

Analisis Emisi Gas Buang dari Mesin Diesel Modifikasi Dipengaruhi Daya Mesin dan Bahan Bakar Campuran Oli Bekas dan Dexlite

Analysis of Exhaust Emissions from Modified Diesel Engines Influenced by Engine Power and Fuel Mixture of Used Lubricant oil and Dexlite

Aryo Sasmita^{1*}, Yohanes², Karina Yolanda¹

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

²Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau, Pekanbaru, Indonesia.

*Corresponding author email: aryosasmita@lecturer.unri.ac.id



Kata Kunci:

Mesin diesel; Oli pelumas bekas; Dexlite; CO; HC; Opasitas.

Abstrak

Salah satu bahan bakar alternatif yang potensial adalah oli pelumas bekas. Pemanfaatan oli pelumas bekas dapat mengurangi limbah dari aktivitas perbengkelan. Pemanfaatan oli pelumas bekas telah dilakukan sebelumnya menggunakan mesin diesel modifikasi di Laboratorium Teknologi Produksi Universitas Riau, namun emisi gas buang masih melebihi baku mutu pada daya pembebanan 2.000 W. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis emisi gas buang dari mesin diesel modifikasi menggunakan variasi campuran oli pelumas bekas dan dexlite. Variasi tersebut adalah D10 (90% oli pelumas bekas dan 10% dexlite), D20 (80% oli pelumas bekas dan 20% dexlite), D30 (70% oli pelumas bekas dan 30% dexlite). Emisi gas buang diujikan pada variasi beban daya kondisi idle, 1.000, dan 2.000 Watt. Hasil penelitian menunjukkan campuran bahan bakar terbaik adalah D10, pada daya pembebanan 2.000 W menghasilkan emisi CO, HC, dan Opasitas masing-masing sebesar 1,94%, 0,43 ppm, dan 21,53% yang berada di bawah baku mutu. Pada campuran D20, nilai opasitas sudah melebihi baku mutu pada daya pembebanan 2.000 W, sementara campuran D30 nilai opasitas melebihi baku mutu pada daya pembebanan 1.000 W dan 2.000 W.

Keywords:

Diesel engine; Used lubricating oil; Dexlite; CO; HC; Opacity.

Abstract

One of the potential alternative fuels is used lubricant oil. The application of used lubricant oil could reduce waste from workshop activities. The application of used lubricant oil has been carried out previously using a modified diesel engine at the Production Technology Laboratory, Riau University, but exhaust gas emissions still exceed the quality standard at a loading power of 2,000 W. The purpose of this study was to analyze the exhaust emissions produced by a modified diesel engine using a variety of lubricant oil mixtures with dexlite. The variations are D10 (90% used lubricant oil and 10% dexlite), D20 (80% used lubricating oil and 20% dexlite), D30 (70% used lubricant oil and 30% dexlite). Exhaust emissions were tested at idle, 1,000-, and 2,000-Watt power loads. The results showed that the best fuel mixture was D10 which at a loading power of 2,000 W produced CO, HC, and Opacity emissions of 1.94%, 0.43 ppm, and 21.53%, respectively which was below the quality standard from SNI 09-7118.3-2005 of 40% for Opacity. In the D20 mixture, the opacity value has exceeded the quality standard at a loading power of 2,000 W, while the D30 mixture has an opacity value that exceeds the quality standard at a loading power of 1,000 W and 2,000 W.

PENDAHULUAN

Kebutuhan Bahan Bakar Minyak (BBM) Indonesia sebesar 465,7 juta barel/tahun, tercukupi oleh produksi dalam negeri Indonesia sendiri sebanyak 278,1 juta barel dan ditambah impor 165,4 juta barel. Ketersediaan minyak dalam pemenuhan kebutuhan energi di sektor pembangkit listrik pada tahun 2018 sebesar 54,8 MTOE (*Million tonnes of oil equivalent*), diprediksikan hingga tahun 2050 akan bertambah sebanyak 3 kali lipat menjadi sebesar 146,6 MTOE. Sementara tren produksi minyak pada 2050 mengalami penurunan terutama disebabkan kurangnya kegiatan eksplorasi dan keberhasilan eksplorasi minyak yang rendah (Dewan Energi Nasional, 2019).

Peningkatan penggunaan bahan bakar minyak akan berdampak pada penurunan kualitas udara oleh proses pembakaran bahan bakar fosil, yaitu partikulat dan gas buang seperti CO, NO_x, SO_x, H₂S. Hal ini dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan serta lingkungan. Pengurangan pemakaian bahan bakar fosil dapat dilakukan dengan memanfaatkan bahan bakar alternatif yang *eco-friendly* dan dapat diperbaharui (Van Harling, 2019).

Menurut data BPS, tahun 2015 jumlah kendaraan bermotor adalah 105.303.318 unit, kemudian pada tahun 2020 meningkat menjadi 136.137.451 unit kendaraan (BPS, 2021). Peningkatan pengguna kendaraan bermotor serta mesin sebagai kebutuhan industri berdampak pada kebutuhan oli pelumas (Tahfifah, Lestari, & Gunawan, 2016). Produk dari penggunaan oli pelumas adalah oli pelumas bekas. Limbah oli pelumas bekas tergolong kepada limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) yang tentunya sangat berpotensi mencemari lingkungan dan dibutuhkan upaya untuk pengolahan atau pemanfaatannya (Hasbi, 2019). Oli pelumas bekas berpotensi dimanfaatkan untuk bahan bakar pengganti disebabkan mempunyai nilai kalor cukup besar (Pranaditya, Ghurri, & Septiadi, 2016). Meski begitu, oli pelumas bekas gagal mencapai pembakaran sempurna, seperti bensin dan solar. Hal tersebut disebabkan oli pelumas bekas sulit terbakar, adalah pengabutan bahan bakar. Oleh karenanya oli pelumas bekas digunakan sebagai campuran bahan bakar dengan menambahkan bahan bakar lainnya seperti bensin, minyak tanah, dan solar, namun penambahan maksimal kurang dari 50% (Lutfiwijaya, Syarief, & Mujiarto, 2018).

Pemanfaatan oli pelumas bekas sebagai bahan bakar telah dicobakan sebelumnya di Universitas Riau, pada laboratorium Teknologi Produksi. Percobaan dilakukan tanpa penambahan bahan bakar lain pada oli pelumas bekas. Penelitian yang dilakukan Yohanes dan Fachrurrozi (2018) dengan melakukan modifikasi pada mesin diesel *Dongfeng R175*, dengan berbahan bakar oli pelumas bekas untuk memproduksi energi listrik skala rumah tangga yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik skala rumah tangga dengan bahan bakar berupa oli pelumas bekas. Modifikasi dilakukan dengan penambahan penyaring minyak (*filter*) dan *fuel pump*. Kemudian Sasmita, Yohanes, dan Widyanto (2021) melakukan pengujian terhadap emisi CO, CO₂, HC, dan Opasitas dan diperoleh hasil emisinya belum memenuhi baku emisi Peraturan Menteri Lingkungan Hidup No 5/2006 tentang Ambang Batas Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Lama. Tingkat opasitas pada daya maksimum 2.000 W diperoleh sebesar 68,45% yang melebihi baku mutu opasitas sebesar 40%. Maka perlu dilakukan penelitian yang melakukan variasi campuran oli pelumas bekas dan *dexlite* sebagai campuran bahan bakar dari mesin diesel modifikasi.

Tujuan penelitian ini untuk menganalisis emisi CO, HC, dan Opasitas yang dikeluarkan berdasarkan variasi persentase campuran oli pelumas bekas dan *dexlite* yang akan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel yang telah dimodifikasi.

METODE PENELITIAN

Alat dan Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan mesin diesel statis merk *dongfeng R175* yang dimodifikasi, *Gas Analyzer* tipe diesel merk Qrotech OPA-102, kalorimeter bom, dan tachometer. Bahan penelitian ini adalah oli pelumas bekas dan *dexlite*. Oli pelumas bekas diperoleh dari Argo Motor bengkel resmi sepeda motor Honda yang berlokasi di H.R. Soebrantas Kecamatan Tampan, Kota Pekanbaru.

Variabel Penelitian

Variasi komposisi bahan bakar antara oli pelumas bekas dan campuran bahan bakar *dexlite* dapat dilihat pada Tabel 1. Variasi daya pembebanan yang dihasilkan mesin diesel statis dengan dioperasikan pada 0 W (500 rpm), 1.000 W (1.400 rpm), dan 2.000 W (1.700 rpm). Untuk diperoleh nilai rpm dilakukan pengukuran menggunakan tachometer pada setiap variasi beban daya yang digunakan.

Tabel 1. Perbandingan Komposisi bahan bakar pada penelitian ini

Kode	Persentase Oli bekas	Persentase Dexlite
D10	90%	10%
D20	80%	20%
D30	70%	30%

Uji Nilai Kalor dari Variasi Persentase Campuran Bahan Bakar Oli pelumas Bekas dan Dexlite

Uji nilai kalor dilakukan terhadap 3 (tiga) variasi persentase campuran bahan bakar oli pelumas bekas dan *dexlite*. Uji kalor tersebut dilakukan di Laboratorium Konversi Teknik Mesin Universitas Riau. Campuran bahan bakar sebanyak 3 sampel dipersiapkan sesuai variasi yang ditetapkan, yaitu campuran bahan bakar D10, D20, dan D30. Mulai dari persiapan alat uji yaitu kalorimeter bom kemudian persiapan sampel. Kemudian dilakukan pengujian terhadap sampel campuran oli pelumas bekas dan *dexlite*.

Penelitian Utama Pengukuran Emisi CO, HC, dan Opasitas

Pengukuran emisi gas CO, HC, dan Opasitas mengikuti aturan SNI 09-7118.3-2005. Pada saat pengukuran gas, konsumsi bahan bakar turut diamati pada setiap variabel daya pembebanan tiap campuran melalui gelas ukur yang dimodifikasi menjadi tangki bahan bakar. Percobaan dilakukan secara duplo, untuk setiap pengukuran konsentrasi sampel gas CO, HC, dan Opasitas dilakukan setiap 5 menit selama 30 menit.

Analisa dan Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan menganalisis emisi gas buang yaitu gas CO, HC, dan Opasitas yang dikeluarkan mesin diesel berbahan bakar campuran oli pelumas bekas dan *dexlite* serta data nilai kalor. Nilai setiap emisi gas buang CO, HC dan Opasitas, dirata-ratakan. Data penelitian ini diolah menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* kemudian tingkat opasitas yang dihasilkan dibandingkan dengan Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Nilai Kalor Campuran Bahan Bakar

Nilai kalor untuk setiap bahan bakar yang telah dilakukan pengujian menggunakan *bomb calorimeter* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Kalor Bahan Bakar Campuran Oli pelumas Bekas dan Dexlite

Jenis Bahan Bakar	Nilai Kalor (kJ/kg)
Oli pelumas Bekas	50.445*
Dexlite	47.554*
D10	49.408
D20	48.891
D30	45.440

(Sumber: Sasmita, dkk., 2021)

Berdasarkan tabel 2 oli pelumas bekas murni memiliki nilai kalor tertinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar *dexlite* dan tiga variasi persentase campuran yang ada. Sementara dari ketiga variasi persentase campuran bahan bakar oli pelumas bekas dan *dexlite*, nilai kalor tertinggi ada pada campuran bahan bakar D10 sebesar 49.408 kJ/kg dan nilai kalor terendah ada pada campuran bahan bakar D30 sebesar 45.440 kJ/kg. Perbedaan besaran nilai kalor ini dipengaruhi oleh kenaikan suhu (ΔT) yang dihasilkan masing-masing sampel campuran bahan bakar saat pengujian. Dimana ΔT campuran D10, D20, dan D30 masing-masing yaitu 2,88°K; 2,85°K; dan 2,65°K. Nilai kalor salah satunya ditentukan dari nilai *flash point* dari campuran bahan bakar. Bahan bakar dengan nilai *flash point* yang lebih rendah akan lebih mudah terbakar, karena lebih cepat bereaksi dengan udara, sehingga laju pelepasan panas pada bahan bakar tersebut lebih besar (Jazuli, 2021).

Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar oli pelumas bekas dan *dexlite* yang terpakai pada saat pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Konsumsi Bahan Bakar

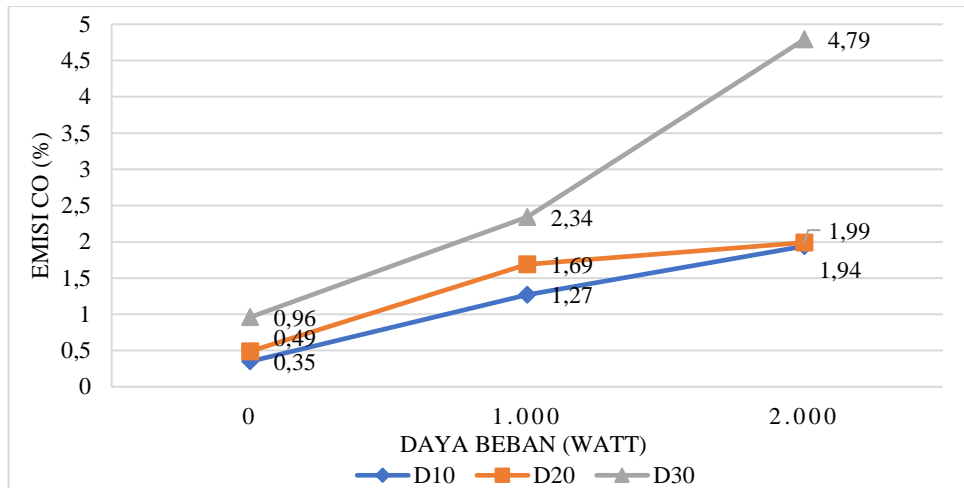
No.	Bahan Bakar	Konsumsi Bahan Bakar (ml)			Total
		Idle	1.000-Watt	2.000-Watt	
1.	D10	252	579	715	1.546 ml
2.	D20	258	585	720	1.563 ml
3.	D30	285	597	741	1.623 ml

Pada tabel 3 dapat dilihat bahwa konsumsi bahan bakar campuran pada mesin diesel semakin meningkat dengan bertambahnya beban daya yang diberikan dan konsumsi bahan bakar terbanyak pada bahan bakar D30.

Konsumsi bahan bakar tertinggi sebanyak 1.623 ml ada pada campuran bahan bakar D30 dengan nilai kalor 45.440 kJ/kg, dan konsumsi bahan bakar terendah sebanyak 1.546 ml ada pada campuran bahan bakar D10 dengan nilai kalor 49.408 kJ/kg, konsumsi bahan bakar campuran bahan bakar D10 lebih hemat 77 ml daripada campuran bahan bakar D30. Konsumsi bahan bakar berkaitan dengan nilai kalor, dimana konsumsi bahan bakar berbanding terbalik dengan nilai kalor. Nilai kalor bahan bakar yang semakin besar menyebabkan penggunaan bahan bakar yang semakin sedikit (Wiranata & Ansori, 2017). Beban daya yang diberikan juga berpengaruh terhadap konsumsi bahan bakar, dimana beban daya berbanding lurus dengan konsumsi bahan bakar. Hal ini disebabkan beban daya yang meningkat maka putaran mesin juga mengalami peningkatan. Pada rotasi tinggi, jumlah bahan bakar yang masuk bersamaan dengan udara ke dalam silinder mengalami peningkatan (Mara, dkk. 2019).

Analisis Emisi CO

Emisi CO rata-rata yang dikeluarkan mesin diesel Dongfeng R175 pada campuran bahan bakar terlihat pada Gambar 1.

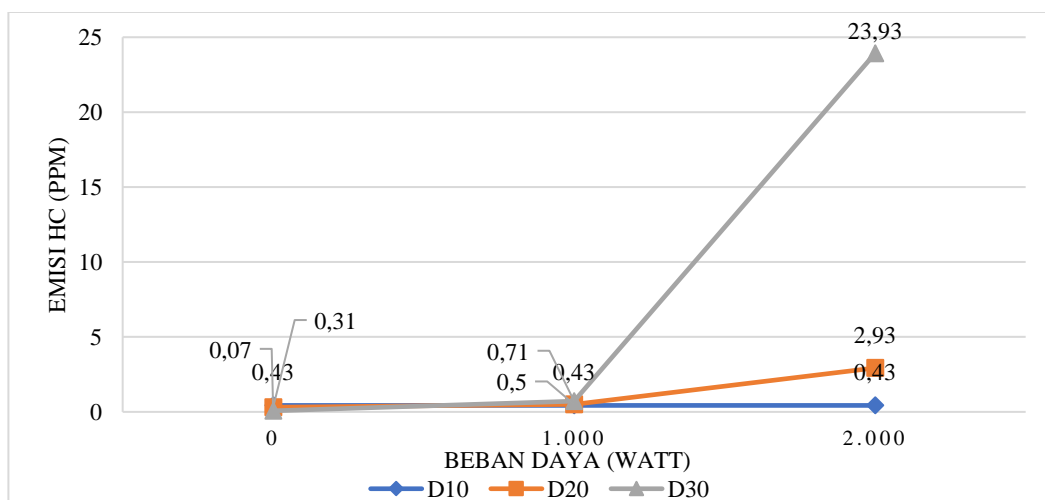


Gambar 1. Emisi CO rata-rata pada tiap daya beban

Berdasarkan Gambar 1 dapat dilihat rata-rata kandungan CO pada gas buang yang dihasilkan mesin diesel *Dongfeng R175* pada campuran D10 konstan dikarenakan kinerja mesin yang stabil. Sementara pada campuran D20 dan D30 emisi CO bertambah sejalan dengan meningkatnya beban daya mesin. Hal ini sama dengan penelitian Zurina, dkk. (2019) dimana emisi CO meningkat seiring dengan meningkatnya beban. Pada beban maksimum, emisi CO meningkat pesat karena *engine* mengalami suplai campuran bahan bakar dalam jumlah lebih banyak. Karena penambahan suplai bahan bakar dan udara baru pada ruang bakar akibat kenaikan rotasi mesin dalam proses peningkatan daya mengakibatkan pembakaran sempurna tidak tercapai (Spiess dkk., 2013). CO merupakan gas beracun tidak berwarna yang terbentuk ketika bahan bakar terbakar tanpa oksigen yang cukup atau terjadi pembakaran tidak sempurna (Yoon dkk., 2014).

Analisis Emisi HC

Emisi HC yang dihasilkan oleh mesin diesel *Dongfeng R175* pada campuran bahan bakar D10 selalu sebesar 0,43 ppm pada setiap beban daya. Pada D20 kandungan HC dari 0,31 ppm, 0,5 ppm dan 2,93 ppm pada masing-masing beban daya. D30 memiliki kandungan HC sebesar 0,07 ppm, 0,71 dan 23,93 ppm, yang merupakan nilai HC tertinggi dibanding bahan bakar lainnya. Hasil pengujian emisi HC dapat dilihat pada Gambar 2.

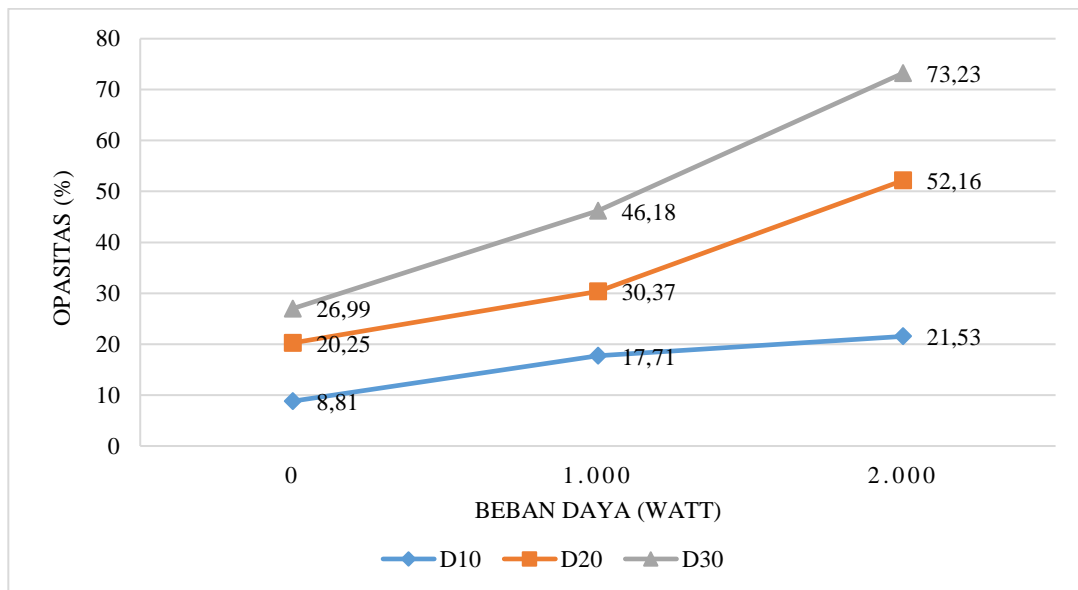


Gambar 2. Emisi HC rata-rata pada tiap daya beban

Berdasarkan gambar emisi HC yang dihasilkan pada campuran D10 konstan dikarenakan kinerja mesin yang stabil. Sementara pada campuran D20 dan D30 konsentrasi emisi HC yang dihasilkan fluktuatif cenderung meningkat seiring meningkatnya beban daya. Emisi HC berasal dari karbon yang tidak terbakar akibat temperatur yang tidak mencukupi pada dinding silinder. Pada campuran miskin, kecepatan pembakaran terlalu rendah menyebabkan pembakaran terhambat atau tidak terjadi pembakaran, dan kondisi ini menyebabkan tingginya emisi HC (Nair, Kaviti, & Daram, 2017). Selain itu tingginya kandungan HC dapat terjadi karena *timing* pengapian yang tidak tepat dan kompresi mesin yang rendah (Surbakti, 2017).

Opasitas

Hasil pengujian opasitas rata-rata dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Opasitas rata-rata pada tiap daya beban

Berdasarkan Gambar 4 opasitas yang dihasilkan mesin diesel Dongfeng R175 ini meningkat seiring meningkatnya beban daya. Hasil pengujian opasitas ini sejalan dengan penelitian Mamualiya dan Lal (2015) mengenai pengaruh injeksi langsung terhadap kinerja dan karakteristik emisi menggunakan biodiesel minyak kranja, dimana ketika beban mesin meningkat maka tingkat opasitas gas buang juga meningkat.

Yulianto dan Muliawan (2016) menjelaskan semakin tinggi perputaran *engine* terhadap beban, semakin baik pula pembakaran yang terjadi di ruang bakar. Semakin besar beban yang diberikan, semakin tinggi juga putaran mesin, sehingga dengan semakin tingginya beban akan dihasilkan emisi yang semakin banyak pula.

Berdasarkan baku mutu, kendaraan dengan motor bakar diesel dengan berat di bawah 3,5 ton dan tahun pembuatan di atas 2010, baku mutu opasitas adalah sebesar 40%. Mesin diesel *Dongfeng* R175 berbahan bakar campuran oli pelumas bekas dan *dexlite* pada campuran bahan bakar D10 menghasilkan opasitas tertinggi 23,9% pada daya 2.000 W. Pada campuran bahan bakar D20 opasitas tertinggi 67,3% pada beban daya 2.000 W. Sementara pada campuran bahan bakar D30 menghasilkan opasitas tertinggi 83,65% dengan beban daya 2.000 W. Hal ini menunjukkan hasil opasitas yang dihasilkan mesin diesel berbahan bakar campuran oli pelumas bekas dan *dexlite* pada campuran bahan bakar D20 dan D30 melebihi baku mutu yang ditetapkan. Diperoleh campuran terbaik yaitu pada campuran bahan bakar D10 karena hasil opasitas yang diperoleh berada di bawah baku mutu pada semua variasi daya pembebanan.

Upaya Pengendalian Emisi

Pada tiga variasi campuran bahan bakar, campuran bahan bakar terbaik adalah campuran D10 (Oli pelumas bekas 90% dan *Dexlite* 10%). Hal ini dikarenakan campuran D10 menghasilkan emisi terendah dan opasitas di bawah ambang batas baku mutu sebesar 40 %. D10 menghasilkan opasitas yang berbeda dengan campuran D20 dan D30, tingkat emisi yang dihasilkan pada dua campuran ini lebih tinggi dan opasitas melebihi baku mutu pada beban daya 1.000 dan 2.000 watt, sehingga diperlukan pengendalian kembali untuk campuran bahan bakar D20 dan D30 agar dapat digunakan dan emisinya tidak mencemari lingkungan. Pengendalian emisi gas buang untuk mengurangi emisi pada dua variasi campuran ini dapat dilakukan dengan beberapa upaya, diantaranya mengembangkan substitusi bahan bakar (Haruna, dkk. 2016). Pada penelitian Nofendri (2016) bahan bakar ditambahkan zat aditif oksigenat sehingga performa mesin meningkatkan dan mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik.

Selain dari sisi bahan bakar, upaya pengendalian dapat dilakukan dengan melakukan modifikasi mesin. Modifikasi mesin dapat dilakukan untuk memaksimalkan pembakaran pada ruang bakar dan mengembangkan sistem *exhaust* pembuangan gas. Metode lain adalah mengganti dengan bahan bakar yang menghasilkan emisi dengan konsentrasi rendah selama pembakaran. Salah satu caranya yaitu melakukan inovasi filter pada knalpot dengan penambahan *glass wol*, arang aktif, atau bahan adsorben lain. Proses *maintenance* mesin secara rutin juga berpengaruh pada kinerja mesin (Ariyanto, 2014).

Rahmad, Sasongko, dan Wijayanti (2016) pada penelitiannya melakukan modifikasi *engine controle module* (ECM) dengan penambahan *Fuel Controller* dalam mengatur frekuensi injeksi bahan bakar sehingga diperoleh AFR stoikiometri dan mengurangi emisi yang dihasilkan karena pembakaran berlangsung lebih sempurna. Modifikasi mesin dengan penggunaan *intercooler* (pendinginan udara masuk) juga sudah terbukti dapat menghemat bahan bakar sebanyak 15,38% dan dapat mereduksi opasitas hingga 58,09% (Haruna, dkk. 2016)

KESIMPULAN

Dari penelitian diketahui nilai kalor variasi campuran bahan bakar D10, D20, dan D30 masing-masing yaitu 49.408 kJ/kg, 48.891 kJ/kg, dan 45.440 kJ/kg. Hasil uji emisi gas buang mesin diesel Dongfeng R175 dengan bahan bakar campuran oli pelumas bekas dan dexlite diperoleh konsentrasi gas buang semakin meningkat dengan meningkatnya beban daya. Diperoleh variasi campuran terbaik pada campuran D10 dengan emisi CO, CO₂, dan HC rata-rata yang dihasilkan masing-masing sebesar 0,01%, 2,5%, dan 1,5 ppm. Campuran D20 menghasilkan emisi CO, CO₂, dan HC rata-rata masing-masing sebesar 0,06%, 4,00%, dan 10,5 ppm. Sementara campuran D30 menghasilkan emisi rata-rata tertinggi dari campuran lainnya dengan emisi CO, CO₂, dan HC tertinggi masing-masing sebesar 0,11%, 6,60%, dan 38 ppm. Disimpulkan D10 merupakan campuran terbaik dengan opasitas yang dihasilkan di bawah baku mutu pada seluruh daya pembebanan, dengan opasitas tertinggi sebesar 23,9% pada daya pembebanan 2.000 W. Opasitas yang dihasilkan campuran D20 melebihi baku mutu pada daya pembebanan 2.000 W, dan Opasitas D30 melebihi baku mutu pada daya pembebanan 1.000 W dan 2.000 W.

DAFTAR PUSTAKA

- Ariyanto, S. R. (2014). Rancang bangun diesel particular trap (DPT) untuk mereduksi opasitas, konsumsi bahan bakar, dan tingkat kebisingan mesin Isuzu C190. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 1(3), 19-28.
- Badan Pusat Statistik. (2021). Pengguna kendaraan bermotor di Indonesia tahun 2015-2020. Badan Pusat Statistik. Jakarta Pusat. <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/2/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html>

- Dewan Energi Nasional. (2019). *Outlook energi Indonesia 2019*. Jakarta: Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Haruna, H., Mulyadi, M., & Faizal, A. (2016). Inovasi pengendalian emisi gas buang melalui rekayasa bahan bakar diesel guna peningkatan kualitas hidup. In: *Prosiding Kolokium Pendidikan Nusantara, 17 Nopember 2016*, Universiti Teknologi Malaysia, Malaysia.
- Hasbi, M. (2019). Pemanfaatan minyak oli bekas sebagai bahan bakar alternatif. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Terapan Inovasi dan Rekayasa (SNT2IR) 2019*. Universitas Halu Oleo.
- Jazuli, M. S. (2021). Pemanfaatan oli pelumas bekas SAE 15w-40 dengan ekstrak belimbing wuluh. *Jurnal Teknik Mesin*, 16(3), 25-32.
- Lutfiwijaya, B., Syarief, A., & Mujiarto, S. (2018). Pemanfaatan oli pelumas bekas hidroli pelumas yang dicampur dengan solar terhadap emisi gas buang pada mesin diesel. *Scientific Journal of Mechanical Engineering Kinematika*, 3(2), 63-72. <https://doi.org/10.20527/sjmekinematika.v3i2.7>
- Mamualiya, A. & H. Lal. (2015). Effect on performance and emission characteristics of direct injection using biodiesel produced from Kranja oil. *International Journal on Emerging Technologies*, 5(2), 130-135.
- Mara, I. M., Nuarsa, I. M., Alit, I. B., & Sayoga, I. M. A. (2019). Analisis emisi gas buang kendaraan berbahan bakar etanol. *Dinamika Teknik Mesin*, 9(1), 45-57. <https://doi.org/10.29303/dtm.v0i0.258>
- Nair, J. N., Kaviti, A. K., & Daram, A. K. (2017). Analysis of performance and emission on compression ignition engine fuelled with blends of neem biodiesel. *Egyptian Journal of Petroleum*, 26, 927-931. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2016.09.005>
- Nofendri, Y. (2016). Efek penambahan oksigenat ke dalam bahan bakar diesel pada prestasi mesin. *Jurnal Kajian Teknik Mesin 1*(2), 94-103. <https://doi.org/10.52447/jktm.v1i2.461>
- Pranaditya, D. A., Ghurri, A., & Septiadi, W. N. (2016). Analisa unjuk kerja bahan bakar hasil pengolahan oli pelumas bekas pada motor diesel. *Jurnal Mettek: Jurnal Ilmiah Nasional Dalam Bidang Ilmu Teknik Mesin*, 2(1), 43-50.
- Pratama, A., Basyirun, B., Atmojo, Y. W., Ramadhan, G. W., & Hidayat, A.R. (2020). Rancang bangun kompor (burner) berbahan bakar oli pelumas bekas. *Jurnal Mekanika: Majalah Ilmiah Mekanika*, 19(2), 95-103. <https://doi.org/10.20961/mekanika.v19i2.42378>
- Rahmad, H., Sasongko, M. N., & Wijayanti, W. (2016). Pengaruh prosentase etanol terhadap torsi dan emisi motor indirect injection dengan memodifikasi engine controle module. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(2), 49-54. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2016.007.02.2>
- Sasmita, A., Yohanes, Y., & Widyanto, A. R. (2021). Pengaruh waktu operasi dan daya mesin diesel Dongfeng R175 berbahan bakar oli pelumas bekas terhadap emisi CO, CO₂, HC, dan Opasitas. *Dinamika Teknik Mesin*, 11(2), 124-131. <https://doi.org/10.29303/dtm.v11i2.440>
- Spiess, S., Wong, K.-F., Richter, J.-M., & Klingmann, R. (2013). Investigations of emission control systems for gasoline direct injection engines with a focus on removal of particulate emissions. *Top Catal* 56, 434–439. <https://doi.org/10.1007/s11244-013-992-6>
- Sugiyono. (2017). *Metode penelitian pendidikan (pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Surbakti, A. (2017). Analisis perbandingan kadar gas buang pada motor bensin sistem pengapian elektronik (CDI) dan pengapian. *PISTON*, 2(1), 24-29.
- Tahfifah, A., Lestari, H. D., & Gunawan, S. (2016). Pra desain pabrik lube base oil dari oli pelumas bekas dengan proses ekstraksi solvent. *Jurnal Teknik ITS*, 5(2), 206-211. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.16857>

- Van Harling, V. (2019). Pengaruh variasi campuran bahan bakar solar dan minyak kelapa sawit terhadap putaran motor diesel tipe Rino 115PS. *Jurnal SOSCIED*, 2(1), 26-34. <https://doi.org/10.32531/jsoscied.v2i1.167>.
- Wiranata, Y. D. & Ansori, A. (2017). Studi komparasi performa mesin berbahan bakar pertalite dengan campuran premium dan pertamax pada berbagai variasi pada sepeda motor New Honda Vario 110 F1. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 6(1), 183-190.
- Yohanes, Y., & Fachrurrozi, F. (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. Retrieved from <https://isomase.org/Journals/index.php/pomase/article/view/58>
- Yoon, S. K., Kim, M. S., Kim, H. J., & Choi, N. J. (2014). Effect of canola oil biodiesel fuel blends on combustion, performance, and emissions reduction in a common rail diesel engine. *Energies* 7, 8132-8149
- Yulianto, P., & Muliawan, A. (2016). Pengaruh variasi putaran mesin terhadap daya pada engine Cummins KTTA 38 C. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 5(1), 23-32. <https://doi.org/10.24042/jpifalbiruni.v5i1.102>
- Zurina, H., Adam, A., Anes, G. M., Abdullah, Z., Fahmi, M., Kamal, M., & Hagos, F. Y. (2019). A comparative analysis on emission of some next generation long-chain alcohol/ diesel blends in a direct-injection diesel engine. *AIP Conference Proceedings* 2059, 020053. <https://doi.org/10.1063/1.5085996>