ISSN : 2089-6743
e-ISSN :2787-426X

ANALISIS EMISI GAS BUANG KENDARAAN BERMOTOR DAN HUBUNGANNYA DENGAN KUALITAS UDARA AMBIEN DI KABUPATEN BANGLI

Ni Ketut Sri Astati Sukawati[1], I Gusti Agung Gde Suryadarmawan[2*], Ni Kadek Canistri Dewi[3]

[1,2,3]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar
Email: suryaft12@unmas.ac.id
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License.

ABSTRAK: Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di area perkotaan dan koridor regional berpotensi menurunkan kualitas udara akibat emisi gas buang beracun seperti Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), dan opasitas asap. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik emisi gas buang kendaraan bermotor berbahan bakar bensin dan diesel serta mengkaji hubungannya dengan kondisi kualitas udara ambien di Kabupaten Bangli. Pengujian emisi dilakukan terhadap 82-unit kendaraan sampel pada UPTD Pengujian Kendaraan Bermotor Dinas Perhubungan Kabupaten Bangli menggunakan alat *Gas Analyzer* berprinsip *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) dan *Smoke Tester* berprinsip penyerapan cahaya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa seluruh kendaraan uji (100%) dinyatakan memenuhi ambang batas baku mutu emisi yang ditetapkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006. Kendaraan bensin kategori tahun produksi ≥2007 menghasilkan rata-rata konsentrasi emisi CO berkisar 0,058%–0,253% dan HC berkisar 1,21 ppm–24,30 ppm. Sebaliknya, kendaraan bensin kategori <2007 menghasilkan emisi signifikan lebih tinggi dengan CO berkisar 0,39%–3,50% dan HC berkisar 21,00 ppm–407,00 ppm. Tingginya emisi pada kendaraan tua disebabkan oleh penggunaan sistem pencampuran bahan bakar karburator konvensional dan ketiadaan *catalytic converter*. Pada kendaraan mesin diesel, rata-rata opasitas asap berkisar antara 19,48%–26,40% (ambang batas maks. 40%–70%). Sejalan dengan rendahnya kadar emisi kendaraan, Indeks Kualitas Udara (AQI) Kabupaten Bangli berada pada kategori "Baik" hingga "Sedang" (39–62 AQI US). Topografi dataran tinggi, kerapatan vegetasi, dan arus lalu lintas yang lancar turut mendukung percepatan dispersi polutan di udara ambien.

Kata kunci: Emisi Kendaraan, Karbon Monoksida, Hidrokarbon, Kualitas Udara Ambien, Bangli.

ABSTRACT: *The growth of motor vehicles in urban areas and regional corridors poses a threat to air quality due to toxic exhaust emissions such as Carbon Monoxide (CO), Hydrocarbons (HC), and smoke opacity. This study aims to evaluate the emission characteristics of gasoline and diesel vehicles and analyze their relationship with ambient air quality in Bangli Regency. Exhaust emission tests were conducted on 82 vehicle samples at the Motor Vehicle Inspection Unit of the Bangli Regency Transportation Agency using a Non-Dispersive Infrared (NDIR) Gas Analyzer and an Optical Absorption Smoke Tester. The results revealed that 100% of tested vehicles complied with the regulatory thresholds set by the Regulation of the Minister of Environment No. 05/2006. Gasoline vehicles manufactured in ≥2007 emitted low average concentrations of CO (0.058%–0.253%) and HC (1.21 ppm–24.30 ppm). In contrast, vehicles produced before 2007 (<2007) showed significantly higher emissions, with average CO ranging from 0.39% to 3.50% and HC from 21.00 ppm to 407.00 ppm. The higher emissions in older vehicles are attributed to carbureted fuel systems and the absence of catalytic converters. For diesel engines, average smoke opacity ranged from 19.48% to 26.40%, well below the maximum limit of 40%–70%. Consistent with the low vehicle emission levels, the Ambient Air Quality Index (AQI) in Bangli Regency remained in the "Good" to "Moderate" categories (39–62 AQI US). High altitude, dense vegetation, and smooth traffic flow further facilitate rapid pollutant dispersion in the atmosphere.*

Keywords: *Vehicle Emission, Carbon Monoxide, Hydrocarbons, Ambient Air Quality, Bangli.*

PENDAHULUAN

Udara merupakan komponen fluida atmosfer yang sangat vital bagi kelangsungan ekosistem dan kehidupan manusia. Kualitas udara ambien dipengaruhi oleh dinamika interaksi antara sumber emisi polutan, kondisi meteorologi, serta topografi wilayah. Sektor transportasi darat diproyeksikan menjadi penyumbang utama terhadap total beban emisi pencemaran udara di kawasan perkotaan (Badami, 2005). Pembakaran bahan bakar fosil pada mesin kendaraan bermotor melepaskan berbagai polutan berbahaya seperti Karbon Monoksida (CO), Hidrokarbon (HC), Nitrogen Oksida (NO_x), serta *Particulate Matter* (PM) atau jelaga asap (Heywood, 2018).

Berbeda dengan emisi cerobong industri yang terdispersi pada lapisan atmosfer tinggi, emisi kendaraan bermotor dilepaskan langsung pada zona pernapasan manusia (*breathing zone*) di sepanjang koridor jalan raya. Dampak pemaparan langsung gas CO dalam jangka pendek dapat memicu hipoksia jaringan tubuh akibat terbentuknya karboksihemoglobin (COHb) dalam darah, sedangkan pemaparan emisi HC dan partikulat berpotensi menyebabkan iritasi saluran pernapasan akut hingga risiko karsinogenik jangka panjang (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan [KLHK], 2021). Oleh karena itu, perlindungan mutu udara ambien menjadi bagian integral dari penyelenggaraan pengelolaan lingkungan hidup nasional (Peraturan Pemerintah [PP] No. 22, 2021).

Kabupaten Bangli merupakan wilayah berkarakteristik geografis dataran tinggi di Provinsi Bali dengan keunggulan kawasan konservasi, pertanian, dan pariwisata. Kualitas udara di Kabupaten Bangli secara umum dikategorikan relatif bersih (IQAir, 2023). Namun, seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan pribadi, sarana angkutan barang, serta arus mobilitas regional antar-kabupaten, potensi peningkatan emisi gas buang kendaraan menjadi ancaman nyata bagi keberlanjutan kualitas lingkungan ambien. Pemantauan emisi secara berkala melalui uji kelaikan jalan menjadi instrumen evaluasi teknis yang penting untuk memastikan kendaraan bermotor yang beroperasi berada dalam kondisi emisi aman (KLHK, 2021).

Meskipun hasil pemantauan stasiun udara menunjukkan kondisi kualitas udara Bangli relatif baik (IQAir, 2023), IQAir menunjukkan kategori sedang pada waktu pengamatan yang tercantum, dengan PM2.5 sebesar 13,2 µg/m³. Angka ini merupakan estimasi berbasis model, bukan hasil pengukuran langsung di seluruh kabupaten. belum ada studi empiris mendalam yang mengkaji besaran distribusi emisi gas buang kendaraan secara spesifik berdasarkan jenis bahan bakar, teknologi mesin, dan usia kendaraan di kawasan ini.

Tujuan dari penelitian ini adalah (1) menganalisis konsentrasi emisi gas buang CO dan HC pada kendaraan bensin berdasarkan kategorisasi tahun pembuatan (<2007 vs ≥2007), (2) menganalisis tingkat opasitas asap (*opacity*) pada kendaraan bermotor berbahan bakar diesel/solar, (3) membandingkan tingkat kelulusan emisi terhadap baku mutu Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006 dan (4) mengkaji korelasi antara profil emisi kendaraan dengan Indeks Kualitas Udara (AQI) ambien Kabupaten Bangli.

Konsep Transportasi dan Kendaraan Bermotor

Transportasi didefinisikan sebagai pemindahan manusia atau barang dari satu tempat ke tempat lain dengan menggunakan sarana kendaraan yang digerakkan oleh manusia, hewan, atau mesin (Mabruwaru, 2017). Berdasarkan Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2012, kendaraan bermotor adalah setiap kendaraan yang digerakkan oleh peralatan mekanik berupa mesin selain kendaraan yang berjalan di atas rel. Kelaikan jalan kendaraan ditentukan melalui pengujian teknis berkala yang mencakup pengujian emisi gas buang guna menekan beban pencemaran udara (PP No. 55, 2012).

Termodinamika Pembakaran dan Pembentukan Polutan

Pada operasional mesin riil, reaksi pembakaran tidak pernah terjadi secara sempurna akibat keterbatasan waktu pencampuran, variasi beban, dan kondisi suhu ruang bakar (Heywood, 2018). Hal ini memicu pembentukan polutan:

1. Karbon Monoksida (CO): Terbentuk akibat pembakaran kaya (*rich mixture*, $\lambda < 1{,}0$) di mana pasokan molekul oksigen (O_2) di dalam ruang bakar kurang dari jumlah yang dibutuhkan untuk mengoksidasi karbon secara penuh menjadi CO_2 (Pulkrabek, 2014).
2. Hidrokarbon (HC): Terbentuk dari molekul bahan bakar *unburnt* atau *partially burnt* akibat fenomena *flame quenching* (pemadaman api di dekat dinding silinder yang dingin), *misfire* pengapian, atau kebocoran minyak pelumas ke ruang bakar (Heywood, 2018).
3. Opasitas Asap (*Opacity*) / Partikulat Diesel: Pada mesin diesel, bahan bakar disemprotkan secara langsung (*direct injection*) ke udara bertekanan tinggi. Pembakaran heterogen ini menghasilkan zona lokal kaya bahan bakar yang memicu pirolisis dan pembentukan inti partikulat karbon padat (soot/jelaga) yang terukur sebagai tingkat kepekaan asap (Heywood, 2018).

Perbandingan Teknologi Mesin: Karburator vs. Electronic Fuel Injection (EFI)

Teknologi penyuplai bahan bakar memegang peranan krusial dalam pengendalian emisi (Pulkrabek, 2014):

1. Mesin Karburator (Dominan Produksi <2007): Mengandalkan perbedaan tekanan pendorong (efek Venturi) untuk menarik bahan bakar. Pengontrolan AFR bersifat mekanis, kurang presisi, dan sangat rentan terpengaruh oleh perubahan suhu mesin, keausan komponen, serta kotoran pada *jet needle* (Heywood, 2018). Hal ini memicu ketidaksempurnaan pembakaran yang menghasilkan emisi CO dan HC yang tinggi.
2. Mesin EFI (Dominan Produksi ≥2007): Menggunakan injektor elektronik yang dikendalikan oleh *Engine Control Unit* (ECU) berdasarkan masukan dari *Oxygen Sensor* (O_2 sensor) pada saluran buang (Pulkrabek, 2014). Sistem umpan balik lingkar tertutup (*closed-loop feedback system*) ini mampu mempertahankan AFR pada titik stoikiometri sensitif ($\lambda \approx 1{,}0$), sehingga memungkinkan komponen *Three-Way Catalytic Converter* (TWC) mereduksi NO_x serta mengoksidasi CO dan HC menjadi CO_2 dan H_2O dengan efisiensi mencapai >90% (Heywood, 2018).

Standar Regulasi Baku Mutu Emisi

Standar ambang batas uji emisi gas buang kendaraan bermotor lama di Indonesia diatur dalam Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup No. 05 Tahun 2006, sebagaimana dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Baku Mutu Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor (Permen LH No. 05/2006)

Kategori Kendaraan	Tahun Produksi	Parameter	Ambang Batas Maksimum
Bensin (Kategori L, M, N, O)	< 2007	CO (%) HC (ppm)	4,5 % 1.200 ppm
Bensin (Kategori L, M, N, O)	≥ 2007	CO (%) HC (ppm)	1,5 % 200 ppm
Diesel (JBB ≤ 3,5 Ton)	< 2010 ≥ 2010	Opasitas (%) Opasitas (%)	50 % 40 %
Diesel (JBB > 3,5 Ton)	< 2010 ≥ 2010	Opasitas (%) Opasitas (%)	70 % 50 %

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada UPTD Pengujian Kendaraan Bermotor (PKB) Dinas Perhubungan Kabupaten Bangli. Pengambilan data primer dilaksanakan selama lima hari kerja berturut-turut pada tanggal 17 hingga 21 Juli 2023.

Peralatan dan Instrumentasi Uji

Peralatan uji emisi yang digunakan telah dikalibrasi berkala dan memenuhi standar akurasi ISO/SNI:

1. *Gas Analyzer (Bensin)*: Menggunakan metode *Non-Dispersive Infrared* (NDIR) sesuai dengan prosedur Standar Nasional Indonesia (SNI 19-7117.10-2005) untuk mengukur absorpsi gelombang inframerah oleh molekul CO (%) dan HC (ppm) pada sampel gas buang.
2. *Opacimeter / Smoke Tester (Diesel)*: Mengukur tingkat penyerap gelombang cahaya (*light attenuation*) yang ditransmisikan menembus kolom asap gas buang diesel, dinyatakakan dalam satuan persentase opasitas (%).

Prosedur Pengambilan Sampel dan Pengolahan Data

Metode penarikan sampel dilakukan secara *accidental sampling* pada kendaraan wajib uji KIR (pengangkutan barang dan umum) serta kendaraan dinas/pribadi yang datang melakukan pengujian emisi. Total sampel terkumpul sebanyak 82-unit kendaraan, terdiri atas 65-unit kendaraan bensin dan 17-unit kendaraan diesel.

Prosedur pengujian mengikuti standar baku (SNI 19-7117.10-2005):

1. Mesin kendaraan dinaikkan ke suhu kerja normal (80°C–90°C).
2. Probe *Gas Analyzer* dimasukkan ke dalam lubang knalpot sejalam minimal 30 cm.
3. Pengukuran parameter bensin dilakukan pada kondisi putaran mesin *stasioner/idle* (800–1000 RPM).
4. Pengukuran opasitas diesel dilakukan melalui metode akselerasi bebas (*free acceleration*) sebanyak 3 kali pengulangan.

Data sekunder berupa Indeks Kualitas Udara (AQI) dan parameter cuaca Kabupaten Bangli didapatkan dari pemantauan stasiun *IQAir* periode Juli 2023 (IQAir, 2023) tanggal 1 Juli dengan AQI^{+} 47 (kategori baik) dan PM2.5 sebesar 8,5 μg/m^3 Angka ini merupakan estimasi berbasis model, bukan hasil pengukuran langsung di seluruh kabupaten. Data diolah secara deskriptif analitis, kuantitatif, dan komparatif terhadap regulasi baku mutu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi dan Karakteristik Emisi Kendaraan Bensin

Hasil pengujian emisi 65-unit kendaraan bahan bakar bensin dikelompokkan berdasarkan tanggal pengujian dan kategori tahun pembuatan (<2007 dan ≥2007). Rincian nilai rata-rata harian disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Evaluasi Hasil Uji Emisi Kendaraan Bahan Bakar Bensin Harian

Hari / Tanggal	Kategori Tahun	Jumlah Sampel (Unit)	Rata-Rata CO (%)	Rata-Rata HC (ppm)	Rentang CO Terukur (%)	Rentang HC Terukur (ppm)
Senin, 17/07/2023	≥ 2007	17	0,18	8,53	0,00 – 0,55	0 – 40
	< 2007	1	0,39	21,00	0,39	21
Selasa, 18/07/2023	≥ 2007	4	0,25	6,50	0,00 – 0,90	0 – 21
	< 2007	3	0,89	109,29	0,36 – 1,64	0,88 – 200
Rabu, 19/07/2023	≥ 2007	12	0,07	24,30	0,00 – 0,27	0 – 0,93
	< 2007	4	0,63	149,75	0,42 – 0,90	120 – 201
Kamis, 20/07/2023	≥ 2007	8	0,10	20,47	0,00 – 0,27	0,01 – 10
	< 2007	3	2,35	407,00	0,70 – 3,23	231 – 567
Jumat, 21/07/2023	≥ 2007	11	0,06	1,21	0,00 – 0,25	0 – 8
	< 2007	2	3,50	321,50	2,80 – 4,20	273 – 370

Sumber: Pengolahan Data Primer, 2023

Dari data Tabel 2, terlihat tren perbedaan yang sangat jelas antara kedua kelompok usia kendaraan:

1. Kendaraan Kategori ≥2007: Menunjukkan performa emisi yang sangat bersih. Nilai rata-rata CO terendah dicapai pada hari Jumat (0,06%) dan tertinggi pada hari Selasa (0,25%). Banyak sampel kendaraan baru (tahun 2021–2023) menghasilkan konsentrasi emisi mendekati 0,00% CO dan 0 ppm HC. Hal ini membuktikan efektivitas teknologi EFI dan *Catalytic Converter* yang bekerja optimal pada kendaraan berusia relatif muda.
2. Kendaraan Kategori <2007: Menghasilkan kadar polutan yang jauh lebih tinggi secara signifikan. Nilai rata-rata CO tertinggi dicapai pada hari Jumat (3,50%) dan rata-rata HC tertinggi dicapai pada hari Kamis (407,00 ppm). Konsentrasi puncak individu ditemukan pada kendaraan bernomor uji TBN 4168 (tahun 1993) dengan CO mencapai 4,20% dan kendaraan BLI 916 (tahun 1996) dengan HC sebesar 567 ppm.

Peningkatan emisi pada kendaraan tua disebabkan oleh beberapa faktor mekanis:

1. Penggunaan Karburator Konvensional: Ketidakmampuan karburator mempertahankan AFR stoikiometri pada kondisi beban yang bervariasi memicu konsentrasi CO yang tinggi.
2. Keausan Komponen Mesin: Penurunan tekanan kompresi akibat keausan *piston ring* dan silinder memungkinkan minyak pelumas bocor ke ruang bakar, meningkatkan emisi HC (bahan bakar/oli yang terdistilasi parsial).
3. Ketiadaan/Kerusakan Converter: Kendaraan produksi di bawah 2007 umumnya belum dilengkapi *catalytic converter*, atau jika ada, katalis telah mengalami keracunan (*poisoning*) akibat penggunaan bahan bakar berbalas timbal/sulfur tinggi.

Evaluasi Emisi Kendaraan Mesin Diesel

Pengujian opasitas asap pada 17-unit kendaraan bermotor berbahan bakar diesel (sebagian besar merupakan kendaraan angkutan barang dengan Jumlah Berat yang Diperbolehkan / JBB antara 7.000 kg hingga 18.000 kg) dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Rekapitulasi Pengujian Opasitas Kendaraan Diesel

Hari / Tanggal	Jumlah Sampel (Unit)	Rata-Rata JBB (kg)	Rata-Rata Opasitas (%)	Opasitas Minimum (%)	Opasitas Maksimum (%)
Senin, 17/07/2023	5	7.870	26,40	19,00	36,00
Selasa, 18/07/2023	2	8.125	23,00	21,00	25,00
Rabu, 19/07/2023	4	7.888	21,35	11,40	29,00
Kamis, 20/07/2023	2	13.000	21,00	19,00	23,00
Jumat, 21/07/2023	4	8.063	**19,48**	11,40	30,00

Sumber: Hasil Analisis Data Primer (Telah Dikalkulasi Ulang), 2023

Catatan Rekapitulasi Matematika: Kalkulasi rata-rata opasitas pada hari Jumat tanggal 21 Juli 2023 (data sampel: 19,7%; 16,8%; 11,4%; 30,0%) menghasilkan nilai riil 19,48%.

Nilai opasitas rata-rata harian berkisar antara 19,48% hingga 26,40% dengan nilai maksimum individu sebesar 36,00% (kendaraan BLI 2903). Semua angka ini berada di bawah batas maksimum regulasi (40%–70% tergantung tahun dan JBB). Rendahnya opasitas menunjukkan bahwa sistem injeksi solar dan *turbocharger* pada armada truk angkutan barang di Bangli berada dalam performa perawatan yang memadai, sehingga fenomena *over-fueling* atau pemampatan injektor terhindarkan.

Tingkat Kelulusan Keseluruhan terhadap Baku Mutu

Rekapitulasi total dari 82-unit kendaraan sampel disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Tingkat Kelulusan Emisi Total Sampel Kendaraan

Parameter Kategori	Hasil Pengujian Lapangan	Standar Ambang Batas (Permen LH 05/2006)	Persentase Kelulusan
Total Kendaraan Sampel	82 Unit	-	100% Lulus
Kendaraan Bensin (< 2007)	CO: 0,36% – 4,20% HC: 21 – 567 ppm	CO Max: 4,50% HC Max: 1.200 ppm	100% memenuhi
Kendaraan Bensin (≥ 2007)	CO: 0,00% – 0,90% HC: 0 – 40 ppm	CO Max: 1,50% HC Max: 200 ppm	100% memenuhi
Kendaraan Diesel	Opasitas: 11,40% – 36,00%	Opasitas Max: 40% – 70%	100% memenuhi

Sumber: Penulis, 2023

Meskipun kendaraan tua (<2007) mendekati batas krisis (CO 4,20% dari batas 4,50%), seluruh populasi sampel secara sah dinyatakan LULUS UJI EMISI. Hal ini menunjukkan bahwa kesadaran pemilik kendaraan yang mendatangi UPTD Pengujian Kendaraan Bermotor untuk servis dan perawatan mesin secara teratur berada dalam tingkat yang baik.

Kualitas Udara Ambien dan Analisis Geografis Bangli

Pemantauan data sekunder Indeks Kualitas Udara (AQI) di Kabupaten Bangli pada Tabel 5 memperlihatkan status mutu udara ambien wilayah.

Tabel 5. Profil Indeks Kualitas Udara (AQI US) Kabupaten Bangli

Hari / Tanggal	Indeks AQI US	Kategori Kualitas Udara	Parameter Polutan Dominan	Suhu / Cuaca
Jumat, 22 Sep 2023	47	Baik	$PM_{2.5}$	26°C / Hujan Ringan

Hari / Tanggal	Indeks AQI US	Kategori Kualitas Udara	Parameter Polutan Dominan	Suhu / Cuaca
Sabtu, 23 Sep 2023	53	Sedang	$PM_{2.5}$	29°C / Hujan Ringan
Minggu, 24 Sep 2023	47	Baik	$PM_{2.5}$	29°C / Hujan Ringan
Senin, 25 Sep 2023	39	Baik	$PM_{2.5}$	28°C / Berawan
Selasa, 26 Sep 2023	50	Baik	$PM_{2.5}$	28°C / Berawan
Rabu, 27 Sep 2023	53	Sedang	$PM_{2.5}$	29°C / Berawan
Kamis, 28 Sep 2023	62	Sedang	$PM_{2.5}$	29°C / Berawan

Sumber: IQAir Monitoring Data, 2023

Nilai AQI Air Bangli menampilkan data tanggal 1 Juli dengan AQI+ 47 (kategori baik) dan PM2.5 sebesar 8,5 µg/m³). Terjadinya korelasi positif antara kelulusan emisi kendaraan (100%) dengan kebersihan udara ambien Bangli dipengaruhi oleh faktor-faktor teknis dan non-teknis:

1. Beban Lalu Lintas Terkendali: Berbeda dengan kota Denpasar atau Kabupaten Badung yang mengalami kemacetan parah (*stop-and-go driving pattern* yang meningkatkan kadar CO hingga 300%), lalu lintas di Kabupaten Bangli cenderung lancar. Pola berkendara dengan kecepatan konstan membuat mesin bekerja pada efisiensi termal optimum.
2. Kondisi Mikroklimatologi dan Topografi: Lokasi Bangli yang berada pada dataran tinggi dengan suhu rata-rata yang lebih sejuk (18°C–29°C) serta tutupan vegetasi hutan/pertanian yang lebat bertindak sebagai penyerap karbon natural (*carbon sink*) dan mempercepat proses pengenceran polutan (*atmospheric dispersion*) oleh pergerakan angin.

SIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

Simpulan

1. Karakteristik Emisi Bensin: Terdapat perbedaan performa emisi yang dibuktikan berdasarkan teknologi dan usia kendaraan. Kendaraan kategori ≥2007 sangat ramah lingkungan (rata-rata CO 0,058%–0,253%; HC 1,21–24,30 ppm) berkat teknologi EFI dan katalis. Kendaraan <2007 menyumbang beban emisi jauh lebih besar (CO hingga 4,20% dan HC hingga 567 ppm) akibat keterbatasan karburator mekanis.
2. Karakteristik Emisi Diesel: Kendaraan diesel sampel menunjukkan tingkat kepekaan asap (*opacity*) yang terkendali dengan rata-rata harian 19,48%–26,40%, berada jauh di bawah ambang batas maksimum baku mutu.
3. Kualitas Udara Ambien: Seluruh sampel kendaraan (100%) dinyatakan lulus uji emisi. Hal ini selaras dengan kondisi Indeks Kualitas Udara (AQI) Kabupaten Bangli yang konsisten berada pada kategori "Baik" hingga "Sedang" (39–62 AQI US).

Rekomendasi Kebijakan dan Penelitian Lanjutan

1. Pemerintah Daerah dan Dinas Perhubungan:
   a. Menyelenggarakan program Pengujian Emisi Berjalan (*Uji Petik / Spot Check*) secara berkala di koridor jalan utama untuk memantau kendaraan yang tidak melakukan pengujian KIR rutin.
   b. Menerapkan skema disinsentif retribusi atau pembatasan operasional bagi kendaraan tua (<2007) yang emisi gas buangnya mendekati batas ambang kritis.
2. Pemilik Kendaraan & Masyarakat:
   a. Melakukan perawatan berkala (*tune-up*), pembersihan karburator/injektor, serta penggantian oli dan filter udara secara disiplin.
   b. Menggunakan bahan bakar ramah lingkungan bertimbal rendah / berkadar oktan tinggi (RON 92+) serta solar berkadar sulfur rendah.
3. Pengembangan Akademis Lanjutan:
   a. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pemodelan dispersi polutan udara menggunakan perangkat lunak *CALPUFF* atau *AERMOD* dengan mengintegrasikan data *Volume-Capacity Ratio* (V/C Ratio) lalu lintas koridor Bangli secara spasial.

DAFTAR PUSTAKA

Badami, M. G. (2005). Transport and air pollution in urban areas: Towards an integrated policy framework for India. *Energy Policy*, 33(13), 1697–1704. https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.02.008

Badan Standardisasi Nasional. (2005). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 19-7117.10-2005: Emisi Gas Buang - Sumber Bergerak - Cara Uji Kadar Karbon Monoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) Standar Idle*. Jakarta: BSN.

Heywood, J. B. (2018). *Internal Combustion Engine Fundamentals* (2nd ed.). New York: McGraw-Hill Education.

IQAir. (2023). *Indeks Kualitas Udara (AQI) dan Polusi Udara PM2.5 di Bangli*. Diambil 23 September 2023, dari https://www.iqair.com/id/indonesia/bali/bangli

Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2021). *Uji Emisi Kendaraan Sebagai Bentuk Kontribusi Masyarakat Terhadap Pengendalian Pencemaran Udara*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia.

Mabruwaru. (2017). *Pengertian Transportasi Menurut Beberapa Ahli*. Universitas Atma Jaya Yogyakarta. Diambil dari http://e-journal.uajy.ac.id/12048/4/MTS024302.pdf

Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 tentang *Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama*. Jakarta: Sekretariat Negara.

Peraturan Pemerintah Nomor 55 Tahun 2012 tentang *Kendaraan*. Jakarta: Sekretariat Negara.

Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2021 tentang *Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup*. Jakarta: Sekretariat Negara.

Pulkrabek, W. W. (2014). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine* (2nd ed.). Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.