

**PERBANDINGAN EMISI GAS BUANG YANG DIHASILKAN PADA
PENERAPAN BIODIESEL DI PT ADARO INDONESIA**
*COMPARISON OF EXHAUST GAS EMISSIONS PRODUCED ON BIODIESEL APPLICATION
AT PT ADARO INDONESIA*

**Muhammad Abrar Firdausy, Andy Mizwar, Riza Miftahul Khair, Indah Nirtha, Nadieda
Hamatha**

*Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Lambung Mangkurat,
Jl. Jend. A. Yani Km 36, Banjarbaru, Kalimantan Selatan, 70714, Indonesia.*

Email: abrar.firdausy@ulm.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi emisi gas buang oksida nitrogen (NO_x) dan partikulat yang dihasilkan oleh biodiesel serta menganalisis pengaruh biodiesel terhadap emisi gas buang yang dihasilkan genset di PT Adaro Indonesia. Metode analisis yang digunakan adalah Analysis of Variance (ANOVA). Variabel bebas berupa variasi bahan bakar, yaitu solar (B0) dan biodiesel dengan persentase 8,75%, 10,55%, 17,5%, dan 26,66%. Variabel terikat berupa parameter uji NO_x dan partikulat. Nilai emisi gas buang tertinggi pada emisi NO_x dihasilkan oleh B17,5 yaitu 995 mg/Nm^3 , sedangkan nilai terendah dihasilkan oleh B0, yaitu $121, 838 \text{ mg/Nm}^3$. Nilai emisi partikulat tertinggi dihasilkan oleh B0 yaitu $91,572 \text{ mg/Nm}^3$, sedangkan yang terendah dihasilkan B10,55, yaitu $15,5 \text{ mg/Nm}^3$. Hasil analisis ANOVA menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan antara variasi bahan bakar terhadap nilai emisi NO_x dengan nilai signifikansi berturut-turut 0,005, sedangkan partikulat tidak memiliki pengaruh signifikan antara variasi bahan bakar terhadap hasil emisi dengan nilai signifikansi 0,218.

Kata kunci: Biodiesel, emisi, gas buang.

ABSTRACT

This study aims to identify nitrogen oxide (NO_x) and particulate emissions produced by biodiesel and analyze the effect of biodiesel on exhaust emissions produced by genset at PT Adaro Indonesia. The analytical method used is Analysis of Variance (ANOVA). The independent variable is fuel variation, namely diesel fuel (B0) and biodiesel with a percentage of 8.75%, 10.55%, 17.5%, and 26.66%. The dependent variable is the test parameters of NO_x and particulate. The highest exhaust gas emission in NO_x produced by B17.5 are and 995 mg/Nm^3 , while the lowest value is produced by B0, which is $121, 838 \text{ mg/Nm}^3$. The highest particulate emission produced by B0 which is 91.572 mg/Nm^3 , while the lowest is produced by B10.55, which is 15.5 mg/Nm^3 . ANOVA analysis results show that there is a significant influence between the fuel variation on the results of NO_x gas emissions with significance value of 0.005, while the

particulate parameter do not have a significant effect between the fuel variation on the emissions with significance value of 0.218.

Keywords: Biodiesel, emission, exhaust gas.

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil yang tinggi akan berdampak besar pada lingkungan terutama perubahan iklim akibat pencemaran udara. Pembakaran bahan bakar fosil menghasilkan produk samping berupa emisi gas buang (*exhaust emission gas*). Emisi gas buang yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil perlu diminimalisasi untuk mengurangi dampak pencemaran udara. Salah satu faktor yang mempengaruhi jumlah emisi gas buang adalah jenis bahan bakar (Budiman *et al.*, 2018). Penerapan bahan bakar alternatif seperti biofuel sebagai substitusi bahan bakar fosil dapat menjadi solusi dalam upaya meminimalisasi emisi gas buang. Bahan bakar alternatif seperti biofuel diharapkan dapat menjadi energi ramah lingkungan.

Biodiesel yang diterapkan oleh pemerintah Indonesia saat ini berbahan dasar *crude palm oil* (CPO). Biodiesel terbuat dari metil atau etil asam lemak yang diproduksi dari hasil transesterifikasi lipid. Esterifikasi dan transesterifikasi merupakan reaksi umum yang digunakan untuk menghasilkan biodiesel. Standar yang dapat digunakan untuk kualitas biodiesel seperti *European Normalization* (EN) atau *American Standards for Testing Materials* (ASTM) (Araújo *et al.*, 2013). Baku mutu biodiesel yang diterapkan Indonesia ada dalam SNI 04-7182:2008. Pengolahan biodiesel memerlukan *pretreatment* untuk menghilangkan partikel yang dapat menghambat proses berikutnya (Araújo *et al.*, 2013). Tahap pembuatan biodiesel secara singkat adalah *pretreatment*; esterifikasi asam lemak bebas; transesterifikasi molekul trigliserida menjadi metal ester; dan pemisahan serta pemurnian (Yandri, 2012).

Sumber emisi gas buang yang dihasilkan pada sektor industri salah satunya berasal dari sumber emisi tidak bergerak, yaitu *generator set* (genset). Gas emisi yang perlu diperhatikan berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 4 Tahun 2014 tentang Baku Mutu Emisi Sumber Tidak Bergerak Bagi Usaha dan Kegiatan Pertambangan adalah karbon monoksida (CO), nitrogen oksida (NO_x), sulfur dioksida (SO₂), dan partikulat. Upaya penurunan kadar emisi gas buang dengan menggunakan bahan bakar alternatif dapat dibuktikan melalui penelitian atau kajian ilmiah.

Beberapa penelitian melakukan uji emisi gas buang pada bahan bakar alternatif untuk mendapatkan nilai efisiensi penggunaan bahan bakar alternatif terhadap emisi gas buang. Bari dan Hossain (2019) membandingkan hasil uji emisi gas buang pada bahan bakar solar dan *palm oil diesel* (POD) dengan variasi kecepatan mesin terhadap parameter CO, NO_x dan HC. Bari dan Hossain (2019) menyebutkan bahwa hasil emisi rata-rata CO dan HC pada bahan bakar POD berturut-turut 51% dan 55% lebih rendah dibandingkan solar, sedangkan emisi rata-rata NO_x menghasilkan 33% lebih tinggi daripada solar. Yusop *et al.* (2018) melakukan penelitian pada penggunaan solar dan biodiesel *palm oil* dengan variasi biodiesel 5%, 10%, 20%, dan 100%

terhadap emisi partikulat. Hasilnya menunjukkan bahwa seiring dengan pertambahan persen biodiesel reduksi partikulat semakin meningkat.

PT Adaro Indonesia telah menerapkan Biodiesel 30% (B30) sesuai Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 Tahun 2015. Bahan bakar alternatif B30 yang digunakan oleh sektor industri merupakan bentuk ketaatan terhadap peraturan pemerintah serta mendukung penggunaan energi ramah lingkungan. PT Adaro Indonesia menerapkan penggunaan biodiesel yang digunakan untuk keperluan operasional di area tambang PT Adaro Indonesia, seperti genset, unit Komatsu *highway truck HD785-7 series*, dan sarana LV. Penerapan biodiesel merupakan komitmen PT Adaro Indonesia untuk mengurangi emisi gas buang.

Penerapan bahan bakar biodiesel di PT Adaro Indonesia ini menjadi latar belakang penulis dalam melakukan penelitian untuk mengetahui perbandingan biodiesel terhadap emisi gas buang NO_x dan partikulat yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi emisi gas buang oksida nitrogen (NO_x) dan partikulat yang dihasilkan oleh biodiesel serta menganalisis pengaruh biodiesel terhadap emisi gas buang yang dihasilkan genset di PT Adaro Indonesia. Penulisan ini dibuat melalui penelitian dan kajian kepustakaan berdasarkan jurnal dan artikel ilmiah lainnya. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi sumber informasi dan kajian ilmiah mengenai emisi gas buang dari biodiesel di PT Adaro Indonesia.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan emisi gas buang yang dihasilkan dari biodiesel yang diaplikasikan PT. Adaro Indonesia. Studi literatur berfungsi sebagai acuan dan dasar untuk melakukan penelitian ini. Identifikasi bahan bakar dilakukan dengan beberapa uji karakteristik, yaitu bilangan asam, kandungan air, dan kandungan FAME. Pengambilan sampel emisi gas buang dilakukan dengan metode USEPA (*United State Environmental Protection Agency*). Alat uji emisi yang digunakan adalah Testo 350 tipe *box* dan Apex Instrument. Sampel akan diambil sebanyak dua kali pengulangan tiap variasi. Parameter uji emisi yang dilakukan adalah NO_x dan partikulat.

Data hasil uji emisi gas buang akan dianalisis menggunakan analisis data statistik. Analisis data emisi gas buang yang digunakan adalah *Analysis of Variance* (ANOVA) dengan bantuan aplikasi SPSS 17.0. Variabel yang digunakan untuk analisis data statistik yaitu variabel terikat berupa hasil uji emisi dengan parameter NO_x dan partikulat, serta variabel bebas variasi bahan bakar, yaitu solar (B0) dan biodiesel dengan persentase 8,75%, 10,55%, 17,5%, dan 26,66%. Hasil uji ANOVA akan menunjukkan pengaruh penggunaan variasi bahan bakar terhadap gas emisi yang dihasilkan oleh genset di PT Adaro Indonesia.

Beberapa uji yang digunakan pada analisis data adalah uji normalitas, uji homogenitas, uji hipotesis, dan uji *post-hoc*. Uji normalitas merupakan uji yang dilakukan untuk mengetahui kenormalan distribusi data atau sampel dari populasi. Uji homogenitas menunjukkan keseragaman variansi sampel. Uji hipotesis dilakukan dengan melihat kriteria yang dipenuhi oleh variansi data. Data dengan kriteria terdistribusi normal dan homogen dapat dilanjutkan dengan uji ANOVA *one way*, sedangkan data dengan kriteria terdistribusi normal namun tidak homogen maka dilanjutkan dengan uji Welch atau Brown-Forsythe. Uji *post-hoc* merupakan uji lanjutan

dari uji hipotesis. Data yang homogen dapat dilanjutkan dengan uji Bonferroni, sedangkan data yang tidak homogen dilanjutkan dengan uji Games-Howell. Uji *post-hoc* dilakukan untuk membandingkan perbedaan antara variasi bahan bakar terhadap hasil emisi gas buang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Biodiesel yang digunakan PT Adaro Indonesia merupakan produksi dari PT Pertamina. Penerapan biodiesel di PT Adaro Indonesia dilakukan sejak tahun 2015. Karakteristik biodiesel yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**. Uji Karakteristik dilakukan di Biodiesel Fuel Plant PT Adaro Indonesia. Uji karakteristik biodiesel pada parameter bilangan asam, kandungan air, dan kandungan FAME dilakukan di Laboratorium Biodiesel Fuel Plant PT. Adaro Indonesia yang menggunakan standar EN 14214.

Tabel 1. Karakteristik bahan bakar

Bahan bakar	B0	B8,75	B10,55	B17,5	B26,66
Bilangan asam (KOH/g)	0,0559*	0,0891	0,0836	0,2604	0,1194
Kandungan air (ppm)	50**	129,36	181,92	201,90	279,20
FAME (%)	-	8,75%	10,55%	17,5%	26,66%

Sumber: Laboratorium Biodiesel Fuel Plant

* Lei *et al.* (2016)

** Torres-jimenez *et al.* (2011)

Karakteristik bahan bakar dapat mempengaruhi proses pembakaran pada mesin serta emisi gas buang yang dihasilkan. Bilangan asam yang tinggi menyebabkan mesin berkerak dan menghasilkan jelaga, sehingga nilai maksimum yang diperbolehkan menurut standar EN14214 sebesar 0,5 mg KOH/g (Octavia, 2011). Bilangan asam tertinggi dimiliki oleh bahan bakar B17,5 yaitu 0,2604 mg KOH/g sedangkan nilai terkecil pada bahan bakar B0 yaitu 0,0559 mg KOH/g.

Kandungan air dalam bahan bakar meningkat seiring dengan penambahan persen biodiesel. Kadar air tertinggi terdapat pada bahan bakar B26,66, yaitu 279,70 ppm sedangkan kadar air terendah terdapat pada bahan bakar B0, yaitu 50 ppm. Kandungan air dalam bahan bakar dapat berdampak pada kualitas bahan bakar dan mesin. Kandungan air yang tinggi dapat menyebabkan bahan bakar berbusa akibat reaksi saponifikasi, serta dapat bersifat korosif jika bereaksi dengan sulfur (Nurfadillah, 2011).

Persen biodiesel menunjukkan kandungan FAME atau biodiesel di dalam solar, seperti B8,75 menunjukkan kandungan FAME dalam solar sebesar 8,75%. Persentase FAME atau biodiesel yang digunakan pada penelitian ini adalah solar (B0); B8,75; B10,55; B17,5; dan B26,66. Kandungan FAME atau biodiesel yang dicampur dalam bahan bakar solar mampu meningkatkan angka setana (*cetane number*) (Setyadi dan Wibowo, 2015).

Unit uji yang digunakan pada penelitian ini berasal dari sumber emisi tidak bergerak (*stationary source*) berupa genset (*generator set*). Genset yang diuji merupakan genset yang berada di

Kelanis dengan kode cerobong, yaitu GS-007 dan GS-009. Genset tersebut biasa digunakan untuk memenuhi kegiatan operasional yang tedapat di Kelanis. Spesifikasi genset yang diuji dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Spesifikasi Unit Uji Genset

Spesifikasi Unit Uji	
Merk	Caterpillar
Kapasitas (kVA)	1825
Model	3516
<i>Configuration</i>	<i>V type, 16 Cylinders</i>
<i>Type</i>	<i>Four stroke, water cooled</i>
<i>Displacement (cc)</i>	69.000
<i>Bore (mm)</i>	170
<i>Stroke (mm)</i>	190
<i>Maximum operating speed (rpm)</i>	1500
<i>Minimum operating speed (rpm)</i>	900
<i>CR range</i>	13,5:0,1
<i>Peak pressure (Psi)</i>	20.000
<i>Injection variation</i>	<i>MUI</i>
<i>Weight (kg)</i>	16376
<i>Air Cleaner</i>	<i>Dual element</i>
<i>Lubricating system</i>	<i>Pressure system</i>
Pembebanan saat uji (%)	70
<i>Combustion principle</i>	penyalaan kompresi

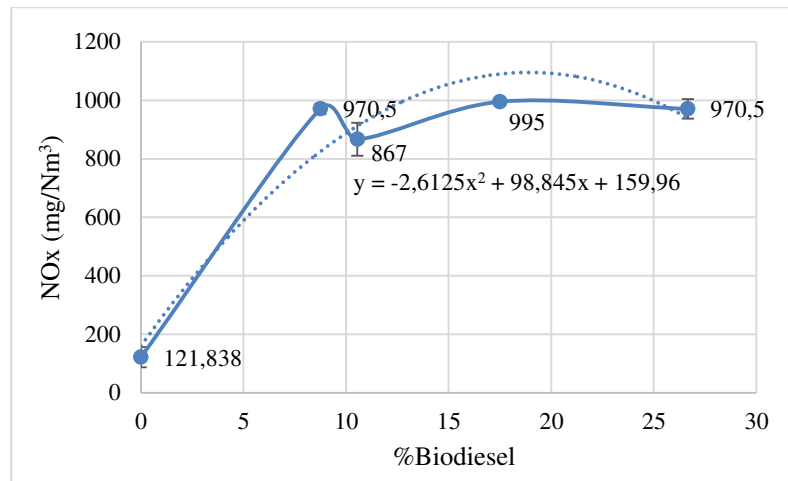
Hasil pengukuran emisi gas buang pada genset didapatkan nilai yang cukup fluktuatif. Nilai emisi gas buang tertinggi parameter gas nitrogen oksida (NO_x) dihasilkan dari bahan bakar B17,5, sedangkan pada parameter partikulat nilai emisi tertinggi dihasilkan oleh solar (B0). Nilai emisi gas NO_x tertinggi sebesar 995 mg/Nm³, sedangkan nilai partikulat tertinggi sebesar 91,572 mg/Nm³. Rata-rata hasil uji emisi gas buang genset dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Hasil uji emisi gas buang pada tiap variasi bahan bakar

Parameter	Satuan	B0	B8,75	B10,55	B17,5	B26,66
NO _x	mg/Nm ³	121,838	970,5	867	995	970,5
Partikulat	mg/Nm ³	91,572	70,85	15,5	37,5	18

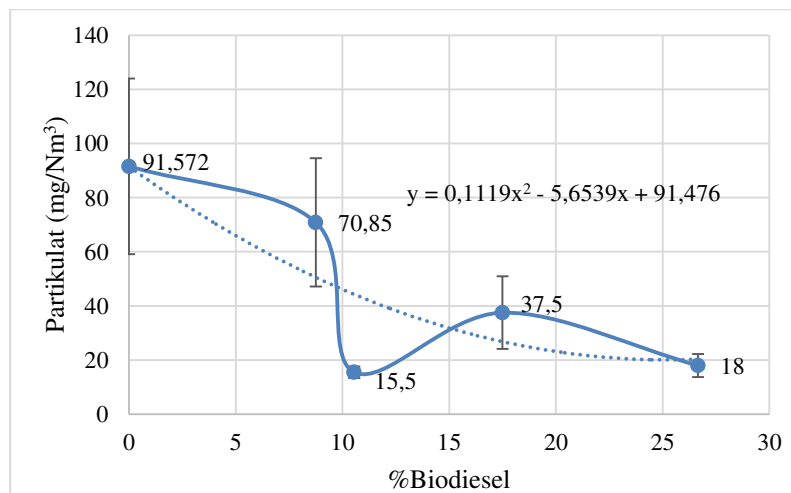
Grafik hubungan antara variasi bahan bakar dan hasil uji emisi gas NO_x ditunjukkan pada **Gambar 2**. Peningkatan nilai emisi gas NO_x antara solar (B0) dengan campuran biodiesel-solar disebabkan jumlah oksigen yang terkandung dalam bahan bakar. Kandungan oksigen pada bahan bakar biodiesel lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar. NO_x terbentuk dalam kondisi kelebihan oksigen pada temperatur tinggi, sehingga semakin tinggi oksigen maka nilai emisi gas NO_x semakin tinggi. Nilai emisi gas NO_x tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar B17,5, yaitu 995 mg/Nm³. Nilai emisi gas NO_x terendah dihasilkan pada bahan bakar solar (B0), yaitu 121, 838

mg/Nm³. Nilai emisi gas buang terendah diantara variasi bahan bakar campuran biodiesel adalah B10,55, yaitu 867 mg/Nm³.



Gambar 1. Grafik hasil uji emisi gas buang parameter nitrogen oksida (NO_x)

Grafik pada **Gambar 3** menunjukkan hubungan antara bahan bakar dan emisi partikulat terjadi penurunan. Beberapa studi literatur (Abdelfattah, 2017; Hazrat *et al.*, 2019; Zhang *et al.*, 2019) menyebutkan bahwa nilai emisi partikulat mengalami reduksi pada campuran solar-biodiesel dibandingkan solar. Penurunan nilai parameter partikulat ini disebabkan karena bahan bakar variasi solar-biodiesel mengandung lebih banyak oksigen. Nilai emisi partikulat tertinggi dihasilkan oleh solar (B0) dengan hasil sebesar 91,572 mg/Nm³, sedangkan emisi partikulat terendah dihasilkan oleh B10,55 yaitu sebesar 15,5 mg/Nm³. Bahan bakar solar menghasilkan emisi partikulat yang tinggi karena kandungan karbon yang tinggi dalam bahan bakar, sehingga partikulat (atom C) terbentuk saat proses pembakaran dengan jumlah oksigen yang rendah. Keberadaan oksigen dalam biodiesel menyebabkan penurunan nilai emisi partikulat.



Gambar 2. Grafik hasil uji emisi gas buang parameter partikulat

Data emisi gas buang yang didapatkan kemudian dianalisis menggunakan beberapa uji statistik. Uji normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dan uji homogenitas menggunakan uji *homogeneity of variances*. Hasil uji normalitas dapat dilihat pada **Tabel 4**. Data dapat dikatakan terdistribusi normal jika nilai signifikansi lebih dari 0,05 (sig.>0,05). Pada tiap parameter memiliki nilai signifikansi lebih dari 0,05, sehingga data dapat dikatakan terdistribusi normal. Nilai signifikansi parameter NO_x sebesar 0,147 dan partikulat sebesar 0,2.

Tabel 4. Hasil uji normalitas

Parameter	Kolmogorov-Smirnov		
	Statistic	df	Sig.
NO _x	.230	10	.147
Partikulat	.205	10	.200

Hasil uji homogenitas varian dapat dilihat pada **Tabel 5**. Asumsi varian antar kelompok dikatakan homogen jika memiliki nilai signifikansi lebih dari 0,05 (sig. > 0,05). Pada parameter NO_x dan partikulat menghasilkan nilai signifikansi kurang dari 0,05, yaitu 0,000 sehingga data dapat dikatakan tidak homogen atau heterogen. Asumsi ketiga untuk uji homogenitas tidak terpenuhi sehingga pendekatan uji ANOVA dapat dilakukan dengan uji Welch dan Brown-Forsythe.

Tabel 5. Hasil uji *Homogeneity of Variance*

Parameter	Levene Statistic	df1	df2	Sig.
NO _x	7.451E+15	4	5	0.000
Partikulat	1.759E+16	4	5	0.000

Tabel 6 menunjukkan hasil uji Welch dan Brown-Forsythe. Hasil uji Welch menunjukkan penggunaan variasi bahan bakar B0, B8,75, B10,55, B17,5, dan B26,66 memiliki pengaruh nyata terhadap hasil emisi gas NO_x, namun tidak memiliki pengaruh nyata terhadap emisi partikulat. Nilai signifikansi masing-masing parameter pada uji Welch yaitu NO_x 0,005, dan partikulat 0,218. Pada uji Brown-Forsythe menunjukkan variasi bahan bakar hanya memiliki pengaruh nyata terhadap emisi gas NO_x, sedangkan variasi bahan bakar tidak memiliki pengaruh nyata terhadap partikulat. Nilai signifikansi pada uji Brown-Forsythe untuk parameter NO_x 0,001 dan partikulat 0,123.

Tabel 6. Hasil uji Welch dan Brown-Forsythe

Parameter		Statistic	df1	df2	Sig.
NO _x	Welch	166.285	4	2.085	.005
	Brown-Forsythe	241.332	4	2.603	.001
Partikulat	Welch	3.489	4	2.197	.218
	Brown-Forsythe	6.159	4	2.266	.123

Pada penelitian ini dipilih uji Welch sebagai uji hipotesis. Uji Welch dan Brown-Forsythe memiliki kesamaan dalam menganalisis data yang tidak homogen dan dalam jumlah sampel yang

kecil, namun uji Welch lebih direkomendasikan untuk jumlah sampel yang kecil dibandingkan uji Brown-Forsythe. Jumlah sampel minimal uji Welch adalah 5 sampel, sedangkan Brown-Forsythe minimal 10 sampel. Brown-Forsythe juga dapat digunakan untuk data tidak homogen dengan jumlah sampel yang lebih banyak (Brown dan Forsythe, 1974).

Parameter-parameter yang menghasilkan nilai signifikansi dibawah 0,05 atau memiliki pengaruh nyata antara variasi bahan bakar dan hasil emisi gas buang pada uji ANOVA Welch dapat dilakukan uji lanjut, yaitu uji Games-Howell. Uji Games-Howell pada **Tabel 7** menunjukkan adanya perbedaan nyata antara kelompok varian. Hasil uji Games-Howell parameter NO_x menunjukkan adanya perbedaan nyata antara solar dan B8,75, antara solar dan B10,55, antara solar dan 17,5, serta antara solar dan 26,66. Hal ini ditunjukkan dengan nilai signifikansi kurang dari 0,05 (sig. < 0,05), namun nilai emisi gas NO_x antara kelompok rerata variasi solar-biodiesel tidak memiliki perbedaan nyata.

Tabel 7. Hasil uji Games-Howell

Dependent Variable	(I) Bahan Bakar	(J) Bahan Bakar	Mean Difference (I-J)	Std. Error	Sig.	95% Confidence Interval	
						Lower Bound	Upper Bound
NO _x	B0	B8,75	-848.66200*	27.136	.011	-1157.257	-540.067
		B10,55	-745.16200*	46.692	.023	-1209.227	-281.097
		B17,5	-873.16200*	24.272	.033	-1462.303	-284.021
		B26,66	-848.66200*	33.651	.005	-1107.753	-589.571
	B8,75	B0	848.66200*	27.136	.011	540.067	1157.257
		B10,55	103.500	41.908	.450	-624.599	831.599
		B17,5	-24.500	12.855	.574	-283.680	234.680
		B26,66	.000	26.618	1.000	-295.874	295.874
	B10,55	B0	745.16200*	46.692	.023	281.097	1209.227
		B8,75	-103.500	41.908	.450	-831.599	624.599
		B17,5	-128.000	40.112	.385	-1150.140	894.140
		B26,66	-103.500	46.392	.446	-574.651	367.651
	B17,5	B0	873.16200*	24.272	.033	284.021	1462.303
		B8,75	24.500	12.855	.574	-234.680	283.680
		B10,55	128.000	40.112	.385	-894.140	1150.140
		B26,66	24.500	23.691	.832	-548.386	597.386
B26,66	B0	848.66200*	33.651	.005	589.571	1107.753	
	B8,75	.000	26.618	1.000	-295.874	295.874	
	B10,55	103.500	46.392	.446	-367.651	574.651	
	B17,5	-24.500	23.691	.832	-597.386	548.386	

Hubungan statistik antara variasi bahan bakar dengan hasil uji emisi gas NO_x dan pertikulat dapat disebabkan oleh kandungan oksigen yang terkandung dalam bahan bakar solar-biodiesel. Biodiesel murni, khusus nya *crude palm oil* (CPO), memiliki kandungan oksigen sekitar 11% hingga 15% (Suardi *et al.*, 2017), sedangkan solar tidak memiliki kandungan oksigen (El-Araby *et al.*, 2018; Zhang *et al.*, 2019). Hal ini menyebabkan adanya perbedaan nyata emisi NO_x yang dihasilkan antara bahan bakar solar dengan solar-biodiesel. Kandungan oksigen pada biodiesel murni yang berkisar antara 11% hingga 15% menyebabkan kandungan oksigen pada variasi solar-biodiesel tidak memiliki banyak pengaruh, sehingga hubungan antar variasi bahan bakar

B8,75, B10,55, B17,5, dan B26,66 tidak memiliki perbedaan nyata terhadap emisi gas NO_x. Hal tersebut juga berlaku untuk hasil emisi partikulat.

4. KESIMPULAN

Simpulan dari penelitian ini adalah:

1. Emisi gas buang NO_x pada campuran solar-biodiesel lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar, sedangkan nilai emisi partikulat pada campuran solar-biodiesel lebih rendah dibandingkan solar. Hal ini dapat dilihat pada hasil emisi gas buang:
 - a. Nilai emisi gas buang NO_x pada bahan bakar solar (B0) 121,38 mg/Nm³; B8,75 970,5 mg/Nm³; B10,55 867 mg/Nm³; B17,5 995 mg/Nm³; dan B26,66 970,5 mg/Nm³.
 - b. Nilai emisi gas buang partikulat pada bahan bakar solar (B0) 91,572 mg/Nm³; B8,75 70,85 mg/Nm³; B10,55 15,5 mg/Nm³; B17,5 37,5 mg/Nm³; dan B26,66 18 mg/Nm³.
2. Hasil analisis emisi gas buang menunjukkan bahwa perbandingan variasi bahan bakar terhadap hasil emisi NO_x menghasilkan perbedaan yang signifikan, yaitu antara bahan bakar solar dan B8,75, solar dan B10,55, solar dan B17,5, serta solar dan B26,66, sedangkan perbandingan variasi bahan bakar terhadap hasil emisi partikulat tidak memiliki perbedaan yang signifikan.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak PT Adaro Indonesia yang telah membantu baik secara finansial maupun fasilitas dalam pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga berterimakasih kepada dosen pembimbing bapak Dr. Andy Mizwar, ST., M.Si. dan bapak Muhammad Abrar Firdausy, ST., MT, serta kepada orang tua yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelfattah, O. Y. (2017) 'Influence Of Biodiesel From Egyptian Used Cooking Oil On Performance And Emissions Of Small Diesel Engine', *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 24(1).
- Araújo, D. C. M. De *et al.* (2013) 'Biodiesel production from used cooking oil: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 27, pp. 445–452.
- Bari, S. and Hossain, S. N. (2019) 'Performance and Emission Analysis of A Diesel Engine Running on Palm Oil Diesel (POD)', *Energy Procedia*. The Authors, 160(2018), pp. 92–99.
- Budiman, A. *et al.* (2018) *Biodiesel: Bahan Baku, Proses, dan Teknologi*. UGM Press.
- El-Araby, R. *et al.* (2018) 'Study on the characteristics of palm oil–biodiesel–diesel fuel blend', *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(2), pp. 187–194.
- Hazrat, M. A. *et al.* (2019) 'Emission characteristics of waste on tallow waste cooking oil based ternary biodiesel fuels based ternary biodiesel fuels', *Energy Procedia*. The Authors, 160(2018), pp. 842–847.
- Lei, T. *et al.* (2016) 'Performance and Emission Characteristics Of A Diesel Engine Running On Optimized Ethyl Levulinate-Biodiesel-Diesel Blends', *Energy*. Elsevier Ltd, 95, pp. 29–

40.

- Nurfadillah, N. (2011) *Pemanfaatan dan Uji Kualitas Biodiesel dari Minyak Jelantah*. UIN Alauddin Makassar.
- Octavia, R. Z. (2011) *Pembuatan dan uji Kualitas Bahan Bakar Alternatif (Biodiesel) dari Minyak Kelapa (Cocos nucifera)*. UIN Alauddin Makassar.
- Ooi, J. B. *et al.* (2019) 'Experimental Investigation on the Droplet Burning Behavior of Diesel-Palm Biodiesel Blends', *Energy and Fuels*, 33(11), pp. 11804–11811.
- Setyadi, P. and Wibowo, C. S. (2015) 'Pengaruh Pencampuran Minyak Solar Dengan Biodiesel Pada Nilai Angka Setana', *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur UNJ*, pp. 93–99.
- Suardi, M. *et al.* (2017) 'Effects of fractal grid on emissions in burner combustion by using fuel-water-air premix injector derived from biodiesel crude palm oil (CPO) base', *MATEC Web of Conferences*, 90, pp. 1–7.
- Torres-jimenez, E. *et al.* (2011) 'Physical and chemical properties of ethanol – diesel fuel blends', *Fuel*. Elsevier Ltd, 90(2), pp. 795–802.
- Yandri, V. R. (2012) 'Pemanfaatan Minyak Jelantah sebagai Biodiesel untuk Bahan Bakar Bus Kampus UNAND Di Padang', *Jurnal Aplikasi IPTEK untuk Masyarakat*, 1(2), pp. 119–125.
- Yusop, A. F. *et al.* (2018) 'Analysis of particulate matter (PM) emissions in diesel engines using palm oil biodiesel blended with diesel fuel', *Energies*, 11(5), pp. 1–25.
- Zhang, Y. *et al.* (2019) 'Particle Number, Size Distribution, Carbons, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons And Inorganic Ions Of Exhaust Particles From A Diesel Bus Fueled With Biodiesel Blends', *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd, 225, pp. 627–636.