



Variasi aktivator H_2SO_4 dan $NaOH$ untuk pemurnian oli bekas dan emisi pengujian gas buang yang dihasilkan

Variations of H_2SO_4 and $NaOH$ activators for purifying used oil and testing exhaust gas emissions produced

A. Sasmita*, M. Reza, N.W. Azzahra

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

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

ARTICLE INFO

Article History:

Received 15 September 2023

Accepted 18 March 2024

Available online 01 April 2024

Keywords:

Used oil

H_2SO_4

$NaOH$

Quality standards for diesel fuel

Diesel Engines

Emissions



ABSTRACT

Oil consumption has increased every year in line with the increase in used oil produced. Used oil is included in the waste of Hazardous and Toxic Materials which have a bad impact on the environment. One of the technologies that can be utilized in processing used oil is refining because used oil contains base oil so that it can be reused as fuel. This study aimed to determine the best variation of using H_2SO_4 and $NaOH$ in refining used oil, then the characteristics of the refined used fuel oil are tested for density, specific gravity, calorific value, viscosity, and moisture content, as well as exhaust emissions produced. The research method used was the acid and clay method with variations of H_2SO_4 and $NaOH$ with the same values of 4% (P4), 5% (P5), and 6% (P6). The results showed that P6 type fuel is the best variation that comes closest to the diesel quality standard according to the Decree of the Directorate General of Oil and Gas 146 K/10/DJM/2020. In addition, the resulting emission also has the lowest value compared to the other two variations. The density values obtained were 857 kg/m^3 , a specific gravity of 0.857, a heating value of 47465 kJ/kg, a viscosity of $1.24 \text{ mm}^2/\text{s}$, and a water content of 43.887 mg/kg. Meanwhile, in the exhaust emission testing, CO emissions were 0.030%, CO_2 was 4.590%, HC was 19.50 ppm, and λ was 2.75.

Dinamika Teknik Mesin, Vol. 14, No. 1, April 2024, p. ISSN: 2088-088X, e. ISSN: 2502-1729

1. PENDAHULUAN

Oli adalah produk olahan minyak bumi yang berfungsi untuk melumasi mesin pada kendaraan bermotor sehingga dapat mencegah kerusakan mesin akibat keausan dan gesekan. Seiring dengan peningkatan jumlah kendaraan bermotor akan meningkatkan penggunaan oli. Menurut Muzhaffar, dkk. (2021), diperkirakan kebutuhan terhadap oli mencapai 800 juta liter per tahun dengan peningkatan 7 hingga 10 persen setiap tahunnya. Oli yang digunakan akan mengalami pengurangan dari jumlah aslinya akibat pembakaran dan terbuang mencapai 20%. Badan Pusat Statistik (2019), menyatakan didapatkan oli bekas kurang lebih 18 juta

liter per tahun. Oli terdiri dari 90% minyak dasar (*base oil*) dan 10% zat aditif. Pada oli bekas *base oil* tidak mengalami kerusakan akibat aktivitas mesin (Harun, dkk., 2023), sehingga oli yang telah digunakan masih dapat diolah dan dimanfaatkan dikarenakan adanya nilai kalor yang tinggi (Azharuddin, dkk., 2020). Untuk mengolah oli bekas salah satu metode yang plaing umu digunakan adalah metode *acid and clay* (Mara dan Kurniawan 2015). Pada metode ini dilakukan penambahan larutan asam dan lempung sebagai cara untuk memperbaiki kualitas oli bekas (Pratiwi, 2013).

Penelitian sebelumnya yang menggunakan motode *acid and clay* yaitu penelitian yang dilakukan oleh Anwar, dkk. (2021), dengan memvariasikan volume H_2SO_4 dan NaOH yang digunakan sebesar 5%, 8%, 10% dari volume total oli bekas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan H_2SO_4 dan NaOH masing-masing pada konsentrasi 5% adalah konsentrasi penambahan H_2SO_4 dan NaOH yang paling baik, karena nilai parameter yang diperoleh paling mendekati standar solar dengan nilai densitas lebih rendah 0,9% dari standar solar yang berlaku dan untuk nilai kalor hanya lebih tinggi 3% dari standar solar yang berlaku. Penelitian yang dilakukan oleh Suparta (2017), melakukan volume variasi campuran H_2SO_4 dan NaOH yaitu 2%, 3% dan 5% dari total volume kerja. Hasil penelitian tersebut menunjukkan pemurnian limbah minyak dengan dosis H_2SO_4 5% memiliki parameter hasil pengujian paling mirip dengan bahan bakar solar. Hal ini terlihat dari nilai nilai viskositas dan flash pointnya yang sesuai standar bahan bakar solar, serta nilai densitas yang sedikit lebih rendah dan nilai kalor bakar lebih rendah 14% dari standar solar. Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, diperlukan penelitian lanjutan mengenai variasi terbaik dari penggunaan asam sulfat dan natrium hidroksida dalam proses pemurnian oli bekas mengingat angka yang dihasilkan masih kurang dari standar baku mutu bahan bakar solar yang berlaku.

Selanjutnya telah dilakukan penelitian mengenai emisi gas buang dari mesin diesel yang dimodifikasi yang memanfaatkan oli bekas sebagai bahan bakar, penelitian Sasmita, dkk. (2021) menggunakan mesin diesel merk Dongfeng R175, berbahan bakar oli bekas terhadap emisi CO, CO_2 , HC, dan opasitas yang dihasilkan oleh mesin diesel statis dengan dioperasikan tanpa daya, daya 700 Watt, 1000 Watt dan 2000 Watt. Hasil penelitian menunjukkan tingkat emisi pada beban daya 0 Watt hingga 1000 Watt, nilai opasitas umumnya masih berada di bawah baku mutu sedangkan pada saat mesin beroperasi pada daya 2000 Watt nilai opasitas berada diatas baku mutu.

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan variasi terbaik dari penggunaan H_2SO_4 dan NaOH dalam proses pemurnian oli bekas. Selanjutnya oli bekas yang telah dimurnikan diuji karakteristiknya terhadap nilai *density*, *specific gravity*, kalor, viskositas, dan kadar air, kemudian dibandingkan dengan Keputusan Dirjen Migas 146 K/10/DJM/2020. Terakhir, dilakukan pengujian terhadap emisi gas buang yang terdiri dari karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO_2), hidrokarbon (HC), dan nilai opasitas (λ) hasil aktivitas mesin diesel dengan bahan bakar oli yang telah dimurnikan. Nilai opasitas akan dibandingkan dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2006.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Bahan dan alat penelitian

Pada penelitian ini adalah menggunakan oli bekas yang diperoleh dari bengkel kendaraan roda dua, H_2SO_4 98%, NaOH 98%, dengan variasi yang sama masing-masing 4%, 5%, dan 6%, akuades, dan zeolit. Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah jerigen oli, screen mesh 20, gelas beker, gelas ukur, *magnetic stirrer*, ember, timbangan digital, oven, cawan porselen, mesin diesel statis (merek dagang Dongfeng R175 yang telah dimodifikasi), *gas analyzer* dengan merek dagang Qrotech QRO-402, piknometer, *viscometer ostwald*, dan *bomb calorimeter*.

2.2 Variabel penelitian

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah variasi penggunaan H_2SO_4 dan NaOH dengan variasi masing-masing sebesar 4%, 5%, dan 6%.

Tabel 1 Kode sampel penelitian

| Kode Sampel | Keterangan |
|-------------|---------------------------|
| P0 | Oli bekas tanpa perlakuan |
| P4 | 4% H_2SO_4 dan 4% NaOH |
| P5 | 5% H_2SO_4 dan 5% NaOH |
| P6 | 6% H_2SO_4 dan 6% NaOH |

Variabel tetap dalam penelitian ini yaitu kecepatan pengadukan sebesar 70 rpm, waktu pemanasan sampel selama 1 jam, suhu pemanasan $150^{\circ}C$, pengendapan selama 24 jam, dan zeolit (media penjernih) sebanyak 500 gram, daya mesin diesel sebesar 2000 Watt, pengukuran selama 15 menit dengan rentang waktu sampling gas emisi setiap 5 menit, dilakukan pada menit ke-0, 5, 10, 15.

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah besaran variasi terbaik H₂SO₄ dan NaOH dalam memurnikan oli bekas, uji karakteristik oli yang terdiri atas *density*, *specific gravity*, nilai kalor, viskositas, dan kadar air, serta besaran emisi gas buang yang terdiri dari opasitas, gas CO, CO₂, dan HC.

2.3 Pemurnian oli bekas dan analisa kualitas oli

Tahapan pemurnian menggunakan asam kuat berupa H₂SO₄ 98% dan basa kuat NaOH 98% dengan variasi masing-masing sebesar 4%, 5%, dan 6%. Percobaan daur ulang oli bekas menjadi alternatif bahan bakar meliputi pemanasan selama 1 jam, penambahan H₂SO₄ dan NaOH melalui pengadukan menggunakan magnetic stirrer dengan kecepatan pengadukan sebesar 70 rpm dan suhu pemanasan 150^oC, serta pengendapan menggunakan media zeolit sebanyak 500 gram selama 24 jam. Oli hasil pemurnian selanjutnya akan diuji karakteristiknya terhadap nilai *density*, *specific gravity*, kalor, viskositas, dan kadar air, serta dibandingkan dengan Keputusan Dirjen Migas 146 K/10/DJM/2020.

2.4 Pengujian emisi gas buang

Pengukuran emisi gas buang yang terdiri dari gas CO, CO₂, dan HC, dan opasitas. Dilakukan menggunakan alat *gas analyzer* yang dipasang pada knalpot gas buang mesin diesel statis dengan merek Dongfeng R175 yang telah dimodifikasi. Untuk setiap pengukuran emisi gas buang dilakukan setiap 5 menit selama 15 menit. Tata cara pengukuran emisi didasarkan kepada SNI 09-7118.3-2005 Pada Kondisi Idle.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa uji kualitas oli bekas hasil pemurnian

Pengujian nilai *density* dan *specific gravity* dilakukan dengan menggunakan piknometer dengan hasil yang diperoleh sebagai berikut.

Tabel 2 Hasil pengujian nilai *density* dan *specific gravity* pada oli bekas hasil pemurnian

| Jenis Bahan Bakar | Nilai <i>Density</i> (kg/m ³) | Standar Mutu Solar (kg/m ³) ¹⁾ | | Nilai <i>Specific Gravity</i> |
|-------------------|---|---|-----------------|-------------------------------|
| | | Angka Setana 48 | Angka Setana 51 | |
| P0 | 939 | | | 0,939 |
| P4 | 869 | 815 - 870 | 810 - 850 | 0,869 |
| P5 | 863 | | | 0,863 |
| P6 | 857 | | | 0,857 |

¹⁾ Keputusan Dirjen Migas 146 K/10/DJM/2020

Dari tabel diatas, diketahui bahwa sampel oli bekas tanpa perlakuan memiliki nilai *density* sebesar 939 kg/m³, bahan bakar P4 sebesar 869 kg/m³, bahan bakar P5 sebesar 863 kg/m³, dan bahan bakar P6 sebesar 857 kg/m³. Sampel oli bekas tanpa perlakuan memiliki nilai *density* terbesar dibandingkan dengan tiga sampel lainnya dan melebihi nilai batasan maksimal standar solar. Pada bahan bakar oli bekas dengan penambahan H₂SO₄ dan NaOH, bahan bakar jenis P4 memiliki nilai *density* tertinggi sebesar 869 kg/m³ dan terendah pada bahan bakar P6 sebesar 857 kg/m³. Hal ini disebabkan oleh proses kimiawi yang terjadi pada saat pengolahan bahan bakar, penambahan H₂SO₄ dan NaOH mempengaruhi nilai *density* pada bahan bakar, semakin besar konsentrasi yang digunakan maka residu yang ada di dalam oli bekas dapat di *treatment* secara sempurna, sehingga menjadikan nilai *density* semakin berkurang (Suparta, 2017). Ketiga jenis bahan bakar ini jika dibandingkan dengan nilai standar mutu solar dengan angka setana 48 memenuhi nilai standar yang berada pada rentang 815 kg/m³ – 870 kg/m³. Sedangkan untuk nilai standar mutu solar dengan angka setana 51 ketiga bahan bakar ini telah melebihi batasan standar.

Hasil pengujian nilai massa jenis (*density*), diketahui hubungan antara *density* dengan *specific gravity* oli bekas dengan larutan asam pada konsentrasi 4%, 5%, dan 6% yaitu 0, 869, 0,863, dan 0, 857. Proporsi zat cair dinyatakan dengan nilai massa jenis. Fraksi tersebut akan menjadi lebih ringan atau lebih halus seiring dengan menurunnya nilai berat jenis (Anwar, dkk., 2021).

Pengujian nilai kalor dari oli bekas hasil pemurnian dilakukan menggunakan *bomb calorimeter*. Nilai kalor yang diujikan terdapat pada tabel dibawah ini.

Tabel 3 Hasil pengujian nilai kalor oli bekas hasil pemurnian

| Jenis Bahan Bakar | Nilai Kalor (kJ/kg) |
|-------------------|---------------------|
| P0 | 40375 |
| P4 | 43734 |
| P5 | 45226 |
| P6 | 47465 |

Berdasarkan tabel diketahui bahwa nilai kalor oli bekas yang diperoleh dari bengkel sepeda motor (tanpa perlakuan) yaitu 40375 kJ/kg. Oli bekas yang telah mengalami perlakuan berupa penambahan H₂SO₄ dan NaOH dengan konsentrasi 4%, 5%, dan 6%, memiliki nilai kalor yang cenderung meningkat. Bahan bakar P6 memiliki nilai kalair terbesar yaitu 47465 kJ/kg sedangkan nilai kalor terendah terdapat pada bahan bakar P4 yaitu 43734 kJ/kg. Semakin besar nilai kalor yang dihasilkan akan menghasilkan enegri semakin baik (Kusnadi, dkk., 2020), dan dalam bidang mesin, semakin besar nilai kalor maka efisiensi mesin akan meningkat (Wahyudi, dkk. 2019).

Pengujian viskositas oli bekas hasil pemurnian dilakukan menggunakan *viscometer Ostwald*. Nilai viskositas yang diujikan ada pada tabel dibawah ini.

Tabel 4 Hasil pengujian nilai viskositas oli bekas hasil pemurnian

| Jenis Bahan Bakar | Nilai Viskositas (mm ² /s) | Standar Mutu Solar (mm ² /s) ¹⁾ | |
|-------------------|---------------------------------------|---|-----------------|
| | | Angka Setana 48 | Angka Setana 51 |
| P0 | 54,161 | | |
| P4 | 1,548 | | |
| P5 | 1,485 | 2,0 – 4,5 | 2,0 – 4,5 |
| P6 | 1,240 | | |

Keputusan Dirjen Migas 146 K/10/DJM/2020 Tentang Standar dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa bahan bakar daur ulang dengan *treatment* kimia mengalami penurunan nilai viskositas dari oli bekas. Nilai viskositas tertinggi diperoleh dari bahan bakar jenis P4 sebesar 1,548 mm²/s, diikuti dengan bahan bakar P5 sebesar 1,485 mm²/s, dan terakhir bahan bakar P6 sebesar 1,240 mm²/s. Penurunan nilai viskositas ini disebabkan oleh konsentrasi H₂SO₄ dan NaOH yang ditambahkan, semakin besar konsentrasi maka nilai viskositas yang diperoleh pun akan semakin rendah karena bahan bakar daur ulang memiliki kotoran yang sangat sedikit dan cenderung murni. Kemurnian suatu zat mempengaruhi gaya kohesi atau gaya tarik menarik antara molekul sehingga tegangan permukaannya menjadi lebih rendah (Muzhaffar, dkk., 2021). Dari hasil yang didapatkan diketahui bahwa ketiga jenis bahan bakar daur ulang ini tidak berada pada nilai standar mutu solar. Namun yang paling mendekati nilai standar mutu solar yaitu bahan bakar jenis P4 dengan variasi 4% H₂SO₄ dan 4% NaOH sebesar 1,548 mm²/s.

Nilai kadar air yang diperoleh dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 5 Hasil pengujian nilai kadar air oli bekas hasil pemurnian

| Jenis Bahan Bakar | Nilai Kadar Air (mg/kg) | Standar Mutu Solar (mg/kg) ¹⁾ | |
|-------------------|-------------------------|--|-----------------|
| | | Angka Setana 48 | Angka Setana 51 |
| P0 | 47,970 | | |
| P4 | 29,520 | | |
| P5 | 33,153 | Maksimal 400 | Maksimal 280 |
| P6 | 43,887 | | |

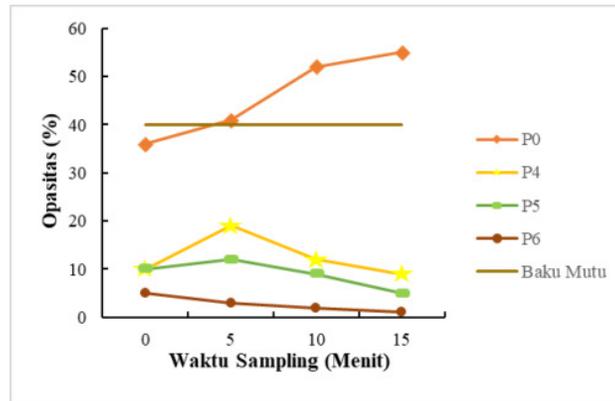
Keputusan Dirjen Migas 146 K/10/DJM/2020 Tentang Standar dan Mutu (spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar yang Dipasarkan di Dalam Negeri.

Dari tabel terlihat hasil pengujian oli bekas tanpa perlakuan memiliki nilai kadar air sebesar 47,970 mg/kg. Bahan bakar oli bekas variasi P4 merupakan variasi dengan kadar air terendah sebesar 29,520 mg/kg dan P6 memiliki kadar air tertinggi sebesar 43,887 mg/kg. Berdasarkan nilai standar mutu solar, ketiga variasi ini berada dibawah nilai maksimal kadar air yang telah ditetapkan yaitu sebesar 400 mg/kg untuk standar mutu solar dengan angka setana 48 dan 280 mg/kg untuk angka setana 51. Kadar air pada bahan bakar minyak merupakan

ukuran kualitas bahan bakar minyak tersebut. Semakin rendah kadar air pada bahan bakar minyak maka kualitas minyak tersebut semakin baik karena air merupakan penyebab keausan pada sistem pompa bahan bakar (Nasrun, dkk., 2015).

3.2 Analisa emisi gas buang yang dihasilkan

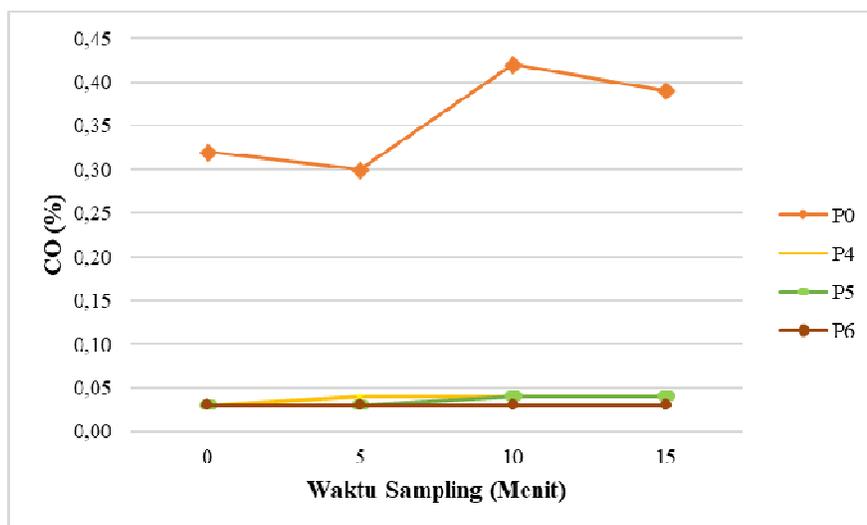
Nilai opasitas diemisikan dari mesin diesel modifikasi berbahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan dapat terlihat pada gambar berikut.



Gambar 1 Opasitas bahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa opasitas hasil emisi dari mesin diesel berbahan bakar oli bekas yang telah mengalami perlakuan berupa penambahan H₂SO₄ dan NaOH berkisar antara 1% hingga 19%. Nilai opasitas rata - rata yang dihasilkan mesin diesel modifikasi mengalami penurunan seiring dengan penambahan konsentrasi H₂SO₄ dan NaOH. Penambahan H₂SO₄ agar senyawa olefin, aromatik maupun senyawa non-hidrokarbon yang terdapat dalam oli bekas dapat berkurang serta nilai NaOH untuk mengurangi kadar asam bahan bakar. Hal ini membuat bahan bakar daur ulang terbakar dengan keseluruhan sehingga gas sisa buangan hanya mengandung sedikit sekali jelaga dengan demikian nilai opasitas menjadi rendah (Fatkhurrozak, dkk., 2019). Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 5 Tahun 2006 baku mutu opasitas adalah sebesar 40%. Nilai opasitas yang dihasilkan oleh mesin diesel modifikasi berbahan bakar oli bekas dengan penambahan H₂SO₄ dan NaOH pada variasi P4, P5, dan P6 menunjukkan nilai opasitas yang tidak melebihi standar baku mutu, dengan tingkat opasitas terendah pada bahan bakar jenis P6. untuk nilai oli bekas tanpa perlakuan masih berada di atas baku mutu.

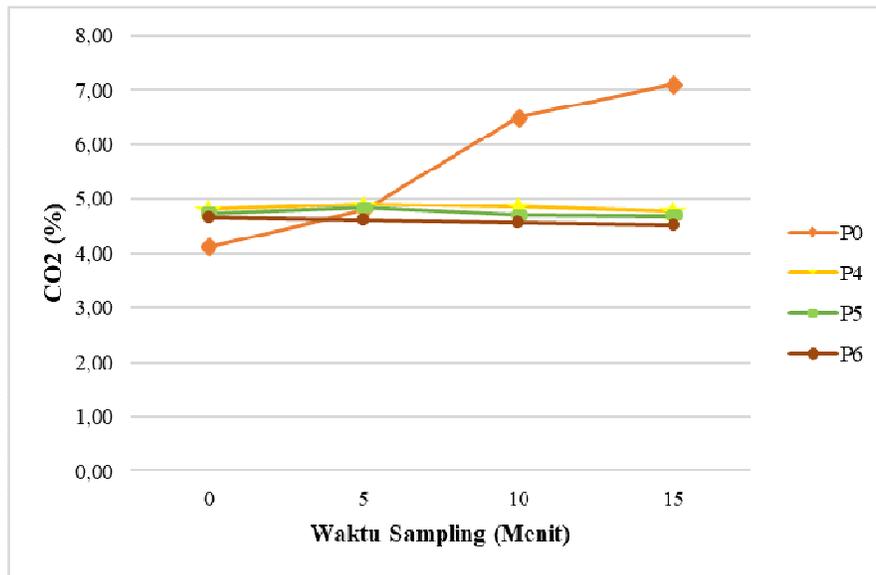
Nilai karbon monoksida (CO) diemisikan oleh mesin diesel modifikasi berbahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan terlihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2 Emisi CO bahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa Emisi CO yang dihasilkan sebesar 0,030% - 0,040%. Kandungan CO tertinggi terdapat pada bahan bakar jenis P4 dibandingkan persentase variasi bahan bakar lainnya. Gas CO dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna. Nilai CO yang besar, ini karena disebabkan adanya ketikasempurnaan proses pencampuran udara dan bahan bakar di dalam motor (Firdaus, 2020). Dari data diatas diketahui nilai CO cenderung mengalami penurunan seiring dengan konsentrasi H₂SO₄ dan NaOH yang ditambahkan. Konsentrasi CO terendah terdapat pada bahan bakar jenis P6 sebesar 0,030%.

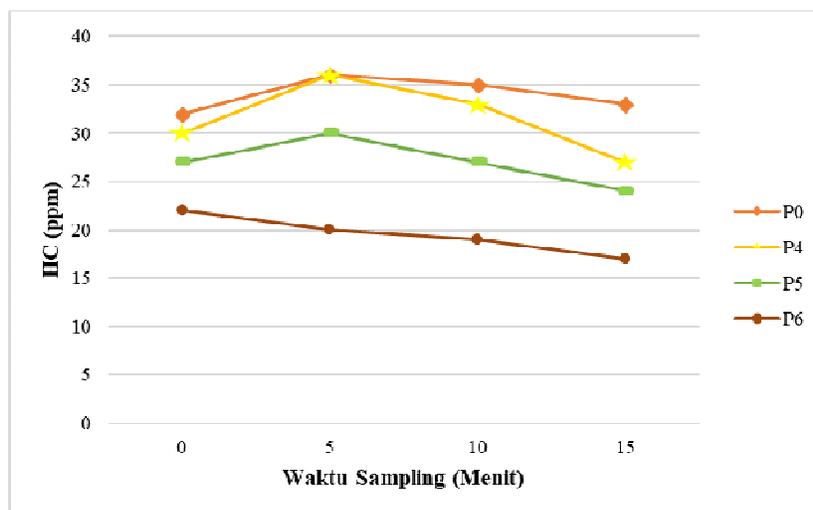
Nilai karbon dioksida (CO₂) yang dihasilkan dari mesin diesel modifikasi berbahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan ddilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 3 Emisi CO₂ bahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan

Emisi CO₂ yang dihasilkan oleh mesin diesel modifikasi pada campuran bahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan sebesar 4,53% hingga 4,90%. Konsentrasi CO₂ tertinggi terdapat pada bahan bakar jenis P4. Emisi CO₂ yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan seiring dengan variasi penambahan H₂SO₄ dan NaOH. Konsentrasi CO₂ terendah terdapat pada bahan bakar jenis P6 sebesar 4,590%. Besaran konsentrasi CO₂ berhubungan pembakaran bahan bakar dalam mesin terjadi dalam keadaan lebih sempurna dengan udara atau oksigen yang cukup (Nofendri, 2018)

Nilai hidrokarbon (HC) yang dihasilkan dari mesin diesel modifikasi berbahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4 Emisi HC bahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan

Emisi HC dari diesel modifikasi pada bahan bakar oli bekas yang telah dimurnikan sebesar 17 ppm hingga 36 ppm. Konsentrasi HC tertinggi terdapat pada bahan bakar jenis P4 dan terendah pada bahan bakar jenis P6. Emisi HC yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan bersamaan dengan konsentrasi H₂SO₄ dan NaOH yang ditambahkan. Emisi HC merupakan sisa karbon yang tidak ikut terbakar karena suhu pada dinding silinder masih kurang. Emisi HC juga dapat disebabkan oleh rasio bahan bakar dan udara yang tidak seimbang, dimana campuran yang mengandung sedikit bahan bakar, campuran ini disebut juga campuran miskin (Nair, dkk., 2017).

4. KESIMPULAN

Dari analisis yang telah dilakukan diperoleh kesimpulan bahwa bahan bakar dengan variasi 6% H₂SO₄ dan 6% NaOH (P6) merupakan variasi terbaik dengan nilai yang diperoleh pada setiap parameter uji paling mendekati standar solar. Selain itu emisi yang dihasilkan pun memiliki nilai terendah dibandingkan dua variasi lainnya. Variasi terbaik (P6) menghasilkan nilai *density* sebesar 857 kg/m³, nilai *specific gravity* sebesar 0,857, nilai kalor sebesar 47.465 kJ/kg, nilai viskositas sebesar 1,240 mm²/s, dan nilai kadar air sebesar 43,887 mg/kg. Hasil uji emisi gas buang mesin diesel modifikasi dengan bahan bakar oli yang telah dimurnikan semakin menurun seiring dengan bertambahnya konsentrasi H₂SO₄ dan NaOH. Variasi terbaik diperoleh dari P6 dengan rata-rata emisi CO sebesar 0,030%, CO₂ sebesar 4,590%, HC sebesar 19,50 ppm, dan opasitas sebesar 2,750%. Nilai opasitas yang dihasilkan tidak melebihi baku mutu sesuai Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 05 Tahun 2006

DAFTAR PUSTAKA

- Anwar, R. S., Suwandi, Utami, A.R.I., Pengaruh konsentrasi asam sulfat dan natrium hidroksida terhadap pemanfaatan oli bekas sebagai bahan bakar solar, E-Proceeding of Engineering, 8(2), 1838–1843, 2021.
- Azharuddin, Sani, A.A., Ariasya, M.A. Proses pengolahan limbah b3 (oli bekas) menjadi bahan bakar cair dengan perlakuan panas yang konstan. JURNAL AUSTENIT, 12(2), 48-53, 2020.
- Badan Pusat Statistik (BPS), Jumlah limbah bahan berbahaya dan beracun, Jakarta, Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, 2019.
- Fatkhurrozak, F., Sanjaya, F.L., Syaiful. Konsumsi bahan bakar dan emisi jelaga pada mesin diesel sistem egr berbahan bakar diesel dan jatropa dengan penambahan diethyl ether. Nozzle: Journal Mechanical Engineering, 8(1), 4-7, 2019.
- Firdaus, A. A., Pengaruh campuran fraksi minyak diesel dari handphone case dengan dexlite terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang mesin diesel, Skripsi Sarjana, Universitas Negeri Semarang, Semarang, 2020.
- Harun, Junaidi, Nasution, F.A.K. Pengaruh minyak pelumas oil shell advance AX7 SAE 10W-40 matic berdasarkan kekentalan kinematik dan total base number pada sepeda motor yamaha N Max 155, Buletin Utama Teknik, 18(2), 130-134, 2023.
- Kusnadi, A., Djafar, R., Mustofa, Pemanfaatan oli bekas sebagai bahan bakar alternatif kompor yang ramah lingkungan. Jurnal Teknologi Pertanian Gorontalo, 5(2), 2020.
- Mara I.M. dan Kurniawan, A. Analisa pemurnian minyak pelumas bekas dengan metode acid and clay, Dinamika Teknik Mesin, 5(2), 2015.
- Muzhaffar, I., Suwanti, dan Nurwulan, Pengolahan oli bekas menjadi bahan bakar diesel dengan metode pemurnian menggunakan asam klorida dan natrium hidroksida, E-Proceeding of Engineering, 8(2), 1884–1890, 2021.
- Nair, J. N., Kaviti, A.K., Daram, A.K., Analysis of performance and emission on compression ignition engine fuelled with blends of neem biodiesel, Egyptian Journal of Petroleum, 26(4), 927-931, 2017.
- Nasrun, Kurniawan, E., dan Sari, I., Pengolahan limbah kantong plastik jenis kresek menjadi bahan bakar menggunakan proses pirolisis, Jurnal Energi Elektrik, 4(1), 1-5, 2015.
- Nopendri, Y., Pengaruh penambahan oksigenat pada solar terhadap emisi gas buang mesin diesel. Jurnal Kajian Teknik Mesin, 3(1), 2018.
- Pratiwi., Y., Pengolahan minyak pelumas bekas menggunakan metode acid clay treatment, Jurnal Teknik Sipil UNTAN, 13(1), 1–12, 2013.
- Sasmita, A., Yohanes, Y., dan Widyanto, A. R., Pengaruh waktu operasi dan daya mesin diesel dongfeng R175 berbahan bakar oli bekas terhadap emisi CO, CO₂, HC, dan opasitas, Dinamika Teknik Mesin, 11(2), 124, 2021.
- SNI 09-7118.3-2005. Emisi gas buang sumber bergerak - cara uji kendaraan bermotor kategori I pada kondisi idle.
- Suparta, I. N., Daur ulang oli bekas menjadi bahan bakar diesel dengan proses pemurnian menggunakan media asam sulfat dan natrium hidroksida, Logic: Jurnal Rancang Bangun dan Teknologi, 17(1), 73–79, 2017.

Dinamika Teknik Mesin. Sasmita dkk.: Variasi aktivator H_2SO_4 dan $NaOH$ untuk pemurnian oli bekas dan emisi pengujian gas buang yang dihasilkan

Wahyudi, Sarip, Sudarja, Suhatno., H. Unjuk kerja mesin diesel berbahan bakar campuran biodiesel jarak dan biodiesel jelantah, *Jurnal Material dan Proses Manufaktur*, 3(1), 36-41, 2019. DOI: <https://doi.org/10.18196/jmpm.3135>