industrial Ecology*, 26(6), 2045–2056. <https://doi.org/10.1111/jiec.13262>
- Ariani, R., Hamzani, A. I., & Rahayu, K. (2022). Acceleration of Clean Energy Use Based on The 2015 Paris Agreement. *Journal of Energy Engineering Thermodynamics*, (21), 1–10. <https://doi.org/10.55529/jeet.21.1.10>
- Ayuningsih, A. N., Oktaviani, M. A., Chandra, A., Athyah, N., Manda, P. D., Citra, Z., & Sulaiman, S. D. (2023). Ratifikasi Paris Agreement Dan Pengaplikasian National Determined Contribution (Ndc) Indonesia. *JISIP UNJA (Jurnal Ilmu Sos. Ilmu Polit. Univ. Jambi)*, 7(1), 60–69. <https://doi.org/10.22437/jisipunja.v7i1.21859>
- Bhowmik, R., Rahut, D. B., & Syed, Q. R. (2022). Investigating the Impact of Climate Change Mitigation Technology on the Transport Sector CO₂ Emissions: Evidence From Panel Quantile Regression. *Frontiers in Environmental Science*, 10(June), 1–12. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.916356>
- Estrada, F., & Perron, P. (2021). Disentangling the trend in the warming of urban areas into global and local factors. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1504(1), 230–246. <https://doi.org/10.1111/nyas.14691>
- Ferrer, A. L. C., & Thomé, A. M. T. (2023). Carbon Emissions in Transportation: A Synthesis Framework. *Sustainability*, 15(11). <https://doi.org/10.3390/su15118475>
- Gopalakrishnan, V., Ziv, G., Hirabayashi, S., & Bakshi, B. R. (2019). Nature-Based Solutions Can Compete with Technology for Mitigating Air Emissions across the United States. *Environmental Science & Technology*, 53(22), 13228–13237. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b01445>
- Halakoo, M., Yang, H., & Abdulsattar, H. (2023). Heterogeneity Aware Emission Macroscopic Fundamental Diagram (e-MFD). *Sustainability*, 15(2), 1–18.
- Incremona, G. P., & Polterauer, P. (2023). Design of a Switching Nonlinear MPC for Emission Aware Ecodriving. *IEEE Transactions on Intelligent Vehicles*, 8(1), 469–480. <https://doi.org/10.1109/TIV.2022.3140484>
- Khalili, S., Rantanen, E., Bogdanov, D., & Breyer, C. (2019). Global transportation demand development with impacts on the energy demand and greenhouse gas emissions in a climate-constrained world. *Energies*, 12(20). <https://doi.org/10.3390/en12203870>

- Kumar D., S., Kaushal, D. R., Gosain, A. K., & Sivakumar, B. (2022). Impact of climate change on stormwater drainage in urban areas. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 36(1), 77–96. <https://doi.org/10.1007/s00477-021-02105-x>
- Lindroth, A., & Tranvik, L. (2021). Accounting for all territorial emissions and sinks is important for development of climate mitigation policies. *Carbon Balance and Management*, 16(1), 8–10. <https://doi.org/10.1186/s13021-021-00173-8>
- Liu, Y., Chen, L., & Huang, C. (2022). A Tripartite Evolutionary Game and Simulation Analysis of Transportation Carbon Emission Reduction across Regions under Government Reward and Punishment Mechanism. *Sustainability*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/su141710562>
- Liu, Y., Chen, L., & Huang, C. (2022). Study on the Carbon Emission Spillover Effects of Transportation under Technological Advancements. *Sustainability*, 14(17). <https://doi.org/10.3390/su141710608>
- Popek, R., Fornal-Pieniak, B., Dąbrowski, P., & Chyliński, F. (2023). The Role of Spontaneous Flora in the Mitigation of Particulate Matter from Traffic Roads in an Urbanised Area. *Sustainability*, 15(9). <https://doi.org/10.3390/su15097568>
- Qian, D., Dargusch, P., & Hill, G. (2022). Carbon Management behind the Ambitious Pledge of Net Zero Carbon Emission—A Case Study of PepsiCo. *Sustainability*, 14(4). <https://doi.org/10.3390/su14042171>
- Randolph, A. B., & Dimoka, A. (2010). The Potential of Neuroscience for Human-Computer Interaction Research (pp. 1–3). [Unpublished work]
- Seredynski, M. (2023). Pathways to reducing the negative impact of urban transport on climate change. *IET Smart Cities*, 5(1), 41–48. <https://doi.org/10.1049/smc2.12043>
- Singh, H. (2022). Understanding the physiological and biophysical response of urban roadside plantations for assessing adaptation and mitigation mechanisms toward vehicular emissions. *Urban Climate*, 44(June), 101183. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101183>
- Soukhov, A., Foda, A., & Mohamed, M. (2022). Electric Mobility Emission Reduction Policies: A Multi-Objective Optimization Assessment Approach. *Energies*, 15(19). <https://doi.org/10.3390/en15196905>
- Sun, H. (2020). Uncovering impact factors of carbon emissions from transportation sector: Evidence from China's Yangtze River Delta Area. *Urban Climate*, 44(June), 1423–1437. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101183>
- Surya Husada, V., & Erar Joesoef, I. (2022). Legal Policy of the Indonesian Government to Achieve Net Zero Emissions. *Journal of Research in Social Sciences and Economics Management*, 2(1), 128–133. <https://doi.org/10.59141/jrssem.v2i1.248>
- Unger, N., Zheng, Y., Xu, Y., & Harper, K. L. (2020). Mitigation of ozone damage to the world's land ecosystems by source sector. *Nature Climate Change*. <https://doi.org/10.1038/S41558-019-0678-3>
- Wang, Y. (2022). The volume of trade-induced cross-border freight transportation has doubled and led to 1.14 gigatons CO₂ emissions in 2015. *One Earth*, 5(10), 1165–1177. <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2022.09.007>
- Yang, J., Zhao, L., & Oleson, K. (2023). Large humidity effects on urban heat exposure and cooling challenges under climate change. *Environmental Research Letters*, 18(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/acc475>

Yuan, Q., Hua, Z., & Shen, B. (2021). An automated system of emissions permit trading for transportation firms. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 152, 102385. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102385>