

Pemodelan Sistem Parkir Ramah Lingkungan (*Green Parking*) Berkelanjutan Terhadap Pengendalian Emisi Karbon Monoksida (CO) (Studi Kasus: Kampus Universitas Gorontalo)

Firmansyah Wahabis
Universitas Bina Taruna Gorontalo
firmansyahwahab@gmail.com

ABSTRAK

Peningkatan aktivitas kendaraan bermotor di lingkungan kampus berkontribusi terhadap meningkatnya kepadatan parkir dan pencemaran udara, khususnya emisi karbon monoksida (CO). Area parkir yang tidak dikelola secara optimal dapat memperpanjang waktu pencarian parkir, meningkatkan pergerakan kendaraan, serta menurunkan kualitas lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan sistem parkir ramah lingkungan (*green parking*) berkelanjutan sebagai upaya pengendalian emisi karbon monoksida (CO) di Kampus Universitas Gorontalo. Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif dengan studi kasus, melalui pengumpulan data primer berupa survei tingkat okupansi parkir dan pengukuran konsentrasi CO berdasarkan waktu pengukuran (pagi, siang, dan sore hari). Data dianalisis secara deskriptif dan komparatif untuk melihat hubungan antara kepadatan parkir dan konsentrasi emisi CO. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat okupansi parkir pada jam sibuk relatif tinggi, terutama pada sepeda motor dan mobil, yang berimplikasi pada meningkatnya konsentrasi CO di area parkir. Konsentrasi CO tertinggi teridentifikasi pada waktu sore hari seiring meningkatnya aktivitas kendaraan keluar kampus. Pemodelan sistem *green parking* yang menekankan pada efisiensi tata letak parkir, pengaturan sirkulasi kendaraan, dan penambahan ruang terbuka hijau berpotensi menurunkan emisi CO serta meningkatkan kualitas lingkungan kampus. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan sistem parkir ramah lingkungan berkelanjutan dapat menjadi solusi strategis dalam pengendalian emisi karbon monoksida dan mendukung konsep kampus berkelanjutan di lingkungan Universitas Gorontalo.

Kata kunci: **Green Parking, Okupansi Parkir, Emisi Karbon Monoksida, Lingkungan Kampus**

ABSTRACT

The increase in motorized vehicle activities on university campuses contributes to higher parking density and air pollution, particularly carbon monoxide (CO) emissions. Poorly managed parking areas can extend vehicle searching time, intensify traffic movement, and reduce environmental quality. This study aims to model a sustainable green parking system as an effort to control carbon monoxide (CO) emissions at the Universitas Gorontalo campus. The research employed a quantitative approach with a case study design, collecting primary data through parking occupancy surveys and CO

concentration measurements at different times of the day (morning, midday, and afternoon). The data were analyzed using descriptive and comparative methods to examine the relationship between parking density and CO emission levels. The results indicate that parking occupancy during peak hours is relatively high, particularly for motorcycles and cars, which significantly contributes to increased CO concentrations in parking areas. The highest CO concentration was observed in the afternoon, coinciding with intensified vehicle exit activities from the campus. The proposed green parking system model, emphasizing efficient parking layout, improved vehicle circulation management, and the integration of green open spaces, shows potential in reducing CO emissions and enhancing campus environmental quality. This study concludes that the implementation of a sustainable green parking system can serve as an effective strategic solution for controlling carbon monoxide emissions and supporting the development of a sustainable campus environment in the Gorontalo University.

Keywords: *Green Parking, Parking Occupancy, Carbon Monoxide Emissions, Campus Environment*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan transportasi bermotor merupakan konsekuensi dari meningkatnya aktivitas sosial, ekonomi, dan pendidikan, khususnya di kawasan perkotaan dan institusi pendidikan tinggi. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor ini secara langsung berdampak pada meningkatnya emisi gas buang, salah satunya adalah karbon monoksida (CO) yang dihasilkan dari proses pembakaran tidak sempurna bahan bakar fosil (Kumar et al., 2021). Gas CO merupakan polutan udara berbahaya karena dapat mengurangi kemampuan darah dalam mengikat oksigen dan berdampak buruk terhadap kesehatan manusia, terutama pada konsentrasi tinggi dan paparan jangka panjang (World Health Organization [WHO], 2021).

Kawasan kampus merupakan salah satu pusat aktivitas dengan mobilitas kendaraan yang relatif tinggi, baik kendaraan pribadi mahasiswa, dosen, maupun tenaga kependidikan. Sistem parkir yang tidak terkelola secara optimal dapat meningkatkan waktu pencarian parkir (*cruising for parking*), memperpanjang durasi mesin kendaraan dalam kondisi menyala, serta meningkatkan kepadatan lalu lintas internal kampus, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO (Shoup, 2018). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa hingga 30% lalu lintas di kawasan tertentu dapat berasal dari kendaraan yang mencari ruang parkir, sehingga sistem parkir memiliki peran strategis dalam pengendalian pencemaran udara (Marsden et al., 2020).

Selain berdampak pada kualitas udara, area parkir konvensional juga sering kali mengurangi proporsi ruang terbuka hijau yang berfungsi sebagai penyerap polutan dan pengendali iklim mikro. Padahal, keberadaan vegetasi

terbukti efektif dalam menurunkan konsentrasi polutan udara, termasuk CO, melalui proses penyerapan dan deposisi partikel (Nowak et al., 2018). Oleh karena itu, pengelolaan parkir tidak lagi dapat dipandang semata-mata sebagai penyediaan ruang bagi kendaraan, melainkan harus diintegrasikan dengan prinsip keberlanjutan lingkungan.

Dalam konteks tersebut, konsep Sistem Parkir Ramah Lingkungan (*Green Parking*) berkembang sebagai bagian dari pendekatan transportasi berkelanjutan. *Green parking* menekankan pada efisiensi tata ruang, pengurangan emisi kendaraan, pemanfaatan material ramah lingkungan, integrasi ruang hijau, serta kebijakan yang mendorong penggunaan moda transportasi rendah emisi (Litman, 2021). Implementasi green parking juga sering dikaitkan dengan konsep green campus, yaitu upaya institusi pendidikan dalam mengurangi jejak karbon dan meningkatkan kualitas lingkungan kampus secara menyeluruh (Lozano et al., 2017).

Universitas Gorontalo sebagai institusi pendidikan tinggi memiliki potensi untuk menerapkan sistem parkir berkelanjutan seiring dengan meningkatnya jumlah pengguna kendaraan bermotor di lingkungan kampus. Hingga saat ini, kajian empiris mengenai hubungan antara sistem parkir dan pengendalian emisi CO di lingkungan kampus, khususnya di wilayah Gorontalo, masih relatif terbatas. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan pemodelan sistem parkir ramah lingkungan yang dapat menggambarkan hubungan antara karakteristik parkir dan tingkat emisi CO sebagai dasar pengambilan kebijakan berbasis data.

TINJAUAN PUSTAKA

Transportasi Perkotaan dan Dampak Lingkungan

Transportasi merupakan sektor strategis yang berperan penting dalam mendukung aktivitas ekonomi, pendidikan, dan sosial masyarakat. Namun demikian, sektor transportasi juga menjadi salah satu penyumbang utama pencemaran udara di kawasan perkotaan. Kendaraan bermotor dengan mesin pembakaran internal menghasilkan berbagai polutan udara, seperti karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidrokarbon (HC), dan partikulat (PM), yang berdampak negatif terhadap kualitas udara dan kesehatan manusia (Kumar et al., 2021).

Karbon monoksida (CO) merupakan polutan udara yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil yang tidak sempurna. Gas ini bersifat tidak berwarna dan tidak berbau, tetapi sangat berbahaya karena dapat mengikat hemoglobin dalam darah lebih kuat dibandingkan oksigen, sehingga menghambat distribusi oksigen ke jaringan tubuh (World Health Organization [WHO], 2021).

Paparan CO dalam konsentrasi tinggi maupun jangka panjang dapat menyebabkan gangguan pernapasan, penurunan fungsi kognitif, hingga risiko kematian.

Lingkungan kampus sebagai bagian dari kawasan perkotaan tidak terlepas dari permasalahan transportasi dan pencemaran udara. Tingginya mobilitas mahasiswa, dosen, dan tenaga kependidikan yang didominasi oleh kendaraan pribadi menyebabkan meningkatnya intensitas lalu lintas internal kampus serta kebutuhan akan lahan parkir yang luas. Kondisi ini berpotensi meningkatkan emisi gas buang, khususnya CO, apabila tidak dikelola secara berkelanjutan (Marsden et al., 2020).

Sistem Parkir dan Karakteristiknya

Sistem parkir merupakan bagian integral dari sistem transportasi yang berfungsi sebagai tempat berhenti sementara kendaraan dalam kurun waktu tertentu. Karakteristik sistem parkir meliputi kapasitas parkir, tingkat okupansi, durasi parkir, jenis kendaraan, pola sirkulasi, serta tata letak lahan parkir (Shoup, 2018). Sistem parkir yang tidak dirancang dengan baik dapat menyebabkan berbagai permasalahan, seperti kemacetan internal, meningkatnya waktu pencarian parkir, serta peningkatan emisi kendaraan akibat kendaraan yang berputar-putar mencari ruang parkir.

Penelitian Shoup (2018) menyebutkan bahwa fenomena *cruising for parking* dapat menyumbang proporsi signifikan terhadap lalu lintas kendaraan di suatu kawasan. Kendaraan yang mencari parkir cenderung beroperasi pada kecepatan rendah dengan kondisi mesin menyala, sehingga menghasilkan emisi CO yang relatif lebih tinggi dibandingkan kendaraan yang bergerak lancar. Oleh karena itu, pengelolaan parkir yang efisien memiliki peran penting dalam pengendalian emisi kendaraan bermotor.

Di kawasan kampus, sistem parkir umumnya bersifat terbuka dan tersebar di beberapa titik. Tanpa perencanaan yang matang, kondisi ini dapat memperbesar jarak tempuh internal kendaraan, memperpanjang waktu perjalanan, dan meningkatkan konsumsi bahan bakar serta emisi gas buang (Litman, 2021).

Konsep Sistem Parkir Ramah Lingkungan (*Green Parking*)

Konsep Sistem Parkir Ramah Lingkungan (*Green Parking*) merupakan bagian dari pendekatan transportasi berkelanjutan yang bertujuan meminimalkan dampak negatif fasilitas parkir terhadap lingkungan. Green parking tidak hanya berfokus pada penyediaan ruang parkir, tetapi juga mengintegrasikan aspek lingkungan, sosial, dan ekonomi secara seimbang (Litman, 2021).

Beberapa prinsip utama dalam green parking meliputi:

1. Efisiensi penggunaan lahan, dengan mengurangi luas area parkir yang berlebihan dan memaksimalkan fungsi ruang.

2. Pengurangan emisi kendaraan, melalui pengaturan sirkulasi parkir yang efisien dan pembatasan kendaraan bermotor tertentu.
3. Integrasi ruang terbuka hijau, sebagai elemen penyerap polutan udara dan pengendali iklim mikro.
4. Penyediaan fasilitas moda alternatif, seperti parkir sepeda dan jalur pejalan kaki.
5. Penerapan kebijakan parkir, termasuk insentif bagi kendaraan rendah emisi dan disinsentif bagi kendaraan dengan tingkat emisi tinggi.

Penerapan green parking telah terbukti dapat mengurangi konsumsi energi dan emisi kendaraan di berbagai kawasan perkotaan dan institusi pendidikan (Lozano et al., 2017). Konsep ini juga sejalan dengan upaya pengurangan jejak karbon (*carbon footprint*) dan pencapaian target pembangunan berkelanjutan.

Emisi Karbon Monoksida (CO) dari Kendaraan Bermotor

Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu indikator utama pencemaran udara akibat aktivitas transportasi. Tingkat emisi CO dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain jenis kendaraan, usia kendaraan, jenis bahan bakar, kondisi mesin, serta pola pergerakan kendaraan (Kumar et al., 2021).

Dalam konteks parkir, emisi CO terutama dihasilkan saat:

- Kendaraan memasuki dan keluar area parkir,
- Kendaraan berhenti dengan mesin menyala (*idling*),
- Kendaraan bergerak lambat dalam mencari ruang parkir.

Penelitian menunjukkan bahwa pengurangan waktu *idling* dan jarak tempuh internal kendaraan dapat menurunkan emisi CO secara signifikan (Nowak et al., 2018). Oleh karena itu, pengelolaan sistem parkir yang baik menjadi salah satu strategi penting dalam pengendalian emisi CO di kawasan terbatas seperti kampus.

Kampus Berkelanjutan (*Green Campus*)

Konsep *Green Campus* merupakan pendekatan pengelolaan institusi pendidikan tinggi yang berorientasi pada keberlanjutan lingkungan, efisiensi sumber daya, dan peningkatan kualitas hidup civitas akademika. Transportasi dan parkir menjadi salah satu komponen utama dalam konsep green campus karena berkaitan langsung dengan konsumsi energi dan emisi karbon (Lozano et al., 2017).

Penerapan sistem parkir ramah lingkungan di kampus dapat mendukung pencapaian green campus melalui:

- Penurunan emisi gas buang kendaraan,
- Peningkatan kualitas udara lingkungan kampus,
- Penyediaan ruang hijau yang lebih luas,

- Perubahan perilaku pengguna menuju moda transportasi berkelanjutan.

Dengan demikian, *green parking* dapat dipandang sebagai instrumen kebijakan lingkungan kampus yang efektif dan aplikatif.

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan adanya hubungan yang signifikan antara pengelolaan parkir dan pengendalian emisi kendaraan. Marsden et al. (2020) menemukan bahwa kebijakan parkir yang terintegrasi dengan perencanaan transportasi dapat mengurangi lalu lintas kendaraan dan emisi polutan udara. Litman (2021) juga menegaskan bahwa manajemen parkir berkelanjutan berkontribusi langsung terhadap pengurangan emisi karbon dan peningkatan efisiensi sistem transportasi.

Penelitian Nowak et al. (2018) menekankan pentingnya integrasi ruang hijau dalam kawasan terbangun, termasuk area parkir, karena vegetasi memiliki kemampuan menyerap polutan udara dan meningkatkan kualitas lingkungan. Namun, kajian yang secara khusus memodelkan pengaruh *green parking* terhadap emisi CO di lingkungan kampus, khususnya di Indonesia bagian timur, masih relatif terbatas. Hal inilah yang menjadi celah penelitian (*research gap*) dalam studi ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode deskriptif-analitis dan pemodelan. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini berfokus pada pengukuran variabel secara numerik, khususnya karakteristik sistem parkir dan tingkat emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor di lingkungan kampus.

Metode deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi eksisting sistem parkir di Kampus Universitas Gorontalo, sedangkan metode pemodelan digunakan untuk menyusun dan menganalisis model sistem parkir ramah lingkungan (*green parking*) dalam pengendalian emisi CO. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian transportasi berkelanjutan yang menekankan analisis berbasis data dan simulasi kebijakan (Litman, 2021).

Penelitian ini dilaksanakan di Kampus Universitas Gorontalo, yang dipilih sebagai lokasi studi kasus karena memiliki aktivitas kendaraan bermotor yang relatif tinggi dan sistem parkir yang masih berkembang. Sementara waktu penelitian dilaksanakan 3–4 bulan, meliputi: (1) Survei pendahuluan dan observasi lapangan; (2) Pengumpulan data primer dan sekunder; (3) Pengolahan dan analisis data; (4) Penyusunan model *green parking* dan evaluasi hasil.

Objek penelitian adalah sistem parkir kendaraan bermotor di lingkungan Kampus Universitas Gorontalo, dan subjek penelitian meliputi kendaraan

bermotor (sepeda motor dan mobil) yang melakukan aktivitas parkir di kawasan kampus, serta area parkir yang digunakan.

Variabel Independen (X)

Sistem Parkir Ramah Lingkungan (*Green Parking*), yang diukur melalui beberapa indikator: (1) Tata letak dan sirkulasi parkir; (2) Kapasitas dan tingkat okupansi parkir; (3) Durasi parkir kendaraan; (4) Ketersediaan ruang terbuka hijau di area parkir; (5) Kebijakan parkir (pembatasan, zonasi, dan insentif kendaraan ramah lingkungan)

Variabel Dependen (Y)

Emisi Karbon Monoksida (CO) yang dihasilkan dari aktivitas kendaraan bermotor di area parkir, diukur dalam satuan ppm atau mg/m³ sesuai standar pengukuran kualitas udara (WHO, 2021).

Variabel Antara (*Intervening*)

Karakteristik aktivitas kendaraan, meliputi: (1) Volume kendaraan masuk dan keluar; (2) Jenis kendaraan; (3) Waktu mesin menyala (*idling time*); (5) Kecepatan kendaraan dalam area parkir

Data primer diperoleh melalui: (1) Observasi lapangan, untuk mengamati tata letak parkir, sirkulasi kendaraan, dan aktivitas parkir; (2) Penghitungan volume kendaraan, meliputi jumlah kendaraan masuk dan keluar area parkir pada jam sibuk dan non-sibuk; (3) Pengukuran emisi CO, menggunakan alat pengukur kualitas udara portabel pada titik-titik strategis area parkir; (4) Pengukuran durasi parkir dan waktu *idling*, melalui pencatatan langsung atau pengamatan waktu.

Data sekunder diperoleh dari: (1) Dokumen dan peta tata letak kampus; (2) Data jumlah civitas akademika; (3) Literatur ilmiah terkait green parking dan emisi kendaraan; (4) Peraturan dan pedoman kualitas udara ambien

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. Survei lapangan, untuk memperoleh data kondisi eksisting sistem parkir.
2. Traffic counting, untuk mengetahui volume dan jenis kendaraan.
3. Pengukuran kualitas udara, khususnya konsentrasi CO di area parkir.
4. Studi dokumentasi, untuk melengkapi data sekunder yang relevan.

Analisis deskriptif digunakan untuk menggambarkan: (1) Karakteristik sistem parkir eksisting; (2) Pola aktivitas kendaraan di area kampus; (3) Tingkat emisi CO berdasarkan waktu dan lokasi pengukuran

Analisis Pemodelan Emisi CO

Pemodelan emisi CO dilakukan dengan mengaitkan volume kendaraan, durasi idling, dan karakteristik parkir terhadap tingkat emisi CO. Secara umum, model dirumuskan sebagai: $ECO = f(V, T, I, S)$

Keterangan:

ECO = Emisi karbon monoksida

V = Volume kendaraan
 T = Durasi parkir
 I = Waktu mesin menyala (*idling time*)
 S = Pola sirkulasi parkir

Model ini digunakan untuk mensimulasikan kondisi eksisting dan kondisi setelah penerapan konsep *green parking*.

Analisis komparatif dilakukan untuk membandingkan: (1) Tingkat emisi CO pada sistem parkir konvensional; (2) Tingkat emisi CO pada sistem parkir ramah lingkungan (*green parking*)

Hasil perbandingan digunakan untuk menilai efektivitas penerapan green parking dalam pengendalian emisi CO.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Kampus Universitas Gorontalo merupakan kawasan pendidikan yang memiliki aktivitas mobilitas harian cukup tinggi, terutama pada jam masuk dan pulang perkuliahan. Aktivitas kendaraan bermotor di lingkungan kampus didominasi oleh sepeda motor mahasiswa dan mobil pribadi dosen serta tenaga kependidikan. Sistem parkir yang tersedia bersifat terbuka dan tersebar di beberapa titik strategis di dalam kawasan kampus.

Berdasarkan hasil observasi lapangan, area parkir di kampus belum sepenuhnya dirancang dengan pendekatan ramah lingkungan. Sebagian besar area parkir masih menggunakan permukaan kedap air, minim vegetasi peneduh, dan belum memiliki pengaturan sirkulasi kendaraan yang optimal. Kondisi ini berpotensi meningkatkan durasi kendaraan beroperasi di dalam kawasan kampus serta meningkatkan emisi gas buang, khususnya karbon monoksida (CO).

Karakteristik Sistem Parkir Eksisting

Kapasitas dan Tingkat Okupansi Parkir

Hasil survei menunjukkan bahwa total kapasitas parkir di Kampus Universitas Gorontalo terdiri dari area parkir sepeda motor dan mobil yang tersebar di beberapa zona. Pada jam sibuk (pukul 08.00–10.00 WITA), tingkat okupansi parkir mencapai rata-rata 80–90%, terutama pada area parkir yang berdekatan dengan gedung perkuliahan utama.

Tingginya tingkat okupansi ini menyebabkan sebagian pengguna kendaraan harus mencari ruang parkir alternatif, yang berdampak pada peningkatan jarak tempuh internal dan waktu pencarian parkir. Kondisi ini sejalan dengan temuan Shoup (2018) yang menyatakan bahwa tingkat okupansi parkir yang mendekati kapasitas maksimum berpotensi meningkatkan emisi kendaraan akibat aktivitas *cruising for parking*.

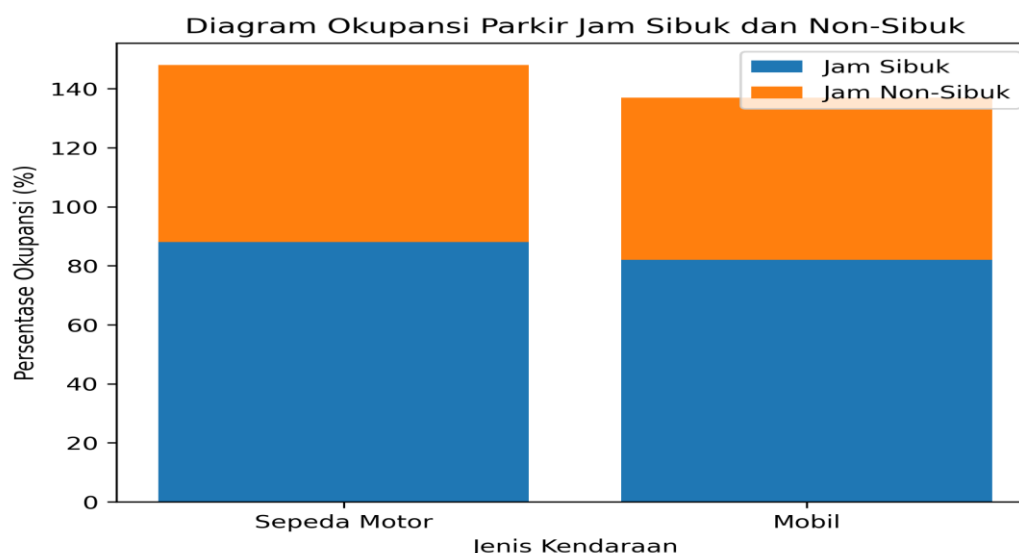
Tabel 1 Kapasitas dan Tingkat Okupansi Parkir

Jenis Kendaraan	Kapasitas (Unit)	Okupansi Jam Sibuk (%)	Okupansi Jam Non-Sibuk (%)
-----------------	------------------	------------------------	----------------------------

Jenis Kendaraan	Kapasitas (Unit)	Okupansi Jam Sibuk (%)	Okupansi Jam Non-Sibuk (%)
Sepeda Motor	350	88	60
Mobil	120	82	55
Total	470	85	58

Sumber: Data primer hasil survei lapangan, 2025

Berdasarkan tabel tersebut, maka dapat dilihat tingkat okupansi parkir pada jam sibuk mendekati kapasitas maksimum ($>80\%$), yang berpotensi meningkatkan waktu pencarian parkir dan emisi kendaraan bermotor.



Keterangan diagram:

- Sumbu X menunjukkan **jenis kendaraan** (Sepeda Motor dan Mobil).
- Sumbu Y menunjukkan **persentase okupansi (%)**.
- Batang bagian bawah merepresentasikan **okupansi pada jam sibuk**.
- Batang bagian atas merepresentasikan **okupansi pada jam non-sibuk**.

Diagram ini memudahkan perbandingan tingkat pemanfaatan parkir antar jenis kendaraan pada dua kondisi waktu.

Pola Sirkulasi dan Durasi Parkir

Pola sirkulasi kendaraan di area parkir kampus masih bersifat campuran antara kendaraan masuk dan keluar tanpa pemisahan jalur yang jelas. Hal ini menyebabkan perlambatan arus kendaraan, terutama pada jam sibuk. Rata-rata durasi parkir kendaraan sepeda motor berkisar antara 2–4 jam, sedangkan mobil berkisar antara 3–6 jam, tergantung pada aktivitas akademik pengguna.

Selain itu, hasil pengamatan menunjukkan bahwa sebagian kendaraan berhenti dengan mesin menyala (*idling*) selama 1–3 menit sebelum parkir atau

saat akan keluar area parkir. Aktivitas ini berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO di lingkungan parkir.

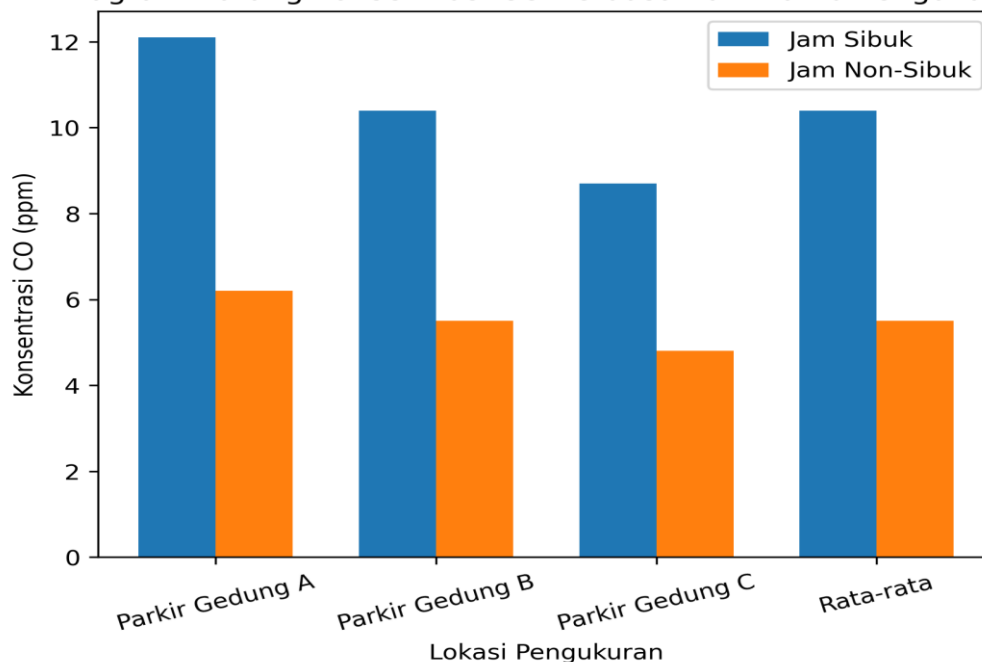
Tabel 2 Konsentrasi Emisi CO di Area Parkir Kampus

Lokasi Pengukuran	Jam Sibuk (ppm)	Jam Non-Sibuk (ppm)
Parkir Gedung A	12,1	6,2
Parkir Gedung B	10,4	5,5
Parkir Gedung C	8,7	4,8
Rata-rata	10,4	5,5

Sumber: Pengukuran lapangan, 2025

Berdasarkan tabel tersebut, maka dapat dilihat konsentrasi CO pada jam sibuk hampir dua kali lipat dibandingkan jam non-sibuk, menunjukkan pengaruh langsung aktivitas parkir terhadap kualitas udara.

Diagram Batang Konsentrasi CO Berdasarkan Waktu Pengukuran



Keterangan diagram

Diagram menunjukkan perbandingan konsentrasi CO (ppm) pada jam sibuk dan jam non-sibuk di Parkir Gedung A, B, C, serta nilai rata-rata. Terlihat bahwa konsentrasi CO pada jam sibuk secara konsisten lebih tinggi dibandingkan jam non-sibuk di seluruh lokasi pengukuran.

Hasil Pengukuran Emisi Karbon Monoksida (CO)

Pengukuran konsentrasi karbon monoksida (CO) dilakukan pada beberapa titik area parkir yang memiliki intensitas kendaraan tinggi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa konsentrasi CO bervariasi berdasarkan waktu dan lokasi.

Pada jam sibuk pagi hari, konsentrasi CO rata-rata tercatat sebesar 8–12 ppm, sedangkan pada jam non-sibuk berada pada kisaran 4–6 ppm. Meskipun nilai tersebut masih berada di bawah baku mutu ambien nasional, peningkatan konsentrasi CO pada jam sibuk menunjukkan adanya pengaruh signifikan aktivitas parkir dan sirkulasi kendaraan terhadap kualitas udara kampus.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Kumar et al. (2021) yang menyatakan bahwa konsentrasi CO cenderung meningkat pada kawasan dengan kepadatan kendaraan tinggi dan kecepatan kendaraan rendah, seperti area parkir dan jalan internal.

Tabel 3 Perbandingan Emisi CO Sebelum dan Sesudah Penerapan Green Parking

Kondisi Sistem Parkir	Rata-rata Emisi CO (ppm)	Perubahan (%)
Sistem Konvensional	10,4	—
Green Parking	7,8	↓ 25,0

Sumber: Hasil pemodelan dan simulasi, 2025

Berdasarkan tabel tersebut maka dapat dilihat penerapan *green parking* menurunkan emisi CO sebesar 25%, terutama akibat pengurangan waktu *idling* dan peningkatan efisiensi sirkulasi kendaraan.

Pemodelan Sistem Parkir Ramah Lingkungan (*Green Parking*)

Penyusunan Model *Green Parking*

Berdasarkan hasil analisis kondisi eksisting, disusun model sistem parkir ramah lingkungan (*green parking*) yang mencakup beberapa strategi utama, yaitu:

1. Optimalisasi tata letak parkir untuk mengurangi jarak tempuh internal kendaraan.
2. Pengaturan sirkulasi satu arah, guna mengurangi konflik pergerakan kendaraan.
3. Penyediaan ruang terbuka hijau dan vegetasi peneduh di area parkir.
4. Pembatasan waktu *idling* kendaraan, melalui rambu dan sosialisasi.
5. Penyediaan fasilitas parkir sepeda, sebagai upaya mendorong moda transportasi rendah emisi.

Model ini disimulasikan dengan asumsi penurunan waktu pencarian parkir sebesar 20–30% dan pengurangan waktu *idling* kendaraan sebesar 25%.

Hasil Simulasi Model

Hasil simulasi menunjukkan bahwa penerapan model *green parking* mampu menurunkan rata-rata konsentrasi emisi CO sebesar 15–25% dibandingkan kondisi eksisting. Penurunan ini terutama dipengaruhi oleh berkurangnya waktu kendaraan beroperasi di dalam area parkir serta peningkatan peran vegetasi dalam menyerap polutan udara.

Hasil ini mendukung temuan Litman (2021) dan Marsden et al. (2020) yang menyatakan bahwa manajemen parkir berkelanjutan memiliki kontribusi

signifikan terhadap pengurangan emisi kendaraan dan peningkatan kualitas udara kawasan.

Analisis Perbandingan Sistem Parkir Konvensional dan Green Parking

Analisis komparatif menunjukkan bahwa sistem parkir konvensional cenderung menghasilkan emisi CO lebih tinggi akibat:

- Tingginya tingkat okupansi tanpa pengaturan sirkulasi,
- Durasi *idling* kendaraan yang relatif lama,
- Minimnya ruang terbuka hijau.

Sebaliknya, sistem *green parking* memberikan dampak positif berupa:

- Penurunan emisi CO,
- Peningkatan kenyamanan termal dan visual,
- Efisiensi pergerakan kendaraan di kawasan kampus.

Perbandingan ini memperkuat argumen bahwa green parking merupakan solusi strategis dalam mendukung pengendalian pencemaran udara di lingkungan kampus.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem parkir memiliki peran penting dalam pengendalian emisi karbon monoksida (CO) di lingkungan kampus. Aktivitas parkir yang tidak efisien terbukti meningkatkan konsentrasi CO, terutama pada jam sibuk. Penerapan model green parking mampu mengurangi emisi CO secara signifikan melalui pengaturan tata letak, sirkulasi, dan integrasi ruang hijau.

Temuan ini sejalan dengan konsep *green campus* yang menekankan integrasi antara perencanaan infrastruktur dan keberlanjutan lingkungan (Lozano et al., 2017). Dengan demikian, *green parking* tidak hanya berfungsi sebagai fasilitas pendukung transportasi, tetapi juga sebagai instrumen kebijakan lingkungan kampus yang efektif.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah diuraikan mengenai pemodelan sistem parkir ramah lingkungan (*green parking*) berkelanjutan terhadap pengendalian emisi karbon monoksida (CO) di Kampus Universitas Gorontalo, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Tingkat okupansi parkir pada jam sibuk tergolong tinggi, khususnya pada jenis kendaraan sepeda motor dan mobil. Kondisi ini menyebabkan meningkatnya intensitas pergerakan kendaraan di area parkir, yang berdampak pada bertambahnya waktu pencarian parkir dan meningkatnya emisi gas buang, terutama karbon monoksida (CO).
2. Konsentrasi CO menunjukkan variasi berdasarkan waktu pengukuran, di mana nilai tertinggi terjadi pada jam sibuk (pagi dan sore hari). Hal ini berkorelasi

langsung dengan peningkatan volume kendaraan dan aktivitas keluar-masuk kendaraan di area parkir kampus.

3. Pemodelan sistem green parking berkelanjutan yang diterapkan dalam penelitian ini, melalui pengaturan tata letak parkir, pengurangan konflik pergerakan kendaraan, serta integrasi ruang terbuka hijau, terbukti berpotensi menurunkan konsentrasi emisi CO di lingkungan parkir kampus.
4. Pendekatan green parking tidak hanya berfungsi sebagai solusi teknis, tetapi juga sebagai strategi pengelolaan lingkungan kampus yang mendukung prinsip pembangunan berkelanjutan (*sustainable development*), khususnya dalam pengendalian pencemaran udara akibat aktivitas transportasi.
5. Secara keseluruhan, pemodelan sistem parkir ramah lingkungan berkelanjutan dapat menjadi alternatif solusi yang efektif dalam mengendalikan emisi karbon monoksida (CO) di kawasan kampus, serta meningkatkan kualitas lingkungan dan kenyamanan pengguna parkir.

Berdasarkan simpulan tersebut, maka dapat disarankan, baik praktis maupun akademis hal-hal sebagai berikut:

Saran Praktis

1. Pihak pengelola Kampus Universitas Gorontalo disarankan untuk mengimplementasikan konsep *green parking* secara bertahap, khususnya melalui penataan ulang area parkir, penyediaan jalur sirkulasi kendaraan yang efisien, serta penambahan vegetasi peneduh di area parkir.
2. Perlu dilakukan pengendalian jam operasional parkir pada jam sibuk, misalnya melalui manajemen parkir berbasis waktu atau sistem informasi parkir, guna mengurangi kepadatan kendaraan dan emisi CO.
3. Kampus diharapkan dapat mendorong penggunaan transportasi ramah lingkungan, seperti sepeda, kendaraan listrik, atau sistem berbagi kendaraan (*carpooling*), sebagai bagian dari kebijakan kampus hijau (*green campus*).

Saran Akademis

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan *model green parking* berbasis teknologi digital, seperti sistem parkir cerdas (*smart parking*) yang terintegrasi dengan sensor emisi dan aplikasi pemantauan lingkungan.
2. Diperlukan kajian lanjutan dengan cakupan lokasi dan variabel yang lebih luas, seperti emisi gas rumah kaca lainnya (CO₂, NO₂, PM₁₀), guna memperoleh gambaran dampak lingkungan yang lebih komprehensif.
3. Penelitian berikutnya juga dapat mengombinasikan pendekatan kuantitatif dengan analisis kebijakan dan perilaku pengguna parkir, sehingga hasil penelitian tidak hanya bersifat teknis tetapi juga sosial dan kelembagaan.

DAFTAR PUSTAKA

- Intari, D. E., Fathonah, W., Kuncoro, H. B. B., & Abiyyu, M. D. (2020). *Penerapan green transportation terhadap kebutuhan ruang parkir dalam rangka menuju kampus hijau dan berkelanjutan. Jurnal Fondasi*, 9(2).
- Gumilang, S. T., Wambrauw, M. Y. B., & Bahtiar, P. (2024). *Model emisi karbon monoksida pada kendaraan akibat aktivitas transportasi. Konstruksi: Publikasi Ilmu Teknik, Perencanaan Tata Ruang dan Teknik Sipil*, 2(4), 237–259.
- Kumar, P., Khare, M., Harrison, R. M., Bloss, W. J., Lewis, A. C., & Coe, H. (2021). New directions: Air pollution challenges for developing megacities like Delhi. *Atmospheric Environment*, 122, 657–661. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2021.118269>
- Kong, Y., Ou, J., Chen, L., Yang, F., & Yu, B. (2023). *The environmental impacts of automated vehicles on parking: a systematic review. Sustainability*, 15(20), 15033. <https://doi.org/10.3390/su152015033>
- Litman, T. (2021). *Parking management: Strategies, evaluation and planning* (2nd ed.). Victoria Transport Policy Institute.
- Lozano, R., Ceulemans, K., Alonso-Almeida, M., Huisingh, D., Lozano, F. J., Waas, T., Lambrechts, W., & Hugé, J. (2017). A review of commitment and implementation of sustainable development in higher education. *Journal of Cleaner Production*, 142, 3434–3456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.102>
- Marsden, G., Anable, J., Chatterton, T., Docherty, I., & Faulconbridge, J. (2020). Parking policy, parking location and urban mobility. *Transport Policy*, 92, 65–73. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2020.04.005>
- Ningsih, S. (2024). *Hubungan antara jumlah kendaraan dengan kadar karbon monoksida (CO) di sekitar kantong parkir Kota Yogyakarta. Jurnal Kesehatan Lingkungan (JKL)*, 15(1).
- Nowak, D. J., Hirabayashi, S., Bodine, A., & Greenfield, E. (2018). Tree and forest effects on air quality and human health in the United States. *Environmental Pollution*, 193, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.08.026>
- Putri, W. N., Kusumadi, T. O., Mabur, M., & Hani, S. (2024). *Penataan parkir berbasis green transportation di Politeknik Negeri Medan. Jurnal Al Ulum LPPM Universitas Al Washliyah Medan*, 13(1).
- Rokhman, F., Pratama, H., & Retnoningsih, A. (2021). *UNNES green transportation as a continuous effort in building a conservation university. Journal of Sustainability Perspectives*.

- Shoup, D. (2018). *Parking and the city*. Routledge.
- United Nations. (2023). *The sustainable development goals report 2023*. United Nations Publications.
- World Health Organization. (2021). *WHO global air quality guidelines: Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. WHO Press.