



Pengaruh variasi daya mesin diesel Dongfeng R175 berbahan bakar oli bekas terhadap emisi CO, CO₂, HC, dan opasitas

Effect of power variation of the Dongfeng R175 diesel engine fueled by used lubricants on CO, CO₂, HC, and opacity emissions

A. Sasmita^{1*}, Yohanes², A.R. Widyanto¹

¹Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya, Pekanbaru, Riau, 28295, Indonesia.

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Kampus Binawidya, Pekanbaru, Riau.

*E-mail: aryosasmita@lecturer.unri.ac.id

ARTICLE INFO

ABSTRACT

Article History:

Received 18 February 2021

Accepted 9 September 2021

Available online 1 October 2021

Keywords:

Exhaust gas emissions

Diesel engine

Used lubricant



The Production Laboratory of the Department of Mechanical Engineering, Riau University, has modified the diesel engine used as a used oil-fueled generator, but that the emission feasibility test has not been carried out. The purpose of this study was to analyze the relationship between power variation of the diesel engine as a generator with the amount of emissions produced. This research was conducted by direct measurement of the emission produced by a diesel engine using a gas analyzer, by operating the diesel engine for 30 minutes and measuring emissions every 5 minutes. This study also varied the power load, starting at idle, 700 W, 1000 W, and a maximum power of 2000 W. The results obtained that the highest emission level accrued when the engine operated at a maximum power of 2000 W, it has exceeded the quality standard. At a power load of 0 W, 700 W, and 1000 W was generally still below the quality standard.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 11, No.2, October 2021, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk. Seiring dengan kemajuan ekonomi maka laju konsumsi energi tidak dapat direm (Pradnyana, dkk. 2016). Saat ini pemakaian sumber daya energi didominasi dengan penggunaan sumber daya energi fosil, seperti bahan bakar minyak / minyak diesel, dan batubara, sedangkan pemakaian sumber daya energi baru dan terbarukan belum banyak dimanfaatkan (Hoetman, 2017). Disisi lain data Badan Pusat Statistik (2019) menyebutkan peningkatan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia mencapai 6 juta lebih tiap tahunnya. Dengan asumsi oli yang terbakar atau terbuang dalam pemakaian mencapai 20%, maka dalam satu tahun diperoleh *supply* oli bekas sebesar 18.060.188 juta liter per tahun. Hal yang demikian tentunya

berdampak pada banyaknya minyak pelumas bekas yang dihasilkan. Selama ini minyak pelumas bekas, selain dibuang, dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar pada industri batu gamping atau dibakar begitu saja. Pembakaran minyak pelumas bekas secara langsung dikhawatirkan akan menimbulkan pencemaran udara yang tinggi (Hasbi, dkk. 2019)

Dalam rangka mengatasi menipisnya bahan bakar fosil dan untuk mengurangi kelangkaan bahan bakar dilakukan dengan menggunakan bahan bakar alternatif dari limbah, salah satunya adalah memanfaatkan oli bekas sebagai bahan bakar mesin diesel (Suparta, 2017). Penggunaan transportasi darat dengan mesin diesel semakin tinggi jumlahnya dan sangat sulit untuk dibatasi bahkan untuk dikurangi, karena belum ada regulasi dari Pemerintah tentang pembatasan dan pengurangan pemakaian mesin diesel, karena mesin diesel lebih efisien dibandingkan dengan mesin otto, akibat tidak adanya pembatasan pemakaian mesin diesel maka akan menimbulkan masalah lingkungan dan kesehatan (Telaoembanoea, 2016).

Di Laboratorium Teknologi Produksi, Jurusan Teknik Mesin, Universitas Riau telah dilakukan penelitian yang memanfaatkan oli bekas sebagai bahan bakar dengan memodifikasi motor diesel dengan merek dagang Dongfeng R175 untuk dapat membangkitkan energi listrik skala rumah tangga dengan menggunakan bahan bakar dari oli bekas. Pada penelitian yang telah dilakukan oleh Yohanes dan Fachrurrozi (2018), mengenai modifikasi mesin diesel menjadikan oli bekas sebagai bahan bakar alternatif. Penggunaan oli bekas yang digunakan sebagai bahan bakar untuk mesin diesel dapat dioperasikan dan digunakan tanpa adanya perlakuan khusus pada oli bekas yang akan digunakan sebagai bahan bakar. Tingkat efisiensi mesin diesel yang menggunakan bahan bakar oli bekas lebih baik dari efisiensi mesin diesel menggunakan bahan bakar berupa biosolar. Dengan efisiensi volumetrik dalam oli bekas dengan 51,6365%, sedangkan pada biosolar dengan efisiensi volumetriknya 51,6316%. Namun permasalahannya adalah belum dilakukannya pengujian kelayakan emisi dari mesin diesel hasil modifikasi tersebut saat beroperasi, sehingga belum diketahui pengaruh gas buangnya terhadap kualitas udara.

Beberapa penelitian sebelumnya telah melakukan pengujian emisi gas buang dari mesin diesel. Lutfiwijaya, dkk (2018) telah menguji gas buang pada mesin diesel yang menggunakan bahan bakar campuran oli bekas hidrolik dan solar. Hasilnya emisi yang dihasilkan bahan bakar yang menggunakan hanya solar tidak melebihi baku mutu, namun untuk bahan bakar campuran solar dan oli bekas hidrolik telah melebihi baku mutu. Pranaditya, dkk. (2016) telah melakukan penelitian menggunakan campuran bahan bakar oli bekas yang telah diolah (*treatment*) dan solar. Hasil penelitian tersebut, emisi yang dihasilkan berada di bawah baku mutu. Pada penelitian ini digunakan mesin diesel Dongfeng R175 telah dimodifikasi untuk dapat beroperasi menggunakan oli bekas tanpa proses pengolahan dan tanpa campuran bahan bakar lain dengan memvariasikan daya operasi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan daya operasi dengan emisi yang dikeluarkan dari gas buang mesin diesel merk Dongfeng R175 yang telah dimodifikasi dengan oli bekas sebagai bahan bakar. Gas buang yang dimaksud yaitu CO, CO₂, HC, dan Opasitas (λ). Berdasarkan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama hanya nilai Opasitas (λ) yang menjadi parameter baku mutu untuk mesin diesel sedangkan gas CO, CO₂, dan HC tidak.

2. METODE PENELITIAN

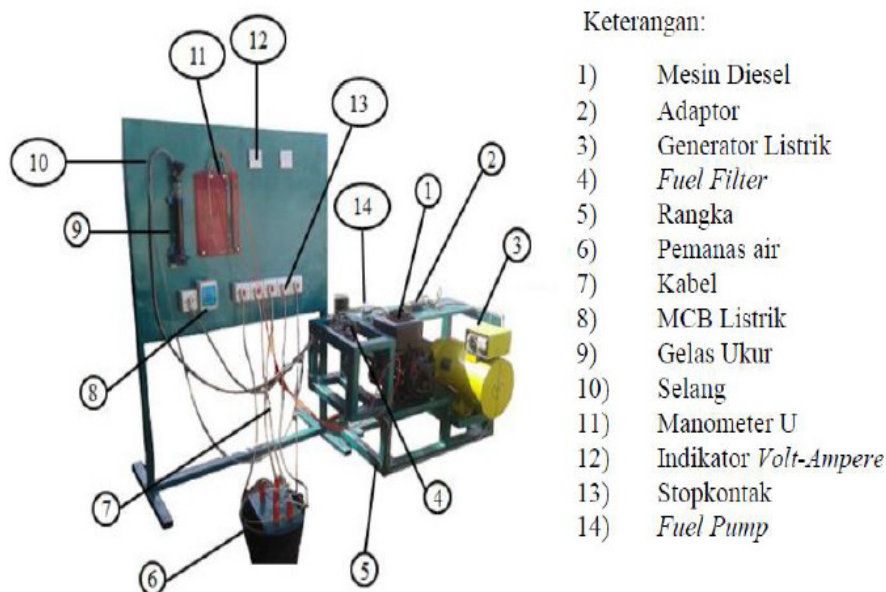
2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah limbah oli bekas yang didapatkan dari bengkel resmi sepeda motor honda. Alat pengujian emisi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah alat *Gas Analyzer* tipe diesel dengan merek dagang Qrotech OPA 102 dan mesin diesel statis dengan merk dagang Dongfeng yang telah dimodifikasi. Spesifikasi dan gambar mesin sebagai berikut dapat dilihat pada tabel 1 dan gambar 1.

Tabel 1. Spesifikasi mesin diesel yang digunakan, Yohanes dan Fachrurrozi (2018)

Nama	Spesifikasi
Model	R175
Merek	Dongfeng
Tipe	4 Langkah
Sistem Pembakaran	Ruang Bakar Kamar Puser
Jumlah Silinder	1 Silinder
Diameter x Panjang Langkah	75 mm x 80 mm
Volume Silinder	353 cc

Nama	Spesifikasi
Perbandingan Kompresi	22 : 1
Tenaga Maksimum/RPM	7 HP / 2600
Tenaga Rata-rata	6.5 HP
Pemakaian Bahan Bakar	294,2
Kapasitas Oli	2 Liter
Sistem Pendingin	Air dengan Hoper
Sistem Pelumas	Tekanan/Percikan
Cara Menghidupkan	Engkol
Jenis Oli	SAE 40 Jenis Diesel
Ukuran Peti	7 Liter
Berat Kotor	77 kg



Gambar 1. Rancangan mesin diesel yang digunakan, Yohanes dan Fachrurrozi (2018)

2.2 Variabel Penelitian

Variasi daya atau beban yang dihasilkan oleh mesin diesel statis dengan dioperasikan tanpa daya, daya 700 W, 1000 W, 2000 W.

2.3 Persiapan Awal

Oli bekas yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari bengkel resmi sepeda motor Honda Aro Motor di Jalan Garuda Sakti Km 1 No 32, Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru. Sampel oli bekas tersebut diambil dengan menggunakan teknik *Random Sampling* yaitu teknik sampling acak sederhana atau suatu teknik pengambilan sampel secara acak, dimana setiap elemen atau anggota populasi memiliki kesempatan yang sama untuk terpilih menjadi sampel. Identifikasi karakteristik oli bekas dilakukan dengan pengujian nilai kalor.

2.4 Pengukuran emisi gas CO, CO₂, HC, dan Opasitas (λ)

Pengukuran emisi gas CO, CO₂ dan opasitas dilakukan dengan menggunakan *gas analyzer* yang terpasang pada cerobong gas buang mesin diesel statis. Untuk setiap pengukuran konsentrasi sampel gas CO dibutuhkan waktu selama 20 detik dan mesin yang telah beroperasi selama 5 menit, 10 menit, 15 Menit, 20 menit, 25 menit dan 30 menit, tata cara pengukuran emisi CO ini dilakukan sesuai dengan SNI 19-7118.3-2005 tentang Emisi Gas Buang - Sumber Bergerak - Bagian 3: Cara Uji Kendaraan Bermotor Kategori L pada Kondisi Idle. Kaidah SNI 19-7118.3-2005 pengukuran cukup hanya dilakukan 1 kali, namun pada penelitian ini pengambilan sampel dilakukan setiap 5 menit selama 30 menit untuk melihat kestabilan emisi ga buang yang dihasilkan.

2.5 Pengolahan dan analisis data

Penelitian dilakukan secara eksperimental dengan variasi waktu operasi mesin dengan daya yang dihasilkan oleh mesin diesel dan dilakukan pengujian pada mesin diesel untuk mengetahui besaran tingkat emisi yang dikeluarkan ketika mesin diesel beroperasi. Data penelitian yang didapat diolah menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* untuk mendapatkan grafik tren kestabilan emisi yang dikeluarkan mesin diesel untuk melihat korelasi antara beban daya yang dihasilkan mesin juga waktu operasi dengan emisi gas buang yang dikeluarkan. Hasil penelitian berupa grafik tren nilai emisi yang dikeluarkan oleh mesin diesel ketika beroperasi. Data tingkat opasitas yang dikeluarkan oleh mesin diesel berbahan bakar dibandingkan dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Berdasarkan analisis data tersebut ditarik kesimpulan untuk mengetahui pengaruh besar daya mesin terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Karakteristik Oli Bekas Sebagai Bahan Bakar

Berdasarkan data hasil uji nilai kalor dari oli bekas yang diuji di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Riau dengan menggunakan alat uji *bomb calorimeter*, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 2. Nilai kalor oli bekas dan dextrite

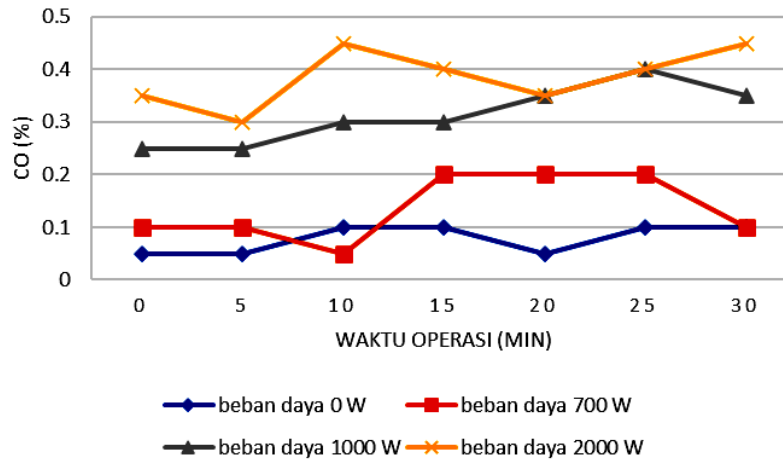
Bahan bakar	Nilai kalor
Oli bekas	50.445 kJ/kg
Dextrite	47.554 kJ/kg

Pada Tabel 2 menunjukkan nilai kalor oli bekas yang dibandingkan dengan dextrite umumnya digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Perbandingan karakteristik antara oli bekas dan dextrite yang digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel ini bertujuan untuk mengetahui jenis bahan bakar mana yang lebih baik lebih memberikan daya yang lebih besar pada mesin diesel.

Menurut Maleev (1991) menjelaskan bahwa nilai kalor yang dikandung dalam setiap satuan massa bahan bakar. Semakin tinggi nilai kalor suatu bahan bakar, semakin besar energi yang dikandung bahan bakar tersebut persatuan massa. Hal ini menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan oleh oli bekas sebagai bahan bakar lebih besar daripada energi yang dihasilkan oleh dextrite. Pranaditya (2016) mengatakan nilai kalor dan properties bahan bakar berpengaruh terhadap emisi gas yang dihasilkan, dibanding sifat fisik bahan bakar yang lain (densitas dan viskositas). Hal ini menunjukkan bahwa, penggunaan oli bekas sebagai bahan bakar mesin diesel lebih menghasilkan energi yang lebih besar dan juga lebih sedikit pemakaian untuk bahan bakar, hal ini dapat dilihat dengan perbandingan nilai kalor dari oli bekas yang lebih besar daripada dextrite.

3.2 Emisi Gas Buang CO

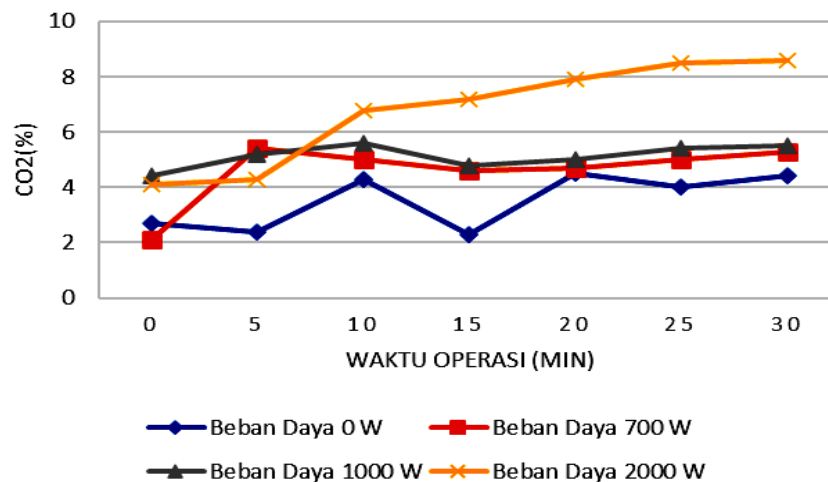
Emisi gas buang CO yang dikeluarkan saat mesin diesel dioperasikan selama 30 menit dapat dilihat pada gambar 3. Gambar 3 menunjukkan grafik tingkat konsentrasi emisi gas buang CO yang dikeluarkan dari mesin diesel statis yang menggunakan oli bekas sebagai bahan bakar. Konsentrasi CO tertinggi adalah sebesar 0.45 % yang dikeluarkan saat mesin diesel statis beroperasi saat diberi beban daya sebesar 2000 W. Sedangkan nilai konsentrasi terendah adalah sebesar 0.05% yang dikeluarkan saat mesin diesel statis beroperasi tanpa diberikan beban daya. Dari grafik dapat dilihat, konsentrasi CO saat mesin dioperasikan tanpa daya sangat rendah dengan *range* 0.05% hingga 0.1%. Nilai konsentrasi CO pada awal operasi mesin terus naik seiring dengan memberikan beban daya kepada mesin diesel sesuai dengan variabel penelitian yang telah ditetapkan. Semakin ditambahkan beban daya ke mesin diesel maka semakin tinggi juga konsentrasi emisi gas CO. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian Gad (2015), yang menyatakan Emisi CO meningkat seiring peningkatan beban daya dari beban yang lebih rendah ke beban yang lebih tinggi. Hal ini terjadi karena pada beban daya yang lebih tinggi terjadi penurunan rasio udara-bahan bakar. Temperatur pembakaran yang lebih tinggi pada beban daya yang lebih rendah berkontribusi pada tren penurunan emisi CO secara umum. Namun hasil ini berbeda dari penelitian Telaoembanoea (2016) yang mendapatkan hasil besaran putaran mesin yang meningkat, akan menurunkan emisi gas CO yang dikeluarkan. Hal ini diperkirakan karena pada penelitian Telaoembanoea (2016) menggunakan mesin dan bahan bakar yang berbeda dari penelitian ini, yaitu mesin mobil diesel type 2500 CC dan bahan bakar solar dan biosolar.



Gambar 3. Emisi gas CO

Carbon Monoksida (CO) merupakan hasil pembakaran tidak sempurna di suatu ruang bakar pada mesin dan berbahaya bagi kesehatan. Diukur dalam persentase (%). Hasil yang ideal adalah 0,5 – 3% (Rauf dkk, 2014). Maka dapat diambil kesimpulan, batas toleransi CO hasil pembakaran mesin adalah dibawah 3%. Jika dilihat berdasarkan grafik, konsentrasi CO dari mesin diesel yang dioperasikan tanpa beban daya hingga diberikan beban daya maksimal sebesar 2000 W mengeluarkan konsentrasi CO paling tinggi adalah sebesar 0,45%. Nilai konsentrasi ini sangat jauh rendah dari batas toleransi sebesar 3%.

3.3 Emisi Gas Buang CO₂

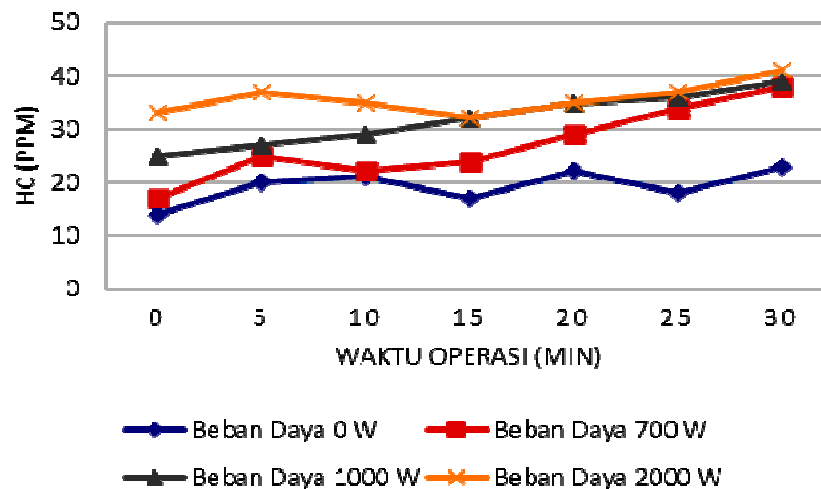


Gambar 4. Emisi gas CO₂

Gambar 4 menunjukkan grafik tingkat emisi gas buang CO₂ yang dikeluarkan dari mesin diesel statis yang menggunakan oli bekas sebagai bahan bakar. Konsentrasi CO₂ tertinggi adalah sebesar 8.6% yang dikeluarkan saat mesin diberikan beban daya maksimum sebesar 2000 W. Sedangkan konsentrasi CO₂ terendah adalah sebesar 2.1% yang dikeluarkan saat mesin diberikan beban daya 700 W. Pada grafik dapat dilihat, tingkat konsentrasi emisi CO₂ naik seiring dengan ditambahkan beban daya pada mesin diesel. Hal ini berarti menunjukkan bahwa seiring dengan bertambah lamanya mesin dihidupkan, maka pembakaran CO₂ menunjukkan hasil pembakaran di dalam mesin. Angka idealnya harus diatas 12% dan maksimal 16%. Semakin tinggi nilainya, maka makin baik pembakaran yang terjadi dengan demikian, energi yang dibakar pun makin banyak. Bila CO₂ dibawah 12% ada beberapa faktor hal yang harus disesuaikan, seperti campuran bahan bakar dengan udara kurang tepat atau ruang bakar yang kotor (Mara dkk, 2019).

Konsentrasi CO₂ tertinggi sebesar 10% pada beban daya maksimal sebesar 2000 W. Nilai konsentrasi yang dibawah nilai idealnya sebesar 12% menunjukkan pembakaran di ruang bakar antara udara dan bahan bakar yang menggunakan oli bekas di dalam ruang bakar mesin diesel masih tidak sempurna. Pada penelitian yang dilakukan Lupita (2013) mengatakan bahwa semakin rutin melakukan perawatan pada mesin, maka nilai karbon dioksida yang dihasilkan akan semakin tinggi. Karbon dioksida merupakan hasil sampingan dari pembakaran bahan bakar fosil dengan udara yang *stokiometris*, semakin rutin kendaraan melakukan servis maka nilai emisi karbon dioksida yang dihasilkan semakin tinggi karena dengan melakukan perawatan mesin secara rutin akan membuat mesin selalu berada pada posisi *top performance*, sehingga menghasilkan pembakaran yang sempurna. Faktor lain yang menyebabkan rendahnya nilai emisi gas CO₂ yang dikeluarkan dari suatu pembakaran pada mesin adalah usia dari mesin tersebut. hal ini dijelaskan Wahyudi (2018) yang mengatakan bahwa dengan bertambahnya umur mesin, berarti kerja mesin akan lebih berat. Hal ini akan berpengaruh pada proses pembakaran yang ada di dalam mesin.

3.4 Emisi Gas Buang HC



Gambar 5. Emisi gas HC

Gambar 5 menunjukkan grafik tingkat emisi gas buang HC yang dikeluarkan dari mesin diesel statis yang menggunakan oli bekas sebagai bahan bakar. HC tertinggi adalah sebesar 41 ppm yang dikeluarkan saat mesin diberikan beban daya maksimum sebesar 2000 W. Sedangkan HC terendah adalah sebesar 14 ppm yang dikeluarkan saat mesin dioperasikan tanpa diberikan beban daya. Dari grafik membuktikan bahwa semakin besar beban daya yang diberikan ke mesin diesel maka konsentrasi gas buang HC akan semakin tinggi, seiring dengan semakin lama waktu operasi mesin diesel.

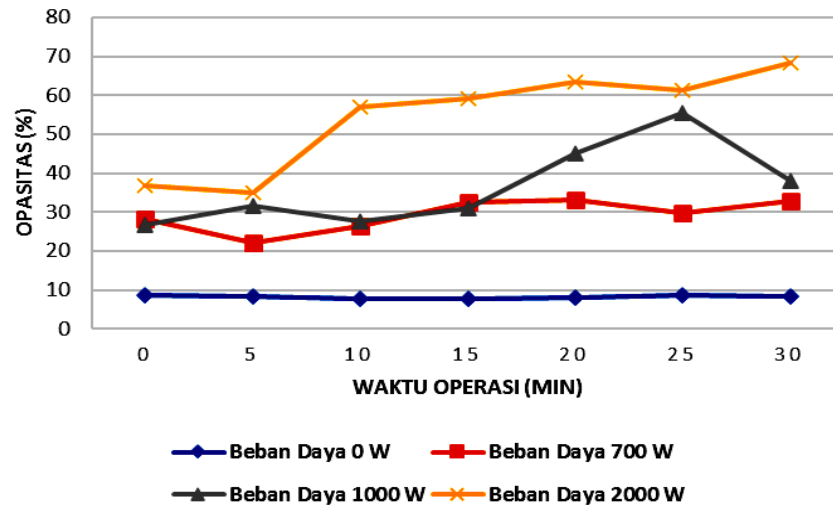
Pada penelitian ini, mesin diesel yang digunakan menggunakan satu silinder berkapasitas 353 cc. Penelitian yang dilakukan Mara (2018) menyatakan bahwa kapasitas silinder merupakan faktor yang memengaruhi gas emisi HC. Silinder yang lebih kecil menghisap bahan bakar dan udara yang lebih sedikit sehingga busi dapat membakar bahan bakar dan udara secara merata sehingga emisi HC dapat berkurang akibat pembakaran yang sempurna. Qasim et al. (2017) mengatakan kandungan oksigen yang lebih tinggi akan meningkatkan laju pembakaran, sehingga emisi HC yang tidak terbakar akan berkurang. Pada penelitian Pranditya, dkk (2016) menunjukkan semakin besar putaran mesin (RPM) maka emisi HC yang dikeluarkan akan semakin besar.

3.5 Tingkat Opasitas Mesin Diesel

Gambar 6 menunjukkan grafik tingkat opasitas mesin diesel yang dikeluarkan dari mesin diesel statis yang menggunakan oli bekas sebagai bahan bakar. Tingkat opasitas tertinggi adalah sebesar 68.45% yang dikeluarkan saat mesin diberikan beban daya maksimum sebesar 2000 W. Sedangkan tingkat terendah adalah sebesar 7.7% yang dikeluarkan saat mesin beroperasi tanpa diberikan beban daya. Pada grafik dapat dilihat pada saat mesin beroperasi dalam keadaan idle yang dijalankan tanpa diberikan beban daya, tingkat opasitas relatif stabil dan tidak ada peningkatan yang signifikan. Pada

saat mesin diberikan beban daya, barulah konsentrasi opasitas mulai meningkat seiring dengan waktu operasi mesin. Hasil ini sejalan dengan penelitian Pranditya, dkk. (2016) yang menunjukkan peningkatan nilai opasitas sejalan dengan peningkatan beban daya.

Grafik opasitas pada saat mesin beroperasi saat diberikan beban daya tingkat opasitas terkadang naik turun. Hal ini disebabkan oleh ruang bakar pada mesin yang kotor, mengakibatkan pembakaran yang tidak sempurna dan mesin berjalan sedikit tersendat dan mengeluarkan asap yang cukup pekat dari lubang knalpot. Perawatan yang kurang berdampak pada ruang mesin dan silinder menjadi kotor, sehingga efektivitas pembakaran pada mesin tidak optimal sehingga menyebabkan asap yang cukup pekat (Setyadi dan Endang, 2007).



Gambar 6. Emisi tingkat opasitas

Pada Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2006 Tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama kendaraan dengan motor bakar diesel dengan berat dibawah 3.5 ton dan tahun pembuatan diatas 2010, baku mutu opasitas adalah sebesar 40%. Mesin diesel statis yang digunakan sebagai genset berbahan bakar oli bekas, mencapai tingkat opasitas tertinggi sebesar 70%. Hal ini berarti, tingkat opasitas yang dihasilkan telah melebihi baku mutu yang telah ditetapkan. Pada beban daya 0 W dan 700 W, nilai opasitas masih berada di bawah baku mutu, sedangkan pada beban daya 1000 W, nilai opasitas umumnya masih berada di bawah baku mutu, namun sempat juga berada di atas baku mutu.

3.6 Konsumsi Bahan Bakar

Tabel 3. Konsumsi bahan bakar berdasarlam beban daya

Beban daya	Konsumsi bahan bakar
Idle	250 ml
700 W	443 ml
1000 W	547 ml
2000 W	711 ml

Pengukuran jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan dengan menggunakan gelas ukur yang digunakan sebagai pengganti tangki bahan bakar. Penggantian tangki bahan bakar menggunakan gelas ukur bertujuan untuk memudahkan pengukuran konsumsi bahan bakar yang digunakan. Pada tabel 3 dapat dilihat konsumsi bahan bakar terus meningkat seiring dengan penambahan beban daya pada mesin diesel. Hal ini sejalan dengan penelitian Utomo (2020) yang mengatakan kebutuhan bahan bakar akan semakin besar apabila putaran mesin ditingkatkan terlihat dari setiap kenaikan daya. Menurut Arif, dkk (2021), hal ini berhubungan dengan SFC (*specific fuel consumption*) atau konsumsi bahan bakar spesifik. Mesin memerlukan peningkatan konsumsi bahan bakar, sejalan dengan meningkatnya beban daya mesin pada putaran konstan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengukuran dan analisis yang dilakukan, maka didapatkan kesimpulan hasil uji emisi dari mesin diesel Dongfeng Model R175 yang menggunakan oli bekas sepeda motor sebagai bahan bakar. Tingkat emisi tertinggi ini dikeluarkan pada saat mesin beroperasi pada daya maksimal sebesar 2000 W. Tingkat tertinggi emisi CO yang dikeluarkan adalah sebesar 0.45%. Tingkat tertinggi emisi CO₂ yang dikeluarkan adalah sebesar 8.6%. Tingkat tertinggi emisi HC yang dikeluarkan adalah sebesar 41 ppm. Tingkat tertinggi opasitas yang dikeluarkan adalah sebesar 68.45%. Nilai Opasitas ini telah melebihi baku mutu sebesar 40%. Pada beban daya 0 W, 700 W, dan 1000 W, nilai opasitas umumnya masih berada di bawah baku mutu.

DAFTAR PUSTAKA

- Arif A., Hidayat N., Purwanto W., Setiawan M.Y., Masykur, 2021, Pengaruh penggunaan oli bekas sebagai bahan bakar terhadap sfc dan efisiensi termal mesin diesel, *Jurnal Mekanova*, 7(1), 58-64. DOI: <https://doi.org/10.35308/jmkn.v7i1.3730>
- Gad M.S., El-Bazb F.K., and El Kinawy O.S., 2015, Performance of diesel engines burning used cooking oil (UCO) Biodiesel, *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, 15(3), 74-80. DOI: 10.13140/RG.2.1.3783.0240
- Hasbi M., Laome L., Aksar P., Darsono A., 2019, Pemanfaatan minyak oli bekas sebagai bahan bakar alternatif, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan Inovasi dan Rekayasa (SNT2IR)*, 355-360, ISBN: 978-602-51407-1-6.
- Hoetman R.A., 2017, Dasar pemikiran pemilihan energi alternatif yang ramah lingkungan dan tahapan penguasaan teknologinya, *Jurnal Teknik Mesin – ITI*, 1(1), 30-34. DOI: <http://dx.doi.org/10.31543/jtm.v1i1.6>
- Lupita P.C., 2013, Analisis pengaruh jarak tempuh, periode servis dan umur mesin terhadap konsentrasi co, hc, nox dan co2 pada kendaraan tipe sport (studi kasus: yamaha vixion), *Skripsi Prodi Teknik Mesin Universitas Diponegoro Semarang*.
- Lutfiwijaya B., Syarif A., Mujiarto S., 2018, Pemanfaatan oli bekas hidrolik yang dicampur dengan solar terhadap emisi gas buang pada mesin diesel, *JSME KINEMATIKA*, 3(2), 63-72. DOI: <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v3i2.7>
- Maleev V.L., Priambodo, Bambang., 1991, *Operasi dan pemeliharaan mesin disel: konstruksi, operasi, pemeliharaan dan perbaikan mesin disel*, Jakarta: Erlangga
- Mara I., Sayoga A., & Alit B., 2019. Analisis Emisi Gas Buang Kendaraan Berbahan Bakar Etanol. *Jurnal Dinamika Teknik Mesin*, 9(1), 45-57.
- Pradnyana G., 2016, Pemenuhan kebutuhan energi dalam rangka mewujudkan ketahanan nasional, *Jurnal Maksipreneur*, 5(2), 67-76.
- Pranaditya D.G.A., Ghurri A., Septiadi W.N., 2016, Analisa unjuk kerja bahan bakar hasil pengolahan oli bekas pada motor diesel, *Jurnal METTEK*, 2(1), 43 – 50
- Qasim M., Ansari T.M., Hussain, M. 2017. Combustion, Performance, and Emission Evaluation of a Diesel Engine with Biodiesel Like Fuel Blends Derived From a Mixture of Pakistani Waste Canola and Waste Transformer Oils. *Energies*, 10, 1023. doi:10.3390/en10071023.
- Rauf S, Aboe A.F., Ishak I.T., 2014, Analisis Gas Buang Kendaraan Bermotor Roda Empat Di Kota Makassar, *Prosiding Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi*, 2(1), 1119-1132.
- Setyadji M., Endang S., 2007, Pengaruh penambahan biodiesel dari minyak jelantah pada solar terhadap opasitas dan emisi gas buang co, co₂, dan hc. *Prosiding PPI – PDIPTN, Yogyakarta*, 190-200.
- Suparta I.N., 2017, Daur ulang oli bekas menjadi bahan bakar diesel dengan proses pemurnian menggunakan media asam sulfat dan natrium hidroksida. *Jurnal Logic*, 17(1), 73 – 79.
- Telaoembanoea F, 2016. Penelitian Kandungan Gas Buang Beracun Pada Mesin Diesel 2500 CC Yang menggunakan Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biosolar. *Jurnal Warta Dharmawangsa*, 50. DOI: <https://doi.org/10.46576/wdw.v0i50.202>
- Utomo B., 2020. Hubungan Antara Konsumsi Bahan Bakar dengan Berbagai Perubahan Kecepatan pada Motor Diesel Penggerak Kapal. *Jurnal Rekayasa Mesin Vol.15, No.2, Agustus 2020*, hal. 163-170
- Wahyudi D.A., 2018, Analisis perbandingan biodiesel minyak sawit, minyak biji kepuh, dan minyak jelantah terhadap emisi gas buang dan opasitas pada mesin diesel. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Kejurusan*, 11(1), 22-26. DOI: <https://doi.org/10.20961/jiptek.v11i1.19094>
- Yohanes, Fachrurrozi, 2018, Modification of engine diesel for the use waste lubricant oil as an alternative fuel. *Proceeding of Ocean, Mechanical and Aerospace -Science and Engineering*, 5(1), 23-27.