

KAJIAN EKSPERIMENTAL EMISI GAS BUANG *TWO STROKE MARINE DIESEL ENGINE* BERBAHAN BAKAR CAMPURAN MINYAK SOLAR (HSD) DAN *BIODIESEL* MINYAK JELANTAH PADA BEBAN SIMULATOR *FULL LOAD*

Raden Dimas Endro Witjonarko¹, Edi Haryono²

Jurusan Teknik Pernesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya 60111
Email: dimasend@yahoo.com

Abstrak

Memasuki abad ke 21, dunia mulai mengalami krisis energi terutama energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Dimana cadangan bahan bakar yang masih tersisa di dalam bumi hampir tidak mampu mencukupi permintaan masyarakat akan energi yang terus meningkat dari hari ke hari. Cadangan bahan bakar fosil yang semakin berkurang tentu saja berakibat pada peningkatan harga bahan bakar tersebut. Apalagi bahan bakar fosil termasuk kedalam kelompok energi yang tak terbaharukan atau *unrenewable energy* yang berarti energi jenis ini dapat habis pada suatu waktu. Penggunaan bahan bakar yang terus meningkat memberikan dampak negatif pada lingkungan yaitu tingginya tingkat pencemaran di udara akibat emisi hasil proses pembakaran bahan bakar fosil. Emisi berupa partikulat (debu, timah hitam) dan gas (CO, NO, SO, H₂S) dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan kerusakan pada lingkungan. Biodiesel sangat ramah lingkungan karena gas buang hasil pembakarannya yang dilepaskan ke atmosfer akan diserap kembali oleh tumbuhan untuk keperluan proses fotosintesis. Biodiesel akan mengurangi emisi gas buang tanpa mengorbankan unjuk kerja dan efisiensi dari mesin. Untuk mengetahui kelayakan penggunaan biodiesel dari minyak jelantah, maka dilakukanlah pengujian kandungan gas buang pada sebuah motor diesel. Gas buang yang dihasilkan motor diesel diukur dengan menggunakan alat GreenLine 4000 Gas Analyser. Gas yang diukur terdiri atas CO₂, SO₂, NO_x, CO, dan HC. Hasil pengukuran tersebut nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran yang didapatkan pada penggunaan minyak solar (HSD). Hal ini dilakukan untuk mengetahui campuran metil ester minyak jelantah dan minyak solar (HSD) berapa perbandingan campuran yang layak untuk digunakan sebagai bahan bakar. Dari hasil penelitian dapat diperoleh kesimpulan bahwa campuran bahan bakar biodiesel yang direkomendasikan untuk digunakan adalah B30 dan B20.

Kata kunci - Biodiesel, minyak jelantah, HSD, emisi gas buang, motor diesel.

Abstract

Entering the 21st century, the world began to experience an energy crisis, especially energy derived from fossil fuels. Where the remaining fuel reserves in the earth are barely able to meet the people's growing demand for energy from day to day. Fossil fuel reserves are dwindling, of course, resulting in an increase in fuel prices. Moreover, fossil fuels are included into a group of energy that is not renewable or *unrenewable energy* which means this type of energy can be exhausted at a time. The increasing use of fuel has a negative impact on the environment, namely the high levels of air pollution due to emissions from fossil fuel combustion processes. Particulate emissions (dust, lead) and gases (CO, NO, SO, H₂S) can cause health problems and damage to the environment. Biodiesel is environmentally friendly because the exhaust gases released into the atmosphere will be reabsorbed by plants for the process photosynthesis. Biodiesel will reduce exhaust emissions without compromising the performance and efficiency of the engine. To determine the feasibility of using biodiesel from cooking oil, then tested the exhaust gas content on a diesel motor. The exhaust gas produced by the diesel motor is measured using the GreenLine 4000 Gas Analyzer tool. The measured gas consists of CO₂, SO₂, NO_x, CO, and HC. The results of these measurements will be compared with the measurement results obtained on the use of diesel oil (HSD). This is done to know the mixture of oil methyl ester of cooking oil and diesel oil (HSD) what is the ratio of suitable mixture to be used as fuel. From the research results can be concluded that the recommended biodiesel fuel mixture for use is B30 and B20.

Keywords - Biodiesel, cooking oil, HSD, exhaust emissions, diesel motors.

1. PENDAHULUAN

Pertambahan jumlah penduduk yang disertai dengan peningkatan kesejahteraan masyarakat berdampak pada makin meningkatnya kebutuhan akan sarana transportasi dan aktivitas industri. Hal ini tentu saja menyebabkan kebutuhan akan bahan bakar cair juga semakin meningkat[1]. Menurut data *Automotive Diesel Oil*, konsumsi bahan bakar minyak

di Indonesia sejak tahun 1995 telah melebihi produksi dalam negeri. Diperkirakan dalam kurun waktu 10-15 tahun ke depan, cadangan minyak Indonesia akan habis[2]. Perkiraan ini terbukti dengan seringnya terjadi kelangkaan BBM di beberapa daerah di Indonesia. Memasuki abad ke 21, dunia mulai mengalami krisis energi terutama energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Dimana cadangan bahan bakar yang masih

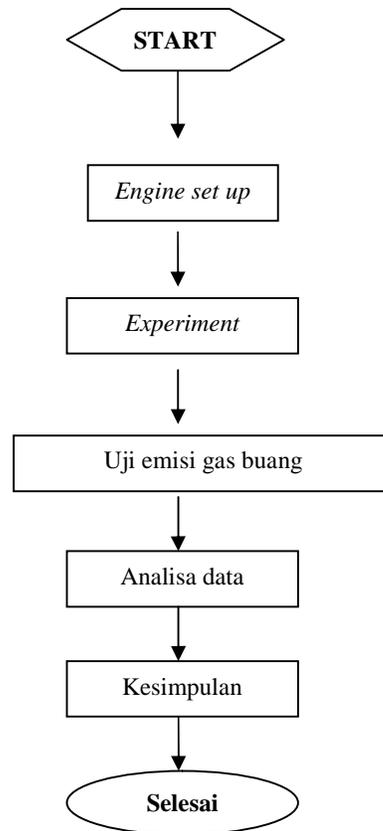
tersisa di dalam bumi hampir tidak mampu mencukupi permintaan masyarakat akan energi yang terus meningkat dari hari ke hari. Cadangan bahan bakar fosil yang semakin berkurang tentu saja berakibat pada peningkatan harga bahan bakar tersebut. Apalagi bahan bakar fosil termasuk kedalam kelompok energi yang tak terbaharukan atau *unrenewable* energi yang berarti energi jenis ini dapat habis pada suatu waktu. Penggunaan bahan bakar yang terus meningkat memberikan dampak negatif pada lingkungan yaitu tingginya tingkat pencemaran di udara akibat emisi hasil proses pembakaran bahan bakar fosil. Emisi berupa partikulat (debu, timah hitam) dan gas (CO, NO, SO, H₂S) dapat menyebabkan gangguan kesehatan dan kerusakan pada lingkungan. *Biodiesel* sangat ramah lingkungan karena gas buang hasil pembakarannya yang dilepaskan ke atmosfir akan diserap kembali oleh tumbuhan untuk keperluan proses fotosintesis. *Biodiesel* akan mengurangi emisi gas buang tanpa mengorbankan unjuk kerja dan efisiensi dari mesin. *Biodiesel* dari kelapa sawit, minyak jarak dan limbah minyak jelantah dipromosikan sebagai bahan bakar di Indonesia. Hal itu terjadi karena ketersediaan ketiga minyak tersebut diprediksi sangat besar. Akan tetapi peluang untuk meneliti *biodiesel* yang berbahan minyak tumbuhan lain sangat terbuka lebar dan tetap perlu dilakukan dalam usaha menemukan bahan bakar apa yang paling optimal digunakan sebagai substitusi bahan bakar fosil. Pada penelitian ini akan dilakukan penelitian terhadap *biodiesel* yang menggunakan campuran minyak nabati berupa minyak jelantah. Untuk mengetahui kelayakan penggunaan *biodiesel* dari minyak jelantah, maka dilakukanlah pengujian kandungan gas buang pada sebuah motor diesel. Gas buang yang dihasilkan motor diesel diukur dengan menggunakan alat *GreenLine 4000 Gas Analyser*[4]. Gas yang diukur terdiri atas CO₂, SO₂, NO_x, CO, dan HC. Hasil pengukuran tersebut nantinya akan dibandingkan dengan hasil pengukuran

yang didapatkan pada penggunaan minyak solar(HSD). Hal ini dilakukan untuk mengetahui campuran metil ester minyak jelantah dan minyak solar(HSD) berapa perbandingan campuran yang layak untuk digunakan sebagai bahan bakar.

2. METODE

2.1 Flowchart penelitian

Metode Penelitian merupakan langkah-langkah yang dijadikan pedoman untuk melakukan penelitian, agar dapat diperoleh hasil yang baik dan memperkecil kesalahan – kesalahan yang mungkin terjadi untuk mencapai tujuan penelitian yang direncanakan. Langkah-langkah dalam melaksanakan penelitian akan diperlihatkan secara diagram berikut ini:



Gambar 1. Flowchart experiment

Pada tahap ini setelah bahan bakar siap dilanjutkan dengan *engine set up*, dalam *mensetup engine* perlu mengecek alat – alat yang digunakan, instrumen – instrumen dan pengkalibrasian alat alat ukur yang digunakan[6]. Setelah semua siap maka baru dilanjutkan dengan pra – eksperimen. Pra – eksperimen ini perlu sekali dilakukan untuk mengetahui uji emisi gas buang dari minyak solar(*HSD*) dari motor diesel sebenarnya dan bersifat sebagai pembanding. *Engine* yang digunakan ini sudah lama digunakan sehingga prestasinya sudah bergeser, sehingga perlu pengujian khusus. Setelah semua diketahui maka baru eksperimen untuk menguji emisi gas buang motor diesel dapat dimulai. Untuk lebih jelasnya *flowchart* pengerjaan penelitian tahap kedua ini akan di-*brake down* sebagai berikut:

a) *Engine set up*

Engine set up dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja dari motor diesel itu sendiri. Dengan demikian, dapat dianggap bahwa unjuk kerja *engine* pada saat ini, merupakan unjuk kerja mula – mula *engine*. Untuk keperluan ini digunakan sebuah motor diesel 2 langkah 4 silinder. Motor diesel dikopel dengan alternator/generator untuk mengukur besarnya *brake power* dari *engine*.

b) Pra – *experiment*.

Pra eksperimen dilakukan untuk mengetahui data uji emisi gas buang dari motor diesel dengan menggunakan bahan bakar konvensional yaitu minyak solar(*HSD*). Diharapkan data yang dihasilkan dari percobaan ini dapat digunakan sebagai data pembanding dengan data yang dihasilkan pada *experiment* dengan B10, B20, B30.

c) Komposisi bahan bakar.

Efek pemakaian *biodiesel* pada motor diesel, tidak hanya terbatas pada pemakaian *biodiesel* untuk menggantikan bahan bakar konvensional secara total, namun juga terhadap pencampuran *biodiesel* dengan bahan bakar konvensional pada berbagai variasi. Pada *experiment* disini menggunakan komposisi *biodiesel* 10%, 20%, 30% atau B10, B20, B30[8].

d) *Experiment*

Experiment ini dilakukan untuk mengetahui unjuk kerja *engine* dengan pemakaian *biodiesel* sebagai bahan bakar dengan berbagai variasi bahan bakar yang digunakan. Percobaan dilakukan pada *variable speed* pada *constand full load*.

e) Uji emisi gas buang.

Parameter yang akan di ukur dalam pengujian adalah konsentrasi gas buang yang terdiri dari CO₂, SO₂, Nox, CO dan HC. Alat ukur yang digunakan dalam pengujian ini adalah *GreenLine 4000 Gas Analyser*. Alat yang berfungsi mengukur konsentrasi gas buang yang dihasilkan *engine*. Alat ini menggunakan oksigen, aliran sulfur, dan saringan partikel untuk mendeteksi kandungan gas buang *engine*.



Gambar 2. *GreenLine 4000 Gas Analyser*

f) Analisa data.

Data hasil yang ingin diketahui adalah sebagai berikut:

- Produksi *biodiesel* minyak jelantah(*waste cooking oil*).
- Pengujian emisi gas buang dengan pemakaian *biodiesel* minyak jelantah dengan komposisi B10, B20, dan B30.

2.3 Motor Diesel



Gambar 3. *Detroid Diesel Allison Dir. GMC*

Tabel 1. Spesifikasi Mesin

SPECIFICATION	
ENGINE	
Type	2 Cycle, Detroid Diesel Allison Dir. GMC, USA
Bore(Inches)	4,25
Bore(mm)	108
Stroke(Inches)	5
Stroke(mm)	127
Total Displacement Cubic(Inches)	284
Total Displacement Cubic(Lietres)	4,46
Number of Cylinder	4
Firing Order – RH Rotation	1-3-4-2
Firing Order – LH Rotation	1-2-4-3
Number of Main Bearing	5
Horse power	100
DYNAMOMETER	
Type	ATS 225 M A 4, Nuova Saccardo Motori a.r.l, Italy
Rating	Continuous
Output	62 KVA
Voltage	440 Volt
Ampere	68,2 A
Number of Phase	3 0
Cycles	60 Hz
Speed	1800 rpm
Cos	0,8

2.4 Bahan Bakar

2.4.1 Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah

Biodiesel minyak jelantah (*metil ester minyak jelantah*) dibuat melalui reaksi transesterifikasi minyak jelantah. Reaksi transesterifikasi sering disebut reaksi alkoholis yaitu reaksi antara trigliserida dengan alkohol yang akan menghasilkan *ester* dan *gliserin*[3]. Alkohol yang digunakan sebagai reaktan dalam reaksi ini adalah metanol. Seperti reaksi kimia pada umumnya, pada reaksi transesterifikasi ditambahkan katalis untuk mempercepat laju reaksi dan meningkatkan perolehan

hasil reaksi. Katalis yang sering digunakan untuk reaksi ini adalah katalis basa yang berupa natrium hidroksida(NaOH). Pada percobaan penelitian ini menggunakan variasi metanol 15 % dari berat minyak jelantah dan katalis yang ditambahkan sebesar 1,5 % dari berat minyak jelantah[7]. Proses reaksi harus dilakukan didalam wadah kaca, enamel atau stainless steel dan tidak boleh menggunakan wadah alumunium, plastik karena akan berpengaruh terhadap reaksi. Pada penelitian ini proses reaksi menggunakan *stainless steel*. Proses transesterifikasi dilakukan dengan temperatur 600C. Temperatur reaksi harus dijaga agar tidak lebih dari 600C, karena pada temperatur tersebut *metahnol* telah mencapai titik didihnya. Jika pemanasan yang dilakukan mencapai temperatur 600C maka *methanol* menguap.



Gambar 4. Metil ester dan gliserin yang belum dipisahkan

Reaksi transesterifikasi berlangsung dalam waktu lebih kurang enam puluh menit atau satu jam. Larutan diaduk secara terus menerus selama proses reaksi. Pada tahap ini dihasilkan larutan keruh yang berwarna kecoklatan. Setelah proses pengadukan selama kurang lebih 60 menit, hasil reaksi didiamkan selama 6 – 12 jam, hingga terbentuk dua lapisan yang berbeda yaitu *Biodiesel* minyak jelantah (*metil ester minyak kesambi*) dan *gliserin*. Tahap selanjutnya adalah pemisahan *Biodiesel* minyak jelantah (*metil ester minyak jelantah*) dan *gliserin*. *Biodiesel* minyak jelantah yang telah dipisahkan dari gliserin selanjutnya dicuci dengan menggunakan air

suling. Proses pencucian dilakukan dengan metode *bubbling* selama lebih kurang 60 menit. *Biodiesel* minyak kesambi yang telah dicuci kemudian diendapkan selama 12 – 24 jam. Setelah pengendapan selama 12 – 24 jam akan terbentuk dua lapisan yang berbeda yaitu *biodiesel* dan air pencuci. Langkah selanjutnya *biodiesel* dipisahkan dari air pencuci. Berikutnya dilakukan proses pengeringan yang bertujuan untuk menghilangkan air yang masih tersisa dalam biodiesel. Proses pengeringan dilakukan dengan cara memanaskan *biodiesel* sampai dengan temperatur diatas titik didih air yaitu berkisar 120⁰C dalam waktu tiga puluh menit. Dalam proses akhir dari transesterifikasi ini dihasilkan 80% *biodiesel* dan 20% *Gliserin*.

2.4.2 Karakteristik Bahan Bakar

Tahap selanjutnya adalah dilakukan uji properties *biodiesel* minyak jelantah, B10, B20, B30 dan minyak solar(HSD) dengan merk dagang pertamina dex di laboratorium. Hasil uji karakteristik bahan bakar dapat di lihat di tabel 2 sebagai berikut.

Tabel 2. Karakteristik masing – masing bahan bakar.

Bahan	Properties	Nilai	Unit
<i>Biodiesel</i> minyak Jelantah	Nilai kalori	9325	Cal/gr
	Viskositas	8,09	@40 ⁰ C (cst)
	Flash point	176	⁰ C
B10	Nilai kalori	10.764	Cal/gr
	Viskositas	2,90	@40 ⁰ C (cst)
	Flash point	77	⁰ C
B20	Nilai kalori	10.657	Cal/gr
	Viskositas	3,23	@40 ⁰ C (cst)
	Flash point	79	⁰ C
B30	Nilai kalori	10.45	Cal/gr
	Viskositas	3,71	@40 ⁰ C (cst)
	Flash point	85	⁰ C
Pertamina dex	Nilai kalori	10.401	Cal/gr
	Viskositas	3,39	@40 ⁰ C (cst)
	Flash point	98	⁰ C

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Parameter yang di ukur dalam pengujian adalah konsentrasi gas buang yang terdiri dari CO₂, SO₂, NO_x, CO dan HC. Dalam pengukuran hasil dari gas analyser dalam bentuk % atau ppm. Adapun dalam penelitian atau riset biasanya dikonversi ke satuan g/kWh. Tabel konversi pada tabel 3 adalah *The general conversion from emission gas concentration (ppm) to spesific fuel oil consumption (g/kWh) for heavy duty vehicles(T.J. Pilusa at al 2012)*.

Tabel 3. The general conversion (g/kWh) to ppm or %

Satuan(g/kWh)	Satuan(ppm or %)
CO(g/kWh) =	3,591.10 ⁻³ x CO(ppm)
NO _x (g/kWh) =	6,636.10 ⁻³ x NO _x (ppm)
HC(g/kWh) =	2,002.10 ⁻³ x HC(ppm)
CO ₂ (g/kWh) =	63,470 x CO ₂ (%)
SO ₂ (g/kWh) =	-

3.1 Hasil dan analisa konsentrasi emisi gas buang CO₂ pada kondisi beban simulator full load

Karbon dioksida(CO₂) telah menjadi topik yang menarik perhatian karena diklasifikasikan sebagai gas rumah kaca yang berdampak pada lingkungan bumi ketika mencapai konsentrasi tinggi di atmosfer. Senyawa ini terdiri dari dua molekul oksigen yang terikat secara kovalen dengan sebuah molekul karbon. Gas ini dihasilkan melalui dekomposisi bahan organik serta melalui respirasi dan pembakaran. Emisi karbon, khususnya emisi gas CO₂, merupakan Gas rumah kaca yang dapat memperbesar efek rumah kaca yang pada akhirnya akan meningkatkan suhu rata-rata permukaan bumi yang dikenal juga dengan pemanasan global. Pada *standart* emisi untuk *international commercial marine diesel engines standards* - MARPOL Annex VI untuk Category 1 and Category 2 bahwa kadar

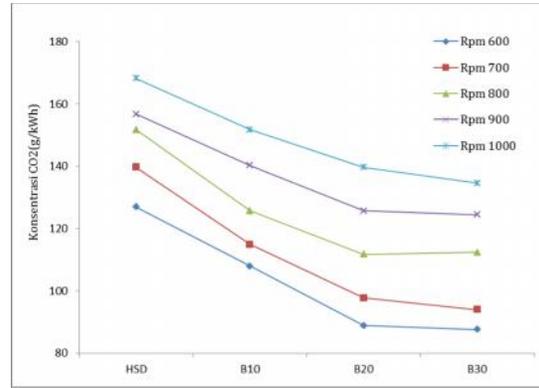
CO₂ secara implisit tidak tercantum diaturan tersebut. Adapun standart emisi MARPOL Annex VI 1999 untuk Category 1 and Category 2 untuk *Commercial Marine Diesel* lebih besar sama dengan 37 kW dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. Final Emission Standart and Dates – Commercial Marine Diesel > 37 kW

Category	Displacement (D) dm ³ per cylinder	CO	NOx+THC	PM	Date
		g/kWh	g/kWh	g/kWh	
1	Power ≥ 37 kW D < 0.9	5.0	7.5	0.40	2005
	0.9 ≤ D < 1.2	5.0	7.2	0.30	2004
	1.2 ≤ D < 2.5	5.0	7.2	0.20	2004
	2.5 ≤ D < 5.0	5.0	7.2	0.20	2007 ^a
	5.0 ≤ D < 15	5.0	7.8	0.27	2007 ^a
2	15 ≤ D < 30 Power < 3300 kW	5.0	8.7	0.30	2007 ^a
	15 ≤ D < 20 Power ≥ 3300 kW	5.0	9.8	0.50	2007 ^a
	20 ≤ D < 25	5.0	9.8	0.50	2007 ^a
	25 ≤ D < 30	5.0	11.0	0.50	2007 ^a
	15 ≤ D < 30 Power < 3300 kW	5.0	8.7	0.30	2007 ^a
	15 ≤ D < 20 Power ≥ 3300 kW	5.0	9.8	0.50	2007 ^a

^a - Tier I standards are equivalent to the MARPOL Annex VI Tier I NOx limits and Tier I particulate emission limits in 2004

Penggunaan *biodiesel* secara teoritis sebagai campuran bahan bakar pada motor diesel dapat menurunkan kadar emisi CO₂, bahkan pada penggunaan *biodiesel* 100 persen dapat menurunkan kadar emisi CO₂ hingga 100 persen. Bahkan pada pegujian sebelumnya penggunaan campuran bahan bakar *biodiesel* 20 persen yaitu (20 % *Biodiesel* + 80 % HSD) dapat menurunkan kadar emisi gas buang CO₂ sampai 21 persen (Adly Havendri, 2008). Penggunaan HSD yang dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar dengan merk pertamina dex. Pada putaran 600 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO₂ pada posisi 126,94 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 15 % menjadi 107,90 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 30 % dan 31 % menjadi 88,86 g/kWh dan 87,59 g/kWh.



Gambar 5. Grafik Konsentrasi CO₂ vs Variasi Bahan Bakar pada beban simulator full load

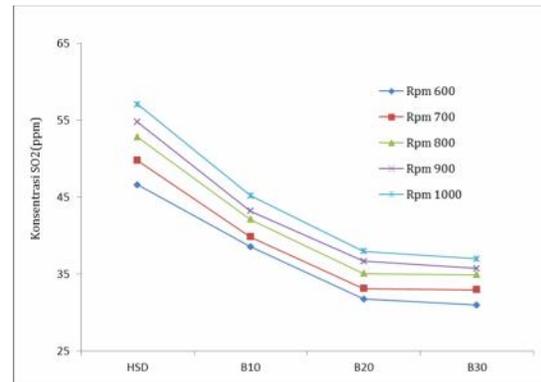
Pada putaran 700 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO₂ pada posisi 139,94 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 18 % menjadi 114,88 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 30 % dan 33 % menjadi 97,74 g/kWh dan 93,94 g/kWh. Pada putaran 800 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO₂ pada posisi 151,69 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 17 % menjadi 125,67 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 26 % menjadi 111,71 g/kWh dan 112,34 g/kWh. Pada putaran 900 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO₂ pada posisi 156,77 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 11 % menjadi 140,27 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 20 % dan 21 % menjadi 125,67 g/kWh dan 124,40 g/kWh. Sedangkan pada putaran 1000 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO₂ pada posisi 168,20 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 10 % menjadi 151,69 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20

dan B30 mengalami penurunan emisi CO₂ sebesar 17 % dan 20 % menjadi 139,63 g/kWh dan 134,56 g/kWh. Dari keempat variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang mempunyai konsentrasi CO₂ paling rendah adalah B30 untuk semua putaran *engine* dan ditinjau dari standar emisi CO₂ teoritis, dapat dikatakan bahwa penggunaan *biodiesel* sebagai campuran di dalam bahan bakar masih layak dan aman untuk digunakan karena berada jauh di bawah emisi CO₂ maksimal teoritis yang diizinkan yaitu 952,05 g/kWh.

3.2 Hasil dan analisa konsentrasi emisi gas buang SO₂ pada kondisi beban simulator full load.

Sulfur dioksida adalah salah satu spesies dari gas-gas oksida sulfur (SO_x). Gas ini sangat mudah terlarut dalam air, memiliki bau namun tidak berwarna. Sebagaimana O₃, pencemar sekunder yang terbentuk dari SO₂, seperti partikel sulfat, dapat berpindah dan terdeposisi jauh dari sumbernya. SO₂ dan gas-gas oksida sulfur lainnya terbentuk saat terjadi pembakaran bahan bakar fosil yang mengandung sulfur. Sulfur sendiri terdapat dalam hampir semua material mentah yang belum diolah seperti minyak mentah, batu bara, dan bijih-bijih yang mengandung metal seperti alumunium, tembaga, seng, timbal dan besi. Di daerah perkotaan, yang menjadi sumber sulfur utama adalah kegiatan pemangkit tenaga listrik, terutama yang menggunakan batu bara ataupun bahan bakar diesel sebagai bahan bakarnya, juga gas buang dari kendaraan yang menggunakan diesel dan industri-industri yang menggunakan bahan bakar batu bara dan minyak mentah. Gas SO₂ telah lama dikenal sebagai gas yang dapat menyebabkan iritasi pada system pernafasan, seperti pada slaput lender hidung, tenggorokan dan saluran udara di paru-paru. Efek kesehatan ini menjadi lebih buruk pada penderita asma. Tingginya kadar SO₂ di udara merupakan salah satu penyebab terjadinya hujan asam. Hujan asam disebabkan oleh belerang(sulfur)

yang merupakan pengotor dalam bahan bakar fosil serta nitrogen di udara yang bereaksi dengan oksigen membentuk sulfur dioksida dan nitrogen oksida. Zat-zat ini berdifusi ke atmosfer dan bereaksi dengan air untuk membentuk asam sulfat dan asam nitrat yang mudah larut sehingga jatuh bersama air hujan. Air hujan yang asam tersebut akan meningkatkan kadar keasaman tanah dan air permukaan yang terbukti berbahaya bagi kehidupan ikan dan tanaman.



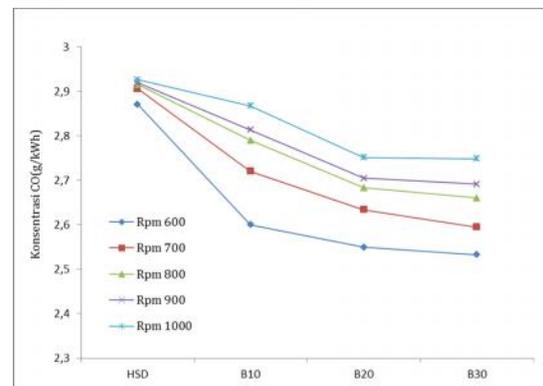
Gambar 6. Grafik Konsentrasi SO₂ vs Variasi Bahan Bakar pada beban simulator full load

Karena *biodiesel* yang berasal dari minyak tumbuhan hampir bebas kandungan sulfur sehingga dengan penambahan *biodiesel* ke dalam bahan bakar akan dapat mengurangi kandungan sulfur dalam bahan bakar itu sendiri akibatnya sehingga nilai emisi SO₂ dari hasil pembakaran bahan bakar akan berkurang. Penggunaan HSD yang dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar dengan merk pertamina dex. Pada putaran 600 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi SO₂ pada posisi 46,63 ppm. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi SO₂ sebesar 17 % menjadi 38,57 ppm. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi SO₂ sebesar 31 % dan 34 % menjadi 31,75 ppm dan 31 ppm. Pada putaran 700 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi SO₂ pada posisi 49,77 ppm. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami

penurunan emisi SO_2 sebesar 20 % menjadi 39,87 ppm. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi SO_2 sebesar 33 % dan 34 % menjadi 33,15 ppm dan 32,98 ppm. Pada putaran 800 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi SO_2 pada posisi 52,82 ppm. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi SO_2 sebesar 20 % menjadi 42,12 ppm. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi SO_2 sebesar 34 % menjadi 35,1 ppm dan 34,95 ppm. Pada putaran 900 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi SO_2 pada posisi 54,77 ppm. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi SO_2 sebesar 21 % menjadi 43,22 ppm. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi SO_2 sebesar 33 % dan 35 % menjadi 36,7 ppm dan 35,75 ppm. Pada putaran 1000 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi SO_2 pada posisi 57,10 ppm. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi SO_2 sebesar 21 % menjadi 45,21 ppm. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi SO_2 sebesar 33 % dan 35 % menjadi 37,98 ppm dan 37 ppm. Dari keempat variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang mempunyai konsentrasi SO_2 paling rendah adalah B30 untuk semua putaran *engine*. Penggunaan campuran bahan bakar HSD dan *biodiesel* sebagai bahan bakar masih layak dan sangat aman untuk digunakan karena nilai emisi SO_2 campuran HSD dan *biodiesel* tersebut masih berada dibawah standar emisi SO_2 maksimal yang dibolehkan MARPOL Annex VI SOx Limits (*Regulation 14*) SOx Emission Control Areas for sulfur content yaitu 15000 ppm or less.

3.3 Hasil dan analisa konsentrasi emisi gas buang CO pada kondisi beban simulator *full load*.

Karbon monoksida, rumus kimia CO, adalah gas yang tak berwarna, tak berbau, dan tak berasa. Ia terdiri dari satu atom karbon yang secara kovalen berikatan dengan satu atom oksigen. Dalam ikatan ini, terdapat dua ikatan kovalen dan satu ikatan kovalen koordinasi antara atom karbon dan oksigen. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran tak sempurna dari senyawa karbon, sering terjadi pada motor pembakaran dalam. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam proses pembakaran. Karbon monoksida mudah terbakar dan menghasilkan lidah api berwarna biru, menghasilkan karbon dioksida. Walaupun ia bersifat racun, CO memainkan peran yang penting dalam teknologi modern, yakni merupakan prekursor banyak senyawa karbon. Salah satu dampak apabila tubuh menghirup kelebihan CO adalah menghambat pasokan oksigen untuk tubuh: Afinitas karbon monoksida(CO) dengan hemoglobin(Hb) 200 kali lebih cepat dari pada afinitas oksigen(O_2) dengan hemoglobin(Hb). Proses ini akan membentuk karboksihemoglobin(CO₂Hb). Reaksi ini yang menghambat pasokan oksigen ke seluruh tubuh. Jantung dan otak merupakan organ yang butuh oksigen dalam jumlah yang cukup.



Gambar 7. Grafik Konsentrasi CO vs Variasi Bahan Bakar pada beban simulator *full load*

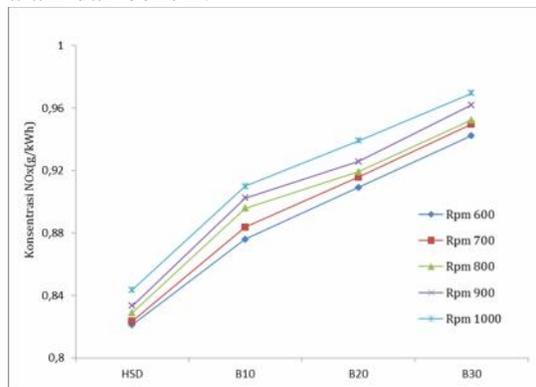
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan oleh para peneliti, penggunaan *biodiesel* sebagai campuran bahan bakar motor akan menghasilkan lebih sedikit emisi CO dibandingkan pada penggunaan bahan bakar solar murni. Bahkan penggunaan *biodiesel* 100% dapat menurunkan emisi CO antara 10% sampai 50%. Hal ini dikarenakan jumlah karbon yang dimiliki bahan bakar yang berasal dari minyak solar menjadi berkurang dengan penambahan campuran *biodiesel*. Sedangkan jumlah udara yang dimanfaatkan dalam pembakaran masih tetap jumlahnya dibandingkan pada pembakaran pada solar murni. Sehingga area yang mengalami kekurangan oksigen dapat diminimalkan karena banyak kemungkinan bagi karbon untuk membentuk CO₂ secara sempurna (Adly Havendri, 2008). Penggunaan HSD dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar dengan merk Pertamina Dex. Pada putaran 600 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO pada posisi 2,87 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO sebesar 9 % menjadi 2,60 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO sebesar 11 % dan 12 % menjadi 2,55 g/kWh dan 2,53 g/kWh. Pada putaran 700 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO pada posisi 2,91 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO sebesar 6 % menjadi 2,72 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO sebesar 10 % dan 11 % menjadi 2,63 g/kWh dan 2,59 g/kWh. Pada putaran 800 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO pada posisi 2,92 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO sebesar 4 % menjadi 2,79 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO sebesar 8 % dan 9 % menjadi 2,68 g/kWh dan 2,66

g/kWh. Pada putaran 900 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO pada posisi 2,92 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO sebesar 4 % menjadi 2,81 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO sebesar 8 % menjadi 2,70 g/kWh dan 2,69 g/kWh. Pada putaran 1000 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi CO pada posisi 2,93 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi CO sebesar 2 % menjadi 2,87 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi CO sebesar 6 % menjadi 2,75 g/kWh dan 2,74 g/kWh. Dari keempat variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang mempunyai konsentrasi CO paling rendah adalah B30 untuk semua putaran *engine*. Penggunaan campuran bahan bakar HSD dan *biodiesel* sebagai bahan bakar masih layak dan sangat aman untuk digunakan karena nilai emisi CO campuran HSD dan *biodiesel* tersebut masih berada dibawah standar emisi CO maksimal yang dibolehkan yaitu 5 g/kWh oleh international commercial marine diesel *engines* standards - MARPOL Annex VI 1999 untuk Category 1 and Category 2 untuk daya mesin lebih besar sama dengan 37 kW.

3.4 Hasil dan analisa konsentrasi emisi gas buang NO_x pada kondisi beban simulator full load.

Nitrogen oksida sering disebut dengan NO_x, karena oksida nitrogen mempunyai 2 macam bentuk yang sifatnya berbeda, yaitu gas NO₂ dan gas NO. Sifat gas NO₂ adalah berwarna dan berbau, sedangkan gas NO tidak berwarna dan tidak berbau. Warna gas NO₂ adalah merah kecoklatan dan berbau tajam menyengat hidung. Dari seluruh jumlah NO_x yang dibebaskan ke atmosfer, jumlah yang terbanyak adalah dalam bentuk NO yang diproduksi oleh aktivitas bakteri. Akan tetapi polusi NO

dari sumber alami ini tidak merupakan masalah karena tersebar secara merata sehingga jumlahnya menjadi kecil. Yang menjadi masalah adalah polusi NO yang diproduksi oleh kegiatan manusia karena jumlahnya akan meningkat hanya pada tempat-tempat tertentu. Konsentrasi NOx di udara di daerah perkotaan biasanya 10-100 kali lebih tinggi daripada di udara daerah pedesaan. Konsentrasi NOx di udara daerah perkotaan dapat mencapai 0,5 ppm(500 ppb). Seperti halnya CO, emisi nitrogen oksida dipengaruhi oleh kepadatan penduduk karena sumber utama NOx yang diproduksi manusia adalah dari pembakaran, dan kebanyakan pembakaran disebabkan oleh kendaraan, produksi energi dan pembuangan sampah. Sebagian besar emisi NOx yang dibuat manusia berasal dari pembakaran arang, minyak solar, gas alam dan bensin.



Gambar 8. Grafik Konsentrasi NOx vs Variasi Bahan Bakar pada beban simulator *full load*

Jika kita bandingkan antara HSD dengan campuran HSD dan *biodiesel*, terlihat dari grafik bahwa konsentrasi NOx yang dihasilkan pada saat menggunakan campuran HSD dan *biodiesel* cenderung bertambah naik seiring dengan bertambahnya *biodiesel* tersebut. Secara teori, penggunaan *biodiesel* sebagai bahan bakar tidak akan mengurangi emisi NOx pada gas buang *engine* tapi justru menaikkan konsentrasinya. Hal ini terjadi dikarenakan *biodiesel* terbuat dari minyak tumbuhan yang banyak mengandung unsur nitrat. Semakin banyak penambahan *biodiesel* yang digunakan dalam campuran

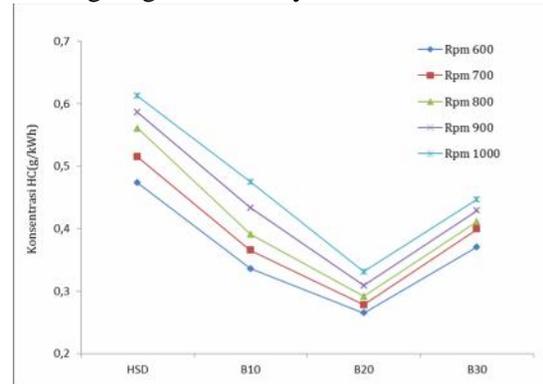
bahan bakar motor maka kandungan unsur nitrat yang terkandung di dalam campuran bahan bakar menjadi meningkat. Penggunaan HSD dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar dengan merk pertamina dex. Pada putaran 600 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi NOx pada posisi 0,82 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 7 % menjadi 0,88 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 11 % dan 14 % menjadi 0,91 g/kWh dan 0,94 g/kWh. Pada putaran 700 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi NOx pada posisi 0,82 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 7 % menjadi 0,88 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 11 % dan 16 % menjadi 0,91 g/kWh dan 0,95 g/kWh. Pada putaran 800 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi NOx pada posisi 0,83 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 8 % menjadi 0,90 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 11 % dan 14 % menjadi 0,92 g/kWh dan 0,95 g/kWh. Pada putaran 900 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi NOx pada posisi 0,83 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 8 % menjadi 0,90 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 11 % dan 16 % menjadi 0,92 g/kWh dan 0,96 g/kWh. Pada putaran 1000 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi NOx pada posisi 0,84 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 8 % menjadi 0,91 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami kenaikan emisi NOx sebesar 12

% dan 15 % menjadi 0,94 g/kWh dan 0,97 g/kWh. Dari keempat variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang mempunyai konsentrasi NOx paling rendah adalah HSD untuk semua putaran *engine*. Dari hasil ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak penambahan *biodiesel* yang digunakan dalam campuran bahan bakar maka nilai emisi NOx yang dihasilkan akan semakin tinggi dan yang menghasilkan konsentrasi NOx paling tinggi adalah B30.

3.5 Hasil dan analisa konsentrasi emisi gas buang HC pada kondisi beban simulator *full load*.

Hidrokarbon adalah sebuah senyawa yang terdiri dari unsur karbon(C) dan hidrogen(H). Seluruh hidrokarbon memiliki rantai karbon dan atom-atom hidrogen yang berikatan dengan rantai tersebut. Istilah tersebut digunakan juga sebagai pengertian dari hidrokarbon alifatik. Sebagai contoh, metana(gas rawa) adalah hidrokarbon dengan satu atom karbon dan empat atom hidrogen CH₄. Etana adalah hidrokarbon (lebih terperinci, sebuah alkana) yang terdiri dari dua atom karbon bersatu dengan sebuah ikatan tunggal, masing-masing mengikat tiga atom karbon C₂H₆. Propana memiliki tiga atom C (C₃H₈) dan seterusnya (C_nH_{2•n+2}). HC yang berupa gas akan tercampur dengan gas-gas hasil buangan lainnya, sedangkan bila berupa cair maka HC akan membentuk semacam kabut minyak, bila berbentuk padatan akan membentuk asap yang pekat dan akhirnya menggumpal menjadi debu. Emisi kendaraan bermotor yang mengandung senyawa karsinogenik diperkirakan dapat menimbulkan tumor pada organ lain selain paru. Akan tetapi untuk membuktikan apakah pembentukan tumor tersebut hanya diakibatkan karena asap solar atau gas lain yang bersifat sebagai iritan(Tugaswati, 2004). Hidrokarbon di udara akan bereaksi dengan bahan-bahan lain dan akan membentuk ikatan baru yang disebut plicyclic aromatic hidrocarbon (PAH) yang banyak dijumpai di daerah industri dan

padat lalulintas. Bila PAH ini masuk dalam paru-paru akan menimbulkan luka dan merangsang terbentuknya sel-sel kanker.



Gambar 9. Grafik Konsentrasi HC vs Variasi Bahan Bakar pada beban simulator *full load*

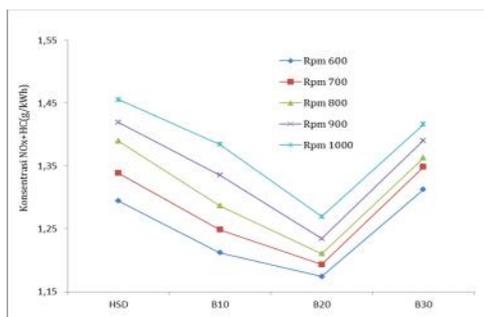
Penggunaan HSD dalam penelitian ini menggunakan bahan bakar dengan merk pertamina dex. Pada putaran 600 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi HC pada posisi 0,47 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi HC sebesar 30 % menjadi 0,33 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi HC sebesar 42 % dan 21 % menjadi 0,27 g/kWh dan 0,37 g/kWh. Pada putaran 700 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi HC pada posisi 0,51 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi HC sebesar 29 % menjadi 0,36 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi HC sebesar 45 % dan 22 % menjadi 0,28 g/kWh dan 0,40 g/kWh. Pada putaran 800 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi HC pada posisi 0,56 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi HC sebesar 30 % menjadi 0,39 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi HC sebesar 48 % dan 27 % menjadi 0,29 g/kWh dan 0,41 g/kWh. Pada putaran 900 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi HC pada posisi 0,59 g/kWh. Pada penggunaan

campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi HC sebesar 27 % menjadi 0,43 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi HC sebesar 47 % dan 27 % menjadi 0,31 g/kWh dan 0,43 g/kWh. Pada putaran 1000 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai konsentrasi HC pada posisi 0,61 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi HC sebesar 23 % menjadi 0,47 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi HC sebesar 46 % dan 26 % menjadi 0,33 g/kWh dan 0,45 g/kWh. Dari keempat variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang mempunyai konsentrasi HC paling rendah adalah B20 untuk semua putaran *engine*.

3.6 Hasil dan analisa konsentrasi emisi gas buang (NOx+HC) pada kondisi beban simulator full load.

Standart emisi MARPOL Annex VI 1999 untuk *engines* Category 1 and 2 di dasarkan pada standart dasar pada onroad *engine* dan locomotive *engine*. Pada standart emisi Tier 1 & 2 MARPOL Annex VI 1999 bahwa nilai NOx dan HC standard ambang maksimum adalah jumlah dari nilai (NOx+HC). Ambang maksimum nilai (NOx+HC) adalah 7,2 g/kWh untuk *engine* yang mempunyai displacement(liters per cylinder) 4,46 liter sesuai dengan tabel 5.3 Final Emission Standart and Dates – Commercial Marine Diesel > 37 kW diatas.

Kalau kita melihat seksama dari grafik kosentrasi NOx+HC menunjukan kemiripan dengan analisa grafik kosentrasi HC dibandingkan dengan grafik kosentrasi NOx. Pada putaran 600 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai kosentrasi NOx+HC pada posisi 1,29 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi NOx+HC sebesar 6 % menjadi 1,21 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi NOx+HC sebesar 9 % dan 12 % menjadi 1,17 g/kWh dan 1,31 g/kWh. Pada putaran 700 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai kosentrasi NOx+HC pada posisi 1,34 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi NOx+HC sebesar 7 % menjadi 1,25 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan dan kenaikan emisi NOx+HC sebesar 11 % dan 0,7 % menjadi 1,19 g/kWh dan 1,35 g/kWh. Pada putaran 800 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai kosentrasi NOx+HC pada posisi 1,39 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi NOx+HC sebesar 7 % menjadi 1,29 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi NOx+HC sebesar 13 % dan 2 % menjadi 1,21 g/kWh dan 1,36 g/kWh. Pada putaran 900 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai kosentrasi NOx+HC pada posisi 1,42 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi NOx+HC sebesar 6 % menjadi 1,33 g/kWh. Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi NOx+HC sebesar 13 % dan 2 % menjadi 1,23 g/kWh dan 1,39 g/kWh. Pada putaran 1000 rpm penggunaan HSD menghasilkan nilai kosentrasi NOx+HC pada posisi 1,46 g/kWh. Pada penggunaan campuran bahan bakar B10 mengalami penurunan emisi NOx+HC sebesar 5 % menjadi 1,38 g/kWh.



Gambar 10. Grafik Konsentrasi (NOx+HC) vs Variasi Bahan Bakar pada beban simulator *full load*

Sedangkan pada penggunaan campuran bahan bakar B20 dan B30 mengalami penurunan emisi NO_x+HC sebesar 13 % dan 3 % menjadi 1,27 g/kWh dan 1,42 g/kWh. Dari keempat variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang mempunyai konsentrasi NO_x+HC paling rendah adalah B20 untuk semua putaran *engine*. Dan nilai NO_x+HC masih mempunyai konsentrasi sangat aman berdasarkan standart emisi Tier 1 & 2 MARPOL Annex VI 1999 bahwa nilai maksimum yang diijinkan adalah 7,2 g/kWh.

4. KESIMPULAN

Setelah dilakukan eksperimen dalam pengujian terhadap uji emisi gas buang motor diesel, untuk bahan bakar *biodiesel* dengan beberapa komposisi campuran maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Untuk konsentrasi CO₂, SO₂ dan CO dari pemakaian variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang menghasilkan konsentrasi emisi paling rendah adalah B30 untuk semua putaran *engine*. Dan nilai SO₂ dan CO masih mempunyai konsentrasi sangat aman berdasarkan standart emisi Tier 1 & 2 MARPOL Annex VI 1999 bahwa nilai maksimum yang diijinkan 15000 ppm untuk konsentrasi SO₂ dan 5 g/kWh untuk konsentrasi CO.
2. Untuk konsentrasi NO_x dari pemakaian variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang menghasilkan konsentrasi emisi paling rendah adalah HSD untuk semua putaran *engine*.
3. Untuk konsentrasi HC dari pemakaian variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang menghasilkan konsentrasi emisi paling rendah adalah B20 untuk semua putaran *engine*.
4. Untuk konsentrasi NO_x+HC dari pemakaian variasi bahan bakar HSD, B10, B20 dan B30 yang menghasilkan konsentrasi emisi paling rendah adalah B20 untuk semua putaran *engine*. Dan

nilai NO_x+HC masih mempunyai konsentrasi sangat aman berdasarkan standart emisi Tier 1 & 2 MARPOL Annex VI 1999 bahwa nilai maksimum yang diijinkan adalah 7,2 g/kWh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa penelitian ini tidak dapat terselesaikan dengan baik dan lancar apabila tanpa bantuan dan bimbingan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Ir. Eko Julianto, MT., MRINA selaku Direktur Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
2. Bapak Ir. Arie Indartono, MMT selaku Ketua P3M Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
3. Bapak George Endri Kusuma, ST. M.Sc.Eng selaku Ketua Jurusan Teknik Permesinan Kapal.
4. Bapak Eko Purwanto, Mas Albert dan semua teknisi Laboratorium Motor Bakar yang selalu membantu, mengarahkan, saat dilakukannya pengerjaan penelitian ini.

Penulis sangat menyadari bahwa di dalam penelitian ini masih banyak dijumpai kekurangan. Segala saran dan kritik membangun dari para penelaah sangat bermanfaat untuk penyempurnaannya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aziz, I., Nurbayti S., Ulum, B. (2011) “*Pembuatan produk biodiesel dari Minyak Goreng Bekas dengan Cara Esterifikasi dan Transesterifikasi*” Valensi Vol. 2 No. 3, (443-448)
- [2] Bozbas, K., (2005), *Biodiesel as an alternative motor fuel production and policies in the European Union*, Renewable & Sustainable Energy Reviews, 1-12.

Aplikasi Teknologi Kelautan
2002 FTK ITS.

- [3] Buchori, L., Widayat, (2009), *Pembuatan biodiesel dari minyak goreng bekas Dengan Proses Catalytic Cracking*, Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia ,SNTKI,78-79.
- [4] Ehsan, M., Taposh, R.M., Islam, M.M., (2007), *Running a diesel engine with biodiesel*, *International Conference on Mechanical Engineering*, Dhaka, Bangladesh, 1-4.
- [5] Kristanto, P., Winaya, R.,(2002), *Penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif pada motor diesel sistem injeksi langsung*, *Jurnal Teknik Mesin*, 4, 99-103.
- [6] Lee, C.S., (2004), *Analysis of Engine Performance Using Palm Oil Methyl Ester*, Dissertation Bachelor of Engineering, Dissertation Bachelor of Engineering, University of Southern Queensland, 19- 25
- [7] Pramesti, L, Zuhdi M. F, Ariana, I M. (2013) “*Analisa Pengaruh Angka Iodin Pada Biodiesel Dari Waste Cooking Oil Terhadap Laju Keausan Dan Terbentuknya Carbon Deposit Pada Komponen Small Marine Diesel Engine*” Prosiding Pascasarjana, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [8] Zuhdi M.F.A, Gerianto, I., dan Budiono, T., (2002) “*Produksi dan Karakteristik Bio-diesel Serta Teknik Pencampurannya dengan Minyak Solar (Gas Oil)*” Seminar Nasional Teori