

**ANALISA EMISI GAS BUANG
KENDERAAN RINGAN YANG
DIUJI DI
DINAS PERHUBUNGAN KOTA
MEDAN**

by

Junaidi, Din Aswan Amran Ritonga, Maulana Siddiq Sitepu

ANALISA EMISI GAS BUANG KENDERAAN RINGAN YANG DIUJI DI DINAS PERHUBUNGAN KOTA MEDAN

Junaidi¹, Din Aswan Amran Ritonga², Maulana Siddiq Sitepu^{3*}

^{1,2,3} Fakultas Teknik dan Komputer Universita, Harapan Medan, Medan, Indonesia

^{1,2}junaidi413@yahoo.com, din.aswan@gmail.com

Abstrak

Penggunaan biodiesel dalam boiler memiliki manfaat yang besar karena dapat mengurangi emisi gas buang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji kualitas bahan baku solar dan biosolar sebagai bahan bakar dari boiler, menganalisis konsentrasi gas pencemar (NO_x, CO₂, SO₂) dari pembakaran biosolar dan minyak solar secara eksperimental. Sistem pembakaran pada boiler cenderung lebih sederhana dibandingkan penyalaan kompresi seperti yang dilakukan pada mesin diesel. Penelitian ini dilakukan secara eksperimental pada fire tube boiler, dengan heat input rate 60.000 kCal/jam dan tekanan 3 bar dengan menggunakan biodiesel berbahan baku CPO (minyak sawit mentah) sebagai bahan bakar. Campuran tersebut bervariasi pada biodiesel 0, 5, 10, 15, 20 dan 25% dalam campuran dengan solar biosolar (B0, B5, B10, B15, B20 dan B25). Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dengan menguji emisi gas buang yang dihasilkan dari cerobong gas buang yang diharapkan dapat menghasilkan emisi gas buang yang rendah dan ramah lingkungan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biodiesel menurunkan emisi gas dengan meningkatkan nilai biodiesel dalam campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi gas buang terendah sekitar 4,142% (NO_x); 12,50% (SO₂) dan 7,9% (CO₂) terkandung dalam campuran 25% biodiesel dalam bahan bakar (B25).

Kata Kunci: Biodiesel, CPO, Emission, Fire Tube Boile

Abstract

The use of biodiesel in boilers has great benefits because it can reduce exhaust emissions. The purpose of this study is to test the quality of diesel and biodiesel raw materials as fuel from boilers, analyze the concentration of polluting gases (NO_x, CO₂, SO₂) from the combustion of biodiesel and diesel oil experimentally. The combustion system in boilers tends to be simpler than compression ignition as done in diesel engines. This research was conducted experimentally on a fire tube boiler, with a heat input rate of 60,000 kCal / hour and a pressure of 3 bar using biodiesel made from CPO (crude palm oil) as fuel. The mixture varies on 0, 5, 10, 15, 20 and 25% biodiesel in a mixture with biodiesel (B0, B5, B10, B15, B20 and B25). This research was conducted experimentally by testing exhaust gas emissions produced from exhaust gas chimneys which are expected to produce low exhaust emissions and are environmentally friendly. The results showed that the use of biodiesel reduces gas emissions by increasing the value of biodiesel in the mixture. The results showed that the lowest exhaust gas emission was around 4.142% (NO_x); 12.50% (SO₂) and 7.9% (CO₂) are contained in a mixture of 25% biodiesel in fuel (B25).

Keywords: Biodiesel, CPO, Emission, Fire Tube Boile

1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara dewasa ini semakin menampakkan kondisi yang sangat memprihatinkan. Sumber pencemaran udara dapat berasal dari berbagai kegiatan antara lain industri, transportasi, perkantoran, dan perumahan. Berbagai kegiatan tersebut berkontribusi besar terhadap pencemaran udara dan menimbulkan efek buruk bagi kondisi atmosfer lingkungan. Oleh karena itu, untuk memenuhi kebutuhan udara bersih, pemerintah Indonesia membuat peraturan pemerintah RI No 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara. Udara sebagai komponen lingkungan yang penting dalam kehidupan harus dipelihara dan ditingkatkan kualitasnya sehingga dapat memberikan daya dukung bagi makhluk

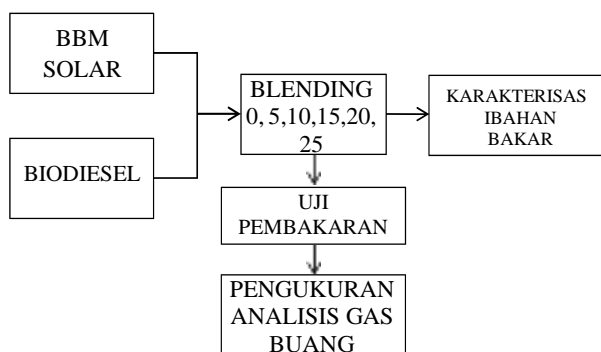
hidup untuk dapat hidup secara optimal. Permasalahan lingkungan yang timbul akibat meningkatnya permintaan energi yang tinggi menjadi suatu masalah besar bagi negara Indonesia. Salah satu aspek polusi lingkungan yaitu emisi gas buang seperti SO₂, CO, dan NO_x dari pengoperasian boiler berbahan bakar minyak solar berbasis fosil dari suatu industri. Dampaknya terjadi penurunan kualitas udara ambien yang disebabkan oleh emisi gas polutan dari cerobong (stack). Data World Resource Institute menyatakan bahwa kondisi atmosfer Indonesia berada pada level ke-14 di dunia yang dinyatakan dengan nilai absolute emission, setelah Meksiko. Hal ini menunjukkan emisi polutan yang terjadi di Indonesia cukup tinggi dan mempengaruhi dampak terhadap perubahan iklim di atmosfer. Salah satu upaya

dalam menyikapi perubahan iklim global yang terjadi di beberapa industri terkait yaitu dengan penggunaan bahan bakar nabati sebagai pengganti bahan bakar fosil seperti biosolar. Pada penelitian ini digunakan boiler berbahan bakar biosolar dan solar. Emisi gas buang (SO₂, CO₂, NO_x) dianalisis menggunakan gas analyzer. Parameter yang diteliti adalah pengaruh penambahan bahan bakar solar dan biosolar pada fire tube boiler terhadap emisi gas buang yang dihasilkan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 1. Blok Diagram Kerja Pengambilan Data Secara Eksperimen

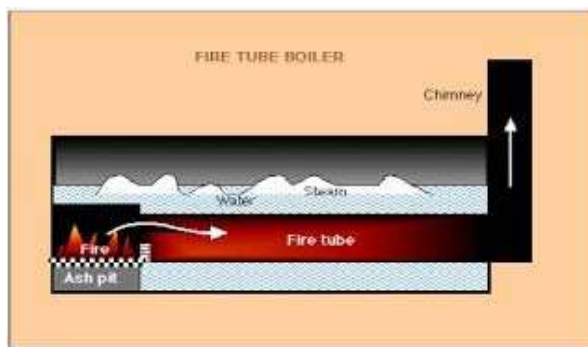
Boiler

Salah satu peralatan yang sangat penting di dalam suatu pembangkit tenaga listrik adalah Boiler (Steam Generator) atau yang biasanya disebut ketel uap. Alat ini merupakan alat penukaran kalor, dimana energi panas yang dihasilkan dari pembakaran diubah menjadi energi potensial yang berupa uap. Uap yang mempunyai tekanan dan temperatur tinggi inilah yang nantinya digunakan sebagai media penggerak utama Turbin Uap. Energi panas diperoleh dengan jalan pembakaran bahan bakar di ruang bakar. Geometri boiler dapat berbentuk silinder vertikal maupun horizontal. Proses pembentukan uap yang terjadi pada ketel uap adalah sebagai berikut: mula-mula tangki diisi dengan air, kemudian tangki dipanasi hingga temperatur dalam tangki akan naik mencapai titik didih maka terbentuk uap. Uap yang terbentuk pada temperatur didih ini disebut uap jenuh.

Fire Tube Boiler

Pada fire tube boiler, gas panas melewati pipa-pipa dan air umpan boiler ada di dalam shell untuk diubah menjadi steam. Fire tube boiler biasanya digunakan untuk kapasitas steam yang relatif kecil dengan tekanan steam rendah sampai sedang. Sebagai pedoman, fire tube boiler kompetitif untuk kecepatan steam sampai 12.000 kg/jam dengan tekanan sampai 18 kg/cm. Fire tube boiler dapat menggunakan bahan bakar minyak bakar, gas atau bahan bakar padat dalam operasinya. Untuk alasan ekonomis,

sebagian besar fire tube boiler dikonstruksikan sebagai “paket” boiler (dirakit oleh pabrik) untuk semua bahan bakar.



Gambar 2. Fire Tube Boiler

Bio Diesel

Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari sumber terbarukan seperti minyak sayur atau lemak hewan. Sebuah proses transesterifikasi lipid digunakan untuk mengubah minyak dasar menjadi ester yang diinginkan dan membuang asam lemak bebas. Setelah melewati proses ini, tidak seperti minyak sayur langsung, biodiesel memiliki sifat pembakaran yang mirip dengan diesel (solar) dari minyak bumi, dan dapat menggantikannya dalam banyak kasus. Namun, lebih sering digunakan sebagai penambah untuk diesel petroleum, meningkatkan bahan bakar diesel petrol murni ultra rendah belerang yang rendah pelumas. Biodiesel merupakan senyawa kimia sederhana dengan kandungan enam sampai tujuh macam ester asam lemak. Biodiesel didefinisikan sebagai metil ester dengan panjang rantai karbon antara 12 sampai 20 dari asam lemak turunan dari lipid contohnya minyak nabati atau lemak hewani. Komposisi dan sifat kimia dari biodiesel tergantung pada kemurnian, panjang pendek, derajat kejenuhan, dan struktur rantai alkil asam lemak penyusunnya. Idealnya, transesterifikasi berpotensi menjadi cara yang lebih efisien untuk mengubah struktur molekul minyak dari yang besar menjadi lebih kecil, dari yang bercabang menjadi molekul rantai lurus berdasarkan jenis yang diperlukan dalam mesin pembakaran minyak solar biasa.

Tabel 1. Karakteristik Biodiesels (SNI -04-7182-2006)

No	Parameter dan Satuannya	Batas Nilai	Metode Uji	Metode Setara
1	Densitas pada 40°C, Kg/m ³	850–890	ASTM D 1298	ISO 3675
2	Viskositas kinematik pada 40°mm ² /s (cSt)	2,3-6,0	ASTM D 445	ISO 3104
3	Angka Setana	Min. 51	ASTM D 613	ISO 5165
4	Titik nyala (<i>flash point</i>) pada 0°	Min.100	ASTM D 93	ISO 2710
5	Titik kabut (<i>Cloud Point</i>)	Max.18	ASTM D 2500	
6	Titik Tuang (<i>Pour Point</i>)	Max.18	ASTM D97	
7	Korosi bilah tembaga (3 jam,500C)	Max.3	ASTM D 130	ISO 2160
8	Residu karbon,%-berat, Dalam contoh asli Dalam 10% ampas Distilasi	Max.0,05 Max.0,03	ASTM D 4530	ISO 10370
9	Air dan sediman,%-volume	Maks.0,05	ASTM D 2709	-
10	Temperatur distilasi 90%, 0C	Maks.360	ASTM D 1160	-
11	Abu tersulfatkan,%-berat	Maks 0,02	ASTM D 874	ISO 3987
12	Belerang,ppm-b (mg/kg)	Maks.100	ASTM D 5453	Pren ISO 20884
13	Fosfor,ppm-b (mg/kg)	Maks.10	AOCS Ca 12-55	FBI-A05-03
14	Angka asam,mg-KOH/gr	Maks.0,8	AOCS Cd 3-63	FBI-A01-03
15	Gliserol bebas,%-berat	Maks.0,02	AOCS Ca 14-56	FBI-A02-03
16	Gliserol total,%-berat	Maks.0,24	AOCS Ca14-56	FBI-A02-03
17	Kadar ester alkil,%-berat	Min.96,5	Dihitung *)	FBI-AO3-03
18	Bilangan iodine,g-I ₂ /100g	Maks.115	AOCS Cd1-25	FBI-AO4-03
19	Uji Halphen	negatif	AOCS Cb 1-25	FBI-AO6-03

Sumber: BSN (2006)

Biodiesel merupakan bahan bakar yang berwarna kekuningan yang viskositasnya tidak jauh berbeda dengan minyak solar. Oleh karena itu campuran bio-diesel dengan minyak solar dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar kendaraan berbahan bakar minyak solar tanpa merusak atau memodifikasi mesin. Data Tabel 1 di atas menampilkan Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk Biodiesel yang diproduksi di Indonesia. Salah satu keuntungan penambahan biodiesel sebagai campuran dengan minyak solar adalah peningkatan lubrisitas bahan bakar dan mereduksi emisi gas buang. Proses paling umum dalam pembuatan biodiesel dikenal sebagai proses transesterifikasi dengan bahan baku minyak nabati, lemak hewani dan minyak goreng bekas dan direaksikan dengan alkohol dengan adanya suatu katalis tertentu.

Minyak solar merupakan jenis bahan bakar minyak untuk mesin diesel yang bersifat tidak terbarukan. Diperlukan upaya untuk mengurangi ketergantungan terhadap minyak solar. Salah satu energi alternatif sebagai upaya pengurangan ketergantungan tersebut adalah biodiesel. Namun biodiesel dalam keadaan murni (B100) memiliki beberapa kekurangan jika digunakan dalam keadaan murni. Tindakan umum yang dilakukan untuk mengatasi kekurangan B100 sebagai bahan bakar adalah dilakukan blending dengan minyak solar pada formulasi blending tertentu. Blending adalah suatu proses pencampuran untuk mendapatkan produk atau umpan yang memenuhi persyaratan atau spesifikasi yang diperlukan. Untuk blending di Indonesia baru ada B5 atau yang biasa kita kenal dengan biosolar. Sampai saat ini formulasi terbaik yang dapat diterapkan dengan kondisi

mesin yang sudah ada dibanyak mesin transportasi yang digunakan adalah melakukan blending dengan formulasi blending mencapai 20%. Istilah B20 ini menunjukkan atas 20% biodiesel dan 80% solar. Begitu juga dengan B5 yang berarti 5% biodiesel dan 95% solar. Istilah lain seperti B10, B20 dan B30 adalah mengikuti sesuai konsentrasi biodiesel yang ditambahkan . Angka setana pada bahan bakar minyak diesel menunjukkan kualitas penyalan apabila nilai angka setana rendah akan memerlukan suhu yang sangat tinggi untuk penyalannya, sebaliknya apabila angka setana tinggi memerlukan titik penyalan sendiri yang lebih rendah sehingga angka setana yang lebih tinggi akan mengurangi angka detonasi di dalam mesin .

Uji B0, B10, B20, B30, B50 dan B100 (biodiesel murni) terhadap performa mesin dievaluasi melalui torsi, daya, dan bahan bakar spesifik konsumsi, sementara emisi dievaluasi melalui karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), partikulat (PM), karbon dioksida (CO₂), dan polutan NO_x. Hasil menunjukkan bahwa konten yang lebih tinggi dari biodiesel sawit dapat mengurangi emisi CO, HC, PM, dan CO₂. Ditemukan bahwa penambahan biodiesel bisa meningkatkan tenaga dan torsi. Campuran biodiesel pada solar dapat membantu mengendalikan polusi udara dan mengurangi tekanan pada sumber daya yang langka tanpa mengorbankan kekuatan mesin dan ekonomi secara signifikan. Namun, banyak penelitian lebih lanjut tentang optimasi dan modifikasi pada mesin, kinerja suhu rendah pada mesin, instrumentasi baru dan

metodologi untuk pengukuran harus dilakukan ketika petroleum diesel diganti sepenuhnya oleh biodiesel.

Hasil dari penelitian ini dan pengaruh biosolar terhadap viskositas dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar 3 berikut ini:

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

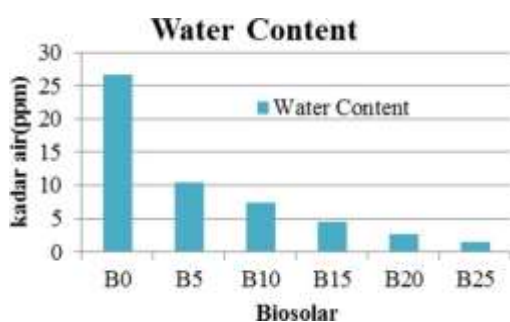
Tabel 2. Hasil Analisis Bahan Bakar

Solar	Biodiesel	(cst)	(ppm)	(kcal/kg)	Number	Point (°C)	
100%	0%	B0	2,962	26,6	10737	47,4	83,1
95%	5 %	B5	2,997	10,4	10629	50,6	82,3
90%	10%	B10	3,072	7,4	10509	54,9	82,3
85%	15%	B15	3,118	4,5	10488,5	56,2	82,3
80%	20%	B20	3,164	2,6	10468	57,5	82,3
75%	25%	B25	3,118	1,5	10252	56,2	82



Gambar 3. Pengaruh Biosolar Terhadap Viskositas

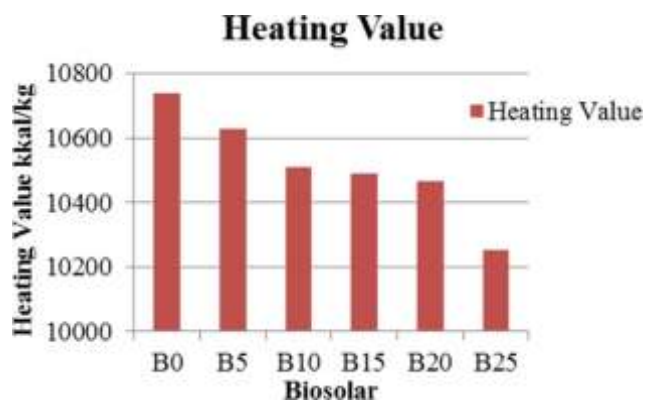
Dari grafik batang diatas dapat dilihat bahwa pada campuran bahan bakar B0, B5, B10, B15, B20 an B25 mengalami peningkatan terhadap viskositasnya karena pengaruh dari pencampuran biodiesel terhadap minyak solar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi viskositas bahan bakaryang lebih tinggi dapat menyulitkan proses atomisasi bahan bakar, sehingga berakibat pada penurunan daya mesin. Daya mesin yang lebih rendah dapat menyebabkan penurunan efisiensi termal mesin.



Gambar 4. Pengaruh Biosolar Terhadap Kadar Air (Water Content)

Pada grafik batang di atas menunjukkan kecenderungan bahwa semakin besar campuran biodiesel pada bahan bakar solar maka semakin kecil kandungan airnya karena sifat fisika kimia dari biodiesel. Pada B0 (solar murni) menunjukkan kadar air yang tinggi sebesar 26,6 ppm atau setara dengan 0,00266% dibandingkan (B5, B10, B15, B20 dan B25) sedangkan pada B25 kadar air makin

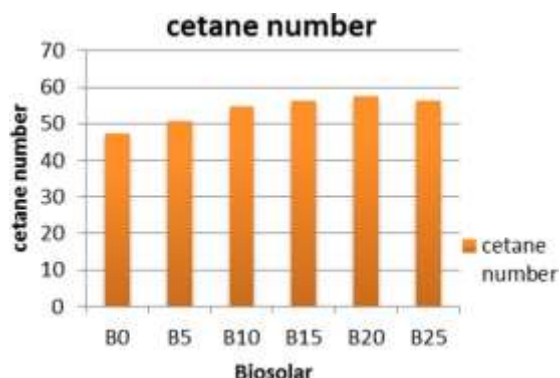
rendah sebesar 1,5 ppm setara dengan 0,00015%. Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) 2006 kadar air yang terkandung dalam biodiesel maksimum 0.05%. Kadar air merupakan salah satu tolak ukur mutu biodiesel, dan dari hasil analisis di atas menunjukkan bahwa kadar air memenuhi syarat mutu dari biodiesel. Menurut Syamsidar, semakin kecil kadar air dalam minyak maka mutunya akan semakin baik karena akan memperkecil terjadinya hidrolisis yang dapat menyebabkan kenaikan kadar asam lemak bebas. Kandungan air dalam bahan bakar dapat juga menyebabkan turunnya panas pembakaran, berbusa dan bersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur karena akanmembentuk asam. Pada temperatur yang sangat dingin, air yang terkandung dalam bahan bakar membentuk kristal dan menyumbat aliran bahan bakar dan bersifat korosif.



Gambar 5. Pengaruh Biosolar Terhadap Heating Value

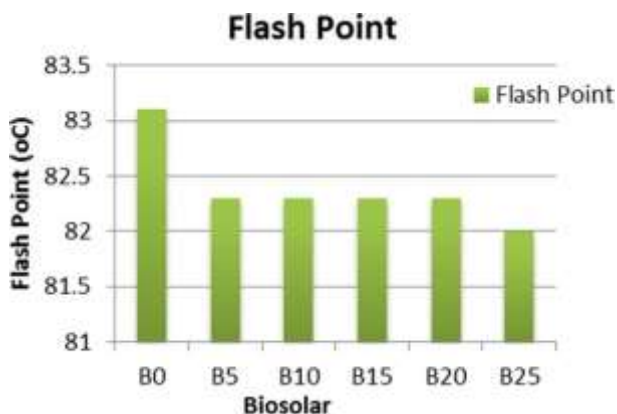
Dari data eksperimen yang telah dilakukan pada pengujian bahan bakar biosolar, terlihat bahwa grafik diatas mengalami penurunan secara signifikan pada variasi campuran biosolar B0, B5, B10, B15, B20 dan B25 terhadap nilai kalornya (heating value). Penurunan ini disebabkan karena biodiesel memiliki nilai kalor 5-13% lebih rendah dibandingkan minyak solar, sehingga bila diaplikasikan pada sistem bahan bakar lebih banyak massa bahan bakar yang diinjeksikan untuk mencapai

stoikiometri pembakaran sehingga berpengaruh pada peningkatan konsumsi bahan bakar. Selanjutnya jika temperatur bahan bakar dinaikkan, maka konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin menjadi lebih besar. Hal ini sama dengan pernyataan Murni bahwa peningkatan bahan bakar ini dapat terjadi karena peningkatan temperatur bahan bakarnya yang menyebabkan bahan bakar menjadi lebih mudah terbakar, sehingga akan mempersingkat periode pra-pembakaran (ignition delay).



Gambar 6. Pengaruh Biosolar Terhadap Cetane Number

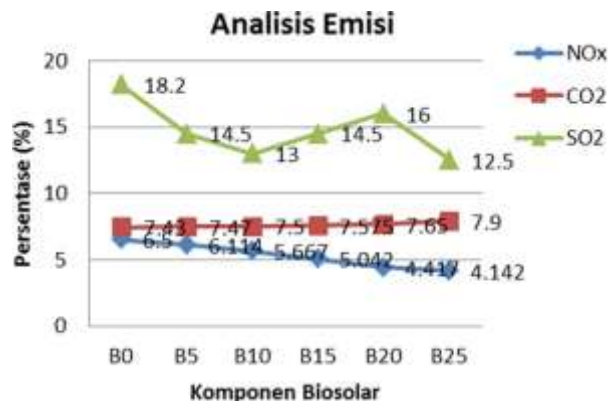
Peningkatan nilai cetane number pada campuran biosolar B0, B5, B10, B15, B20 dan B25 terjadi karena pengaruh pada waktu tunda penyalaan, hal ini dapat mempercepat waktu pembakaran. Nilai cetane number paling tinggi berada di campuran biosolar B25 sebesar 57,5. Cetane number merupakan ukuran yang menunjukkan kemampuan bahan bakar diesel untuk dikompresi dalam mesin. Prihandana menyatakan bahwa bilangan setana yang tinggi menunjukkan bahwa biodiesel dapat menyala pada temperatur yang relatif rendah begitu juga sebaliknya sehingga akan mudah terbakar di dalam silinder pembakaran mesin dan tidak terakumulasi.



Gambar 7. Pengaruh Biosolar Terhadap *Flash Point*

Flash point atau titik nyala adalah temperatur terendah dari contoh pada saat mana api pencoba dapat menyalakan uap diatas permukaan contoh pada saat pemeriksaan. Analisis flash point ini menggunakan metode tes ASTM D-93

dengan nilai minimal untuk flash point sebesar 60°C. Untuk analisis flash point ini menggunakan peralatan utama yaitu Alat Flash Point Pensky Martens Closed Cup dan termometer ASTM 1°C. Terlihat pada grafik diatas bahwa flashpoint rata- rata berkisar pada temperature 80-83°C sehingga sudah memenuhi standar SNI yang berlaku. Titik nyala sendiri tidak berkaitan langsung dengan kerja mesin, namun sangat penting untuk keamanan dan keselamatan penyimpanan biodiesel. Menurut Suryani , titik nyala yang tinggi akan memudahkan penanganan bahan bakar karena tidak perlu disimpan pada suhu rendah, sebaliknya titik nyala yang terlalu rendah akan membahayakan karena tingginya resiko terjadi penyalaan.



Gambar 8. Hasil Analisis Emisi Gas Buang

4. KESIMPULAN

Berdasarkan data dari hasil eksperimen dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan biodiesel memiliki keunggulan bagi industri boiler tipe *fire tube* atau pipa bola api karena dapat mengurangi emisi gas buang dibandingkan minyak diesel/solar. Emisi gas polutan menurun seiring dengan meningkatnya kandungan biodiesel dalam campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa emisi gas terendah yaitu sekitar 4,142% (NOx); 12,50% (SO₂) dan 7,9% (CO₂) yang terdapat pada campuran 25% biodiesel dalam bahan bakar (B25).

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bowman, C. T., (2011). Control of Combustion-Generated Nitrogen Oxide Emissions:Technology Driven by Regulation, Proc. Combustion Institute 24, pp. 859- 878, 1992
- [2] Raharjo W. D dan Karnowo.2008. Mesin Konversi Energi. Semarang: Universitas Semarang Press.
- [3] Badan Standardisasi Nasional, B. (2006). SNI 04-7182-2006. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- [4] Djamin, M., S.,Wirawan, S.S. (2010). Pengaruh Komposisi Biodiesel Terhadap Kinerja MesinDan Emisi Gas Buang. Jurnal Teknik Lingkungan 11 (3): 381-387.
- [5] Komariah, L.N., Arita, S., Wirawan, S.S., Yazid, M., Novia. (2013). Emission factors of biodiesel combustion in industrial boiler: A comparison to

- fossil fuel. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 5, 052005.
- [6] Habib, M. A., Elshafei, M., & Dajani, M. (2008). Influence of combustion parameters on NO_x production in an industrial boiler. *Computers and Fluids* 37, 12-23.
- [7] Komariah, L.N., Arita, S., Wirawan, S.S., Yazid, M., Novia.(2013). Effects of Palm Biodiesel Blends on Fuel Consumption in Fire Tube Boiler. *Applied Mechanics and Materials* Vol. 391 (2013) pp 93-97
- [8] Um, S., and S. W. Park. "Numerical Study on Combustion and Emission Characteristics of Homogeneous Charge Compression Ignition Engines Fueled with Biodiesel ." *Energy Fuel*, 2009: 24, 916-927.
- [9] Setyadi, P., . S.C. Wibowo. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, Edisiterbit II – Oktober 2015: 93–99.
- [10] Wirawan, S. S., A. H. Tambunan, and M. Djamin. "The Effect of palm biodiesel fuel on performance and emission of the automotive diesel engine,." *Eng. Int. CIGR E-J.*, 2008: X, 1–13.
- [11] Xue, J., Grift, T. E., & Hansen, A. C. (2011). Effect of biodiesel on engine performances and emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15, 1098-1116.
- [12] Yuan, W., Hansen, A. C., & Zhang, Q. (2003). Predicting The Physical Properties of Biodiesel for Combustion Modeling. *American Society of Agricultural Engineers* 46 (6), 1487-1493.
- [13] Syamsidar, H. S. 2010. Pembuatan dan uji kualitas biodiesel dari minyak jelantah. *Jurnal Teknosains*, volume 7 (2): 1-22.
- [14] Murni. (2013). Pengaruh Temperatur Solar Terhadap Performa Mesin Diesel Direck Injection Putaran Konstan. Semarang: Universitas Diponegoro.
- [15] Prihandana, R., R. Hendroko dan M. Nuramin. 2006. Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM. PT. Agromedia Pustaka. Jakarta.
- [16] Suryani, A. 2009. Penurunan asam lemak bebas dan transesterifikasi minyak jelantah menggunakan kopelarut metil tersier butil eter (MTBE). Skripsi Fakultas Teknik. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.