

EVALUASI MINYAK DAUN CENGKEH DAN MINYAK SEREH WANGI SEBAGAI BIOADITIF BAHAN BAKAR SOLAR DALAM MENURUNKAN EMISI GAS BUANG PADA MESIN DIESEL

Evaluation Clove Leaf Oil and Citronella Oil Compounds as A Bioaditive Solar Fuel to Reduce Emissions in Diesel Engine Combustion

Andi Tenri Lawang^{1*}, Dwi Setyaningsih², Meika Syahbana³

^{1,3}Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor,
Kampus Dramaga – Bogor 16680, Indonesia

²Surfactant and Bioenergy Research Center, LPPM, Institut Pertanian Bogor, Kampus
Baranangsiang, Bogor 16143, Indonesia

Penulis Koresponden: anditenrilawang@ymail.com

Disubmit: 27 Agustus 2018 Direvisi: 19 Maret 2019 Diterima: 22 Mei 2019

ABSTRAK

Bioaditif bahan bakar solar berbasis minyak atsiri merupakan bahan yang ditambahkan pada bahan bakar agar terbakar sempurna. Komponen oksigen yang terkandung di dalam struktur kimia minyak atsiri serta sifat minyak atsiri yang larut dalam bahan bakar solar diharapkan dapat menyempurnakan sistem pembakaran di dalam mesin. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji peranan dari komposisi minyak atsiri yaitu minyak daun cengkeh dan minyak sereh wangi dalam menurunkan emisi yang dihasilkan dari mesin *diesel*. Bahan bioaditif yang digunakan dalam penelitian adalah minyak daun cengkeh dan minyak sereh wangi serta senyawa eugenol dan kariofilen yang terkandung pada minyak daun cengkeh dan senyawa rhodinol dan sitronellal yang terkandung pada minyak sereh wangi. Pengujian emisi menggunakan alat *Bacharach RN1012*. Hasil pengujian emisi penambahan bioaditif minyak daun cengkeh menurunkan kadar CO 30%, NO 36%, SO 12% dan total partikulat 30%, Eugenol menurunkan kadar CO 37%, NO 38%, SO 32% dan total partikulat 40%, Kariofilen menurunkan kadar CO 24%, NO 19%, SO 33% dan total partikulat 16%, sedangkan minyak sereh wangi menurunkan kadar CO 23%, NO 31%, SO 22% dan total partikulat 33%. rhodinol menurunkan kadar CO 7%, NO 20%, SO 30% dan total partikulat 45%, sitronellal menurunkan kadar CO 38%, NO 37%, SO 2% dan total partikulat 28% terhadap solar yang tidak ditambahkan bioaditif.

Kata kunci: Bioaditif; Emisi; Minyak Atsiri

ABSTRACT

Bioaditive from essential oil is an ingredient added to improve the fuel combustion process into the engine. Essentials oil contain chemical component of oxygenated hydrocarbons and that can dissolve in diesel fuel. Bioaditive materials used in this research are clove leaf oil, citronella oil, eugenol and cariophyllene are compounds from clove leaf oil and also rhodinol and critronellal contained in citronella oil. Emission testing is used by Autologic Gas Analyzer Bacharach RN1012. Exhaust emission test given a good result for clove leaf oil reduced 30% CO, 36% NO, 12% SO, and 30% total particulate content, Eugenol decreases 37% CO, 38% NO, 32% SO and 40% total particulate content, Kariofilen decreases 24% CO, 19% NO, 33% SO and 16% total particulate content. while citronella oil reduces 23% CO, 31% NO, 22% SO and 33% total particulate content. rhodinol decreases 7% CO, 20% NO, 30% SO and 45% total particulate content, citronellal decreases 38% CO, 37% NO, 2% SO and 28% total particulate for diesel is not added bioaditive.

Keyword: Bioaditive; Emission; Essential Oil

PENDAHULUAN

Konsumsi bahan bakar berbasis minyak bumi yang semakin meningkat dapat menimbulkan semakin menipisnya cadangan minyak bumi dan semakin naiknya impor minyak mentah. Selain itu semakin meningkatnya polusi udara. Hingga saat ini masalah polusi udara menjadi pembicaraan yang sudah sangat sering didengar, dimana semua orang turut merasakannya. Polusi udara adalah masuknya bahan-bahan pencemar ke dalam udara ambien yang mengakibatkan rendahnya atau bahkan rusaknya fungsi udara.

Salah satu upaya yang dilakukan untuk mengurangi emisi gas buang atau polusi yang dihasilkan mesin berbahan bakar minyak bumi, menurut Muntaha (2015) dan Rashedul (2014) dengan membuat reaksi pembakaran berlangsung sempurna pada mesin kendaraan dengan memperkaya sumber oksigen pada bahan bakarnya yaitu dengan menambahkan zat aditif dengan senyawa yang kaya oksigen dan dapat larut dalam bahan bakar tersebut. Salah satu alternatif aditif yang baik dan ramah lingkungan dan sudah dikembangkan adalah menggunakan minyak atsiri.

Minyak atsiri dijadikan bahan baku bioaditif bahan bakar solar karena mudah menguap karena titik didihnya rendah, selain itu minyak atsiri mengandung oksigen yang cukup besar dan memiliki sifat-sifat fisika kimia yang mirip dengan bahan bakar yang terdiri dari karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O) dan nitrogen (N) (Kadarohman, 2003). Tujuan dari penggunaan bioaditif berbahan minyak atsiri berfungsi untuk memperkaya kandungan oksigen dalam bahan bakar karena minyak atsiri banyak mengandung atom oksigen, dengan ketersediaan oksigen yang cukup dari minyak atsiri yang digunakan mampu menyempurnakan pembakaran di dalam mesin bakar.

Tujuan penelitian ini difokuskan mengenai potensi minyak atsiri daun cengkeh dan sereh wangi serta fraksinya yaitu eugenol, kariofilen, rhodinol dan sitronellal sebagai bioaditif pada bahan bakar solar untuk mengurangi emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran pada mesin *diesel*. Komponen emisi gas buang pada mesin pembakaran ada yang berbahaya dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Komponen yang tidak berbahaya berupa nitrogen, oksigen, dan karbon dioksida.

Sedangkan komponen yang berbahaya adalah karbon monoksida, berbagai senyawa hidrokarbon, senyawa NO_x , SO_x dan partikulat debu termasuk timbal (Pb) (Tugaswati, 2000). Umumnya proses pembakaran menghasilkan gas sisa dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, oleh karena itu perlu dilakukan pengujian komponen emisi berbahaya untuk melihat kualitas bahan bakar tersebut setelah ditambahkan bioaditif berbahan minyak atsiri. Parameter emisi yang diukur adalah CO (mg/Nm^3), NO (mg/Nm^3), SO_2 (mg/Nm^3), dan total partikulat (mg/Nm^3)

METODE

Bahan yang digunakan yaitu minyak daun cengkeh, minyak sereh wangi, eugenol, kariofilen, sitronellal dan rhodinol yang diproduksi oleh PT. Indesso. Solar yang digunakan diperoleh dari Stasiun pengisian bahan bakar umum (SPBU) Dramaga, Kabupaten Bogor.

Alat yang digunakan adalah piknometer (AICS Cc 10c-95), *viscometer* (ASTM D445), *bomb calorimeter*, *engine test bed* (ASTM D-631), neraca analitik dan didukung dengan peralatan gelas. *Engine Test Bed* di laboratorium Motor Bakar dan Penggerak Mula, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem IPB, dan alat untuk mengukur emisi gas buang dengan *Autologic Gas Analyzer Bacharach RN1012* Spesifikasi motor bakar (*Engine Test Bed*) yang diukur:

- a. Jenis motor : motor *diesel*
- b. Klasifikasi motor : 4 langkah
- c. Volume langkah torak : 10746 cc
- d. Daya maksimum : 34 hp/kW,
3200 rpm
- e. Jumlah silinder : 3 silinder
- f. Posisi silinder : vertikal
- g. Tipe pendingin : radiator air
- h. Kosntruksi prony brake
 - Diameter *Pully/Flywheel* : 30 cm
 - Panjang lengan : 60 cm
 - Kapasitas timbangan : 50 kg
 - Skala terkecil timbangan : 200 g

Karakteristik solar dan solar yang ditambahkan dengan bioaditif 1% yaitu densitas dengan piknometer, viskositas, nilai kalor (*Bomb Calorimetri*), bilangan setana.

Pengujian emisi gas buang meliputi kadar CO, NO, SO, dan total partikulat pada sisa pembakaran bahan bakar solar dengan mesin uji (*engine test bed*) yaitu gas buang yang dihasilkan oleh mesin uji pada putaran 2500 rpm diukur dengan menggunakan alat pengukur emisi *Bacharach RN1012* (Septiadi, 2017). Sistem pengambilan data emisi yaitu mesin yang digunakan harus dalam keadaan menyala, kemudian *switch* (alat penghubung) sensor alat uji emisi gas buang tersebut diletakkan di lubang gas buang pada mesin diesel tersebut. Setelah itu sistem pendataan *Autologic Gas Analyzer Bacharach RN1012* akan bekerja sesuai data uji emisi gas buang mesin yang diterima oleh sensor alat uji emisi gas buang tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Solar dan Solar yang Ditambahkan Bioaditif

Bahan bakar yang diaplikasikan pada motor bakar atau mesin, bahan bakar tersebut harus memenuhi beberapa kriteria yang disebut dengan karakteristik bahan bakar solar. Beberapa karakteristik bahan bakar solar yang diukur pada penelitian ini adalah nilai densitas, viskositas, nilai kalor dan bilangan setana. Menurut Hardjono (2001) bahwa diantara sifat-sifat bahan bakar yang terpenting adalah nilai densitas, viskositas, nilai kalor, dan bilangan setana. Karakteristik solar yang telah ditambahkan bioaditif minyak daun cengkeh, minyak sereh wangi dan komponennya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik solar dan solar dengan bioaditif

No	Sampel	Densitas kg/m ³	Viskositas (mm ² /s)	Nilai Kalor (kkal/kg)	Bilangan Setana
1	Solar	858	2,45	10041	53
2	Solar+ minyak daun cengkeh	854	2,48	11041	52
3	Solar+ eugenol	846	2,66	11171	53,3
4	Solar+ kariofilen	849	2,48	10817	52,9
5	Solar+ minyak sereh wangi	856	2,52	10610	52,9
6	Solar+ rhodinol	851	2,45	10341	52,9
7	Solar+ sitronellal	844	2,44	12092	53

Densitas merupakan sifat bahan bakar yang sangat penting karena berkaitan dengan proses penginjeksian bahan bakar melalui pompa injeksi ke ruang pembakaran sehingga diperoleh komposisi yang tepat antara udara dan solar (Ramirez *et al.*, 2012). Bahan bakar harus mengalami penguapan agar bercampur dengan oksigen, dimana proses penguapan adalah perubahan zat cair menjadi gas, hal ini bergantung pada titik didih setiap jenis bahan bakar. Semakin tinggi berat jenis suatu zat, maka semakin tinggi titik didih zat tersebut, dan semakin sulit menjadi uap. Tentunya menjadi semakin sulit bereaksi dengan oksigen. Perubahan densitas solar setelah penambahan 1% bioaditif pada solar terlihat nilai hasil uji densitas keseluruhannya berada pada rentang standar solar yang telah ditetapkan (Tabel 1), sehingga hal ini menunjukkan bahwa keseluruhan sampel solar yang ditambahkan dengan bioaditif membuat densitas memenuhi

mutu bahan bakar. Nilai standar densitas yang dikeluarkan oleh Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi (2013) dari bahan bakar solar adalah sebesar 815-860 kg/m³.

Viskositas merupakan tahanan yang dimiliki oleh suatu cairan yang dialirkan pada pipa kapiler terhadap gaya gravitasi. Jika viskositas semakin tinggi, maka tahanan alir suatu cairan akan semakin tinggi pula. Karakteristik ini menjadi sangat penting karena dapat mempengaruhi kinerja dari pompa injektor pada mesin diesel (Soerawidjaja *et al.*, 2005). Nilai standar viskositas yang dikeluarkan oleh Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi dari bahan bakar solar adalah 2-5 mm²/s. Perubahan viskositas solar setelah penambahan 1% bioaditif pada solar terlihat nilai-nilai hasil uji viskositas keseluruhannya berada pada rentang standar solar yang telah ditetapkan (Tabel 1). Minyak daun cengkeh dan minyak

sereh wangi memiliki viskositas yang sama dengan viskositas solar yaitu 2-5 mm²/s dimana minyak cengkeh memiliki viskositas 4.1 mm²/s (Mbarawa, 2018), minyak sereh wangi memiliki viskositas 23245 mm²/s (SNI 1995).

Nilai kalor adalah untuk mengetahui jumlah energi panas yang dihasilkan dari setiap satuan bahan bakar apabila terbakar habis dengan sempurna, dimana nilai kalor ini berbanding lurus dengan nilai energi yang dihasilkan dari proses pembakaran. Makin tinggi nilai kalor bahan bakar menunjukkan tersebut semakin sedikit pemakaian bahan bakarnya (Lubis, 2007). Tabel 1 menunjukkan nilai kalor solar yang didapatkan pada penambahan bioaditif 1% setiap sampel mengalami peningkatan, hal ini menunjukkan bahwa kualitas dari bahan bakar solar yang ditambahkan dengan zat bioaditif berbasis minyak atsiri (minyak daun cengkeh dan sereh wangi lebih baik dari pada bahan bakar solar tanpa zat bioaditif dilihat dari sisi energi yang dihasilkannya. Nilai kalor bahan bakar solar 10500-10667 kkal/kg (Pertamina, 2005).

Nilai setana menunjukkan seberapa cepat bahan bakar mesin diesel yang dapat diinjeksikan ke ruang bahan bakar agar terbakar secara spontan. Semakin rendah bilangan setana maka semakin rendah pula kualitas penyalaan karena memerlukan suhu penyalaan yang lebih tinggi. Angka setana yang tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah, dan sebaliknya angka setana rendah menunjukkan bahan bakar baru dapat menyala pada temperatur yang relatif tinggi

Hasil pengujian nilai setana bahan bakar solar yang digunakan pada Tabel 1 menunjukkan nilai setana solar yaitu 53 nilai setana ini sesuai dengan nilai standar setana yang dikeluarkan oleh Direktur Jendral Minyak dan Gas Bumi (2013) dari bahan bakar solar

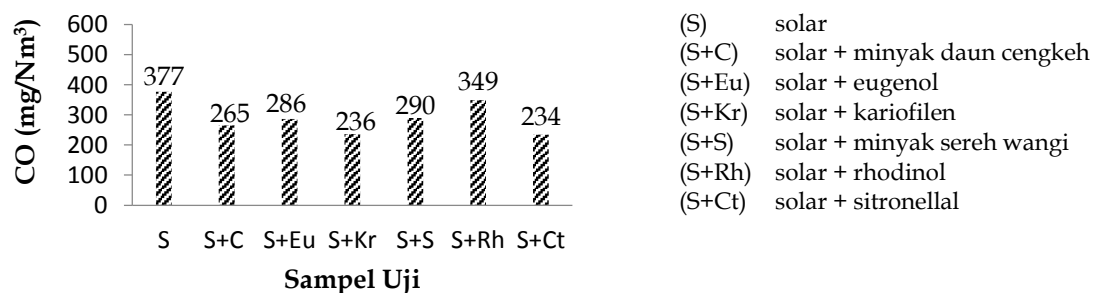
adalah sedikitnya memiliki nilai setana 48. Tabel 1. menunjukkan solar setelah ditambahkan bioaditif berbasis minyak atsiri bilangan setana yang dihasilkan tidak mengalami banyak perubahan.

Emisi Gas Buang

Emisi gas buang merupakan sisa hasil pembakaran di dalam motor bakar yang dikeluarkan ke udara bebas melalui pipa pembuangan agar tidak mengganggu proses pembakaran selanjutnya. Komponen emisi gas buang ada yang berbahaya dan tidak berbahaya bagi lingkungan. Komponen yang tidak berbahaya berupa nitrogen, oksigen, dan karbon dioksida. Sedangkan komponen yang berbahaya adalah karbon monoksida, berbagai senyawa hidrokarbon, senyawa NO_x, dan SO_x (Tugaswati, 2000). Umumnya proses pembakaran menghasilkan gas sisa dan memiliki dampak negatif terhadap lingkungan, oleh karena itu perlu dilakukan pengujian komponen emisi berbahaya untuk melihat kualitas bahan bakar tersebut. Uji emisi gas buang yang diamati antara lain karbon monoksida (CO), nitrogen monoksida (NO), sulfur oksida (SO), dan total partikulat.

a. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) merupakan komponen gas yang tidak memiliki warna, bau, dan rasa (Wardhana, 2004). CO terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna terhadap karbon atau komponen yang mengandung karbon, reaksi antara karbon dioksida (CO₂) dengan komponen yang mengandung karbon, dan hasil penguraian (CO₂) menjadi CO dan O₂ pada suhu tinggi. Berikut hasil pengukuran karbon monoksida dengan penambahan bioaditif dari minyak atsiri.

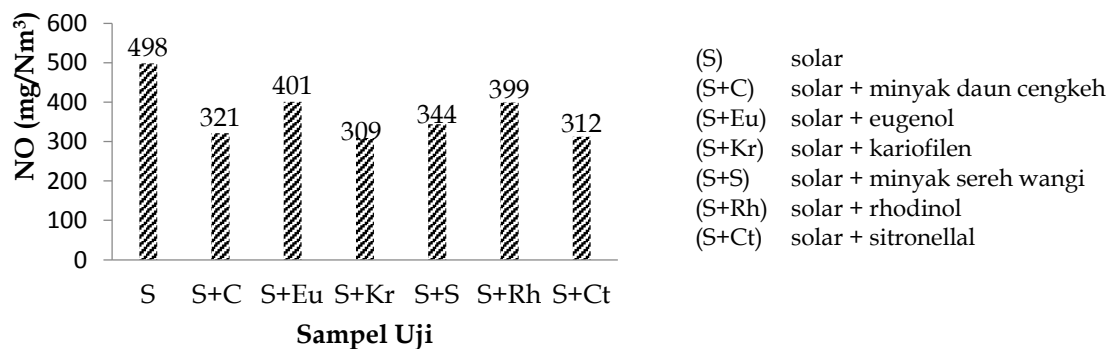


Gambar 1. Histogram emisi CO yang dihasilkan dari proses pembakaran

Berdasarkan gambar 1 terlihat bahwa kadar emisi CO mengalami penurunan 29% pada penambahan bioditif minyak daun cengkeh, 29,70% penambahan eugenol dan 24,13% dengan penambahan kariofilen. Sampel uji dengan penambahan bioditif sereh wangi juga mengalami penurunan kadar emisi CO yaitu 23,07% dan penambahan rhodinol menurunkan 7,42% sedangkan sitronellal menurunkan 37,93%. Penambahan bioditif berbasis minyak atsiri ini mampu menurunkan CO. Hal ini sesuai dengan hasil dari penelitian Choi (1999) bahwa keberadaan atom oksigen di dalam bahan bakar akan mengoksidasi jelaga dan karbon monoksida (CO) sehingga pembakaran di dalam sistem pembakaran lebih sempurna.

b. Nitrogen Monoksida (NO)

Nitrogen oksida (NO_x) merupakan golongan gas yang terdapat di atmosfer yang pada umumnya berbentuk nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida (NO_2) dalam jumlah kecil. NO merupakan gas yang tidak berwarna dan tidak berbau. Sebaliknya NO_2 berwarna coklat kemerahan dan berbau tajam (Wardhana 2004). Pembentukan NO_x dipengaruhi oleh jumlah oksigen berlebih, suhu, dan waktu atau lama gas hasil pembakaran berada pada suhu tersebut. Semakin tinggi suhu pembakaran, semakin tinggi konsentrasi NO_x yang dihasilkan (Sugiarti, 2009). Berikut hasil pengukuran nitrogen monoksida pada solar dengan penambahan bioditif dari minyak atsiri.



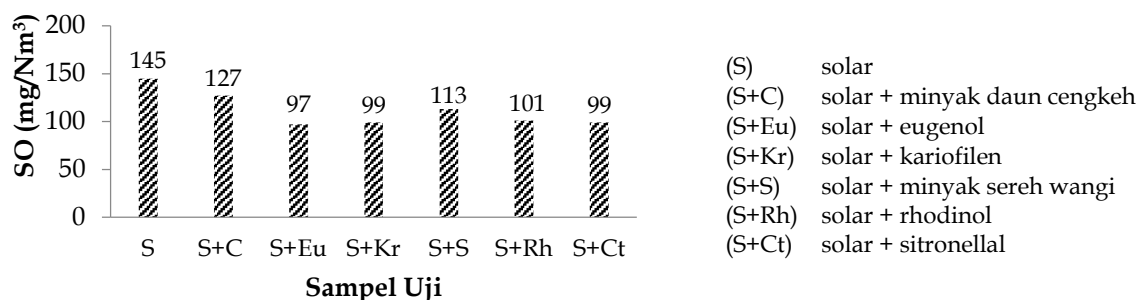
Gambar 2. Histogram emisi NO yang dihasilkan dari proses pembakaran

Penambahan bioditif dapat mengurangi emisi NO_x , dari hasil analisa kadar emisi NO (gambar 2) terjadi penurunan 35,54% pada penambahan bioditif minyak daun cengkeh, 29,70% penambahan eugenol dan 37,95% dengan penambahan kariofilen. Sampel uji dengan penambahan bioditif sereh wangi juga mengalami penurunan kadar emisi CO yaitu 30,92% dan penambahan rhodinol menurunkan 19,87% sedangkan sitronellal menurunkan 37,34%. Gambar 2 menunjukkan bahwa kandungan NO pada bahan bakar solar yang digunakan cukup tinggi yaitu 498 mg/m³. Kandungan NO yang tinggi dapat disebabkan oleh bahan baku untuk bahan bakar yang digunakan kaya akan senyawa nitrat. Senyawa nitrat adalah senyawa yang tidak ikut terbakar pada pembakaran dan pada suhu tinggi akan berikatan dengan oksigen membentuk senyawa NO_x . Hasil pengujian emisi NO pada sampel dengan penambahan bioditif berbasis minyak

atsiri menunjukkan hasil yang efektif menurunkan kadar NO.

c. Sulfur Oksida (SO)

Gas buang sulfur oksida utamanya disebabkan karena pembakaran bahan bakar yang mengandung sulfur dan akan menghasilkan dua bentuk sulfur oksida yaitu sulfur dioksida (SO_2) dan sulfur trioksida (SO_3) (Sugiarti, 2009). Jumlah relatif keduanya tidak bergantung pada jumlah oksigen yang tersedia. SO_2 akan selalu terbentuk meskipun udara tersedia cukup sedangkan jumlah SO_3 yang terbentuk dipengaruhi suhu reaksi. Sastrawijaya (2000) menjelaskan bahwa sulfur oksida merupakan gas jernih yang tak berwarna, gas ini menyengat dan amat membahayakan manusia.



Gambar 3. Histogram emisi SO yang dihasilkan dari proses pembakaran,

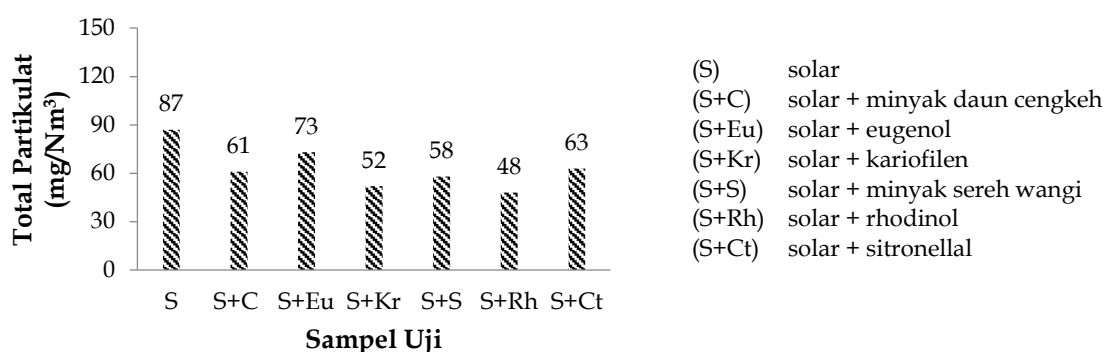
Solar yang digunakan pada pengujian kadar emisi SO_x menghasilkan SO yang aman dalam ambang batas kadar emisi bahan bakar SO adalah maksimal 800 mg/Nm³. Gambar 3 menunjukkan bahwa emisi SO_x yang dihasilkan relatif rendah yaitu berkisar antara 99-145 mg/Nm³. Penambahan bioaditif berbasis minyak atsiri dapat mengurangi emisi SO_x. dari hasil analisa kadar emisi SO_x terjadi penurunan 12,41% pada penambahan minyak daun cengkeh, 33,10% penambahan eugenol dan 31,72% dengan penambahan kariofilen. Sampel uji dengan penambahan bioaditif sereh wangi juga mengalami penurunan kadar emisi SO_x yaitu 22,06% dan penambahan rhodinol menurunkan 30,34% sedangkan sitronellal menurunkan 31,72%.

Rendahnya kadar SO_x disebabkan oleh jumlah sulfur yang terkandung dalam solar yang digunakan relatif rendah dan suhu pembakaran berubah-ubah sehingga SO yang

terbentuk cukup rendah. Selain itu kandungan oksigen yang cukup banyak akibat penambahan bioaditif mampu menyempurnakan pembakaran dan meminimalisir terbentuknya emisi. Hal tersebut sesuai dengan Al-Widyan (2002) dan Agarwal (2006), emisi dapat diminimalisir dengan penambahan oksigen sehingga pembakaran lebih sempurna.

d. Total partikulat

Partikulat pada gas buang mesin diesel berasal dari partikel susunan bahan bakar yang masih berisikan kotoran kasar (abu dan debu) dikarenakan proses pembakaran bahan bakar yang kurang baik. Sehingga pada saat terjadi pembakaran, kotoran tersebut akan terurai dari susunan partikel yang lain dan tidak terbakar.



Gambar 4. Histogram emisi total partikulat yang dihasilkan dari proses pembakaran

Gambar 4 menunjukkan bahwa total partikulat yang dihasilkan relatif rendah yaitu berkisar antara 48-87 mg/Nm³. Penambahan bioaditif berbasis minyak atsiri dapat mengurangi total partikulat dari sisa pembakaran pada mesin. dari hasil analisa

terjadi penurunan 31,03% pada penambahan bioaditif minyak daun cengkeh, 33,10% penambahan eugenol dan 16,09% dengan penambahan kariofilen. Sampel uji dengan penambahan bioaditif sereh wangi juga mengalami penurunan total partikulat yaitu

40,22% dan penambahan rhodinol menurunkan 40,48% sedangkan sitronellal menurunkan 27,58%. Menurunnya total partikulat menunjukkan proses pembakaran berlangsung dengan baik.

SIMPULAN

Penggunaan bioaditif pada bahan bakar solar mampu menurunkan emisi yaitu penambahan eugenol menurunkan CO 24%, NO 19%, SO sebanyak 33% dan total partikulat menurun sebanyak 16%. Sedangkan penggunaan sitronellal menurunkan emisi CO sebanyak 38%, NO 37%, SO 32% dan total partikulat 28%.

DAFTAR PUSTAKA

- [SNI] Standar Nasional Indonesia. 1995. SNI 06-3953-1995 tentang Minyak Sereh Wangi. Jakarta (ID): Badan Standarisasi Nasional
- [DIRJEN MIGAS] Direktur Jenderal Minyak dan Gas Bumi (ID). 2013. Standard Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak dan Solar 48 yang Dipasarkan di dalam Negeri. No: 978.K/10DJM.S/2013. Jakarta
- Agarwal -D., Sinha -S., Agarwal -A.K. 2006. Experimental investigation of control of NOx emissions in biodiesel-fueled compression ignition engine. *Renewable Energy*. 31(14), 2356-2369. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2005.12.003>
- Al-Widyan -N.I., Tashtoush -G., Abu-Qudaish -M.D. 2002. Utilization of ethyl ester of waste vegetable oils as fuel in diesel engine. *Fuel process Technology*. 76 (2), 91-103. [https://doi.org/10.1016/S0378-3820\(02\)00009-7](https://doi.org/10.1016/S0378-3820(02)00009-7)
- Choi, -C.H., Reitz, -R.Y. 1999. An experimental study on the effects of oxygenated fuel blends and multiple injection strategies on diesel engine emission. *Journal of Fuel*. 78(11), 1303-1317. [https://doi.org/10.1016/S0016-2361\(99\)00058-7](https://doi.org/10.1016/S0016-2361(99)00058-7)
- Hardjono A. 2001. Teknologi Minyak Bumi. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada Univ. Press
- Kadarohman. 2003. Eksplorasi Minyak Atsiri Sebagai Bioaditif Bahan Bakar Solar. Program Studi Kimia. FMIPA. UPI. Bandung
- Mbarawa, -M. 2008. Performance, emissions and economic assessment of clove stem oil-diesel blended fuels as alternative fuels for diesel engines. *Renewable Energy*. 33(5), 871-882. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2007.06.009>
- Muntaha -T. 2005. Pengaruh penambahan bioaditif minyak terpenin sebagai campuran premium terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang. Tesis. Universitas Negeri Semarang. Semarang
- Lubis, -S.S. 2007. Studi pengaruh pencampuran biodiesel jarak pagar dengan solar terhadap perubahan karakteristik fisiknya. Tesis. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Pertamina 2005 dalam Rahmat -R. 2013. Spesifikasi Bahan Bakar. Dilihat 15 Maret 2018. <https://www.academia.edu/33357938/BAB_II_TINJAUAN_PUS_AKA_2.1_Proses_Pembakaran>
- Ramirez -L.E., Rodrigues -J.E., Jarimillo -A.D.R. 2012. A predicting cetan number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition. *Fuel*. 91(1), 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.06.070>
- Rashedul -H.K., Masjuki -H.H., Kalam -A.M., Ashraful -S.M., Rahman A., Shahir -S.A. 2014. The effect of additives on properties, performance and emission of biodiesel fueled compression ignition engine. *Journal of Energy conversion and management*. 88,348-364. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2014.08.034>
- Sastrawijaya dan Tresna -A. 2000. Pencemaran Lingkungan. Jakarta (ID): PT. Rineka Cipta Jakarta
- Septiadi -T. 2017. Formulasi Minyak Sereh Wangi dan Minyak Cengkeh sebagai Bioaditif untuk Meningkatkan Kinerja Bahan Bakar Solar. Tesis. Teknik Industri Pertanian. IPB. Bogor
- Soerawidjaja -T.H., Adrisman -U.W., Siagian -T., Prakoso -I.K., Reksowardojo -K.S., Permana. 2005. Studi Kebijakan Penggunaan Biodiesel di Indonesia. Kementerian Ristek dan Teknologi RI MAKSI IPB. Bogor

- Sugiarti. 2009. Gas pencemar udara dan pengaruhnya bagi kesehatan manusia. *Jurnal Chemica*. 10(1), 50-58. <https://doi.org/10.35580/chemica.v10i1.399>
- Tugaswati -A.T. 2000. Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor dan Dampaknya terhadap Kesehatan. Dilihat 15 Maret 2018. http://www.kpbb.org/makalah_ind/Emisi.Gas.Buang.Bermotor.dan.Dampaknya.Terhadap.Kesehatan.pdf
- Wardhana dan Wisnu -A. 2004. Dampak Pencemaran Lingkungan. Yogyakarta (ID): Andi