

**ANALISIS KEBUTUHANN RUANG TERBUKA HIJAU BERDASARKAN
DAYA SERAP CO₂ PADA JALAN HERTASNING MAKASSAR**



**WAODE NADIAH ALILA
D131201081**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**ANALISIS KEBUTUHAN RUANG TERBUKA HIJAU BERDASARKAN
DAYA SERAP CO₂ PADA JALAN HERTASNING MAKASSAR**

**WAODE NADIAH ALILA
D131201081**



**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

**ANALISIS KEBUTUHAN RUANG TERBUKA HIJAU BERDASARKAN
DAYA SERAP CO₂ PADA JALAN HERTANSING MAKASSAR**

**WAODE NADIAH ALILA
D031201081**

Skripsi

UNIVERSITAS HASANUDDIN

Sebagai salah satu syarat mencapai gelar sarjana
Departemen Teknik Lingkungan

pada

**PROGRAM STUDI TEKNIK LINGKUNGAN
DEPARTEMEN TEKNIK LINGKUNGAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

SKRIPSI
ANALISIS KEBUTUHAN RUANG TERBUKA HIJAU BERDASARKAN
DAYA SERAP CO₂ PADA JALAN HERTASNING MAKASSAR

WAODE NADIAH ALILA
D131201081

Skripsi,

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Sarjana Departemen Teknik Lingkungan
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada 26 November 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan
pada



Mengesahkan:

Pembimbing tugas akhir,



Ir. Nurul Masviah Rani Harusi, S.T., M.Eng.

NIP. 199501152021074001

Mengetahui:

Ketua Departemen Teknik Lingkungan,



Dr. Eng. Ir. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., AER.

NIP. 197204242000122001

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa, skripsi berjudul “**Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Daya Serap CO₂ Pada Jalan Hertansing Makassar**” adalah benar karya saya dengan arahan dari pembimbing (Ir. Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng). Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka skripsi ini. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini adalah karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut berdasarkan aturan yang berlaku.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta (hak ekonomis) dari karya tulis saya berupa skripsi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Makassar, 26 November 2024



WAODE' NADIAH ALILA

D131201081

UCAPAN TERIMA KASIH

Bismillahirrohmanirrohim, puji syukur tiada hentinya penulis panjatkan atas kehadiran Allah SWT., yang telah memberikan kecukupan yang senantiasa mengiringi penulis sehingga bisa menyelesaikan pengerjaan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Daya Serap CO₂ Pada Jalan Hertasning Makassar” sesuai dengan kaidah akademik yang berlaku. Sholawat serta salam tak lupa pula dijunjungkan kepada nabi besar Nabi Muhammad SAW. Tugas akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Lingkungan Universitas Hasanuddin Makassar.

Dalam penyusunan tugas akhir ini terdapat banyak hambatan dan kesulitan yang dihadapi, namun berkat doa, bimbingan, dan kerja keras dari berbagai pihak akhirnya penulis bisa menyelesaikan tugas akhir ini, dengan itu penulis ingin mengucapkan terima kasih sebanyak-banyaknya kepada semua pihak yang telah memberikan kontribusinya selama penelitian ini berlangsung kepada:

1. Kedua Orang Tua saya. Ayahanda tercinta Muhammad Idris S.ag.,MM, dan Ibunda terkasih Dahliah Syam. Atas doa, kasih sayang, dukungan, dan semangat yang tiada hentinya selama mengerjakan tugas akhir ini.

2. Ir. Nurul Masyiyah Rani Harusi, S.T., M.Eng. sebagai pembimbing yang telah memberi arahan dan masukan dalam penyusunan tugas akhir ini.

3. Ibu Dr. Eng. Muralia Hustim, S.T., M.T., IPM., selaku Ketua Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

4. Seluruh Staff Departemen Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah membantu penulis dalam pengurusan administrasi selama perkuliahan.

5. Teruntuk teman-teman Sipil dan Lingkungan 2020 yang sudah menemani penulis dari awal perkuliahan hingga selesainya penulisan tugas akhir ini.

6. Teruntuk teman-teman RF saya tercinta yang memberikan semangat dan doanya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

7. Teruntuk teman-teman Mari Sukseskan Pizza Hut tercinta yang telah memberikan dukungan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

8. Teruntuk teman-teman Talaks tercinta yang telah menjadi teman seperjalanan saya selama masa kuliah ini.

9. Terakhir, teruntuk saya sendiri terimakasih sudah sabar dan tetap semangat selama mengerjakan tugas akhir ini

Semoga tugas akhir ini bermanfaat untuk dijadikan sebagai referensi yang berharga dalam mengembangkan ilmu pengetahuan bagi seluruh pihak. Penulis pun menyadari bahwa terdapat kesalahan. Oleh karena itu, penulis meminta maaf dan menerima segala bentuk kritik dan saran yang membangun terhadap tugas akhir ini.

Penulis,

Waode Nadiah Alila

ABSTRAK

Waode Nadiyah Alila. *Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Daya Serap CO₂ Pada Jalan Hertasning Makassar* (Dibimbing oleh **Ir. Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng**).

Latar Belakang. Transportasi memiliki hubungan erat dengan produktivitas ekonomi. Namun, tingginya aktivitas transportasi dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Salah satu dampak yang dihasilkan adalah emisi gas buang, di mana saat ini sebagian besar emisi gas buang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya akan berdampak terhadap peningkatan gas buang yang dapat menyebabkan polusi udara salah satunya gas CO₂. Jalan Hertasning Makassar merupakan salah satu jalan arteri primer yang menghubungkan wilayah administratif Kota Makassar dengan Kabupaten Gowa. Perkembangan kawasan di sekitar Jalan Hertasning sangat pesat, terutama dengan munculnya permukiman, pusat ekonomi komersial, serta fasilitas pendidikan kondisi ini menyebabkan tingginya intensitas pergerakan kendaraan setiap harinya. Oleh karena itu, penting untuk mengkaji kebutuhan Ruang Terbuka Hijau di area ini. Tujuan dari penelitian secara umum yaitu untuk mengetahui efektivitas keberadaan ruang terbuka hijau pada jalur hijau jalan sebagai penyerap emisi CO₂ yang dihasilkan kendaraan bermotor **Metode.** Untuk mengetahui penyerapan emisi CO₂ terlebih dahulu dilakukan survei pendahuluan untuk mengetahui kondisi lokasi penelitian kemudian membagi lokasi penelitian menjadi 9 segmen. Untuk mengetahui besarnya beban emisi dilakukan analisis dengan menggunakan pendekatan konsumsi BBM, nilai faktor emisi, koefisien konsumsi BBM, dan volume kendaraan yang merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12 Tahun 2010. Selanjutnya dilakukan analisis kemampuan penyerapan menggunakan 2 metode yaitu metode biomassa dan metode luas tajuk **Hasil.** Kemampuan jalur hijau pada Jalan Hertasning Makassar dalam pengurangan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor belum mencukupi kebutuhan penyerapan yang diinginkan. Total beban emisi yang dihasilkan dari 9 segmen yang ada pada Jalan Hertasning Makassar yaitu sebesar 3626,71 kg/jam dengan total daya serap sebesar 1681,52 kg/jam, beban emisi CO₂ yang masih tersisa yaitu sebesar 1945,19 kg/jam dengan presentase penyerapan sebesar 46,37 %, dan masih membutuhkan ruang terbuka hijau sebesar 12,9 ha.

Kata Kunci: Ruang Terbuka Hijau, Kendaraan Bermotor, Beban Emisi

ABSTRACT

Waode Nadiah Alila. *Analysis of Green Open Space Needs Based on CO₂ Absorption Capacity on Jalan Hertasning Makassar (Supervised by Ir. Nurul Masyiah Rani Harusi, S.T., M.Eng).*

Background. Transportation has a close relationship with economic productivity. However, high transportation activity can have a negative impact on the surrounding environment. One of the impacts is exhaust emissions, where currently most of the exhaust emissions are produced by motor vehicles. With the increasing number of motor vehicles each year, it will have an impact on the increase in exhaust gases that can cause air pollution, one of which is CO₂ gas. Jalan Hertasning Makassar is one of the primary arterial roads connecting the administrative areas of Makassar City with Gowa Regency. The development of the area around Jalan Hertasning is very rapid, especially with the emergence of settlements, commercial economic centers, and educational facilities. This condition causes a high intensity of vehicle movement every day. Therefore, it is important to examine the need for Green Open Space in this area. The general purpose of the study is to determine the effectiveness of the existence of green open space on the green lane of the road as an absorber of CO₂ emissions produced by motor vehicles. **Method.** To determine the absorption of CO₂ emissions, a preliminary survey was first conducted to determine the condition of the research location and then divided the research location into 9 segments. To determine the magnitude of the emission load, an analysis was carried out using the fuel consumption approach, emission factor value, fuel consumption coefficient, and vehicle volume referring to the Regulation of the Minister of Environment No. 12 of 2010. Furthermore, an analysis of the absorption capacity was carried out using 2 methods, namely the biomass method and the canopy area method. **Results.** The ability of the green lane on Jalan Hertasning Makassar in reducing CO₂ emissions produced by motor vehicles has not met the desired absorption needs. The total emission load produced from the 9 segments on Jalan Hertasning Makassar is 3626.71 kg/hour with a total absorption capacity of 1681.52 kg/hour, the remaining CO₂ emission load is 1945.19 kg/hour with an absorption percentage of 46.37%, and still requires 12.9 ha of green open space.

Keywords: Green Open Space, CO₂ Emissions, Roadside Green Belt

DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
PERNYATAAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iv
UCAPAN TERIMA KASIH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Teori	3
BAB II METODE PENELITIAN.....	27
2.1 Lokasi Penelitian	27
2.2 Waktu Penelitian	34
2.3 Rencana Penelitian	35
2.4 Peralatan Yang digunakan	38
2.5 Teknik Pengambilan Data.....	39
2.6 Teknik Analisis Data	47
BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN	53
3.1 Jumlah Vegetasi pada Jalur Hijau Jalan Hertasning Makassar	53
3.2 Analisis Kemampuan Penyerapan CO ₂ Vegetasi Pada Jalur Hijau Jalan	71
3.3 Analisis Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor	86
3.4 Analisis Ketersediaan Vegetasi Jalur Hijau Jalan Terhadap Beban Emisi	112
3.5 Analisis Ketersediaan Vegetasi Jalur Hijau Berdasarkan Pola Arah Angin	117
BAB IV KESIMPULAN DAN SARAN	130
4.1 Kesimpulan	130
4.2 Saran.....	130
DAFTAR PUSTAKA	131
LAMPIRAN	135

DAFTAR TABEL

Nomor urut	Halaman
Tabel 1. Jenis Kendaraan Bermotor	12
Tabel 2. Faktor Emisi Gas Buang Kendaraan Berdasarkan Kategori Kendaraan ...	15
Tabel 3. Faktor Emisi Gas Buang Kendaraan Berdasarkan Sub-Kategori Kendaraan	16
Tabel 4. Ekonomi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor.....	16
Tabel 5. Data Berat Jenis Pohon yang Tumbuh di Indonesia.....	22
Tabel 6. Daya serap CO ₂ Berbagai Tipe Tutupan Vegetasi.....	25
Tabel 7. Batas Wilayah Segmen	28
Tabel 8. Jenis Vegetasi pada Jalan Hertasning Makassar	53
Tabel 9. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 1	60
Tabel 10. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 2	61
Tabel 11. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 3.....	62
Tabel 12. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 4	63
Tabel 13. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 5	64
Tabel 14. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 6	65
Tabel 15. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 7	66
Tabel 16. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 8	67
Tabel 17. Jumlah dan Jenis Tumbuhan pada Segmen 9	68
Tabel 18. Jumlah Vegetasi pada Jalan Tun Abdul Razak.....	69
Tabel 19. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 1	71
Tabel 20. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 2	73
Tabel 21. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 3	74
Tabel 22. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 4	76
Tabel 23. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 5	77
Tabel 24. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 6	79
Tabel 25. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 7	80
Tabel 26. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 8	82
Tabel 27. Daya Serap CO ₂ pada Jalur Hijau Jalan Segmen 9	83
Tabel 28. Beban Emisi CO ₂ Segmen 1	87
Tabel 29. Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Segmen 2	89
Tabel 30. Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Segmen 3	92
Tabel 31. Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Segmen 4	95
Tabel 32. Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Segmen 5	97
Tabel 33. Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Segmen 6	100
Tabel 34. Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Segmen 7	103
Tabel 35. Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Segmen 8	105
Tabel 36. Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Segmen 9	108
Tabel 37. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Jalan Hertasning	110
Tabel 38. Ketersediaan Vegetasi Jalur Hijau Jalan Terhadap Beban Emisi	114
Tabel 39. Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau pada Jalan Hertasning Makassar	115
Tabel 40. Ketersediaan Vegetasi Jalur Hijau Berdasarkan Pola Arah Angin pada Jalan Hertasning Makassar	128

DAFTAR GAMBAR

Nomor urut	Halaman
Gambar 1. Jalur Tanaman Tepi Peneduh.....	5
Gambar 2. Jalur Tanaman Tepi Penyerap Polusi Udara	5
Gambar 3. Jalur Tanaman Tepi Peredam kebisingan	6
Gambar 4. Jalur Tanaman Tepi Pemecah Angin	6
Gambar 5. Jalur Tanaman Tepi Pembatas Pandang.....	7
Gambar 6. Jalur Tanaman Pada Median Jalan	7
Gambar 7. Jalur Tanaman Tepi Pada Persimpangan Jalan	8
Gambar 8. Kelompok Tanaman	8
Gambar 9. Siklus Karbon.....	10
Gambar 10. Pengukuran DBH pada Berbagai Kondisi Pohon.....	22
Gambar 11. Pengukuran Dimensi Tajuk Tampak Utara dan Selatan.....	24
Gambar 12. Pengukuran Dimensi Tajuk Tampak Barat dan Timur.....	24
Gambar 13. Pengukuran Dimensi Tajuk Tampak Dari Atas.....	24
Gambar 14. Visualisasi Penentuan Persentase Kerapatan Tajuk	25
Gambar 15. Lokasi Penelitian	29
Gambar 16. Sketsa Jalan Segmen 1	30
Gambar 17. Sketsa Jalan Segmen 2	30
Gambar 18. Sketsa Jalan Segmen 3	31
Gambar 19. Sketsa Jalan Segmen 4	31
Gambar 20. Sketsa Jalan Segmen 5	32
Gambar 21. Sketsa Jalan Segmen 6	32
Gambar 22. Sketsa Jalan Segmen 7	33
Gambar 23. Sketsa Jalan Segmen 8	33
Gambar 24. Sketsa Jalan Segmen 9	34
Gambar 25. Kerangka Penelitian	37
Gambar 26. Diagram Alir Pengambilan Data Daya Serap Emisi CO ₂ dengan Metode Biomassa	40
Gambar 27. Ilustrasi Identifikasi Jenis dan Tinggi Pohon.....	41
Gambar 28. Ketentuan Diameter Setinggi Dada (DBH) terhadap Berbagai Kondisi Pohon SNI 7724: 2011 tentang Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon..	41
Gambar 29. Diagram Alir Pengambilan Data Daya Serap Emisi CO ₂ dengan	43
Gambar 30. Ilustrasi Tata Cara Pengambilan Jenis Vegetasi	43
Gambar 31. (A) Ilustrasi Pengambilan Diameter Pohon d1 (B) Ilustrasi Pengambilan Diameter Pohon d2 (C) Ilustrasi Pengambilan Tampak Atas.....	43
Gambar 32. (A) Pengukuran Tinggi Semak/Perdu (B) Pengukuran d1 Semak/Perdu (C) Pengukuran d2 Semak/Perdu	43
Gambar 33. Diagram Alir Pengambilan Data Volume Kendaraan.....	45
Gambar 34. Diagram Alir Pengambilan Data Arah Angin dan Kecepatan Angin	46
Gambar 35. Diagram Alir Prosedur Perhitungan Analisis Daya Serap CO ₂ oleh Vegetasi dengan Metode Biomassa.....	47
Gambar 36. Diagram Alir Prosedur Perhitungan Analisis Daya Serap CO ₂ dengan Metode Luas Tajuk.....	48
Gambar 37. Diagram Alir Prosedur Perhitungan Analisis Beban Emisi.....	49
Gambar 38. Diagram Alir Prosedur Perhitungan Analisis Ketersediaan Jalur Hijau	51
Gambar 39. Rekapitulasi Jumlah Tanaman Jalur Hijau Jaln Hertasning.....	70
Gambar 40. Rekapitulasi Daya Serap Vegetasi Jalur Hijau	85

Gambar 41. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 1	88
Gambar 42. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 1	89
Gambar 43. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 2	91
Gambar 44. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 2	91
Gambar 45. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 3	94
Gambar 46. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 3	94
Gambar 47. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 4	96
Gambar 48. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 4	97
Gambar 49. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 5	99
Gambar 50. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 5	99
Gambar 51. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 6	102
Gambar 52. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 6	102
Gambar 53. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 7	104
Gambar 54. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 7	105
Gambar 55. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 8	107
Gambar 56. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 8	107
Gambar 57. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Segmen 9	109
Gambar 58. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Segmen 9	110
Gambar 59. Rekapitulasi Volume Kendaraan Bermotor Pada Jalan Hertasning Makassar	111
Gambar 60. Rekapitulasi Beban Emisi CO ₂ Kendaraan Bermotor Pada Jalan Hertasning Makassar	111
Gambar 61. Rekapitulasi Presentase Penyerapan Vegetasi Jalur Hijau Pada Jalan Hertasning Makassar	116
Gambar 62. Pola Arah Angin Segmen 1	118
Gambar 63. Pola Arah Angin Segmen 2	119
Gambar 64. Pola Arah Angin Segmen 3	120
Gambar 65. Pola Arah Angin Segmen 4	121
Gambar 66. Pola Arah Angin Segmen 5	122
Gambar 67. Pola Arah Angin Segmen 6	123
Gambar 68. Pola Arah Angin Segmen 7	124
Gambar 69. Pola Arah Angin Segmen 8	125
Gambar 70. Pola Arah Angin Segmen 9	126

DAFTAR LAMPIRAN

Nomor urut	Halaman
Lampiran 1. Dokumentasi Tiap Segmen	135
Lampiran 2. Form Perhitungan Volume Kendaraan	137
Lampiran 3. Form Perhitungan Daya Serap	138
Lampiran 4. Perhitungan Beban Emisi CO ₂	146
Lampiran 5. Arah dan Kecepatan Angin.....	148
Lampiran 6. Dokumentasi Penelitian	149

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan wilayah dapat dilihat dari tingkat pertumbuhan ekonomi, pendapatan, dan kesejahteraan penduduk. Pertumbuhan ekonomi dipengaruhi oleh berbagai faktor, salah satunya adalah infrastruktur. Infrastruktur yang baik terkait erat dengan kelancaran mobilisasi dan distribusi barang serta jasa, yang secara tidak langsung menentukan pertumbuhan ekonomi melalui kelancaran aktivitas ekonomi masyarakat. Transportasi memiliki hubungan erat dengan produktivitas ekonomi. Namun, tingginya aktivitas transportasi dapat menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan sekitar. Salah satu dampak yang dihasilkan adalah emisi gas buang, di mana saat ini sebagian besar emisi gas buang dihasilkan oleh kendaraan bermotor (Wicaksono et al., 2021),

Menurut laporan Triwulan IV Badan Pusat Statistik (2023), semua sektor usaha mengalami pertumbuhan. Sektor dengan pertumbuhan tertinggi adalah transportasi dan perdagangan, mencapai 13,96%. Selama periode 2018-2021. Transportasi kendaraan bermotor meningkat sekitar 4,05% per tahun. Makassar salah satu kota terbesar di Indonesia dengan luas daratan sekitar 176 km² dengan jumlah penduduk 1.427.619 jiwa pada tahun 2021, dan laju pertumbuhannya terus meningkat setiap tahun. Pertumbuhan penduduk yang pesat juga didorong oleh sektor transportasi, di mana Makassar mengalami peningkatan jumlah kendaraan bermotor yang signifikan sehingga dapat menyebabkan terjadinya kemacetan lalu lintas (Musdalifah & Halim, 2023)

Dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor setiap tahunnya akan berdampak terhadap peningkatan gas buang yang dapat menyebabkan polusi udara. Emisi gas buang kendaraan adalah sisa hasil gas pembakaran yang dihasilkan oleh pembakaran di dalam mesin kendaraan bermotor. Salah satu emisi gas buang yang ada di jalan ialah CO₂. Peningkatan kendaraan bermotor akan dibarengi dengan peningkatan emisi gas CO₂. Situasi seperti ini menyebabkan polusi udara semakin memburuk. Efek pencemaran udara sudah dapat dirasakan saat ini, banyaknya penyakit yang ditimbulkan oleh permasalahan udara contohnya meningkatnya penyakit ISPA serta bertambahnya orang tua sebelum waktunya (Sudarti, et al., 2022)

Selain berdampak pada kesehatan manusia juga memberikan efek negatif bagi lingkungan. Sebagaimana yang telah kita ketahui bahwa isu lingkungan terkait dengan terjadinya pemanasan global merupakan ancaman bagi kelangsungan kehidupan berbagai ekosistem yang ada di bumi. Pemanasan global yang dikenal sebagai efek rumah kaca disebabkan karena semakin besarnya konsentrasi gas-gas rumah kaca yang terdapat di atmosfer. Dimana gas CO₂ menjadi salah satu gas rumah kaca yang paling banyak memberikan kontribusi terhadap terjadinya pemanasan global (Abidin dkk, 2023). Untuk meminimalisir dampak pencemaran udara yang dihasilkan tersebut, maka diperlukan Ruang Terbuka Hijau sebagai alternatif untuk menjaga keberlanjutan lingkungan kota. Salah satu jenis rth yaitu jalur hijau merupakan jenis rth yang terletak di sisi dan tengah jalan dengan fungsi menunjang aktivitas pembangunan dan transportasi perkotaan yang berkelanjutan serta optimal dari tinjauan lingkungan (Salamah & Cahyonugroho, 2023).

Berdasarkan Peraturan Menteri Agraria dan Tata Ruang Nomor 14 Tahun 2022 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Ruang Terbuka Hijau, ruang terbuka hijau adalah area memanjang/jalur dan/atau mengelompok yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam dengan mempertimbangkan aspek fungsi ekologis, resapan air, ekonomi, sosial budaya, dan estetika. RTH memiliki fungsi utama sebagai bagian dari sistem sirkulasi udara (paru-paru kota). RTH berguna untuk kepentingan masyarakat serta meningkatkan keserasian lingkungan perkotaan sebagai sarana pengaman lingkungan perkotaan sehingga tercapai lingkungan yang aman, nyaman, segar, indah, dan bersih (Y. Domu, 2021).

Kota Makassar telah memiliki regulasi khusus terkait pemenuhan Ruang Terbuka Hijau (RTH), yakni Peraturan Daerah Kota Makassar Nomor 3 Tahun 2014 tentang Penataan dan Pengelolaan Ruang Terbuka Hijau. Dalam penelitian Pratiwi dkk (2023), ditemukan bahwa luas ruang terbuka hijau di Kota Makassar masih kurang, yaitu sekitar 20% dari yang dipersyaratkan. Angka ini masih jauh dari amanat UU Penataan Ruang yang menetapkan luas 30% atau setara 5.273 hektar. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi pemenuhan RTH ini menjadi urung tercapai, antara lain aspek fisik seperti minimnya ketersediaan lahan, mahalnya harga jual lahan di area perkotaan, dan keengganan masyarakat untuk menjual lahannya. Salah satu upaya untuk mengatasi masalah ini adalah penataan Ruang Terbuka Hijau pada jalur hijau jalan, yang melibatkan penanaman pohon sepanjang jalur jalan yang berfungsi sebagai pengarah, pengaman, pelindung, serta memberikan pandangan visual bagi pengguna jalan. Dengan penataan jalur hijau yang baik, diharapkan dapat meningkatkan luas RTH dan mendukung tercapainya target yang ditetapkan oleh peraturan.

Kota Makassar memiliki sistem jaringan jalan yang terbagi dalam jalan kolektor primer, jalan kolektor sekunder, jalan arteri primer, jalan arteri sekunder, jalan protokol, jalan bebas hambatan dan jalan lokal. Klasifikasi jalan dilalukan atas dasar penggunaan jalan, ruas jalan, agar digunakan sesuai dengan tata guna lahan, fungsi dan manajemen transportasinya.

Jalan Hertasning Makassar merupakan salah satu jalan arteri primer yang menghubungkan wilayah administratif Kota Makassar dengan Kabupaten Gowa. Perkembangan kawasan di sekitar Jalan Hertasning sangat pesat, terutama dengan munculnya permukiman, pusat ekonomi komersial, serta fasilitas pendidikan (Sakti, 2016) Jalan ini berbatasan langsung dengan Kabupaten Gowa dan terhubung dengan Jalan A.P. Pettarani, bagian dari lingkaran tengah Kota Makassar, menjadikan Jalan Hertasning sebagai salah satu ruas jalan yang vital dalam jaringan transportasi perkotaan. Kondisi ini menyebabkan tingginya intensitas pergerakan kendaraan setiap harinya. Jalan ini tergolong jalan arteri, dan menurut klasifikasi penggunaannya, merupakan jalan kelas I yang melayani pergerakan dua arah (Alkam et al., 2021) Jalan ini juga memiliki jalur hijau yang penting untuk menyerap polusi udara. Namun, seiring bertambahnya volume kendaraan yang melintas, tingkat polusi udara di kawasan ini turut meningkat, sehingga hal tersebut berpotensi menurunkan efektivitas jalur hijau yang ada pada kawasan ini. Berdasarkan uraian masalah di atas, maka perlu dilakukan penelitian **"Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Daya Serap CO₂ Pada Jalan Hertasning Kota Makassar."**

1.2 Rumusan Masalah

1. Untuk mengetahui besaran daya serap CO₂ ruang terbuka hijau dengan Metode biomassa dan luas tajuk di Jalan Hertasning Makassar
2. Untuk mengetahui besaran beban emisi CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Hertasning Makassar
3. Untuk mengetahui kemampuan jalur hijau dalam menyerap emisi CO₂ dari kendaraan bermotor dan kebutuhan ruang terbuka hijau di Jalan Hertasning Makassar

1.3 Tujuan Penelitian

1. Untuk mengetahui besaran daya serap CO₂ ruang terbuka hijau dengan Metode biomassa dan luas tajuk di Jalan Hertasning Makassar
2. Untuk mengetahui besaran beban emisi CO₂ kendaraan bermotor di Jalan Hertasning Makassar
3. Untuk mengetahui kemampuan jalur hijau dalam menyerap emisi CO₂ dari kendaraan bermotor dan kebutuhan ruang terbuka hijau di Jalan Hertasning Makassar

1.4 Teori

1.4.1 Ruang Terbuka Hijau

Menurut Peraturan Menteri ATR/BPN Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2022 Ruang Terbuka Hijau merupakan yang selanjutnya disingkat RTH adalah area memanjang/jalu/dan/atau mengelompok yang penggunaannya lebih bersifat terbuka, tempat tumbuh tanaman, baik yang tumbuh secara alamiah maupun yang sengaja ditanam, dengan mempertimbangkan aspek fungsi ekologis, resapan air, ekonomi, sosial budaya, dan juga estetika. Menurut Hakim (2004) dalam (Suciyani, 2018) ruang terbuka hijau merupakan bagian dari ruang terbuka yang ditanami berbagai jenis tanaman, tumbuhan, dan vegetasi dengan tujuan menciptakan keamanan, kenyamanan, kesejahteraan, serta keindahan di suatu kawasan. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 tentang Penataan ruang, rth ideal di kawasan perkotaan harus mencakup 30% dari total luas wilayah, dengan rincian 20% untuk rth publik dan 10% untuk rth privat. Pemanfaatan ruang terbuka hijau dapat ditinjau dari dua fungsi utama, yaitu fungsi intrinsik dan fungsi ekstrinsik, yang mencakup aspek sosial budaya, ekonomi, dan estetika.

1.4.2 Tujuan Ruang Terbuka Hijau

Tujuan pengadaan ruang terbuka hijau adalah untuk menjaga ketersediaan lahan sebagai kawasan resapan air menciptakan aspek palnologois perkotaan melalui keseimbangan anatar lingkungan alam dan lingkungan binaan yang berguna untuk kepenetingan masyarakat dan meningkatkan ksesrasian lingkungan perkotaan sebagai sarana dan pengaman lingkungan perkotaan yang aman, nyaman, segera , indah dan bersih.

Menurut Permendagri No.1 Tahun 2007 Tentang Penataan Ruang Terbuka Hijau Kawasan Perkotaan tujuan dari pembentukan Ruang Terbuka Hijau adalah sebagai berikut :

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

1.4.3 Fungsi Ruang Terbuka Hijau

Dalam rencana tata ruang, maka kedudukan RTH merupakan ruang terbuka publik yang direncanakan pada suatu kawasan. Ruang terbuka Hijau, memiliki fungsi dan peran khusus masing-masing kawasan yang ada pada setiap perencanaan tata ruang kabupaten/kota, yang direncanakan dalam bentuk penataan tumbuhan, tanaman, dan vegetasi. Berikut merupakan fungsi dari Ruang Terbuka Hijau (Samsudin, 2010) :

1. Fungsi ekologis, diharapkan dan memberi kontribusi dalam peningkatan kualitas air tanah, mencegah terjadinya banjir, mengurangi polusi udara, dan pendukung dalam pengaturan iklim mikro
2. Fungsi sosial budaya, diharapkan dapat berperan terciptanya ruang untuk interaksi sosial, sarana rekreasi, dan sebagai penanda (*tetemger/ landmark*) kawasan.
3. Fungsi arsitektural/estetika, diharapkan dapat meningkatkan nilai keindahan dan kenyamanan kawasan, melalui keberadaan taman, dan jalur hijau
4. Fungsi ekonomi, diharapkan dapat berperan sebagai pengembangan sarana wisata hijau perkotaan, sehingga menarik minat masyarakat/wisatawan untuk berkunjung ke suatu kawasan, sehingga secara tidak langsung dapat meningkatkan kegiatan ekonomi

1.4.4 Jalur Hijau Jalan

Jalur Hijau Jalan merupakan salah satu bentuk Ruang Terbuka Hijau (RTH). Menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 5 Tahun 2008 Tentang penyediaan Ruang Terbuka Hijau di Kawasan Perkotaan, jalur hijau jalan terletak di dalam Ruang Milik Jalan (RUMIJA) maupun di Ruang Pengawasan Jalan (RUWASJA) yang dipergunakan untuk penempatan tanaman serta elemen lanskap lain. Jalur hijau jalan merupakan salah satu bentuk penghijauan di jalan umum dalam bentuk pohon yang ditanam pada jalur. Jalur hijau jalan yang dipergunakan untuk menanam tanaman dan berperan sebagai penyangga lingkungan dan ditempatkan berdasarkan fungsinya tanpa melupakan estetika yang dibutuhkan oleh lanskap perkotaan (Marisha, 2018).

Jalur hijau memuat kriteria tanaman pada JHJ yang sesuai peruntukannya sebagai berikut:

1. Pada Sisi Jalan

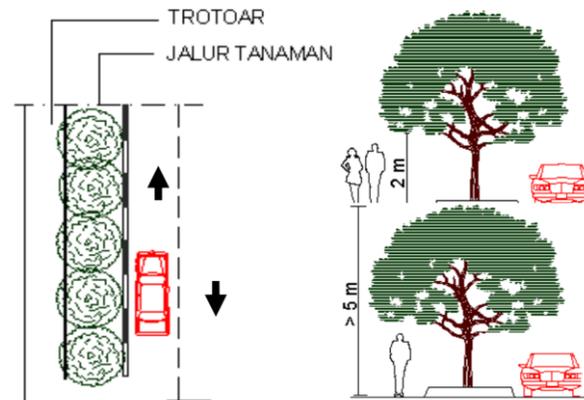
a. Sebagai peneduh

Adapun kriteria jenis tanaman sebagai peneduh pada sisi jalan adalah :

- Ditanam pada jarak minimal 1,5 meter dari tepi jalan
- Percabangan 2 meter diatas tanah
- Bentuk percabangan tidak merunduk

- Bermassa daun padat
- Berasal dari perbanyakan biji
- Ditanam secara berbaris
- Tidak mudah tumbang

Contoh jenis tanaman yang digunakan sebagai peneduh ialah bungur, tanjung, dan kiara payung



Gambar 1. Jalur Tanaman Tepi Peneduh

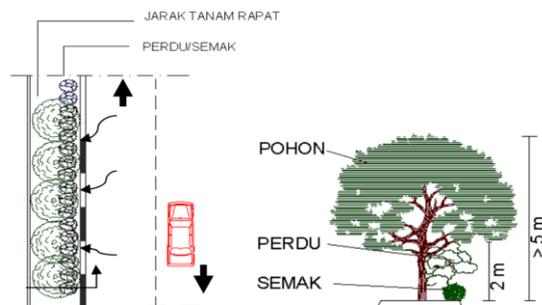
Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2008

b. Penyerap polusi udara

Adapun kriteria jenis tanaman yang dapat menyerap polusi udara adalah :

- Terdiri dari pohon, semak/perdu
- Memiliki kegunaan untuk menyerap udara
- Jarak tanam yang rapat

Contoh jenis tanaman yang digunakan dalam menyerap polusi udara adalah angkana, akasia daun besar, oleander, bogenvil, dan teh-tehan pangkas



Gambar 2. Jalur Tanaman Tepi Penyerap Polusi Udara

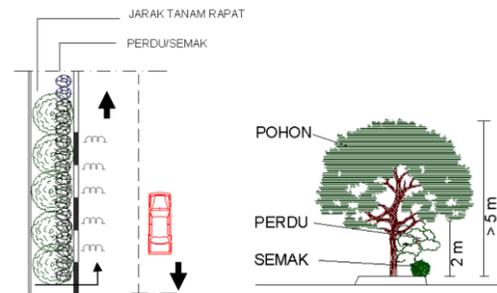
Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2008

c. Peredam kebisingan

Adapun kriteria jenis tanaman yang sebagai peredam kebisingan sebagai berikut :

- Terdiri dari pohon, perdu/semak
- Membentuk massa
- Bermassa daun rapat
- Berbagai bentuk tajuk

Contoh jenis tanaman yang digunakan sebagai peredam kebisingan yaitu tanjung, kiara payung, teh-tehan pangkas, kembang sepatu, bogenvil, dan oleander



Gambar 3. Jalur Tanaman Tepi Peredam kebisingan

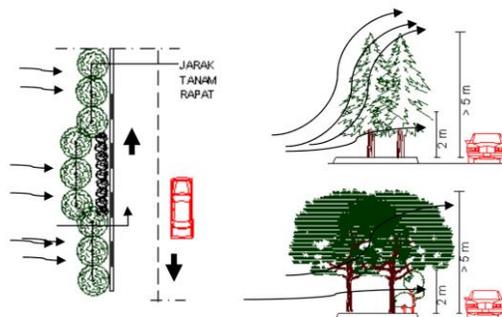
Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2008

d. Pemecah angin

Adapun kriteria jenis tanaman yang berfungsi sebagai pemecah angin sebagai berikut :

- Tanaman tinggi, perdu/semak
- Bermassa daun padat
- Ditanam berbaris atau membentuk massa
- Jarak tanam rapat < 3 m

Contoh jenis tanaman pemecah angin ialah cemara, mahoni, tanjung, kiara payung, dan kembang sepatu



Gambar 4. Jalur Tanaman Tepi Pemecah Angin

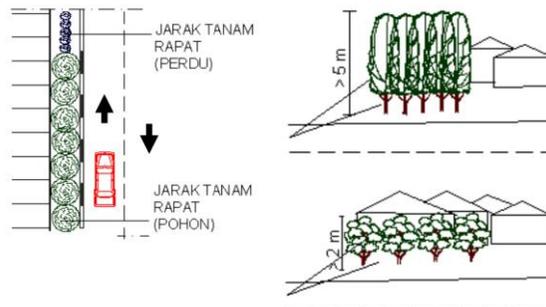
Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2008

e. Pembatas pandang

Adapun kriteria jenis tanaman pembatas pandangan pada tepi jalan sebagai berikut :

- Tanaman tinggi, perdu/semak
- Bermassa daun padat
- Ditanam berbaris atau membentuk massa
- Jarak tanam rapat

Contoh jenis tanaman yang berfungsi sebagai pembatas pandang yaitu bambu, cemara kembang sepatu, dan oleander



Gambar 5. Jalur Tanaman Tepi Pembatas Pandang

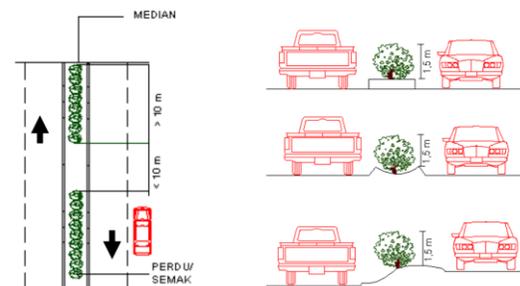
Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2008

2. Pada Median Jalan

Tanaman yang diperuntukkan pada median jalan berfungsi untuk penahan silau lampu kendaraan. Adapun kriteria tanaman yang digunakan pada median jalan sebagai berikut :

- Tanaman perdu atau semak
- Ditanam rapat
- Tinggi 1,5 m
- Bermassa daun padat

Contoh tanaman pada median jalan yaitu bogenvil, kembang sepatu, oleander, dan nusa indah

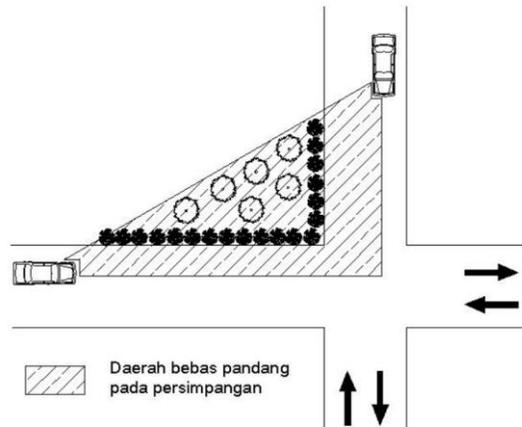


Gambar 6. Jalur Tanaman Pada Median Jalan

Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2008

3. Pada Persimpangan Jalan

Pemilihan jenis kriteria tanaman yang di peruntukkan pada persimpangan jalan disesuaikan dengan kondisi geometrik jalan dengan mempertimbangkan apakah daerah tersebut merupakan daerah bebas pandang, atau terdapat pulau lalu lintas atau kanal yang memungkinkan untuk ditanami, serta tanaman yang berfungsi sebagai tanaman pengarah. Sebaiknya digunakan tanaman rendah berbentuk tanaman perdu dengan ketinggian $<0,80$ m. Adapun jenis tanaman yang dapat digunakan yaitu soka berwarna-warni, lantana, pangkas kuning, palem raja, pinam jambe, lontar, khaya, bungur, dan tanjung.

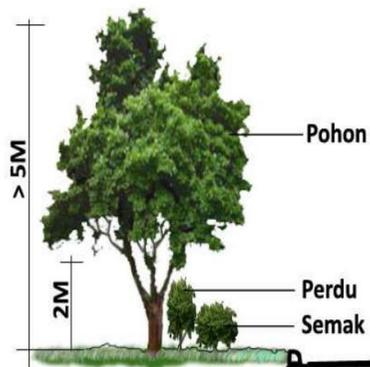


Gambar 7. Jalur Tanaman Tepi Pada Persimpangan Jalan

Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2008

1.4.5 Kelompok Tanaman

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 5 Tahun 2012 tentang Pedoman Penanaman Pohon pada Sistem Jaringan Jalan, secara garis besar jenis tanaman terbagi menjadi 4 bagian, yaitu :



Gambar 8. Kelompok Tanaman

Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2012

1. Pohon

Pohon atau juga pokok adalah tumbuhan dengan batang dan cabang yang berkayu. Pohon memiliki batang utama yang tumbuh tegak, menopang tajuk pohon. Pohon dibedakan dari semak melalui penampilannya. Semak juga memiliki batang berkayu, tetapi tidak tumbuh tegak. Dengan demikian, pisang bukan termasuk pohon karena tidak memiliki batang sejati yang berkayu. Jenis-jenis mawar hias lebih tepat disebut semak daripada pohon karena batangnya walaupun berkayu tidak berdiri tegak dan habitusnya cenderung menyebar menutup permukaan tanah.

2. Perdu atau Semak

Perdu atau semak adalah suatu kategori tumbuhan berkayu yang dibedakan dengan pohon karena cabangnya yang banyak dan tingginya yang lebih rendah, biasanya kurang dari 5-6 meter. Golongan perdu biasanya dibagi menjadi tiga, yaitu perdu rendah, perdu sedang, dan perdu tinggi. Bunga Sikat Botol, Krossandra, dan Euphorbia termasuk dalam kelompok tanaman perdu tersebut.

3. Terna

Terna adalah tumbuhan yang batangnya lunak karena tidak membentuk kayu. Tumbuhan semacam ini dapat merupakan tumbuhan semusim, tumbuhan dwimusim, ataupun tumbuhan tahunan. Tumbuhan yang dapat disebut terna umumnya adalah semua tumbuhan berpembuluh (*traacheophyta*). Biasanya sebutan ini hanya dikarenakan bagi tumbuhan yang berukuran kecil (kurang dari dua meter) dan tidak dikenakan pada tumbuhan non-kayu yang merambat digolongkan tumbuhan merambat).

4. Liana

Liana adalah suatu habitus tumbuhan. Suatu tumbuhan dikatakan liana jika dalam pertumbuhannya memerlukan kaitan atau objek lain agar ia dapat bersaing mendapatkan cahaya matahari. Liana dapat pula dikatakan tumbuhan yang merambat, memanjat, atau menggantung. Berbeda dengan epifit yang mampu sepenuhnya tumbuh lepas dari tanah, akar liana berada di tanah atau tidak memerlukan tanah sebagai sumber haranya.

1.4.6 Gas Karbondioksida (CO₂)

Gas CO₂ memiliki sifat tidak berbau, berwarna dan tidka berasa. Pada lingkungan yang tidka tercemar konsentrasi gas CO₂ di atmosfer adalah 300 ppm (Dahlan , 2007). Menurut Sjahrul (2013), peningkatan emisi CO₂ akan terus meningkat jika semakin banyak jumlah kendaraan bermotor dan semakin banyaknya jumlah pabrik, Peningkatan konsentrasi gas CO₂ di udara akan megakibatkana adanya perubahan iklim. Gas ini menyebabkan efek rumah kaca yang menyebabkan suhu bumi menjadi meningkat.

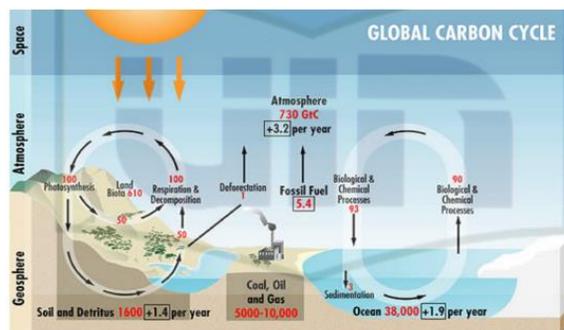
Sumber Emisi Gas Karbondioksida. Gas CO₂ merupakan hasil pembakaran sempurna dari bahan bakar minyak bumi maupun batu bara. Berdasarkan IPCC (2006), sumber emis CO₂ dapat digolongkan menjadi empat, yaitu

1. *Mobile Transporatation* (sumber bergerak), yaitu kendaraan bermotor, pesawat udara, kereta api, kapal bermotor dan penengangan/evaporasi gasoline
2. *Stationery Combustion* (sumber tidak bergerak), yaitu perumahan, daerah perdagangan, tenaga pemasaran sektoral. Termasuk tenaga uap yang digunakan sebagai energi

3. *Industrial Processes* (proses sektoral), yaitu proses kimiawi, metalurgo kertas dan penambangan minyak.
4. *Solid Waste Disposal* (pembuangan sampah), yaitu buangan rumah tangga dan perdagangan, buangan hasil pertambangan dan pertanian

Keberadaan karbon menjadi hal penting untuk keberadaan kehidupan di Bumi karena kemampuannya untuk bergabung dengan unsur-unsur penting lainnya, seperti oksigen, nitrogen, dan fosfor, dan dengan hidrogen untuk membentuk molekul organik yang penting untuk metabolisme dan reproduksi sel. Karbon atmosfer dalam bentuk karbon dioksida (CO₂) dan metana (CH₄) membantu mengatur iklim Bumi dengan "memerangkap" panas di atmosfer. Perangkap energi ini dikenal sebagai efek rumah kaca. Karbon juga memiliki kepentingan sosial ekonomi yang signifikan karena pembakaran bahan bakar fosil berbasis karbon saat ini merupakan cara global dominan dalam produksi energi (Agus Ruliyansyah, Yulisa Fitriyaningsih, 2013)

Siklus Karbon. Jenis gas rumah kaca (GRK) yang memberikan sumbangan paling besar terhadap pemanasan global adalah karbon dioksida. Kenaikan kadar karbon terhadap pemanasan global dipercepat dengan perkembangan teknologi yang menggunakan bahan bakar biomassa fosil (Arifin, 2011). Karbon dapat dijumpai di atmosfer sebagai karbon dioksida, didalam jaringan tubuh mahluk hidup, dan terbesar dijumpai dalam batuan endapan serta bahan bakar fosil yang terdapat dalam perut bumi. Karbon masuk ke dalam tubuh suatu organisme melalui rantai makanan, Karbon dioksida diserap oleh tumbuhan hijau melalui proses fotosintesis dan disimpan sebagai biomassa pada berbagai organ, diantaranya daun. Karbon organik dalam dedaunan hijau kemudian masuk ke tubuh organisme melalui proses pencernaan dan kembali ke udara melalui proses respirasi. Gambar dibawah ini merupakan rangkaian proses siklus karbon. Ketika matahari bersinar, tumbuhan melakukan fotosintesis, mengubah karbon dioksida menjadi karbohidrat dan melepaskan oksigen. Hutan dengan pertumbuhan cepat menyerap lebih banyak karbon.



Gambar 9. Siklus Karbon

Sumber : Permen PU No. 5 Tahun 2012

Menurut Afdal (2007) pengikatan CO₂ dari atmosfer dapat melalui beberapa cara, yaitu:

1. Ketika matahari bersinar, tumbuhan melakukan fotosintesis yang mengubah gas CO₂ menjadi karbohidrat dan melepaskan gas O₂ ke atmosfer.

2. Pada permukaan laut di daerah kutub, temperatur yang lebih rendah menyebabkan gas CO₂ lebih mudah larut. Selanjutnya, CO₂ yang terlarut tersebut akan terbawa ke lapisan air yang lebih dalam karena massanya yang menjadi lebih berat.
3. Pada laut bagian atas dengan produktivitas tinggi, organisme membentuk memanfaatkan CO₂ dalam kehidupannya; misalnya membentuk cangkang karbonat atau bagian-bagian tubuh lainnya yang keras, serta proses fotosintesis oleh ganggang laut

1.4.6 Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor

Menurut PP nomor 41 tahun 1999 tentang pengendalian pencemaran udara yang dimaksud emisi adalah zat, energi atau komponen lain yang dihasilkan dari suatu kegiatan yang masuk dan atau dimasukkannya kedalam udara ambien yang memiliki atau tidak memiliki potensi sebagai unsur pencemar. Sumber emisi adalah setiap usaha atau kegiatan yang mengeluarkan emisi dari sumber bergerak, sumber bergerak spesifik, sumber tidak bergerak dan sumber tidak bergerak spesifik.

Emisi gas buang berupa Nitrogen Oksida (NO), karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon tak terbakar (unburned hydrocarbon) atau HC. Gas NO_x dapat terbentuk pada suhu tinggi, adanya gas CO disebabkan karena adanya proses pembakaran tidak sempurna dan HC dapat dihasilkan akibat terjadinya pencampuran antara bahan bakar dan udara yang terlalu banyak. Nilai batas emisi ditentukan antara lain berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 04 Tahun 2009, tentang ambang batas emisi gas buang kendaraan bermotor. **Komposisi gas buang kendaraan bermotor** adalah sebagai berikut :

1. CO (Karbon Monoksida)

Karbon monoksida adalah gas yang tak berwarna dan tidak beraroma, gas CO terjadi apabila bahan bakar yang mengandung unsur C tidak dapat berikatan dengan O₂ artinya kurangnya udara yang masuk ke ruang silinder atau berlebihnya suplai bahan bakar. Kelebihan CO dapat mengakibatkan menurunnya berat janin, meningkatnya jumlah kematian bayi serta kerusakan pada otak.

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 NO. Selain NO, pembakaran bahan bakar juga akan menghasilkan bersama NO₂ (Masito, 2018). Semakin bertambahnya populasi kendaraan setiap tahunnya, semakin meningkat pula NO₂ dan dapat memberikan efek negatif pada kesehatan (Wijayanti, 2012).

3. HC (Hidrokarbon)

HC merupakan polutan primer karena dilepas ke udara secara langsung, sedangkan polutan sekunder seperti oksidan fitokimia dapat diperoleh dari reaksi yang melibatkan polutan primer. Selain proses industri, HC dapat diperoleh dari hasil emisi gas

transportasi. Pada umumnya pada pagi hari kadar HC tinggi di udara, menurun pada siang hari, meningkat lagi pada sore hari dan menurun kembali pada malam hari (Mahendro, 2014).

4. CO₂ (Karbon dioksida)

Tinggi rendahnya konsentrasi CO₂ tergantung dengan adanya proses pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Tidak berwarna dan tidak beraroma, gas ini terjadi akibat pembakaran yang sempurna antara bahan bakar dan udara dalam 11 hal ini oksigen (Efendri, 2013). Karakteristik karbon dioksida adalah tidak berwarna dan tidak berbau. Gas ini diperoleh akibat adanya pembakaran yang sempurna antara bahan bakar dengan udara, salah satunya oksigen

5. SO₂ (Sulfur Dioksida)

SO₂ merupakan komponen yang jumlahnya paling banyak dalam pencemaran udara. Karakteristik gas SO₂ antara lain: tidak berwarna dan berbau tajam. Efek yang ditimbulkan dari oksida belerang adalah mengalami iritasi di saluran pernafasan sehingga menyebabkan gejala batuk, sesak nafas dan meningkatnya penyakit asma.

1.4.7 Kendaraan Bermotor

Berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 55 Tahun 2012 Tentang Kendaraan, kendaraan bermotor ialah setiap kendaraan yang digerakkan oleh peralatan mekanik berupa mesin selain kendaraan yang berjalan di atas rel. Peraturan Kementerian Negara Lingkungan Hidup 2010 membagi jenis kendaraan menjadi 9 kategori. Berikut penjelasan mengenai pembagian tersebut :

Tabel 1. Jenis Kendaraan Bermotor

No	Nama Kendaraan	Pengertian	Gambar
1	Motor	Sepeda Motor adalah Kendaraan Bermotor beroda 2 (dua) dengan atau tanpa rumah-rumah dan dengan atau tanpa kereta samping, atau Kendaraan Bermotor beroda tiga tanpa rumah-rumah (PP No.44 tahun 1993)	
2	Van/Mini bus	Van adalah kendaraan yang digunakan untuk mengangkut barang atau orang. Biasanya berbentuk kotak dengan empat roda, dan lebar serta panjangnya sama dengan mobil, tetapi lebih tinggi badannya dan juga dibuat lebih tinggi dari tanah.	

No	Nama Kendaraan	Pengertian	Gambar
3	Sedan	Sedan adalah sebuah jenis mobil penumpang dengan 3 macam konfigurasi dengan Pilar A, B, dan C	
4	Taksi	Angkutan Taksi adalah angkutan dengan menggunakan mobil penumpang umum yang diberi tanda khusus dan dilengkapi dengan argometer yang melayani angkutan dari pintu ke 5 pintu dengan wilayah operasi dalam kawasan perkotaan. (Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, 2017).	
5	Bis Sedang	Kendaraan bermotor angkutan 11 orang beratnya lebih dari 5.000-8.000 kg, dengan kapasitas tampungan sebanyak 15 orang	
6	Bis Besar	Bus besar adalah bus yang mempunyai kapasitas duduk penumpang sampai 40 orang termasuk yang duduk berdiri	
7	Pick Up	Mobil pick up merupakan jenis dari kendaraan truk yang mempunyai kabin tertutup dan bak terbuka paa bagian belakang untuk membawa barang bawaan	

No	Nama Kendaraan	Pengertian	Gambar
8	Jeep	Mobil jeep merupakan mobil 4 roda dengan ban berdiameter lebih besar dari mobil sedan, sehingga mobil ini biasanya dipakai dalam kota maupun luar kota dengan median jalan yang terjal	
9	Angkot	Angkutan umum adalah angkutan penumpang yang dilakukan dengan sistem sewa atau bayar. Dimana dapat menampung sebanyak 12 orang	
10	Truk 2 As	Truk 2 as atau biasa disebut truk engkel merupakan jenis truk yang mempunyai 2 sumbu roda/gardan. Dengan konfigurasi ban 1-2-2	
11	Truk 3 as	Truk 3 as atau biasa disebut truk tronton merupakan jenis truk yang mempunyai 3 sumbu roda/gardan dengan konfigurasi ban 1-2-2	

Sumber : Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12 Tahun 2010

1.4.8 Pengukuran Emisi Kendaraan Bermotor

Emisi kendaraan adalah sisa hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin kendaraan yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan bensin, sedangkan proses pembakaran adalah reaksi kimia antara oksigen di dalam udara dengan senyawa hidro karbon di dalam bahan bakar untuk menghasilkan tenaga (Dan et al., 2010).

Menurut Kusumawardani (2017) dalam menjelaskan bahwa hasil dari pembakaran bahan bakar kendaraan bermotor dapat menghasilkan gas karbon dioksida yang merupakan emisi kendaraan bermotor yang kemudian membentuk gas rumah kaca dapat berkontribusi terhadap terjadinya peningkatan suhu bumi, sehingga peningkatan karbon dioksida akan menyebabkan berubahnya iklim bumi. Emisi yang

dihasilkan oleh kendaraan bermotor dapat terbagi dalam tiga kategori yaitu hot emission, start emission, dan evaporative emission. Hot emission adalah emisi yang dihasilkan selama kendaraan beroperasi pada kondisi normal. Start emission merupakan emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan hanya pada saat kendaraan mulai berjalan, sedangkan evaporative emission dapat terjadi dalam berbagai cara misalnya saat pengisian bahan bakar, peningkatan temperatur harian dan lain sebagainya (Hickman, 1999 dalam Pratiwi, 2017). Adapun persamaan yang digunakan untuk menentukan emisi CO₂ dari kendaraan bermotor dapat dilihat sebagai berikut (Pasaribu & Tangahu, 2015) :

$$E_k = \frac{n \times L \times f \times \rho}{FE} \quad (1)$$

Keterangan :

- E_k : Beban emisi CO₂ (kg/jam.km)
 n : Jumlah kendaraan
 f : Faktor emisi (g/kg BBM)
 L : Panjang Jalan (km)
 FE : *fuel economy* (km/L)
 ρ : Massa jenis bensin 0,63 kg/L dan solar 0,7 kg/L

Faktor Emisi. Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah, faktor emisi merupakan rerata statistik dari jumlah massa pencemar yang diemisikan untuk setiap satuan aktivitas kegiatan. Nilai ini dapat dinyatakan dalam massa pencemar per unit berat, volume, jarak atau durasi suatu aktivitas mengemisikan pencemar tersebut. Angka faktor ini berasal dari nilai rata-rata statistik dari data pemantauan yang tersedia, yang umumnya diasumsikan telah merepresentasikan nilai rata-rata jangka panjang untuk suatu kategori sumber pada aktivitas/fasilitas yang spesifik. Faktor emisi kendaraan bermotor dipengaruhi oleh faktor-faktor sebagai berikut :

1. Karakteristik geografi (meteorologi dan variasi kontur)
2. Karakteristik bahan bakar
3. Teknologi kendaraan
4. Pola kecepatan kendaraan bermotor (*driving cycle*)

Asumsi:

1. Karakteristik geografi kota di seluruh Indonesia diasumsikan seragam
2. Karakteristik bahan bakar di seluruh Indonesia diasumsikan seragam
3. Teknologi kendaraan bermotor sebanding dengan umur kendaraan bermotor dan dapat diasumsikan seragam distribusinya di seluruh Indonesia apabila belum tersedia data populasi kendaraan bermotor berdasarkan umurnya

Nilai faktor emisi yang digunakan adalah faktor emisi gas buang kendaraan untuk kota metropolitan dan kota besar di Indonesia yang ditetapkan berdasarkan kategori kendaraan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Faktor Emisi Gas Buang Kendaraan Berdasarkan Kategori Kendaraan

Kategori untuk perhitungan beban pencemar udara*	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	CO ₂ (g/kg BBM)	SO ₂ (g/km)
Sepeda motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008

Kategori untuk perhitungan beban pencemar udara*	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	CO ₂ (g/kg BBM)	SO ₂ (g/km)
Mobil (bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil (solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Mobil	32,4	3,2	2,3	0,12	3178	0,11
Bis	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Sumber : Permen LHK Nomor 12 Tahun 2010

Apabila kategori mobil dibagi menjadi sub-kategori tanpa membedakan jenis bahan bakar, ditambah dengan kendaraan roda 3, maka faktor emisi untuk sub-kategori dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 3. Faktor Emisi Gas Buang Kendaraan Berdasarkan Sub-Kategori Kendaraan

Kategori untuk perhitungan beban pencemar udara*	CO (g/km)	HC (g/km)	NO _x (g/km)	PM ₁₀ (g/km)	CO ₂ (g/kg BBM)	SO ₂ (g/km)
Angkot	43,1	5,08	2,1	0,006	3180	0,029
Taksi	55,3	5,6	2,8	0,008	3180	0,025
Roda 3 (bajaj)	70,7	33,8	0,25	1,2	3180	0,013
Pick-up	31,8	3,5	2	0,026	3178	0,13
Jeep	36,7	3,86	2,36	0,039	3178	0,145
Van/minibus	24	2,9	1,55	0,029	3178	0,14
Sedan	33,8	3,7	1,9	0,004	3180	0,023

Sumber : Permen LHK Nomor 12 Tahun 2010

Ekonomi Bahan Bakar. Dalam menentukan faktor emisi menggunakan pendekatan melalui konsumsi bahan bakar pada setiap jenis kendaraan. Maka dari itu, perlu diketahui nilai ekonomi bahan bakar. Merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah, ekonomi bahan bakar (*fuel economy*) adalah banyaknya bahan bakar yang diperlukan oleh kendaraan bermotor untuk menempuh suatu jarak tertentu. Nilai ekonomi bahan bakar dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 4. Ekonomi Bahan Bakar Kendaraan Bermotor

Kategori/Sub-Kategori	Ekonomi Bahan Bakar (km/liter)
Sepeda motor/roda 3	28
Sedan	9,8
Angkot	7,5
Taksi	8,7
Van/minibus	8
Bis sedang/mikrobis	4
Bis besar	3,5
Pick-up	8,5
Truk 2 as	4,4
Truk 3 as	4
Jeep	8

Sumber : Permen LHK Nomor 12 Tahun 2010

1.4.8 Klasifikasi Jalan

Berdasarkan Undang-Undang Nomor 38 Tahun 2004 tentang jalan, jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori 20 dan jalan kabel. Jalan sebagai prasarana dalam sistem transportasi memegang peranan penting dalam kaitannya untuk mendukung sektor ekonomi, sosial dan budaya serta lingkungan. pengelompokan jalan sesuai dengan peruntukannya terdiri atas dua jalan yaitu jalan umum dan jalan khusus. Jalan umum menurut fungsinya, dikelompokkan menjadi :

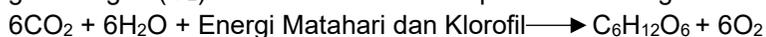
1. Jalan arteri, yaitu jalan umum yang berfungsi melayani angkutan umum dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna
2. Jalan kolektor, yaitu jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul dan pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang dan jumlah jalan masuk dibatasi
3. Jalan lokal, yaitu jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi
4. Jalan lingkungan, yaitu jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah.
5. Jalan nasional, yaitu dalam jalan arteri dan jalan kolektor dalam sistem jaringan jalan primer yang menghubungkan antar ibukota provinsi dan jalan strategis nasional serta jalan tol
6. Jalan provinsi, yaitu jalan kolektor dalam sistem jaringan primer yang menghubungkan ibukota provinsi dengan ibukota kabupaten/kota atau antar ibukota kabupaten/kota dan jalan strategis provinsi
7. Jalan kabupaten, yaitu jalan lokal dalam sistem jaringan jalan primer yang tidak termasuk jalan nasional dan jalan provinsi, yang menghubungkan ibukota kabupaten dengan ibukota kecamatan, antar ibukota kecamatan, ibukota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal, serta jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder dalam wilayah kabupaten dan jalan strategis kabupaten
8. Jalan kota, yaitu jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan dalam kota menghubungkan pusat pelayanan dengan persil, menghubungkan antar persil, serta menghubungkan antar pusat permukiman yang berada di dalam kota
9. Jalan desa, yaitu jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antar permukiman di dalam desa serta jalan lingkungan.

1.4.8 Pengukuran Serapan CO₂ Oleh Tumbuhan

Menurut Sjahrul (2013) dalam (Haruna, 2020) karbon dioksida (CO₂) adalah gas yang dihasilkan dari respirasi makhluk hidup dan juga dari pembakaran bahan bakar fosil seperti minyak bumi dan batu bara. Seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor dan pabrik, konsentrasi CO₂ di udara juga meningkat. Peningkatan konsentrasi gas ini dapat menyebabkan perubahan iklim karena efek rumah kaca, yang pada gilirannya menyebabkan suhu bumi meningkat.

Emisi karbon, khususnya CO₂, memiliki dampak signifikan terhadap kualitas udara. Jalur hijau, sebagai bentuk hutan kota, memainkan peran penting dalam menyerap CO₂ dan mengurangi dampak negatif emisi dari kendaraan dan industri. Hutan kota adalah kawasan perkotaan yang didominasi oleh pepohonan yang dibiarkan tumbuh secara alami, bukan seperti taman yang teratur. Dalam proses fotosintesis, tumbuhan menyerap CO₂ dan menghasilkan oksigen, yang sangat penting untuk mengatasi polusi udara di daerah perkotaan (Febriana Sulistyia Pratiwi., 2022). Untuk mengevaluasi kemampuan vegetasi dalam menyerap emisi kendaraan bermotor, berbagai metode telah digunakan dalam penelitian sebelumnya. Metode ini bertujuan untuk mengoptimalkan efektivitas Ruang Terbuka Hijau dalam mereduksi emisi yang dihasilkan. Terdapat beberapa pendekatan untuk mengukur serapan CO₂ dari pohon, diantaranya dengan pengukuran luas tajuk, pemetaan dengan bantuan aplikasi penginderaan jauh atau pengukuran dengan metode biomassa.

Penyerapan gas CO₂ oleh tanaman melalui proses fotosintesis. Menurut (Kusminingrum, 2008), tanaman membutuhkan CO₂ untuk pertumbuhannya. Peningkatan konsentrasi CO₂ atmosfer dapat merangsang proses fotosintesis, mempercepat pertumbuhan tanaman, dan meningkatkan produktivitasnya tanpa disertai peningkatan kebutuhan air (transpirasi). Fotosintesis umumnya terjadi pada semua tumbuhan hijau yang memiliki kloroplas atau pigmen. Secara umum, proses fotosintesis melibatkan pengikatan gas karbon dioksida (CO₂) dari udara dan molekul air (H₂O) dari tanah dengan bantuan energi foton cahaya tampak, akan membentuk (C₆H₁₂O₆) dan gas oksigen (O₂). Reaksi fotosintesis dapat dilihat sebagai berikut :



Keterangan :

CO₂ = Karbon dioksida

H₂O = Air

C₆H₁₂O₆ = Glukosa

O₂ = Oksigen

Tumbuhan menangkap cahaya melalui pigmen yang disebut klorofil, yang memberi warna hijau pada tumbuhan. Klorofil mengandung organel yang disebut kloroplas, yang berperan dalam menyerap cahaya untuk proses fotosintesis. Meskipun semua bagian tumbuhan yang berwarna hijau memiliki kloroplas, sebagian besar energi dihasilkan di daun. Di dalam daun, terdapat lapisan sel yang disebut mesofil, yang mengandung sekitar setengah juta kloroplas per milimeter persegi. Cahaya melewati lapisan epidermis yang transparan menuju mesofil, tempat sebagian besar proses fotosintesis berlangsung. Permukaan daun biasanya dilapisi oleh kutikula lilin yang bersifat anti air untuk mencegah penyerapan cahaya matahari atau penguapan air berlebihan (Sinambela, 2006).

Daya serap CO₂ setiap tanaman per satuan waktu bervariasi, tergantung pada jenis tanaman, terutama morfologi daunnya. Pada tanaman yang dapat bertahan di lingkungan dengan intensitas cahaya rendah, daunnya cenderung lebih besar, lebih tipis, memiliki ukuran stomata yang lebih besar, jumlah daun yang sedikit, dan ruang antar sel yang lebih besar. Sebaliknya, di lingkungan dengan intensitas cahaya tinggi, daun biasanya lebih kecil, tebal, stomatanya lebih kecil dan banyak, juga jumlah daun yang lebih rindang (Leopold & Kriedemann, 1975).

Laju penyerapan CO₂ juga dipengaruhi oleh umur dan posisi daun. Klorofil dalam daun meningkat seiring bertambahnya usia dan luas daun. Ketika daun masih muda, kemampuan fotosintesisnya relatif rendah, namun akan terus meningkat hingga mencapai ukuran maksimal. Setelah itu, daun akan menua dan mulai menguning karena kerusakan klorofil. Daun yang berada di bagian dalam tajuk juga memiliki laju penyerapan yang rendah karena daun tidak mendapatkan cahaya matahari yang cukup (Dahlan, 2007). Karbon yang tersimpan oleh ruang terbuka hijau dengan populasi 10.000 pohon yang berumur 16-20 tahun dapat mengurangi karbon dioksida sebesar 800 ton per tahun (Simpson dan McPherson, 1999). Terdapat beberapa pendekatan untuk mengukur serapan CO₂ antara lain :

Metode Biomassa. Menurut (Brown, 1997) dalam (Yusna, 2022) biomassa didefinisikan sebagai total jumlah materi hidup di atas permukaan pada suatu pohon dan dinyatakan dengan satuan ton berat kering per satuan luas. Biomassa dapat dibedakan ke dalam dua jenis yaitu biomassa tumbuhan di atas permukaan tanah (aboveground biomass) dan biomassa di bawah permukaan tanah (belowground biomass). Biomassa atas permukaan adalah semua material hidup di atas permukaan. Termasuk bagian dari kantong karbon ini adalah batang, cabang, kulit kayu, biji dan daun dari vegetasi baik strata pohon maupun dari strata bawah dilantai hutan. Biomassa bawah permukaan adalah semua biomassa dari akar tumbuhan yang hidup (Kusmana, 1993). Biomassa mengacu pada jumlah total berat atau volume organisme yang terdapat di suatu area atau volume tertentu (IPCC, 1995). Biomassa juga dapat diartikan sebagai total jumlah materi hidup yang ada di atas permukaan suatu pohon, yang biasanya dinyatakan dalam satuan ton berat kering per satuan luas (Brown, 1997). Biomassa berkaitan dengan proses fotosintesis, di mana tumbuhan menyerap CO₂ dari udara dan mengubahnya menjadi senyawa organik, yang merupakan cara tumbuhan meningkatkan biomasanya. Biomassa pada suatu pohon terbagi atas (Sutaryo, 2009):

1. Biomassa atas permukaan, yaitu semua material hidup yang berada di atas permukaan tanah yang meliputi batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji, dan daun.
2. Biomassa bawah permukaan, yaitu semua biomassa dari akar tumbuhan yang masih hidup. Definisi akar ini berlaku hingga diameter tertentu yang telah ditetapkan, karena akar dengan diameter lebih kecil dari ketentuan sering sulit dibedakan dari bahan organik tanah dan serasah.
3. Bahan organik mati, meliputi kayu mati dan serasah. Serasah merujuk pada semua bahan organik mati dengan diameter lebih kecil dari diameter yang telah ditetapkan dengan berbagai tingkat dekomposisi yang terletak di permukaan tanah. Kayu mati mencakup semua bahan organik mati yang tidak termasuk dalam serasah, baik yang masih tegak maupun yang sudah tumbang di tanah, serta akar mati dan tunggul dengan diameter lebih besar dari batas yang telah ditetapkan.

Terdapat 4 cara utama untuk menghitung biomassa yaitu (i) sampling dengan pemanenan (*Destructive sampling*) yaitu menebang seluruh pohon atau beberapa pohon yang mewakili tegakan kemudian menimbang berat biomasanya (ii) sampling tanpa pemanenan (*Non-destructive sampling*) yaitu melakukan pengukuran dan pendataan secara *in situ* tanpa merusak pohon, (iii) pendugaan melalui penginderaan jauh, dan (iv) pembuatan model yaitu menghitung estimasi biomassa dengan frekuensi dan intensitas pengamatan *in situ* atau penginderaan jauh yang terbatas (Heiskanen, 2006).

Untuk masing-masing metode di atas, persamaan alometrik digunakan untuk menduga biomassa pohon. Pengertian metode alometrik sendiri adalah salah satu fungsi atau persamaan matematika yang menunjukkan hubungan antara bagian tertentu dari makhluk hidup dengan bagian lain atau fungsi tertentu dari makhluk hidup tersebut. persamaan tersebut dipakai untuk menduga parameter tertentu dengan menggunakan parameter lainnya (sutaryo,2009) dalam (Hidayat, 2013). Setiap persamaan allometrik dikembangkan berdasarkan kondisi tegakan dan variasi jenis tertentu yang berbeda-beda. Oleh karena itu, penggunaan persamaan allometrik yang dikembangkan di suatu lokasi belum tentu sesuai jika diterapkan di daerah lain. Beberapa persamaan allometrik spesifik yang telah tersedia dan umum digunakan untuk studi biomassa antara lain:

1. Persamaan Allometrik oleh Brown (1997)

Persamaan ini dikembangkan dari data 170 pohon dengan rentang diameter antara 5 – 148 cm. Persamaan allometrik tersebut hanya memerlukan data diameter pohon dengan nilai koefisien determinasi ($r^2= 0.89$). Persamaan allometrik dari Brown (1997) dapat dilihat sebagai berikut (Basuki et al., 2009).

$$B = \exp (-2.134+2.53\ln(D)) \quad (2)$$

Keterangan :

B : Biomassa Pohon (kg/pohon)

D : Diameter setinggi dada (cm)

2. Persamaan Allometrik oleh Ketterings et al. (2001)

Persamaan ini dikembangkan dengan data 29 pohon dari 14 genus dengan diameter berkisar antara 7,6 hingga 48,1 cm. Persamaan ini memerlukan data berupa diameter pohon dan berat jenis pohon dengan nilai koefisien determinasi ($r^2=0.90$). Persamaan allometrik dari Ketterings et al. (2001) dapat dilihat sebagai berikut (Hidayat, 2013).

$$B = 0,11\rho D^{2,62} \quad (3)$$

Keterangan :

B : Biomassa pohon (kg/pohon)

D : Diameter setinggi dada (cm)

ρ : Berat jenis pohon (gr/cm^3)

3. Persamaan Allometrik oleh Chave et al. (2014)

Persamaan ini dikembangkan dengan data 4004 pohon dari berbagai tipe vegetasi dengan diameter batang berkisar dari 5 hingga 212 cm pada hutan tropis, hutan sub tropis, dan hutan sabana. Persamaan ini memerlukan data berupa tinggi pohon, diameter pohon, dan berat jenis pohon dengan nilai koefisien determinasi ($r^2= 0,92$). Persamaan allometrik oleh Chave et al. (2014) sangat fleksibel sehingga sering direkomendasikan untuk memperkirakan biomassa hutan tropis (Walker et al., 2016). Persamaan allometrik dari Chave et al. (2014) dapat dilihat sebagai berikut :

$$B = 0.0673 \times (\rho D^2 H)^{0.976} \quad (4)$$

Keterangan :

B : Biomassa pohon (kg/pohon)

D : Diameter setinggi dada (cm)

ρ : Berat jenis pohon (gr/cm^3)

H : Tinggi pohon (m)

Persamaan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu persamaan (Chave et al., 2014). Hal ini Berdasarkan penelitian (Zaenal, 2020) didapatkan bahwa model alometrik ini cukup akurat digunakan dalam pendugaan biomassa pohon. Hal ini dikarenakan persamaan alometrik ini digunakan oleh berbagai jenis pohon dan mewakili kondisi vegetasi hutan primer dan sekunder di daerah tropis, sub tropis, dan savana. Dalam penelitian (Mirna et al., 2019) juga mengatakan bahwa (Chave, 2014) sudah melibatkan 3 parameter yaitu diameter batang, massa jenis kayu, dan tinggi pohon sehingga akurasi persamaan dalam estimasi biomassa menjadi lebih baik. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh (Samsuedin et al., 2009) dalam penelitiannya menggunakan persamaan alometrik ini yang memiliki nilai unggul sebesar 99%, di mana dalam penelitian tersebut juga menggunakan 3 parameter yaitu diameter batang, massa jenis kayu, dan tinggi pohon.

Estimasi biomassa sangat bergantung pada diameter batang. Penelitian yang dilakukan oleh Lokbere et al. (2017) menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif antara hasil biomassa yang tinggi dengan ukuran lingkaran batang. Perhitungan diameter batang mengacu pada perhitungan diameter lingkaran yang dapat dilihat sebagai berikut (As'ari et al., 2017):

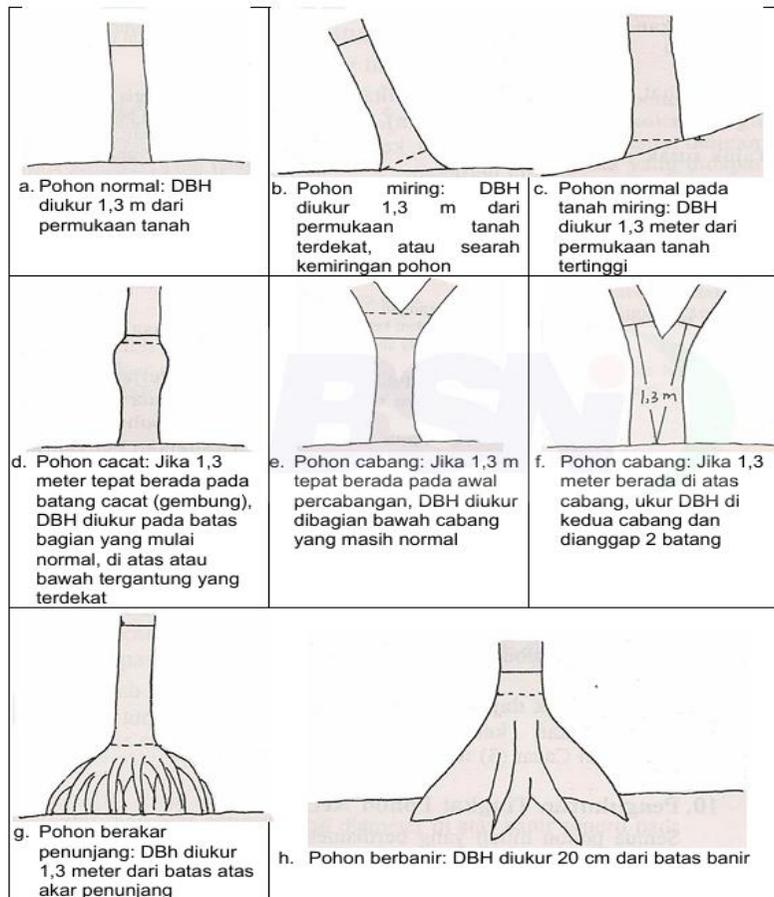
$$D = \frac{K}{\pi} \quad (5)$$

Keterangan

D : Diameter batang (cm)

K : Keliling batang (cm)

Parameter yang biasa digunakan untuk mengukur biomassa pohon adalah *Diameter Breast Height* (DBH) yang diukur dengan pengukuran diameter setinggi dada yaitu 1,3 meter dari permukaan tanah. Estimasi biomassa sangat bergantung pada diameter batang. Penelitian yang dilakukan oleh Lokbere et al. (2017) menunjukkan bahwa terdapat korelasi positif antara hasil biomassa yang tinggi dengan ukuran lingkaran batang. Pengukuran diameter setinggi dada mengacu pada SNI 7724: 2011 tentang Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon yang dapat dilihat pada **gambar 12**.



Gambar 10. Pengukuran DBH pada Berbagai Kondisi Pohon

Sumber : SNI 7724: 2011

Sebuah lahan yang terdiri dari pohon-pohon dengan spesies yang memiliki nilai berat jenis kayu yang tinggi akan memiliki biomassa yang lebih besar dibandingkan dengan lahan yang ditumbuhi oleh spesies dengan nilai berat jenis kayu yang rendah (Rahayu et al., 2007). Beberapa data berat jenis pohon yang tumbuh di Indonesia sebagai berikut.

Tabel 5. Data Berat Jenis Pohon yang Tumbuh di Indonesia

Nama Pohon	Nama Latin	Berat Jenis (gr/cm ³)
Trembesi	<i>Samanea saman</i>	0,52
Pinus	<i>Pinus merkusii</i>	0,52
Mindi	<i>Melia dubia</i>	0,40
Kecapi	<i>Sandoricum koetjape</i>	0,44
Kemiri	<i>Aleurites moluccana</i>	0,25
Mahoni Daun Lebar	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,61
Mahoni Daun Kecil	<i>Swietenia mahagoni</i>	0,62
Tabebuia Kuning	<i>Tabebuia guayacan</i>	0,82
Tabebuia Pink	<i>Tabebuia rosea</i>	0,54
Ketapang Badak	<i>Terminalia catappa</i>	0,59
Damar	<i>Agathis damara</i>	0,49
Nangka	<i>Artocarpus heterophyllus</i>	0,60

Nama Pohon	Nama Latin	Berat Jenis (gr/cm ³)
Beringin Karoya	<i>Ficus longifolia</i>	0,44
Kayu Putih	<i>Melaleuca leucadendra</i>	0,72
Glodokan Tiang	<i>Polyalthia longifolia</i>	0,56
Angsana	<i>Pterocarpus indicus</i>	0,56
Cendana Merah	<i>Pterocarpus santalins</i>	0,63
Trembesi	<i>Samanea saman</i>	0,52
Jambu Air	<i>Syzygium aqueum</i>	0,80
Cemara laut	<i>Casuarina equisetifolia</i>	0,92
Ketapang Kencana	<i>Terminalia Mantaly</i>	0,57
Palem Ekor Tupai	<i>Wodyetia bifurcata</i>	0,50
Palem Raja	<i>Polyalthia longifolia</i>	0,42
Gambir	<i>Ucaria macrhophyila</i>	0,80
Saga Merah	<i>Adenantha pavonina</i>	0,71
Malapari	<i>Pongamia pinnata</i>	0,60
Pulai	<i>Alstonia scholaris</i>	0,5
Sukun	<i>Artocarpus altilis</i>	0,5
Kerai payung	<i>Filicium decipiens</i>	0,3
Rambutan	<i>Nephelium lappaceum</i>	0,8
Bayur	<i>Pterospermum javanicum</i>	0,5
Patah Tulang	<i>Euphorbia tirucalli</i>	0,4

Sumber : KLHK (2020), Reyes et al. (1992), & Darlina et al.(2023)

Cadangan karbon adalah kandungan karbon tersimpan pada permukaan tanah sebagai biomassa tanaman, setelah dikurangi sisa hasil fotosintesis, metabolisme, dan respirasi pada tanaman (Utami, 2019). Setelah diketahui jumlah biomassa total dengan persamaan alometrik, maka untuk mengetahui cadangan karbon, dapat dihitung dengan persamaan serapan karbon (Badan Standar Nasional, 2011) yang

$$C_b = B \times \% C \text{ organIk} \quad (6)$$

Keterangan :

C_b : Karbon (kg)

B : Biomassa (kg)

$\%C$: Nilai presentase kandungan karbon, sebesar 0,47

Serapan CO₂ dihitung menggunakan perbandingan massa molekul relatif CO₂ (44) dan massa atom relatif C (12) sehingga menghasilkan nilai 3,67 kemudian mengalikan dengan nilai cadangan karbon. Selanjutnya, untuk mengetahui berapa serapan CO₂ yang didapatkan maka dilakukan perhitungan serapan CO₂ (Lahan et al., 2010) menggunakan **Persamaan 9** yang dapat dilihat sebagai berikut.

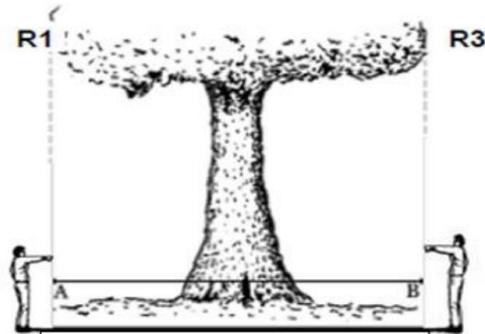
$$C_{\text{sink}} = 3,67 \times C_b \quad (7)$$

Keterangan :

C_{sink} : Serapan CO₂ (kg/ha/jam)

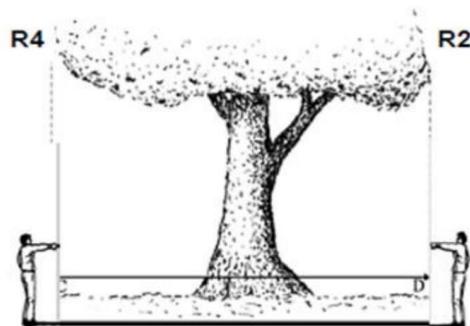
C_b : Karbon (kg)

Metode Luas Tajuk. Tajuk merujuk pada bagian tumbuhan yang berada di atas permukaan tanah, termasuk pohon, perdu, atau liana yang menempel pada batang utama. Secara teknis, pengukuran diameter tajuk dilakukan dengan mengukur jari-jari tajuk pohon sebanyak empat arah mata angin utama (utara, timur, selatan, dan barat) (Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2013).



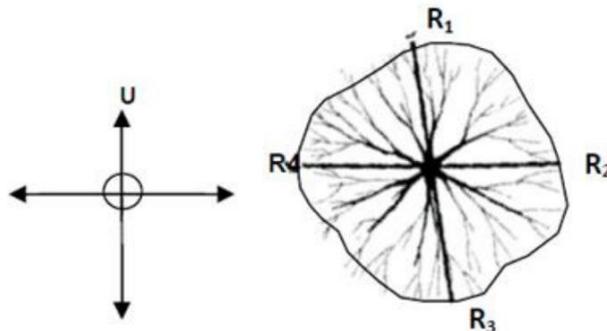
Gambar 11. Pengukuran Dimensi Tajuk Tampak Utara dan Selatan

Sumber : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2013



Gambar 12. Pengukuran Dimensi Tajuk Tampak Barat dan Timur

Sumber : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2013



Gambar 13. Pengukuran Dimensi Tajuk Tampak Dari Atas

Sumber : Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan, 2013

Pengukuran diameter terpanjang dan diameter terpendek tajuk dilakukan menggunakan meteran. Diameter terpanjang dan diameter terpendek tajuk kemudian dirata-ratakan menggunakan persamaan :

$$D_{\text{rata-rata}} = \frac{D_{\text{terpanjang}} + D_{\text{terpendek}}}{2} \quad (8)$$

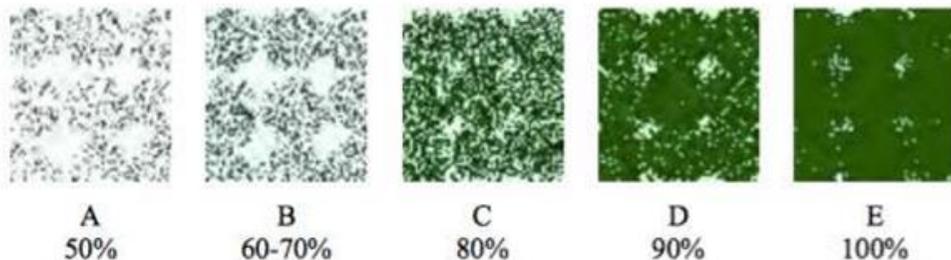
Ruang terbuka hijau memiliki berbagai macam tipe penutupan vegetasi seperti pohon, semak belukar, padang rumput, dan sawah dimana laju serapan terhadap emisi CO₂ tiap tutupan vegetasi berbeda-beda. Daya serap CO₂ berbagai tipe tutupan vegetasi dapat dilihat sebagai berikut.

Tabel 6. Daya serap CO₂ Berbagai Tipe Tutupan Vegetasi

Tipe Penutupan	Koefisien Daya Serap CO ₂		
	(kg/ha/jam)	(kg/ha/hari)	(ton/ha/tahun)
Pohon	129,925	1.559,10	569,07
Semak/Perdu	12,556	150,68	55
Padang Rumput	2,74	32,88	12
Sawah	2,74	32,99	12

Sumber : Prasetyo, dkk (2002) dalam Maytantri (2020)

Penentuan persentase kerapatan tajuk dilakukan melalui penilaian visual, yang bersifat subjektif sehingga memerlukan acuan. Kerapatan tajuk diukur berdasarkan ketebalan tutupan daun di suatu area dalam RTH publik. Asumsi kerapatan tajuk ini ditentukan berdasarkan pengembangan dari penelitian terlebih dahulu. Adapun acuan visualisasi penentuan kerapatan tajuk dapat dilihat sebagai berikut.

**Gambar 14. Visualisasi Penentuan Persentase Kerapatan Tajuk**

Sumber : Syafaati & Mangkoedihardjo, 2020

Perhitungan luas tajuk mengacu pada persentase kerapatan tajuk dan diameter tajuk yang dapat dilihat pada persamaan berikut :

$$L = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \% \text{kerapatan tajuk pohon} \quad (9)$$

Keterangan :

L : Luas (m)

d : Diameter tajuk (m)

Perhitungan daya serap CO₂ tumbuhan dilakukan dengan dikalikannya jumlah pohon dengan satuan luas tajuk (ha) dengan koefisien daya serap CO₂ berdasarkan tipe tutupan vegetasi seperti pada persamaan berikut :

$$C_{\text{sink}} = LT \times \text{Koefisien daya serap CO}_2 \text{ dalam satuan luas} \quad (10)$$

Keterangan :

C_{sink} : Daya serap CO₂ tumbuhan (kg/jam)

LT : Luas tajuk masing-masing jenis tumbuhan (ha)

Untuk mengetahui jumlah total serapan CO₂ pada suatu jalur hijau, median, ataupun pulau jalan dapat menjumlahkan seluruh daya serap pohon/perdu yang tumbuh pada suatu area yang dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$C_{\text{sink total}} = \sum_{i=1}^n C_{\text{sink ke-1}} \quad (11)$$

Keterangan :

C_{Sink} : Daya serap CO₂ vegetasi (kg/jam)

n : Banyaknya jenis tumbuhan pada jalur hijau jalan

i : Jenis tumbuhan ke-i

1.4.8 Efisiensi dan Efektivitas Daya Serap CO₂ oleh Ruang Terbuka Hijau

Efisiensi dan efektivitas dihitung untuk mengukur kemampuan CO₂ dalam menyerap emisi di suatu wilayah. Jika hasil perhitungan sisa emisi menunjukkan nilai positif (+), berarti vegetasi mampu menyerap seluruh emisi tersebut. Sebaliknya, jika hasil perhitungan sisa emisi bernilai negatif (-), maka daya serap vegetasi belum cukup menyerap seluruh emisi. Untuk menghitung sisa emisi dapat menggunakan rumus sebagai berikut.

$$\text{Sisa Emisi CO}_2 = \text{Emisi CO}_2 \text{ Total} - \text{Total Daya Serap CO}_2 \quad (12)$$

Efektivitas mengukur sejauh mana tujuan penyerapan tercapai. Jika hasil perhitungan kurang dari 100%, artinya penyerapan emisi oleh tumbuhan belum mencapai angka yang diinginkan dan masih ada sisa emisi yang tidak terserap. Sebaliknya, jika hasil lebih dari 100%, tumbuhan masih mampu menyerap emisi CO₂ di wilayah tersebut. Untuk menghitung efektivitas dapat menggunakan rumus persamaan berikut.

$$\% \text{Efektivitas} = \frac{\text{Total Daya Serap Vegetasi}}{\text{Emisi CO}_2} \times 100\% \quad (13)$$

Untuk mengetahui luas kebutuhan ruang terbuka hijau berdasarkan sisa emisi CO₂ yang masih belum terserap yaitu mengetahui sisa emisi yang menggunakan **Persamaan 12**. Setelah diketahui sisa emisi yang belum terserap kemudian dibandingkan dengan kemampuan penyerapan CO₂ oleh pohon. Berikut persamaan yang digunakan (Velayati et al., 2013):

$$\text{Kebutuhan RTH} = \frac{\text{Sisa Emisi CO}_2}{\text{Kemampuan penyerapan CO}_2} \quad (14)$$

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Jalan Hertasning Makassar, yang dimulai dari persimpangan Jalan A.P Pettarani hingga perbatasan gowa sebelum Jalan Aeropala. Jalan Hertasning Makassar masuk dalam klasifikasi Jalan arteri primer. Jalan ini menghubungkan Kabupaten Gowa dan Kota Makassar, yang menyebabkan jalan tersebut menjadi padat lalu lintas dan berpotensi menghasilkan emisi CO₂ dari kendaraan bermotor yang melintas sepanjang jalan tersebut. Jalan ini dipilih karena lokasinya yang strategis berada di tengah kota. Banyaknya akses ke jalan lain seperti Jalan AP Pettarani, Jalan Haji Bau, Jalan Sultan Alauddin, Jalan Abdullah Dg.Sirua, Jalan Pengayoman, dan Jalan Tun Abdul Razak. Jalan ini seringkali menjadi jalur pilihan bagi masyarakat untuk dilalui baik menuju ke arah kota atau memasuki area perbatasan gowa dan sekitarnya. Akibatnya, arus lalu lintas di Jalan Hertasning Makassar cenderung sangat padat dan terjadi kenaikan volume kendaraan pada jalan ini, terutama pada jam-jam sibuk dari pagi sampai dengan sore hari. Jalan Hertasning Baru Makassar adalah jalan arteri primer dengan tipe 2/2D, yang berarti jalan ini memiliki 2 lajur dan 2 jalur dengan 1 median jalan. Wilayah studi untuk jalan ini memiliki panjang 3,61 km. Di sekitar Jalan Hertasning Makassar, tata guna lahan didominasi oleh pertokoan, rumah sakit, masjid, dan pemukiman.

Mudahnya akses ke jalan lain menjadikan Jalan Hertasning Baru Makassar memiliki tingkat volume kendaraan yang cukup tinggi. Oleh sebab itu, sebelum dilakukannya penelitian, terlebih dahulu dilakukan survei pendahuluan untuk mengetahui keadaan eksisting dari Jalan Hertasning Makassar, yang selanjutnya dilakukan pembagian segmen jalan. Sebelum dilakukan pembagian segmen jalan dilakukan observasi untuk mengamati kondisi jalan yang akan dijadikan objek penelitian untuk mengetahui karakteristik jalan serta mengamati persimpangan, belokan, dan putar balik arah pada Jalan Hertasning Makassar. Dari hasil survei pendahuluan yang dilakukan terdapat 9 segmen jalan yang terbagi sepanjang Jalan Hertasning Makassar. Adapun kriteria penentuan titik *traffic counting* menurut (Khoiroh, 2020) yaitu :

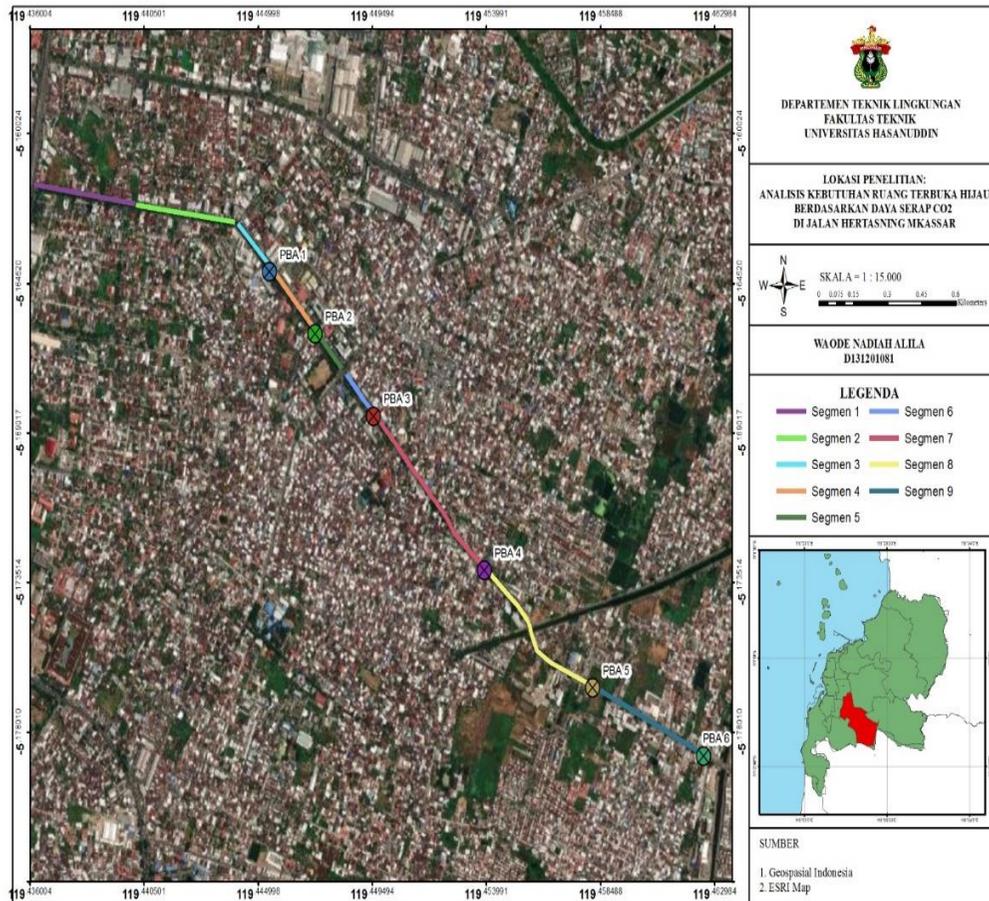
1. Titik pengukuran sebaiknya ± 50 meter dari persimpangan jalan dan/atau lampu pengatur lalu lintas (tidak mengganggu antrian kendaraan di persimpangan).
2. Lokasi dipilih pada ruas jalan yang tidak memiliki hambatan (belokan, persimpangan, dll) sehingga kecepatan kendaraan yang melewatinya stabil.
3. Kondisi lapisan permukaan dan keadaan geometrik jalan mempunyai kondisi yang baik.
4. Penentuan waktu perhitungan harus menghindari hal-hal seperti kondisi waktu khusus seperti hari libur, cuaca tidak normal seperti hujan lebat, dan halangan atau adanya perbaikan jalan

Jalan Hertasning Makassar dibagi mejadi 9 segmen. Panjang jalan dan batasan wilayah dapat dilihat pada tabel 7 dibawah ini

Tabel 7. Batas Wilayah Segmen

Segmen	Panjang Jalan (Km)	Batas Wilayah	
		Barat	Timur
Segmen 1	0,87	Jl.Pengayoman F XXI	JL. Hertasning I
Segmen 2	1.34	JL. Bau Mangga	Jl. Adhyaksa
Segmen 3	0,40	Jl. Toddopuli IV	PBA dekat Toko Browcyl
Segmen 4	0,53	JL.Toddopuli II	PBA dekat gedung PLN
Segmen 5	0,30	JL. Tamalte II	JL.Hertasning Utara III
Segmen 6	0,35	JL.Hertasning IV	PBA depan Toko Nayla
Segmen 7	0.85	JL. Letjen Hertasning	PBA dekat Toko Skincare
Segmen 8	0,60	PBA Aeropala	JL.Hertasning Makassar
Segmen 9	0,43	PBA dekat Indomaret	JL. Taman Gosyen Raya

Berikut ini adalah gambar pembagian segmen jalan pada Jalan Hertasing Makassar yang terbagi dalam 9 Segmen Jalan.



Gambar 15. Lokasi Penelitian

a. Segmen 1

Segmen 1 memiliki panjang 0,87 km. Bagian selatan berbatasan dengan Jalan Toddopuli II dan sebelah utara berbatasan dengan PB. Titik lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 1 dilakukan pada $5^{\circ}18'26.''10$ S, dan $119^{\circ}43'86.''54$ E.



Gambar 16. Sketsa Jalan Segmen 1

b. Segmen 2

Segmen 2 memiliki panjang 0,40 km. Bagian Selatan berbatasan dengan Bau Manga dan sebelah Utara berbatasan dengan Jalan Adhyaksa. Titik Lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 2 dilakukan pada $5^{\circ}16'32.8''$ S, dan $119^{\circ}44'26.3''$ E.



Gambar 17. Sketsa Jalan Segmen 2

c. Segmen 3

Segmen 3 memiliki panjang 0,40 km. Bagian Selatan berbatasan dengan Jalan Toddopuli IV dan sebelah Utara berbatasan dengan PBA dekat Toko Browcyl. Titik Lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 3 dilakukan pada $5^{\circ}16'32.''94$ S, dan $119^{\circ}44'86.''4$ E.



Gambar 18. Sketsa Jalan Segmen 3

d. Segmen 4

Segmen 4 memiliki panjang 0,53 km. Bagian Selatan berbatasan dengan Jalan Toddopuli II dan sebelah Utara berbatasan dengan PBA dekat gedung PLN. Titik Lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 3 dilakukan pada $5^{\circ}16'34.''43$ S, dan $119^{\circ}44'47.''47$ E.



Gambar 19. Sketsa Jalan Segmen 4

e. Segmen 5

Segmen 5 memiliki panjang 0,30 km. Bagian Selatan berbatasan dengan Jalan Tamalate II dan sebelah Utara berbatasan dengan Jalan Hertasing Utara III. Titik Lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 5 dilakukan pada $5^{\circ}16'64.''54$ S, dan $119^{\circ}44'77.''38$ E.



Gambar 20. Sketsa Jalan Segmen 5

f. Segmen 6

Segmen 6 memiliki panjang 0,30 km. Bagian Selatan berbatasan dengan Jalan Hertasing IV dan sebelah Utara berbatasan dengan PBA dengan Toko Hijab Nayla. Titik Lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 6 dilakukan pada $5^{\circ}16'80.''34$ S, dan $119^{\circ}44'91.''42$ E.



Gambar 21. Sketsa Jalan Segmen 6

g. Segmen 7

Segmen 7 memiliki panjang 1,34 km. Bagian Selatan berbatasan dengan Jalan Hertansing IV dan sebelah Utara berbatasan dengan Jalan Letjen Hertansing dengan PBA Toko Skincare. Titik Lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 7 dilakukan pada $5^{\circ}17'08.''7$ S, dan $119^{\circ}45'17.''80$ E.



Gambar 22. Sketsa Jalan Segmen 7

h. Segmen 8

Segmen 8 memiliki panjang 1,34 km. Bagian Selatan berbatasan dengan PBA Jalan Aeropala dan sebelah Utara berbatasan dengan Jalan Hertasing Nayla. Titik Lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 8 dilakukan pada $5^{\circ}17'39.''57$ S, dan $119^{\circ}45'48.''91$ E.



Gambar 23. Sketsa Jalan Segmen 8

i. Segmen 9

Segmen 9 memiliki panjang 1,34 km. Bagian Selatan berbatasan Jalan Taman Gosyen Raya dan sebelah Utara berbatasan dengan PBA dekat Indomaret. Titik Lokasi perhitungan volume kendaraan pada segmen 9 dilakukan pada $5^{\circ}17'78.''64$ S, dan $119^{\circ}46'09.''25$ E.



Gambar 24. Sketsa Jalan Segmen 9

2.2 Waktu Penelitian

Traffic Counting dilakukan pada hari kerja (*Weekdays*) yaitu Rabu 31 Juli 2024. Hari kerja dipilih karena aktivitas kendaraan bermotor yang melintas lebih konsisten dan mencerminkan kondisi lalu lintas harian. Penelitian ini dilakukan dengan menghitung jumlah kendaraan yang melintas dari dua arah selama 2 jam dengan interval perhitungan setiap 15 menit secara bersamaan pada sembilan titik. Pengambilan data dibagi menjadi tiga interval waktu, yaitu pada jam-jam puncak : 07.00-09.00 (pagi), 11.00-13.00 (siang), dan 16.00-18.00 (sore). Penghitungan dilakukan pada kondisi yang tidak merubah jam normal yang dapat mempengaruhi volume kendaraan, seperti acara pernikahan, hujan, atau kejadian lainnya yang tidak biasa. Setelah dilakukan perhitungan jumlah kendaraan, selanjutnya akan pengumpulan data vegetasi di jalur hijau jalan yaitu pada tanggal 2- 4 Agustus 2024

2.3 Rencana Penelitian

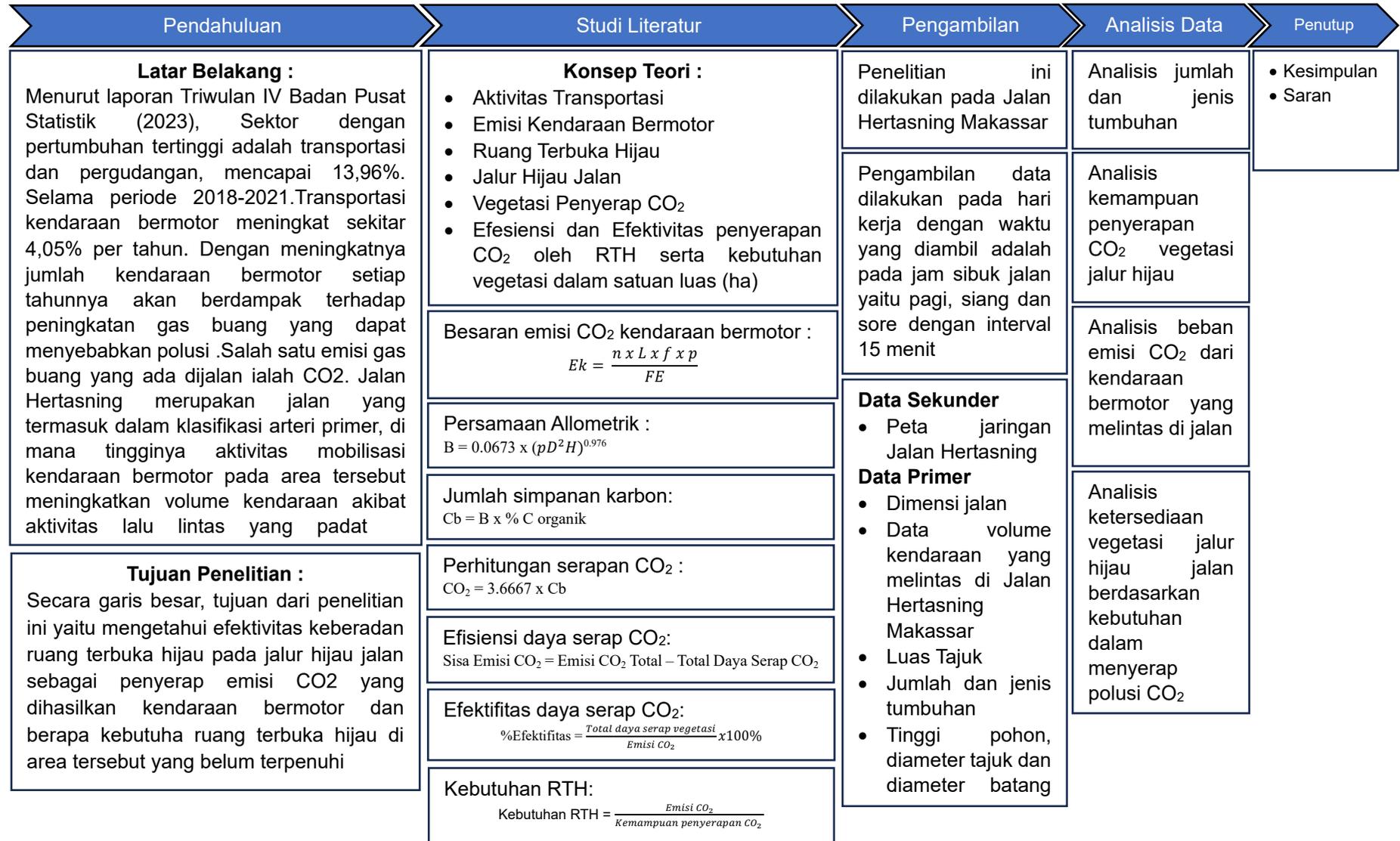
Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode kuantitatif yang bertujuan untuk menghitung emisi CO₂ yang dihasilkan oleh aktivitas kendaraan bermotor serta kemampuan vegetasi di jalur hijau dalam menyerap CO₂ tersebut. Fokus utama dari penelitian ini adalah untuk mengukur sejauh mana Ruang Terbuka Hijau di Jalan Hertasning Makassar berperan dalam mengurangi konsentrasi CO₂ yang dihasilkan dari lalu lintas kendaraan. Dari emisi CO₂ yang dihasilkan kemudian dihitung kemampuan vegetasi dalam menyerap emisi yang dihasilkan khususnya pada jalur hijau jalan.

Penelitian ini juga berfokus dalam menghitung volume kendaraan bermotor yang melewati jalan hertasning Makassar, sehingga nantinya dapat digunakan pada perhitungan emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Jalan Hertasning Makassar dipilih karena merupakan jalan yang menghubungkan beberapa kabupaten seperti kabupaten gowa, kabupaten takalar, dan juga kabupaten maros yang mengakibatkan aktivitas kendaraan di jalan ini lebih sibuk dari jalan biasanya. Sehingga perlu diketahui efektivitas ruang terbuka hijau khususnya jalur hijau di Jalan Hertasning Makassar dalam mereduksi emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor.

Berdasarkan penjelasan diatas maka diperlukan validasi untuk mendukung penelitian ini berupa studi literatur mengenai ruang terbuka hijau dalam menyerap emisi CO₂ dimana studi literatur ini berfungsi untuk menunjang jalannya penelitian sebagai dasar kuat dalam menentukan metode pengambilan data di lapangan. Sumber literatur yang digunakan yaitu bersumber dari jurnal penelitian, peraturan dan undang-undang, skripsi terdahulu, buku, dan tesis.

Setelah studi literatur dilakukan, selanjutnya dilakukan pengambilan data. Data yang dibutuhkan terbagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder. Data primer berupa pengukuran langsung di lapangan berupa perhitungan volume kendaraan, pengukuran dimensi jalan, menghitung jumlah dan jenis tumbuhan, pengukuran diameter pohon, dan luas tajuk untuk semak/ perdu. Sedangkan data sekunder yang dibutuhkan yaitu peta jaringan jalan hertasning makassar yang diperoleh dari aplikasi *google earth*, peraturan terakit, pedoman, dan aturan-aturan standar yang telah ditetapkan

Selanjutnya, data yang telah diperoleh dianalisis untuk mengetahui beban emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor, jenis tumbuhan, dan kemampuan tanaman di jalur hijau jalan dalam menyerap CO₂. Setelah data tersebut diperoleh, data ini akan dianalisis untuk menentukan seberapa efisien dan efektif jalur hijau di sebagai penyerapan emisi CO₂. Adapun untuk kerangka penelitian dapat dilihat pada **Gambar 25**.



Gambar 25. Kerangka Penelitian

2.4 Peralatan Yang digunakan

Agar dapat melakukan penelitian dibutuhkan alat dan bahan yang digunakan untuk mengambil, mengukur, dan mengolah data, dalam mendukung keberhasilan penelitian. Adapun alat dan bahan yang digunakan adalah sebagai berikut :
Formulir survei dan alat tulis, digunakan untuk mencatat hasil penelitian di lokasi penelitian

1. Aplikasi *Picture This*, digunakan untuk mengidentifikasi jenis tumbuhan
2. *Roll meter*, digunakan untuk mengukur dimensi jalan, diameter tajuk pohon, dan keliling batang pohon
3. Aplikasi *Traffic Counter*, digunakan untuk menghitung volume kendaraan
4. *Handphone*, digunakan untuk merekam aktivitas kendaraan di jalan
5. Aplikasi *Trees*, digunakan untuk mengukur tinggi
6. *Google Earth*, digunakan untuk mendapatkan gambar lokasi penelitian
7. *Stpwatch*, digunakan untuk penunjuk durasi pengukuran
8. *Windy app*, digunakan untuk mengukur arah dan kecepatan angin
9. *Arcgis Map*, digunakan untuk membuat peta pola arah angin



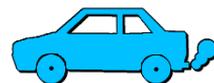
1



2



3



4



5



6



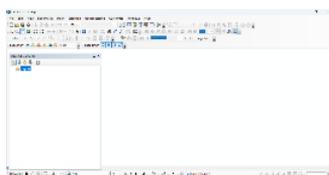
7



8



9



10

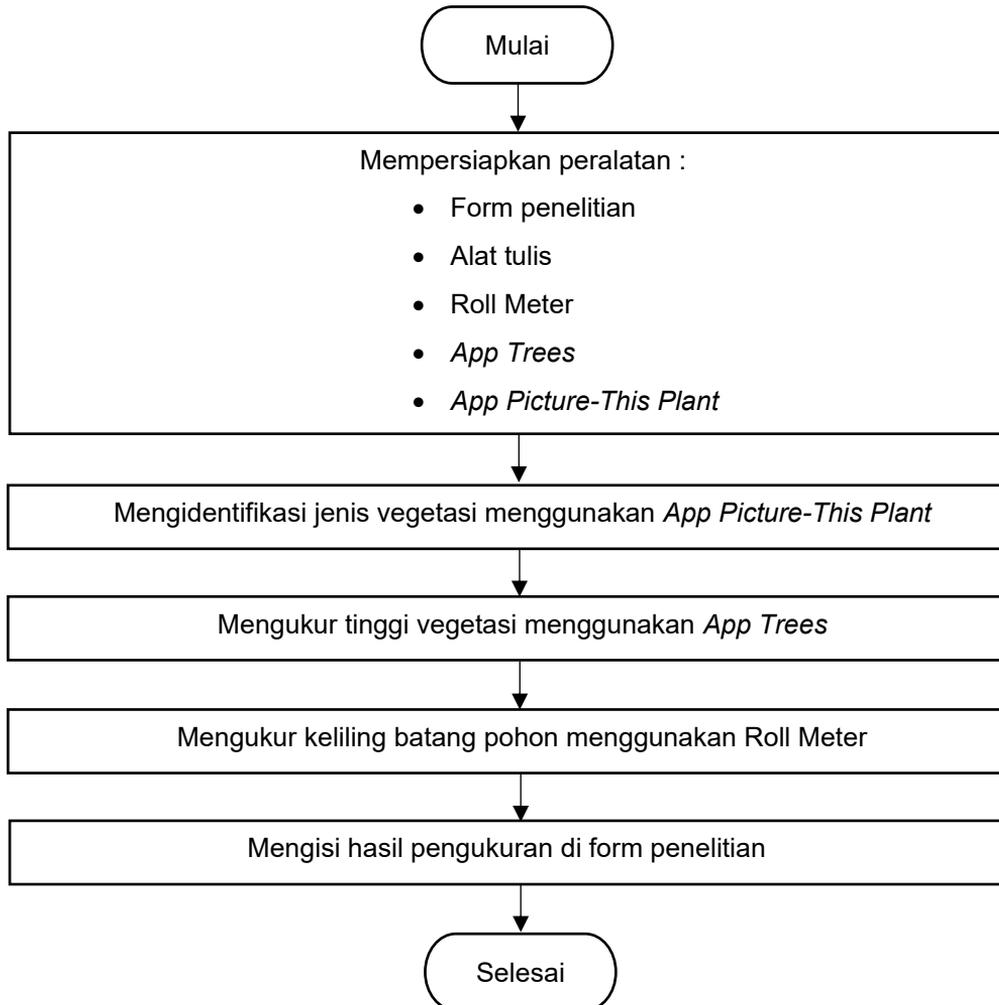
2.5 Teknik Pengambilan Data

Pengumpulan data dimulai dengan membagi menjadi dua yaitu data primer dan data sekunder adapun teknik pengambilan data sebagai berikut.

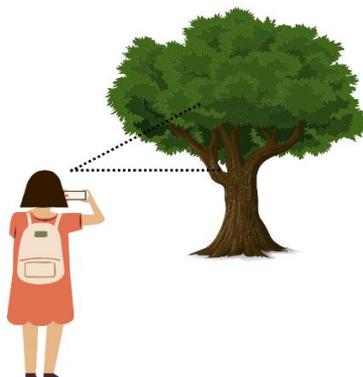
2.5.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dan diambil secara langsung pada lokasi penelitian. Data primer dalam penelitian ini meliputi data volume kendaraan yang diperoleh dari perhitungan volume kendaraan yang melintas pada jam puncak tiap 15 menit dengan interval waktu 07.00-08.00 WITA, 12.00-13.00 WITA, dan 17.00-18.00 WITA. Data vegetasi terbagi menjadi dua metode yaitu metode biomassa dan metode luas tajuk yang meliputi jumlah jenis pohon, data ukuran berupa diameter kanopi, tinggi kanopi, dan diameter batang pohon untuk mengetahui kemampuan pohon dalam menyerap emisi CO₂. Berikut bagan alir proses pengambilan data.

Metode Pengambilan Data Daya Serap Vegetasi dengan Metode Biomaassa. Penghitungan jumlah dan jenis pohon dilakukan dengan metode langsung di lapangan. Untuk identifikasi setiap vegetasi didapatkan dengan cara memotret tumbuhan menggunakan aplikasi *Picture This-Plant Identifier* yang secara otomatis nama tumbuhan akan muncul sehingga pencatatan jenis pohon dimasukkan ke dalam formulir yang telah dibuat. Metode biomassa dilakukan dengan sampling tanpa pemanenan (*non-destructive sampling*) dimana dilakukan pengukuran tinggi dan diameter pohon. Pengukuran tinggi pohon menggunakan aplikasi *Trees*. Untuk mendapatkan diameter pohon, dilakukan dengan mengukur keliling batang seluruh pohon menggunakan roll meter dengan menggunakan prinsip *diameter at breast* (DBH) atau disebut diameter setinggi dada kemudian dibagi dengan nilai π (3,14). Ketentuan diameter setinggi dada (DBH) terhadap berbagai kondisi pohon mengacu pada SNI 7724: 2011 tentang Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon. Sistem satuan ukuran metrik untuk Indonesia umumnya menggunakan ukuran tinggi 130 cm dari permukaan tanah. Diagram alir pengambilan data daya serap emisi CO₂ dengan metode biomassa dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 26. Diagram Alir Pengambilan Data Daya Serap Emisi CO₂ dengan Metode Biomassa



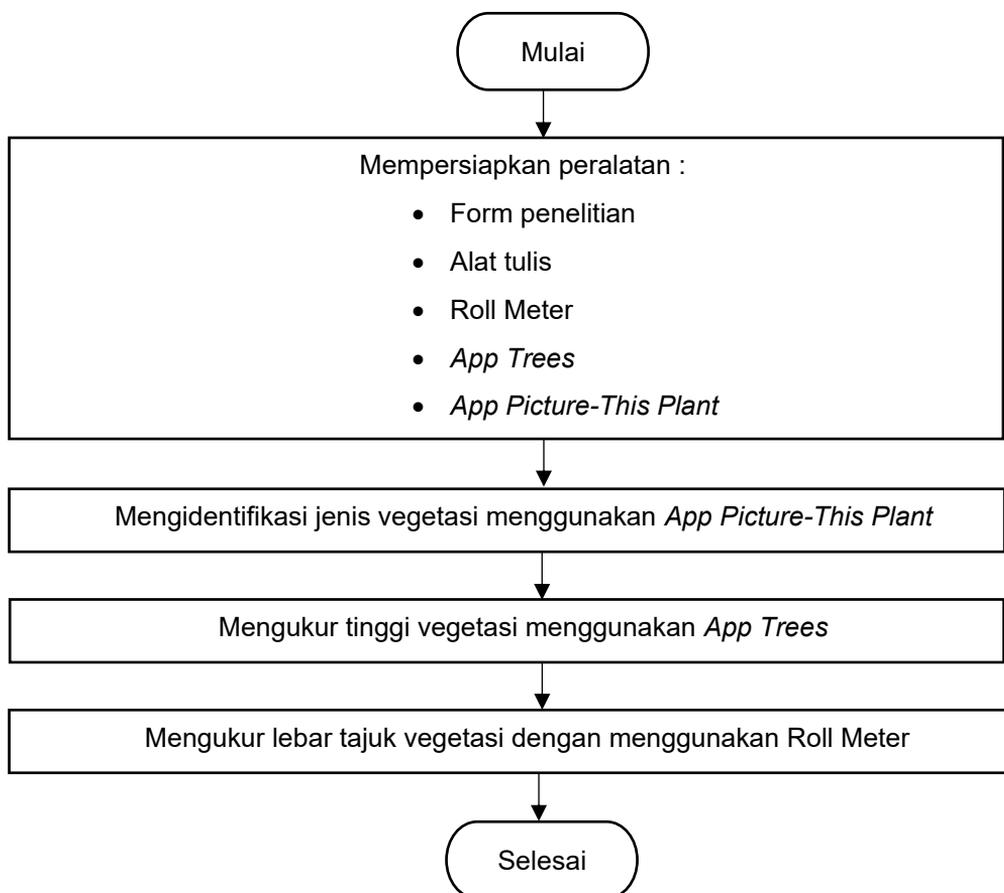
Gambar 27. Ilustrasi Identifikasi Jenis dan Tinggi Pohon

<p>(E)</p> <p>Pohon cabang: Jika 1,3 m tepat berada pada awal percabangan, DBH diukur dibawah cabang yang masih normal</p>	<p>(F)</p> <p>Pohon cabang: Jika 1,3 m berada di atas cabang, DBH diukur di kedua cabang dan dianggap 2 batang</p>	<p>(A)</p> <p>Pohon normal: DBH diukur 1,3 m dari permukaan tanah</p>	<p>(B)</p> <p>Pohon miring: DBH diukur 1,3 m dari permukaan tanah terdekat, atau searah kemiringan pohon</p>
<p>(G)</p> <p>Pohon berakar penunjang : DBH diukur 1,3 m dari batas akar penunjang</p>	<p>(H)</p> <p>Pohon berbanir : DBH diukur 20 cm dari atas banir</p>	<p>(C)</p> <p>Pohon normal pada tanah miring: DBH diukur 1,3 m dari permukaan tanah tertinggi</p>	<p>(D)</p> <p>Pohon cacat: Jika 1,3 m tepat berada pada batang cacat (gembung), DBH diukur pada batas bagian yang mulai normal, di atas atau bawah tergantung yang terdekat</p>

Gambar 28. Ketentuan Diameter Setinggi Dada (DBH) terhadap Berbagai Kondisi Pohon SNI 7724: 2011 tentang Pengukuran dan Perhitungan Cadangan Karbon

Metode Pengambilan Data Daya Serap Vegetasi dengan Metode Luas Tajuk.

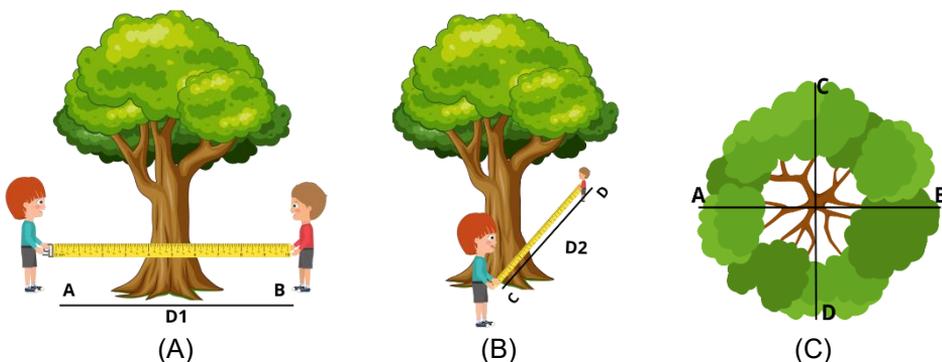
Penghitungan jumlah dan jenis pohon dilakukan dengan metode langsung di lapangan. Untuk jenis tumbuhan pada jalur hijau didapatkan dengan cara memotret tumbuhan menggunakan aplikasi *Picture-This-Plant Identifier* dan secara otomatis nama tumbuhan akan muncul sehingga pencatatan jenis pohon dimasukkan ke dalam formulir yang telah dibuat. Selanjutnya dilakukan pengukuran tinggi pohon menggunakan aplikasi *Trees*. Untuk menentukan luas tutupan tajuk pohon, dilakukan pengukuran langsung di lapangan pada beberapa vegetasi, dengan setiap pohon diukur diameter panjang sumbu tajuknya dalam dua arah yang berlawanan. Luas penutupan tajuk dihitung dengan asumsi bahwa bentuknya adalah lingkaran. Data yang diperlukan meliputi tinggi pohon, diameter pohon dan tajuk, persentase kerapatan tajuk tumbuhan yang dinilai secara visual dengan kisaran 50%-100%, serta jumlah dan jenis tumbuhan di jalur hijau Jalan Hertasning Makassar. Diagram alir pengambilan data daya serap emisi CO₂ dengan metode luas tajuk dapat dilihat sebagai berikut.



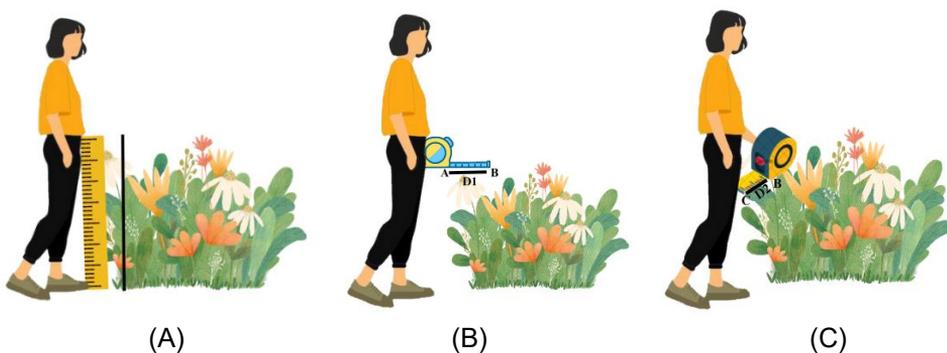


Gambar 29. Diagram Alir Pengambilan Data Daya Serap Emisi CO₂ dengan Metode Luas Tajuk

Gambar 30. Ilustrasi Tata Cara Pengambilan Jenis Vegetasi



Gambar 31. (A) Ilustrasi Pengambilan Diameter Pohon d1 (B) Ilustrasi Pengambilan Diameter Pohon d2 (C) Ilustrasi Pengambilan Tampak Atas



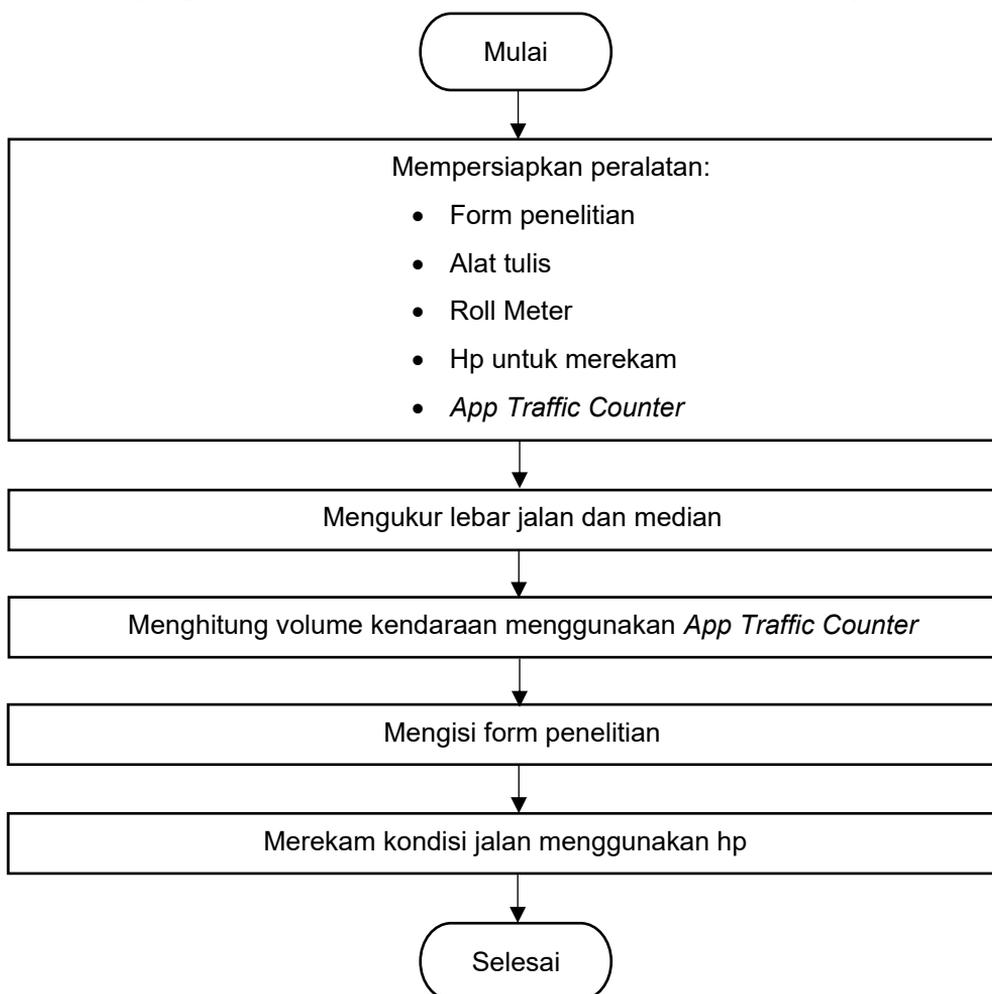
Gambar 32. (A) Pengukuran Tinggi Semak/Perdu (B) Pengukuran d1 Semak/Perdu (C) Pengukuran d2 Semak/Perdu

Metode Pengambilan Data Volume Kendaraan. Pengambilan data volume kendaraan menggunakan metode *traffic counting* dan digunakan aplikasi *Traffic Counter*. *Counting* adalah pengukuran jumlah kendaraan pada setiap ruas jalan. Data volume kendaraan diambil selama 1 hari pada hari kerja yang terbagi dalam 3 interval waktu yaitu pagi, siang, dan sore dengan pencatatan dilakukan secara terpisah untuk masing-masing arah arus lalu lintas jam puncak pada pukul 07.00-08.00 (pagi), 12.00-13.00 (siang), dan 17.00-18.00 (sore) dengan durasi per 15 menit. Untuk *traffic counting* merujuk pada Deputi Bidang Pengendalian Pencemaran Lingkungan Kementerian Lingkungan Hidup Tahun 2012 tentang Petunjuk Teknis Dekonsentrasi Pengendalian Pencemaran Udara Sumber Bergerak dan untuk jenis kendaraan merujuk pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No. 12 Tahun 2010 tentang Jenis Kendaraan di Indonesia. Selain dari menghitung volume kendaraan diukur pula lebar, tinggi dari median jalan pada Jalan Tun Abdul Razak. Untuk jenis kendaraan dapat dilihat sebagai berikut.

1. Sepeda motor
Yang termasuk jenis kendaraan ini adalah kendaraan roda dua.
2. Sedan
Yang termasuk jenis kendaraan ini adalah kendaraan penumpang pribadi, kendaraan umum, termasuk juga mobil kijang.
3. Angkot
Jenis kendaraan ini didefinisikan sebagai kendaraan yang mempunyai kapasitas tempat duduk tidak lebih dari 8 yang dioperasikan untuk transportasi umum pada suatu trayek tetap. Perlu diperhatikan bahwa beberapa jenis kendaraan ini mempunyai plat nomor hitam dan digunakan untuk transportasi penumpang umum. Adapun yang termasuk ke dalam jenis kendaraan ini adalah „Hi-Ace“, „Combi“, „Oplet“, „Daihatsu“, „Suzuki“, „Kijang“ (jenis mikrolet), „PickUp“ dengan tempat duduk di belakang untuk transportasi penumpang dan juga bemo. Metromini dan Kopaja berukuran bis tidak termasuk ke dalam jenis ini.
4. Taksi
Yang termasuk jenis kendaraan ini adalah kendaraan penumpang umum.
5. Jeep
Yang termasuk jenis kendaraan ini adalah kendaraan pribadi untuk karakteristik jalan yang terjal.
6. Bus besar
Bis ukuran standar/menengah yang mempunyai tempat duduk 9-20 penumpang dan juga yang lebih dari 20 penumpang seperti: bis kota, bis antar kota, bis antar provinsi, bis limousine bandar udara, Metromini, dan Kopaja jenis bis.
7. Bus sedang
Yang termasuk kendaraan ini adalah bis ukuran standar/ menengah yang mempunyai tempat duduk 9-20 penumpang yang dioperasikan pada trayek tetap.

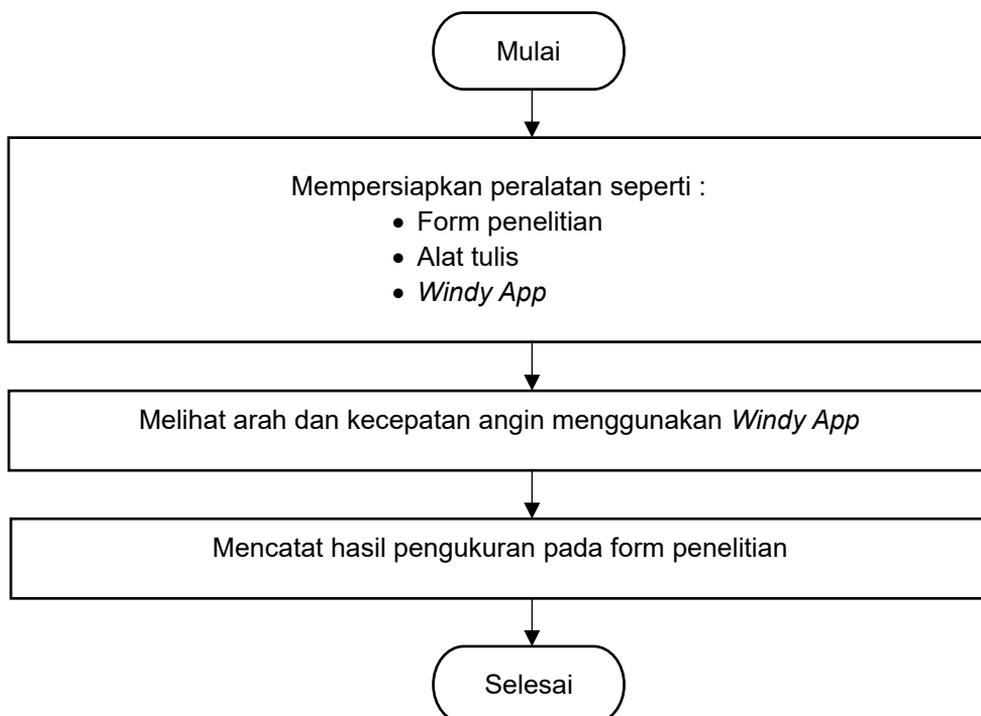
8. Bus kecil
Yang termasuk kendaraan ini adalah van.
9. Truk kecil
Yang termasuk jenis kendaraan ini adalah truk kecil dengan kapasitas muat tidak lebih dari 2,5 ton yang digunakan untuk transportasi barang.
10. Truk sedang
Yang termasuk kendaraan jenis ini adalah truk yang mempunyai 2 As dengan total 4 roda.
11. Truk besar
Yang termasuk kendaraan jenis ini adalah truk yang mempunyai 3 As dengan total 6 roda.

Adapun diagram alir pengambilan data volume kendaraan untuk mengetahui emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 33. Diagram Alir Pengambilan Data Volume Kendaraan

Metode Pengambilan Data Arah dan Kecepatan Angin. Pengambilan data arah dan kecepatan angin bertujuan untuk mengetahui pola arah angin sehingga pola tersebut dijadikan acuan untuk melihat efektifitas dari vegetasi yang berada sepanjang segmen tersebut. Pengambilan data dilakukan setiap 3 menit yang dilakukan selama 21 kali agar mendapatkan arah angin dominan di tiap interval waktu pada segmen jalan. Adapun untuk bagan alir metode pengambilan data arah dan kecepatan angin dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 34. Diagram Alir Pengambilan Data Arah Angin dan Kecepatan Angin

2.5.2 Data Sekunder

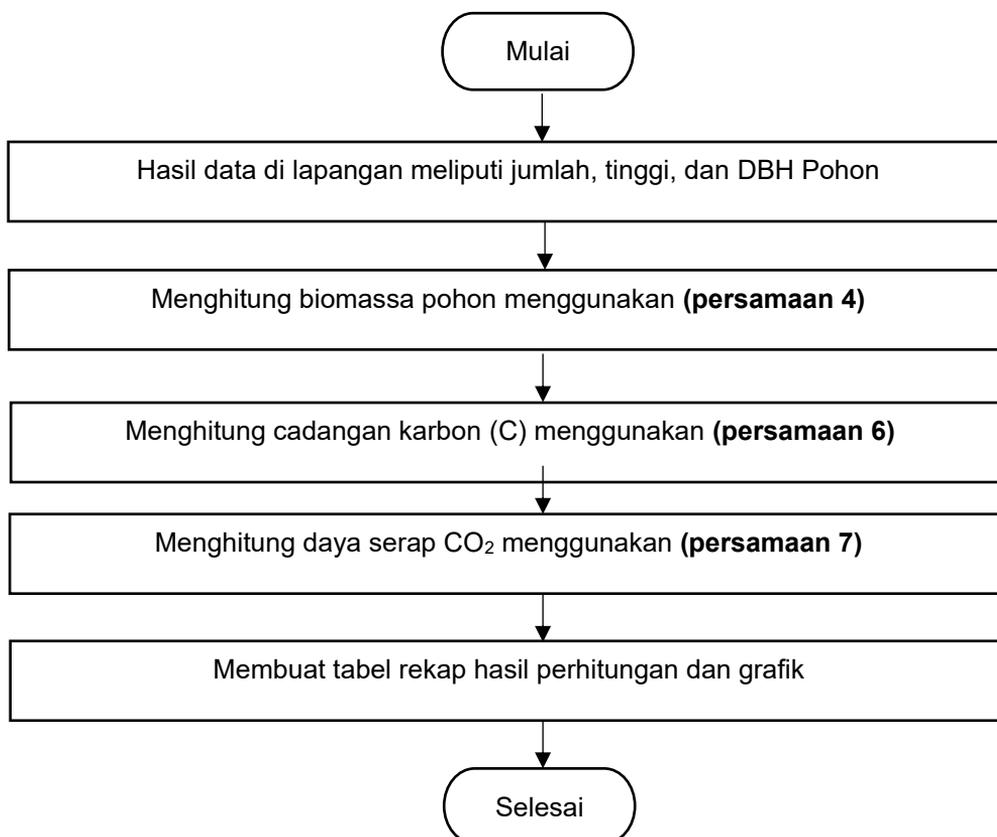
Data sekunder yang diperoleh berupa peta jaringan jalan yang diperoleh dari *Google Earth* dan data-data pendukung yang didapatkan dari peraturan dan perundang-undangan Republik Indonesia, jurnal penelitian, artikel ilmiah, skripsi, dan buku.

2.6 Teknik Analisis Data

Setelah data sekunder dan primer didapatkan, maka selanjutnya data tersebut dianalisis. Analisis data bertujuan untuk mengetahui besaran penyerapan emisi CO₂ vegetasi yang ada di jalur hijau jalan terhadap besaran emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor yang melintas pada jalan Hertasing Makassar. Pembagian analisis data ini dibagi menjadi :

2.6.1 Analisis Daya Serap CO₂ oleh Vegetasi dengan Metode Biomassa

Pada perhitungan daya serap CO₂ ini digunakan persamaan allometrik dari Chave et al. (2014) untuk mengekstrapolasi biomassa yaitu **Persamaan 4** dimana membutuhkan data seperti diameter batang pohon, berat jenis pohon, dan tinggi pohon. Selanjutnya menghitung simpanan karbon dengan **Persamaan 6** lalu dilakukan perhitungan serapan CO₂ menggunakan **Persamaan 7**. Adapun tahap perhitungan daya serap CO₂ oleh vegetasi yang dapat dilihat sebagai berikut.



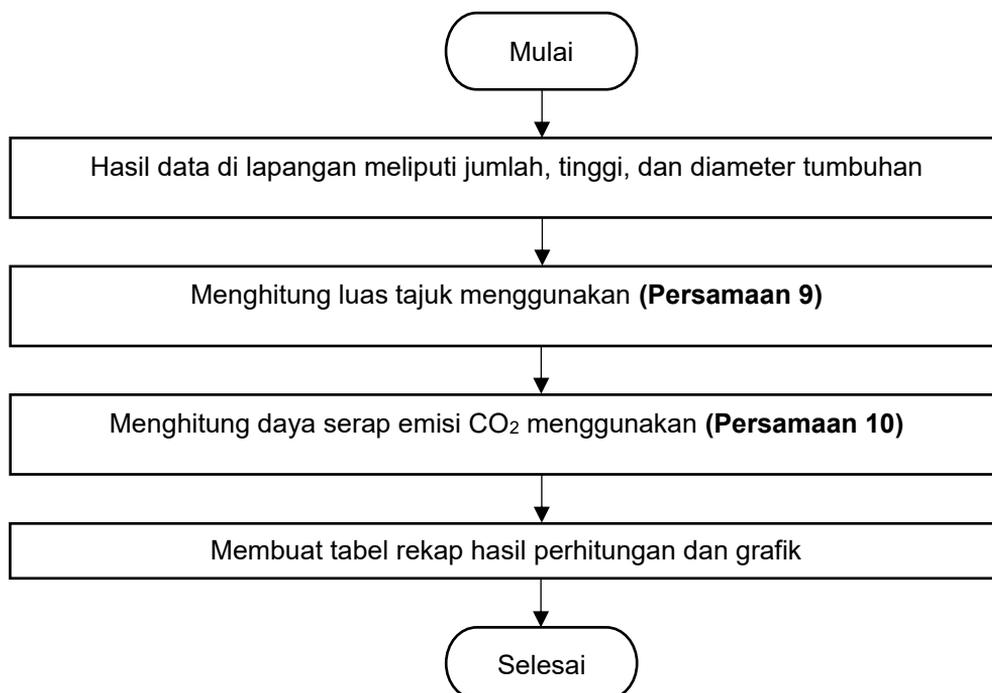
Gambar 35. Diagram Alir Prosedur Perhitungan Analisis Daya Serap CO₂ oleh Vegetasi dengan Metode Biomassa

Adapun uraian tahapan perhitungan berdasarkan gambar diatas dapat dilihat sebagai berikut :

1. Data hasil perhitungan jumlah, jenis, dan DBH pohon yang didapatkan di lapangan
2. Menghitung biomassa pohon menggunakan **Persamaan** dimana menggunakan persamaan allometrik
3. Menghitung cadangan karbon (C) dengan menggunakan **Persamaan 6** Dengan Nilai untuk presentase kandungan karbon(C%) diambil 0,47 sesuai dengan standar (SNI -7724:2011)
4. Menghitung daya serap CO₂ menggunakan **Persamaan 7** dimana mengalikan cadangan karbon dengan nilai dari perbandingan massa molekul relatif CO₂ (44) dan massa atom relatif C (12)
5. Membuat tabel rekapitulasi hasil pehitungan dan grafik agar daya serap tertinggi dapat diketahui dan akan dimasukkan pada analisis perhitungan selanjutnya

2.6.2 Analisis Daya Serap CO₂ oleh Vegetasi dengan Metode Luas Tajuk

Untuk perhitungan luas tajuk pohon dan semak, dilakukan dengan cara dikalikannya luas tajuk dalam satuan hektar dan berdasarkan tipe penutupannya dengan **Persamaan 9**. Ada beberapa hal yang perlu diperhatikan pada metode ini yaitu seperti tinggi pohon, kerapatan tajuk pohon, dan diameter kanopi dari tiap vegetasi. Adapun tahap perhitungan analisis daya serap CO₂ dengan metode luas tajuk yang dapat dilihat sebagai berikut



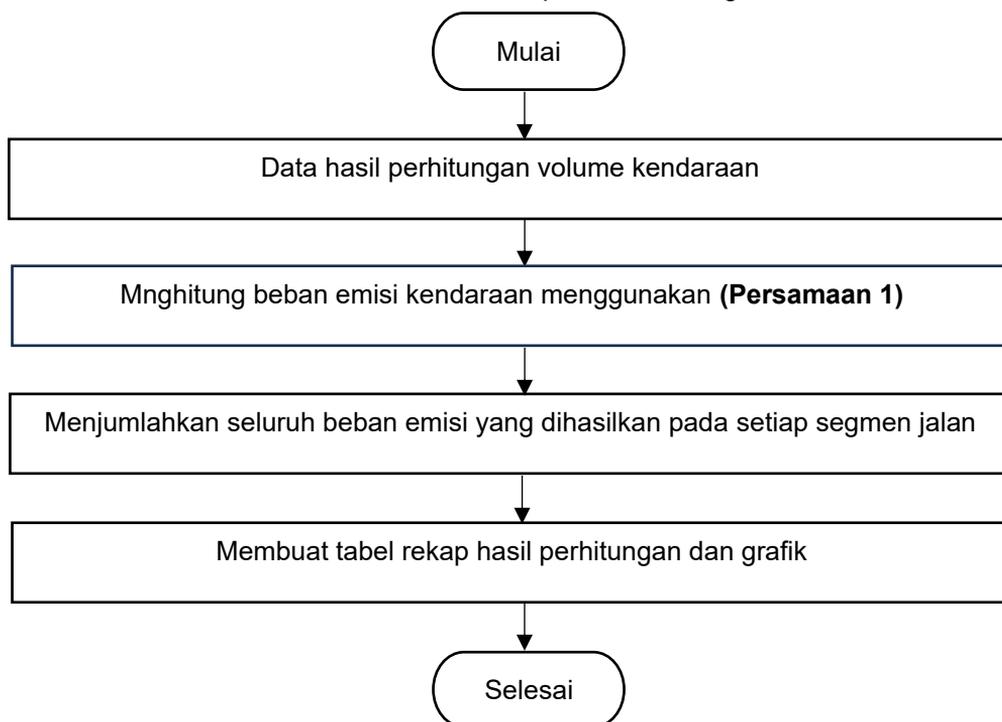
Gambar 36. Diagram Alir Prosedur Perhitungan Analisis Daya Serap CO₂ dengan Metode Luas Tajuk

Adapun uraian tahapan perhitungan berdasarkan gambar diatas ialah sebagai berikut:

1. Data hasil perhitungan jumlah dan diameter pohon yang didapatkan di lapangan
2. Menghitung daya serap tumbuhan dengan metode per luas tajuk menggunakan **Persamaan 9** dimana menggunakan perhitungan luas lingkaran dan dikalikan dengan persen kerapatan tiap satuan tumbuhan
3. Menjumlahkan daya serap yang telah dihasilkan dengan menggunakan **Persamaan 10**
4. Membuat tabel rekapitulasi hasil perhitungan dan grafik agar daya serap tertinggi dapat diketahui dan akan dimasukkan pada analisis perhitungan selanjutnya.

2.6.3 Analisis Beban Emisi Kendaraan Bermotor

Data yang diperoleh dari *Traffic counting* akan digunakan untuk mengetahui beban emisi CO₂ yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Sesuai dengan **Persamaan 1** Dimana untuk mengetahui beban emisi CO₂ dibutuhkan faktor emisi. Faktor emisi diperoleh dari Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010. Dimana faktor emisi pada tiap kendaraan dan jenis bahan bakar berbeda sehingga emisi yang dihasilkan akan berbeda pula. Adapun tahapan perhitungan analisis beban emisi kendaraan bermotor dapat dilihat sebagai berikut.



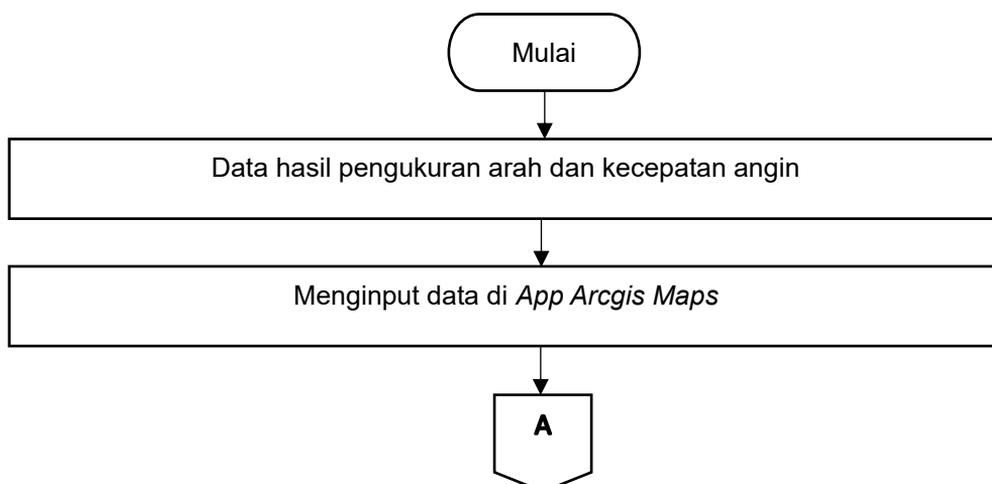
Gambar 37. Diagram Alir Prosedur Perhitungan Analisis Beban Emisi

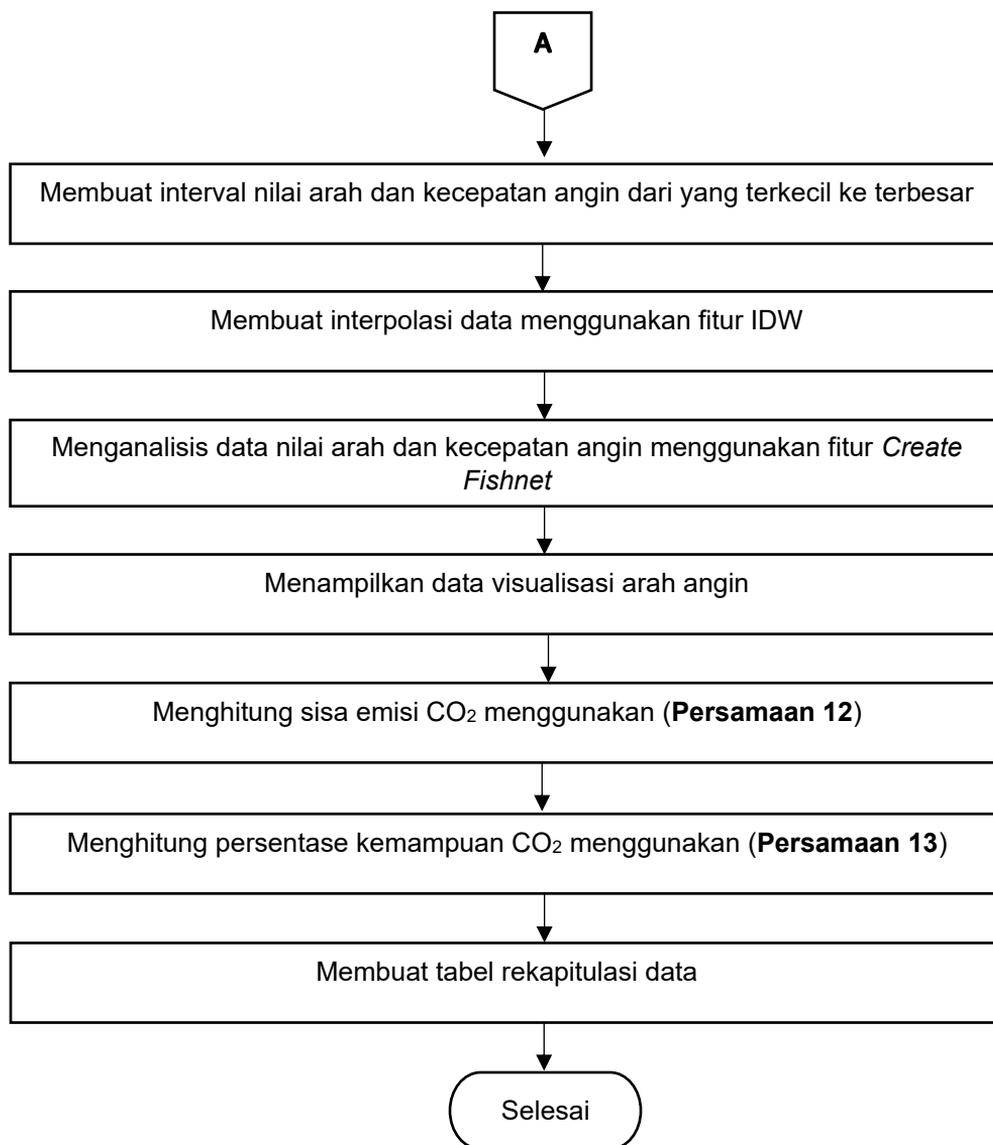
Adapun uraian tahapan perhitungan berdasarkan gambar diatas ialah sebagai berikut :

1. Data hasil perhitungan volume kendaraan sesuai jenis kendaraan yang didapatkan dari perhitungan langsung di lapangan
2. Menghitung beban emisi pada setiap segmen jalan dengan menggunakan **Persamaan 1** yaitu mengalikan jumlah kendaraan bermotor, ekonomi bahan bakar, faktor emisi, berat jenis bahan bakar, dan Panjang jalan tiap segmen. Sehingga didapatkan hasil beban emisi pada setiap segmen dengan satuan kg/jam
3. Menjumlahkan seluruh beban emisi yang dihasilkan pada setiap segmen jalan untuk mengetahui total emisi yang dihasilkan pada setiap interval di segmen jalan
4. Membuat tabel rekapitulasi hasil perhitungan dan grafik agar beban emisi tertinggi dapat diketahui dan akan dimasukkan pada analisis perhitungan selanjutnya

2.6.4 Analisis Ketersediaan Vegetasi Jalur Hijau

Analisis ketersediaan vegetasi pada jalur hijau dapat dilihat dengan membandingkan antara analisis kapasitas kemampuan CO₂ jalur hijau tanpa pengaruh dispersi gas emisi CO₂ dan analisis kapasitas kemampuan CO₂ jalur hijau dengan pengaruh dispersi gas emisi CO₂. Analisis kapasitas kemampuan CO₂ oleh vegetasi tanpa memperhitungkan dispersi gas emisi CO₂ dilakukan dengan menghitung nilai persentase kemampuan CO₂ jalur hijau menggunakan **Persamaan 12** pada semua segmen jalan dan untuk perhitungan persentase kemampuan CO₂ dapat menggunakan **Persamaan 13**. Sedangkan dengan menggunakan pengaruh dispersi gas CO₂ maka arah dan kecepatan angin mempengaruhi perhitungan sisa emisi dan persentase kemampuan CO₂ yang ada pada setiap segmen Hertasing Makassar. Dimana perhitungan kemampuan vegetasi terhadap emisi gas CO₂ tergantung dari arah mata angin pada saat penelitian. Adapun tahapan perhitungan analisis ketersediaan jalur hijau dapat dilihat sebagai berikut.





Gambar 38. Diagram Alir Prosedur Perhitungan Analisis Ketersediaan Jalur Hijau

Adapun uraian tahapan perhitungan berdasarkan gambar diatas ialah sebagai berikut :

1. Data hasil perhitungan daya serap menggunakan metode luas tajuk dan penyimpanan CO₂ menggunakan metode biomassa
2. Data hasil perhitungan beban emisi oleh kendaraan bermotor
3. Menghitung sisa emisi CO₂ yang telah diserap oleh tumbuhan pada setiap segmen jalan menggunakan **Persamaan 12** dimana mengurangi total emisi yang dihasilkan dengan total kemampuan CO₂ oleh vegetasi yang dihasilkan

4. Menghitung persentase persentase kemampuan CO₂ menggunakan **Persamaan 13**
5. Membuat tabel hasil perhitungan