

PENGARUH NILAI OKTAN BAHAN BAKAR DAN PUTARAN MESIN PADA KENDARAAN BERMOTOR TERHADAP KARAKTERISTIK EMISI GAS BUANG

I P SASTRA NEGARA ¹⁾, I W BUDIARSA SUYASA²⁾ DAN I W SUARNA ³⁾

1) Politeknik Negeri Bali Jurusan Teknik Mesin

2) Jurusan Kimia FMIPA Unud

3) Pusat Penelitian Lingkungan Hidup Lemlit Unud

ABSTRAK

Polusi udara yang telah terjadi selama ini sebagian besar disebabkan oleh keberadaan kendaraan bermotor sebagai alat transportasi, yang pada akhirnya dibarengi pula oleh peningkatan kebutuhan akan bahan bakar sebagai sumber energi utama moda transportasi. Bahan bakar minyak yang dipergunakan pada kendaraan terdiri dari beberapa jenis, di pasaran perbedaannya ditunjukkan dengan nilai oktan dan akan dapat memberikan berbagai dampak ke lingkungan akibat proses pembakarannya. Kondisi jalan sebagai lintasan moda transportasi merupakan faktor yang dapat juga memicu tumbuhnya tingkat pencemaran di sekitarnya. Di prediksi, kurang lebih 70% pencemaran udara diakibatkan oleh emisi kendaraan bermotor. Kendaraan bermotor mengeluarkan gas-gas berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan.

Penelitian ini sepenuhnya dilakukan di laboratorium, dipergunakan tiga jenis bahan bakar dengan nilai oktan yang berbeda, Premium beroktan 88, Pertamina beroktan 92, dan BioPertamax beroktan 91, kemudian diberikan perlakuan variasi putaran mesin mulai dari 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm, dan 4000 rpm. Setiap bahan bakar diberikan perlakuan pengulangan sebanyak lima kali pada masing-masing putaran mesin dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik gas buang yang keluar dari kendaraan ke lingkungan.

Hasil penelitian menunjukkan nilai oktan dari bahan bakar pada putaran 2500 rpm untuk kadar emisi gas CO bagi bahan bakar : Premium dengan nilai oktan 88 adalah 0,415%, Pertamina dengan nilai oktan 92 adalah 0,556%, dan Bio Pertamina dengan nilai oktan 91 adalah 0,273%. Begitu pula dengan gas CO₂, gas HC, dan gas NO_x juga dipengaruhi walaupun sangat kecil. Efek variasi putaran mesin serta penggunaan bahan bakar yang nilai oktannya berbeda terhadap karakteristik emisi gas buang setelah di analisis dengan statistik menunjukkan pengaruh yang signifikan, kadar gas CO dan gas HC mendapatkan indeks pengaruh negatif sedangkan kadar gas CO₂ dan NO_x mendapatkan indeks pengaruh positif. Jika dibandingkan dengan laju kendaraan di jalan dari data sekunder sebagai pembanding dengan putaran mesin yang diujikan di laboratorium, serta kepadatan kendaraan diidentifikasi sebagai faktor yang mempengaruhi putaran mesin maka pencemaran udara yang diakibatkan oleh karakteristik jalan terhadap gas CO memberikan indeks pengaruh yang negatif.

Nilai oktan bahan bakar dan variasi putaran mesin berpengaruh signifikan terhadap karakteristik emisi gas buang. Kepadatan kendaraan dan kondisi jalan dapat menjadi pemicu tingkat konsentrasi gas CO sebagai pencemar udara di sekitarnya.

Kata kunci : Nilai oktan, Putaran mesin, dan Karakteristik gas buang.

ABSTRACT

The air pollution that is occurring currently is mainly caused by the use of motor vehicle that consequently it leads to the increasing fuel consumptions as the main source energy for transportation equipment. The fuel that is used in the vehicle comes in several types. In the market its differences show by the octane numbers that can contribute different effects to the environment due to their combustion processes. The road conditions through which the vehicles move are the major factors that can trigger the growth of pollution to the surrounding. It is predicted that about 70% of the air pollution is caused by the motor vehicle emissions.

This research was fully conducted in the laboratory. Three types of fuel with different octane numbers were used in this research. Premium with octane number 88, Pertamina with octane number 92, and Biopertamax with octane number 91. The engine speeds were also varied from 500 rpm, 1000 rpm, 1500 rpm, 2000 rpm, 2500 rpm, 3000 rpm, 3500 rpm, to 4000 rpm. For every type of fuel, the engine was run five times for every engine speed in order to obtain the exhausted gas characteristics from the vehicles to the environment.

The result of the research shows that at engine speed of 2500 rpm the CO emission for each type of fuel : Premium with octane number 88 is 0,415%, Pertamina with octane number 92 is 0,556%, and Biopertamax with octane number 91 is 0,273%. The octane number also affects the CO₂, HC, and NO_x emissions in small quantities. Statistical analysis shows both the engine speed and the octane number contribute significant effects on the exhaust emissions, the CO and HC

emissions provided negative effects, while the CO₂ and NO_x emissions get positive effects. In comparison to with the vehicle speed on the road from secondary data to represent the engine speed in the laboratorium, and assuming that the traffic density is identical to a factor that determining engine speed, it can be concluded that the air pollution by CO emission due to the characteristics of the road has negative influence.

The octane number of the fuel and the engine speed gives a significant effect. The traffic density and the road conditions can trigger the level of the concentration of CO gas as pollutants to the surrounding air.

Key word : Octane number, engine speed, and exhaust gas characteristic.

PENDAHULUAN

Polusi udara akibat dari peningkatan penggunaan jumlah kendaraan bermotor yang mengeluarkan gas-gas berbahaya akan sangat mendukung terjadinya pencemaran udara dan salah satu akibatnya adalah adanya pemanasan global (Arifin, 2009). Bahan bakar minyak yang dipergunakan pada kendaraan terdiri dari beberapa jenis, di pasaran perbedaannya ditunjukkan dengan nilai oktan dan akan dapat memberikan berbagai dampak ke lingkungan akibat proses pembakarannya.

Di prediksi, kurang lebih 70% pencemaran udara diakibatkan oleh emisi kendaraan bermotor (Munawar, 1999). Kendaraan bermotor mengeluarkan zat-zat berbahaya yang dapat menimbulkan dampak negatif, baik terhadap kesehatan manusia maupun lingkungan (Kuswara, 2006).

Penyebab terjadinya pencemaran udara yang dihasilkan transportasi tidak sekedar dari emisi gas buang semata, tetapi situasi dan kondisi jalan yang ada akan sangat mempengaruhi unsur-unsur bahan polutan yang terdapat di kawasan sekitar pengguna moda transportasi (Soedomo, 2001). Laju kendaraan di jalan raya akan menjadi salah satu faktor penentu konsentrasi pencemaran udara yang terjadi (Ruktiningsih, 2006).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh nilai oktan bahan bakar terhadap karakteristik emisi gas buang, mengetahui seberapa besar hubungan dan pengaruh putaran mesin terhadap karakteristik emisi gas buang jika menggunakan bahan bakar dengan nilai oktan berbeda, dan mengetahui hubungan kepadatan kendaraan dengan pencemaran udara akibat emisi karbon monoksida (CO) dari gas buang di lingkungan kawasan pengguna moda transportasi berdasarkan laju kecepatan kendaraan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini sepenuhnya dilaksanakan di Laboratorium Otomotif Politeknik Negeri Bali, data primer diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar dengan nilai oktan berbeda-beda dan perlakuan variasi putaran mesin, untuk mengetahui karakteristik gas buang dan dipergunakan data sekunder dari jalan Gajah Mada

Denpasar yang dianggap kondisinya mewakili sebagai pembanding.

Perlakuan dalam penelitian ini adalah adanya variasi putaran mesin dari 500 rpm (rotation per menit) sampai 4000 rpm dengan interval masing-masing 500 rpm terhadap tiga jenis sampel bahan bakar yaitu Premium, Pertamina, dan Biopertamax yang memiliki nilai oktan berbeda. Pada setiap bahan bakar diberikan masing-masing perlakuan putaran mesin, dan setiap jenis bahan bakar dengan satu putaran mesin dilakukan pengulangan sebanyak lima kali, dari total keseluruhan sampel yang diberi perlakuan akan didapatkan 480 data.

Alat dan bahan yang dipergunakan meliputi satu unit kendaraan Suzuki Katana GX 1000 CC, produksi tahun 2005, dengan perbandingan kompresi 8,8 : 1, alat pengukur : emisi gas buang (automotif emission analyser), temperatur udara (thermometer), kelembaban udara (higrometer), kompresi mesin, temperatur mesin (digital thermometer sensor), putaran mesin (tacho meter), kamera digital, pencatat pengambilan data, dan bahan bakar : Premium (RON 88), Pertamina (RON 92), serta Biopertamax (RON 91) (Anon, 2006).

Variabel yang diukur dalam penelitian ini adalah gas CO(%), gas CO₂(%), gas HC(ppm), dan gas NO_x(%), yang merupakan data primer.

Data sekunder yang dipergunakan meliputi data kepadatan kendaraan, konsentrasi gas karbon monoksida udara ambien, di kawasan jalan Gajah Mada Denpasar. Data sekunder ini dipakai sebagai pembanding antara gas buang khususnya CO yang diperoleh dari hasil percobaan laboratorium dengan data lapangan.

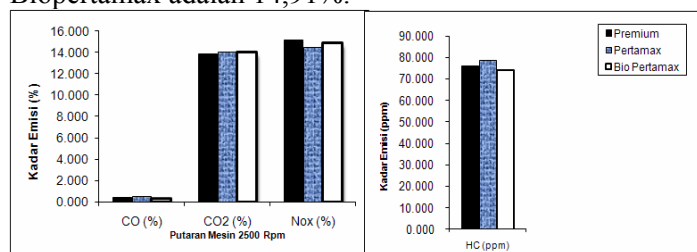
Percobaan ini menggunakan rancangan acak lengkap pola faktorial dengan dua faktor. Faktor pertama adalah nilai oktan dan faktor ke dua adalah putaran mesin, serta percobaan diulangi sebanyak lima kali.

Data hasil selanjutnya diolah dan dianalisis dengan menggunakan analisis statistik uji F yang dikenal dengan istilah Anova (analysis of variance) dengan taraf nyata (level of significant) sebesar 5% ($\alpha=0,05$) (Sugiyono, 1999). Analisis statistik regresi kuadrat selanjutnya dipergunakan untuk mengetahui besarnya indeks pengaruh putaran mesin dan nilai oktan bahan bakar terhadap karakteristik gas buang pada kendaraan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengaruh Nilai Oktan terhadap Karakteristik Gas Buang

Gas hasil pembakaran yang berupa CO, CO₂, HC, dan NO_x dibandingkan pada putaran optimum mesin yaitu 2500 rpm, diperlihatkan pada Gambar 1. Kadar gas buang untuk CO dari bahan bakar : Premium adalah 0,415%, Pertamina adalah 0,556%, dan Biopertamax adalah 0,273%. Gas CO₂ berturut-turut yaitu Premium adalah 13,855%, Pertamina adalah 14,048%, dan Biopertamax adalah 14,072%, sedangkan gas HC untuk Premium adalah 76,200 ppm, Pertamina adalah 79,000 ppm, dan Biopertamax adalah 74,200 ppm, serta gas NO_x untuk Premium adalah 15,10%, Pertamina adalah 14,53%, dan Biopertamax adalah 14,91%.

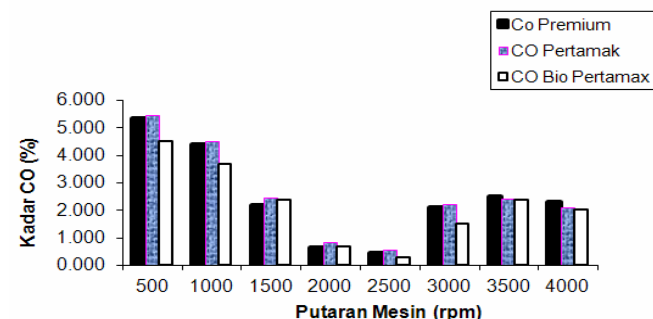


Gambar 1. Pengaruh nilai oktan terhadap karakteristik gas buang

Dengan analisis Anova dua arah didapat pengaruh nilai oktan yang berbeda berpengaruh signifikan terhadap karakteristik emisi gas buang.

2. Pengaruh Putaran Mesin dan Nilai Oktan terhadap Gas CO

Grafik pada Gambar 2 menunjukkan bahwa pada putaran awal yang berkisar 500 rpm menghasilkan gas buang dengan kadar CO paling tinggi untuk hampir di setiap bahan bakar yang dipergunakan, hanya pada bahan bakar.



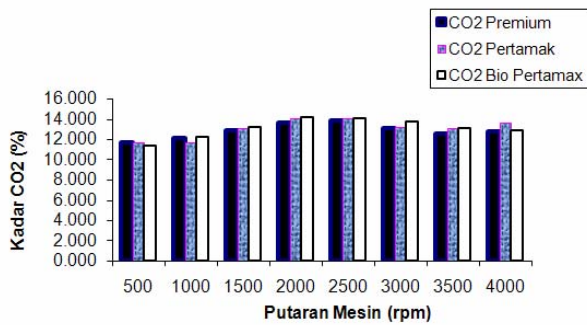
Gambar 2. Pengaruh putaran mesin dan nilai oktan terhadap konsentrasi gas CO

Biopertamax secara keseluruhan dalam penelitian ini menghasilkan gas CO sedikit lebih rendah jika

dibandingkan dengan Pertamina dan Premium. Gas CO secara umum dihasilkan oleh pembakaran yang tidak sempurna diakibatkan karena kekurangan oksigen (Arismunandar, 1988). Nilai terendah CO yang dicapai oleh Biopertamax pada putaran mesin 2500 rpm yaitu 0,283%, namun pada putaran selanjutnya secara keseluruhan dari ketiga jenis bahan bakar yang digunakan akan mengalami kenaikan kadar CO pada gas buang yang dihasilkan, hal disebabkan adanya penambahan jumlah campuran bahan bakar dan udara baru akibat kenaikan putaran mesin di dalam proses untuk meningkatkan daya, sehingga pembakaran yang sempurna tidak tercapai (Bosch, 1999). Statistik Anova menunjukkan nilai F dari karbon monoksida adalah 11,951 dengan mengambil taraf nyata 5% (0,05), maka gas CO yang dihasilkan oleh gas buang dari ketiga jenis bahan bakar tersebut terhadap putaran mesin adalah mempunyai pengaruh yang signifikan. Besarnya indeks pengaruh ditentukan dengan analisis statistik regresi kuadratik dengan $r = 0,539$, nilai signifikansi 0,000 ($0,000 < \alpha = 0,05$) dan diperoleh besarnya indeks pengaruh antara putaran mesin dan CO Premium sebesar $-0,001$, maksudnya setiap kenaikan putaran mesin akan diikuti oleh penurunan kadar CO secara signifikan.

3. Pengaruh Putaran Mesin Dan Nilai Oktan Terhadap Gas CO₂

Gambar 3 menunjukkan bahwa pada putaran awal yang berkisar 500 rpm menghasilkan gas buang dengan kadar CO₂ paling rendah untuk bahan bakar Premium yaitu sebesar 11,626% dan yang tertinggi pada putaran 2500 rpm yaitu sebesar 13,855%. Pada bahan bakar Pertamina nilai terendah kadar CO₂ dari gas buang terjadi pada 1000 rpm yaitu sebesar 11,642% dan yang tertinggi pada putaran 2000 rpm yaitu sebesar 14,096, BioPertamax terendah pada 500 rpm sebesar 11,398% dan tertinggi pada 2000 rpm sebesar 14,110%. Kondisi ini dapat terjadi akibat pada putaran rendah pembakaran belum sempurna yang disebabkan oleh campuran udara dan bahan bakar masih dalam kondisi gemuk/kaya. Jika pembakaran yang terjadi mendekati sempurna atau bahkan sempurna maka yang dihasilkan oleh proses pembakaran hanyalah CO₂ dan uap air (Anonim, 2001). Statistik Anova menunjukkan nilai F dari CO₂ adalah 5,827 dengan mengambil taraf nyata 5% (0,05), maka gas CO₂ yang dihasilkan oleh gas buang dari ketiga jenis bahan bakar tersebut terhadap putaran mesin adalah mempunyai pengaruh yang signifikan. Besarnya indeks pengaruh ditentukan dengan analisis statistik regresi linier dengan $r = 0,391$ nilai signifikansi 0,000 ($0,000 < \alpha = 0,05$) dan diperoleh besarnya indeks pengaruh antara putaran mesin dan CO₂ Premium sebesar 0,001, maksudnya setiap kenaikan putaran mesin akan diikuti oleh peningkatan kadar CO₂ secara signifikan.

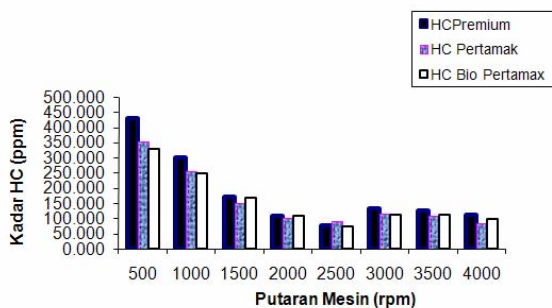


Gambar 3. Pengaruh putaran mesin dan nilai oktan terhadap konsentrasi gas CO₂

4. Pengaruh Putaran Mesin dan Nilai Oktan terhadap Gas HC

Gambar 4 menunjukkan perbandingan gas HC dari gas buang yang dihasilkan pada proses pembakaran antara bahan bakar Premium, Pertamina, dan BioPertamax dengan berbagai variasi putaran mesin dari 500 rpm sampai 4000 rpm.

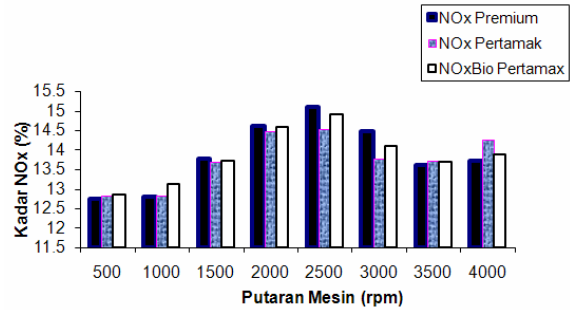
Pada putaran awal 500 rpm menghasilkan gas buang dengan kadar HC paling tinggi, untuk Premium adalah 431,0 ppm, Pertamina adalah 354,0 ppm, dan BioPertamax adalah 327,0 ppm. Kadar HC terendah pada gas buang terjadi pada putaran 2500 rpm, yaitu untuk Premium senilai 76,2 ppm, Pertamina senilai 92,2 ppm, dan BioPertamax senilai 72,0 ppm. Analisis Anova menunjukkan nilai F dari HC adalah 11,897 dengan mengambil taraf nyata 5% (0,05), maka gas HC yang dihasilkan oleh gas buang dari ketiga jenis bahan bakar tersebut terhadap putaran mesin adalah mempunyai pengaruh yang signifikan.



Gambar 4. Pengaruh putaran mesin dan nilai oktan terhadap konsentrasi gas HC

Besarnya indeks pengaruh ditentukan dengan analisis regresi linier dengan $r = 0,781$, nilai signifikansi 0,000 ($0,000 < \alpha=0,05$) dan diperoleh besarnya indeks pengaruh antara putaran mesin dan HC Premium sebesar -0,078, maksudnya setiap kenaikan putaran mesin akan diikuti oleh penurunan kadar HC secara signifikan.

5. Pengaruh Putaran Mesin dan Nilai Oktan terhadap Gas NOx



Gambar 5 Pengaruh putaran mesin dan nilai oktan terhadap konsentrasi gas NOx

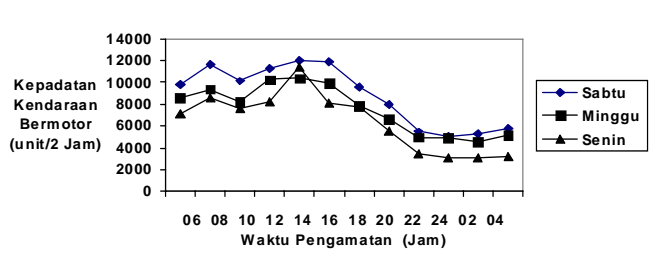
Grafik pada gambar 5 menunjukkan bahwa pada putaran awal 500 rpm menghasilkan gas buang dengan kadar NOx paling rendah untuk hampir disetiap bahan bakar yang dipergunakan, pada bahan bakar Premium menghasilkan NOx sedikit lebih rendah yaitu 12,75% jika dibandingkan dengan Pertamina sebesar 12,82% dan Biopertamax sebesar 12,85%.

Jumlah tertinggi kadar NOx pada gas buang dihasilkan oleh proses pembakaran Biopertamax sebesar 14,91%, kemudian Pertamina sebesar 14,53%, dan Premium sebesar 12,75%. Gas NOx secara umum dihasilkan oleh nitrogen dan oksigen di dalam campuran bahan bakar dan udara, bila temperatur ruang bakar naik di atas 1800°C (Obert, 1983). Analisis Anova menunjukkan nilai F dari NOx adalah 17,361 dengan mengambil taraf nyata 5% (0,05), maka gas NOx yang dihasilkan oleh gas buang dari ketiga jenis bahan bakar tersebut terhadap putaran mesin adalah mempunyai pengaruh yang signifikan. Besarnya indeks pengaruh ditentukan dengan analisis statistik regresi linier dengan $r = 0,461$, nilai signifikansi 0,000 ($0,000 < \alpha=0,05$) dan diperoleh besarnya indeks pengaruh antara putaran mesin dan NOx Premium sebesar 0,001, maksudnya setiap kenaikan putaran mesin akan diikuti oleh peningkatan kadar NOx secara signifikan.

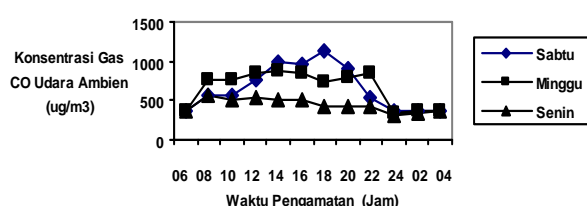
6. Hubungan Konsentrasi Gas CO dengan Kepadatan Kendaraan

Data sekunder mengenai kondisi jumlah gas CO di udara ambien dihubungkan dengan jumlah kendaraan yang melintas di jalan di Jalan Gajah Mada diperlihatkan pada Gambar 6, dan Gambar 7, semakin padat jumlah kendaraan yang melintas maka semakin tinggi tingkat konsentrasi gas CO yang terdapat diudara sekitarnya (Bulda, 2009). Menurut Putranto (2008), tingkat kepadatan kendaraan bermotor di Jalan Gajah Mada Denpasar memiliki tingkat

kepadatan dengan kategori sangat tinggi (*very high*), karena tingkat kepadatannya lebih besar dari 900 unit/jam.



Gambar 6. Kepadatan Kendaraan Menurut Waktu Pengamatan di Jalan Gajah Mada Denpasar Tahun 2008



Gambar 7. Konsentrasi Gas Karbon Monoksida Udara Ambien Menurut Waktu Pengamatan di Jalan Gajah Mada Denpasar Tahun 2008

Kecepatan kendaraan yang melintas dihasilkan dari putaran mesin akibat proses pembakaran bahan bakar, sehingga dapat diidentikkan bahwa semakin tinggi kadar CO pada udara ambien disekitar jalan pengguna moda transportasi menandakan jalannya kendaraan semakin lambat bahkan mungkin berhenti atau macet sehingga berada pada putaran mesin yang rendah (Ruktiningsih, 2006). Gambar 2 menunjukkan perbandingan yang identik dengan kondisi sebenarnya di jalan Gajah Mada, dimana pada putaran mesin yang rendah dari 500 rpm sampai 1500 rpm kondisi kendaraan diam atau berjalan pelan kandungan CO di udara ambien konsentrasinya tinggi sedangkan pada putaran mesin 2000 rpm sampai 2500 rpm kondisi kendaraan berjalan lancar sampai cepat kandungan CO di udara ambien menjadi lebih rendah.

Secara alami gas karbon monoksida di udara konsentrasinya sangat sedikit, yaitu hanya sekitar 0,1 ppm. Di daerah perkotaan dengan lalu lintas yang padat konsentrasinya berkisar antara 10 - 15 ppm. Menurut Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 06 tahun 2006 baku mutu emisi kendaraan bermotor tidak boleh melebihi 4,5% CO dan 1200 ppm HC dalam operasionalnya, dengan demikian maka kadar gas CO pada Gambar 2 masih berada dibawah baku mutu ketentuan yang berlaku. Sejak lama sudah diketahui, bahwa konsentrasi gas karbon monoksida yang tinggi dapat menyebabkan gangguan kesehatan, bahkan dapat menyebabkan kematian (Wardhana, 2004).

SIMPULAN DAN SARAN

1. Simpulan

Perbedaan nilai oktan bahan bakar berpengaruh signifikan terhadap karakteristik emisi gas buang yang keluar ke lingkungan.

Variasi putaran mesin (rpm) mulai 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, dan 4000, dengan nilai oktan yang berbeda berpengaruh signifikan terhadap karakteristik gas buang seperti karbon monoksida(CO), karbon dioksida (CO₂), hidro karbon (HC), dan nitrogen oksid (NOx). Pada putaran 2500 rpm diperoleh kadar emisi gas buang paling rendah dan kadar emisi gas buang tertinggi diperoleh pada putaran 500 rpm.

Besarnya konsentrasi emisi karbon monoksida (CO) di jalan sekitar pengguna moda transportasi akan sangat dipengaruhi oleh kepadatan dan laju kecepatan kendaraan

2. Saran

Bahan bakar dengan nilai oktan yang lebih tinggi sebaiknya dipergunakan pada mesin yang berkompresi lebih tinggi.

Pemerintah Kota Denpasar melalui instansi terkait diharapkan untuk dapat menetapkan uji emisi gas buang bagi semua kendaraan yang melintas di jalan umum agar emisi yang keluar ke lingkungan dapat direduksi seminimal mungkin.

Disepanjang Jalan Gajah Mada diharapkan bebas parkir sehingga arus kendaraan yang melintas menjadi lebih lancar dan dapat mengurangi penumpukan kadar CO disekitarnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2001. *Portfolio Bahan Bakar Cair*. Mata Kuliah Teknik Pembakaran Teknik Kimia Universitas Indonesia.
- Anonim. 2006. *Bahan Bakar Minyak, Elpiji, dan Bahan Bakar Gas*. Direktorat Hilir Bidang Pemasaran dan Niaga Departemen Pengembangan Pasar Bahan Bakar Minyak. Jakarta : Penerbit Pertamina.
- Arifin, Z., 2009. *Pengendalian Polusi Kendaraan*. Bandung : Penerbit Alfabeta.
- Arismunandar, W. 1988. *Penggerak Mula Motor Bakar Torak*. Bandung : Penerbit ITB Bandung.
- Bosch R, G. 1999. *Emission Control for Gasoline Engines*. 3rd Edition. Stuttgart, Germany.
- Bulda M., 2009. "Hubungan Kepadatan Kendaraan dengan Gas Karbon Monoksida Udara Ambien dan Karbosihemoglobin Juru Parkir di Jalan Gajah Mada Denpasar"(tesis). Denpasar: Universitas Udayana.

- Darmono. 2001. *Lingkungan Hidup dan Pencemaran Hubungannya Dengan Toksikologi Senyawa Logam*. Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.
- Kuswara. 2006. Inventori Emisi Polutan CO, Nox, HC dan SPM di Kabupaten Bandung. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 3 (1) : 215-224.
- Munawar, A. 1999. *Traffic Accident Database Management System in Indonesia*, Proceedings the 3rd International Conference on Accident Inverstigation, Reconstruction. Jakarta.
- Obert, E.F. 1983. *Internal Combustion Engines and Air Pollution*. New York : Harper and Row Publisher.
- Putranto, L.S. 2008. *Rekayasa Lalu Lintas*. Jakarta : PT. Macanan Jaya Cemerlang.
- Rimanto, D. 2007. *Pengelolaan Resiko Pencemaran Udara dari Kendaraan Bermotor di Jalan MH. Thamrin-Jakarta Pusat*. Proseding Seminar Nasional Pascasarjana VII, ITS Surabaya.
- Ruktiningsih, R. dkk. 2006. *Model Hubungan Antara Kecepatan Lalu-Lintas dan Konsentrasi CO Ambient pada Jalan Raya*. *Jurnal Teknik Lingkungan*. Edisi Khusus, Agustus 2006 : halaman 13. Dipublikasikan oleh Teknik Lingkungan Institut Teknologi Bandung.
- Sastrawijaya, A.T. 1991. *Pencemaran Lingkungan*. Surabaya : Penerbit Rineka Cipta.
- Soedomo, M. 2001. *Pencemaran Udara*. Bandung : Penerbit Institut Teknologi Bandung.
- Sugiyono. 1999. *Statistik Non Parametris untuk Penelitian*. Bandung : Penerbit Alfabeta.
- Wardana, W.A. 2004. *Dampak Pencemaran Lingkungan*. Yogyakarta : Penerbit Andi.