



Kajian polusi kendaraan berdasarkan bahan bakar yang dipakai oleh kendaraan di Makassar

Arif Akib^{1✉}, Lambang Basri¹, Mukhtar Thahir¹

Fakultas Teknik Sipil, Universitas Muslim Indonesia, Makassar⁽¹⁾

DOI: 10.31004/jutin.v8i1.42153

✉ Corresponding author:

[\[arif.akib@gmail.com\]](mailto:arif.akib@gmail.com)

Article Info	Abstrak
<p><i>Kata kunci:</i> <i>Bahan Bakar;</i> <i>CO₂;</i> <i>Emisi Gas Buang;</i> <i>NO_x;</i> <i>Polusi Udara;</i> <i>Sox;</i></p>	<p>Kota Makassar, sebagai pusat pengembangan kawasan strategis di wilayah timur Indonesia, mengalami pertumbuhan pesat di berbagai sektor, termasuk sektor transportasi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis volume kendaraan, tingkat polusi gas CO, NO_x, dan SO_x yang dihasilkan, faktor yang mempengaruhi perbedaan emisi gas buang, dan solusi untuk mengurangi polusi udara. Hasil penelitian menunjukkan bahwa volume kendaraan di Jalan Perintis Kemerdekaan lebih tinggi dibandingkan dengan Jalan Sultan Alauddin baik pada pagi maupun sore hari. Pada pagi hari, volume kendaraan di Jalan Perintis Kemerdekaan mencapai 3.830 SMP untuk LV bensin, 1.490 SMP untuk LV solar, dan 5.684 SMP untuk MC, sementara di Jalan Sultan Alauddin 3.397 SMP untuk LV bensin, 917 SMP untuk LV solar, dan 4.882 SMP untuk MC. Emisi gas CO lebih banyak dihasilkan oleh kendaraan LV berbahan bakar bensin, diikuti oleh sepeda motor. Gas NO_x lebih banyak dihasilkan oleh kendaraan ringan berbahan bakar bensin dan solar, sementara SO_x paling banyak dihasilkan oleh kendaraan ringan berbahan bakar solar.</p>
<p><i>Keywords:</i> <i>Fuel;</i> <i>CO₂;</i> <i>Exhaust Gas Emissions;</i> <i>NO_x;</i> <i>Air Pollution;</i> <i>Sox</i></p>	<p>Abstract</p> <p>Makassar City, as a center for strategic regional development in eastern Indonesia, is experiencing rapid growth in various sectors, including the transportation sector. This study aims to analyze vehicle volume, levels of CO, NO_x, and SO_x gas pollution produced, factors that influence differences in exhaust emissions, and solutions to reduce air pollution. The results of the study show that the volume of vehicles on Jalan Perintis Kemerdekaan is higher than on Jalan Sultan Alauddin both in the morning and evening. In the morning, the vehicle volume on Jalan Perintis Kemerdekaan reached 3,830 SMP for LV gasoline, 1,490 SMP for LV diesel, and 5,684 SMP for MC, while on Jalan Sultan Alauddin 3,397 SMP for LV gasoline, 917 SMP for LV diesel, and 4,882 SMP for MC. CO gas emissions were mostly produced by LV gasoline-fueled vehicles, followed by motorcycles. NO_x gas was mostly produced by light vehicles powered by gasoline and diesel, while SO_x was mostly produced by light vehicles powered by diesel.</p>

1. INTRODUCTION

Pembangunan sektor industri memberikan perubahan pada bidang sosial, ekonomi, kebudayaan dan lingkungan. Perubahan tersebut dapat dilihat dengan meningkatnya jumlah pabrik, jumlah kendaraan bermotor, jumlah penduduk dan sebagainya, yang kesemuanya berdampak pada perubahan kondisi lingkungan hidup. Lingkungan yang paling banyak terkena dampak adalah udara. Udara merupakan komponen kehidupan yang sangat penting untuk kelangsungan hidup manusia dan makhluk hidup lainnya. Pencemaran udara yang terjadi khususnya di kota-kota besar sumber utamanya adalah aktivitas transportasi. Kualitas udara, khususnya di perkotaan merupakan komponen lingkungan yang sangat penting, karena akan berpengaruh langsung terhadap kesehatan masyarakat maupun kenyamanan kota.

Padatnya penduduk serta kurangnya jalur hijau (green belt) sebagai sumber O₂ mempengaruhi rendahnya kualitas udara di perkotaan. Pencemaran udara akibat sektor transportasi transportasi telah memberikan kontribusi sebesar 80% diikuti oleh emisi dari industri, kebakaran hutan dan aktivitas rumah tangga. Hal tersebut menunjukkan bahwa sektor transportasi memiliki kontribusi emisi paling besar terhadap pencemaran udara. Jenis emisi yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor antara lain karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), hidro karbon (HC), Sulfur dioksida (SO₂), timah hitam (Pb) dan karbon dioksida (CO₂). Dari beberapa jenis emisi kendaraan bermotor, karbon monoksida (CO) merupakan salah satu jenis gas emisi yang paling banyak dihasilkan oleh kendaraan bermotor dengan persentase sebesar 76,4%. Hiruk pikuk kendaraan bermotor menyebabkan kemacetan yang cukup parah di sejumlah ruas jalan kota besar di Indonesia. Tidak heran jika kota-kota besar tersebut menjadi asupan utama penyebaran polusi udara. Gas-gas dari knalpot kendaraan bermotor merupakan salah satu pencemaran lingkungan. Polutan udara utama adalah akibat gas-gas buang kendaraan bermotor yang tiap tahun bertambah dengan cepat

Kota Makassar sebagai pusat pengembangan kawasan strategis di kawasan timur Indonesia, cenderung mengalami pertumbuhan yang pesat di berbagai bidang termasuk sektor transportasi sebagai penunjang aktifitas masyarakat yang sangat penting dirasakan saat ini. Pertumbuhan ekonomi dan peningkatan jumlah penduduk memberi dampak pertumbuhan sektor transportasi yang meningkat sangat cepat. Hal ini terlihat dari peningkatan jumlah kendaraan di Kota Makassar pada tahun 2022 jumlah kendaraan bermotor 1.716-unit dan meningkatkan menjadi 1.856 unit pada Tahun 2023 yang terdiri dari kendaraan bermotor-mobil penumpang, kendaraan bermotor-bus, kendaraan bermotor-truk dan kendaraan bermotor-sepeda motor. Peningkatan kendaraan yang luar biasa pesat menghasilkan masalah lalu lintas yang serius yang terdiri dari kendaraan sering berhenti dan pola mengemudi yang berbeda (percepatan dan perlambatan kendaraan). Selain itu dapat menyebabkan kemacetan berulah dan penurunan kualitas udara. Untuk mengendalikan dampak kualitas udara di jalan, emisi transportasi perlu dimodelkan dengan lebih tepat.

Di Kota Makassar, terdapat beberapa jalan arteri yang berfungsi sebagai penghubung antar kabupaten dan menjadi jalur utama bagi kendaraan dengan mobilitas tinggi. Jalan-jalan ini memiliki peran penting dalam mendukung aktivitas ekonomi dan transportasi, baik dalam kota maupun antarwilayah. Beberapa jalan arteri utama yang dikenal sebagai jalur tersibuk di Makassar antara lain Jalan Perintis Kemerdekaan, Jalan Urip Sumoharjo, Jalan AP Pettarani, dan Jalan Sultan Alauddin. Jalan-jalan tersebut sering mengalami kepadatan lalu lintas akibat tingginya volume kendaraan, terutama pada jam sibuk. Selain itu, keberadaan fasilitas umum seperti pusat perbelanjaan, kawasan industri, terminal, dan perkantoran di sepanjang jalur ini semakin meningkatkan intensitas lalu lintas. Oleh karena itu, jalan arteri di Makassar menjadi titik krusial dalam kajian polusi udara akibat emisi kendaraan bermotor. Hasil riset dari Kementerian Negara Lingkungan Hidup Sulawesi Selatan Stasiun Makassar Ujung Pandang pada tanggal 14 oktober 2024 menjelaskan bahwa Kota Makassar menunjukkan konsentrasi yang cukup tinggi pada O₃ sebesar 78 µg/Nm³, CO 824 µg/Nm³, PM 10 29 µg/Nm³, PM_{2,5} 26 µg/Nm³ dan NO₂ 44 µg/Nm³ dan HC tidak terdeteksi. Hal tersebut masih dalam kategori baik untuk tingkat kualitas udara pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.

Nahlan Kamal (2015) dalam penelitiannya mengenai konsentrasi gas buang kendaraan di lokasi Mall Panakukkang memiliki konsentrasi SO₂ 66,245 µg/m³ dengan baku mutu 900 µg/m³, NO₂ 66,105 µg/m³ dengan baku mutu standar 400 µg/m³ dan CO 13,55 µg/m³ dengan baku mutu 30.000 µg/m³ yang dari semua polutan tersebut tidak melewati ambang batas baku mutu udara ambien. Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup Kota Makassar tahun 2018, parameter kualitas udara ambien titik sampling di pertigaan jalan raya Alauddin- Pettarani adalah 727,79 µg/Nm³ dan kandungan karbon monoksida (CO) Urip Sumoharjo-Persimpangan Pettarani 750.56

$\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. Indeks yang digunakan untuk mengetahui besarnya pencemaran udara dan kualitas udara adalah Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU).

Menurut PP No. 41 tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara ISPU merupakan nilai ukur, dan tidak ada satuan untuk menggambarkan kualitas udara ambien suatu lokasi tertentu. Alat yang digunakan untuk menghitung ISPU mengukur partikulat (PM_{10}), sulfur dioksida (SO_2), karbon monoksida (CO), oksigen (O_3) berupa ozon, dan nitrogen dioksida (NO_2) dibawah $10\ \mu\text{m}$. Pada penelitian tahun 2019 mengenai Analisis Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) Parameter CO Di Jalan AP.Pettarani didapati hasil analisis ISPU pada jalan AP Pettarani dengan jenis polutan CO pada hari kerja masuk dalam kategori berbahaya dengan rentang nilai <300 dan pada hari libur masuk dalam kategori sangat tidak sehat dengan rentang nilai ISPU 200-299 (Amirullah, 2019). Berdasarkan hal tersebut, masih belum banyak penelitian-penelitian mengenai emisi gas buang kendaraan seperti NO_2 dan SO_2 di Makassar. Melihat kondisi tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul: "Kajian Polusi Kendaraan Berdasarkan Jenis Bahan Bakar yang Digunakan di Makassar"

2. METHODS

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian kajian mengenai variasi rasio emisi gas buang menggunakan bahan bakar pertalite dan solar

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan pada bulan November 2024 di dua jalan Nasional di Kota Makassar yakni Jalan Perintis Kemerdekaan dan Jalan Sultan Alauddin. Obyek studi yang dijadikan populasi penelitian yaitu para pemilik kendaraan kecil, sedang dan kendaraan besar.

Populasi dan Sampel

Adapun yang menjadi objek dalam penelitian ini adalah kendaraan (arus lalu lintas) yang melewati ruas jalan Perintis Kemerdekaan dan Jalan Sultan Alauddin. Populasi penelitian adalah semua jenis kendaraan yang di Kota Makassar. Adapun sampel penelitian adalah semua jenis kendaraan yang melewati ruas jalan Perintis Kemerdekaan dan Jalan Sultan Alauddin.

Metode Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini ada beberapa data yang di perlukan diantaranya data Primer dan data Sekunder. Data Sekunder yang diperoleh dengan menghubungi instansi terkait seperti Dinas Lingkungan hidup, Kantor Statistik. Data Primer: Pengambilan data primer dengan pengambilan volume lalu lintas. Volume kendaraan bermotor diperoleh dengan menggunakan aplikasi traffic counter. Adapun data sekunder yang diambil meliputi peta jaringan jalan, faktor emisi dari IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) tentang data konsumsi energi spesifik untuk tiap-tiap jenis kendaraan bermotor dan faktor emisi dari sejumlah tipe bahan bakar, dan baku mutu udara ambien nasional berdasarkan peraturan Pemerintah.

Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian memuat langkah-langkah penelitian dari awal hingga akhir. Prosedur penelitian terdiri dari tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian. Tahapan dalam penelitian ini dimulai dengan studi untuk mengidentifikasi suatu lokasi, mengetahui permasalahannya, mengidentifikasi data yang dibutuhkan, mengidentifikasi pustaka dan acuan yang dibutuhkan, serta mengidentifikasi perangkat lunak yang dapat digunakan. Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah Kendaraan

Pengambilan data jumlah kendaraan bermotor dilakukan dengan cara survey langsung pada lokasi penelitian yang telah ditentukan Jalan Perintis Kemerdekaan dan Jalan Sultan Alauddin. Pengambilan data dilakukan selama 2 hari kerja mulai dari hari senin dan Selasa dan dilaksanakan pada jam sibuk kampus untuk mengetahui jumlah kendaraan maksimal yang beraktivitas di tempat tersebut. Metode yang digunakan dalam perhitungan volume kendaraan, yaitu traffic counting. Metode ini merupakan metode survei perhitungan lalu lintas yang dilakukan dengan cara menghitung jumlah kendaraan yang melintas pada suatu ruas jalan. Peralatan yang diperlukan untuk menghitung jumlah kendaraan bermotor, yaitu alat cacah genggam (hand tally counter). Dalam menghitung volume kendaraan bermotor diperlukan suatu pembagian kategori berdasarkan jenis kendaraan. Kategori ini mengau pada PermenLH No. 12 Tahun 2010 meliputi sepeda motor (motorcycles), kendaraan ringan (light vehicles), dan kendaraan berat (heavy vehicles)

2. Menganalisis Volume Kendaraan

Volume kendaraan adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu dalam suatu ruang tertentu pada interval waktu. tertentu (Hobbs,1979). Semakin banyak jumlah kendaraan yang melalui suatu titik tertentu berarti semakin besar volume lalu lintas pada titik tersebut. Setiap jenis kendaraan memiliki karakteristik pergerakan yang berbeda karena dimensi, kecepatan, percepatan maupun kemampuan manuver masing-masing tipe kendaraan berbeda serta berpengaruh terhadap geometrik jalan, oleh karena itu digunakan suatu satuan untuk perencanaan lalu lintas yaitu satuan mobil penumpang (SMP) yang terdapat pada tabel berikut :

Jenis Kendaraan	SMP di Ruas Jalan
Kendaraan Ringan	1,0
Kendaraan Bermotor Khusus	1,0
Kendaraan Berat	1,3
Sepeda Motor	0,5
Alat Berat	1,3

Sumber: MKJI 1997

Analisis Beban Emisi

Dalam KepMen Lingkungan Hidup No. 13/1995 didefinisikan bahwa emisi adalah masuknya atau dimasukkannya zat, energi, dan atau komponen lain ke udara ambien. Komposisi bahan bakar bensin dan solar yang telah dikeluarkan oleh mesin kendaraan bermotor memiliki kandungan gas buang yang tidak begitu jauh berbeda. Komposisi Menurut Taringan 2008, menyatakan bahwa bahan bakar untuk jenis bensin dan solar merupakan dua jenis bahan bakar berbeda yang dikeluarkan oleh mesin yang terdapat pada kendaraan dan memiliki komposisi zat pencemar yang hampir sama. Selain itu, besarnya nilai faktor emisi berbanding lurus dengan besarnya zat pencemar yang terkandung oleh hasil sisa pembakaran yang dikeluarkan oleh kendaraan bermotor saat melintasi suatu jalan. Nilai faktor emisi pada kendaraan berbeda-beda pada setiap jenis kendaraan yang digunakan. Perbedaan nilai faktor emisi dan jumlah kendaraan yang melintas mempengaruhi nilai besaran emisi yang diperoleh dari hasil perhitungan. Nilai faktor emisi yang digunakan yaitu nilai faktor emisi gas buang berdasarkan jenis kendaraan dan jenis bahan bakarnya untuk kawasan yang termasuk kategori kota metropolitan yang telah diatur dan ditetapkan oleh pemerintah dalam PerMeN LH No. 12 tahun 2010 yang mengatur mengenai Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah. Jenis kendaraan beserta nilai faktor emisi untuk setiap jenis zat pencemar disajikan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 3.2. Data Faktor Emisi Indonesia Berdasarkan Jenis Kendaraan

Kategori Kendaraan	CO (g/km)	HC (g/km)	NOx (g/km)	PM10 (g/km)	CO2 (g/kg BBM)	SO2 (g/km)
Sepeda Motor	14	5,9	0,29	0,24	3180	0,008
Mobil Pribadi (Bensin)	40	4	2	0,01	3180	0,026
Mobil Pribadi (Solar)	2,8	0,2	3,5	0,53	3172	0,44
Bis	11	1,3	11,9	1,4	3172	0,93
Truk	8,4	1,8	17,7	1,4	3172	0,82

Sumber: Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No.12/2010

Adapun nilai besaran emisi, apabila nilai satuannya dalam gram/km, maka dapat dikonversi ke gram/mil. Dengan ketentuan 1 gram/km = 0,621 gram/mil (Winardhy, 2018).

Metode Analisa Data

Analisis data dilakukan dengan metode pemodelan beban pencemar dari kendaraan bermotor. Teknik analisis data dilakukan dengan pendekatan kuantitatif untuk menentukan konsentrasi polutan akibat emisi kendaraan bermotor di udara ambien. Untuk memperoleh penyajian data sebagai hasil yang berarti dan kesimpulan yang baik, maka diperlukan pengolahan data. Pengolahan data yang dilakukan terdiri dari beberapa tahapan yang dilakukan, antara lain:

1. Data Editing. Data yang didapatkan dari hasil pengamatan lapangan dilakukan penyuntingan terlebih dahulu. Proses editing ini dilakukan dengan pengecekan dan melakukan perbaikan terhadap hasil-hasil yang tidak lengkap atau kurang oleh peneliti agar dapat ditelusuri kembali.
2. Data Coding. Pada proses ini dilakukan pengklasifikasian data berdasarkan data yang di dapatkan dari hasil pengamatan di lapangan sesuai dengan tujuan dikumpulkannya data penelitian. Peneliti membuat kode untuk setiap data.

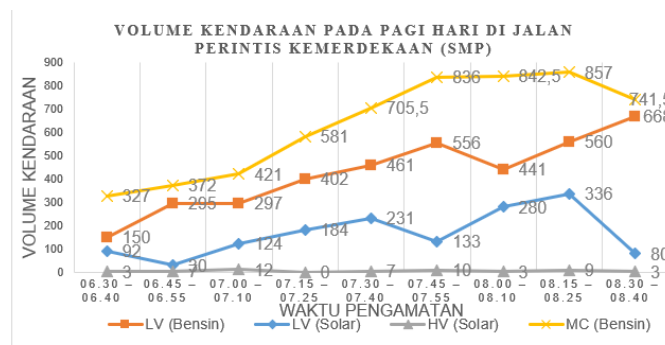
3. Data Struktur. Pada proses data struktur akan dikembangkan sesuai dengan analisis yang akan dilakukan dan jenis perangkat lunak yang dipergunakan.
4. Data Entry. Data entry merupakan kegiatan memasukkan data yang telah dikumpulkan oleh peneliti ke dalam program pengolah data diantaranya data konsentrasi CO, NO₂ dan SO₂ udara yang kemudian dianalisis.
5. Data Cleaning. Semua data yang telah di input perlu dicek kembali untuk melihat kemungkinan-kemungkinan adanya kesalahan kode, ketidak lengkapan, dan sebagainya. Maka perlu dilakukan koreksi dengan cara pembersihan data dengan melihat distribusi frekuensinya.

3. RESULT AND DISCUSSION

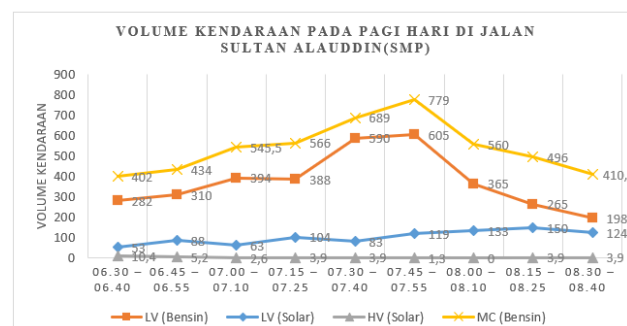
Hasil

Volume Kendaraan

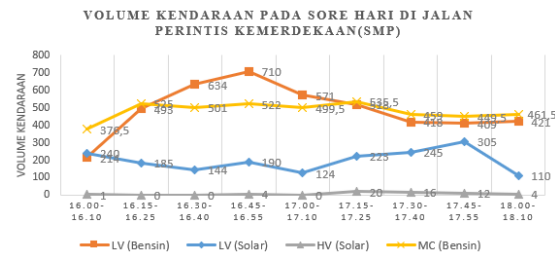
Volume kendaraan adalah jumlah kendaraan yang melewati suatu titik tertentu pada ruas jalan dalam periode waktu tertentu, biasanya dihitung dalam satuan kendaraan per jam (kend/jam) atau kendaraan per hari (kend/hari). Volume kendaraan digunakan sebagai salah satu parameter penting dalam analisis lalu lintas untuk menilai kapasitas jalan, tingkat pelayanan, dan pola pergerakan kendaraan pada suatu lokasi. Data volume kendaraan biasanya diperoleh melalui survei lapangan dengan mencatat jenis dan jumlah kendaraan yang melewati lokasi pengamatan dalam interval waktu) 10 menit.



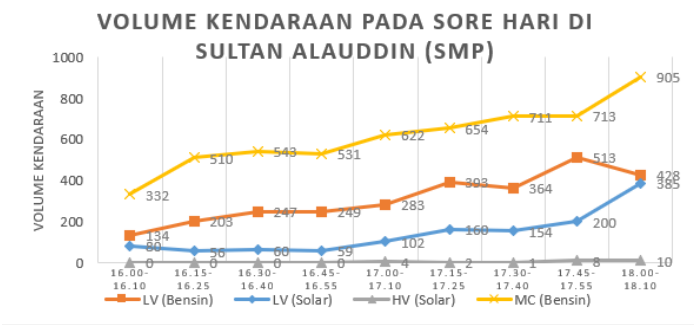
Gambar 3. Grafik Volume Kendaraan pada Pagi Hari di Jalan Perintis Kemerdekaan (SMP) Berdasarkan waktu pengamatan



Gambar 4. Grafik Volume Kendaraan pada Pagi Hari di Jalan Sultan Alauddin (SMP) Berdasarkan waktu pengamatan



Gambar 5. Grafik Volume Kendaraan pada Sore Hari di Jalan Perintis Kemerdekaan (SMP) Berdasarkan waktu pengamatan



Gambar 5. Grafik Volume Kendaraan pada Sore Hari di Jalan Sultan Alauddin (SMP) Berdasarkan waktu pengamatan

Emisi Kendaraan Bermotor

Emisi kendaraan bermotor ini mengandung gas karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan partikulat lain (Particulate Matter/PM) yang berdampak negatif pada manusia ataupun lingkungan bila melebihi ambang konsentrasi tertentu. Berikut adalah nilai emisi gas buang kendaraan bermotor berdasarkan gas CO, NO₂ dan SO₂:

Tabel 3. Nilai Emisi Gas CO, NO₂ dan SO₂ berdasarkan lokasi penelitian

Lokasi Penelitian	Jenis Kendaraan	Nilai Emisi Gas Buang		
		CO	NO ₂	SO ₂
Jalan Perintis Kemerdekaan (Pagi)	LV (Bensin)	153.200	7.660	100
	LV (Solar)	4.172	5.215	656
	HV (Solar)	572	619	48
	MC (Bensin)	79.569	1.648	46
Jalan Perintis Kemerdekaan (Sore)	LV (Bensin)	175.520	8.776	114
	LV (Solar)	4.945	6.181	777
	HV (Solar)	470	989,4	46
	MC (Bensin)	60.613	1.257	35
Jalan Sultan Alauddin (Pagi)	LV (Bensin)	135.880	6.794	88
	LV (Solar)	2.568	1.834	404
	HV (Solar)	386	418	33
	MC (Bensin)	68.348	1.416	39
Jalan Sultan Alauddin (Sore)	LV (Bensin)	112.560	5.628	73
	LV (Solar)	3517	4.396	553
	HV (Solar)	273	575	27
	MC (Bensin)	38.647	801	22

Faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan emisi gas buang kendaraan bermotor

Emisi gas buang kendaraan bermotor sangat dipengaruhi oleh jenis dan komposisi bahan bakarnya. Bensin kendaraan ringan biasanya menghasilkan lebih banyak hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO) yang tidak terbakar, terutama pada suhu rendah. Sebaliknya, kandungan sulfur yang tinggi dan hidrokarbon berat pada solar menyebabkan peningkatan kadar nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), dan partikel padat (PM). Emisi CO dari kendaraan ringan berbahan bakar bensin, termasuk yang terjadi di Jalan Perintis Kemerdekaan pada pagi

hari, sebesar 153.200 g/km. Berdasarkan grafik, truk berat (HV) bertenaga diesel mengeluarkan lebih banyak NO_x dan SO₂ dibandingkan kategori kendaraan lainnya. Diesel HV menghasilkan 920,4 gram/km NO_x per kilometer.

Selain itu, proses pembakaran dan teknologi kendaraan dapat mempengaruhi kadar emisi gas buang. Secara umum, mesin bensin membakar bahan bakar lebih efisien, menghasilkan lebih sedikit partikel padat; namun, pembakaran tidak sempurna menghasilkan emisi CO dan HC yang lebih tinggi. Tekanan pembakaran yang lebih tinggi pada mesin diesel pada temperatur tinggi mengakibatkan peningkatan emisi NO_x dan PM. Emisi CO, HC, dan NO_x dapat dikurangi dengan teknologi kendaraan seperti mesin bensin dengan catalytic converter. Sebaliknya, suhu pembakaran yang tinggi menghasilkan emisi NO_x dan partikulat yang lebih tinggi pada mesin diesel dengan sistem injeksi langsung. Kendaraan bertenaga diesel, seperti HV di Jalan Sultan Alauddin pada pagi hari, memiliki emisi SO₂ sebesar 403,5 gram/km lebih besar dibandingkan kendaraan bertenaga bensin.

Emisi juga dipengaruhi oleh kondisi lalu lintas, beban kendaraan, dan kualitas bahan bakar. Kemacetan lalu lintas di kota besar seperti Makassar menyebabkan banyak berhenti dan memulai kendaraan, sehingga meningkatkan emisi terutama CO dan HC pada kendaraan berbahan bakar bensin, serta menurunkan efisiensi pembakaran. Selain itu, truk diesel yang membawa muatan besar melepaskan lebih banyak PM dan NO_x. Kualitas bahan bakar juga mempengaruhi; sementara solar dengan kandungan sulfur tinggi meningkatkan emisi SO₂, bensin berkualitas buruk dapat menghasilkan lebih banyak HC dan CO. Penggunaan bahan bakar berkualitas tinggi dan ramah lingkungan sangat penting untuk mengurangi emisi di daerah perkotaan.

Solusi Mengurangi Polusi Udara yang Disebabkan Kendaraan Bermotor di Kota Makassar

- a) Penggunaan Teknologi Ramah Lingkungan pada Kendaraan Bermotor
 - Catalytic converter pada mobil berbahan bakar bensin membantu mengurangi emisi karbon monoksida (CO) dan hidrokarbon (HC).
 - Kendaraan listrik (EV) dan mobil hibrida dapat menurunkan emisi serta mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.
 - Teknologi Selective Catalytic Reduction (SCR) dengan injeksi urea (AdBlue) menurunkan emisi nitrogen oksida (NO_x) pada kendaraan berat seperti truk dan bus.
 - Diesel Particulate Filter (DPF) menangkap partikel halus (PM) dari kendaraan diesel.
 - Penggunaan bahan bakar alternatif seperti gas alam terkompresi (CNG) atau biodiesel dapat mengurangi emisi dibandingkan solar tradisional.
 - Penggunaan Zat Adiktif seperti Eco Racing
- b) Penanaman Pohon dan Tanaman Hias untuk Menyerap Polusi Udara yang disebabkan oleh Kendaraan Bermotor
 - Rumput Gajah (*Pennisetum purpureum*) menyerap nitrogen berlebih, karbon dioksida, logam berat, serta menyaring debu dan partikel berbahaya di udara.
 - Pohon Angsana (*Pterocarpus indicus*) mampu menyerap polutan udara seperti nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), dan partikel debu (PM₁₀ & PM_{2.5}). Selain itu, pohon ini memberikan keteduhan dan mengurangi efek pulau panas perkotaan.

B. Pembahasan

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa volume kendaraan mempengaruhi emisi gas buang, dan sebagian besar lalu lintas di Jalan Sultan Alauddin dan Jalan Perintis Kemerdekaan terdiri dari mobil bertenaga bensin. Sepeda motor (MC) dan kendaraan ringan (LV) merupakan penghasil utama emisi gas buang, khususnya karbon monoksida (CO). Volume kendaraan tertinggi terjadi pada pagi dan sore hari yang mewakili pola aktivitas masyarakat perkotaan yang berkontribusi terhadap kemacetan lalu lintas. Berdasarkan pendapat Sasmita, et.al (2022) menyatakan bahwa semakin banyak jumlah kendaraan suatu titik maka kecepatan kendaraan akan semakin rendah sehingga emisi gas buang kendaraan akan meningkat pula. Jumlah kendaraan yang lebih banyak di Jalan Perintis Kemerdekaan dibandingkan di Jalan Sultan Alauddin, menunjukkan bahwa kawasan tersebut lebih tercemar. Berdasarkan temuan penelitian, sumber utama emisi gas buang adalah sulfur dioksida (SO₂), nitrogen oksida (NO_x), dan karbon monoksida (CO). Mayoritas emisi CO berasal dari kendaraan berbahan bakar bensin, sedangkan kendaraan diesel menghasilkan lebih banyak NO_x dan SO₂. Sepeda motor berbahan bakar bensin merupakan sumber polutan utama, terutama di Jalan Perintis Kemerdekaan yang memiliki kadar CO tertinggi pada sore hari. Hal ini disebabkan salah satunya karena volume kendaraan pada lokasi tersebut. Seperti pendapat Mansyur, Umar (2023) menyatakan bahwa emisi kendaraan dan kualitas udara ambien di Kota Makassar saling mempengaruhi secara langsung, karena semakin tinggi tingkat emisi kendaraan dalam jumlah kumulatif di jalan raya akan mempengaruhi kualitas udara secara keseluruhan. Faktor utama yang mempengaruhi emisi gas buang

kendaraan bermotor adalah kondisi lalu lintas, teknologi kendaraan, dan kualitas bahan bakar. Meskipun solar dengan kandungan sulfur tinggi meningkatkan emisi SO_2 dan NO_x , pembakaran tidak sempurna pada mobil bertenaga bensin menyebabkan emisi lebih besar pada suhu rendah. Pembakaran yang lebih tidak efisien terjadi ketika mobil berhenti dan bergerak lambat, sehingga meningkatkan emisi pada kemacetan lalu lintas di Makassar, terutama pada jam-jam sibuk. Muziansyah (2015) menegaskan bahwa kondisi lalu lintas yang buruk memperburuk dampak negatif pencemaran udara. Untuk mengurangi polusi udara, diperlukan peraturan yang ketat, bahan bakar alternatif, dan teknologi ramah lingkungan. Teknologi yang dapat membantu mengurangi emisi antara lain Diesel Particulate Filter (DPF) untuk kendaraan diesel dan catalytic converter untuk bensin. Selain itu, bahan bakar fosil dapat digantikan dengan bahan bakar alternatif seperti biodiesel dan gas alam terkompresi. Insentif penggunaan kendaraan listrik dan edukasi masyarakat mengenai pentingnya bensin premium juga merupakan strategi yang efektif.

Penggunaan zat adiktif seperti eco racing juga memberikan penaruh terhadap gas buang pada kendaraan bermotor. Sejalan dengan hasil penelitian Adriantono, Wanda (2020) menyatakan bahwa semakin besar penambahan eco racing menghasilkan gas CO, HC, CO_2 yang semakin kecil dan O_2 yang semakin besar. Berdasarkan hasil penelitian, dapat diketahui bahwa penambahan eco racing yang paling baik digunakan sesuai dengan emisi yang dihasilkan berada pada penambahan eco racing sebanyak dua butir. Atmaja, Naufaldi Dwi (2022) menambahkan penambahan 1-2 butir eco racing pada kendaraan bermotor berbahan bakar solar dapat proses suhu mesin menuju suhu optimal lebih cepat. Perubahan suhu kendaraan bermotor menjadi suhu optimal dapat mempengaruhi besar kecil emisi gas buang kendaraan. Seperti hasil penelitian Panjaitan, aulia Rahman (2022) menyatakan bahwa Perubahan temperatur bahan bakar berpengaruh terhadap besarnya emisi gas buang CO dan HC. Penurunan emisi gas buang CO yang paling besar adalah pada saat temperatur bahan bakar $52,40^\circ\text{C}$ yaitu 35,15% dan HC pada temperatur yang sama yaitu 42,37%. Kemudian diikuti dengan temperatur bahan bakar $60,70^\circ\text{C}$ yaitu 33,96% dan HC pada temperatur yang sama yaitu 34,84%. Terakhir pada temperatur bahan bakar $43,70^\circ\text{C}$ yaitu 9,02% dan HC pada temperatur yang sama yaitu 20,18%. Penurunan kadar emisi gas buang dimulai pada saat temperatur bahan bakar $43,70^\circ\text{C}$, dilanjutkan dengan temperatur bahan bakar $52,40^\circ\text{C}$. akan tetapi pada temperatur $60,70^\circ\text{C}$, kadar emisi gas buang CO dan HC cenderung naik kembali dan yang paling besar kenaikannya adalah emisi gas buang HC. Sesuai pendapat Yunus, Sattar dan Yasin, Anugrah (2023) bahwa pada kondisi tertentu pembakaran pada mesin kendaraan tidak sempurna sehingga menghasilkan emisi gas buang yang jauh lebih banyak dibandingkan saat kendaraan berjalan normal. Kondisi tertentu yang dimaksud adalah suhu kendaraan yang belum optimal. Solusi-solusi yang dapat dilakukandalam mengurangi polusi udara di Makassar adalah salah satunya dengan penanaman pohon dan tanaman hias yang tepat. Berdasarkan Azzahra Fauziah et.al (2020) bahwa dengan penanaman pohon angšana dapat mengurangi kadar CO di udara dari 16.033 mikrogram/ Nm^3 menjadi 4.581 mikrogram/ Nm^3 dan kadar NO_2 m dari 29,78 mikrogram/ Nm^3 menjadi 9,22 mikrogram/ Nm^3 .

4. CONCLUSION

Volume Kendaraan bermotor pada lokasi penelitian di Jalan Perintis Kemerdekaan kendaraan ringan berbahan bakar solar mengalami peningkatan pada sore hari dibandingkan pada pagi hari. Tingkat polusi udara yang dihasilkan kendaraan bermotor berbahan bakar bensin menghasilkan emisi CO dan NO_x lebih tinggi dibandingkan kendaraan berbahan solar, sementara kendaraan solar menghasilkan emisi SO_2 lebih tinggi terutama pada waktu pagi karena jumlah kendaraan berat cukup banyak. Faktor-faktor yang mempengaruhi perbedaan emisi gas buang kendaraan bermotor berdasarkan jenis bahan bakar meliputi kualitas mesin kendaraan, teknologi yang digunakan serta kondisi operasional kendaraan seperti tahun pembuatan. Solusi untuk mengurangi polusi udara adalah penanaman pohon dan tanaman hias yang tepat. Salah satu pohon yang dapat ditanam adalah pohon angšana dan tanaman hias rumput gajah yang sebagai tanaman penutup tanah.

5. REFERENCES

- Adriantono, W., Setiawan, T., & Ariwibowo, B. (2020). Pengaruh Penambahan Eco Racing pada Bahan Bakar Peralite dan Variasi Putaran Mesin terhadap Kadar Emisi Gas Buang Mesin Empat Silinder. *Journal of Vocational Education and Automotive Technology*, 2(2), 43-50.
- Ajayi, S. A., Adams, C. A., Dumedah, G., & Adebajji, A. O. (2024). The Impact of Vehicle Engine Characteristics on Vehicle Exhaust Emissions for Transport Modes in Lagos City. *Urban, Planning and Transport Research*, 12(1), 2319328.

- Aprilina, K., Badriah, I. U., & Aldrian, E. (2016). Hubungan antara Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) dan Suhu Udara terhadap Intervensi Anthropogenik (Studi Kasus Nyepi Tahun 2015 di Provinsi Bali). *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 17(1).
- Dewi, S. P., Alsakinah, R., Sara, S. A., & Amrina, D. H. (2022). Pajak lingkungan sebagai upaya pengendalian pencemaran udara dari gas buang kendaraan bermotor di Indonesia. *Jurnal Ilmiah Ekonomi Dan Pajak*, 2(1), 7-13.
- Dragomir, C. M., Constantin, D. E., Voiculescu, M., Georgescu, L. P., Merlaud, A., & Van Roozendaal, M. (2015). Modeling results of atmospheric dispersion of NO₂ in an urban area using METI-LIS and comparison with coincident mobile DOAS measurements. *Atmospheric Pollution Research*, 6(3), 503-510.
- Iskandar, S., & Djuanda, D. (2018). Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor di Kota Makassar. *Jurnal Teknik Mesin TEKNOLOGI*, 19(1), 1-10.
- Kota, S. H., Zhang, H., Chen, G., Schade, G. W., & Ying, Q. (2014). Evaluation of on-road vehicle CO and NO_x National Emission Inventories using an urban-scale source-oriented air quality model. *Atmospheric environment*, 85, 99-108.
- Kurniawan, D., Sulistiyanti, S. R., & Murdika, U. (2023). Sistem Pemantau Gas Karbon Monoksida (Co) Dan Karbon Dioksida (Co₂) Menggunakan Sensor Mq7 Dan Mq-135 Terintegrasi Telegram. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 11(2), 200-206
- Luthfi, M. A., Firdausiyah, N., & Yudono, A. (2024). Perhitungan Emisi Gas Rumah Kaca Kendaraan Angkutan Barang Di Jalan Sunandar Priyo Sudarmo Kota Malang. *Planning For Urban Region And Environment Journal (Pure)*, 13(2), 1-12.
- Auliah, M. S. N., Aly, S. H., & Harusi, N. M. R. (2023, December). Analysis Of NO_x, SO₂, PM₁₀, & CO Emission Loads From Motorized Vehicle at Collector's Road Makassar City Using Tier 2 Method. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1272, No. 1, p. 012041). IOP Publishing.
- Maizara, R., & Pelawi, C. A. (2024). Intervensi Pengurangan Polusi Udara dari Sumber Bergerak dan Tidak Bergerak Berbagai Negara di Dunia: Systematic Review. *Media Publikasi Promosi Kesehatan Indonesia (MPPKI)*, 7(5), 1108-1119.
- Mansyur, U., Sitorus, S. R., & Prasetyo, L. B. (2023). Valuation Of Transportation Policy In Makassar City Based On Vehicle Emission Pollution For Sustainable Zone Planning. *Planning Malaysia*, 21.
- Misdawati, Said, L. B., & H, S. M. (2021). Analisis Penurunan Umur Rencana Jalan Akibat Volume Kendaraan dan Kelebihan Muatan Pada Ruas Jalan Jend. Ahmad Yani Kota Parepare. *Journal Flyover (JFO)*, 01(02), 39.
- Sentiyaki, S., Astuti, A. R. A., Fathurahman, I., Yani, S., Mandasini, M., Nurjannah, N., & Sabara, Z. (2018). Alat Penyaring Karbon Monoksida Pada Knalpot Kendaraan Bermotor Dengan Menggunakan Adsorben Alami Ekstrak Daun Trembesi. *Journal of Chemical Process Engineering*, 3(1), 38-42.
- Sasmita, A., Reza, M., Elystia, S., & Adriana, S. (2022). Analisis pengaruh kecepatan dan volume kendaraan terhadap emisi dan konsentrasi karbon monoksida di jalan jenderal sudirman, kota pekanbaru. *Jurnal Teknik Sipil*, 16(4), 269-279.
- Suryani, A. S. (2010). Studi Beban emisi Pencemaran Udara Karbonmonoksida Dari Kendaraan Bermotor di DKI Jakarta. *Jurnal Aspirasi*, 1(1), 75-102.
- Sutendy, A. A., Zelfia, Z., & Mustari, A. M. (2022). The Influence Of The Quality Of Public Transportation Services On Customer Loyalty On The Trans Mamminasata Bus Makassar City. *Respon Jurnal Ilmiah Mahasiswa Ilmu Komunikasi*, 3(1), 167-173.
- Yahya, A., Islah, M. A., & Adhiwibowo, W. (2024). Perancangan Alat Ukur Emisi Carbon Monoxide Berdasarkan Jenis Bahan Bakar Minyak Honda Vario 150 di Universitas Semarang: Design of Carbon Monoxide Emission Measurement Tool Based on Honda Vario 150 Fuel Type at Semarang University. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 4(4), 1549-1560.
- Yatmoko, B. S., & Alwi, E. (2024). Perbandingan Tingkat Emisi Gas Buang Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Pertalite dan Bahan Bakar Gas LPG. *JTPVI: Jurnal Teknologi dan Pendidikan Vokasi Indonesia*, 2(4), 411-418.
- Sattar, S. (2023). Assessment of CO and NO₂ pollutants concentration in the parking area and its relation to the occupancy percentage in the city of Makassar, Indonesia. *Energi, Environment and Storage*, 3(1), 28-32.