



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - RE184804

**OPTIMALISASI VEGETASI UNTUK MITIGASI EMISI (CO₂)
DI JALAN TOL (STUDI KASUS RUAS JALAN TOL
JAKARTA OUTER RING ROAD S) (JORR S)**

GHIFFARI APRIA RIZKY

NRP. 03211840000096

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

NIP.19650508 199303 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

FAKULTAS TEKNIK SIPIL, PERENCANAAN, DAN KEBUMIHAN

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2022



TUGAS AKHIR - RE184804

**OPTIMALISASI VEGETASI UNTUK MITIGASI EMISI
(CO₂) DI JALAN TOL (STUDI KASUS *RUAS JALAN
TOL JAKARTA OUTER RING ROAD S (JORR S)*)**

GHIFFARI APRIA RIZKY

NRP. 03211840000096

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

NIP. 19650508 199303 1 001

DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN

Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022



FINAL PROJECT - RE184804

**VEGETATION OPTIMIZATION FOR EMISSION (CO₂)
MITIGATION ON TOLL ROADS (CASE STUDY OF THE
JAKARTA OUTER RING ROAD S (JORR S) TOLL ROAD
SEGMENT**

GHIFFARI APRIA RIZKY

NRP. 03211840000096

Advisor

Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

NIP. 19650508 199303 1 001

ENVIRONMENTAL ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Civil, Planning and Earth Engineering

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2022

LEMBAR PENGESAHAN

OPTIMALISASI VEGETASI UNTUK MITIGASI EMISI (CO₂) DI JALAN TOL (STUDI KASUS RUAS JALAN TOL *JAKARTA OUTER RING ROAD S (JORR S)*)

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Ghiffari Apria Rizky

NRP. 0321184000096

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, M.T

Pembimbing

2. Ir. Atiek Moesriati, M.Kes

Penguji

3. Dr. Susi Agustina Wilujeng, ST., MT

Penguji

4. Ainul Firdatun Nisaa, ST , MSc

Penguji



PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa / NRP : Ghiffari Apria Rizky / 03211840000096

Departemen : Teknik Lingkungan

Dosen Pembimbing / NRP : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT / 19650508 199303 1 001

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul "**Optimalisasi Vegetasi Untuk Mitigasi Emisi (CO₂) Di Jalan Tol (Studi Kasus Ruas Jalan Tol Jakarta Outer Ring Road S (JORR S)**" adalah hasil karya saya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.

Bilamana di kemudian hari terdapat ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, 26 Juli 2022

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT)
NIP. 19650508 199303 1 001

Mahasiswa



(Ghiffari Apria Rizky)
NRP. 03211840000096

OPTIMALISASI VEGETASI UNTUK MITIGASI EMISI (CO₂) DI JALAN TOL (STUDI KASUS RUAS JALAN TOL JAKARTA OUTER RING ROAD S (JORR S))

Nama Mahasiswa : Ghiffari Apria Rizky
NRP : 03211840000096
Departemen : Teknik Lingkungan
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

ABSTRAK

Di Indonesia, transportasi merupakan sektor dengan kecenderungan emisi CO₂ yang terus meningkat di mana emisi dari transportasi jalan (*road transportation*) secara dominan menyumbang sekitar 90 % dari keseluruhan emisi CO₂ sektor transportasi. Tercatat perbandingan jumlah kendaraan di ruas jalan Tol JORR S pada bulan januari 2019, yaitu 4.939.342 dan pada bulan maret 2019, yaitu 5.042.766 (BPS, 2019). Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berdampak pada meningkatnya gas-gas hasil pembakaran bahan bakar yang kemudian menimbulkan pencemaran udara. Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* atau biasa disebut (JORR-S) merupakan tol yang menghubungkan Pondok Pinang dengan Jalan Tol Jagorawi dan Kampung Rambutan dengan panjang kurang lebih 14,25 km. Tol ini juga melewati sekitar permukiman warga, dan ketersediaan Ruang Terbuka Hijau di jalan tol JORR S masih minim. Menurut dari Peraturan Menteri No 5/PRT/M/2008 ruang terbuka hijau sendiri merupakan area memanjang/ jalur dan atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam.

Pengoptimalan vegetasi pada Ruang Terbuka Hijau (RTH) ini harus segera dilakukan karena aktivitas kendaraan yang ada pada jalan tol tersebut akan menimbulkan emisi seperti CO₂. Tujuan pengoptimalan ini adalah menghitung jumlah emisi CO₂ kendaraan di Jalan Tol dan merencanakan optimasi lahan vegetasi yang efektif untuk mitigasi pencemaran yang dihasilkan oleh emisi CO₂ kendaraan di Jalan Tol tersebut. Pengoptimalan vegetasi penyerap emisi CO₂ dilakukan dengan menghitung proyeksi jumlah kendaraan lalu dilanjutkan dengan perhitungan emisi CO₂ setelah itu dilakukan perhitungan untuk ketersediaan vegetasi penyerap emisi CO₂ pada RTH dengan emisi karbon dioksida CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang direncanakan selama 10 tahun, selanjutnya akan dilakukan pengoptimalan optimasi lahan vegetasi yang tersedia untuk menyerap emisi CO₂.

Hasil perhitungan yang diperoleh diketahui bahwa jumlah emisi CO₂ total yang didapatkan pada kendaraan golongan I – V pada tahun 2021 yaitu sebesar 216.057.160 kg/tahun dan pada tahun 2032 sebesar 544.219.094 kg/tahun. Kebutuhan optimalisasi vegetasi pada tahun 2021 dibutuhkan perdu/semak dengan komposisi vegetasi 90 % sebesar 25.11 Ha, dan pohon dengan komposisi vegetasi 7% sebesar 9.34 Ha, dan rumput dengan komposisi vegetasi 3 % sebesar 495 Ha sedangkan pada tahun 2032 dibutuhkan sebesar 63.38 Ha perdu/semak dengan komposisi vegetasi 90%, dan 23.58 Ha pohon dengan komposisi vegetasi 7%, dan 1359 Ha rumput dengan komposisi vegetasi 3%.

Kata Kunci : Daya Serap Vegetasi Terhadap CO₂, Emisi CO₂, Jalan Tol, Ruang Terbuka Hijau

Halaman ini sengaja dikosongkan

VEGETATION OPTIMIZATION FOR EMISSION (CO₂) MITIGATION ON TOLL ROADS (CASE STUDY OF THE JAKARTA OUTER RING ROAD S (JORR S) TOLL ROAD SEGMENT

Student Name : Ghiffari Apria Rizky
NRP : 0321184000096
Departement : Teknik Lingkungan
Supervisor : Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT.

ABSTRACT

In Indonesia, transportation is a sector with an increasing trend of CO₂ emissions, where emissions from road transportation dominantly account for about 90% of the total CO₂ emissions of the transportation sector. A comparison of the number of vehicles on the JORR S Toll Road was recorded in January 2019, which was 4,939,342 and in March 2019, which was 5,042,766 (BPS, 2019). The growth in the number of motorized vehicles has an impact on increasing gases resulting from burning fuel, which then causes air pollution. The Jakarta Outer Ring Road S Toll Road or commonly called (JORR S) is a toll road that connects Pondok Pinang with Jagorawi and Kampung Rambutan toll roads with a length of approximately 14.25 km. This toll road also passes around residential areas, and the availability of green open spaces on the JORR S toll road is still minimal. According to Ministerial Regulation No. 5/PRT/M/2008, green open space is an elongated/lane and/or clustered area, which is used more openly, where plants grow, either naturally or intentionally planted.

Vegetation planning in this green open space must be carried out immediately because vehicle activities on the toll road will cause emissions such as CO₂. The purpose of this plan is to calculate the amount of vehicle CO₂ emissions on the toll road and to plan an effective optimization of vegetation land to mitigate pollution generated by vehicle CO₂ emissions on the toll road. Planning for CO₂ emissions absorbing vegetation is carried out by calculating the projected number of vehicles and then proceeding with CO₂ emission calculations and the calculations are made for the availability of CO₂ emissions absorbing vegetation in green open space with CO₂ (carbon dioxide) emissions produced by motorized vehicles, which are planned for 10 years. The next step will be to optimize the available vegetation land to absorb CO₂ emissions.

From the calculation results obtained, it is known that the total amount of CO₂ emissions obtained in class I - V vehicles in 2021 is 216,057,160 kg/year and in 2032 it is 544,219,094 kg/year. And the need for optimizing vegetation in 2021 requires shrubs/shrubs with a vegetation composition of 90% of 25.11 Ha, and trees with a composition of 7% vegetation of 9.34 Ha, and grass with a composition of 3% vegetation of 495 Ha, while in 2032 it is needed for 63.38 Ha of shrubs /shrub with 90% vegetation composition, and 23.58 Ha of trees with 7% vegetation composition, and 1359 Ha of grass with 3% vegetation composition.

Keywords : CO₂ Emissions, Green Open Space, Toll Roads, Vegetation Absorption To CO₂

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat beserta karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “ Optimalisasi Vegetasi Untuk Mitigasi Emisi CO₂ Di Jalan Tol (Studi Kasus Ruas Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S*) (JORR S) ” ini dengan tepat waktu.

Tugas Akhir ini berguna untuk memenuhi syarat penulis untuk menyelesaikan pendidikan sarjana di Departemen Teknik Lingkungan ITS. Dalam kesempatan ini penyusun menyampaikan ucapan terimakasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Dr. Ir. R. Irwan Bagyo Santoso, MT selaku dosen pembimbing Tugas Akhir saya. Terima kasih atas ilmu, bimbingan, kesabaran, dan motivasinya yang telah diberikan kepada saya selama ini.
2. Ibu Ir. Atiek Moesriati, M.Kes selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada saya selama Tugas Akhir ini berlangsung.
3. Ibu Dr. Susi Agustina Wilujeng, ST., MT selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada saya selama Tugas Akhir ini berlangsung.
4. Ibu Ainul Firdatun Nisaa, ST, MSc., selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada saya selama Tugas Akhir ini berlangsung.
5. Ibu Harmin Sulistiyaning Titah, ST., M.T., Ph.D, selaku koordinator Tugas Akhir tahun ajaran 2021/2022.
6. Ayah dan ibu yang telah mendoakan serta memberikan dukungan dan motivasi sehingga Tugas Akhir ini dapat selesai tepat waktu.
7. Teman-teman Teknik Lingkungan 2018 yang telah memberikan semangat dalam penyusunan laporan. Penulis memohon saran, dan kritik dari pembaca terkait dengan Tugas Akhir ini. Terima kasih.

Surabaya, 26 Juni 2022

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

| | |
|--|-----|
| ABSTRAK | i |
| ABSTRACT | iii |
| KATA PENGANTAR | v |
| DAFTAR TABEL | ix |
| DAFTAR GAMBAR | xi |
| BAB I | 1 |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan | 2 |
| 1.4 Manfaat | 2 |
| 1.5 Ruang Lingkup..... | 2 |
| BAB II | 3 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 3 |
| 2.1 Ruang Terbuka Hijau | 3 |
| 2.1.1 Definisi RTH..... | 3 |
| 2.1.2 Peraturan Tentang Ruang Terbuka Hijau | 3 |
| 2.1.3 Jenis Ruang Terbuka Hijau | 3 |
| 2.1.4 Manfaat Ruang Terbuka Hijau..... | 4 |
| 2.1.5 Jalur Hijau (<i>Streetscape</i>) | 5 |
| 2.2 Kemampuan Daya Serap Vegetasi Terhadap CO ₂ | 5 |
| 2.3 Sumber Pencemaran Udara | 6 |
| 2.4 Emisi Karbon Dioksida (CO ₂)..... | 7 |
| 2.5 Nilai Ambang Batas Udara Ambien..... | 10 |
| 2.6 Emisi Gas Buang..... | 10 |
| 2.6.1 Komposisi Emisi Gas Buang..... | 10 |
| 2.6.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Emisi Gas Buang..... | 11 |
| 2.7 Penyeimbangan Lingkungan | 11 |
| 2.8 Vegetasi Untuk Penanggulangan Emisi CO ₂ | 15 |
| 2.8.1 Pohon Trembesi..... | 15 |
| 2.8.2 Pucuk Merah | 15 |
| 2.8.3 Rumput Lamuran..... | 15 |
| 2.9 Metode Proyeksi Kendaraan | 15 |
| 2.9.1 Metode Aritmatika (Rata-rata) | 16 |

| | |
|--|-----------|
| 2.9.2 Metode Geometri (Berganda)..... | 16 |
| 2.9.3 Metode Least Square (Kuadrat Minimum) | 17 |
| 2.10 Box Model dengan Emisi CO ₂ | 17 |
| 2.11 Pemeliharaan Ruang Terbuka Hijau..... | 18 |
| BAB III..... | 21 |
| METODOLOGI PERENCANAAN | 21 |
| 3.1 Gambaran Umum | 21 |
| 3.1.1 Kondisi Eksisting Jalan Tol JORR S..... | 21 |
| 3.2 Kerangka Perencanaan..... | 22 |
| 3.3 Tahapan Perencanaan..... | 25 |
| 3.3.2 Ide Perencanaan..... | 25 |
| 3.3.3 Studi Literatur | 25 |
| 3.3.4 Pengumpulan Data | 26 |
| 3.3.5 Pengolahan Data..... | 26 |
| 3.3.5.1 Perhitungan Proyeksi Jumlah Kendaraan..... | 26 |
| 3.3.5.2 Perhitungan Beban Emisi CO ₂ dari Kendaraan..... | 26 |
| 3.3.5.3 Perhitungan Daya Serap Emisi CO ₂ oleh Tanaman..... | 26 |
| 3.3.6 Analisis Data dan Pembahasan..... | 27 |
| 3.3.7 Tahapan Kesimpulan dan Saran | 27 |
| BAB IV | 29 |
| ANALISIS DAN PEMBAHASAN..... | 29 |
| 4.1 Emisi CO ₂ | 29 |
| 4.2 Proyeksi Kendaraan..... | 29 |
| 4.4 Perhitungan Emisi CO ₂ Dari Kendaraan | 35 |
| 4.5 Perhitungan Daya Serap Vegetasi | 44 |
| BAB V..... | 57 |
| KESIMPULAN..... | 57 |
| 5.1 Kesimpulan | 57 |
| DAFTAR PUSTAKA | 59 |
| BIODATA PENULIS..... | 65 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Faktor Konversi Jenis Kendaraan ke smp | 8 |
| Tabel 2. 2 Faktor Emisi Jenis Bahan Bakar dari Kendaraan | 9 |
| Tabel 2. 3 Konsumsi Energi Spesifik Kendaraan Bermotor | 9 |
| Tabel 2. 4 Daya Serap Gas CO ₂ Penutup Vegetasi | 12 |
| Tabel 2. 5 Kemampuan Tanaman Penyerap CO | 12 |
| Tabel 2. 6 Daftar Pohon Tepi Jalan Berukuran Sedang yang Direkomendasikan | 13 |
| Tabel 2. 7 Daftar Pohon Kecil Yang Direkomendasikan | 14 |
| Tabel 4. 1 Pertumbuhan Jumlah Kendaraan tahun 2017-2020..... | 30 |
| Tabel 4. 2 Koefisien Korelasi Metode Aritmatik | 30 |
| Tabel 4. 3 Koefisien Korelasi Metode Geometrik..... | 30 |
| Tabel 4. 4 Koefisien Korelasi Metode Least Square | 31 |
| Tabel 4. 5 Proyeksi Jumlah Kendaraan Total Tahun 2021 - 2032 | 32 |
| Tabel 4. 6 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 1 Tahun 2021 - 2032..... | 32 |
| Tabel 4. 7 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 2 Tahun 2021 - 2032..... | 33 |
| Tabel 4. 8 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 3 Tahun 2021 - 2032..... | 33 |
| Tabel 4. 9 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 4 Tahun 2021 - 2032..... | 34 |
| Tabel 4. 10 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 5 Tahun 2021 - 2032..... | 34 |
| Tabel 4. 11 Pengonversian Jumlah Kendaraan Total Ke Satuan Mobil Penumpang (smp)..... | 35 |
| Tabel 4. 12 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 1 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp) | 36 |
| Tabel 4. 13 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 2 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp) | 36 |
| Tabel 4. 14 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 3 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp) | 37 |
| Tabel 4. 15 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 4 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp) | 37 |
| Tabel 4. 16 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 5 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp) | 38 |
| Tabel 4. 17 Faktor Emisi Jenis Bahan Bakar dari Kendaraan | 39 |
| Tabel 4. 18 Konsumsi Energi Spesifik Kendaraan Bermotor | 39 |
| Tabel 4. 19 Perhitungan Emisi CO ₂ Dari Kendaraan Total | 40 |
| Tabel 4. 20 Perhitungan Emisi CO ₂ Dari Kendaraan Gol 1 | 41 |
| Tabel 4. 21 Perhitungan Emisi CO ₂ Dari Kendaraan Gol 2 | 41 |
| Tabel 4. 22 Perhitungan Emisi CO ₂ Dari Kendaraan Gol 3 | 42 |
| Tabel 4. 23 Perhitungan Emisi CO ₂ Dari Kendaraan Gol 4 | 42 |
| Tabel 4. 24 Perhitungan Emisi CO ₂ Dari Kendaraan Gol 5 | 43 |
| Tabel 4. 25 Data Vegetasi Tol Jorr S Tahun 2021 | 45 |
| Tabel 4. 26 Data Vegetasi Tol Jorr S Tahun 2022 | 45 |
| Tabel 4. 27 Daya Serap Vegetasi | 46 |
| Tabel 4. 28 Daya Serap Emisi CO ₂ Eksisting | 47 |
| Tabel 4. 29 Sisa Emisi Yang Tidak Dapat Direduksi Oleh Vegetasi Eksisting | 48 |
| Tabel 4. 30 Daya Serap Vegetasi Yang Dipakai Untuk Pengoptimalan | 51 |
| Tabel 4. 31 Kebutuhan Lahan Vegetasi Rumput..... | 52 |
| Tabel 4. 32 Kebutuhan Lahan Vegetasi Perdu/ Semak | 53 |
| Tabel 4. 33 Kebutuhan Lahan Vegetasi Pohon | 54 |

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 2. 1 Tata Letak Jalur Hijau Jalan | 5 |
| Gambar 2. 2 Skema Pencemaran Udara | 6 |
| Gambar 2. 3 Box Model | 18 |
| Gambar 3. 1 Peta Jalan Tol JORR S..... | 21 |
| Gambar 3. 2 Kondisi Eksisting Jalan Tol JORR S | 22 |
| Gambar 3. 3 Diagram Alir Kerangka Perencanaan | 22 |
| Gambar 4. 1 Grafik Total Emisi CO ₂ | 44 |
| Gambar 4. 2 Pohon Trembesi | 49 |
| Gambar 4. 3 Rumput Lamuran | 50 |
| Gambar 4. 4 Perdu/Semak Pucuk Merah..... | 50 |
| Gambar 4. 5 Grafik Kebutuhan Lahan Vegetasi | 55 |
| Gambar 4. 6 Letak Vegetasi Pohon dan Rumput Untuk Dilakukan Pengoptimalan..... | 55 |
| Gambar 4. 7 Letak Vegetasi Perdu/Semak dan Rumput Untuk Dilakukan Pengoptimalan..... | 56 |
| Gambar 4. 8 Letak Vegetasi Perdu/Semak dan Rumput Untuk Dilakukan Pengoptimalan..... | 56 |

Halaman ni sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* atau biasa disebut (JORR S) adalah jalan tol yang menghubungkan Pondok Pinang dengan jalan tol Jagorawi dan Kampung Rambutan. Jalan tol ini awalnya dikelola oleh anak perusahaan Jasa Marga, yaitu PT Jalan tol Lingkar luar Jakarta. Pada 2016 dipindahtangankan kepada PT Hutama Karya. Di Indonesia, transportasi merupakan sektor dengan kecenderungan emisi CO₂ yang terus meningkat di mana emisi dari transportasi jalan (*road transportation*) secara dominan menyumbang sekitar 90 % dari keseluruhan emisi CO₂ sektor transportasi (Timilsina dan Shrestha, 2009). Selain di jalan raya, volume kendaraan tertinggi juga terjadi di jalan tol. Volume kendaraan yang sangat tinggi dengan kecepatan rata-rata yang tinggi mengakibatkan munculnya potensi pencemaran udara dan menimbulkan ketidakharmonisan dengan lingkungan sekitarnya. Tercatat perbandingan jumlah kendaraan di ruas jalan Tol JORR S pada bulan Januari 2019, yaitu 4.939.342 dan pada bulan Maret 2019, yaitu 5.042.766 (BPS, 2019). Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berdampak pada meningkatnya gas-gas hasil pembakaran bahan bakar yang kemudian menimbulkan pencemaran udara (Saepudin dan Admono, 2005).

Permasalahan tersebut secara tidak langsung juga dapat menyebabkan peningkatan suhu secara global (*global warming*) dan pencemaran udara. Oleh karena itu, *global warming* dapat menyebabkan banyak kerugian baik dari segi ekologis maupun ekonomi, maka diperlukan adanya Ruang Terbuka Hijau (RTH) guna untuk mereduksi emisi CO₂ untuk mengatasi masalah lingkungan yang terjadi. Ruang terbuka hijau yaitu merupakan resor karbon (*carbon sink*) yang paling efektif untuk mengurangi emisi CO₂ di atmosfer karena kemampuannya yang dapat menyerap CO₂ dan menghasilkan O₂ melalui proses fotosintesis (Murti, 2015). RTH diklasifikasikan menjadi 2 kelompok, yaitu RTH Publik dan RTH Privat. Menurut Peraturan Menteri No 5/PRT/M/2008 ruang terbuka hijau sendiri merupakan area memanjang/jalur dan atau mengelompok, yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam. Lalu ruang terbuka hijau publik yang artinya ruang terbuka hijau yang dimiliki dan dikelola oleh pemerintah daerah kota/kabupaten yang berguna untuk kepentingan masyarakat secara umum dan ruang terbuka hijau privat adalah ruang terbuka hijau milik institusi tertentu atau orang perseorangan yang pemanfaatannya untuk kalangan terbatas antara lain berupa kebun atau halaman rumah/gedung milik masyarakat/swasta yang ditanami tumbuhan. Penyediaan RTH merupakan bagian dari mitigasi pemanasan global sehingga dipandang sebagai salah satu upaya penanganan terhadap meningkatnya emisi gas rumah kaca yang paling implementatif. RTH dianggap sebagai cara tepat dalam upaya mereduksi emisi CO₂ (Rawung, 2015).

Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* atau biasa disebut (JORR-S) merupakan tol yang menghubungkan Pondok Pinang dengan Jalan Tol Jagorawi dan Kampung Rambutan dengan panjang kurang lebih 14,25 km. Upaya mitigasi dalam mengurangi dampak emisi CO₂ yang sudah dilakukan oleh PT Hutama Karya pada tahun 2021 dengan menanam 1020 pohon bougenville, 210 pohon pucuk merah, 50 pohon ketapang, 20 pohon beringin putih pada ruas jalan median tol tersebut (PT. Hutama Karya). Tol ini juga melewati sekitar permukiman warga, dan ketersediaan Ruang Terbuka Hijau di jalan tol JORR S masih minim. Oleh karena itu, pengoptimalan vegetasi pada Ruang Terbuka Hijau ini harus segera dilakukan karena aktivitas kendaraan yang ada pada jalan tol tersebut akan menimbulkan emisi seperti CO₂ yang berbahaya untuk lingkungan dikarenakan akan menimbulkan efek rumah kaca dan *global warming*, oleh karena itu dibutuhkan pengoptimalan ketercukupan ruang terbuka hijau pada jalan tol yang pada kajian ini terdapat pada kawasan yang menghubungkan antara Pondok Pinang dengan Jalan Tol Jagorawi dan Kampung Rambutan.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari perencanaan ini adalah :

1. Berapa jumlah emisi CO₂ kendaraan di Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S) dari awal hingga konsesi (10 tahun) tanpa mempertimbangkan geometrik jalan dan kecepatan kendaraan?
2. Bagaimana optimasi lahan vegetasi yang tersedia untuk mitigasi serapan CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S)?

1.3 Tujuan

Tujuan dari perencanaan ini meliputi :

1. Menghitung jumlah emisi CO₂ kendaraan di Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S)
2. Mengoptimalkan lahan vegetasi yang tersedia untuk mitigasi serapan CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S)

1.4 Manfaat

Manfaat dari pengoptimalan vegetasi ini adalah sebagai rekomendasi dan acuan untuk bahan pertimbangan bagi pihak pengambil kebijakan dalam penyediaan vegetasi untuk mitigasi serapan CO₂ di Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S).

1.5 Ruang Lingkup

Ruang lingkup batasan dalam perencanaan ini adalah :

1. Lokasi pengoptimalan optimasi lahan vegetasi dilaksanakan di Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S)
2. Pengoptimalan optimasi lahan vegetasi yang tersedia untuk mitigasi serapan CO₂ di Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S) dilakukan dalam rentang waktu Februari – Mei 2022
3. Periode pemanfaatan optimasi lahan vegetasi yang tersedia untuk mitigasi serapan CO₂ di Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S) adalah 10 tahun
4. Parameter yang digunakan adalah CO₂ Analisa bersumber dari aktivitas transportasi kendaraan di Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S)
5. Variabel yang digunakan adalah emisi CO₂ dan luas RTH

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ruang Terbuka Hijau

2.1.1 Definisi RTH

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 05/PRT/M/2008 ruang terbuka hijau memiliki arti yaitu, area memanjang jalur dan atau mengelompok yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh tanaman secara alamiah maupun yang sengaja ditanam. Ruang terbuka hijau, yaitu bagian dari ruang terbuka yang diisi oleh tanaman, tumbuhan dan vegetasi guna mendapatkan manfaat keamanan, kenyamanan, kesejahteraan dan keindahan suatu kawasan (Hakim, 2004).

Ruang terbuka hijau memiliki tujuan yang menurut Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 1 Tahun 2007, meliputi :

1. Menjaga keserasian dan keseimbangan ekosistem lingkungan perkotaan
2. Mewujudkan keseimbangan antara lingkungan alam dan lingkungan buatan di perkotaan
3. Meningkatkan kualitas lingkungan perkotaan yang sehat, indah, bersih dan nyaman

Fungsi ruang terbuka hijau sendiri menurut Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 1 Tahun 2007, meliputi :

1. Pengamanan keberadaan kawasan lindung perkotaan
2. Pengendali pencemaran dan kerusakan tanah, air dan udara
3. Tempat perlindungan plasma nuftah dan keanekaragaman hayati
4. Pengendali tata air
5. Sarana estetika kota

2.1.2 Peraturan Tentang Ruang Terbuka Hijau

Menurut Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 1 Tahun 2007 ruang terbuka hijau kawasan perkotaan minimal 20% dari luas kawasan perkotaan tersebut yang sebagaimana mencakup ruang terbuka hijau publik dan privat. Ruang terbuka hijau publik, yaitu penyediaannya menjadi tanggungjawab pemerintah kabupaten/kota yang dilakukan secara bertahap sesuai dengan kemampuan masing-masing daerah. Ruang terbuka hijau privat, yaitu penyediaannya menjadi tanggungjawab pihak/lembaga swasta, perseorangan dan masyarakat yang dikendalikan melalui izin pemanfaatan ruang oleh Pemerintah Kabupaten/Kota.

2.1.3 Jenis Ruang Terbuka Hijau

Menurut Peraturan Dalam Negeri Nomor 1 Tahun 2007 ruang terbuka hijau perkotaan, meliputi :

1. Taman kota
2. Taman wisata alam
3. Taman rekreasi
4. Taman lingkungan perumahan dan permukiman
5. Taman lingkungan perkantoran dan gedung komersial
6. Taman hutan raya
7. Hutan kota
8. Hutan lindung

9. Bentang alam seperti gunung, bukit, lereng dan lembah
10. Cagar alam
11. Kebun raya
12. Kebun binatang
13. Pemakaman umum
14. Lapangan olahraga
15. Lapangan upacara
16. Parkir terbuka
17. Lahan pertanian perkotaan
18. Jalur dibawah tegangan tinggi (SUTT dan SUTET)
19. Sempadan sungai, pantai, bangunan, situ dan rawa
20. Jalur pengaman jalan, median jalan, rel kereta api, pipa gas dan pedestrian
21. Kawasan dan jalur hijau
22. Daerah penyangga (*bufferzone*) lapangan udara
23. Taman atap (*roof garden*)

Menurut Sumarmi (2012), dalam suatu perkotaan ruang terbuka hijau memiliki beberapa tipe, yaitu :

1. Tipe Permukiman
Ruang terbuka hijau kota di daerah permukiman dapat berupa taman lingkungan, taman di pekarangan dan jalur hijau permukiman dengan komposisi tanaman pepohonan yang tinggi, perdu, semak dan rerumputan. RTH Kota yang dibangun pada areal permukiman bertujuan utama untuk pengelolaan lingkungan permukiman, maka yang harus dibangun adalah RTH kota dengan tipe permukiman.
2. Tipe Kawasan Industri Limbah
Ruang terbuka hijau pada kawasan industri limbah dapat berupa partikel, aerosol, gas dan cairan yang mengganggu kesehatan manusia.
3. Tipe Rekreasi dan Keindahan
4. Tipe Pelestarian Plasma Nuftah
Ruang terbuka hijau yaitu, untuk konservasi guna mencegah kerusakan, perlindungan dan pelestarian terhadap sumber daya alam
5. Tipe Perlindungan
Ruang terbuka hijau dengan kemiringan yang cukup tinggi dengan ditandai dengan tebing-tebing yang curam ataupun daerah tepian sungai yang dapat mengancam seperti terjadinya erosi.

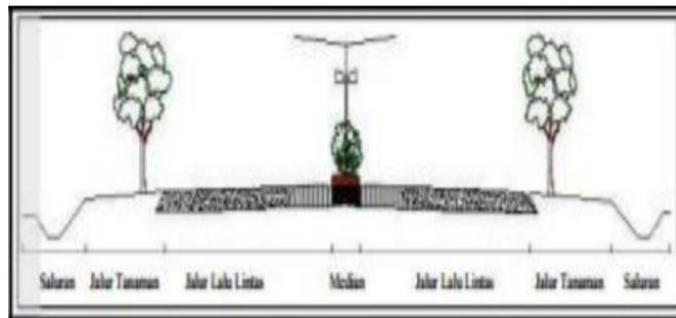
2.1.4 Manfaat Ruang Terbuka Hijau

Manfaat dari RTH menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No 05/PRT/M/2008 terbagi menjadi dua, yaitu :

1. Manfaat langsung (dalam pengertian cepat dan bersifat *tangible*) yaitu, membentuk keindahan dan kenyamanan (teduh, segar, sejuk) dan mendapatkan bahan-bahan untuk dijual (kayu, daun, bunga, buah)
2. Manfaat tidak langsung (berjangka panjang dan bersifat *intangibile*) yaitu pembersih udara yang sangat efektif, pemeliharaan akan kelangsungan persediaan air tanah, pelestarian fungsi lingkungan beserta segala isi flora dan fauna yang ada (konservasi hayati atau keanekaragaman hayati).

2.1.5 Jalur Hijau (*Streetscape*)

Jalur hijau merupakan jalur penempatan tanaman serta elemen lanskap lainnya yang terletak di dalam ruang milik jalan (RUMIJA) maupun di dalam ruang pengawasan jalan (RUWASAJA). Sering disebut jalur hijau karena dominasi elemen lanskapnya adalah tanaman yang pada umumnya berwarna hijau. Menurut Simonds (1983) Jalur hijau jalan merupakan suatu area disepanjang jalan yang ditanami oleh berbagai tanaman dengan tujuan untuk peneduh, membantu mengurangi pencemaran udara, peresapan air, serta tujuan estetika. Disepanjang tepian jalan dapat ditanami tanaman sesuai dengan luas dan lebar jalur yang di gunakan. Adapun jalur hijau jalan tersebut antara lain jalur hijau jalan raya, jalan tol, jalan protocol, jalur rel kereta api dan lainnya.



Gambar 2. 1 Tata Letak Jalur Hijau Jalan

Sumber: Simonds (1983)

Keuntungan ekologis dari jalur hijau yaitu, dapat memenuhi fungsi struktur pengontrol ekologis dan pengontrol sosial. Penanaman jalur hijau jalan dapat bersifat sederhana dalam pelaksanaannya dengan berpedoman kepada kebutuhan, kecocokan penampilan di tiap musim, penampilan di tiap tahapan pertumbuhan, kecocokan antara tanaman dan bangunan serta lingkungan sekitar dan efisiensi dalam pemeliharaan (Simonds, 1983).

2.2 Kemampuan Daya Serap Vegetasi Terhadap CO₂

Setiap tahunnya vegetasi di bumi melakukan fotosintesis dengan termasuk didalamnya proses penyerapan sekitar 150.000 juta ton CO₂ dan 25.000 juta ton hidrogen memproduksi 400.000 juta ton oksigen ke atmosfer, serta menghasilkan 450.000 juta ton zat organik (Irwan, 2005). Tiap jamnya 1 hektar daun hijau dapat menyerap hingga 8 kg CO₂, setara dengan CO₂ yang dihasilkan oleh pernafasan sekitar 200 orang manusia dalam jangka waktu yang sama. Proses fotosintesis, vegetasi (pohon dan organisme fotoautotrof lainnya) menyerap CO₂ dari atmosfer dan mengkonversinya menjadi karbohidrat dan menyimpannya dalam bentuk biomassa pada bagian batang, daun, akar, umbi, buah dan bagian lainnya. Hasil dari fotosintesis ini sering disebut sebagai produktifitas primer, dan produktifitas primer ini akan hilang dalam aktivitas respirasi atau metabolisme sel tumbuhan, dimana CO₂ yang sudah terikat nantinya dilepaskan kembali dalam bentuk CO₂ ke atmosfer (Sutaryo, 2009). Rumus dari fotosintesis adalah sebagai berikut:

Sinar Matahari



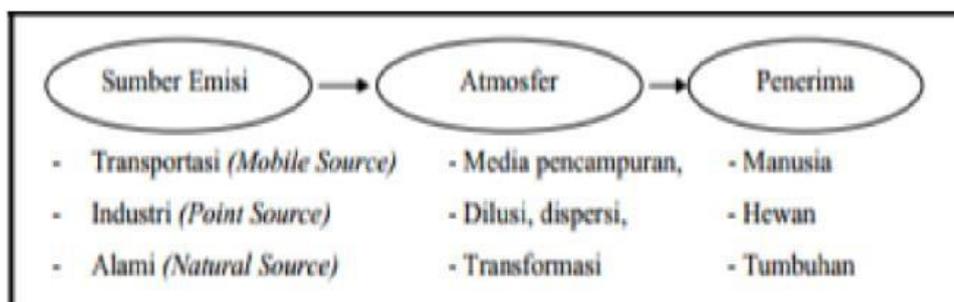
Karbon dioksida (CO₂) diserap dari udara oleh daun, sedangkan air (H₂O) diserap dari tanah melalui suatu proses kimiawi yang melibatkan cahaya matahari dan klorofil untuk menghasilkan zat organik berupa karbohidrat (C₆H₁₂O₆) dan oksigen (O₂). Penyerapan CO₂ dapat mengurangi emisi CO₂ penyebab pemanasan global, sedangkan oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis tersebut juga dapat mengurangi pemanasan global dengan mendinginkan udara. Tanaman pada RTH yang jumlah batangnya mencapai 10.000 batang dengan rata-rata umur 16-20 tahun, memiliki daya serap CO₂ sebesar 800 ton/tahun. Kemampuan vegetasi dalam menyerap CO₂ berbeda berdasarkan umur dan jenisnya. Sebagai contohnya, hasil perencanaan menunjukkan tanaman mahoni usia 11 tahun dengan kerapatan 940 pohon/ha memiliki daya serap sebesar 25,40 ton CO₂/ha/tahun, Tanaman Mangium (*Acacia mangium*) pada usia yang sama dengan kerapatan 912 pohon/ha memiliki kemampuan daya serap sebesar 23,64 ton CO₂/ha/tahun, sedangkan Tanaman Sungkai (*Peronema canescens*) berusia sekitar 8 tahun dengan kerapatan 1016 pohon/ha memiliki daya serap 18,06 kg CO₂/ha/tahun (Siwi, 2012).

2.3 Sumber Pencemaran Udara

Menurut Peraturan Pemerintah No. 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara terdiri atas empat kelompok, yaitu:

1. Sumber bergerak adalah sumber emisi yang bergerak atau tidak tetap pada suatu tempat yang berasal dari kendaraan bermotor.
2. Sumber bergerak spesifik adalah serupa dengan sumber bergerak namun berasal dari kereta api, pesawat terbang, kapal laut dan kendaraan berat lainnya.
3. Sumber tidak bergerak adalah sumber emisi yang tetap pada suatu tempat.
4. Sumber tidak bergerak spesifik adalah serupa dengan sumber tidak bergerak namun berasal dari kebakaran hutan dan pembakaran sampah.

Mekanisme pencemaran udara terdiri atas tiga komponen adalah sebagai berikut :



Gambar 2. 2 Skema Pencemaran Udara

Sumber: Nevers (1995)

Gambar diatas menjelaskan bahwa pencemaran udara diawali dengan hadirnya sumber emisi. Secara garis besar, terdapat tiga sumber emisi utama dalam pencemaran udara yaitu, aktivitas transportasi, proses industri, dan dari sumber alami yaitu, berupa proses pembakaran, letusan gunung, dan sebagainya. Polutan yang dihasilkan akan mengalami proses *dilusi* (pengenceran), transport (pengangkutan), dispersi (penyebaran), dan transformasi, baik secara fisik maupun kimia dalam atmosfer. Kehadiran bahan pencemar tersebut dapat diketahui dengan berupa alat pengukur atau melihat pengaruhnya terhadap manusia, Hewan, tumbuhan atau material. Respon yang ditunjukkan oleh penerima dapat berupa iritasi, timbulnya penyakit, kerusakan material,

dan lainnya yang tergantung oleh tingkat konsentrasi pencemar dan sensitivitas penerimanya (Nevers, 1995).

2.4 Emisi Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon Dioksida CO₂ adalah gas yang tidak berwarna dan tidak mudah terbakar pada suhu dengan tekanan normal yang terdiri dari satu atom karbon dan dua atom oksigen. CO₂ ini mempunyai peran pada karbon bumi yaitu, sebagai proses dalam mengolah karbon dalam berbagai bentuk di seluruh lingkungan. Emisi CO₂ dapat menyerap radiasi inframerah yang dipantulkan bumi dan sehingga suhu atmosfer tersebut menjadi naik. Meningkatnya konsentrasi CO₂ secara bertahap pada atmosfer bumi dapat mendorong terjadinya pemanasan global (*global warming*), dan dapat mengganggu iklim dikarenakan suhu global yang rata-rata dapat meningkat (Widyanadiari, 2011). Menurut Murti (2015) bahwa emisi Karbon Dioksida CO₂ dibagi menjadi dua jenis menurut sifatnya adalah sebagai berikut :

1. Emisi CO₂ primer bersifat langsung, yang diperoleh dari hasil pembakaran bahan bakar fosil seperti untuk memasak dan transportasi yang dapat mengontrolnya secara langsung.
2. Emisi CO₂ sekunder yang bersifat tidak langsung, yang diperoleh dari daur hidup produk-produk yang kita gunakan. Semakin banyak kita memakainya maka semakin banyak juga emisi yang dihasilkan, seperti mengkonsumsi energi listrik.

Menurut Kementerian Lingkungan Hidup (2012) emisi CO₂ dari sektor energi dapat berasal dari kegiatan, yaitu :

1. Emisi hasil pembakaran bahan bakar dari sumber bergerak yaitu, transportasi jalan raya yang berasal dari mobil pribadi (*sedan, mini van, jeep*), kendaraan niaga (*bus, minibus, pick-up, truck*) dan sepeda motor dengan penggunaan bahan bakar seperti premium dan solar, kereta api, transportasi melalui air mulai dari kendaraan sepanjang Rel Kereta Api, jalur hijau dibawah listrik tegangan tinggi. Dan kawasan tersebut 90% dari luas areanya harus dihijaukan dengan jenis vegetasi pohon, perdu, semak dan penutup tanah/rumput.

Emisi CO₂ di dunia secara global yaitu, berasal dari masalah-masalah aktivitas pada manusia , dan sisanya dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil yaitu, minyak bumi dan batu bara (Rizkatania, 2012). Sumber-sumber polutan sangat bervariasi yang digolongkan menjadi 4, yaitu :

1. Mobile transportation (sumber bergerak) antara lain : pesawat udara, kendaraan bermotor, kereta api, kapal motor bermotor dan penanganan/evaporasi gasoline.
2. Stationary Combustion (sumber tidak bergerak) antara lain : perumahan, daerah perdagangan, tenaga dan pemasaran industry, termasuk tenaga uap yang digunakan sebagai energi pada industry.
3. Industrial processes (proses industri) antara lain : proses kimiawi, metalurgi, kertas dan penambangan minyak.
4. Solid Waste Disposal (pembuangan sampah) antara lain : sisa buangan dari rumah tangga dan perdagangan, hasil buangan pertambangan dan pertanian.

2.4.1 Emisi Gas CO₂ Transportasi

Emisi Karbon Dioksida (CO₂) transportasi merupakan jumlah total karbon dioksida yang dihasilkan dari suatu kegiatan transportasi akibat proses dari pembakaran bahan bakar, dan merupakan hasil emisi terbesar yang dihasilkan. Bahan bakar yang biasa digunakan adalah bahan bakar bensin (Premium atau Pertamina) dan Solar (Murti, 2015). Dalam perhitungan emisi CO₂ dari kegiatan transportasi terlebih dahulu dilakukan pengonversian jumlah kendaraan ke satuan mobil penumpang (smp), dengan persamaan sebagai berikut.

$$n = m \times FK \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan

n : jumlah kendaraan setelah dikonversi (smp/jam)

m : jumlah kendaraan (kendaraan/jam)

FK : faktor konversi (smp/kendaraan)

Menurut *Indonesia Highway Capacity Manual Part: Urban Road No. 09/T/BNKT/1993* dalam Murti (2015).

Nilai smp tiap jenis kendaraan digunakan nilai standar seperti berikut.

**Tabel 2. 1 Faktor Konversi Jenis Kendaraan ke smp
(satuan mobil penumpang)**

| No | Jenis Kendaraan | smp |
|----|------------------|------|
| 1. | Sepeda Motor | 0,25 |
| 2. | Kendaraan Ringan | 1,00 |
| 3. | Kendaraan Berat | 1,20 |

Sumber : Murti (2015)

Kemudian, perhitungan emisi gas dihitung dalam persamaan berikut.

$$\text{Emisi CO}_2 = n \times FE \times K \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan

n : jumlah kendaraan setelah konversi (smp/jam)

FE : faktor emisi (g/liter)

K : konsumsi bahan bakar (liter/100km)

Untuk faktor emisi dan konsumsi bahan bakar yang digunakan adalah faktor emisi dan konsumsi bahan bakar untuk mobil penumpang. Nilai faktor emisi dan tipe bahan bakar dan jenis kendaraan dapat dilihat seperti berikut.

Tabel 2. 2 Faktor Emisi Jenis Bahan Bakar dari Kendaraan

| No. | Jenis Kendaraan | Konsumsi Energi Spesifik (L/100 km) |
|-----|-----------------|-------------------------------------|
| 1. | Mobil Penumpang | |
| | - Bensin | 11,79 |
| | - Diesel/solar | 11,36 |
| 2. | Bus Besar | |
| | - Bensin | 23,15 |
| | - Diesel/solar | 16,89 |
| 3. | Bus Sedang | 13,04 |
| 4. | Bus Kecil | |
| | - Bensin | 11,35 |
| | - Diesel/solar | 11,83 |
| 5. | Bemo dan Bajaj | 10,99 |
| 6. | Taksi | |
| | - Bensin | 10,88 |
| | - Diesel/solar | 6,25 |
| 7. | Truk Besar | 15,82 |
| 8. | Truk Sedang | 15,15 |
| 9. | Truk Kecil | |
| | - Bensin | 8,11 |
| | - Diesel/solar | 10,64 |
| 10. | Sepeda Motor | 2,66 |

Sumber : IPCC (2006) dalam Adiasasari (2010)

Konsumsi bahan bakar yang telah disesuaikan dengan jenis kendaraannya dapat dilihat seperti berikut.

Tabel 2. 3 Konsumsi Energi Spesifik Kendaraan Bermotor

| Tipe Kendaraan/Bahan Bakar | Faktor Emisi CO ₂ (gram/L) |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Bensin | |
| Kendaraan Penumpang | 2597,86 |
| Kendaraan Niaga Besar | 2597,86 |
| Sepeda Motor | 2597,86 |
| Diesel | |
| Kendaraan Penumpang | 2924,90 |
| Kendaraan Niaga Kecil | 2924,90 |
| Kendaraan Niaga Besar | 2924,90 |
| Lokomotif | 2924,90 |

Sumber : BPPT dalam Hariyati (2009)

Dalam perhitungan emisi CO₂ rata-rata akan didapatkan perkiraan jumlah emisi CO₂ rata-rata untuk jenis kendaraan dan jenis jalan. Emisi CO₂ tersebut akan digunakan untuk menghitung perkiraan jumlah emisi CO₂ pada Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road*

S (JORR S) Rachmawati, 2011. Jumlah emisi CO₂ dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Emisi (g/jam)} = \text{rerata emisi (g/jam.km)} \times \text{panjang jalan (km)} \dots\dots\dots(2.3)$$

2.5 Nilai Ambang Batas Udara Ambien

SNI-19-0232-2005 menyatakan bahwa Nilai Ambang Batas (NAB) Standar ini memuat batas rata-rata tertimbang waktu (*time weighted average*) zat kimia di udara tempat kerja, di mana terdapat tenaga kerja yang dapat terpapar zat kimia sehari-hari selama tidak lebih dari 8 jam per hari atau 40 jam per minggu, yang apabila melebihi syarat yang sudah ditetapkan maka manusia akan mengalami gangguan kesehatan.

Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 tentang Pedoman Penyehatan Udara dalam Ruang Rumah, kadar CO₂ yang diizinkan adalah sebesar 1000 ppm selama 8 jam dimana apabila melebihi kadar yang diizinkan dapat memberikan dampak sebagai berikut :

1. Pada konsentrasi di atas nilai ambang batas yang dipersyaratkan, dapat menyebabkan mengantuk, sakit kepala dan menurunkan aktivitas fisik.
2. Pada konsentrasi 3% (30.000 ppm), bersifat narkotik ringan dan menyebabkan peningkatan tekanan darah serta gangguan pendengaran.
3. Pada konsentrasi 5% (50.000 ppm), menyebabkan stimulasi pernapasan, pusing-pusing dan kesulitan pernapasan yang diikuti oleh sakit kepala.
4. Pada konsentrasi >8% (80.000 ppm), dapat menyebabkan sakit kepala, berkeringat terus menerus, tremor dan kehilangan kesadaran setelah paparan selama 5-10 menit.

2.6 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar didalam mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin, sedangkan proses pembakaran adalah reaksi kimia antara oksigen di dalam udara dengan senyawa hidrokarbon di dalam bahan bakar untuk menghasilkan tenaga. Dalam reaksi yang sempurna, maka sisa pembakaran adalah berupa gas buang yang mengandung karbondioksida (Syaief, Adhiela Noer dkk 2019).

Emisi gas buang kendaraan bermotor diukur dalam gram per kendaraan per km dari suatu perjalanan dan terkait dengan beberapa faktor seperti tipe kendaraan, umur kendaraan, ambang temperature dan ketinggian. Kendaraan dengan usia dan jenis bahan bakar yang berbeda akan menghasilkan kadar emisi yang berbeda juga (Yuliastuti, 2008).

2.6.1 Komposisi Emisi Gas Buang

1. CO (Karbon Monoksida)
Karbon monoksida adalah gas yang tak berwarna dan tidak beraroma, gas ini terjadi bila bahan bakar atau unsur C tidak mendapatkan ikatan yang cukup dengan O₂ yang artinya udara masuk keruang silinder kurang atau suplai bahan bakar berlebihan.
2. NO (Nitrogen Oksida)
Tidak berwarna dan tidak beraroma, gas ini terjadi akibat panas yang tinggi pada ruang bakar akibat proses pembakaran sehingga kandungan nitrogen pada udara berubah menjadi Nox.
3. HC (Hidro Karbon)
Warna kehitam-hitaman dan beraroma cukup tajam, gas ini terjadi apabila proses pembakaran pada ruang bakar tidak berlangsung dengan baik atau suplai bahan bakar berlebihan.

4. CO₂ (Karbon dioksida)
Tidak berwarna dan tidak beraroma, gas ini terjadi akibat pembakaran yang sempurna antara bahan bakar dan udara dalam hal ini oksigen.
5. SO₂ (Oksida Belerang)
Oksida belerang SO₂ dapat menimbulkan efek iritasi pada saluran nafas sehingga menimbulkan gejala buruk, sesak nafas dan meningkatkan asma.
6. PM₁₀ (*Particulate Matter*)
Debu partikulat yang terutama dihasilkan dari emisi gas buangan kendaraan, sekitar 50%-60% dari partikel melayang merupakan debu berdiameter 10 pm. Debu PM₁₀ ini bersifat sangat mudah terhirup dan masuk ke dalam paru-paru, sehingga PM₁₀ dikategorikan sebagai Respirable Particulate Matter (RPM). Akibatnya akan mengganggu sistem pernafasan bagian atas maupun bagian bawah (alveoli). Pada alveoli terjadi penumpukan partikel kecil sehingga dapat merusak jaringan atau sistem jaringan paru-paru, sedangkan debu yang lebih kecil dari 10 pm, akan menyebabkan iritasi mata.

2.6.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Emisi Gas Buang

Faktor penting yang dapat menyebabkan dominanya pengaruh sektor transportasi terhadap pencemaran udara perkotaan di Indonesia antara lain :

1. Perkembangan jumlah kendaraan yang cepat (eksponensial)
2. Tidak seimbangnya prasarana transportasi dengan jumlah kendaraan yang ada (misalnya jalannya sempit)
3. Pola lalu lintas perkotaan yang berorientasi memusat, akibat terpusatnya kegiatan-kegiatan perekonomian dan perkantoran pusat kota.
4. Masalah turunan akibat pelaksanaan kebijakan pengembangan kota yang ada, misalnya daerah permukiman penduduk yang semakin menjauhi pusat kota.
5. Kesamaan waktu aliran lalu lintas.
6. Jenis, umur dan karakteristik kendaraan bermotor.
7. Factor perawatan kendaraan dan jenis bahan bakar yang digunakan.
8. Jenis permukaan jalan dan struktur pembangunan jalan.
9. Siklus dan pola mengemudi (*driving pattern*) (Tugaswati, 2007)

2.7 Penyeimbangan Lingkungan

Emisi CO₂ yang dilepaskan ke udara dapat mengakibatkan efek gas rumah kaca yang akan membahayakan kegiatan manusia, oleh karena itu perlu dilakukan langkah-langkah mitigasi untuk menghilangkan atau meminimalisasi emisi karbon CO₂ yang biasa disebut menyeimbangkan lingkungan. Cara strategis yang dapat dilakukan adalah dengan menanam pohon dengan begitu dapat menyerap CO₂ dan melepaskan O₂ melalui proses fotosintesisnya. Selain mereduksi emisi karbon CO₂ tanaman juga memiliki peran lain yaitu, sebagai penyuplai O₂ yang diperlukan manusia, dan dapat memberikan kenyamanan dan juga keindahan (Karyadi, 2005).

Perencanaan daya serap gas CO₂ yang dilakukan oleh Prasetyo et al., (2002) melalui penutup vegetasi, yaitu :

Tabel 2. 4 Daya Serap Gas CO₂ Penutup Vegetasi

| No | Tipe Penutupan | Daya Serap Gas CO ₂ (kg/ha/hari) | Daya Serap Gas CO ₂ (ton/ha/thn) |
|----|----------------|---|---|
| 1 | Pohon | 1559.10 | 569.07 |
| 2 | Semak Belukar | 150.68 | 55.00 |
| 3 | Padang Rumput | 32.88 | 12.00 |
| 4 | Sawah | 32.88 | 12.00 |

Sumber : Prasetyo et al., (2002)

Tanaman dapat menyerap CO₂ dan melepaskan O₂ melalui proses fotosintesanya, dan selain dapat menyerap emisi karbon CO₂ tanaman juga memiliki fungsi lain yaitu, sebagai penyuplai O₂ untuk manusia, dan dapat memberikan kenyamanan dan keindahan. Perencanaan Dahlan 2007 terkait tanaman penyerap emisi CO₂, yaitu :

Tabel 2. 5 Kemampuan Tanaman Penyerap CO₂

| No. | Nama Lokal | Nama Ilmiah | Daya Serap CO ₂ (Kg/pohon/tahun) |
|-----|-------------|---------------------------------|---|
| 1 | Trembesi | <i>Samanea saman</i> | 28.488,39 |
| 2 | Cassia | <i>Cassia sp</i> | 5.295,47 |
| 3 | Kenanga | <i>Canangium odoratum</i> | 756,59 |
| 4 | Pingku | <i>Dysoxylum excelsum</i> | 720,49 |
| 5 | Beringin | <i>Ficus benyamina</i> | 535,90 |
| 6 | Krey Payung | <i>Fellicium decipies</i> | 404,83 |
| 7 | Matoa | <i>Pometia pinnata</i> | 329,76 |
| 8 | Mahoni | <i>Swettiana mahagoni</i> | 295,76 |
| 9 | Saga | <i>Adenanthera pavoniana</i> | 221,18 |
| 10 | Bungur | <i>Lagerstroemia speciose</i> | 160,14 |
| 11 | Jati | <i>Tectona grandis</i> | 135,27 |
| 12 | Nangka | <i>Artocarpus heterophyllus</i> | 126,51 |
| 13 | Johar | <i>Senna siamea</i> | 116,25 |
| 14 | Sirsak | <i>Annona muricata</i> | 75,29 |
| 15 | Puspa | <i>Schima wallichii</i> | 63,31 |
| 16 | Akasia | <i>Acacia auriculiformis</i> | 48,68 |
| 17 | Flamboyan | <i>Delonix regia</i> | 42,20 |
| 18 | Sawo Kecil | <i>Maniikara kauki</i> | 36,19 |
| 19 | Tanjung | <i>Mimusops elengi</i> | 34,29 |
| 20 | Bunga Merak | <i>Caesalpina pulcherrima</i> | 30,95 |
| 21 | Sempur | <i>Dilenia retusa</i> | 24,24 |
| 22 | Khaya | <i>Khaya anthotheca</i> | 21,90 |

| | | | |
|----|---------------|-------------------------------|-------|
| 23 | Merbau Pantai | <i>Intsiabijuga</i> | 19,25 |
| 24 | Akasia | <i>Casia grandis</i> | 15,19 |
| 25 | Angsana | <i>Pterocarpus indicus</i> | 11,12 |
| 26 | Asam Kranji | <i>Dialium indum</i> | 8,48 |
| 27 | Saputangan | <i>Maniitoo grandiflora</i> | 8,26 |
| 28 | Dadap Merah | <i>Eryhrina cristagalli</i> | 4,55 |
| 29 | Rambutan | <i>Naphelium lappaceum</i> | 2,19 |
| 30 | Asam | <i>Tamarindus indica</i> | 1,49 |
| 31 | Kempas | <i>Koompassia malaccensis</i> | 0,20 |

Sumber : Dahlan (2007)

Vegetasi penyerap pencemar udara yang dapat ditanam pada jalan menurut Peraturan Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2012, yaitu :

Tabel 2. 6 Daftar Pohon Tepi Jalan Berukuran Sedang yang Direkomendasikan

| No. | Nama Umum/daerah | Nama Ilmiah | Tinggi Pertumbuhan (m) | Diameter Tajuk (m) |
|-----|-------------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------|
| 1 | Saga | <i>Adenantha pavonina</i> | 10.00 - 15.00 | > 12.00 |
| 2 | Nyamplung | <i>Calophyllum inophyllum</i> | 10.00 - 15.00 | > 15.00 |
| 3 | Kotek mamak | <i>Cassia grandis</i> | > 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 4 | Kasia busuk, beresah | <i>Cassia nodosa</i> | > 15.00 | < 10.00 |
| 5 | Johar | <i>Cassia siamea</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 6 | Medang teja, kayu manis hutan | <i>Cinnamomum iners</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 7 | Flamboyan | <i>Delonix regia</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 8 | Dadap ayam | <i>Erythrina variegata</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 9 | Kiara payung | <i>Fillicium decipiens</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 10 | Khaya | <i>Khaya senegalensis</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 11 | Gelam | <i>Melaleuca leucadendron</i> | 10.00 - 15.00 | < 10.00 |
| 12 | Mambu | <i>Melia indica</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 13 | Nagasari | <i>Mesua ferrea</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 14 | Cempaka putih/kantil | <i>Michelle alba</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 15 | Tanjung | <i>Mimusops flame</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 16 | Batai laut | <i>Peltophorum pterocarpum</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 17 | Asam landi | <i>Pithecellobium dulce</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 18 | Asam jawa | <i>Tamarindus indica</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 19 | Tekoma | <i>Tabebuia spectabilis</i> | 10.00 - 15.00 | 10.00 - 15.00 |
| 20 | Kenanga | <i>Cananga odorata</i> | > 15.00 | 6.00 |

Sumber : Peraturan Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2012

Tabel 2. 7 Daftar Pohon Kecil Yang Direkomendasikan

| No. | Nama Umum/daerah | Nama Ilmiah | Tinggi Pertumbuhan (m) | Diameter Tajuk (m) |
|-----|------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------|
| 1 | Tapak kuda | <i>Bauhinia purpurea</i> | < 10.00 | < 10.00 |
| 2 | Kasia rimbun | <i>Cassia multijuga</i> | 7.00 | 10.00 |
| 3 | Kasia singapur | <i>Cassia spectabilis</i> | 8.00 | 10.00 |
| 4 | Dadap karang | <i>Eryhrina glauca</i> | <10.00 | < 10.00 |
| 5 | Jambu bol | <i>Eugenia malaccensis</i> | 4.50 - 12.00 | 4.50 |
| 6 | Ara daun lebar | <i>Ficus roxburghii</i> | 6.00 | 8.00 |
| 7 | Jakaranda | <i>Jacaranda filicifolia</i> | 12.00 - 13.00 | 2.00 - 3.00 |
| 8 | Jintan cina | <i>Juniperus chinensis</i> | < 10.00 | < 10.00 |
| 9 | Gelam | <i>Melaleuca leucodendron</i> | 15.00 - 25.00 | 2.00 - 3.00 |
| 10 | Kol banda | <i>Pisonia alba</i> | < 10.00 | < 10.00 |
| 11 | Gapis | <i>Garaca thaipingensis</i> | 9.00 | 4.00 - 6.00 |
| 12 | Jati laut | <i>Podocarpus polystachyus</i> | < 10.00 | < 10.00 |
| 13 | Pohon terompet | <i>Tabebuia pallida</i> | 8.00 - 10.00 | 6.00 |

Sumber : Peraturan Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2012

Untuk menghitung daya serap emisi CO₂ oleh suatu pohon serta jenis tutupan vegetasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut Murti, 2015.

$$\text{Daya Serap Emisi CO}_2 = A \times B \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

Daya Serap Emisi CO₂: kemampuan daya serap tanaman eksisting dalam menyerap emisi CO₂

A : daya serap emisi CO₂ (kgCO₂/pohon/tahun atau kg CO₂/ha/tahun)

B : luas tutupan vegetasi atau jumlah pohon

Perhitungan sisa emisi yang tidak semuanya dapat direduksi oleh tanaman eksisting dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$S \text{ CO}_2 = X - \text{Daya Serap Emisi CO}_2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan :

Daya Serap Emisi CO₂ : kemampuan daya serap tanaman eksisting dalam menyerap emisi CO₂

X : total emisi CO₂ aktual

S CO₂ : emisi karbon dioksida yang belum terserap

Jika total emisi CO₂ aktualnya lebih besar dari kemampuan daya serap tanaman eksisting, maka perlu dihitung kebutuhan tanaman tambahan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kebutuhan tanaman tambahan} = S \text{ CO}_2 - \text{Daya Serap Emisi CO}_2 \dots (2.6)$$

Keterangan :

Daya Serap Emisi CO₂ : kemampuan daya serap tanaman eksisting dalam menyerap emisi CO₂

S CO₂ : emisi karbon dioksida CO₂ yang belum terserap

2.8 Vegetasi Untuk Penanggulangan Emisi CO₂

Vegetasi merupakan keseluruhan tumbuhan dari suatu area yang berfungsi sebagai area penutup lahan, yang terdiri dari beberapa jenis seperti herba, perdu, pohon, yang hidup bersama-sama pada suatu tempat dan saling berinteraksi antara satu dengan yang lain (Agustina, 2008).

2.8.1 Pohon Trembesi

Pohon Trembesi memiliki daya serap gas CO₂ yang sangat tinggi. Satu batang pohon Trembesi mampu menyerap 28,488 ton gas CO₂ setiap tahunnya (diameter tajuk 15 m). Pohon Trembesi juga mampu menurunkan konsentrasi gas secara efektif, sebagai tanaman penghijauan dan memiliki kemampuan menyerap air tanah yang kuat (Dahlan, 2007).

2.8.2 Pucuk Merah

Pucuk Merah ternyata tidak hanya bermanfaat sebagai tanaman hias, tetapi juga memiliki kemampuan untuk menyerap karbon dioksida CO₂ dalam jumlah yang lebih besar dibandingkan tumbuhan lain. Pucuk Merah memiliki struktur yang kuat sehingga dapat menahan longsor dan menyimpan air dalam jumlah banyak. Air yang ditampung juga akan lebih bersih karena diserap oleh serabut akar (Dahlan, 2007).

2.8.3 Rumput Lamuran

Rumput Lamuran merupakan jenis rumput yang paling mudah tumbuh di daerah tropis, dan rumput ini memang biasa digunakan di area penghijauan yang tidak terlalu memerlukan estetika, seperti di pinggir jalan, area taman yang sangat luas, atau di lapangan bola (rumputtamanku, 2016). Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2012 untuk rumput yang biasanya ditanami di jalan tol adalah lamuran.

2.9 Metode Proyeksi Kendaraan

Proyeksi jumlah kendaraan bermotor, terdapat tiga metode yang bisa digunakan seperti halnya memproyeksikan jumlah kendaraan. Ketiga metode tersebut adalah aritmatika, geometrik, dan least square. Untuk menentukan metode yang digunakan terlebih dahulu mencari nilai koefisien (r) untuk tiap – tiap metode. Untuk metode yang mempunyai nilai koefisien korelasi yang mendekati nilai 1 (satu), sesuai atau tidaknya analisa yang akan dipilih ditentukan dengan menggunakan nilai koefisien korelasi yang berkisar antara 0 (nol) sampai 1 (satu) maka metode itulah yang dipakai untuk memproyeksikan penduduk (Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2007).

$$r = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{\{[n(\sum y^2) - (\sum y)^2][n(\sum x^2) - (\sum x)^2]\}^{1/2}} \dots (2.7)$$

Keterangan :

- n = jumlah data
- x = kurun waktu
- y = jumlah kendaraan

2.9.1 Metode Aritmatika (Rata-rata)

Metode tersebut dipakai untuk daerah dengan perkembangan jumlah kendaraan bermotornya yang selalu naik secara konstan, dan dalam kurun waktu yang pendek. Rumus yang dipakai, yaitu :

$$P_n = P_o + K_a (T_2 - T_1) \dots\dots\dots (2.8)$$

(Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2007)

Keterangan :

- P_n = jumlah kendaraan bermotor pada tahun ke n
- P_o = jumlah kendaraan bermotor pada tahun dasar
- K_a = konstanta aritmatik
- P₁ = jumlah kendaraan yang akan diketahui pada tahun ke 1
- P₂ = jumlah kendaraan yang akan diketahui pada tahun terakhir
- T₁ = tahun ke 1 yang diketahui
- T₂ = tahun ke 2 yang diketahui

2.9.2 Metode Geometri (Berganda)

Metode ini menganggap bahwa perkembangan dari kendaraan bermotor tersebut secara berganda, dengan penambahan kendaraan bermotor. Dan metode ini tidak memperhatikan dengan adanya peningkatan atau penurunan. Rumus yang digunakan, yaitu :

$$P_n = P_o + (1 + r)^n \dots\dots\dots (2.9)$$

(Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2007)

Keterangan :

- P_n = jumlah kendaraan bermotor pada tahun ke n
- P_o = jumlah kendaraan bermotor tahun dasar
- r = laju pertumbuhan kendaraan bermotor pertahun
- n = jumlah interval tahun

2.9.3 Metode Least Square (Kuadrat Minimum)

Metode least square ini digunakan untuk garis regresi linier yang diartikan bahwa data perkembangan kendaraan bermotor masa lalu menggambarkan kecenderungan garis linier, walaupun perkembangan kendaraan bermotor tidak bertambah. Rumus yang digunakan, yaitu :

$$= a + b (x)$$

Adapun persamaan a dan b adalah sebagai berikut

$$a = \{(\Sigma$$

$$\Sigma t^2) - (\Sigma t)(\Sigma p. t)\} / \{n(\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2\} \dots\dots\dots 2.10$$

$$- (\Sigma t)(\Sigma p)\} / \{n(\Sigma t^2) - (\Sigma t)^2\} \dots\dots\dots 2.11$$

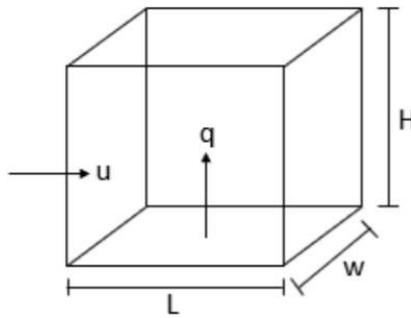
(Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2007)

Keterangan :

- Y = jumlah kendaraan
- x = jumlah interval tahun
- a = konstanta tahun
- b = koefisien arah regresi linier
- p = tahun ke-p yang diproyeksikan
- t = jumlah kendaraan pada tahun p
- n = jumlah data

2.10 Box Model dengan Emisi CO₂

Metode Box Model yaitu, untuk mengetahui berapa beban dari CO₂ ambien tersebut. CO₂ yang dihasilkan dari emisi transportasi darat tidak seluruhnya diserap oleh tanaman. Gas CO₂ tersebut akan terdispersi ke permukaan jalan atau ke udara ambien. Zat pencemar yang masuk ke udara ambien akan dianggap memiliki laju alir yang konstan per satuan waktunya. Mode box ini merupakan salah satu bentuk dispersi udara untuk memprediksikan beban pencemar di udara ambien. Permodelan ini udara akan dianggap tercampur sempurna dalam suatu kotak (*box*) dengan panjang dan lebar kotak sesuai dengan wilayah perencanaan (Rubin dan Davidson, 2001).



Gambar 2. 3 Box Model
 Sumber : Rubin dan Davidson (2001)

- Perhitungan konsentrasi pencemar, yaitu :

$$C(t) = \frac{qL}{uH} (1 - e^{-ut}) \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan :

- C(t) konsentrasi pencemar (mg/m³)
- q rata-rata emisi pencemar (mg/m²/detik)
- L jarak sumber emisi terbesar ke garis kotak paling jauh (m)
- u rata-rata kecepatan angin (m/detik)
- t waktu tempuh pencemar ke batas garis kotak paling jauh (detik)
- w lebar kotak (m)
- x panjang kotak (m)

- Perhitungan volume *box*
Volume Box = Luas Box (m²) x Tinggi pohon (m).....(2.13)

- Perhitungan massa CO₂
Massa CO₂ = C (t) (mg/m³) x Volume Box (m³).....(2.14)

- Perhitungan emisi CO₂
Emisi CO₂ (mg/detik) = $\frac{\text{Massa CO}_2 \text{ (mg)}}{t \text{ (detik)}}$ (2.15)

2.11 Pemeliharaan Ruang Terbuka Hijau

Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2008 terkait pedoman penyediaan dan pemanfaatan ruang terbuka hijau dimaksudkan untuk menjaga ketersediaan lahan sebagai kawasan resapan air, menciptakan aspek planologis perkotaan melalui keseimbangan antara lingkungan alam dan lingkungan binaan yang berguna untuk kepentingan masyarakat, meningkatkan keserasian lingkungan perkotaan sebagai sarana pengaman lingkungan perkotaan yang aman, nyaman, segar, indah dan bersih. Dalam perencanaan ini untuk melestarikan sekaligus menjaga kualitas perencanaan vegetasi yang optimal diperlukan upaya dalam pemeliharaan meliputi, pemupukan, penyiraman, pemangkasan. Berikut penjelasan mengenai upaya dalam pemeliharaan tanaman.

- a. Pemupukan

Prinsip dasar pemupukan adalah mensuplai hara tambahan yang dibutuhkan sehingga tanaman tidak kekurangan makanan. Pupuk yang diberikan pada tanaman dapat berupa pupuk organik maupun pupuk anorganik (misalnya NPK atau urea). Pupuk yang digunakan untuk pohon-pohon taman biasanya pupuk majemuk NPK.

b. Penyiraman

Tujuan penyiraman tanaman, selain untuk menyeimbangkan laju evapotranspirasi, juga berfungsi melarutkan garam-garam mineral dan juga sebagai unsur utama pada proses fotosintesis. Waktu penyiraman pada dasarnya dapat dilakukan kapan saja saat dibutuhkan. Waktu penyiraman yang terbaik adalah pada pagi atau sore hari. Penyiraman siang hari hendaknya dilakukan langsung pada permukaan tanah, tidak pada permukaan daun tanaman. Untuk daerah dengan kelembaban tinggi penyiraman pada pagi hari lebih baik daripada sore hari, dalam upaya menghindari penyakit yang disebabkan oleh cendawan. Penetrasi air siraman sedalam 15-20 cm ke dalam tanah, dapat menjadi indikasi bahwa siraman air sudah dinyatakan cukup.

c. Pemangkasan

Tujuan pemangkasan tanaman adalah untuk mengontrol pertumbuhan tanaman sesuai yang diinginkan serta menjaga keamanan dan kesehatan tanaman. Waktu pemangkasan yang tepat adalah setelah masa pertumbuhan generatif tanaman (setelah selesai masa pembungaan) dan sebelum pemberian pupuk.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PERENCANAAN

3.1 Gambaran Umum

Infrastruktur memiliki peran yang sangat penting dalam sistem perekonomian. Semakin baik keadaan infrastruktur, semakin baik pula pengaruhnya terhadap keadaan ekonomi. Disamping itu pembangunan jalan tol di daerah perkotaan besar dan sekitarnya memang berpengaruh terhadap industri yang banyak berada di sekitar daerah perkotaan. Fungsi jalan tol adalah menghubungkan pusat produksi dengan pasar global, oleh karena itu untuk memudahkan aktifitas bisnis jalan tol menjadi alternatif untuk mempercepat arus keluar masuk barang.

Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* merupakan jalan tol yang menghubungkan Pondok Pinang dengan Jalan Tol Jagorawi dan Kampung Rambutan. Jalan tol ini awalnya dikelola oleh anak perusahaan Jasa Marga, yaitu PT Jalantol Lingkarluar Jakarta. Pada 2016 dipindahtangankan kepada kepada PT Hutama Karya (Persero)



Gambar 3. 1 Peta Jalan Tol JORR S
Sumber : PT. Hutama Karya

3.1.1 Kondisi Eksisting Jalan Tol JORR S

Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S) merupakan tol yang menghubungkan Pondok Pinang dengan Jalan Tol Jagorawi dan Kampung Rambutan dengan panjang kurang lebih 14,25 km. Tol ini juga melewati sekitar permukiman warga, dan ketersediaan Ruang Terbuka Hijau di jalan Tol JORR S masih minim atau belum mampu mereduksi emisi CO₂ yang terus meningkat. Oleh karena itu pengoptimalan vegetasi pada Ruang Terbuka Hijau ini harus segera dilakukan karena aktivitas kendaraan yang ada pada jalan tol tersebut akan menimbulkan emisi seperti CO₂, yang apabila tidak dikelola dengan baik akan berbahaya untuk lingkungan dikarenakan akan menimbulkan efek rumah kaca dan *global warming*. Berikut gambar kondisi eksisting Tol JORR S sebagai berikut :

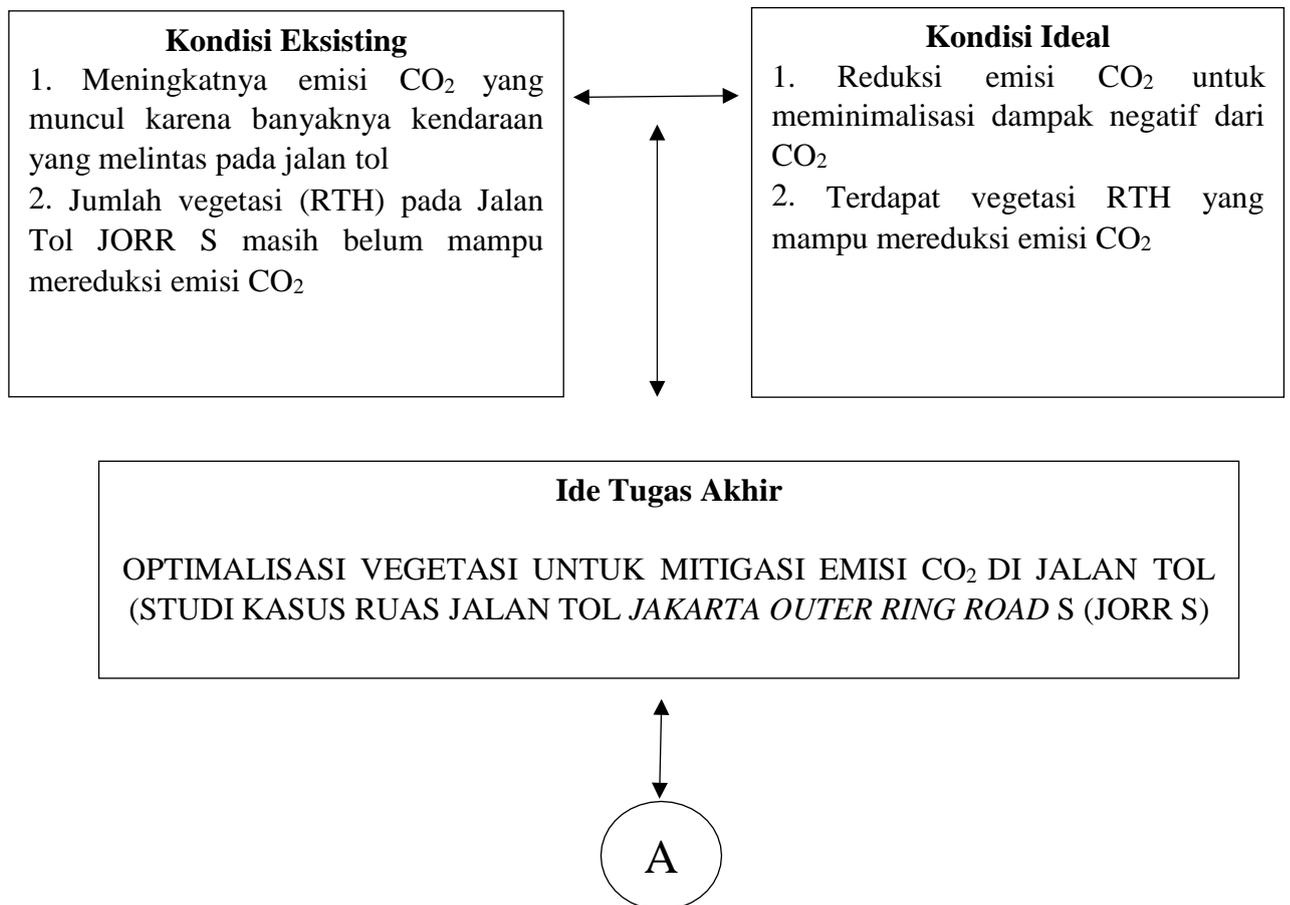


Gambar 3. 2 Kondisi Eksisting Jalan Tol JORR S
 Sumber : Media Indonesia.com

3.2 Kerangka Perencanaan

Perencanaan yang terdiri dari langkah-langkah penting dalam sebuah tahap perencanaan yang dibuat berdasarkan permasalahan yang timbul untuk diadakannya tujuan perencanaan. Penyusunan kerangka perencanaan ini bertujuan untuk mengetahui langkah strategis yang dilakukan dalam perencanaan tersebut. Berikut alur kerangka perencanaan sebagai berikut :

Gambar 3. 3 Diagram Alir Kerangka Perencanaan



A



Rumusan Masalah

1. Berapa jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Tol JORR S dari awal hingga konsesi (10 tahun)?
2. Bagaimana optimasi lahan vegetasi yang tersedia untuk mitigasi serapan CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Tol JORR S?



Tujuan

1. Menghitung jumlah emisi CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Tol JORR S
2. Mengoptimalkan lahan vegetasi yang tersedia untuk mitigasi serapan CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Tol JORR S

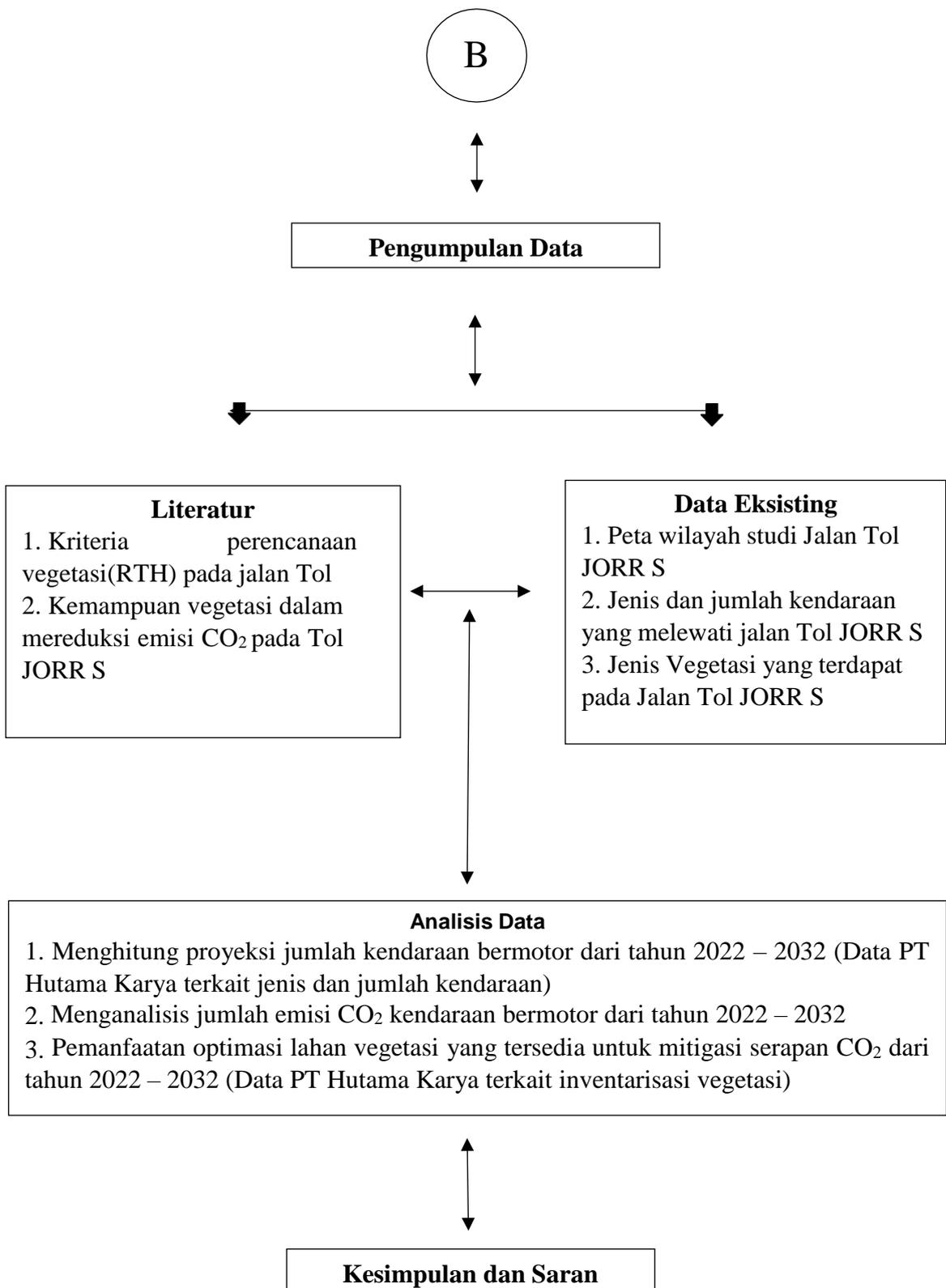


Studi Literatur

1. Ruang Terbuka Hijau (RTH)
2. Emisi CO₂ dari volume kendaraan
3. Daya serap vegetasi terhadap CO₂
4. Penyeimbangan Lingkungan
5. Jenis-jenis tumbuhan dalam kemampuannya dalam menyerap emisi CO₂
6. Proyeksi Jumlah Kendaraan



B



3.3 Tahapan Perencanaan

Tahapan perencanaan ini berisi terkait studi literatur, perumusan masalah dan pengumpulan data dilapangan yang berkaitan dengan perencanaan, lalu analisis data dan kemudian kesimpulan serta saran.

3.3.1 Kondisi Eksisting dan Kondisi Ideal

Kondisi eksisting dan kondisi ideal ini merupakan gambaran awal dari perencanaan vegetasi (RTH) yang dimana untuk kondisi eksisting, yaitu meningkatnya emisi CO₂ yang muncul karena banyaknya kendaraan yang melintas pada jalan tol terbukti dengan tercatatnya perbandingan jumlah kendaraan di ruas jalan Tol JORR S pada bulan januari 2019, yaitu 4.939.342 dan pada bulan maret 2019, yaitu 5.042.766, dalam waktu 3 bulan mengalami peningkatan sekitar 103.424 kendaraan (BPS DKI Jakarta, 2019). Jumlah vegetasi (RTH) pada Jalan Tol JORR S masih belum mampu mereduksi emisi CO₂. Tercatat upaya mitigasi dalam mengurangi dampak emisi CO₂ yang sudah dilakukan oleh PT Hutama Karya pada tahun 2021 dengan menanam 1020 pohon bougenvile, 210 pohon pucuk merah, 50 pohon ketapang, 20 pohon beringin putih pada ruas jalan median tol tersebut (PT. Hutama Karya). Untuk kondisi ideal yang diinginkan, yaitu reduksi emisi CO₂ untuk meminimalisasi dampak negatif dari CO₂, terdapat vegetasi RTH yang mampu mereduksi emisi CO₂.

3.3.2 Ide Perencanaan

Jalan Tol Jakarta Outer Ring Road Seksi S atau biasa disebut (JORR-S) merupakan tol yang menghubungkan Pondok Pinang dengan Jalan Tol Jagorawi dan Kampung Rambutan dengan panjang kurang lebih 14,25 km. Tol ini juga melewati sekitar permukiman warga, dan ketersediaan Ruang Terbuka Hijau di jalan tol JORR S masih minim. Pengoptimalan vegetasi pada Ruang Terbuka Hijau ini harus segera dilakukan karena aktivitas kendaraan yang ada pada jalan tol tersebut akan menimbulkan emisi seperti CO₂ yang apabila tidak dikelola dengan baik akan berbahaya untuk lingkungan dikarenakan akan menimbulkan efek rumah kaca dan *global warming*. Oleh karena itu, dibutuhkan pengoptimalan ketercukupan ruang terbuka hijau pada jalan tol yang pada kajian ini terdapat pada kawasan yang menghubungkan antara Pondok Pinang dengan Jalan Tol Jagorawi dan Kampung Rambutan.

3.3.3 Studi Literatur

Studi literatur ini berguna untuk mencari informasi terkait dengan emisi CO₂ yang dihasilkan dari kegiatan permukiman berserta Ruang Terbuka Hijau (RTH). Tinjauan pustaka yang dipergunakan, meliputi :

- Ruang Terbuka Hijau (RTH)
- Emisi CO₂ dari volume kendaraan
- Daya serap vegetasi terhadap CO₂
- Penyeimbangan Lingkungan
- Jenis-jenis tanaman yang berkaitan dengan kemampuannya dalam menyerap emisi CO₂
- Proyeksi jumlah kendaraan dan CO₂

3.3.4 Pengumpulan Data

Data sekunder merupakan data yang tidak didapatkan dalam survey ke wilayah perencanaan studi, namun didapatkan perencanaan terdahulu mengenai perencanaan ini. Data tersebut akan digunakan dalam awal perencanaan ini sebagai analisa perhitungan.

Data sekunder dalam perencanaan ini sebagai berikut :

1. Peta wilayah studi
2. Data tentang wilayah studi
3. Data jumlah kendaraan 10 tahun terakhir yang melintasi Tol JORR S dari instansi pengelola jalan tol tersebut.

3.3.5 Pengolahan Data

3.3.5.1 Perhitungan Proyeksi Jumlah Kendaraan

Proyeksi jumlah kendaraan diperlukan untuk mengetahui jumlah kendaraan di masa yang akan datang yaitu, 10 tahun ke depan, sehingga dapat diperkirakan kebutuhan RTH untuk menyerap emisi CO₂. Metode proyeksi yang digunakan sebagai berikut :

1. Metode Aritamatik
2. Metode Geometri
3. Metode Least Square

3.3.5.2 Perhitungan Beban Emisi CO₂ dari Kendaraan

Beban emisi CO₂ kendaraan yang dihasilkan dari kegiatan transportasi yang didapatkan dari PT. Hutama Karya selaku pengelola jalan tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan pada 2.1

3.3.5.3 Perhitungan Daya Serap Emisi CO₂ oleh Tanaman

Analisis daya serap emisi CO₂ oleh tanaman eksisting pada jalan tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S) dihitung dengan menggunakan persamaan 2.3

3.3.5.4 Perhitungan Daya Serap Tanaman Eksisting untuk Menyerap Emisi CO₂

Menghitung kemampuan tanaman eksisting pada jalan tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S) dalam menyerap emisi CO₂, perhitungan sisa emisi yang belum mampu direduksi oleh tanaman eksisting dihitung dengan menggunakan persamaan 2.4 dan 2.5 . Setelah dihitung maka didapatkan ketercukupan tanaman dalam menyerap emisi CO₂ dan dilakukan penambahan tanaman pada lahan yang tersedia.

3.3.5.5 Analisis Ketercukupan RTH Eksisting dalam Menyerap Emisi CO₂

Setelah dilakukan perhitungan jumlah emisi yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang melintas pada jalan tol, dan perhitungan daya serap emisi CO₂ pada RTH eksisting, lalu dibandingkan dengan ketercukupan RTH eksisting dalam menyerap emisi CO₂. Jika RTH eksisting tersebut belum mampu mereduksi emisi CO₂, maka perlu

dilakukan penanaman tambahan tanaman untuk menyerap emisi CO₂ dengan menggunakan persamaan 2.6

3.3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah mendapatkan hasil perhitungan yang tepat dan memenuhi sasaran lalu analisis data ini bertujuan untuk mengolah data yang didapat selama perencanaan berdasarkan teori yang telah ada dan disajikan dalam bentuk yang mudah dipahami.

3.3.7 Tahapan Kesimpulan dan Saran

Pembahasan yang telah dilakukan akan didapatkan kesimpulan berisi ringkasan dari hasil perencanaan yang telah menjawab rumusan masalah. Dan saran berguna untuk perbaikan perencanaan dalam pelaksanaan perencanaan berikutnya.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Emisi CO₂

Emisi karbon dioksida adalah gas yang tidak berwarna dan tidak mudah terbakar pada suhu dengan tekanan normal yang terdiri dari satu atom karbon dan dua atom oksigen. CO₂ ini mempunyai peran pada karbon bumi yaitu, sebagai proses dalam mengolah karbon dalam berbagai bentuk di seluruh lingkungan. Emisi CO₂ dapat menyerap radiasi inframerah yang dipantulkan bumi dan sehingga suhu atmosfer tersebut menjadi naik. Meningkatnya konsentrasi CO₂ secara bertahap pada atmosfer bumi dapat mendorong terjadinya pemanasan global (*global warming*), dan dapat mengganggu iklim dikarenakan suhu global yang rata-rata dapat meningkat (Widyanadiari, 2011). Emisi CO₂ yang dihitung yaitu emisi CO₂ yang berasal dari kegiatan transportasi pada Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* yang terdiri dari mobil penumpang. Data sekunder yang digunakan berupa jumlah kendaraan yang berasal dari PT Hutama Karya. Perhitungan emisi tersebut diawali dengan proyeksi jumlah kendaraan selama 10 tahun kedepan (2022-2032). Setelah itu dilakukan analisis luasan optimalisasi vegetasi untuk serapan CO₂.

4.2 Proyeksi Kendaraan

Dalam optimalisasi tumbuhan dan vegetasi untuk mitigasi emisi CO₂ diperlukan proyeksi jumlah kendaraan yang melintas, sehingga beban emisi yang nanti dihasilkan dapat disesuaikan dengan jumlah dan jenis vegetasi yang di optimalisasi. Perencanaan ini dilakukan dengan memproyeksikan kendaraan sampai 10 tahun kedepan, dipilih dikarenakan pada umumnya perencanaan pembaruan jalan tol oleh pemerintah untuk jangka menengah yaitu 10 tahun. Metode yang digunakan pada proyeksi kendaraan ini yaitu, metode aritmatik, geometri, dan least square. Metode aritmatika digunakan untuk kendaraan dengan perkembangan jumlah kendaraan bermotor selalu naik secara konstan, dan dalam kurun waktu pendek. Proyeksi dengan metode ini menganggap bahwa perkembangan kendaraan bermotor secara otomatis berganda, dengan penambahan kendaraan bermotor. Untuk metode geometri tidak memperhatikan adanya suatu saat terjadi perkembangan menurun dan kemudian meningkat, disebabkan kepadatan kendaraan bermotor mendekati maksimum. Untuk metode least square digunakan untuk garis regresi linier yang merupakan perkembangan kendaraan bermotor masa lalu menggambarkan kecenderungan garis linier, meskipun perkembangan kendaraan bermotor tidak selalu bertambah. Untuk menentukan metode yang digunakan terlebih dahulu mencari nilai koefisien (r) untuk tiap – tiap metode. Untuk metode yang mempunyai nilai koefisien korelasi yang mendekati nilai 1 (satu), sesuai atau tidaknya analisa yang akan dipilih ditentukan dengan menggunakan nilai koefisien korelasi yang berkisar antara 0 (nol) sampai 1 (satu) maka metode itulah yang dipakai untuk memproyeksikan penduduk (Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2007). Data jumlah kendaraan yang melintas pada jalan tol Jorr S per golongan I - V yang didapatkan dari PT Hutama Karya bisa dilihat pada lampiran.

Perhitungan proyeksi kendaraan pada Jalan Tol Jorr S menggunakan data dari PT Hutama Karya serta pertumbuhan tiap tahun pada tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Pertumbuhan Jumlah Kendaraan tahun 2017-2020

| Tahun | Jumlah Kendaraan | Pertumbuhan Kendaraan | |
|------------------|------------------|---------------------------|----------|
| | | Kenaikan Jumlah Kendaraan | % |
| 2017 | 131,129 | 0 | 0.000% |
| 2018 | 165,405 | 34,276 | 26.139% |
| 2019 | 165,645 | 240 | 0.145% |
| 2020 | 119,184 | -46,461 | -28.049% |
| Jumlah | 462179 | 34516 | 26.284% |
| Rata-rata | 154060 | 11505 | 8.761% |

Sumber : Hasil Perhitungan

Perhitungan proyeksi kendaraan ini menggunakan r pada jumlah kendaraan yang terdapat pada tabel 4.2 adalah 0,08761. Nilai r ini digunakan untuk perhitungan proyeksi kendaraan menggunakan metode secara aritmetik, geometrik, dan least square. Perhitungan koefisien korelasi dihitung dengan menggunakan rumus 2.8, 2.9, 2.10 untuk menentukan metode yang akan digunakan dalam proyeksi kendaraan. Perhitungan korelasi tiap metode dapat dilihat pada tabel 4.2, 4.3, 4.4.

Tabel 4. 2 Koefisien Korelasi Metode Aritmatik

| Tahun | Jumlah Kendaraan | X (Tahun ke-) | Y (Selisih Jumlah Kendaraan) | X*Y | X ² | Y ² | r |
|-------|------------------|---------------|------------------------------|--------------|----------------|----------------|--------------|
| 2017 | 131,129 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | -0.539038389 |
| 2018 | 165,405 | 1 | 34,276 | 34276.34521 | 1 | 1,174,867,841 | |
| 2019 | 165,645 | 2 | 240 | 479.2986301 | 4 | 57,432 | |
| 2020 | 119,184 | 3 | -46,461 | -139383.4356 | 9 | 2,158,638,014 | |
| Total | 581,362 | 6 | -11,945 | -104627.7918 | 14 | 3,333,563,286 | |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 3 Koefisien Korelasi Metode Geometrik

| Tahun | Jumlah Kendaraan | X (Tahun ke-) | Y (Jumlah Kendaraan dalam Ln) | X*Y | X ² | Y ² | r |
|-------|------------------|---------------|-------------------------------|---------|----------------|----------------|-------------|
| 2017 | 131,129 | 1 | 11.784 | 11.784 | 1 | 138.86 | 0.843000932 |
| 2018 | 165,405 | 2 | 12.016 | 24.032 | 4 | 144.39 | |
| 2019 | 165,645 | 3 | 12.018 | 36.053 | 9 | 144.42 | |
| 2020 | 119,184 | 4 | 11.688 | 46.754 | 16 | 136.62 | |
| Total | 581,362 | 10 | 48 | 118.623 | 30 | 564.29 | |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 4 Koefisien Korelasi Metode Least Square

| Tahun | Jumlah Kendaraan | X (Tahun ke-) | Y (Jumlah Kendaraan tiap tahun) | X*Y | X^2 | Y^2 | r |
|-------|------------------|---------------|---------------------------------|------------|-----|----------------|-------------|
| 2017 | 131,129 | 1 | 131,129 | 131128.81 | 1 | 17,194,765,063 | 0.808342899 |
| 2018 | 165,405 | 2 | 165,405 | 330810.31 | 4 | 27,358,865,686 | |
| 2019 | 165,645 | 3 | 165,645 | 496934.42 | 9 | 27,438,201,582 | |
| 2020 | 119,184 | 4 | 119,184 | 476734.64 | 16 | 14,204,744,876 | |
| Total | 581,362 | 10 | 581,362 | 1435608.18 | 30 | 86,196,577,208 | |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dapat dilihat bahwa dari tabel diatas nilai koefisien korelasi yang paling mendekati 1 adalah metode geometrik. Metode geometrik ini memiliki nilai koefisien korelasi sebesar 0,843. Metode geometrik ini dipilih untuk menentukan jumlah kendaraan dari tahun 2021 – 2032. Perhitungan proyeksi kendaraan dihitung dengan menggunakan geometrik sehingga akan didapatkan jumlah kendaraan yang melintasi Jalan Tol Jorr S pada tahun 2021 – 2032.

$$P_n = P_o + (1 + r)^n$$

(Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, 2007)

Keterangan :

P_n = jumlah kendaraan bermotor pada tahun ke n

P_o = jumlah kendaraan bermotor tahun dasar

r = laju pertumbuhan kendaraan bermotor pertahun

n = jumlah interval tahun

Contoh perhitungan proyeksi jumlah kendaraan total golongan I – V tahun 2021 sebagai berikut.

$$P_n = P_o + (1 + r)^n$$

$$= 119184 \times (1 + 0,08761)^{(2021-2020)}$$

$$= 129,625 \text{ kendaraan total/hari}$$

Konversi menjadi kendaraan total/jam yaitu :

$$= 129,625 / 24 \text{ jam}$$

$$= 5401 \text{ kendaraan total/jam}$$

Untuk hasil lengkap proyeksi jumlah kendaraan per golongan I – V tahun 2021 – 2032 dapat dilihat pada tabel 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10 sebagai berikut.

Tabel 4. 5 Proyeksi Jumlah Kendaraan Total Tahun 2021 - 2032

| Tol Jorr S | | |
|-------------------|--|---|
| Tahun | Proyeksi Jumlah Kendaraan Total /hari | Proyeksi Jumlah Kendaraan Total /jam |
| 2020 | 119184 | 4966 |
| 2021 | 129625 | 5401 |
| 2022 | 140982 | 5874 |
| 2023 | 153333 | 6389 |
| 2024 | 166767 | 6949 |
| 2025 | 181377 | 7557 |
| 2026 | 197268 | 8219 |
| 2027 | 214550 | 8940 |
| 2028 | 233347 | 9723 |
| 2029 | 253791 | 10575 |
| 2030 | 276025 | 11501 |
| 2031 | 300208 | 12509 |
| 2032 | 326509 | 13605 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 6 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 1 Tahun 2021 - 2032

| Tol Jorr S | | |
|-------------------|---|--|
| Tahun | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 1 /hari | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 1 /jam |
| 2020 | 110476 | 4603 |
| 2021 | 120155 | 5006 |
| 2022 | 130681 | 5445 |
| 2023 | 142130 | 5922 |
| 2024 | 154582 | 6441 |
| 2025 | 168125 | 7005 |
| 2026 | 182855 | 7619 |
| 2027 | 198875 | 8286 |
| 2028 | 216298 | 9012 |
| 2029 | 235248 | 9802 |
| 2030 | 255858 | 10661 |
| 2031 | 278274 | 11595 |
| 2032 | 302653 | 12611 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 7 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 2 Tahun 2021 - 2032

| Tol Jorr S | | |
|-------------------|---|--|
| Tahun | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 2 /hari | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 2 /jam |
| 2020 | 5753 | 240 |
| 2021 | 6257 | 261 |
| 2022 | 6805 | 284 |
| 2023 | 7401 | 308 |
| 2024 | 8049 | 335 |
| 2025 | 8755 | 365 |
| 2026 | 9522 | 397 |
| 2027 | 10356 | 431 |
| 2028 | 11263 | 469 |
| 2029 | 12250 | 510 |
| 2030 | 13323 | 555 |
| 2031 | 14490 | 604 |
| 2032 | 15760 | 657 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 8 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 3 Tahun 2021 - 2032

| Tol Jorr S | | |
|-------------------|---|--|
| Tahun | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 3 /hari | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 3 /jam |
| 2020 | 2393 | 100 |
| 2021 | 2603 | 108 |
| 2022 | 2831 | 118 |
| 2023 | 3079 | 128 |
| 2024 | 3349 | 140 |
| 2025 | 3642 | 152 |
| 2026 | 3961 | 165 |
| 2027 | 4308 | 179 |
| 2028 | 4685 | 195 |
| 2029 | 5096 | 212 |
| 2030 | 5542 | 231 |
| 2031 | 6028 | 251 |
| 2032 | 6556 | 273 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 9 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 4 Tahun 2021 - 2032

| Tol Jorr S | | |
|-------------------|---|--|
| Tahun | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 4 /hari | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 4 /jam |
| 2020 | 329 | 14 |
| 2021 | 358 | 15 |
| 2022 | 390 | 16 |
| 2023 | 424 | 18 |
| 2024 | 461 | 19 |
| 2025 | 501 | 21 |
| 2026 | 545 | 23 |
| 2027 | 593 | 25 |
| 2028 | 645 | 27 |
| 2029 | 701 | 29 |
| 2030 | 763 | 32 |
| 2031 | 829 | 35 |
| 2032 | 902 | 38 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 10 Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 5 Tahun 2021 - 2032

| Tol Jorr S | | |
|-------------------|---|--|
| Tahun | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 5 /hari | Proyeksi Jumlah Kendaraan Golongan 5 /jam |
| 2020 | 233 | 10 |
| 2021 | 253 | 11 |
| 2022 | 275 | 11 |
| 2023 | 300 | 12 |
| 2024 | 326 | 14 |
| 2025 | 354 | 15 |
| 2026 | 385 | 16 |
| 2027 | 419 | 17 |
| 2028 | 456 | 19 |
| 2029 | 496 | 21 |
| 2030 | 539 | 22 |
| 2031 | 586 | 24 |
| 2032 | 638 | 27 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dapat dilihat bahwa proyeksi kendaraan total pada tahun 2021 sebesar 5401 kendaraan/jam sedangkan pada tahun 2032 sebesar 13605 kendaraan/jam. Proyeksi kendaraan golongan 1 pada tahun 2021 sebesar 5006 kendaraan/jam dan pada tahun 2032 sebesar 12611 kendaraan/jam. Proyeksi kendaraan golongan 2 pada tahun 2021 sebesar 261 kendaraan/jam dan pada tahun 2032 sebesar 657 kendaraan/jam. Proyeksi kendaraan golongan 3 pada tahun 2021 didapatkan sebesar 108 kendaraan/jam dan pada tahun 2032 sebesar 273 kendaraan/jam. Proyeksi kendaraan golongan 4 pada tahun 2021 didapatkan sebesar 15 kendaraan/jam dan pada tahun 2032 sebesar 38 kendaraan/jam. Proyeksi kendaraan golongan 5 pada tahun 2021

didapatkan sebesar 11 kendaraan/jam dan pada tahun 2032 sebesar 27 kendaraan/jam Setelah didapatkan proyeksi jumlah kendaraan lalu dilakukan perhitungan emisi CO₂ kendaraan pada Jalan Tol Jorr S.

4.4 Perhitungan Emisi CO₂ Dari Kendaraan

Emisi Karbon Dioksida (CO₂) transportasi merupakan jumlah total karbon dioksida yang dihasilkan dari suatu kegiatan transportasi akibat proses dari pembakaran bahan bakar, dan merupakan hasil emisi terbesar yang dihasilkan. Bahan bakar yang biasa digunakan adalah bahan bakar bensin (Premium atau Pertamina) dan Solar (Murti, 2015). Dalam perhitungan emisi CO₂ dari kegiatan transportasi terlebih dahulu dilakukan pengonversian jumlah kendaraan ke satuan mobil penumpang (smp). Untuk rumus konversi jumlah kendaraan ke satuan mobil penumpang sebagai berikut

$$n = m \times FK$$

Keterangan

n : jumlah kendaraan setelah dikonversi (smp/jam)

m : jumlah kendaraan (kendaraan/jam)

FK : faktor konversi (smp/kendaraan)

Menurut *Indonesia Highway Capacity Manual Part: Urban Road No. 09/T/BNKT/1993* dalam Murti (2015).

Nilai smp tiap jenis kendaraan digunakan nilai standar seperti berikut.

Sepeda Motor : 0,25 smp

Kendaraan Ringan : 1,00 smp

Kendaraan Berat : 1,20 smp

Sumber : Murti (2015)

Contoh perhitungan konversi jumlah kendaraan ke satuan mobil penumpang golongan I tahun 2021 sebagai berikut.

$$n = m \times FK$$

$$n = 5006 \text{ kendaraan/jam} \times 1,00 \text{ smp}$$

$$n = 5006 \text{ smp/jam}$$

Hasil perhitungan pengonversian jumlah kendaraan ke satuan mobil penumpang (smp) dapat dilihat pada tabel 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 sebagai berikut.

Tabel 4. 11 Pengonversian Jumlah Kendaraan Total Ke Satuan Mobil Penumpang (smp)

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan (kendaraan Total /jam) | Faktor Konversi (smp/kendaraan) | Jumlah Kendaraan Setelah Konversi (smp/jam) |
|-----|-------|---|---------------------------------|---|
| 1 | 2020 | 4966 | 1.00 | 4966 |
| 2 | 2021 | 5401 | | 5401 |
| 3 | 2022 | 5874 | | 5874 |
| 4 | 2023 | 6389 | | 6389 |
| 5 | 2024 | 6949 | | 6949 |
| 6 | 2025 | 7557 | | 7557 |

| | | | | |
|----|------|-------|--|-------|
| 7 | 2026 | 8219 | | 8219 |
| 8 | 2027 | 8940 | | 8940 |
| 9 | 2028 | 9723 | | 9723 |
| 10 | 2029 | 10575 | | 10575 |
| 11 | 2030 | 11501 | | 11501 |
| 12 | 2031 | 12509 | | 12509 |
| 13 | 2032 | 13605 | | 13605 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 12 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 1 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp)

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 1 (kendaraan /jam) | Faktor Konversi (smp/kendaraan) | Jumlah Kendaraan Setelah Konversi (smp/jam) |
|-----|-------|---|---------------------------------|---|
| 1 | 2020 | 4603 | 1.00 | 4603 |
| 2 | 2021 | 5006 | | 5006 |
| 3 | 2022 | 5445 | | 5445 |
| 4 | 2023 | 5922 | | 5922 |
| 5 | 2024 | 6441 | | 6441 |
| 6 | 2025 | 7005 | | 7005 |
| 7 | 2026 | 7619 | | 7619 |
| 8 | 2027 | 8286 | | 8286 |
| 9 | 2028 | 9012 | | 9012 |
| 10 | 2029 | 9802 | | 9802 |
| 11 | 2030 | 10661 | | 10661 |
| 12 | 2031 | 11595 | | 11595 |
| 13 | 2032 | 12611 | | 12611 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 13 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 2 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp)

Sumber : Hasil Perhitungan

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 2 (kendaraan /jam) | Faktor Konversi (smp/kendaraan) | Jumlah Kendaraan Setelah Konversi (smp/jam) |
|-----|-------|---|---------------------------------|---|
| 1 | 2020 | 240 | 1.20 | 288 |
| 2 | 2021 | 261 | | 313 |
| 3 | 2022 | 284 | | 340 |
| 4 | 2023 | 308 | | 370 |
| 5 | 2024 | 335 | | 402 |
| 6 | 2025 | 365 | | 438 |
| 7 | 2026 | 397 | | 476 |
| 8 | 2027 | 431 | | 518 |
| 9 | 2028 | 469 | | 563 |
| 10 | 2029 | 510 | | 612 |
| 11 | 2030 | 555 | | 666 |
| 12 | 2031 | 604 | | 725 |
| 13 | 2032 | 657 | | 788 |

Tabel 4. 14 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 3 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp)

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 3 (kendaraan /jam) | Faktor Konversi (smp/kendaraan) | Jumlah Kendaraan Setelah Konversi (smp/jam) |
|-----|-------|---|---------------------------------|---|
| 1 | 2020 | 100 | 1.20 | 120 |
| 2 | 2021 | 108 | | 130 |
| 3 | 2022 | 118 | | 142 |
| 4 | 2023 | 128 | | 154 |
| 5 | 2024 | 140 | | 167 |
| 6 | 2025 | 152 | | 182 |
| 7 | 2026 | 165 | | 198 |
| 8 | 2027 | 179 | | 215 |
| 9 | 2028 | 195 | | 234 |
| 10 | 2029 | 212 | | 255 |
| 11 | 2030 | 231 | | 277 |
| 12 | 2031 | 251 | | 301 |
| 13 | 2032 | 273 | | 328 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 15 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 4 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp)

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 4 (kendaraan /jam) | Faktor Konversi (smp/kendaraan) | Jumlah Kendaraan Setelah Konversi (smp/jam) |
|-----|-------|---|---------------------------------|---|
| 1 | 2020 | 14 | 1.20 | 16 |
| 2 | 2021 | 15 | | 18 |
| 3 | 2022 | 16 | | 19 |
| 4 | 2023 | 18 | | 21 |
| 5 | 2024 | 19 | | 23 |
| 6 | 2025 | 21 | | 25 |
| 7 | 2026 | 23 | | 27 |
| 8 | 2027 | 25 | | 30 |
| 9 | 2028 | 27 | | 32 |
| 10 | 2029 | 29 | | 35 |
| 11 | 2030 | 32 | | 38 |
| 12 | 2031 | 35 | | 41 |
| 13 | 2032 | 38 | | 45 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 16 Pengonversian Jumlah Kendaraan Gol 5 Ke Satuan Mobil Penumpang (smp)

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 5 (kendaraan /jam) | Faktor Konversi (smp/kendaraan) | Jumlah Kendaraan Setelah Konversi (smp/jam) |
|-----|-------|---|---------------------------------|---|
| 1 | 2020 | 10 | 1.20 | 12 |
| 2 | 2021 | 11 | | 13 |
| 3 | 2022 | 11 | | 14 |
| 4 | 2023 | 12 | | 15 |
| 5 | 2024 | 14 | | 16 |
| 6 | 2025 | 15 | | 18 |
| 7 | 2026 | 16 | | 19 |
| 8 | 2027 | 17 | | 21 |
| 9 | 2028 | 19 | | 23 |
| 10 | 2029 | 21 | | 25 |
| 11 | 2030 | 22 | | 27 |
| 12 | 2031 | 24 | | 29 |
| 13 | 2032 | 27 | | 32 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Konversi ke satuan mobil penumpang pada Jalan Tol Jorr S yang dimana pada tahun 2021 tercatat 5401 smp/jam dan pada tahun 2032 tercatat 13605 smp/jam. Konversi ke satuan mobil penumpang pada golongan 1 dengan faktor konversi digunakan 1.00 smp dikarenakan termasuk kendaraan ringan dan didapatkan hasil pada tahun 2021 sebesar 5006 smp/jam dan pada tahun 2032 sebesar 12611 smp/jam. Konversi ke satuan mobil penumpang pada golongan 2 dengan faktor konversi digunakan 1.20 smp dikarenakan termasuk kendaraan berat dengan hasil pada tahun 2021 sebesar 313 smp/jam dan pada tahun 2032 sebesar 788 smp/jam. Konversi ke satuan mobil penumpang pada golongan 3 dengan faktor konversi digunakan 1.20 dikarenakan termasuk kendaraan berat dengan hasil pada tahun 2021 sebesar 120 smp/jam dan pada 2032 sebesar 328 smp/jam. Konversi ke satuan mobil penumpang pada golongan 4 dengan faktor emisi 1.20 dikarenakan termasuk kendaraan berat dengan hasil pada tahun 2021 sebesar 18 smp/jam dan pada tahun 2032 sebesar 45 smp/jam. Konversi ke satuan mobil penumpang pada golongan 5 dengan faktor emisi 1.20 dikarenakan termasuk kendaraan berat dengan hasil pada tahun 2021 sebesar 13 smp/jam dan pada tahun 2032 sebesar 32 smp/jam.

Kemudian, perhitungan emisi gas dihitung dalam persamaan berikut.

$$\text{Emisi CO}_2 = n \times \text{FE} \times \text{K} \times \text{panjang jalan (km)}$$

Keterangan

n : jumlah kendaraan setelah konversi (smp/jam)

FE : faktor emisi (g/liter)

K : konsumsi bahan bakar (liter/100km)

Faktor emisi dan konsumsi bahan bakar yang digunakan adalah faktor emisi dan konsumsi bahan bakar untuk mobil penumpang. Nilai faktor emisi dan tipe bahan bakar dan jenis kendaraan dapat dilihat seperti berikut.

Tabel 4. 17 Faktor Emisi Jenis Bahan Bakar dari Kendaraan

| Tipe Kendaraan/Bahan Bakar | Faktor Emisi CO ₂ (gram/L) |
|----------------------------|---------------------------------------|
| Bensin | |
| Kendaraan Penumpang | 2597,86 |
| Kendaraan Niaga Besar | 2597,86 |
| Sepeda Motor | 2597,86 |
| Diesel | |
| Kendaraan Penumpang | 2924,90 |
| Kendaraan Niaga Kecil | 2924,90 |
| Kendaraan Niaga Besar | 2924,90 |
| Lokomotif | 2924,90 |

Sumber : IPCC (2006) dalam Adiasasari (2010)

Konsumsi bahan bakar yang telah disesuaikan dengan jenis kendaraannya dapat dilihat seperti berikut.

Tabel 4. 18 Konsumsi Energi Spesifik Kendaraan Bermotor

| No. | Jenis Kendaraan | Konsumsi Energi Spesifik (L/100 km) |
|-----|-----------------|-------------------------------------|
| 1. | Mobil Penumpang | |
| | - Bensin | 11,79 |
| | - Diesel/solar | 11,36 |
| 2. | Bus Besar | |
| | - Bensin | 23,15 |
| | - Diesel/solar | 16,89 |
| 3. | Bus Sedang | 13,04 |
| 4. | Bus Kecil | |
| | - Bensin | 11,35 |
| | - Diesel/solar | 11,83 |
| 5. | Bemo dan Bajaj | 10,99 |
| 6. | Taksi | |
| | - Bensin | 10,88 |
| | - Diesel/solar | 6,25 |
| 7. | Truk Besar | 15,82 |
| 8. | Truk Sedang | 15,15 |
| 9. | Truk Kecil | |
| | - Bensin | 8,11 |
| | - Diesel/solar | 10,64 |
| 10. | Sepeda Motor | 2,66 |

Sumber : BPPT dalam Hariyati (2009)

Perhitungan emisi CO₂ rata-rata akan didapatkan perkiraan jumlah emisi CO₂ rata-rata untuk jenis kendaraan dan jenis jalan. Emisi CO₂ tersebut akan digunakan untuk menghitung

perkiraan jumlah emisi CO₂ pada Jalan Tol *Jakarta Outer Ring Road S* (JORR S) Rachmawati, 2011. Contoh perhitungan jumlah emisi CO₂ golongan I pada tahun 2021 sebagai berikut :

Emisi CO₂ = n x FE x K x panjang jalan

= 5006 smp/jam x 2597,86 g/liter x 0,1179 liter/km x 14,25 km

= 21,851,109 gCO₂/jam

Konversi dari emisi CO₂ (g/jam) ke (kg/jam) yaitu :

= 21,851,109 gCO₂/jam / 1000

= 21,851 kgCO₂/jam

Perhitungan emisi CO₂ dapat dilihat pada tabel sebagai berikut.

Tabel 4. 19 Perhitungan Emisi CO₂ Dari Kendaraan Total

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Setelah Konversi (smp/jam) | Faktor Emisi (g/liter) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/km) | Panjang Tol (km) | Emisi CO ₂ (g/jam) | Emisi CO ₂ (Kg/jam) |
|-----|-------|---|------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2020 | 4966 | 2597.86 | 0.1179 | 14.25 | 21674540 | 21675 |
| 2 | 2021 | 5401 | | | | 23573446 | 23573 |
| 3 | 2022 | 5874 | | | | 25638716 | 25639 |
| 4 | 2023 | 6389 | | | | 27884924 | 27885 |
| 5 | 2024 | 6949 | | | | 30327922 | 30328 |
| 6 | 2025 | 7557 | | | | 32984952 | 32985 |
| 7 | 2026 | 8219 | | | | 35874763 | 35875 |
| 8 | 2027 | 8940 | | | | 39017751 | 39018 |
| 9 | 2028 | 9723 | | | | 42436096 | 42436 |
| 10 | 2029 | 10575 | | | | 46153923 | 46154 |
| 11 | 2030 | 11501 | | | | 50197468 | 50197 |
| 12 | 2031 | 12509 | | | | 54595268 | 54595 |
| 13 | 2032 | 13605 | | | | 59378359 | 59378 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 20 Perhitungan Emisi CO₂ Dari Kendaraan Gol 1

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 1 Setelah Konversi (smp/jam) | Faktor Emisi (g/liter) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/km) | Panjang Tol (km) | Emisi CO ₂ (g/jam) | Emisi CO ₂ (Kg/jam) |
|-----|-------|---|------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2020 | 4603 | 2597.86 | 0.1179 | 14.25 | 20090942 | 20091 |
| 2 | 2021 | 5006 | | | | 21851109 | 21851 |
| 3 | 2022 | 5445 | | | | 23765485 | 23765 |
| 4 | 2023 | 5922 | | | | 25847579 | 25848 |
| 5 | 2024 | 6441 | | | | 28112085 | 28112 |
| 6 | 2025 | 7005 | | | | 30574985 | 30575 |
| 7 | 2026 | 7619 | | | | 33253660 | 33254 |
| 8 | 2027 | 8286 | | | | 36167013 | 36167 |
| 9 | 2028 | 9012 | | | | 39335605 | 39336 |
| 10 | 2029 | 9802 | | | | 42781797 | 42782 |
| 11 | 2030 | 10661 | | | | 46529910 | 46530 |
| 12 | 2031 | 11595 | | | | 50606396 | 50606 |
| 13 | 2032 | 12611 | | | | 55040022 | 55040 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 21 Perhitungan Emisi CO₂ Dari Kendaraan Gol 2

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 2 Setelah Konversi (smp/jam) | Faktor Emisi (g/liter) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/km) | Panjang Tol (km) | Emisi CO ₂ (g/jam) | Emisi CO ₂ (Kg/jam) |
|-----|-------|---|------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2020 | 288 | 2924.9 | 0.1304 | 14.25 | 1563300 | 1563 |
| 2 | 2021 | 313 | | | | 1700261 | 1700 |
| 3 | 2022 | 340 | | | | 1849221 | 1849 |
| 4 | 2023 | 370 | | | | 2011231 | 2011 |
| 5 | 2024 | 402 | | | | 2187435 | 2187 |
| 6 | 2025 | 438 | | | | 2379076 | 2379 |
| 7 | 2026 | 476 | | | | 2587507 | 2588 |
| 8 | 2027 | 518 | | | | 2814199 | 2814 |
| 9 | 2028 | 563 | | | | 3060751 | 3061 |
| 10 | 2029 | 612 | | | | 3328903 | 3329 |
| 11 | 2030 | 666 | | | | 3620548 | 3621 |
| 12 | 2031 | 725 | | | | 3937744 | 3938 |
| 13 | 2032 | 788 | | | | 4282730 | 4283 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 22 Perhitungan Emisi CO₂ Dari Kendaraan Gol 3

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 3 Setelah Konversi (smp/jam) | Faktor Emisi (g/liter) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/km) | Panjang Tol (km) | Emisi CO ₂ (g/jam) | Emisi CO ₂ (Kg/jam) |
|-----|-------|---|------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2020 | 120 | 2924.9 | 0.1689 | 14.25 | 842335 | 842 |
| 2 | 2021 | 130 | | | | 916132 | 916 |
| 3 | 2022 | 142 | | | | 996394 | 996 |
| 4 | 2023 | 154 | | | | 1083688 | 1084 |
| 5 | 2024 | 167 | | | | 1178630 | 1179 |
| 6 | 2025 | 182 | | | | 1281890 | 1282 |
| 7 | 2026 | 198 | | | | 1394196 | 1394 |
| 8 | 2027 | 215 | | | | 1516341 | 1516 |
| 9 | 2028 | 234 | | | | 1649188 | 1649 |
| 10 | 2029 | 255 | | | | 1793673 | 1794 |
| 11 | 2030 | 277 | | | | 1950817 | 1951 |
| 12 | 2031 | 301 | | | | 2121728 | 2122 |
| 13 | 2032 | 328 | | | | 2307613 | 2308 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 23 Perhitungan Emisi CO₂ Dari Kendaraan Gol 4

| No. | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 4 Setelah Konversi (smp/jam) | Faktor Emisi (g/liter) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/km) | Panjang Tol (km) | Emisi CO ₂ (g/jam) | Emisi CO ₂ (Kg/jam) |
|-----|-------|---|------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2020 | 16 | 2924.9 | 0.1515 | 14.25 | 103968 | 104 |
| 2 | 2021 | 18 | | | | 113076 | 113 |
| 3 | 2022 | 19 | | | | 122983 | 123 |
| 4 | 2023 | 21 | | | | 133757 | 134 |
| 5 | 2024 | 23 | | | | 145476 | 145 |
| 6 | 2025 | 25 | | | | 158221 | 158 |
| 7 | 2026 | 27 | | | | 172083 | 172 |
| 8 | 2027 | 30 | | | | 187159 | 187 |
| 9 | 2028 | 32 | | | | 203556 | 204 |
| 10 | 2029 | 35 | | | | 221390 | 221 |
| 11 | 2030 | 38 | | | | 240786 | 241 |
| 12 | 2031 | 41 | | | | 261881 | 262 |
| 13 | 2032 | 45 | | | | 284824 | 285 |

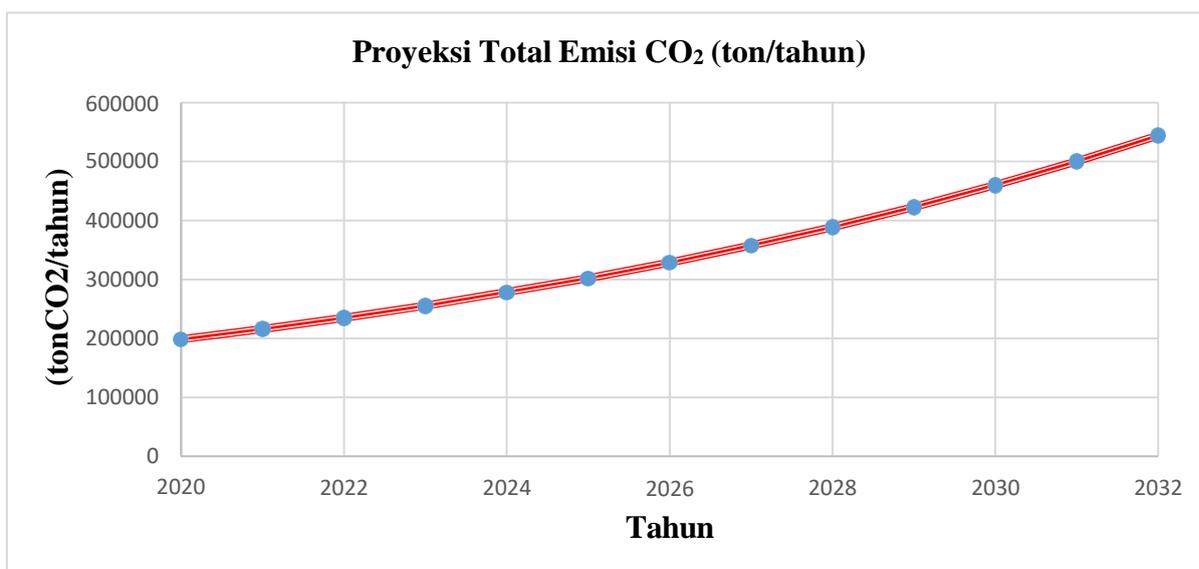
Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 24 Perhitungan Emisi CO₂ Dari Kendaraan Gol 5

| No | Tahun | Jumlah Kendaraan Gol 5 Setelah Konversi (smp/jam) | Faktor Emisi (g/liter) | Konsumsi Bahan Bakar (liter/km) | Panjang Tol (km) | Emisi CO ₂ (g/jam) | Emisi CO ₂ (Kg/jam) |
|----|-------|---|------------------------|---------------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 2020 | 12 | 2924.9 | 0.1582 | 14.25 | 76757 | 77 |
| 2 | 2021 | 13 | | | | 83481 | 83 |
| 3 | 2022 | 14 | | | | 90795 | 91 |
| 4 | 2023 | 15 | | | | 98750 | 99 |
| 5 | 2024 | 16 | | | | 107401 | 107 |
| 6 | 2025 | 18 | | | | 116811 | 117 |
| 7 | 2026 | 19 | | | | 127044 | 127 |
| 8 | 2027 | 21 | | | | 138175 | 138 |
| 9 | 2028 | 23 | | | | 150280 | 150 |
| 10 | 2029 | 25 | | | | 163446 | 163 |
| 11 | 2030 | 27 | | | | 177766 | 178 |
| 12 | 2031 | 29 | | | | 193340 | 193 |
| 13 | 2032 | 32 | | | | 210278 | 210 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Dapat dilihat dari tabel diatas didapatkan emisi CO₂ dari kendaraan total pada tahun 2021 yaitu 21675 (Kg/jam) dan sedangkan pada tahun 2032 yaitu 59378 (Kg/jam). Emisi CO₂ dari kendaraan pada golongan 1 dengan faktor emisi 1297.86 g/liter dikarenakan termasuk kendaraan penumpang dengan menggunakan konsumsi bahan bakar 0.1179 liter/km dikarenakan termasuk mobil penumpang dengan bahan bakar bensin dengan hasil yang didapatkan pada tahun 2021 sebesar 21851 kg/jam dan pada tahun 2032 sebesar 55040 kg/jam. Emisi CO₂ dari kendaraan pada golongan 2 dengan faktor emisi 2924.9 g/liter dikarenakan termasuk kendaraan penumpang berbahan bakar diesel dengan konsumsi bahan bakar 0.1304 liter/km dikarenakan termasuk bus sedang dengan hasil pada tahun 2021 sebesar 1700 kg/jam dan pada tahun 2032 sebesar 4283 kg/jam. Emisi CO₂ dari kendaraan pada golongan 3 dengan faktor emisi 2924.9 g/liter dikarenakan termasuk kendaraan niaga kecil dengan konsumsi bahan bakar 0.1689 liter/km dikarenakan termasuk bus besar dengan diesel/solar dengan hasil yang didapatkan pada tahun 2021 sebesar 916 kg/jam dan pada tahun 2032 sebesar 2308 kg/jam. Emisi CO₂ dari kendaraan pada golongan 4 dengan faktor emisi 2924.9 g/liter dikarenakan termasuk kendaraan niaga besar dengan konsumsi bahan bakar 0.1515 liter/km dikarenakan termasuk kendaraan truk sedang dengan hasil yang didapat pada tahun 2021 sebesar 113 kg/jam dan pada tahun 2032 sebesar 285 kg/jam. Emisi CO₂ dari kendaraan pada golongan 5 dengan faktor emisi 2924.9 g/liter dikarenakan termasuk kendaraan niaga besar dengan konsumsi bahan bakar 0.1582 liter/km dikarenakan termasuk kendaraan truk besar dengan hasil yang didapat pada tahun 2021 sebesar 83 kg/jam dan pada tahun 2032 sebesar 210 kg/jam. Berikut merupakan grafik total emisi CO₂ yang dihasilkan bisa dilihat sebagai berikut.



Gambar 4. 1 Grafik Total Emisi CO₂
 Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.1, dapat dilihat bahwa total emisi CO₂ aktual setiap tahunnya di jalan tol JORR S akan terus meningkat. Hal ini, menunjukkan bahwa perlu adanya pengoptimalan lahan vegetasi yang sudah ada dengan mempertimbangkan jenis tanaman dan luas lahan yang akan digunakan.

4.5 Perhitungan Daya Serap Vegetasi

Setelah mendapatkan emisi kendaraan pada jalan tol jorr s, maka selanjutnya menghitung kebutuhan lahan untuk vegetasi sebagai penyerap emisi tersebut. Tanaman dapat menyerap CO₂ dan melepaskan O₂ melalui proses fotosintesisnya, dan selain dapat menyerap emisi karbon CO₂ tanaman juga memiliki fungsi lain yaitu, sebagai penyuplai O₂ untuk manusia, dan dapat memberikan kenyamanan dan keindahan (Dahlan, 2007). Sebagaimana diketahui, tumbuhan melakukan fotosintesis untuk membentuk zat makanan atau energi yang dibutuhkan tanaman tersebut. Dalam fotosintesis tersebut tumbuhan menyerap CO₂ dan air yang kemudian diubah menjadi glukosa dan oksigen dengan bantuan sinar matahari. Semua proses ini berlangsung di klorofil. Kemampuan tanaman sebagai penyerap CO₂ akan berbeda-beda. Banyak faktor yang mempengaruhi daya serap CO₂. Diantaranya ditentukan oleh mutu klorofil. Mutu klorofil ditentukan oleh berdasarkan banyak sedikitnya magnesium yang menjadi inti klorofil. Semakin besar tingkat magnesium, daun akan berwarna hijau gelap (Alamaedah, 2010). Penanaman vegetasi akan dilakukan setiap tahunnya karena vegetasi memiliki daya serap yang berbeda tiap tahunnya. Oleh karena itu dibutuhkan penyesuaian penanaman sesuai perhitungan emisi yang telah didapatkan dari besaran jumlah kendaraan yang melintasi jalan Tol Jorr S agar dapat tereduksi dengan maksimal oleh adanya optimalisasi vegetasi tersebut. Berikut data yang didapatkan dari PT Utama Karya terkait vegetasi eksisting pada Tol Jorr S bisa dilihat pada tabel 4.25, 4.26.

Tabel 4. 25 Data Vegetasi Tol Jorr S Tahun 2021

| Penanaman Vegetasi Tahun 2021 Ruas Tol Jorr S | | | |
|--|-----------------------------------|------------------|--------|
| No | Ruas Jalan Tol | Jenis Pohon | Jumlah |
| 1 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Ketapang Kencana | 200 |
| 2 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 3 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Pucuk Merah | 100 |
| 4 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 5 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Pucuk Merah | 100 |
| 6 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 7 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Ketapang Kencana | 100 |
| 8 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Pucuk Merah | 100 |
| 9 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 10 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Beringin | 100 |
| 11 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Ketapang Kencana | 100 |
| 12 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 13 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Pucuk Merah | 100 |
| 14 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| Total Jumlah Pohon | | | 1500 |

Sumber : PT Hutama Karya

Tabel 4. 26 Data Vegetasi Tol Jorr S Tahun 2022

| Penanaman Vegetasi Tahun 2022 Ruas Tol Jorr S | | | |
|--|-----------------------------------|------------------|--------|
| No | Ruas Jalan Tol | Jenis Pohon | Jumlah |
| 1 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Ketapang Kencana | 200 |
| 2 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Ketapang Kencana | 200 |
| 3 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 4 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 5 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 6 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 7 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 8 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 9 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 10 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 11 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 12 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| 13 | JORR-S (Pondok Pinang - Jagorawi) | Bugenvil | 100 |
| Total Jumlah Pohon | | | 1500 |

Sumber : PT Hutama Karya

Dari data diatas dapat dilihat bahwa vegetasi yang tersebar pada jalan Tol Jorr S seperti ketapang kencana, bugenvil, pucuk merah, beringin sebanyak 3000 vegetasi pohon maupun tumbuhan. Untuk menghitung daya serap emisi CO₂ oleh suatu pohon serta jenis tutupan vegetasi dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut Murti, 2015.

$$\text{Daya Serap Emisi CO}_2 = A \times B$$

Keterangan

Daya Serap Emisi CO₂: kemampuan daya serap tanaman eksisting dalam menyerap emisi CO₂

A : daya serap emisi CO₂ (kgCO₂/pohon/tahun atau kg CO₂/ha/tahun)

B : luas tutupan vegetasi atau jumlah pohon

Perhitungan sisa emisi yang tidak semuanya dapat direduksi oleh tanaman eksisting dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$S \text{ CO}_2 = X - \text{Daya Serap Emisi CO}_2$$

Keterangan

Daya Serap Emisi CO₂ : kemampuan daya serap tanaman eksisting dalam menyerap emisi CO₂

X : total emisi CO₂ aktual

S CO₂ : emisi karbon dioksida yang belum terserap

Jika total emisi CO₂ aktualnya lebih besar dari kemampuan daya serap tanaman eksisting, maka perlu dihitung kebutuhan tanaman tambahan dengan persamaan sebagai berikut.

$$\text{Kebutuhan tanaman tambahan} = S \text{ CO}_2 - \text{Daya Serap Emisi CO}_2$$

Keterangan

Daya Serap Emisi CO₂ : kemampuan daya serap tanaman eksisting dalam menyerap emisi CO₂

S CO₂ : emisi karbon dioksida CO₂ yang belum terserap

Berikut merupakan daya serap emisi dari berbagai vegetasi bisa dilihat pada tabel 4.27 seperti berikut.

Tabel 4. 27 Daya Serap Vegetasi

| Vegetasi | Daya Serap (g/jam/pohon) | Daya Serap (Kg/pohon/tahun) |
|------------------|--------------------------|-----------------------------|
| Ketapang Kencana | 24.16 ³ | 211.64 ³ |
| Bugenvil | - | 22 ² |
| Pucuk Merah | 155.58 ¹ | 1362.88 ¹ |
| Beringin | | 535.9 ¹ |

(Sumber : ¹Dahlan, 2007

²Roshintha dan Mangkoedihardjo, 2016

³Suryani, 2014)

Dari tabel daya serap vegetasi dan data luas tutupan vegetasi/ jumlah pohon pada Tol Jorr S diatas maka didapatkan perhitungan daya serap emisi CO₂ eksisting pada tabel 4.28 seperti berikut.

Tabel 4. 28 Daya Serap Emisi CO₂ Eksisting

| Vegetasi | Daya Serap (g/jam/pohon) | Daya Serap (kg/pohon/tahun) | Luas Tutupan Vegetasi / Jumlah Pohon | Daya Serap Emisi CO ₂ Eksisting (kg/pohon/tahun) |
|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|---|
| Ketapang Kencana | 24.16 | 211.64 | 800 | 169313 |
| Bugenvil | - | 22 | 1700 | 37400 |
| Pucuk Merah | 155.58 | 1362.88 | 400 | 545152 |
| Beringin | | 535.9 | 100 | 53590 |
| Total | | | | 805456 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Contoh perhitungan daya serap emisi CO₂ eksisting untuk vegetasi ketapang kencana sebagai berikut :

Ketapang Kencana

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Ketapang Kencana) = A x B

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Ketapang Kencana) = 211,64 kg/pohon/tahun x 800

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Ketapang Kencana) = 169,313 kg/tahun

Bugenvil

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Bugenvil) = A x B

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Bugenvil) = 22 kg/pohon/tahun x 1700

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Bugenvil) = 37,400 kg/tahun

Pucuk Merah

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Pucuk Merah) = A x B

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Pucuk Merah)= 1362,88 kg/pohon/tahun x 400

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Pucuk Merah)= 545,152 kg/tahun

Beringin

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Beringin) = A x B

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Beringin) = 535,9 kg/pohon/tahun x 100

Daya serap emisi CO₂ eksisting (Beringin) = 53,590 kg/tahun

Total daya serap emisi CO₂ eksisting

= Daya Serap Emisi CO₂ Ketapang Kencana + Bugenvil + Pucuk Merah + Beringin

= 169,313 kg/tahun x 37,400 kg/tahun x 545,142 kg/tahun x 535,590 kg/tahun

= 805,456 kg/tahun

Daya serap emisi CO₂ eksisting vegetasi ketapang kencana dengan jumlah 800, maka didapatkan sebesar 169,313 kg/tahun, dan vegetasi bugenvil dengan jumlah 1700 didapatkan sebesar 37,400 kg/tahun, dan vegetasi pucuk merah dengan jumlah 400 maka didapatkan sebesar 545,152 kg/tahun, dan vegetasi beringin dengan jumlah 100 maka didapatkan sebesar 53.590 dengan total daya serap emisi CO₂ eksisting yang didapatkan menjadi 805,456 kg/tahun. Selanjutnya setelah didapatkan daya serap emisi CO₂ eksisting maka dilakukan perhitungan sisa emisi yang tidak dapat direduksi oleh vegetasi eksisting. Contoh perhitungan sisa emisi pada tahun 2021 yang tidak dapat direduksi oleh vegetasi eksisting sebagai berikut :

S CO₂ = X – Daya Serap Emisi CO₂

S CO₂ = 216,057 ton/tahun – 805 ton/tahun

S CO₂ = 215,252 ton/tahun

Berikut perhitungannya bisa dilihat pada tabel 4.29 sebagai berikut.

Tabel 4. 29 Sisa Emisi Yang Tidak Dapat Direduksi Oleh Vegetasi Eksisting

| No. | Tahun | Total Emisi CO ₂ (kg/jam) | Total Emisi CO ₂ (ton/tahun) | Daya Serap Emisi CO ₂ Eksisting | Emisi CO ₂ Yang Belum Terserap |
|--------------|-------|--------------------------------------|---|--|---|
| 1 | 2020 | 22677 | 198653 | 805 | 197848 |
| 2 | 2021 | 24664 | 216057 | | 215252 |
| 3 | 2022 | 26825 | 234986 | | 234180 |
| 4 | 2023 | 29175 | 255573 | | 254768 |
| 5 | 2024 | 31731 | 277964 | | 277158 |
| 6 | 2025 | 34511 | 302316 | | 301511 |
| 7 | 2026 | 37534 | 328802 | | 327997 |
| 8 | 2027 | 40823 | 357608 | | 356803 |
| 9 | 2028 | 44399 | 388939 | | 388133 |
| 10 | 2029 | 48289 | 423013 | | 422208 |
| 11 | 2030 | 52520 | 460074 | | 459268 |
| 12 | 2031 | 57121 | 500381 | | 499575 |
| 13 | 2032 | 62125 | 544219 | | 543414 |
| Total | | | | | 4478115 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Bisa dilihat dari tabel diatas bahwa pada tahun 2021 emisi CO₂ yang belum terserap oleh vegetasi eksisting sebesar 216,057 ton/tahun dan pada tahun 2032 sebesar 544,219 ton/tahun. Dilakukan perhitungan kebutuhan vegetasi tambahan dengan menggunakan semak/perdu, pohon, dan rumput. Alasan memakai ketiga jenis vegetasi tersebut karena sangat

cocok untuk jalan tol. Komposisi penambahan vegetasi untuk semak/perdu 90%, pohon 7%, dan rumput 3%. Dengan pertimbangan luas lahan jalan tol maka didapatkan komposisi vegetasi tersebut. Vegetasi yang memiliki daya serap tinggi adalah pohon namun untuk komposisi penutup lahan hanya sebesar 7% dikarenakan pohon memiliki daun yang banyak dan nantinya akan membahayakan pengendara apabila daun tersebut berjatuhan dan berserakan di jalan tol. Untuk komposisi penutup lahan terbesar yaitu semak/perdu sebesar 90% dikarenakan vegetasi perdu/semak memiliki tinggi yang hampir sama dengan keluarnya emisi dari knalpot kendaraan yang melintasi Tol Jorr S. Rumput yang memiliki tinggi kurang dari tinggi semak/perdu direncanakan untuk menyerap emisi ke bagian bawah sedangkan untuk pohon ke bagian atas. Untuk pohon yang digunakan adalah pohon trembesi karena menurut Dahlan (2007) pohon ini termasuk vegetasi dengan nilai reduksi CO₂ yang besar dan bentuk pohon trembesi seperti kanopi atau payung raksasa juga bisa menurunkan suhu udara hingga 4°C serta sangat cocok ditanam pada wilayah yang panas dan dilalui kendaraan yang padat. Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 05/PRT/M/2012 untuk rumput yang biasanya ditanami di jalan tol adalah lamuran. Untuk perdu/semak yang digunakan adalah pucuk merah dikarenakan akar pucuk merah memiliki struktur akar tunggang yang kuat dan kokoh yang mampu mencegah longsor terjadi dan sangat cocok ditanami di iklim tropis. Untuk gambar vegetasinya bisa dilihat pada gambar 4.2, 4.3, 4.4.



Gambar 4. 2 Pohon Trembesi
Sumber: Rimbakita (2015)



Gambar 4. 3 Rumput Lamuran
Sumber : Flamboyansari (2018)



Gambar 4. 4 Perdu/Semak Pucuk Merah
Sumber : Kompas (2011)

Berikut merupakan tabel daya serap vegetasi yang dipakai untuk pengoptimalan vegetasi yang dipakai sebagai berikut.

Tabel 4. 30 Daya Serap Vegetasi Yang Dipakai Untuk Pengoptimalan

| Vegetasi | Daya Serap (g/jam/pohon) | Daya Serap (kg/tahun) |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Rumput (Lamuran) | - | 12000 kg/ha/tahun |
| Perdu/Semak (Pucuk Merah) | - | 1362,88 kg/pohon/tahun |
| Pohon (Trembesi) | - | 28488,39 kg/pohon/tahun |

Sumber: Dahlan, 2007

Perhitungan kebutuhan vegetasi tambahan pada jalan Tol Jorr S dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Kebutuhan Lahan} = \text{Emisi CO}_2 / \text{Daya Serap} \times \% \text{ Vegetasi}$$

Kebutuhan Lahan = Lahan Vegetasi (ha)

Emisi CO₂ = Jumlah Emisi CO₂ (kg/tahun)

Daya Serap = Daya Serap (kg/pohon/tahun)

Dapat dilihat dari rumus diatas maka perhitungan pada tahun 2021, yaitu :

a. Rumput

$$\text{Kebutuhan Lahan} = \text{Emisi CO}_2 / \text{Daya Serap} \times \% \text{ Vegetasi}$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = (215.251.704 / 12000) \times 3\%$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = 538 \text{ Ha}$$

b. Perdu/semak

$$\text{Kebutuhan Lahan} = \text{Emisi CO}_2 / \text{Daya Serap} \times \% \text{ Vegetasi}$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = (215.251.704 / 1362.88) \times 90\%$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = 142.145 \text{ Perdu/semak}$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = 142.145 \times \text{Luas Tajuk}$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = 142.145 \times 1.77 \text{ m}^2$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = 25.11 \text{ Ha}$$

c. Pohon

$$\text{Kebutuhan Lahan} = \text{Emisi CO}_2 / \text{Daya Serap} \times \% \text{ Vegetasi}$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = (215.251.704 / 28488.39) \times 7\%$$

$$\text{Kebutuhan Lahan} = 529 \text{ Pohon}$$

Kebutuhan Lahan = 529 x Luas Tajuk

Kebutuhan Lahan = 529 x 176.63 m²

Kebutuhan Lahan = 9.34 Ha

Untuk hasil perhitungan lengkapnya dapat dilihat pada tabel 4.34, 4.35, 4.36 sebagai berikut.

Tabel 4. 31 Kebutuhan Lahan Vegetasi Rumput

| Tahun | Jenis Vegetasi | Presentase Vegetasi | Emisi CO ₂ Yang Belum Terserap (kg CO ₂ /tahun) | Daya Serap (kg/ha/tahun) | Kebutuhan Luas Tanaman Tambahan (ha) | Pertambahan Luas Tanaman Tiap Tahun (Ha) |
|-------|----------------|---------------------|---|--------------------------|--------------------------------------|--|
| 2020 | Rumput | 3% | 5935431 | 12000.00 | 495 | 495 |
| 2021 | | | 6457551 | | 538 | 44 |
| 2022 | | | 7025414 | | 585 | 47 |
| 2023 | | | 7643028 | | 637 | 51 |
| 2024 | | | 8314750 | | 693 | 56 |
| 2025 | | | 9045323 | | 754 | 61 |
| 2026 | | | 9839900 | | 820 | 66 |
| 2027 | | | 10704091 | | 892 | 72 |
| 2028 | | | 11643993 | | 970 | 78 |
| 2029 | | | 12666240 | | 1056 | 85 |
| 2030 | | | 13778047 | | 1148 | 93 |
| 2031 | | | 14987258 | | 1249 | 101 |
| 2032 | | | 16302409 | | 1359 | 110 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 32 Kebutuhan Lahan Vegetasi Perdu/ Semak

| Tahun | Jenis Vegetasi | Presentase Vegetasi | Emisi CO ₂ Yang Belum Terserap (kg CO ₂ /tahun) | Daya Serap (Kg/pohon/tahun) | Kebutuhan Tanaman | Kebutuhan Tanaman Tambahan Tiap Tahun | Luas Lahan per Tajuk (m ²) | Kebutuhan Luas Tanaman Tambahan (m ²) | Kebutuhan Luas Tanaman Tambahan (ha) | Pertambahan Luas Tanaman Tiap Tahun (Ha) |
|-------|---------------------------|---------------------|---|-----------------------------|-------------------|---------------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|
| 2020 | Pucuk Merah (Semak/Perdu) | 90% | 178062931 | 1362.88 | 130652 | 130652 | 1.77 | 230764 | 23.08 | 23.08 |
| 2021 | | | 193726534 | | 142145 | 11493 | | 251063 | 25.11 | 2.03 |
| 2022 | | | 210762425 | | 154645 | 12500 | | 273141 | 27.31 | 2.21 |
| 2023 | | | 229290830 | | 168240 | 13595 | | 297154 | 29.72 | 2.40 |
| 2024 | | | 249442509 | | 183026 | 14786 | | 323270 | 32.33 | 2.61 |
| 2025 | | | 271359677 | | 199107 | 16082 | | 351673 | 35.17 | 2.84 |
| 2026 | | | 295197007 | | 216598 | 17490 | | 382566 | 38.26 | 3.09 |
| 2027 | | | 321122727 | | 235621 | 19023 | | 416165 | 41.62 | 3.36 |
| 2028 | | | 349319798 | | 256310 | 20689 | | 452707 | 45.27 | 3.65 |
| 2029 | | | 379987215 | | 278812 | 22502 | | 492451 | 49.25 | 3.97 |
| 2030 | | | 413341404 | | 303285 | 24473 | | 535677 | 53.57 | 4.32 |
| 2031 | | | 449617754 | | 329902 | 26617 | | 582690 | 58.27 | 4.70 |
| 2032 | | | 489072275 | | 358852 | 28949 | | 633822 | 63.38 | 5.11 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 4. 33 Kebutuhan Lahan Vegetasi Pohon

| Tahun | Jenis Vegetasi | Presentase Vegetasi | Emisi CO ₂ Yang Belum Terserap (kg CO ₂ /tahun) | Daya Serap (Kg/pohon/tahun) | Kebutuhan Tanaman | Kebutuhan Tanaman Tambahan Tiap Tahun | Luas Lahan per Tajuk (m ²) | Kebutuhan Luas Tanaman Tambahan (m ²) | Kebutuhan Luas Tanaman Tambahan (ha) | Pertambahan Luas Tanaman Tiap Tahun (Ha) |
|-------|------------------|---------------------|---|-----------------------------|-------------------|---------------------------------------|--|---|--------------------------------------|--|
| 2020 | Trambesi (Pohon) | 7% | 13849339 | 28488.39 | 486 | 486 | 176.63 | 85864 | 8.59 | 8.59 |
| 2021 | | | 15067619 | | 529 | 43 | | 93418 | 9.34 | 0.76 |
| 2022 | | | 16392633 | | 575 | 47 | | 101633 | 10.16 | 0.82 |
| 2023 | | | 17833731 | | 626 | 51 | | 110567 | 11.06 | 0.89 |
| 2024 | | | 19401084 | | 681 | 55 | | 120285 | 12.03 | 0.97 |
| 2025 | | | 21105753 | | 741 | 60 | | 130853 | 13.09 | 1.06 |
| 2026 | | | 22959767 | | 806 | 65 | | 142348 | 14.23 | 1.15 |
| 2027 | | | 24976212 | | 877 | 71 | | 154850 | 15.48 | 1.25 |
| 2028 | | | 27169318 | | 954 | 77 | | 168447 | 16.84 | 1.36 |
| 2029 | | | 29554561 | | 1037 | 84 | | 183235 | 18.32 | 1.48 |
| 2030 | | | 32148776 | | 1128 | 91 | | 199319 | 19.93 | 1.61 |
| 2031 | | | 34970270 | | 1228 | 99 | | 216812 | 21.68 | 1.75 |
| 2032 | | | 38038955 | | 1335 | 108 | | 235837 | 23.58 | 1.90 |

Sumber : Hasil Perhitungan

Kebutuhan optimalisasi vegetasi pada tahun 2021 dibutuhkan perdu/semak dengan komposisi vegetasi 90 % sebesar 25.11 Ha, dan pohon dengan komposisi vegetasi 7% sebesar 9.34 Ha, dan rumput dengan komposisi vegetasi 3 % sebesar 495 Ha sedangkan pada tahun 2032 dibutuhkan sebesar 63.38 Ha perdu/semak dengan komposisi vegetasi 90%, dan 23.58 Ha pohon dengan komposisi vegetasi 7%, dan 1359 Ha rumput dengan komposisi vegetasi 3%.

Berikut merupakan grafik kebutuhan lahan dengan komposisi vegetasi perdu/semak 90%, pohon 7%, dan rumput 3 % adalah sebagai berikut.



Gambar 4. 5 Grafik Kebutuhan Lahan Vegetasi
Sumber : Hasil Perhitungan

Berdasarkan grafik pada gambar 4.5, kebutuhan luas lahan vegetasi dimulai dari yang paling besar adalah jenis vegetasi rumput dikarenakan presentase komposisi rumput yang paling kecil, yaitu 3% namun karena daya serapnya yang rendah maka hasil lahan yang dibutuhkan paling besar, dibandingkan dengan pucuk merah yang presentase komposisinya 90% dan trembesi 7% dan daya serapnya yang lumayan besar sehingga lahan yang dibutuhkan kecil. Berikut letak untuk penanaman vegetasi untuk mengoptimalkan lahan yang masih tersedia untuk mitigasi emisi CO₂.



Gambar 4. 6 Letak Vegetasi Pohon dan Rumput Untuk Dilakukan Pengoptimalan
Sumber: *Google Earth Pro*



Gambar 4. 7 Letak Vegetasi Perdu/Semak dan Rumput Untuk Dilakukan Pengoptimalan
Sumber: *Google Earth Pro*



Gambar 4. 8 Letak Vegetasi Perdu/Semak dan Rumput Untuk Dilakukan Pengoptimalan
Sumber: *Google Earth Pro*

BAB V

KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil perhitungan yang mencakup analisis data serta pembahasan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Emisi CO₂ yang dihasilkan kendaraan yang melintasi Jalan Tol Jorr S pada tahun 2021 adalah sebesar 24.664 kg/jam atau 216.057 ton/tahun, sedangkan pada tahun 2032 adalah sebesar 62.125 kg/jam atau 544.219 ton/tahun.
2. Kebutuhan optimalisasi vegetasi direncanakan pada tahun 2021 dibutuhkan perdu/semak (Pucuk Merah) dengan komposisi vegetasi 90 % sebesar 25.11 Ha, dan pohon (Trembesi) dengan komposisi vegetasi 7% sebesar 9.34 Ha, dan rumput (Lamuran) dengan komposisi vegetasi 3 % sebesar 538 Ha sedangkan pada tahun 2032 dibutuhkan sebesar 63.38 Ha perdu/semak (Pucuk Merah) dengan komposisi vegetasi 90%, dan 23.58 Ha pohon (Trembesi) dengan komposisi vegetasi 7%, dan 1359 Ha rumput (Lamuran) dengan komposisi vegetasi 3%.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada perencanaan ini adalah:

1. Diharapkan kepada PT. Utama Karya, pemerintah dan pihak-pihak terkait lainnya yang mengawasi serta merencanakan jalan tol untuk juga harus mempertimbangkan keberadaan ruang terbuka hijau karena ruang terbuka hijau atau vegetasi sebagai salah satu penyerap emisi yang sangat efektif dan sangat dibutuhkan pada jalan tol. Dapat dilihat pada lahan eksisting jalan tol yang tidak sebanding dengan lahan vegetasi atau ruang terbuka hijau yang dibutuhkan dan pihak-pihak terkait dapat mempertimbangkan hal tersebut.
2. Untuk perencanaan selanjutnya, sebaiknya mempertimbangkan faktor geometrik jalan dan kecepatan kendaraan, sehingga didapatkan emisi CO₂ yang lebih akurat.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Adiastari, R. 2010. Kajian Mengenai Kemampuan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Dalam Menyerap Emisi Karbon di Kota Surabaya. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Badan Pusat Statistik (BPS) 2019. *Provinsi DKI Jakarta Dalam angka : BPS*
- Badan Standarisasi Nasional. 2005. *SNI 19-0232-2005 tentang Nilai Ambang Batas (NAB) Zat Kimia di Udara Tempat Kerja.*
- Dahlan, E.N. 2007. *Analisis Kebutuhan Luasan Hutan Kota Sebagai Sink Gas CO₂ Antropogenik dari Bahan Bakar Minyak dan Gas di Kota Besar dengan Sistem Dinamik.* Disertasi. Bogor : Institut Pertanian Bogor.
- Flamboyanasari. (2018). Diakses pada <https://www.flamboyanasri.com/2018/03/7-jenis-rumput-bagus-untuk-taman.html> 18 Juli 2022.
- Gracia, A. S. 2016. Kajian Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Untuk Menyerap Gas Karbon Dioksida (CO₂) Dari Kendaraan Bermotor Di Jalan Dr. Ir. H. Soekarno, Surabaya (Merr Iic). (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya).
- Hakim dan Utomo. 2004. *Komponen Perancangan Arsitektur Lanskap.* Jakarta: Bumi Aksara.
- Hariyati. 2009. *Pencemaran Udara Karbon Monoksida dan Nitrogen Oksida Akibat Kendaraan Bermotor Pada Ruas Jalan Padat Lalu Lintas Di Kota Makassar.* Surabaya: Simposium XII FTSPT Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Karyadi, H. 2005. *Pengukuran Daya Serap karbondioksida Lima Jenis Tanaman Hutan Kota.* Departemen Konservasi Sumberdaya Hutan dan Ekowisata, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Murti, S. H. 2015. *Klasifikasi Berbasis Objek pada Citra Pleiades untuk Pemetaan Ketersediaan Ruang Terbuka Hijau di Perkotaan Purwokerto.* In Proceeding of PIT MAPIN. Bogor : 244-254
- Nevers. 1995. *Air Pollution Control Engineering.* McGraw-Hill, Inc : Singapore.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 05/PRT/M/2008 *tentang Pedoman Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan.*
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Inodnesia Nomor 05/PRT/M/2012 *tentang Pedoman Penanaman Pohon pada Sistem Jaringan Jalan.*
- Rawung, F. C. 2015. *Efektivitas Ruang Terbuka Hijau (RTH) dalam Mereduksi Emisi Gas Rumah Kaca (GRK) di Kawasan Perkotaan Boroko.* Media Matrasain, 12(2) : 17–32.
- Rimbakita. (2015). <https://rimbakita.com/pohon-trembesi/> 18 Juli 2022.
- Rizkatania, Radinia. 2012. *Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau (RTH) Privat Permukiman Dalam Menyerap Emisi CO₂ dan Memenuhi Kebutuhan O₂ Manusia di Surabaya Pusat (Studi Kasus: Kecamatan Tegalsari).* Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Roshintha, R. R., & Mangkoedihardjo, S. 2016. Analisis kecukupan ruang terbuka hijau sebagai penyerap emisi gas karbon dioksida (CO₂) pada kawasan Kampus ITS Sukolilo, Surabaya.
- Rubin, E.S., dan Daavidson, C.I. 2001. *Introduction to Engineering and the Environment 1st edition New York McGraw-Hill Education*

- Simonds, J. L. 1983. *Landscape Architecture*. Mc. GrawHill Co. New York. 331.
- Siwi, S. Estuti. 2012. *Kemampuan Ruang Hijau Dalam Menyerap CO2 Di Kota Depok*. Tesis. Jakarta : FMIPA Universitas Indonesia.
- Sugiono, A. 2006. *Penanggulangan Pemanasan Global di Sektor Penggunaan Global*. Bandung : Alfabeta
- Sutaryo, D. 2009. *Penghitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Wetland International Indonesia Programme : Bogor.
- Tugaswati, T.2007, *Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dan Dampaknya Terhadap Kesehatan*. Tugas Akhir. Jurusan Teknik Lingkungan. ITS Surabaya
- Widyanadiari, S. Ratri. 2011. *Analisis Kecukupan Ruang Terbuka Hijau Sebagai Penyerap Emisi CO2 Di Perkotaan Menggunakan Program STELLA (Studi Kasus : Surabaya Pusat & Selatan)*. Surabaya: Jurusan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

LAMPIRAN A**DATA JUMLAH KENDARAAN TOL JAKARTA OUTER RING ROAD S (JORR S)****Tabel LA. 1 Data Jumlah Kendaraan Tahun 2017**

| TOL JORR S | Jenis Kendaraan | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Golongan I | Golongan II | Golongan III | Golongan IV | Golongan V |
| | (Kendaraan /bulan) |
| Januari 2017 | 3786579 | 221013 | 85067 | 12690 | 10019 |
| Februari | 3388095 | 205060 | 73268 | 11203 | 8699 |
| Maret | 3774767 | 231473 | 84719 | 12705 | 10096 |
| April | 3571361 | 212894 | 82205 | 11064 | 9250 |
| Mei | 3598448 | 234885 | 92777 | 12220 | 10390 |
| Juni | 3318815 | 170539 | 63327 | 9264 | 7878 |
| Juli | 3568522 | 219016 | 84023 | 11388 | 9846 |
| Agustus | 3412217 | 244961 | 93587 | 12454 | 10590 |
| September | 2396223 | 191184 | 77008 | 9075 | 8585 |
| Oktober | 3316276 | 182635 | 74647 | 10316 | 8683 |
| November | 4932208 | 235875 | 90814 | 11262 | 10171 |
| Desember | 5005284 | 215886 | 78763 | 10582 | 9165 |
| Total | 44068795 | 2565421 | 980205 | 134223 | 113372 |
| Rata-rata LHR | 120736 | 7029 | 2685 | 368 | 311 |
| Total Semua Golongan | 47862016 | | | | |
| Total LHR | 131129 | | | | |

Sumber : PT Hutama Karya

Tabel LA. 2 Data Jumlah Kendaraan Tahun 2018

| TOL JORR S | Jenis Kendaraan | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Golongan I | Golongan II | Golongan III | Golongan IV | Golongan V |
| | (Kendaraan /bulan) |
| Januari 2018 | 4907832 | 222248 | 92773 | 11030 | 9714 |
| Februari | 4480721 | 199431 | 72769 | 10091 | 8150 |
| Maret | 4960007 | 227185 | 84805 | 10622 | 8682 |
| April | 4800796 | 226015 | 89180 | 10989 | 9227 |
| Mei | 4671639 | 236191 | 96508 | 11685 | 9540 |
| Juni | 4220176 | 141840 | 45659 | 7541 | 5649 |
| Juli | 4933053 | 232952 | 92144 | 11573 | 9400 |
| Agustus | 4740338 | 230092 | 91898 | 12125 | 9699 |
| September | 4690593 | 224606 | 91490 | 11073 | 9800 |
| Oktober | 4742438 | 226092 | 90139 | 11291 | 10356 |
| November | 4630071 | 213973 | 80570 | 11135 | 10416 |
| Desember | 4778853 | 198658 | 70220 | 10154 | 8985 |
| Total | 56556517 | 2579283 | 998155 | 129309 | 109618 |
| Rata-rata LHR | 154949 | 7067 | 2735 | 354 | 300 |
| Total Semua Golongan | 60372882 | | | | |
| Total LHR | 165405 | | | | |

Sumber : PT Hutama Karya

Tabel LA.3 Data Jumlah Kendaraan Tahun 2019

| TOL JORR S | Jenis Kendaraan | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Golongan I | Golongan II | Golongan III | Golongan IV | Golongan V |
| | (Kendaraan /bulan) |
| Januari 2019 | 4692088 | 197306 | 70720 | 11042 | 8759 |
| Februari | 4389867 | 182821 | 66006 | 9588 | 8320 |
| Maret | 4753472 | 203585 | 78513 | 10827 | 9141 |
| April | 4716650 | 199408 | 76975 | 10886 | 9334 |
| Mei | 4742595 | 215782 | 82166 | 11801 | 9806 |
| Juni | 4683910 | 171062 | 68326 | 10458 | 8222 |
| Juli | 4853731 | 221359 | 94113 | 12003 | 10365 |
| Agustus | 4795148 | 206295 | 97435 | 11590 | 10148 |
| September | 4691563 | 208503 | 108369 | 11373 | 10519 |
| Oktober | 4817319 | 223370 | 113161 | 12527 | 10958 |
| November | 4764362 | 209544 | 91511 | 12180 | 11049 |
| Desember | 4843783 | 197966 | 79380 | 11895 | 9399 |
| Total | 56744488 | 2437001 | 1026675 | 136170 | 116020 |
| Rata-rata LHR | 155464 | 6677 | 2813 | 373 | 318 |
| Total Semua Golongan | 60460354 | | | | |
| Total LHR | 165645 | | | | |

Sumber : PT Utama Karya

Tabel LA.4 Data Jumlah Kendaraan Tahun 2020

| TOL JORR S | Jenis Kendaraan | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | Golongan I | Golongan II | Golongan III | Golongan IV | Golongan V |
| | (Kendaraan /bulan) |
| Januari 2020 | 4559617 | 192604 | 75357 | 12672 | 8179 |
| Februari | 4529809 | 186758 | 67346 | 10531 | 8098 |
| Maret | 3320103 | 190071 | 70660 | 11345 | 7710 |
| April | 1646573 | 151244 | 57003 | 9289 | 7052 |
| Mei | 2058589 | 122955 | 45727 | 7291 | 4561 |
| Juni | 3034502 | 164810 | 71955 | 9286 | 6189 |
| Juli | 3707564 | 182630 | 70047 | 10141 | 7633 |
| Agustus | 3699483 | 173776 | 81782 | 9279 | 7183 |
| September | 3236135 | 184869 | 89557 | 10076 | 7486 |
| Oktober | 3435792 | 184855 | 85191 | 9833 | 7461 |
| November | 3673028 | 184189 | 82072 | 10228 | 6679 |
| Desember | 3422469 | 180961 | 76781 | 10223 | 6747 |
| Total | 40323664 | 2099722 | 873478 | 120194 | 84978 |
| Rata-rata LHR | 110476 | 5753 | 2393 | 329 | 233 |
| Total Semua Golongan | 43502036 | | | | |
| Total LHR | 119184 | | | | |

Sumber : PT Hutama Karya

BIODATA PENULIS



Penulis bernama Ghiffari Apria Rizky lahir di Jakarta, 08 April 2000, merupakan anak pertama. Penulis menempuh Pendidikan formal di SD Eka Wijaya, SMP Negeri 1 Cibinong, dan SMA Negeri 1 Cibinong. Setelah lulus dari SMA pada tahun 2018 penulis melanjutkan kuliah di Departemen Teknik Lingkungan FTSPK-ITS pada tahun 2018 dan terdaftar dengan NRP 03211840000096. Selama berkuliah di Teknik Lingkungan FTSPK-ITS, penulis aktif dalam kegiatan yang dilaksanakan oleh HMTL ITS. Kemudian penulis juga pernah menjadi anggota Divisi Kajian Strategis HMTL ITS Kabinet Nyala Karya pada tahun 2020-2021. Kemudian penulis juga pernah menjabat sebagai Kepala Bidang Divisi Dalam Negeri BEM FTSPK Kabinet Asawiyata pada tahun 2021-2022. Serta penulis juga melakukan kerja praktik di PT Indonesia Power Grati Pasuruan pada tahun 2021. Apabila terdapat saran dan kritik mengenai tugas akhir penulis, dapat menghubungi penulis dengan mengirim email ke ghiffariapriarizky@gmail.com