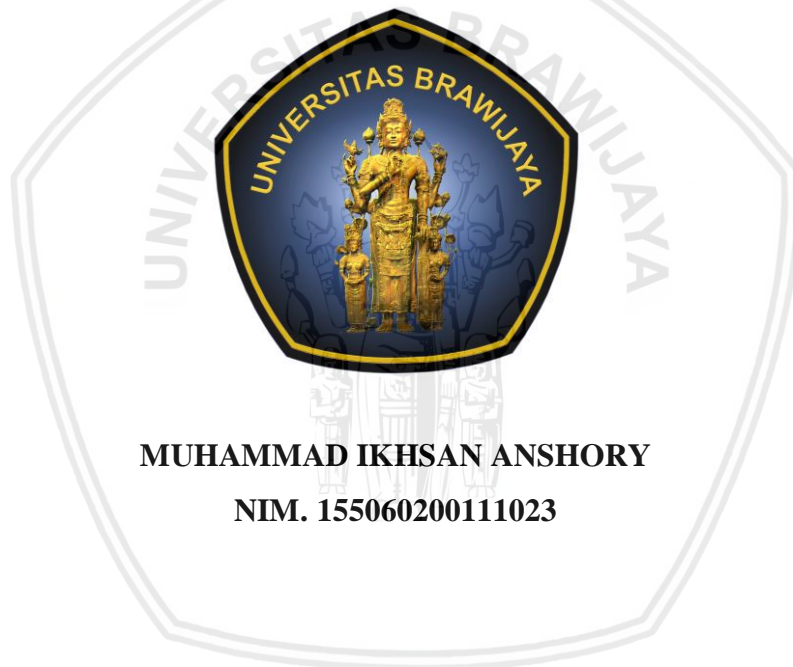


**PENGARUH PERSENTASE OKSIGEN TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *SPRAY* BIODIESEL WASTE
*COOKING OIL***

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD IKHSAN ANSHORY
NIM. 155060200111023

UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
MALANG
2019

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 8 Oktober 2019

Mahasiswa



Muhammad Ikhsan Anshory

NIM. 155060200111023

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



repository.ub.ac.id

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PERSENTASE OKSIGEN TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN *SPRAY* BIODIESEL *WASTE*
COOKING OIL

SKRIPSI

TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



MUHAMMAD IKHSAN ANSHORY
NIM. 155060200111023

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing pada
tanggal 8 Oktober 2019

Dosen Pembimbing I



Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001

Dosen Pembimbing II



Winarto, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19710710 200012 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi S1

Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
NIP. 19740930 200012 1 001





UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM SARJANA



SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI

Nomor : 127/UN10.F07.12.21/PP/2019

Sertifikat ini diberikan kepada :

MUHAMMAD IKHSAN ANSHORY

Dengan Judul Skripsi :
**PENGARUH PERSENTASE OKSIGEN TERHADAP KARAKTERISTIK
PEMBAKARAN SPRAY BIODIESEL WASTE COOKING OIL**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi $\leq 20\%$, dan dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal **07 OCT 2019**

Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D.
NIP. 19670518 199412 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST, MT
NIP. 19740930 200012 1 001

IDENTITAS TIM PENGUJI SKRIPSI

JUDUL SKRIPSI

Pengaruh Persentase Oksigen Terhadap Karakteristik Pembakaran *Spray Biodiesel Waste Cooking Oil*

Nama Mahasiswa : Muhammad Ikhsan Anshory
NIM : 155060200111023
Program Studi : Teknik Mesin
Konsentrasi : Konversi Energi

KOMISI PEMBIMBING

Dosen Pembimbing 1 : Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.
Dosen Pembimbing 2 : Winarto, ST., MT., Ph.D.

TIM DOSEN PENGUJI

Dosen Penguji 1 : Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.
Dosen Penguji 2 : Dr.Eng. Eko Siswanto, ST., MT.
Dosen Penguji 3 : Dr. Putu Hadi Setyarini, ST., MT.

Tanggal Ujian : 27 Agustus 2019
SK Penguji : 1771/UN10.F07/SK/2019

KATA PENGANTAR

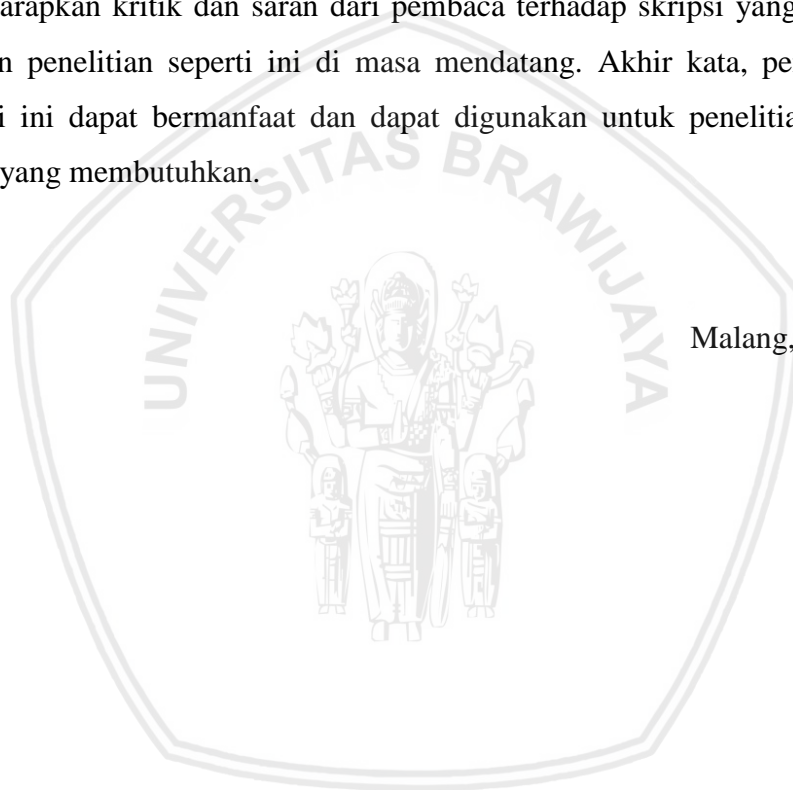
Puji syukur penulis hanturkan atas kehadiran Allah SWT atas rahmat dan karuniannya-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Skripsi yang berjudul **“Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Karakteristik Pembakaran *Spray Biodiesel Waste Cooking Oil*”** dengan baik.

Skripsi ini disusun dengan tujuan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya. Setelah melalui berbagai tahapan, akhirnya skripsi ini dapat diselesaikan berkat dukungan dan dorongan dari berbagai pihak. Untuk segala dukungannya pada kesempatan ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Orangtuaku tercinta, Ayah Adam Muhammad dan Ibu Siti Wahyuni yang selalu berdoa, memberikan motivasi, mendukung dari segi moral maupun materiil sehingga penulis dapat menyelesaikan segala kebutuhan akademik dari awal sampai akhir.
2. Untuk adikku, Muhammad Arif Rizky Pratama yang juga mendukung penulis untuk tetap konsisten dalam menyelesaikan studi ini.
3. Bapak Dr.Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran, serta masukan yang berharga bagi penulis selama mengerjakan skripsi.
4. Bapak Winarto, ST., MT. Ph.D., selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktu dalam memberikan bimbingan, arahan, motivasi, saran, serta masukan yang berharga bagi penulis selama mengerjakan skripsi.
5. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
6. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
7. Bapak dan Ibu Dosen, serta karyawan Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu pengetahuan serta bantuan dalam administrasi selama masa studi yang dilalui penulis.
8. Bapak dan Ibu dosen Politeknik Negeri Malang yang telah membantu mengolah spesimen selama melakukan penelitian di lapangan.
9. Bapak dan Ibu dosen dan karyawan Laboratorium Fundamental Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah membantu penulis selama penelitian di lapangan.

10. Muhammad Abiel Pradipta dan Rayhan ‘Tejo’ Narajati selaku teman seperjuangan yang membantu dalam menyelesaikan pengerjaan skripsi ini.
11. Seluruh Keluarga Besar “M15” terimakasih atas doa, dukungan, bantuan, dan kebersamaannya selama masa kuliah.
12. Seluruh Keluarga Besar Mahasiswa Mesin (KBMM) Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang yang telah memberikan bantuan kepada penulis
13. Dan semua pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan skripsi ini, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari pembaca terhadap skripsi yang telah disusun demi perbaikan penelitian seperti ini di masa mendatang. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut maupun pihak yang membutuhkan.



Malang, Oktober 2019

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR LAMPIRAN	viii
RINGKASAN	ix
SUMMARY	x
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Sebelumnya	5
2.2 Biodiesel dari <i>Waste Cooking Oil</i> (Minyak Jelantah)	9
2.3 Pembakaran	11
2.3.1 Reaksi Kimia Pembakaran	11
2.4 Klasifikasi Pembakaran	13
2.4.1 Pembakaran Difusi	13
2.4.2 Pembakaran <i>Premixed</i>	13
2.5 <i>Flashback</i>	14
2.6 <i>Lift-off</i> dan <i>Blow-off</i>	14
2.7 Atomisasi Bahan Bakar	15
2.7.1 <i>Airblast Atomization</i>	16
2.7.2 <i>Sauter Mean Diameter</i>	17
2.8 Pembakaran Droplet	18
2.8.1 <i>Spray Flame</i>	18
2.9 Hipotesis	19
BAB III METODE PENELITIAN	21
3.1 Metode Penelitian	21

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	21
3.3 Variabel Penelitian	21
3.4 Alat dan Bahan Penelitian	22
3.5 Skema Instalasi Penelitian	25
3.6 Prosedur Penelitian.....	26
3.7 Metode Pengolahan Data	27
3.8 Diagram Alir Penelitian	28
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	29
4.1 Kalibrasi <i>Flowmeter</i>	29
4.2 Pengolahan Data Karakteristik Api <i>Spray</i>	31
4.3 Grafik dan Pembahasan.....	33
4.3.1 Grafik Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Tinggi Api	33
4.3.2 Grafik Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Lebar Api.....	35
4.3.3 Grafik Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Tinggi <i>Liff-off</i> Api	37
4.3.4 Grafik Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Persentase Warna Api Biru38	
4.3.5 Grafik Kestabilan Api <i>Spray Biodiesel Waste Cooking Oil</i>	41
BAB V PENUTUP	43
5.1 Kesimpulan	43
5.2 Saran.....	43
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah	10
Tabel 2.2	Persamaan Reaksi Pembakaran Umum	13
Tabel 4.1	Data kalibrasi <i>flowmeter</i> gas O ₂	30
Tabel 4.2	Data kalibrasi <i>flowmeter</i> gas N ₂	31
Tabel 4.3	Visualisasi Nyala Api <i>Spray</i> Biodiesel Minyak Jelantah	39
Tabel 4.4	Visualisasi Nyala Api <i>Spray</i> Solar	40



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Pengaruh debit udara bantu terhadap SMD droplet minyak <i>Jatropha</i>	5
Gambar 2.2	Pengaruh kecepatan oksidator terhadap panjang api yang dihasilkan	6
Gambar 2.3	Pengaruh kecepatan aliran udara <i>coflow</i> terhadap tinggi <i>lift-off</i> pada persentase O ₂ bervariasi	7
Gambar 2.4	Hasil nyala api difusi laminar propane dengan konsentrasi N ₂ bervariasi.....	7
Gambar 2.5	Konsentrasi oksigen saat keadaan <i>extinction</i>	8
Gambar 2.6	Skema transesterifikasi trigliserida dengan metanol menghasilkan FAME ..	9
Gambar 2.7	a) <i>Flashback</i> , b) Stabil, c) <i>Lift-off</i> , d) <i>Lifted</i> , e) <i>Blowoff</i>	15
Gambar 2.8	Semprotan tekanan tinggi pada diesel.....	16
Gambar 2.9	Parameter dari semprotan	17
Gambar 2.10	(a) Atomisasi tanpa udara bantu (b) Atomisasi dengan udara bantu	18
Gambar 2.11	Permodelan dari pembakaran droplet	19
Gambar 2.12	Permodelan dari <i>mixed spray flame</i>	20
Gambar 3.1	<i>Air atomizing nozzle</i>	22
Gambar 3.2	<i>Flowmeter</i>	23
Gambar 3.3	<i>Pisco tube</i>	23
Gambar 3.4	<i>Y connector</i> dan <i>fitting pneumatic</i>	24
Gambar 3.5	Biodiesel <i>waste cooking oil</i>	25
Gambar 3.6	Skema alat pembakaran <i>spray</i>	25
Gambar 3.7	Diagram alir penelitian	28
Gambar 4.1	Hubungan Q _{Terbaca} dengan Q _{Aktual} pada <i>flowmeter</i> O ₂	30
Gambar 4.2	Hubungan Q _{Terbaca} dengan Q _{Aktual} pada <i>flowmeter</i> N ₂	31
Gambar 4.3	Hasil pengolahan gambar api <i>spray</i> menggunakan Image J (a) Tinggi api, (b) Lebar api dan (c) Tinggi <i>Lift-off</i> api.....	32
Gambar 4.4	Grafik pengaruh persentase oksigen terhadap tinggi api <i>spray</i> untuk debit bahan bakar 14 ml/min dan debit total oksidator yang bervariasi	33
Gambar 4.5	Grafik pengaruh persentase oksigen terhadap lebar api <i>spray</i> untuk debit bahan bakar 14 ml/min dan debit total oksidator yang bervariasi	35
Gambar 4.6	Grafik pengaruh persentase oksigen terhadap tinggi <i>lift-off</i> api <i>spray</i> untuk debit bahan bakar 14 ml/min dan debit total oksidator yang bervariasi	37
Gambar 4.7	Grafik pengaruh persentase oksigen terhadap persentase luas api biru untuk debit bahan bakar 14 ml/min dan debit total oksidator yang bervariasi	38

Gambar 4.8 Grafik Persentase Oksigen saat *Extinction* pada Biodiesel..... 41



DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Hasil Pengolahan Data Api *Spray*
- Lampiran 2 Data Analisis Hasil Pengujian Fisis Biodiesel *Waste Cooking Oil*
- Lampiran 3 Spesifikasi Solar/biosolar



RINGKASAN

Muhammad Ikhsan Anshory, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Oktober 2019, *Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Karakteristik Pembakaran Spray Biodiesel Waste Cooking Oil*, Dosen Pembimbing: Mega Nur Sasongko dan Winarto.

Mesin diesel merupakan salah satu perangkat pembakaran *spray* yang sering digunakan pada bidang industri dan transportasi. Seiring meningkatnya pemakaian mesin diesel maka biodiesel banyak dikembangkan untuk menggantikan bahan bakar solar yang ketersediaannya semakin menipis. Minyak jelantah atau *waste cooking oil* merupakan salah satu bahan baku yang dapat diolah menjadi biodiesel.

Untuk mengetahui karakteristik pembakaran pada biodiesel tersebut maka pada penelitian ini membahas pengaruh persentase oksigen terhadap karakteristik pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil*. Persentase oksigen divariasikan dimana total debit N_2 - O_2 dijaga konstan. Karakteristik pembakaran yang dicari meliputi tinggi dan lebar api, tinggi *lift-off*, dan persentase warna api biru. Karakteristik pembakaran tersebut kemudian dibandingkan dengan karakteristik pembakaran solar yang bermanfaat untuk mengetahui kualitas pembakaran dari biodiesel sebagai bahan bakar alternatif. Dalam penelitian ini kestabilan api didefinisikan dengan persentase oksigen minimum saat keadaan *extinction*. Penelitian ini dilakukan menggunakan *air atomizing nozzle* dengan diameter 0.5 mm.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi, lebar dan tinggi *lift-off* api *spray* biodiesel dan solar yang dihasilkan semakin menurun seiring meningkatnya persentase oksigen. Hal tersebut dikarenakan jarak pencampuran antara droplet bahan bakar dengan oksigen yang semakin pendek. Namun tinggi, lebar dan tinggi *lift-off* api *spray* biodiesel lebih kecil daripada solar. Hal tersebut dikarenakan biodiesel mengandung oksigen. Pada biodiesel, persentase warna api biru meningkat seiring meningkatnya persentase oksigen. Namun pada api *spray* solar, warna api cenderung berwarna kuning karena pembakaran dominan difusi. Untuk kestabilan api biodiesel, semakin besar debit total campuran gas N_2 dan O_2 maka persentase oksigen saat *extinction* semakin kecil. Hal ini dikarenakan droplet semakin kecil sehingga mudah berdifusi ke O_2 sekitar agar api tetap stabil.

Kata kunci: *Biodiesel, Droplet, Oksigen, Waste Cooking Oil*

SUMMARY

Muhammad Ikhsan Anshory, Majoring in Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, October 2019, *The Effect of Oxygen Percentage on Spray Combustion Characteristics of Biodiesel Waste Cooking Oil*, Academic Supervisor: Mega Nur Sasongko and Winarto.

Diesel engine is one of the spray combustion devices that is often used in industry and transportation. With increasing use of diesel engine, biodiesel has been developed to replace diesel fuel whose availability are running low. Waste cooking oil is one of the raw materials that can be processed into biodiesel.

To find out the combustion characteristics of biodiesel, this study aims to determine the effect of oxygen percentage on the spray combustion characteristics of biodiesel waste cooking oil. The percentage of oxygen is varied where total flowrate of N_2-O_2 was constant. Combustion characteristics include the height and width of flame, lift-off height, and the percentage of the blue flame. The characteristics of combustion will be compared with diesel fuel which is useful to find out the combustion quality of biodiesel as alternative fuel. The stability of spray flame is defined by minimum percentage of oxygen before the flame extinct. 0.5 mm air atomizing nozzle was used for this research purposes.





The results show that the dimension and lift-off height of the flame decreases with increasing oxygen percentage. This is because the mixing distance between the fuel droplet and oxygen is getting shorter. However, dimensions and lift-off height of the biodiesel are shorter than diesel fuel because biodiesel contains oxygen. In biodiesel, percentage of blue flame increases with increasing oxygen percentage, while for diesel fuel, the color of flame tends to be yellow due to the dominant diffusion combustion. For the stability of the biodiesel spray flame, when the air flowrate (N_2-O_2 mixture) increases the minimum oxygen required to maintain the stability of flame decrease. The increase of air flowrate cause the droplet size smaller. This causes the fuel droplet easier to diffuse with air from surrounding. Therefore the flame remains stable



Keyword: *Biodiesel, Droplet, Oxygen, Waste Cooking Oil*

Lampiran 1 Hasil Pengolahan Data Api Spray



LEMBAR DATA





Api Spray Biodiesel Debit Total Oksidator 6.99 l/min

Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api Spray
100 %		Tinggi : 123.29 mm
		Lebar : 47.92 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 13.33 mm
		Persentase api biru :
		$= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{213.04 \text{ mm}^2}{4312.31 \text{ mm}^2} = 4.7\%$
90 %		Tinggi : 174.66 mm
		Lebar : 49.24 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 13.12 mm
		Persentase api biru :
		$= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{227.68 \text{ mm}^2}{4628.96 \text{ mm}^2} = 4.68\%$
80 %		Tinggi : 195.44 mm
		Lebar : 53.17 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 13.83 mm
		Persentase api biru :
		$= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{181.62 \text{ mm}^2}{5330.37 \text{ mm}^2} = 3.29\%$
70 %		Tinggi : 211.33 mm
		Lebar : 51.04 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 13.33 mm
		Persentase api biru :
		$= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{167.95 \text{ mm}^2}{5822.23 \text{ mm}^2} = 2.8\%$





Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
60 %		Tinggi : 221.23 mm
		Lebar : 69.13 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 14.28 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{167.06 \text{ mm}^2}{7653.97 \text{ mm}^2} = 2.13\%$
50 %		Tinggi : 231.55 mm
		Lebar : 70 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 15.59 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{150.64 \text{ mm}^2}{7397.94 \text{ mm}^2} = 1.99\%$



Api *Spray* Biodiesel Debit Total Oksidator 8.51 l/min

Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
100 %		Tinggi : 108.28mm
		Lebar : 43.59 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 13.49 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{236.07 \text{ mm}^2}{3116.39 \text{ mm}^2} = 7.04\%$
90 %		Tinggi : 134.65 mm
		Lebar : 49.43 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 13.65 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{221.09 \text{ mm}^2}{4518.35 \text{ mm}^2} = 4.46\%$



Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
80 %		Tinggi : 155,7 mm
		Lebar : 50 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 14.09 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{200.85 \text{ mm}^2}{4993.53 \text{ mm}^2} = 3.86\%$
70 %		Tinggi : 172.67 mm
		Lebar : 50.83 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 14.09 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{182.14 \text{ mm}^2}{5813.22 \text{ mm}^2} = 3.03\%$
60 %		Tinggi : 175.11 mm
		Lebar : 51.63 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 16.36 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{155.28 \text{ mm}^2}{6560.2 \text{ mm}^2} = 2.31\%$
50 %		Tinggi : 197.76 mm
		Lebar : 56.64 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 16.51 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{168.93 \text{ mm}^2}{6747.25 \text{ mm}^2} = 2.44\%$





Api *Spray* Biodiesel Debit Total Oksidator 10.03 l/min

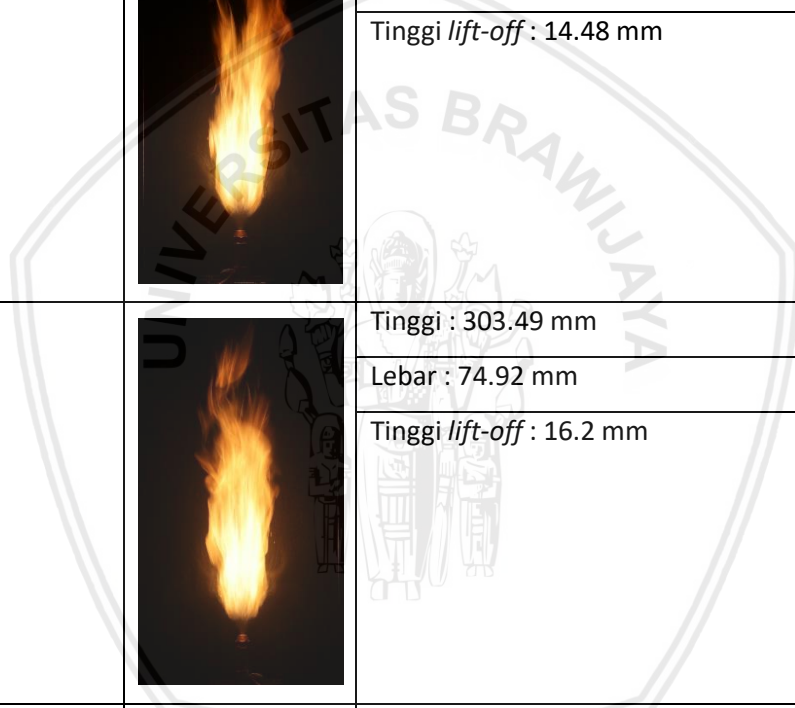
Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
100 %		Tinggi : 95.78 mm
		Lebar : 40.82 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 14.46 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{258.09 \text{ mm}^2}{2412.39 \text{ mm}^2} = 9.66\%$
90 %		Tinggi : 101.29 mm
		Lebar : 44.47 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 15.6 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{219.95 \text{ mm}^2}{3281.89 \text{ mm}^2} = 6.28\%$
80 %		Tinggi : 119.31 mm
		Lebar : 45 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 15.36 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{229.33 \text{ mm}^2}{2953.47 \text{ mm}^2} = 7.2\%$
70 %		Tinggi : 124.71 mm
		Lebar : 47.01 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 15.07 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{200.93 \text{ mm}^2}{4568.59 \text{ mm}^2} = 4.21\%$

Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
60 %		Tinggi : 126.55 mm
		Lebar : 49.31 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 17.38 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{204.3 \text{ mm}^2}{4894.05 \text{ mm}^2} = 4\%$
50 %		Tinggi : 146.59 mm
		Lebar : 49.77 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 18.45 mm
		Persentase api biru : $= \frac{\text{Luas Api Biru}}{\text{Luas Api total}} = \frac{186.16 \text{ mm}^2}{4975.48 \text{ mm}^2} = 3.6\%$





Api *Spray* Solar Debit Total Oksidator 6.99 l/min



Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
100 %		Tinggi : 213.76 mm
		Lebar : 60.16 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 13.3 mm
90 %		Tinggi : 247.57 mm
		Lebar : 62.52 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 13.9 mm

Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
80 %		Tinggi : 269.37 mm
		Lebar : 64.37 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 15.84 mm
70 %		Tinggi : 292.61 mm
		Lebar : 74.43 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 14.48 mm
60 %		Tinggi : 303.49 mm
		Lebar : 74.92 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 16.2 mm
50 %		Tinggi : 327.91 mm
		Lebar : 75.08 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 17.95 mm

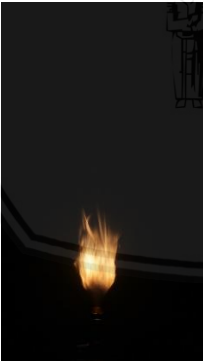





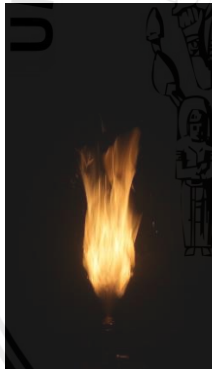

Api *Spray* Solar Debit Total Oksidator 8.51 l/min

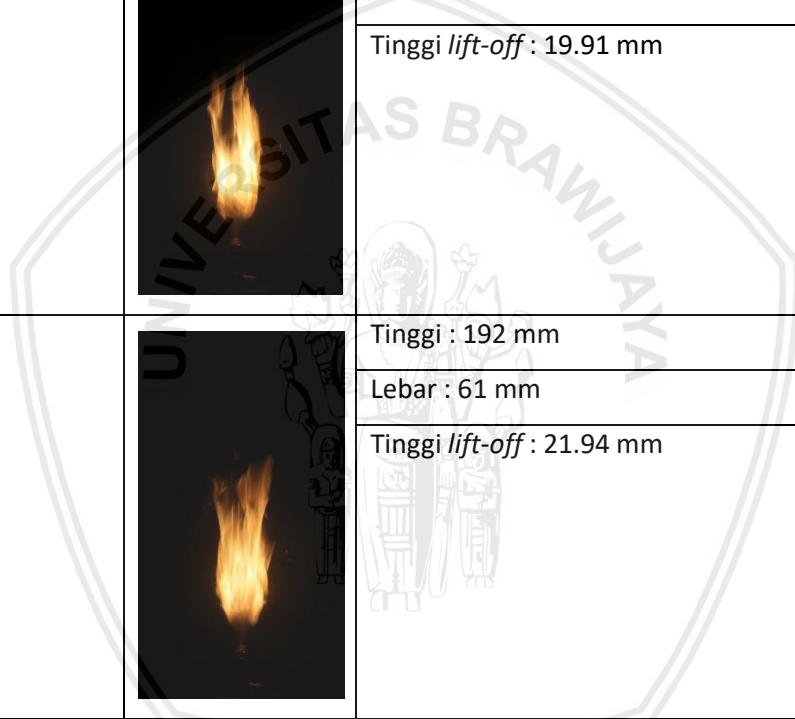
Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
100 %		Tinggi : 152.3 mm
		Lebar : 46.48 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 14.03 mm
90 %		Tinggi : 168.56 mm
		Lebar : 52.2 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 14.06 mm
80 %		Tinggi : 176.03 mm
		Lebar : 52.56 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 15.5 mm
70 %		Tinggi : 181 mm
		Lebar : 53.29 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 17.1 mm

Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
60 %		Tinggi : 196.49 mm
		Lebar : 63.99 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 17.8 mm
50 %		Tinggi : 224.13 mm
		Lebar : 69.91 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 18.77 mm

Api *Spray* Solar Debit Total Oksidator 10.03 l/min

Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
100 %		Tinggi : 100.87 mm
		Lebar : 44.83 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 19.12 mm
90 %		Tinggi : 137.5 mm
		Lebar : 50 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 19.25 mm

Persentase Oksigen (%)		Karakteristik Api <i>Spray</i>
80 %		Tinggi : 167.21 mm
		Lebar : 51.14 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 19.25 mm
70 %		Tinggi : 180.49 mm
		Lebar : 53.55 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 19.91 mm
60 %		Tinggi : 192 mm
		Lebar : 61 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 21.94 mm
50 %		Tinggi : 219.28 mm
		Lebar : 68.12 mm
		Tinggi <i>lift-off</i> : 22.19 mm



Persentase Oksigen saat *Extinction Biodiesel Waste Cooking Oil*

Debit Oksidator (l/min)	% O ₂ minimum Data ke-1	% O ₂ minimum Data ke-2	% O ₂ minimum Data ke -3	% O ₂ minimum Rata-rata
6.23	78.05	75.61	79.27	77.64
6.99	43.48	43.48	47.83	44.93
7.75	28.43	26.47	26.47	27.13
8.51	19.65	18.75	18.75	19.05



Lampiran 2 Data Analisis Hasil Pengujian Fisis Biodiesel *Waste Cooking Oil*

Issuing Office:
Jl. Jend. A. Yani. No. 315 Surabaya 60234, Indonesia
Phone/Facs: +62 31 8470547/8470635
Email: jum.sba@sucofindo.co.id

REPORT OF ANALYSIS

CLIENT : MUHAMMAD ABIEL PRADIPTA
Jl. Gunung Karang No. 20 BSD RT/RW 026/000
Kel/Desa Gunung Elai Kecamatan Bontang Utara
Kota Bontang

THE FOLLOWING SAMPLE(S) WERE/ WAS SUBMITTED AND IDENTIFIED BY CLIENT AS :

TYPE OF SAMPLE : BIO DIESEL

TEST REQUIRED : Flash Point PMCC, Kinematic Viscosity at 40°C and
Calorific Value (Gross)

SAMPLE IDENTIFICATION : Following statement were stated by Client and not verified by SUCOFINDO
BODIESEL MINYAK JELANTAH

DATE OF RECEIVED : May 21, 2019

DESCRIPTION OF SAMPLE : Form : Liquid
Volume received : 1.5 L (approx)
Packing : Plastic bottle

PERIOD OF ANALYSIS : May 21 up to June 12, 2019

We have tested the sample(s) submitted and the following results were obtained :

Parameter	Unit	Result	Methods
Flash Point PMCC	°C	179	ASTM D. 93
Kinematic Viscosity at 40°C	cSt	5.342	ASTM D. 445
Calorific Value (Gross)	BTU/Lb	17571	ASTM D. 240

*This result related to the samples submitted only and the report/certificate can not be reproduced
In anyway, except in full context and with prior approval in writing from Sucofindo Laboratory*

This Certificate/report is issued under our General Terms and Conditions, copy of which is available upon request or may be accessed at www.sucofindo.co.id

Dept. of Commercial 3 - Testing & Eco-Framework

51905935
KA/enk
7103061901592-01

Khoiril Anam

Lampiran 3 Spesifikasi Solar/biosolar

SPESIFIKASI SOLAR/ BIOSOLAR

NO.	KARAKTERISTIK	SATUAN	BATASAN		METODE UJI	
			MIN	MAKS	ASTM	LAIN
1.	Bilangan Cetana Angka Setana atau Indeks Setana	-	48	-	D 613	
		-	45	-	D 4737	
2.	Berat Jenis @ 15 °C	kg/m ³	815	860	D 1298 / D 4052	
3.	Viskositas @ 40 °C	mm ² /sec	2,0	4,5	D 445	
4.	Kandungan Sulfur	% m/m	-	0,35 ¹⁾	D 2622 / D 5453 / D 4294 / D 7039	
			-	0,30 ²⁾		
			-	0,25 ³⁾		
			-	0,05 ⁴⁾		
			-	0,005 ⁵⁾		
5.	Distilasi 90 % vol. penguapan	°C	-	370	D 86	
6.	Titik Nyala	°C	52	-	D 93	
7.	Titik Tuang	°C	-	18	D 97	
8.	Residu Karbon	% m/m	-	0,1	D 4530 / D 189	
9.	Kandungan Air	mg/kg	-	500	D 6304	
10.	Biological Growth ^{*)}	-	Nihil			
11.	Kandungan FAME ^{*)}	% wv	-	-		
12.	Kandungan metanol ^{*)}	% wv	Tak terdeteksi		D 4815	
13.	Korosi Bilah Tembaga	merit	-	Kelas 1	D 130	
14.	Kandungan Abu	% wv	-	0,01	D 482	
15.	Kandungan Sedimen	% m/m	-	0,01	D 473	
16.	Bilangan Asam Kuat	mgKOH/gr	-	0	D 664	
17.	Bilangan Asam Total	mgKOH/gr	-	0,6	D 664	
18.	Partikulat	mg/l	-	-	D 2276	
19.	Penampilan Visual	-	Jernih & Terang			
20.	Warna	No. ASTM	-	3,0	D 1500	
21.	Lubricity (HFRR wear scar dia. @ 60 °C)	micron	-	460 ⁶⁾	D 6079	

^{*)}Kandungan FAME mengacu pada Peraturan Menteri ESDM No. 25 tahun 2013 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga bahan Bakar Nabati (Biofuel) Sebagai Bahan Bakar Lain.

Catatan umum:

- Additive harus kompatibel dengan minyak mesin (tidak menambah kekotoran/kerak). Additive yang mengandung komponen pembentuk abu (ash forming) tidak diperbolehkan.
- Penanganan (handling) harus dilakukan secara baik untuk mengurangi kontaminasi (debu, air, bahan bakar lain, dll).
- Pelabelan pada pompa harus memadai dan terdefinisi.

Catatan kaki:

- 1) Batasan 0.35% m/m setara dengan 3.500 ppm. Berlaku tahun 2015.
- 2) Batasan 0.30% m/m setara dengan 3.000 ppm. Berlaku mulai 1 Januari tahun 2016.
- 3) Batasan 0.25% m/m setara dengan 2.500 ppm. Berlaku mulai 1 Januari tahun 2017.
- 4) Batasan 0.05% m/m setara dengan 500 ppm. Berlaku mulai 1 Januari tahun 2021.
- 5) Batasan 0.005% m/m setara dengan 50 ppm. Berlaku mulai 1 Januari tahun 2025.
- 6) Berlaku mulai 1 Januari 2016

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring berkembangnya teknologi, banyak perangkat industri dan transportasi menggunakan proses pembakaran sebagai sumber energi. Tungku api, boiler, turbin gas, dan mesin diesel merupakan perangkat industri dimana pada proses pembakaran yang terjadi adalah pembakaran *spray*. Pembakaran *spray* merupakan sebuah proses yang rumit dimana sejumlah fenomena fisik yang saling berinteraksi seperti proses atomisasi bahan bakar cair menjadi droplet, dispersi dan penguapan bahan bakar yang disemprotkan, serta reaksi kimia pembakaran yang terjadi. Fenomena fisik ini berubah seiring meningkatnya massa alir bahan bakar dan tekanan ambien. Pembakaran *spray* menghasilkan api semprot (*spray flame*) dimana struktur api tersebut terdiri dari distribusi konsentrasi molekul kimia serta temperatur api yang dihasilkan. Struktur nyala api yang dihasilkan tergantung pada interaksi antara droplet bahan bakar yang digunakan pada proses pembakaran. Bahan bakar yang dipakai dalam pembakaran *spray* berbentuk cair yang mempunyai kelebihan yaitu memiliki kandungan energi yang lebih tinggi dan mudah diangkut (Akamatsu *et al*, 2011). Karakteristik bahan bakar cair yang digunakan juga dapat mempengaruhi karakteristik pembakaran *spray* serta emisi yang dihasilkan.

Mesin diesel merupakan salah satu perangkat penerapan pembakaran *spray* yang sering digunakan pada kehidupan sehari-hari. Seiring banyaknya pemakaian mesin diesel di bidang industri dan transportasi maka biodiesel banyak dikembangkan untuk menggantikan bahan bakar solar yang dimana ketersediaannya semakin menipis seiring meningkatnya kebutuhan. Minyak jelantah merupakan salah satu bahan baku yang dapat diolah untuk menjadi biodiesel. Karena ketersediaan yang melimpah dan merupakan limbah yang dapat didaur ulang merupakan sebuah keuntungan menggunakan minyak jelantah sebagai biodiesel. Selain itu, keuntungan memakai biodiesel menurut Knothe & Razon (2017) adalah kandungan sulfur rendah, tidak ada zat aromatik, *flash point* tinggi, dan emisi gas buang yang dihasilkan rendah. Pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel harus melalui beberapa tahapan atau proses yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Proses esterifikasi dilakukan jika kandungan asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) pada minyak jelantah tinggi (>2%), sehingga FFA dirubah menjadi biodiesel. Jika minyak jelantah memiliki kandungan FFA yang rendah

($\leq 2\%$) maka proses merubah minyak jelantah menjadi biodiesel dapat langsung dilakukan dengan transesterifikasi.

Bedasarkan uraian latar belakang diatas, untuk menguji kualitas pembakaran dari biodiesel *waste cooking oil* pada penelitian ini digunakan metode pembakaran *spray*. Sehingga karakteristik pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil* atau minyak jelantah serta kestabilan api yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan karakteristik pembakaran *spray* untuk bahan bakar solar yang beredar di pasaran.

1.2 Rumusan Masalah

Bedasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, maka dapat diketahui rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh persentase oksigen terhadap karakteristik pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil* yang terdiri dari tinggi dan lebar api, tinggi *lift-off*, persentase warna api biru serta kestabilan api yang dihasilkan.

1.3 Batasan Masalah

Batasan-batasan masalah dari penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian dilakukan pada kondisi temperatur ruang, tekanan ruang dan properties udara dianggap konstan.
2. Aliran biodiesel dan oksidator yang digunakan dianggap seragam.
3. Minyak yang digunakan untuk biodiesel diperoleh dari sisa usaha *catering* dimana hanya digunakan 2 kali penggorengan.

1.4 Tujuan Penelitian

Bedasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh besar persentase oksigen terhadap karakteristik pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil* yang terdiri dari tinggi dan lebar api, tinggi *lift-off*, persentase warna api biru serta kestabilan api yang dihasilkan. Sehingga hasil data karakteristik tersebut dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar solar.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Sebagai penerapan ilmu dalam perkuliahan.
2. Dapat mengetahui pengaruh persentase oksigen pada karakteristik pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil*.

3. Pengujian ini memberikan pengetahuan baru dan dapat menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.



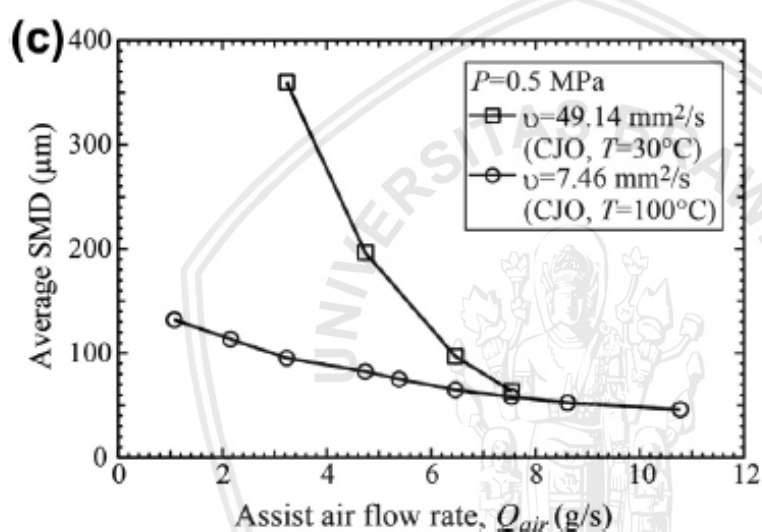


Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Fan *et al* (2014) melakukan penelitian tentang karakteristik *spray* pada minyak *Jatropha* menggunakan *air-assist pressure-swirl atomization*. Salah satu karakteristik *spray* pada minyak *Jatropha* yang diteliti adalah bagaimana pengaruh kecepatan udara bantu terhadap ukuran droplet pada temperatur yang berbeda dengan tekanan 0.5 MPa.

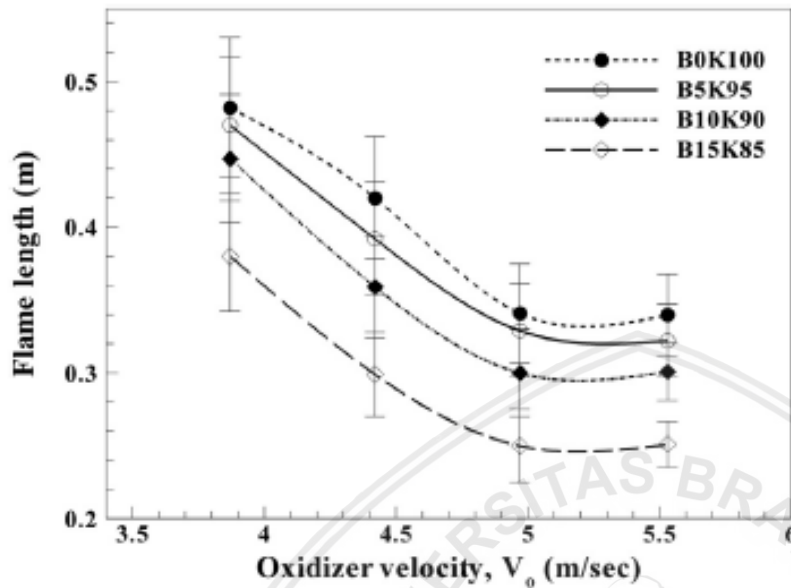


Gambar 2.1 Pengaruh debit udara bantu terhadap SMD droplet minyak *Jatropha*
Sumber: Fan *et al* (2014)

Berdasarkan Gambar 2.1, grafik *Sauter Mean Diameter* (SMD) sebagai fungsi debit aliran udara bantu untuk viskositas minyak *Jatropha* 49.14 mm^2/s dan 7.46 mm^2/s . SMD rata-rata berkurang dengan meningkatnya debit aliran udara bantu, yang menunjukkan atomisasi meningkat karena semakin meningkatnya udara bantu untuk proses atomisasi. Ketika suhu bahan bakar 30°C viskositas minyak *Jatropha* adalah 49.14 mm^2/s sehingga dibutuhkan sejumlah besar udara bantu untuk melakukan atomisasi yang baik. Ketika viskositas turun menjadi 7.46 mm^2/s setelah menaikkan suhu minyak *Jatropha* ke 100°C maka SMD rata-rata menjadi jauh lebih kecil untuk debit aliran udara bantu rendah.

Yang *et al* (2017) melakukan penelitian tentang karakteristik pembakaran *spray* pada campuran kerosene dengan bio-oil menggunakan *spray-atomized combustor*. Pada penelitian tersebut kecepatan udara bantu divariasikan sebesar 3.87 m/s, 4.42 m/s, 4.97 m/s, dan 5.53 m/s serta variasi prosentase bio-oil dalam kerosene B0K100, B5K95, B10K90 dan

B15K85. Untuk debit aliran bahan bakar dijaga konstan pada 0.038 l/min. Pada penelitian ini mencari pengaruh kecepatan udara terhadap tinggi api yang dihasilkan pada prosentase kerosene dan bio-oil yang berbeda-beda.

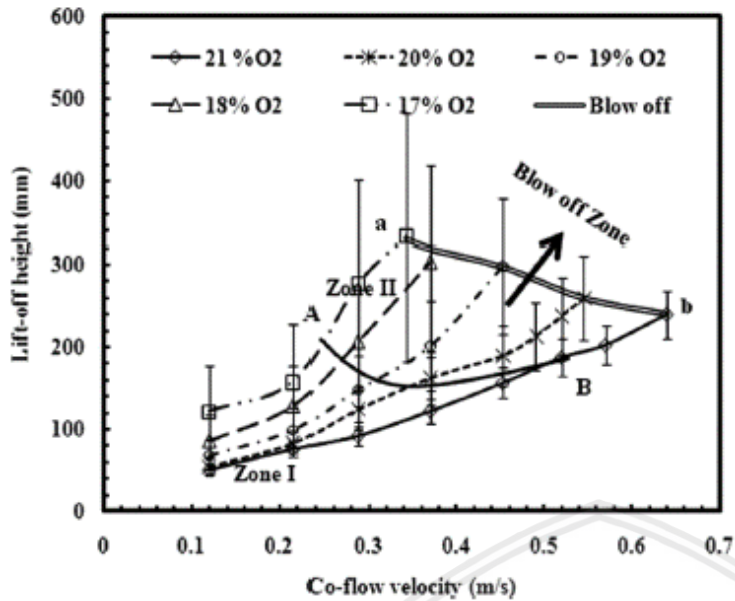


Gambar 2.2 Pengaruh kecepatan oksidator terhadap panjang api yang dihasilkan
Sumber: Yang *et al* (2017)

Pada Gambar 2.2 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan dari aliran oksidator maka semakin berkurang tinggi api yang dihasilkan dikarenakan ketika kecepatan oksidator meningkat sudut semprotan menjadi lebih besar sehingga udara menjadi bercampur didaerah hulu dan menghasilkan api yang lebih pendek. Ketika proporsi bio-oil yang ditambahkan ke kerosene lebih besar, bio-oil menyediakan oksigen yang dibutuhkan untuk pembakaran sehingga api yang dihasilkan memendek.

Reddy *et al* (2011) melakukan penelitian tentang *lifted* api *spray* dengan menambahkan aliran udara *coflow*. Bahan bakar yang digunakan berupa kerosene diinjeksikan dengan tekanan 9 bar. Kecepatan aliran udara *coflow* divariasikan serta konsentrasi oksigen pada udara *coflow* divariasikan 21% sampai 17%.

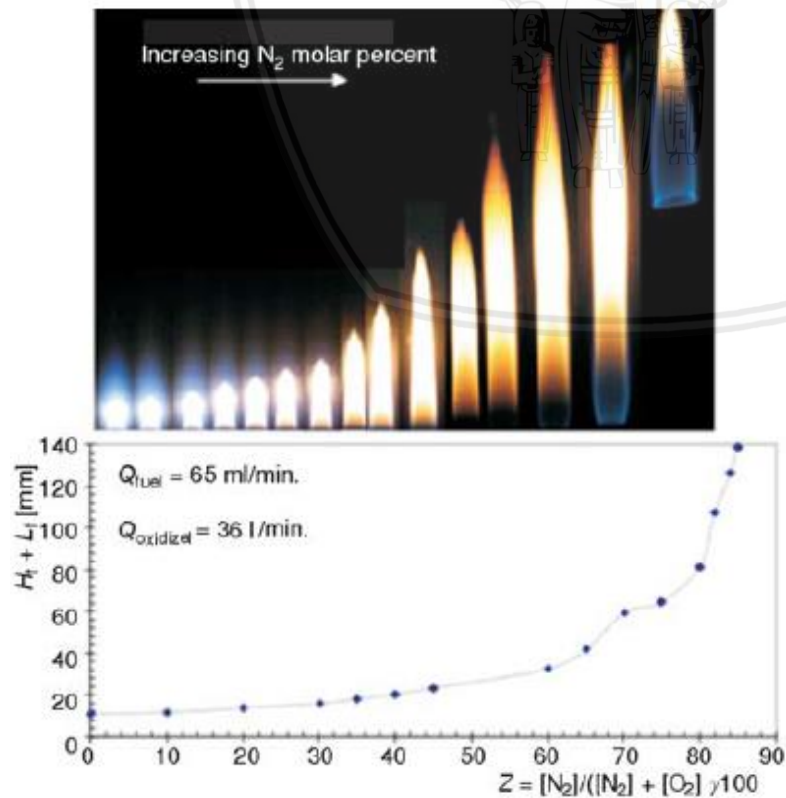
Pada Gambar 2.3, dilihat dari grafik semakin kecil konsentrasi oksigen pada aliran udara *coflow* maka tinggi *lift-off* api *spray* yang dihasilkan semakin meningkat. Karena tidak tersedia oksigen yang cukup dalam udara *coflow* menyebabkan stabilisasi nyala api di lokasi hilir. Berbeda dengan penambahan kecepatan aliran udara *coflow*, walaupun ketersediaan oksigen semakin meningkat akan tetapi tidak sebanding dengan peningkatan kecepatan aliran udara *coflow*. Sehingga tinggi *lift-off* yang dihasilkan semakin meningkat karena stabilisasi nyala api berpindah di lokasi hilir semprotan.



Gambar 2.3 Pengaruh kecepatan aliran udara *coflow* terhadap tinggi *lift-off* pada persentase O₂ bervariasi

Sumber: Reddy *et al* (2011)

Mohammadi *et al* (2012) melakukan penelitian tentang efek campuran N₂ pada api difusi laminer propana. Oksidator yang digunakan merupakan campuran O₂ dan N₂ dengan debit total 36 l/min. Sedangkan debit propana yang digunakan sebesar 65 ml/min. Konsentrasi N₂ divariasikan sampai 85% dari debit total oksidator.

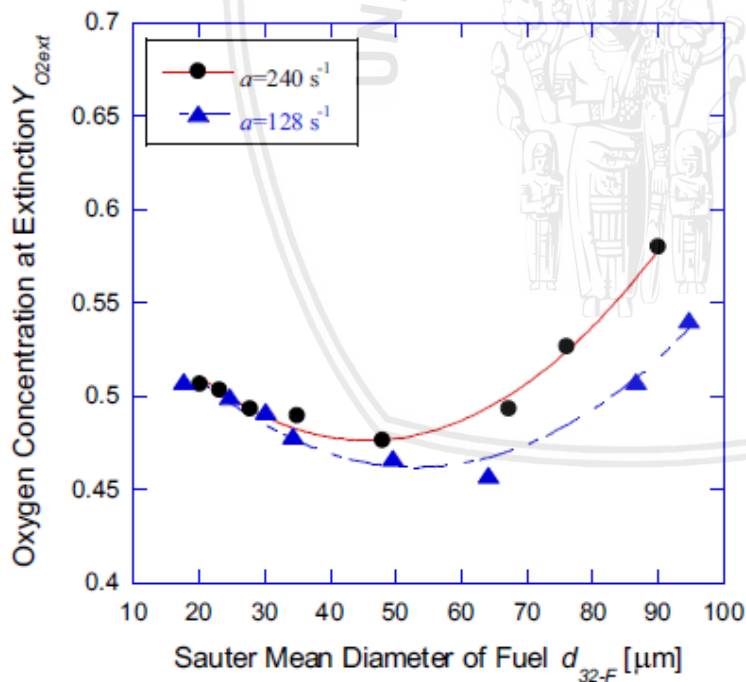


Gambar 2.4 Hasil nyala api difusi laminer propana dengan konsentrasi N₂ bervariasi

Sumber: Mohammadi *et al* (2012)

Berdasarkan Gambar 2.4 dapat dilihat bahwa semakin besar konsentrasi N_2 dalam oksidator maka tinggi api meningkat secara bertahap. Hal ini disebabkan jarak pencampuran bahan bakar yang lebih jauh untuk mencapai pencampuran yang sempurna. Selain itu, dengan meningkatnya konsentrasi N_2 luminositas api dan juga pembakaran produk seperti karbon dioksida dan uap air berkurang. Fenomena ini terjadi karena kurang cukup oksigen di zona pembakaran. Warna putih kebiruan muncul pada pembakaran dengan konsentrasi oksigen tinggi. Hal tersebut akibat dari reaksi kimia atom karbon menjadi karbon monoksida selanjutnya menjadi karbon dioksida selama proses pembakaran terjadi. Bagian nyala api kuning terjadi akibat pembakaran karbon yang tidak sempurna dalam bahan bakar. Hal tersebut disebabkan keterlambatan pembentukan campuran stokiometrik karena menurunnya konsentrasi oksigen sehingga berakibat membutuhkan banyak waktu untuk membuat campuran stokiometrik

Sasongko *et al* (2016) melakukan penelitian tentang kondisi *extinction* pada api *spray* difusi pada *counterflow burner*. Bahan bakar yang digunakan penelitian ini berbentuk cair dan oksidator berupa campuran gas O_2 dan N_2 .



Gambar 2.5 Konsentrasi oksigen saat keadaan *extinction*
Sumber: Sasongko. *et al* (2016)

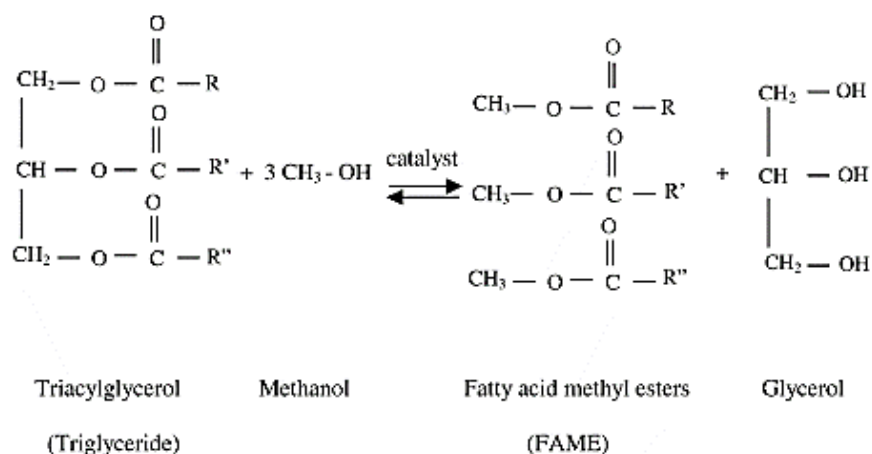
Dari Gambar 2.5, grafik ukuran droplet (SMD) terhadap konsentrasi oksigen pada keadaan *extinction*. Pada grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai $Y_{O_{2ext}}$ menurun sedikit mencapai nilai minimum tertentu dan kemudian meningkat seiring meningkatnya ukuran

droplet. Hal ini disebabkan *extinction* pada api difusi dipengaruhi oleh rasio karakteristik waktu difusi terhadap waktu reaksi kimia.

2.2 Biodiesel dari *Waste Cooking Oil* (Minyak Jelantah)



The American Society for Testing and Material (ASTM) mendefinisikan bahan bakar biodiesel sebagai ester monoalkil dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari bahan baku lipid terbarukan. Biodiesel dapat diperoleh dari minyak nabati seperti sawit, kacang tanah, kemiri, jarak, dan tumbuhan mengandung trigliserida. Biodiesel memiliki titik nyala yang relatif tinggi (150°C), yang membuatnya lebih stabil dan lebih aman untuk di kendalikan dari pada solar (Zhang *et al*, 2003).

Waste Cooking Oil atau minyak jelantah merupakan minyak nabati yang dapat dimanfaatkan menjadi biodiesel. Pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi. Proses esterifikasi merupakan proses merubah asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*) menjadi senyawa ester dan air dengan mereaksikannya dengan alkohol. Biasanya kandungan dari asam lemak bebas dalam minyak jelantah lebih besar dari 2% berat minyak (Zhang *et al*, 2003). Lepper dan Friesenhagen (1986) merekomendasikan langkah awal untuk pengolahan dengan esterifikasi. Pada proses transesterifikasi yang mengacu pada reaksi dengan katalis NaOH yang melibatkan minyak nabati dan alkohol untuk menghasilkan *fatty acid methyl ester* (FAME) atau biodiesel dan gliserol. Produk FAME dan gliserol terbentuk karena reaksi antara trigliserida dengan alkohol Untuk melengkapi reaksi transesterifikasi, rasio molar antara trigliserida dengan alkohol harus 6:1. Dalam prakteknya rasio ini harus lebih besar dari pada rasio stokiometrinya untuk memperoleh kualitas biodiesel yang lebih baik. Pada Gambar 2.6 dijelaskan proses transesterifikasi pada biodiesel *waste cooking oil*.



Gambar 2.6 Skema transesterifikasi trigliserida dengan metanol menghasilkan FAME
Sumber: Zhang *et al* (2003)

Tabel 2.1
Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah

		<i>Biodiesel Certificate of Analysis</i>				
<i>Feedstock: Used Cooking Oil</i>		<i>Product Type: B 100</i>				
<i>Test Parameter</i>	<i>Result</i>	<i>ASTM Limit</i>	<i>Units</i>	<i>Test Method (Current revision)</i>		
<i>Cloud point</i>	2.4(36.32)	Report	°C (°F)	D 2500		
<i>CFPP¹</i>	-2	N/A	°C	D 6371		
<i>Free Glycerin</i>	0.012	0.020 max	% Mass	D 6584		
<i>Total Glycerin</i>	0.143	0.240 max.	% Mass	D 6584		
<i>Monoglycerides²</i>	0.411	N/A	% Mass	D 6584		
<i>Diglycerides</i>	0.161	N/A	% Mass	D 6584		
<i>Triglycerides⁴</i>	0.000	N/A	% Mass	D 6584		
<i>Water & Sediment</i>	<0.005	0.050 max.	% Volume	D 2709		
<i>Acid Number</i>	0.332	0.50 max.	mg KOH/g	D 664, Test Method A		
<i>Visual Inpection</i>	1	3 min	Haze	D 4176, Procedure 2		
<i>Relative Density at 60°F</i>	0.8555	N/A	N/A	D 1298		
<i>Oxidative Stability (110°C)</i>	1.0	N/A	Hrs	EN 14110		
<i>Flashpoint (close cup)</i>	>160	93 min	°C	D 93		
<i>Moisture⁵</i>	0.038	N/A	% Mass	E 203		
<i>Cold soak filtration</i>	81	360	Seconds	D 6571 Annex		
<i>Sulfur</i>	2.4	15	ppm	D 7039		
<i>Calcium</i>	0.6	5 max Ca + Mg	ppm (ug/g)	EN 14538		
<i>Magnesium</i>	1.1	5 max Ca + Mg	ppm (ug/g)	EN 14538		
<i>Phosphorus</i>	<0.1	0.001 max	% Mass	D 4951		
<i>Carbon Residue</i>	0.040	0.050 max	% Mass	D524		
<i>Sulfated Ash</i>	<0.005	0.020 max	% Mass	D 874		
<i>Kinematic Viscosity 40°C</i>	4.332	1.9-6.0	mm ² /sec	D 445		
<i>Copper Corrosion (3 hrs at 50°C)</i>	1a	No. 3 max.	N/A	D 130		

Sumber: Sanford *et al* (2009)

Karakteristik biodiesel yang dihasilkan harus sesuai dengan standar yang ada. Karakteristik biodiesel meliputi densitas, *flash point*, *cold filter plugging point*, *cetane number*, dan *heating value*. Densitas adalah sifat penting dalam bahan bakar karena mempengaruhi efisiensi atomisasi saat proses pembakaran. Densitas merupakan parameter penting biodiesel yang digunakan untuk pemilihan injektor yang digunakan. *Flash point* merupakan parameter yang digunakan untuk mempertimbangkan penyimpanan, penanganan, dan keamanan bahan bakar karena semakin tinggi nilai titik nyala api menurunkan resiko kebakaran dan hal itu merupakan keuntungan dari biodiesel. *Cold filter plugging point* mempengaruhi kemampuan bahan bakar pada suhu operasi rendah yang mungkin menyebabkan aliran bahan bakar menjadi berkurang karena pembekuan pada saluran bahan bakar. *Cetane number* merupakan kualitas dari bahan bakar yang mengukur seberapa mudah pengapian terjadi dan kualitas pembakaran. Semakin tinggi *cetane number* semakin pendek *ignition delay*, yaitu waktu antara penginjeksian bahan bakar kedalam

silinder sampai timbul penyalaan (Knothe & Razon, 2017). Terakhir adalah *heating value* atau nilai kalor merupakan panas yang dapat dihasilkan oleh suatu bahan bakar atau biodiesel. Nilai kalor yang lebih rendah terjadi pada biodiesel karena kandungan oksigen didalamnya (Eweremadu & Mbarawa, 2009). Karakteristik biodiesel dari minyak jelantah dapat dijelaskan pada Tabel 2.1.

2.3 Pembakaran

Pembakaran dapat didefinisikan sebagai reaksi eksotermis cepat yang membebaskan energi yang besar berupa panas dan nyala api sebagai reaksi dari pembakaran dengan kemampuan untuk merambat melalui media yang sesuai (El-Mahallawy, 2002:1). Pembakaran dapat diartikan merupakan proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar yang disebabkan pemberian energi tertentu dari luar sehingga atom-atom bermuatan yang aktif membentuk kemudian bereaksi dengan oksigen dan membentuk ikatan molekul-molekul kuat yang menghasilkan panas dan cahaya (Wardana, 2008:7). Reaksi pada pembakaran merupakan reaksi kimia eksotermis dimana reaksi tersebut membuat ikatan lemah bereaksi menjadi ikatan kuat. Reaksi pembakaran terus berlanjut jika:

1. Bahan bakar
2. Oksidator (Oksigen atau Udara)
3. Energi aktivasi atau panas

Panas atau energi yang digunakan sebagai aktivator molekul-molekul bahan bakar disebut energi aktivasi. Pembakaran secara kontinyu terjadi karena energi aktivasi diperoleh secara terus-menerus dari radiasi panas hasil pembakaran atau juga diperoleh dengan cara konveksi (sirkulasi balik). Dengan cara melepaskan satu atau beberapa elektron dari kulit terluar atom atau memutus ikatan rantai molekul maka molekul-molekul bahan bakar akan bermuatan sehingga reaksi bahan bakar dapat berlangsung.

2.3.1 Reaksi Kimia Pembakaran

Pada proses pembakaran terjadi komposisi spesies campuran yang berubah terhadap waktu dan perubahan ini disebabkan proses pada tingkat molekular. Ikatan-ikatan molekul yang lemah lepas kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikatan dilepas kedalam sistem, sehingga menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat tinggi. Agar proses pembakaran terus berlangsung kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi harus dipenuhi. Kesetimbangan massa diperlukan untuk mencari stokiometri pembakaran

sedangkan kesetimbangan energi diterapkan ketika proses pembakaran berlangsung yang diturunkan dari prinsip-prinsip termokimia (Wardana 2008).

$$v'_F F + v'_O O \rightarrow Products$$

v'_F dan v'_O menunjukkan koefisien dari bahan bakar dan oksidator sebagai contoh reaksi kimia pada pembakaran metana $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$, rumus fraksi massa antara bahan bakar dan oksidator pada kondisi stokiometri dapat ditulis sebagai berikut.

$$\left(\frac{Y_o}{Y_f}\right)_{st} = \frac{v'_o W_o}{v'_f W_f} = s \dots\dots\dots(2-4)$$

Sumber: Poinot & Veynante (2005)

$$\phi = s \frac{Y_f}{Y_o} = \left(\frac{Y_f}{Y_o}\right) / \left(\frac{Y_f}{Y_o}\right)_{st} \dots\dots\dots(2-5)$$

Sumber: Poinot & Veynante (2005)

Sehingga dapat disimpulkan:

$$\phi = s \frac{\dot{m}_F}{\dot{m}_O} \dots\dots\dots(2-6)$$

Sumber: Poinot & Veynante (2005)

Dimana:

s = Rasio massa stokiometrik

ϕ = *Equivalence ratio*

\dot{m}_F = Massa alir dari bahan bakar

\dot{m}_O = Massa alir dari oksidator

Jika bahan bakar dibakar menggunakan oksidator udara segar yang terdapat kandungan 3,76 mol nitrogen untuk 1 mol oksigen sehingga jumlah fraksi massa total harus 1, maka fraksi massa bahan bakar dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$Y_f = \frac{1}{1 + \frac{s}{\phi} \left(1 + 3.76 \frac{W_{N_2}}{W_{O_2}}\right)} \dots\dots\dots(2-7)$$

Sumber: Poinot & Veynante (2005)

Tabel 2.2
Persamaan Reaksi Pembakaran Umum

<i>Global Reaction</i>	s	Y_F^{ST}
$CH_4 + 2(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 7.52 N_2$	4.00	0.055
$C_3H_8 + 5(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + 18.8 N_2$	3.63	0.060
$2C_8H_{18} + 25(O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow 16CO_2 + 18H_2O + 94 N_2$	3.51	0.062
$2H_2 + (O_2 + 3.76 N_2) \rightarrow 2H_2O + 3.76 N_2$	8.00	0.028

Sumber: Poinot & Veynante (2005)

Persamaan reaksi pembakaran pada Tabel 2.2 merupakan persamaan reaksi pembakaran stokiometri dengan *equivalence ratio* $\phi = 1$. Jika persentase oksigen dan nitrogen berubah maka persamaan reaksi pembakaran tersebut ikut berubah. Namun secara umum pembakaran bukan hanya sebuah reaksi kimia biasa tetapi merupakan interaksi aliran fluida,

panas, dan perpindahan massa yang terjadi didalamnya. Api adalah sebuah hasil visualisasi dari reaksi kimia pembakaran. Menurut rezim aliran, nyala api mungkin laminar atau turbulen (Zhou, 2018).

2.4 Klasifikasi Pembakaran

Menurut keadaan pencampuran bahan bakar dengan oksidator sebelum pembakaran, nyala api dapat dihasilkan dari pembakaran *premixed* atau difusi (Zhou, 2018). Pada pembakaran *premixed*, proses reaksinya terjadi sangat cepat dan pada tekanan konstan. Jika reaktan tidak tercampur terlebih dahulu dan terbakar pada zona reaksi maka disebut pembakaran difusi.

2.4.1 Pembakaran Difusi

Pada pembakaran difusi terjadi api difusi yang merupakan hasil proses pembakaran non-premixed dimana bahan bakar dan udara dipisahkan oleh zona reaksi tipis dimana gas yang terbakar terbentuk (Colin & Benkenida, 2004). Sehingga pembakaran difusi terjadi dimana proses O_2 atau udara bercampur secara alami dengan berdifusi ke dalam api selama proses pembakaran. Proses pembakaran terus berlangsung jika pencampuran antara bahan bakar dengan udara mendekati stokiometri sehingga api difusi akan terus melepaskan panas pada zona pencampuran tersebut. Salah satu contoh pembakaran difusi yaitu nyala api pada lilin.

2.4.2 Pembakaran *Premixed*

Berbeda dengan pembakaran difusi, pembakaran *premixed* menghasilkan api *premixed* yang dimana pencampuran bahan bakar dan oksidator dilakukan sebelum pembakaran terjadi (Poinot & Veynante, 2005). Nilai kalor yang dihasilkan oleh pembakaran *premixed* lebih besar dari pada pembakaran difusi. Perbandingan antara bahan bakar dengan oksidator atau *Air Fuel Ratio* (AFR) sangat mempengaruhi kualitas dari pembakaran, hal tersebut dapat menyebabkan api *premixed* yang dihasilkan menjadi kaya bahan bakar karena bahan bakar yang berlebih atau menjadi campuran miskin karena oksidator berlebih. Agar tidak terjadi sisa bahan bakar pada produk pembakaran maka pada saat pembakaran harus dijaga pada kondisi stokiometri sehingga bahan bakar terbakar seluruhnya. Contoh dari pembakaran *premixed* adalah pembakaran yang terjadi didalam motor bakar.

2.5 Flashback

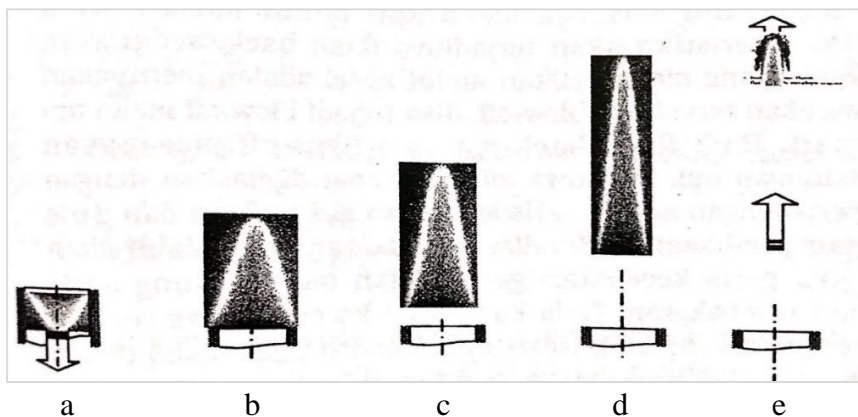
Flashback terjadi karena kecepatan api lebih cepat dari kecepatan bahan bakar dan oksidator. Hal ini menyebabkan nyala api hasil pembakaran kembali memasuki *burner*. *Back fire* atau *light back* merupakan sebutan lain dari peristiwa tersebut. *Flashback* biasa terjadi pada saat proses pengurangan debit campuran bahan bakar, sehingga pada saat itu juga perambatan menyala menuju selang dan menjahui api. Peristiwa ini terjadi akibat permasalahan pada kesetimbangan antara kecepatan api dengan kecepatan reaktan.

Salah satu perangkat paling sederhana dimana *flashback* dapat diamati adalah pada *bunsen burner*. Ketika debit aliran dari campuran reaktan dibawah limit tertentu, nyala api merambat dari permukaan burner menuju kedalam burner dan *flame front* berada didekat dinding burner. Alasan bahwa nyala api berada didekat dinding karena kecepatan gas lebih rendah sehingga memungkinkan nyala api merambat ke sumber gas. Jika kecepatan gas lebih rendah dari pada kecepatan nyala api maka *flashback* akan terjadi (Lee & T'ien, 1982).

2.6 Lift-off dan Blow-off

Lift-off adalah peristiwa yang terjadi karena kecepatan api lebih rendah dari kecepatan bahan bakar dan oksidator sehingga nyala api terangkat menjahui mulut burner akan tetapi stabil pada jarak tertentu. Ketika kecepatan reaktan meningkat, sudut api mengecil, permukaan hulu api menjauh sedikit saja dari mulut burner kearah hilir. Meningkatnya kecepatan reaktan lebih lanjut dapat menyebabkan meningginya bagian hulu api menuju ke posisi hilir yang jauh dari mulut burner yang disebut terangkat (*lifted*) dan kemudian padam tertiup (*blow-off*).

Blow-off adalah keadaan nyala api padam yang diakibatkan kecepatan campuran reaktan yang terlalu besar dari kecepatan pembakaran. Penelitian tentang *blow-off* yang dilakukan bersamaan dengan kondisi *lift-off*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada fraksi massa bahan bakar yang rendah maka kecepatan *blow-off* juga menurun menjadi lebih rendah dari kecepatan aliran saat *lift-off*. Hal ini dikarenakan nyala api langsung *blow-off* tanpa mengalami *lift-off*. Untuk menghindari hal tersebut, dapat dilakukan dengan menentukan debit alir bahan bakar yang sesuai sebelum terjadinya *blow-off*. *Blow-off* dan *lift-off* dapat ditunjukkan pada Gambar 2.7.

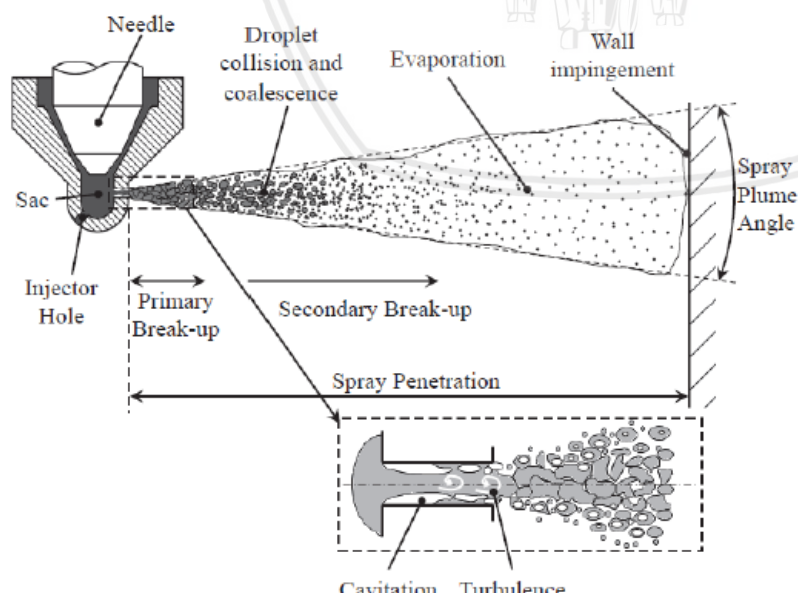


Gambar 2.7 a) *Flashback*, b) *Stabil*, c) *Lift-off*, d) *Lifted*, e) *Blowoff*

Sumber: Wardana (2008:169)

2.7 Atomisasi Bahan Bakar

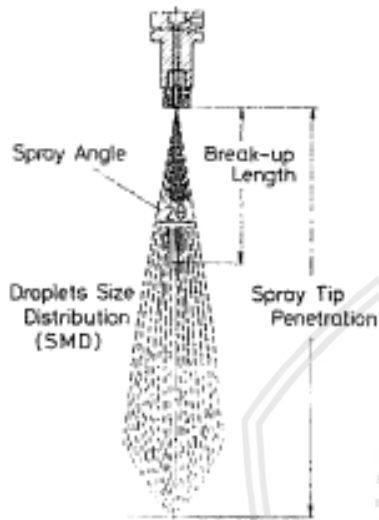
Semprotan berperan dalam mencampur bahan bakar dengan udara dan meningkatkan luas permukaannya untuk penguapan dan pembakaran yang cepat. Energi kinetik dari semprotan adalah sumber utama dari terbentuknya turbulensi dan mengatur secara mikro percampuran antara bahan bakar dan udara secara difusi turbulen dan kecepatan nyala dari api *premixed* (Stiesch, 2003). Proses penyemprotan dan atomisasi dapat digambarkan sebagai fenomena aliran multifasa pada fase cair dalam bentuk droplet. Proses penyemprotan dimulai saat bahan bakar diberi tekanan tinggi dari *nozzle* injektor dan membawa sifat fisik seperti aliran turbulen berbentuk cair dan efek kavitasi dari pembentukan fase gas gelembung-gelembung yang meledak ketika mengalir keluar dari *nozzle* (Bravo & Kweon, 2014).



Gambar 2.8 Semprotan tekanan tinggi pada diesel

Sumber: Bravo & Kweon (2014)

Terdapat dua proses atomisasi pada hasil penyemprotan *nozzle* yang dijelaskan pada Gambar 2.8. Proses atomisasi awal disebut atomisasi primer. Droplet yang dihasilkan oleh atomisasi primer mungkin tidak stabil jika melebihi ukuran droplet kritis sehingga mengalami proses atomisasi menjadi droplet yang lebih kecil. Proses atomisasi ini disebut atomisasi sekunder. Proses atomisasi ditentukan oleh sifat fluida dan karakteristik aliran pada daerah *primary break-up* dan *secondary break-up*. Parameter semprotan ditunjukkan pada Gambar 2.9.



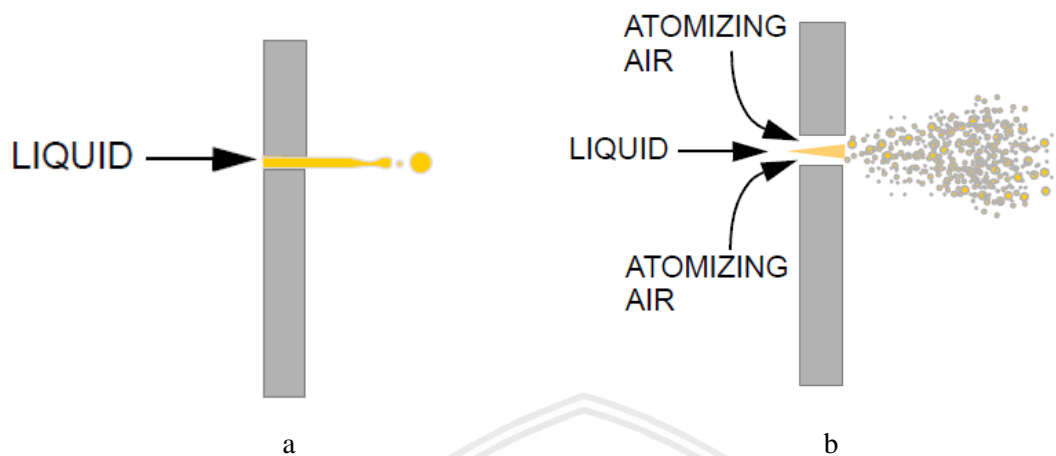
Gambar 2.9 Parameter dari semprotan
Sumber: Arai *et al* (1984)

Menurut Sass (1928), meneliti tentang distribusi ukuran droplet pada tiga ukuran diameter *nozzle* yang berbeda pada tekanan udara 1.1 Mpa. Hasil yang ditunjukkan pada penelitian tersebut bahwa diameter rata-rata droplet meningkat secara linear dengan meningkatnya ukuran diameter *nozzle* dan penambahan tekanan udara. Sudut semprotan pada *nozzle* berkurang seiring meningkatnya viskositas bahan bakar dan *Sauter Mean Diameter* (SMD) meningkat secara bertahap seiring sudut semprotan berkurang (Arai *et al*, 1984).

2.7.1 *Airblast Atomization*

Airblast atomization adalah proses atomisasi menggunakan udara melibatkan penggunaan dua fluida. Aliran jet cair terpecah karena gaya geser yang disebabkan tingginya kecepatan aliran udara yang mengalir bersamanya. Keuntungan dari pengaplikasian *airblast atomization* pada turbin gas adalah membutuhkan tekanan yang lebih rendah untuk mengirim bahan bakar dan menyelesaikan sebagian pencampuran udara dan bahan bakar cair sebelum dicampur pada jumlah besar aliran udara untuk pembakaran

(Lefebvre, 1989). Gambar 2.10 menunjukkan perbedaan antara atomisasi tanpa udara bantu dan atomisasi dengan udara bantu (*airblast atomization*).



Gambar 2.10 a) Atomisasi tanpa udara bantu b) Atomisasi dengan udara bantu
 Sumber: Leong *et al* (2000)

Menurut Rizk (1981), meneliti bahwa efek dari kecepatan udara dan sifat bahan bakar cair pada karakteristik *spray* menggunakan metode *airblast atomizer* dimana ditemukan bahwa distribusi semprotan menjadi lebih seragam dan ukuran droplet menjadi lebih halus seiring meningkatnya kecepatan aliran udara atau menurunnya kecepatan alir dari cairan. Menurut Rui Ma *et al* (2015), hasil penelitian menunjukkan karakteristik *spray* pada tekanan udara dan cairan yang berbeda-beda menunjukkan bahwa tekanan cairan tidak memiliki efek pada sudut semprotan atau dapat diabaikan tetapi tekanan udara memiliki efek yang jelas pada sudut semprotan.

2.7.2 Sauter Mean Diameter

Pada tahun 1920-an ilmuwan Jerman mengembangkan metode untuk mengukur partikel yang disebut *sauter mean diameter* yang didefinisikan sebagai diameter bola yang memiliki rasio volume terhadap luas permukaan yang sama dengan partikel yang diinginkan (Wang & Fang, 2013). d_s merupakan diameter bola yang mempunyai luar area permukaan yang sama yang dapat ditulis:

$$d_s = \sqrt{\frac{A_p}{\pi}} \dots\dots\dots(2-8)$$

Sumber: Wang & Fang (2013)

dan d_v merupakan diameter dari bola yang mempunyai volume partikel yang sama yang dapat ditulis:

$$d_v = \sqrt[3]{\frac{6 V_p}{\pi}} \dots\dots\dots(2-9)$$



Sumber: Wang & Fang (2013)

V_p dan A_p merupakan volume dan luas permukaan dari partikel, sehingga Sauter diameter dari suatu partikel dapat disimpulkan sebagai berikut.

$$d_{32} = \frac{d_v^3}{d_s^2} \dots \dots \dots (2-10)$$

Sumber: Wang & Fang (2013)

2.8 Pembakaran Droplet

Pembakaran droplet pada dasarnya merupakan proses fenomena yang tidak stabil, tergantung pada waktu proses fisik dan kimia yang saling memberikan pengaruh dominan pada sejumlah besar perilaku pembakaran (Law, 1976).

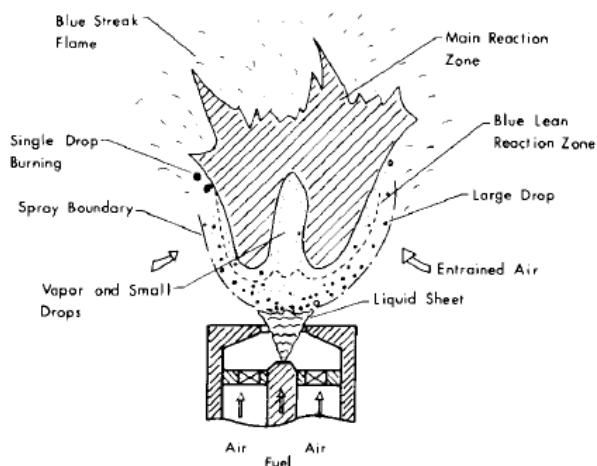


Gambar 2.11 Permodelan dari pembakaran droplet
Sumber: Chang & Shieh (1994)

Droplet bahan bakar menguap akibat terkena panas melalui konduksi dari udara lingkungan yang bersuhu tinggi. Ketika kriteria pengapian tercapai maka selubung api dan tempurung jelaga bercahaya akan terbentuk disekitar droplet. Pada Gambar 2.11 disederhanakan dengan asumsi gaya gravitasi diabaikan, tetesan berbentuk bulat, efek Dufour-Soret diabaikan, dan efek hamburan diabaikan pada perpindahan panas radiasi (Chang & Shieh, 1995).

2.8.1 Spray Flame

Air assist atomizer atau *airblast atomizer* merupakan alat penyemprot dibantu oleh udara dimana dikembangkan untuk menghasilkan *mixed spray flame* yang terdapat pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Permodelan dari *mixed spray flame*
Sumber: Mao *et al* (1986)

Berbeda dengan api difusi turbulen, struktur dari *mixed spray flame* sangat tergantung pada ukuran droplet awal dan distribusi kecepatan. Hasil dari pengukuran dan pengamatan pada alat *air assist atomizer* menghasilkan struktur api yang ditunjukkan pada gambar diatas. Droplet ukuran besar sebagian didistribusikan ke luar semprotan dan droplet ukuran kecil terletak di wilayah tengah. Batas semprotan lebih lebar dari batas api. Droplet berukuran besar didistribusikan ke tepi semprotan akibat dari nyala api. Karena tingkat penguapan yang lebih lambat pada droplet berukuran besar maka reaksi nyala api biru terbentuk dalam batas semprotan. Di inti pusat semprotan, konsentrasi uap kaya bahan bakar memungkinkan untuk terjadi reaksi kimia. Di atas nyala api, banyak garis api biru kecil terlihat terbang ke segala arah. Api kecil biru beruntun ini diproduksi oleh droplet berukuran kecil pada jalur penguapan bahan bakar. Aliran udara dalam *nozzle spray* digunakan untuk menyemprot cairan bahan bakar dan menstabilkan nyala api (Mao *et al*, 1986).

2.9 Hipotesis

Bedasarkan literatur yang diperoleh, semakin besar persentase oksigen dalam pembakaran *spray* menggunakan *air atomization nozzle* maka karakteristik nyala api yang dihasilkan seperti tinggi dan lebar api, tinggi *lift off* semakin menurun karena pembakaran semakin cepat. Daerah api biru semakin dominan dikarenakan semakin besar persentase oksigen membuat pembakaran semakin sempurna. Untuk kestabilan api, semakin besar debit oksidator yang mengalir maka api yang dihasilkan semakin stabil.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian tentang pengaruh persentase oksigen dari debit total oksidator yang merupakan campuran gas O_2 dan N_2 terhadap karakteristik pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil* ini menggunakan metode penelitian *true experimental* atau penelitian sesungguhnya, karena pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hubungan pengaruh yang diberikan terhadap hasil serta membandingkan hipotesis yang didapatkan terhadap tinjauan pustaka yang ada sehingga validitas internal terjaga. Hasil data pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil* yang didapat kemudian dibandingkan dengan bahan bakar diesel yang tersedia dipasaran.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu : Maret 2019 – selesai

Tempat : Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya

3.3 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel yang nilainya ditentukan oleh peneliti untuk menentukan hubungan antara fenomena yang diamati dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain. Variabel bebas pada penelitian pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil* yaitu persentase oksigen yang digunakan sebesar 50% sampai 100% dan divariasikan pada debit total oksidator sebesar 6.99 l/min, 8.51 l/min dan 10.03 l/min. Untuk kestabilan api *spray* ditinjau pada persentase oksigen saat *extinction*, debit total oksidator divariasikan sebesar 6.23 l/min, 6.99 l/min, 7.75 l/min, dan 8.51 l/min

2. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang nilainya tergantung dari variabel bebas yang telah ditentukan oleh peneliti dan didapatkan setelah penelitian selesai dilakukan. Variabel terikat pada penelitian yaitu tinggi dan lebar api, tinggi *lift-off*, dan persentase luas api

biru. Untuk kestabilan api ditinjau dari persentase oksigen minimum saat keadaan *extinction*.

3. Variabel Terkontrol

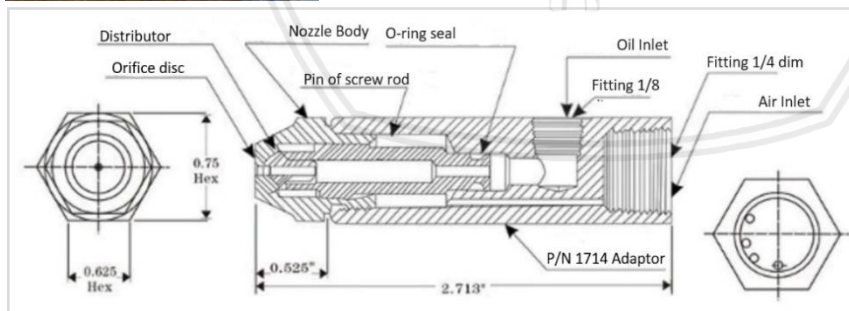
Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya dijaga konstan oleh peneliti. Pada penelitian ini yang menjadi variabel terkontrol adalah:

- a. Wadah bahan bakar diletakkan pada ketinggian 2 m
- b. Diameter *nozzle* yang digunakan adalah 0.5 mm
- c. Aliran biodiesel dijaga konstan pada 14 ml/min

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

1. Air Atomizing Nozzle

Air atomizing nozzle pada Gambar 3.1 digunakan sebagai alat atomisasi atau tempat pengkabutan bahan bakar dan pembakaran *spray* terjadi. Proses atomisasi menggunakan udara bantu yang merupakan campuran gas N_2 dan O_2 . *Nozzle* yang digunakan pada penelitian ini berdiameter 0.5 mm.



Gambar 3.1 Air atomizing nozzle

2. Tabung Gas Oksigen (O_2)

Tabung berisikan gas O_2 sebagai campuran oksidator yang digunakan untuk proses atomisasi bahan bakar dan pembakaran *spray* yang kemudian dialirkan ke *air atomizing nozzle*.

3. Tabung Gas Nitrogen (N_2)

Tabung berisikan gas N_2 sebagai campuran oksidator yang digunakan untuk proses atomisasi bahan bakar dan pembakaran *spray* yang kemudian dialirkan ke *air atomizing nozzle*.

4. *Flowmeter*

Flowmeter pada Gambar 3.2 digunakan untuk mengukur dan mengatur debit aliran bahan bakar dan gas pengoksidasi yang terdiri dari N_2 dan O_2 .



Gambar 3.2 *Flowmeter*

5. Ragum

Digunakan sebagai tempat untuk berdirinya *air atomizing nozzle* yang digunakan untuk proses atomisasi bahan bakar dan pembakaran *spray*.

6. Ruang Hitam

Digunakan untuk tempat mengambil atau merekam gambar visualisasi api *spray* yang dihasilkan oleh *air atomizing nozzle*.

7. *Pisco Tube*

Pisco tube berfungsi sebagai saluran gas pengoksidasi dan bahan bakar mengalir. Pada penelitian ini ukuran *pisco tube* yang digunakan adalah 6 mm pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 *Pisco tube*

8. Kamera DSLR

Digunakan sebagai alat untuk merekam atau mengambil gambar nyala api *spray* yang dihasilkan sehingga dapat digunakan sebagai analisis visual.

9. Wadah Plastik

Digunakan sebagai tempat penampung bahan bakar yang kemudian dialirkan ke *air atomizing nozzle*.

10. Pemantik Api

Digunakan untuk menyalakan api pada saat *air atomizing nozzle* menghasilkan droplet bahan bakar sehingga data visualisasi nyala api dapat diperoleh.

11. Y connector dan Fitting Pneumatic

Fitting pneumatic sebagai penyambung antara *pisco tube* sedangkan *Y connector* sebagai percabangan yang mempertemukan saluran gas O₂ dan N₂. *Fitting pneumatic* dan *Y connector* ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Y connector dan fitting pneumatic

12. Biodiesel Waste Cooking Oil

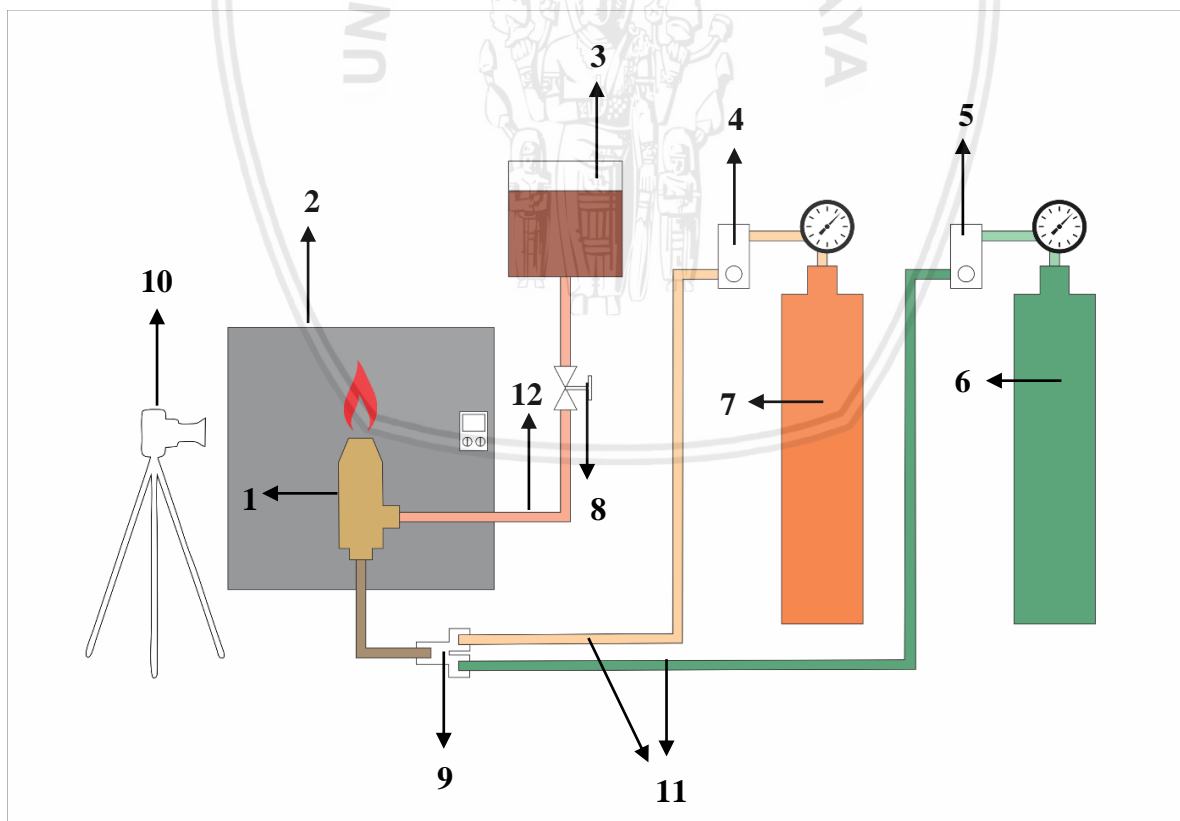
Biodiesel berbahan dasar minyak jelantah atau *waste cooking oil* yang telah melalui proses *transesterifikasi* sehingga kemudian dapat digunakan dalam penelitian ini yang terlihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Biodiesel Waste Cooking Oil

3.5 Skema Instalasi Penelitian

Gambar 3.6 merupakan skema instalasi alat pembakaran *spray* biodiesel waste cooking oil sebagai berikut.



Gambar 3.6 Skema alat pembakaran *spray*

Keterangan:

- | | |
|-------------------------|--------------------------|
| 1. Air atomizing nozzle | 7. Tabung O ₂ |
| 2. Ruang hitam | 8. Flowmeter bahan bakar |

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 3. Wadah plastik | 9. Y connector |
| 4. <i>Flowmeter</i> O ₂ | 10. Kamera <i>highspeed</i> |
| 5. <i>Flowmeter</i> N ₂ | 11. <i>Pisco tube</i> oksidator |
| 6. Tabung N ₂ | 12. <i>Pisco tube</i> biodiesel |

Pada skema instalasi alat diatas *air atomizing nozzle* berdiameter 0.5 mm sebagai alat yang digunakan untuk melakukan proses atomisasi bahan bakar menjadi droplet sehingga pembakaran *spray* terjadi. Proses atomisasi bahan bakar pada *nozzle* tersebut dibantu dengan menggunakan aliran gas oksidator yang merupakan campuran N₂ dan O₂. Wadah bahan bakar diletakkan 2 meter diatas permukaan tanah dan mengalir pada saluran *pisco tube* berukuran 6 mm menuju *nozzle*. *Flowmeter* dipasang pada saluran bahan bakar untuk mengatur dan mengukur debit bahan bakar yang mengalir. Untuk gas oksidator diperoleh dari tabung O₂ dan N₂ dan dialirkan melewati saluran *pisco tube* berukuran 6 mm. Pada masing-masing saluran oksidator dipasang *flowmeter* yang terdapat katup pengatur untuk mengatur debit aliran yang diinginkan pada setiap tabungnya. *Y conector* berfungsi sebagai penggabung dua saluran gas O₂ dan N₂ sehingga oksidator dapat bercampur dan dialirkan ke *nozzle*. *Nozzle* ditempatkan pada ragum dan diletakkan dalam ruang hitam sebagai tempat untuk mengambil gambar visualisasi nyala api *spray* yang dihasilkan. Kamera DSLR diletakkan didepan ruang hitam yang berfungsi sebagai alat untuk mengambil gambar nyala api *spray* yang dihasilkan oleh *nozzle*. Untuk memperoleh visualisasi nyala api *spray* pada saat *nozzle* menghasilkan droplet dari bahan bakar maka digunakan alat pemantik api.

3.6 Prosedur Penelitian

1. Persiapan Instalasi Alat

Merakit semua alat berdasarkan skema instalasi penelitian dan melakukan *setting* pada alat agar komponen dan alat ukur berjalan dengan baik.

2. Pengkalibrasian *Flowmeter* O₂ dan N₂

Proses kalibrasi dimulai dengan mengisi penuh air pada bak penampung dan masukkan tabung ukur dan atur ketinggian pada posisi nol. Alirkan gas O₂ atau N₂ melalui selang yang telah diatur debit terbacanya pada *flowmeter*. Ujung selang tersebut dihubungkan ke tabung ukur, sehingga tabung ukur akan terangkat naik karena volume air yang ditempati diisi oleh gas tersebut. Catat perubahan ketinggian tabung ukur selama 5 detik sehingga dapat diketahui perubahan volume yang terjadi. Ketinggian air pada bak penampung harus dijaga konstan agar tidak ada perubahan tekanan didalam gelas ukur. Untuk pengambilan data tersebut ulangi sebanyak 3 kali.

3. Pengambilan Data Visualisasi Api *Spray*

Untuk pengambilan data visualisasi api dimulai dengan membuka katup O₂ dan N₂ lalu atur jumlah debit total oksidator sesuai variasi yang ditentukan. Buka katup saluran bahan bakar dan atur debit aliran pada 14 ml/menit. Atur persentase oksigen sebesar 50% sampai 100% dari debit total oksidator yang divariasikan. Nyalakan api dan ambil gambar visualisasi nyala api *spray* menggunakan kamera DSLR pada setiap persentase oksigen yang berbeda. Selesai mengambil gambar visualisasi api *spray*, tutup semua katup saluran bahan bakar dan gas oksidator agar nyala api padam. Ulangi langkah dari awal untuk variasi debit total oksidator yang berbeda.

4. Pengambilan Data Kestabilan Api *Spray*

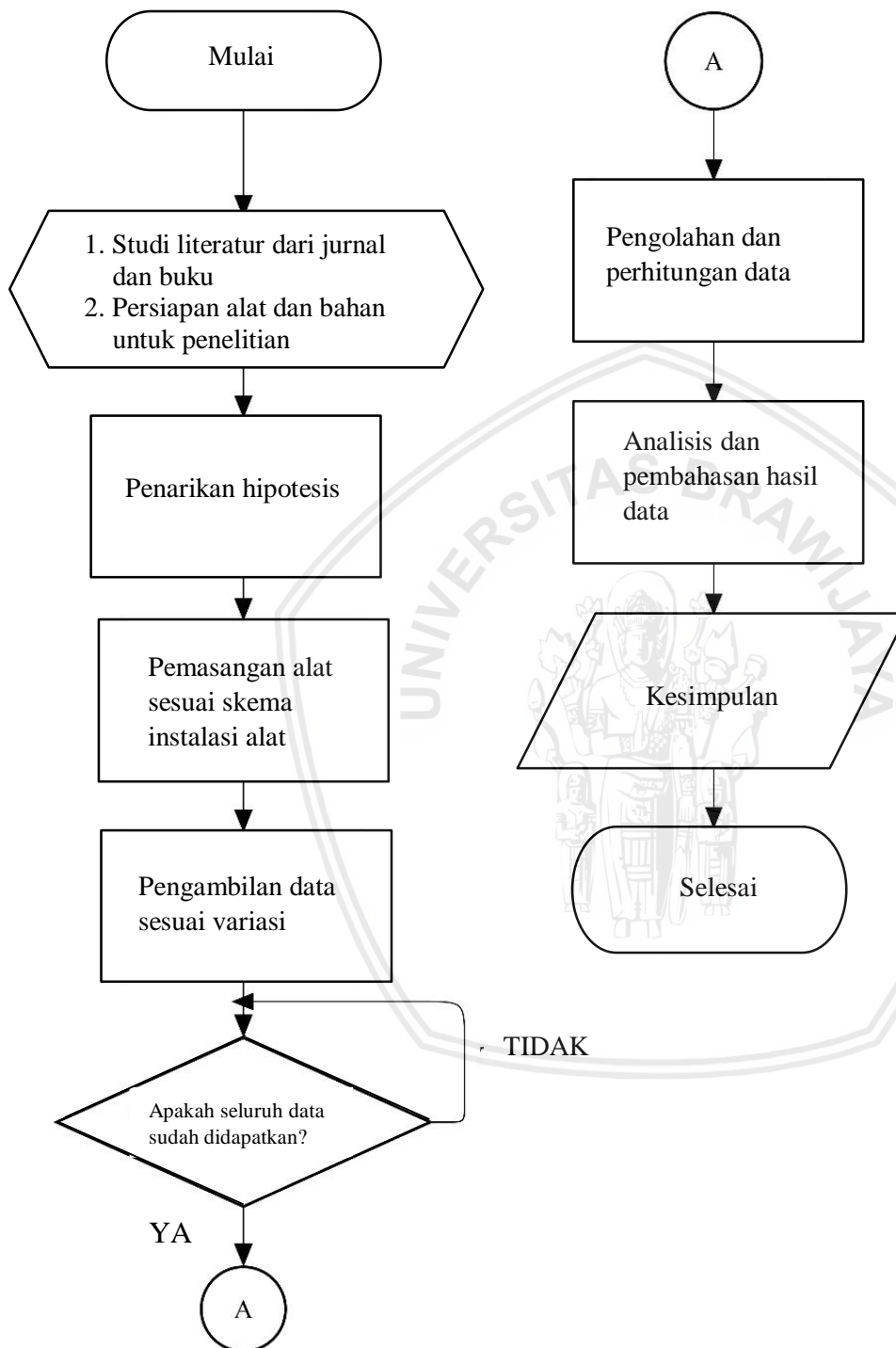
Untuk pengambilan data kestabilan api *spray* yang ditinjau dari persentase oksigen dalam keadaan api *extinction* dimulai dengan buka katup O₂ dan N₂ dan atur persentase oksigen pada 100% dari debit total gas oksidator yang divariasikan. Buka katup saluran biodiesel *waste cooking oil* dan atur debit aliran pada 14 ml/min. Nyalakan api dan turunkan debit oksigen sampai keadaan nyala api hampir padam seiring menaikkan debit nitrogen untuk menjaga agar debit total oksidator tetap konstan. Catat persentase oksigen pada saat keadaan nyala api akan padam. Selesai mencatat persentase oksigen pada keadaan *extinction* tutup semua katup saluran bahan bakar dan gas oksidator. Untuk pengambilan data ulangi sebanyak 3 kali. Ulangi dari langkah awal untuk variasi debit total oksidator yang berbeda.

3.7 Metode Pengolahan Data

Untuk pengolahan data pada penelitian ini terdapat 2 tahap. Tahap pertama pengolahan data karakteristik api *spray* yang diperoleh dari gambar hasil visualisasi api *spray* yang diambil menggunakan kamera DSLR. Selanjutnya diolah menggunakan *software Image J* dimana akan diperoleh karakteristik api seperti panjang dan lebar api, tinggi *lift-off* dan persentase luas api biru. Hasil pengukuran tersebut dikumpulkan dalam bentuk data pada aplikasi *excel* kemudian data disajikan berbentuk grafik. Tahap kedua yaitu pengolahan data kestabilan api yang ditinjau dari persentase oksigen saat keadaan *extinction*. Data diperoleh dengan merubah proporsi perbandingan antara O₂ dengan N₂ tanpa merubah debit total oksidator. Dengan pengurangan O₂ dari yang terbesar hingga terendah sedikit demi sedikit lalu didapatkan masing-masing data persentase oksigen saat *extinction* dengan variasi debit total oksidator yang berbeda-beda. Data yang didapatkan kemudian diolah menjadi grafik yang akan ditampilkan.

3.8 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.7 merupakan diagram alir penelitian pengaruh persentase oksigen terhadap karakteristik pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil*.



Gambar 3.7 Diagram alir penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, data api *spray* biodiesel minyak jelantah yang dihasilkan dari pengaruh persentase oksigen diperoleh secara visual yaitu berupa gambar. Gambar hasil visualiasi api *spray* tersebut lalu diolah menggunakan *software Image J* sehingga diperoleh data karakteristik berupa tinggi api, lebar api, tinggi *lift-off* dan persentase luas api biru. Selanjutnya data karakteristik disajikan berupa grafik pengaruh persentase oksigen terhadap tinggi api, lebar api, tinggi *lift-off* dan persentase luas api biru. Variasi persentase oksigen yang dipilih yaitu sebesar 50%, sampai 100% dari debit total oksidator yaitu campuran gas O₂ dan N₂. Debit total oksidator juga divariasikan sebesar 6.99 l/menit, 8.51 l/menit, dan 10.03 l/menit.

Untuk melihat kestabilan api *spray* biodiesel minyak jelantah yang dihasilkan maka pada penelitian ini dinyatakan dalam karakteristik *extinction* api (api padam). *Extinction* api tersebut diperoleh dengan cara menurunkan konsentrasi oksigen pada oksidator dengan menjaga debit total oksidator tetap konstan sampai kondisi api padam. Nilai minimal konsentrasi oksigen yang dibutuhkan api sebelum padam menjadi batas daerah kestabilan api (Sasongko, 2014). Untuk melihat kestabilan api *spray* yang dihasilkan, maka debit total oksidator divariasikan sebesar 6.23 l/min, 6.99 l/min, 7.75 l/min, dan 8.51 l/min.

Penelitian serta pengambilan data dilakukan pada kondisi temperature dan tekanan ruang, gas pengoksidasi pada tekanan 1 atm, debit bahan bakar biodiesel sebesar 14 ml/min, wadah bahan bakar biodiesel minyak jelantah diletakkan pada ketinggian 2 m, dan diameter lubang *nozzle spray* sebesar 0.5 mm. Pada proses analisis, semua data dikelompokkan berdasarkan tiap debit total oksidator dengan variasi persentase oksigen yang sudah ditentukan. Data penelitian ini beberapa akan dibandingkan dengan bahan bakar solar dengan variasi, metode, dan penyajian data yang sama sehingga didapatkan nilai perbandingan dari karakteristik pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil*.

4.1 Kalibrasi *Flowmeter*

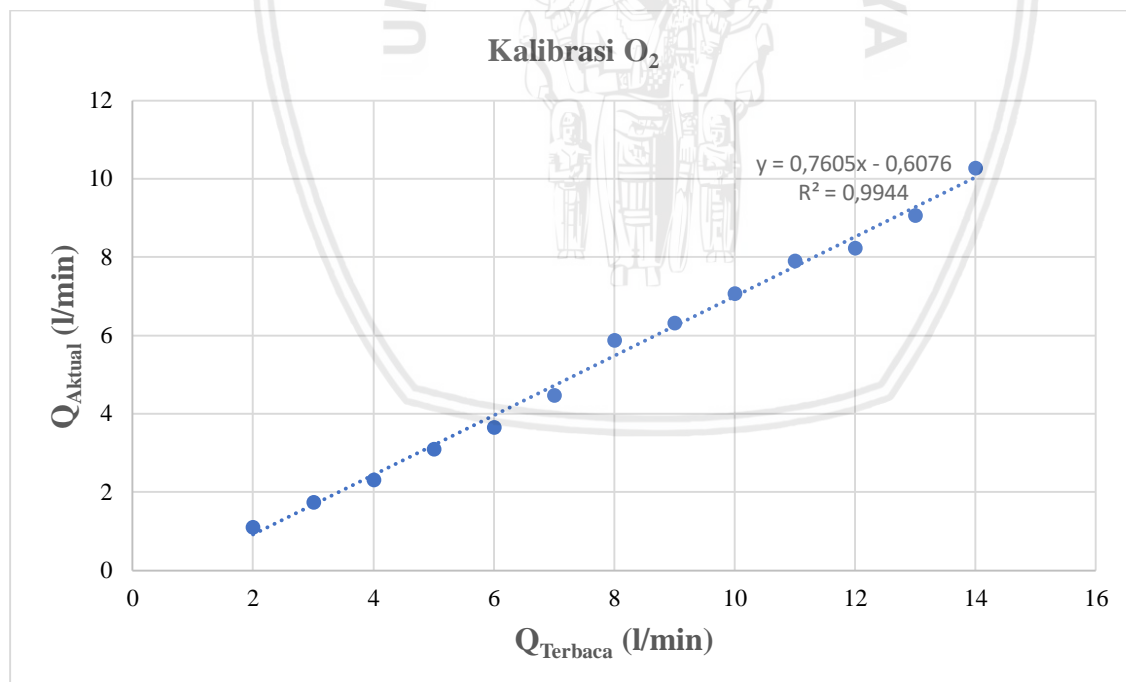
Sebelum dilakukan pengambilan data karakteristik api *spray* yang dihasilkan akibat pengaruh persentase O₂, *flowmeter* gas O₂ dan N₂ harus dikalibrasi terlebih dahulu untuk

mengetahui hubungan antara debit yang terbaca pada *flowmeter* dengan debit aktual yang dialirkan pada *flowmeter* tersebut. Untuk metode pengkalibrasi *flowmeter* gas O₂ dan N₂ dijelaskan pada sub bab 3.6. Data hasil kalibrasi *flowmeter* O₂ ditampilkan pada Tabel 4.1 dan grafik pada Gambar 4.1. Sedangkan data hasil kalibrasi *flowmeter* N₂ ditambahkan pada Tabel 4.2 dan grafik pada Gambar 4.2.

Tabel 4.1

Data Kalibrasi *Flowmeter* Gas O₂

Q _{terbaca} (l/min)	Waktu (s)	V _{tabung} (liter)	Q _{aktual} (l/min)
2	5	0.09	1.11
3	5	0.14	1.75
4	5	0.19	2.32
5	5	0.25	3.09
6	5	0.30	3.65
7	5	0.37	4.47
8	5	0.49	5.88
9	5	0.52	6.32
10	5	0.58	7.07
11	5	0.65	7.90
12	5	0.68	8.24
13	5	0.75	9.07
14	5	0.85	10.28

Gambar 4.1 Hubungan Q_{Terbaca} dengan Q_{Aktual} pada *flowmeter* O₂

Dari *trendline* pada grafik kalibrasi *flowmeter* O₂ dihasilkan persamaan sebagai berikut ini.

$$y = 0,7605x - 0,6076$$

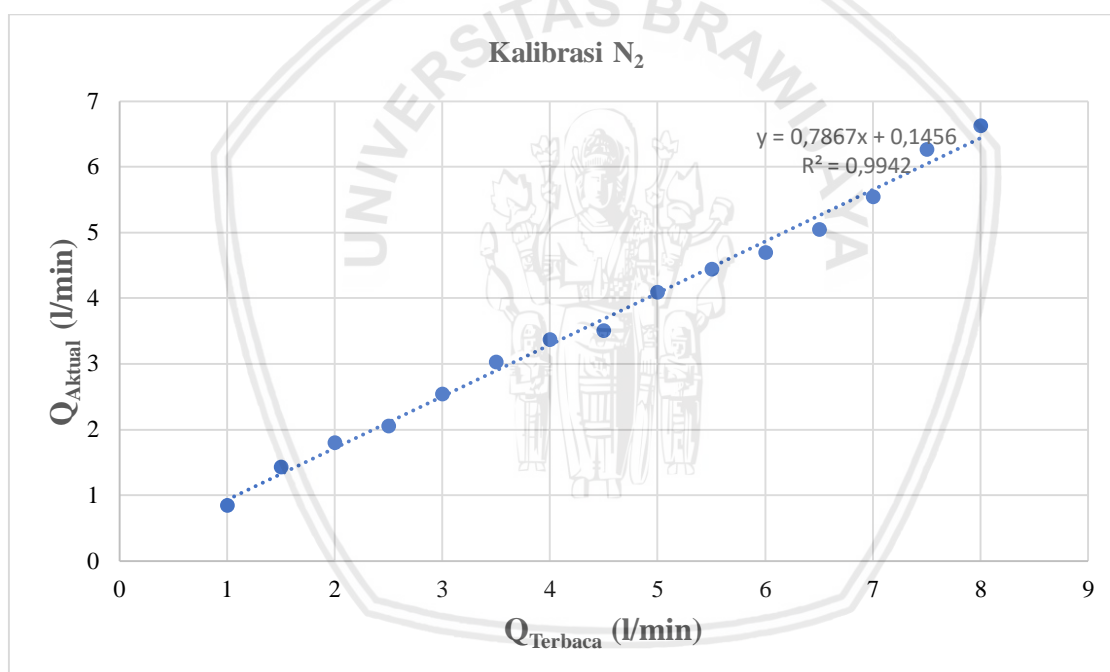
Dimana:

$$y = Q_{\text{aktual}} \text{ (l/min)}$$

$$x = Q_{\text{terbaca}} \text{ (l/min)}$$

Tabel 4.2
Data Kalibrasi *Flowmeter* Gas N₂

Q _{terbaca} (l/min)	Waktu (s)	V _{tabung} (liter)	Q _{aktual} (l/min)
1	5	0.07	0.85
1.5	5	0.11	1.43
2	5	0.14	1.79
2.5	5	0.17	2.05
3	5	0.21	2.54
3.5	5	0.25	3.02
4	5	0.28	3.36
4.5	5	0.29	3.51
5	5	0.34	4.09
5.5	5	0.36	4.43
6	5	0.39	4.69
6.5	5	0.42	5.04
7	5	0.46	5.54
7.5	5	0.52	6.26
8	5	0.55	6.62



Gambar 4.2 Hubungan Q_{terbaca} dengan Q_{aktual} pada *flowmeter* N₂

Dari *trendline* pada grafik kalibrasi *flowmeter* O₂ dihasilkan persamaan sebagai berikut ini.

$$y = 0,7867x + 0,1456$$

Dimana:

$$y = Q_{\text{aktual}} \text{ (l/min)}$$

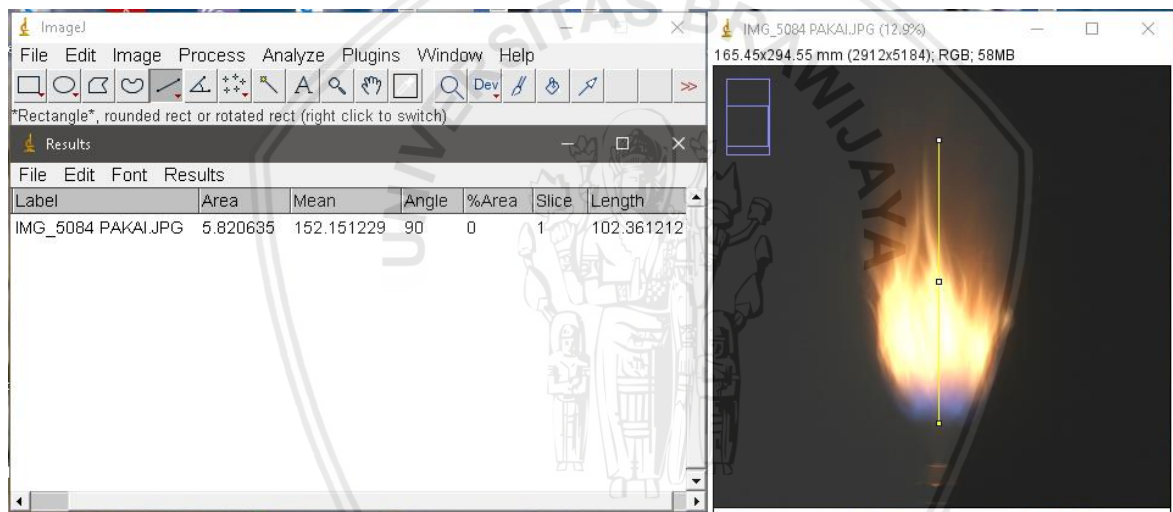
$$x = Q_{\text{terbaca}} \text{ (l/min)}$$

4.2 Pengolahan Data Karakteristik Api *Spray*

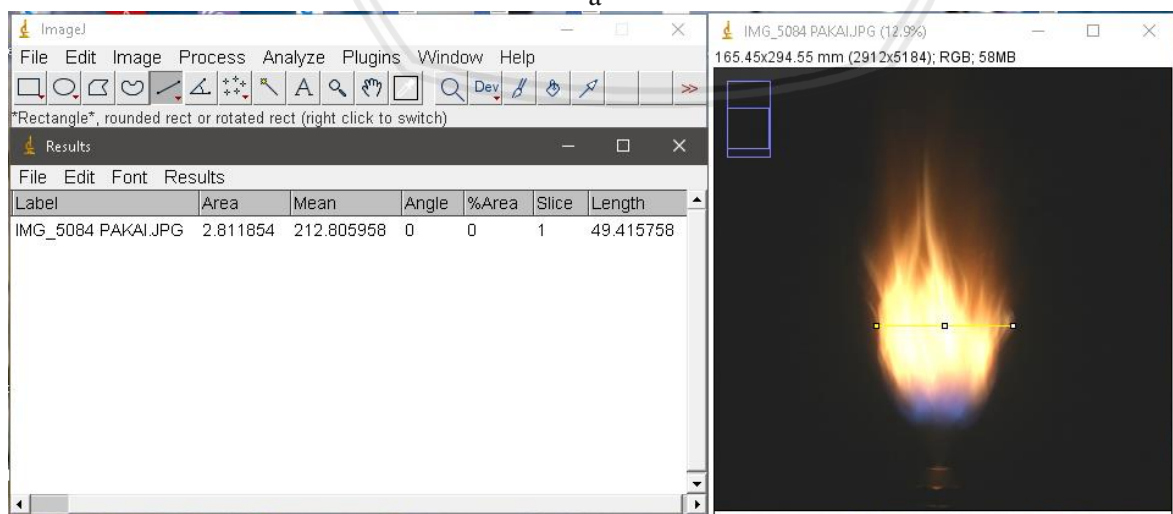
Pada bagian ini setelah dilakukan pengujian seperti pembahasan sebelumnya pada prosedur penelitian, hasil visualisasi api *spray* diambil menggunakan kamera DSLR Canon

EOS 650D ditempatkan pada jarak tertentu dari ruang hitam. Kemudian hasil diolah menggunakan *software Image J* untuk diketahui tinggi, lebar, tinggi *lift-off* dan persentase api biru dari api *spray* tersebut. Kemudian dijadikan sebuah nilai pada tabel dan diolah menjadi sebuah grafik yang masing-masing dipengaruhi oleh variasi yang diberikan.

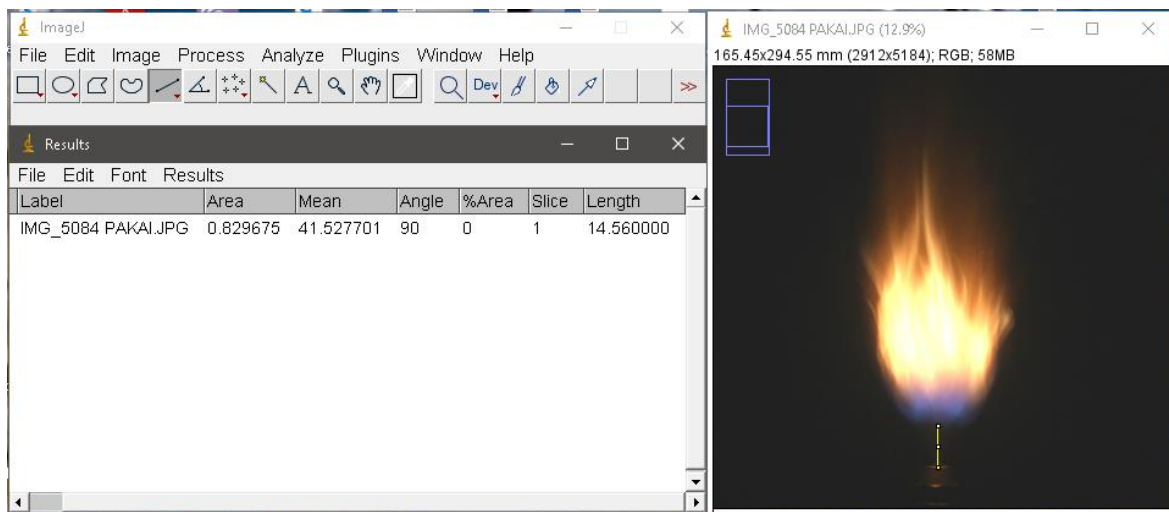
Software Image J digunakan untuk menganalisa hasil gambar. Tahapannya adalah (i) File > Open > Photo, (ii) Straight > Tarik Garis Pengukur (bisa penggaris pada objek atau alat yang memiliki ukuran pasti), (iii) Analyze > Set Scale > Known Distance (sesuai satuan yang diinginkan) > Enter, (iv) Straight > Tarik Garis ke Objek > Ukur Tinggi > Analyze > Measurement, (v) Straight > Tarik Garis ke Objek > Ukur Lebar > Analyze > Measurement, (vi) Straight > Tarik Garis ke Objek > Ukur Tinggi *Lift-off* > Analyze > Measurement. Sebagai contoh pada Gambar 4.3 menjelaskan hasil tampilan pengolahan data menggunakan *software Image J*. Proses ini dilakukan pada data Biodiesel dan Solar.



a



b

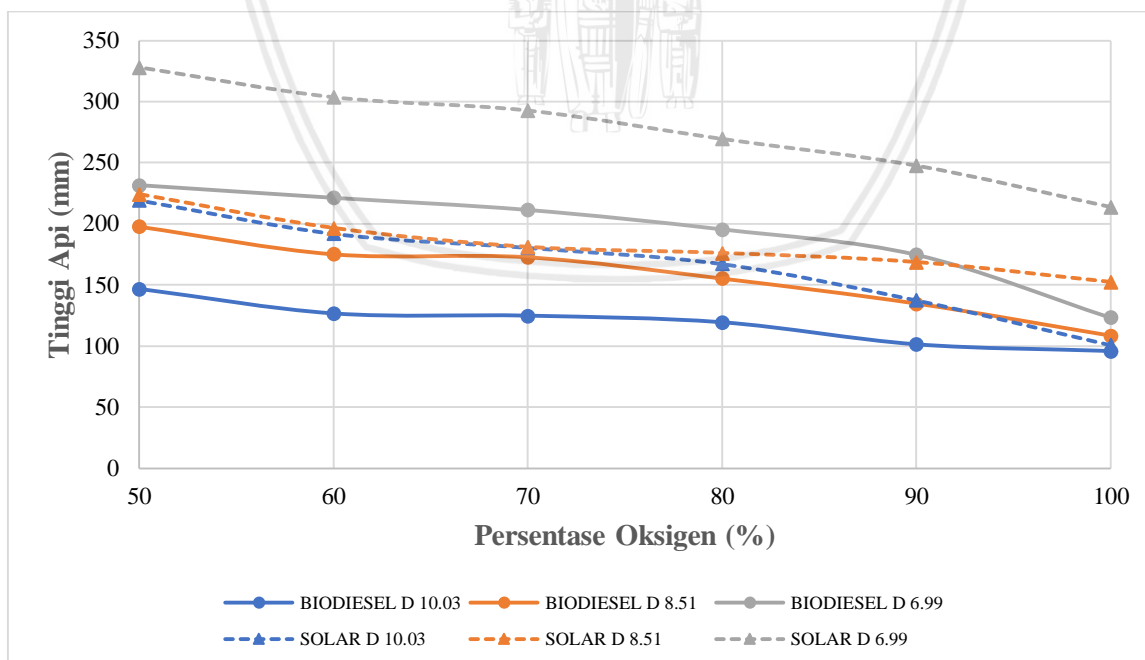


Gambar 4.3 Hasil pengolahan gambar api *spray* menggunakan *Image J* a) Tinggi api, b) Lebar api dan c) Tinggi *Lift-off* api

Hasil data dari *software Image J* tersebut diperoleh lalu diolah pada *excel*. Pada *excel*, data tersebut dikelompokkan berdasarkan variasi yang ditentukan dengan berbentuk tabel. Data berbentuk tabel tersebut kemudian ditampilkan menjadi sebuah grafik dan dianalisis fenomena yang terjadi.

4.3 Grafik dan Pembahasan

4.3.1 Grafik Pengaruh Persentase Oksigen Terhadap Tinggi Api



Gambar 4.4 Grafik pengaruh persentase oksigen terhadap tinggi api *spray* untuk debit bahan bakar 14 ml/min dan debit total oksidator yang bervariasi

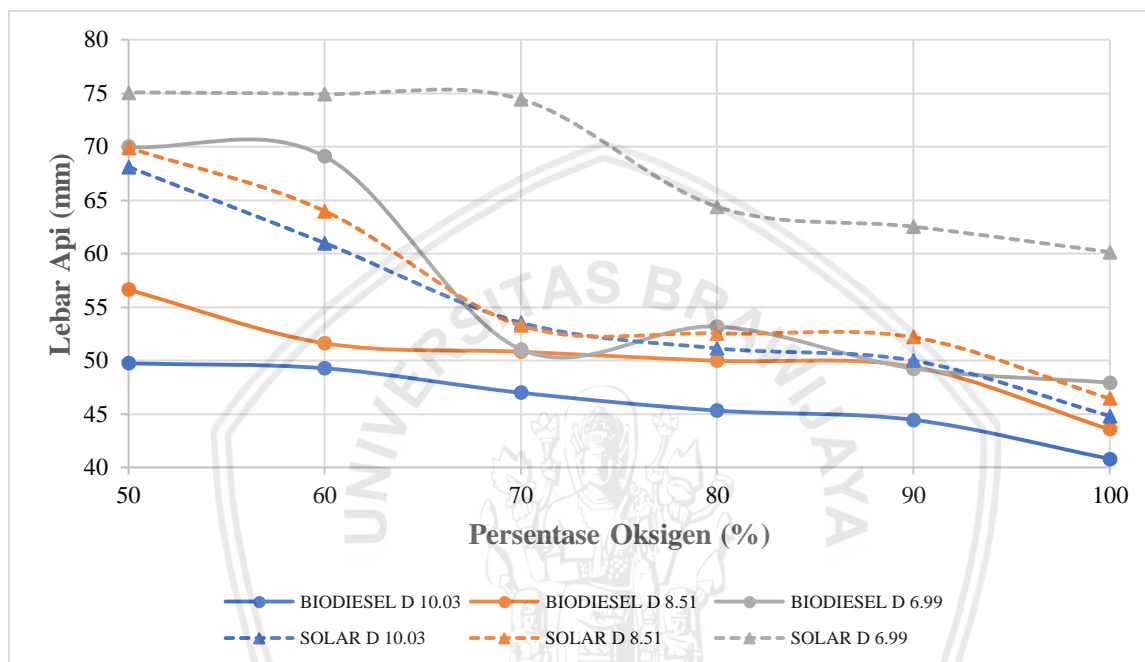
Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai tinggi api *spray* dari biodiesel minyak jelantah dan solar. Gambar 4.4 menunjukkan grafik pengaruh persentase oksigen terhadap tinggi api *spray* pada bahan bakar biodiesel dan solar dengan variasi persentase oksigen 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Debit total oksidator yaitu jumlah debit gas O₂ dan N₂ juga divariasikan sebesar 6.99 l/min, 8.51 l/min, dan 10.03 l/min. Sedangkan debit bahan bakar dijaga konstan sebesar 14 ml/menit.

Dari grafik diatas dapat dilihat nilai tinggi api *spray* menurun seiring meningkatnya persentase oksigen untuk bahan bakar biodiesel minyak jelantah dan solar. Didapatkan nilai tinggi api *spray* berdasarkan variasi persentase oksigen secara berurutan sebagai berikut, untuk bahan bakar biodiesel minyak jelantah dengan debit total oksidator 6.99 l/min diperoleh tinggi api yaitu 231.55, 221.23, 211.33, 195.44, 174.66, dan 123.29, untuk debit 8.51 l/min yaitu 197.76, 175.11, 172.67, 155.17, 134.65, dan 108.28, dan untuk debit 10.03 l/min yaitu 146.59, 126.55, 124.71, 119.31, 111.97, dan 95.78. Untuk bahan bakar solar dengan dengan debit total oksidator 6.99 l/min diperoleh tinggi api secara berurutan yaitu 327.91, 303.49, 292.61, 269.37, 247.57, dan 213.76, untuk debit 8.51 l/min yaitu 224.13, 196.49, 181.00, 176.03, 168.56, dan 152.30, dan untuk debit 10.03 l/min yaitu 219.28, 192, 180.49, 167.21, 137.5, dan 100.87. Masing-masing data dinyatakan dalam satuan mm.

Semakin besar persentase oksigen yang didalam oksidator maka semakin tinggi konsentrasi oksigen dalam semprotan. Tingginya konsentrasi oksigen dalam semprotan mempercepat proses pencampuran droplet bahan bakar dengan oksidator untuk mencapai proporsi stokiometrik sehingga jarak pencampuran menjadi lebih pendek. Hal tersebut menyebabkan pembakaran lebih cepat terjadi dan menghasilkan api yang lebih pendek. Pada persentase oksigen yang sama, semakin besar debit oksidator maka tinggi api *spray* yang dihasilkan semakin pendek. Semakin besar debit oksidator yang mengalir maka ukuran droplet yang dihasilkan semakin kecil (Y. Fan *et al*, 2013). Menurut (Aggarwal & Sirignano, 1985) semakin kecil ukuran droplet menyebabkan *surface area* penguapan dari droplet semakin besar sehingga laju penguapan semakin cepat. Selain itu semakin besar debit oksidator maka debit oksigen yang mengalir semakin besar yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi oksigen dalam semprotan. Sehingga proporsi stokiometrik pencampuran antara droplet bahan bakar dengan oksidator semakin cepat dicapai. Hal tersebut menyebabkan jarak pencampuran lebih pendek dan menghasilkan api yang lebih pendek

Dilihat dari grafik, tinggi api *spray* yang dihasilkan oleh biodiesel minyak jelantah secara keseluruhan lebih pendek dari solar. Hal ini dikarenakan biodiesel minyak jelantah memiliki kandungan oksigen didalamnya yang mempercepat pencampuran droplet dengan oksidator untuk mencapai proporsi stokiometrik. Sehingga pembakaran lebih cepat terjadi dan menghasilkan api yang lebih pendek.

4.3.2 Grafik Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Lebar Api



Gambar 4.5 Grafik pengaruh persentase oksigen terhadap lebar api *spray* untuk debit bahan bakar 14 ml/min dan debit total oksidator yang bervariasi

Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai lebar api *spray* dari biodiesel minyak jelantah dan solar. Gambar 4.5 menunjukkan grafik pengaruh persentase oksigen terhadap lebar api *spray* pada bahan bakar biodiesel dan solar dengan variasi persentase oksigen 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Debit total oksidator yaitu jumlah debit gas O_2 dan N_2 juga divariasikan sebesar 6.99 l/min, 8.51 l/min, dan 10.03 l/min. Sedangkan debit bahan bakar dijaga konstan sebesar 14 ml/menit.

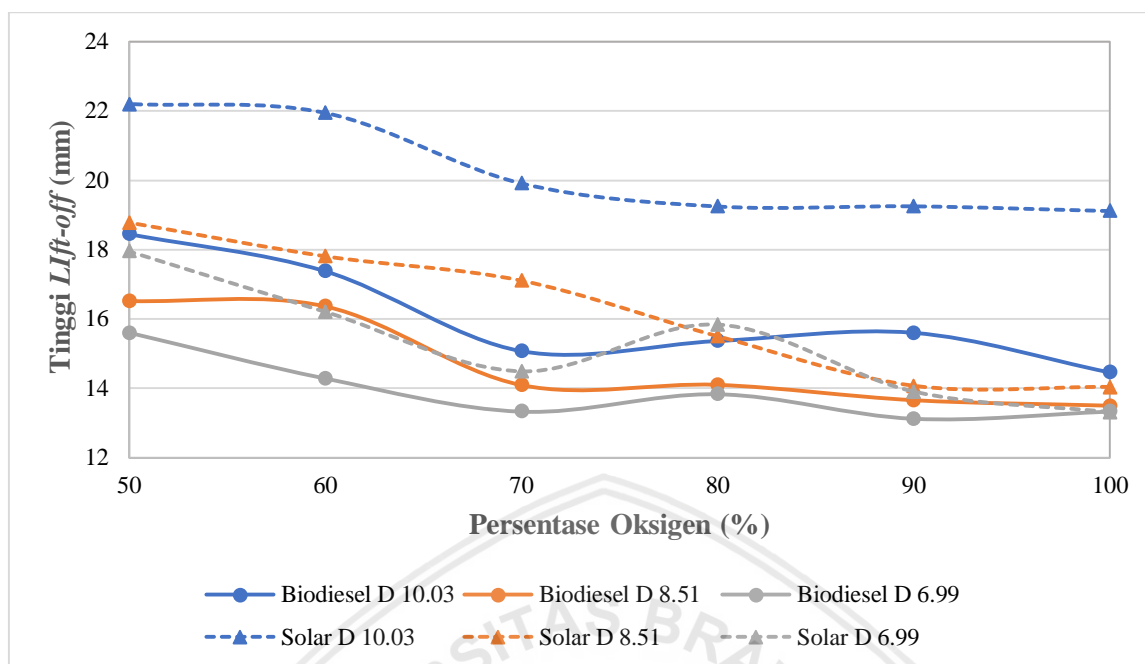
Dari grafik diatas dapat dilihat nilai lebar api *spray* cenderung mengalami penurunan seiring meningkatnya persentase oksigen pada bahan bakar biodiesel minyak jelantah dan solar. Didapatkan nilai dari lebar api *spray* tersebut berdasarkan variasi persentase oksigen secara berurutan sebagai berikut, untuk bahan bakar biodiesel dengan debit total oksidator 6.99 l/menit diperoleh lebar api yaitu 70, 69.13, 51.04, 53.17, 49.24, dan 47.92, untuk debit 8.51 l/menit yaitu 61.43, 51.63, 50.83, 50, 49.43, dan 43.59, dan untuk debit 10.03 l/menit yaitu 49.77, 49.31, 47.01, 45.34, 49.88, dan 40.82. Untuk bahan bakar solar dengan debit

total oksidator 6.99 l/menit diperoleh lebar api yaitu 75.08, 74.92, 74.43, 64.37, 62.52, dan 60.16, untuk debit 8.51 l/menit yaitu 69.91, 63.99, 53.29, 52.56, 52.20, dan 46.48, dan untuk debit 10.03 l/menit yaitu 68.12, 61, 53.55, 51.14, 50 dan 44.83. Masing-masing data dinyatakan dalam satuan mm.

Semakin besar persentase oksigen yang didalam oksidator maka semakin tinggi konsentrasi oksigen dalam semprotan. Tingginya konsentrasi oksigen dalam semprotan mempercepat proses pencampuran droplet bahan bakar dengan oksidator untuk mencapai proporsi stokiometrik sehingga jarak pencampuran menjadi lebih pendek. Hal tersebut menyebabkan pembakaran lebih cepat terjadi dan menghasilkan api yang lebih ramping. Pada persentase oksigen yang sama, semakin besar debit oksidator maka tinggi api *spray* yang dihasilkan semakin pendek. Semakin besar debit oksidator yang mengalir maka ukuran droplet yang dihasilkan semakin kecil (Y. Fan *et al*, 2013). Menurut (Aggarwal & Sirignano, 1985) semakin kecil ukuran droplet menyebabkan *surface area* penguapan dari droplet semakin besar sehingga laju penguapan semakin cepat. Selain itu semakin besar debit oksidator maka debit oksigen yang mengalir semakin besar yang menyebabkan meningkatnya konsentrasi oksigen dalam semprotan. Sehingga proporsi stokiometrik pencampuran antara droplet bahan bakar dengan oksidator semakin cepat dicapai. Hal tersebut menyebabkan jarak pencampuran lebih pendek dan menghasilkan api yang lebih ramping.

Dilihat dari grafik, lebar api *spray* yang dihasilkan oleh biodiesel minyak jelantah secara keseluruhan lebih ramping dari solar. Hal ini dikarenakan biodiesel minyak jelantah memiliki kandungan oksigen didalamnya yang mempercepat pencampuran droplet dengan oksidator untuk mencapai proporsi stokiometrik. Sehingga pembakaran lebih cepat terjadi dan menghasilkan api yang lebih ramping. Selain itu viskositas juga mempengaruhi terbentuknya sudut semprotan sehingga menyebabkan lebar api berubah. Semakin besar viskositas maka sudut yang dihasilkan semakin kecil, hal ini disebabkan *surface tension* yang semakin besar sehingga fluida cair sulit untuk diatomisasi (Bhele *et al*, 2016). Biodiesel minyak jelantah memiliki viskositas sebesar 5.342 mm²/s sedangkan solar sebesar 2-4.5 mm²/s. Karena hal itu sudut semprotan yang dihasilkan biodiesel lebih kecil dari pada solar. Sehingga api *spray* yang dihasilkan biodiesel lebih ramping.

4.3.3 Grafik Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Tinggi *Lift-off* Api



Gambar 4.6 Grafik pengaruh persentase oksigen terhadap tinggi *lift-off* api *spray* untuk debit bahan bakar 14 ml/min dan debit total oksidator yang bervariasi

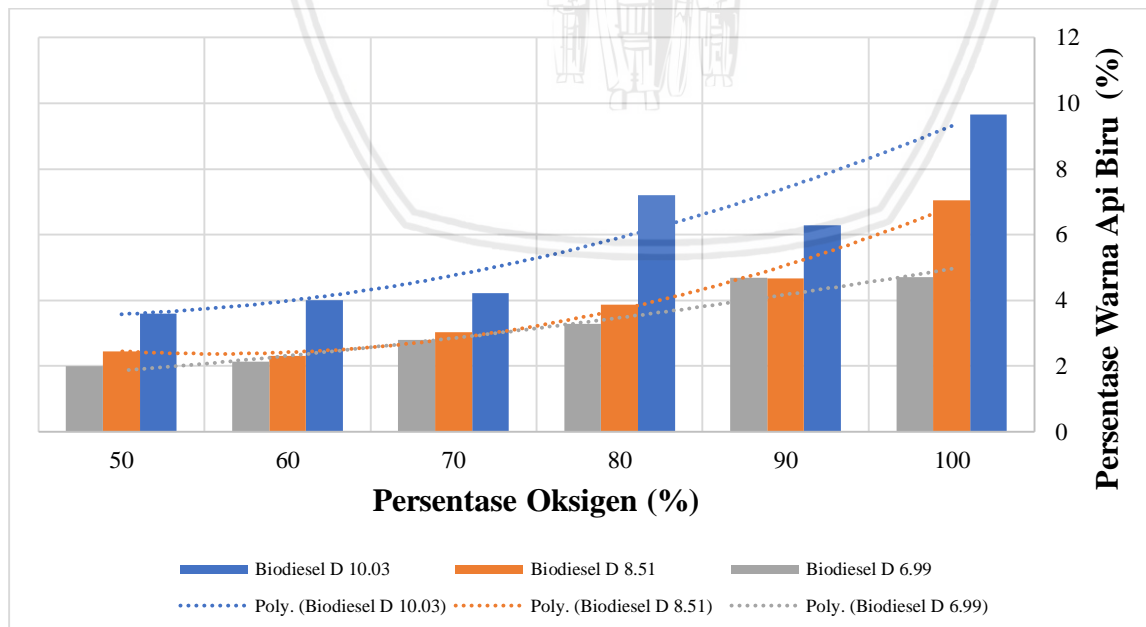
Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai tinggi *lift-off* api *spray* dari bahan bakar biodiesel minyak jelantah dan solar. Tinggi *lift-off* yang dimaksud merupakan jarak antara ujung *nozzle* dengan daerah dasar api. Gambar 4.6 menunjukkan grafik pengaruh persentase oksigen terhadap tinggi *lift-off* api *spray* pada bahan bakar biodiesel dan solar dengan variasi persentase oksigen 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Debit total oksidator yaitu jumlah debit gas O_2 dan N_2 juga divariasikan sebesar 6.99 l/min, 8.51 l/min, dan 10.03 l/min. Sedangkan debit bahan bakar dijaga konstan sebesar 14 ml/menit.

Dari grafik diatas dapat dilihat nilai tinggi *lift-off* api cenderung mengalami penurunan seiring meningkatnya persentase oksigen pada bahan bakar biodiesel minyak jelantah maupun solar. Didapatkan nilai dari tinggi *lift-off* api *spray* tersebut dari variasi persentase oksigen secara berurutan sebagai berikut, untuk bahan biodiesel minyak jelantah dengan debit total oksidator 6.99 l/menit diperoleh tinggi *lift-off* api yaitu 15.59, 14.28, 13.33, 13.83, 13.12, dan 13.33, untuk debit 8.51 l/menit yaitu 16.51, 16.36, 14.09, 14.09, 13.65, dan 13.49, dan untuk debit 10.03 l/menit yaitu 18.45, 17.38, 15.07, 15.36, 15.60, dan 14.46. Untuk bahan bakar solar dengan debit total oksidator 6.99 l/menit diperoleh tinggi *lift-off* api yaitu 17.95, 16.20, 14.48, 15.84, 13.90, dan 13.30, untuk debit 8.51 l/menit yaitu 18.77, 17.80, 17.10, 15.5, 14.06, dan 14.03, dan untuk debit 10.03 l/menit yaitu 22.19, 21.94, 19.91, 19.25, 19.25, dan 19.12. Masing-masing data dinyatakan dalam satuan mm.

Semakin meningkatnya persentase oksigen untuk debit yang sama dapat dilihat nilai tinggi *lift-off* cenderung menurun. Persentase oksigen tersebut mempengaruhi konsentrasi oksigen dalam semprotan. Semakin besar konsentrasi oksigen pada semprotan maka percampuran antar droplet bahan bakar dengan udara lebih cepat untuk mencapai proporsi stokiometrik menyebabkan jarak pencampuran semakin pendek dan mendekati hulu semprotan. Sehingga *spray* yang dihasilkan akan stabil mendekati hulu semprotan dan tinggi *lift-off* cenderung semakin memendek (Reddy *et al*, 2011). Semakin tinggi debit gas oksidator yang mengalir dapat dilihat semakin besar nilai tinggi *lift-off* *spray* yang dihasilkan oleh biodiesel dan solar. Hal tersebut karena meningkatnya kecepatan aliran jet yang keluar dari *nozzle* sehingga tinggi *lift-off* akan meningkat (Peters & William, 1983).

Dilihat dari grafik, tinggi *lift-off* *spray* yang dihasilkan oleh biodiesel minyak jelantah secara keseluruhan lebih pendek dari solar. Hal ini dikarenakan biodiesel minyak jelantah memiliki kandungan oksigen didalamnya yang mempercepat percampuran droplet dengan oksidator untuk mencapai proporsi stokiometrik, sehingga jarak pencampuran semakin pendek dan mendekati hulu semprotan. Hal itu menyebabkan hasil *spray* biodiesel stabil mendekati hulu semprotan sehingga tinggi *lift-off* *spray* yang dihasilkan cenderung lebih pendek



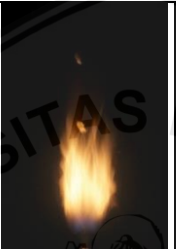






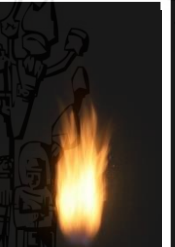



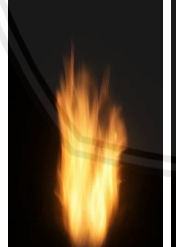
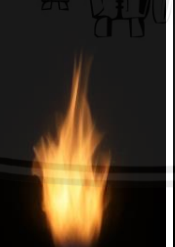

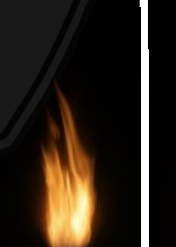

4.3.4 Grafik Pengaruh Persentase Oksigen terhadap Persentase Warna Api Biru



Gambar 4.7 Grafik pengaruh persentase oksigen terhadap persentase luas api biru untuk debit bahan bakar 14 ml/min dan debit total oksidator yang bervariasi

Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai persentase luas api biru dari biodiesel minyak jelantah dan solar. Persentase luas api biru didapatkan dari luas api biru dibagi luas total api *spray*. Gambar 4.7 menunjukkan grafik pengaruh persentase oksigen terhadap persentase luas api biru pada bahan bakar biodiesel minyak jelantah dengan variasi persentase oksigen 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, dan 100%. Debit total oksidator yaitu jumlah debit gas O_2 dan N_2 juga divariasikan sebesar 6.99 l/min, 8.51 l/min, dan 10.03 l/min. Sedangkan debit bahan bakar dijaga konstan sebesar 14 ml/menit.


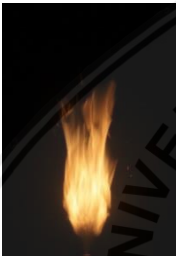
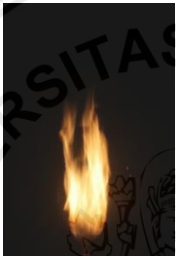


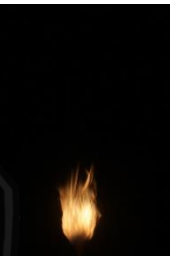

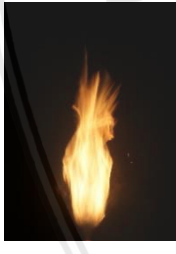
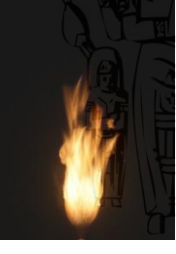
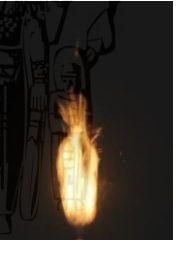
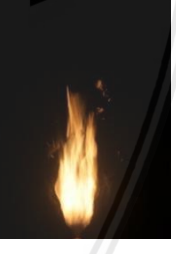







Tabel 4.3
Visualisasi Nyala Api *Spray* Biodiesel Minyak Jelantah

Debit (l/min)	50% O_2	60% O_2	70% O_2	80% O_2	90% O_2	100% O_2
10.03						
8.51						
6.99						

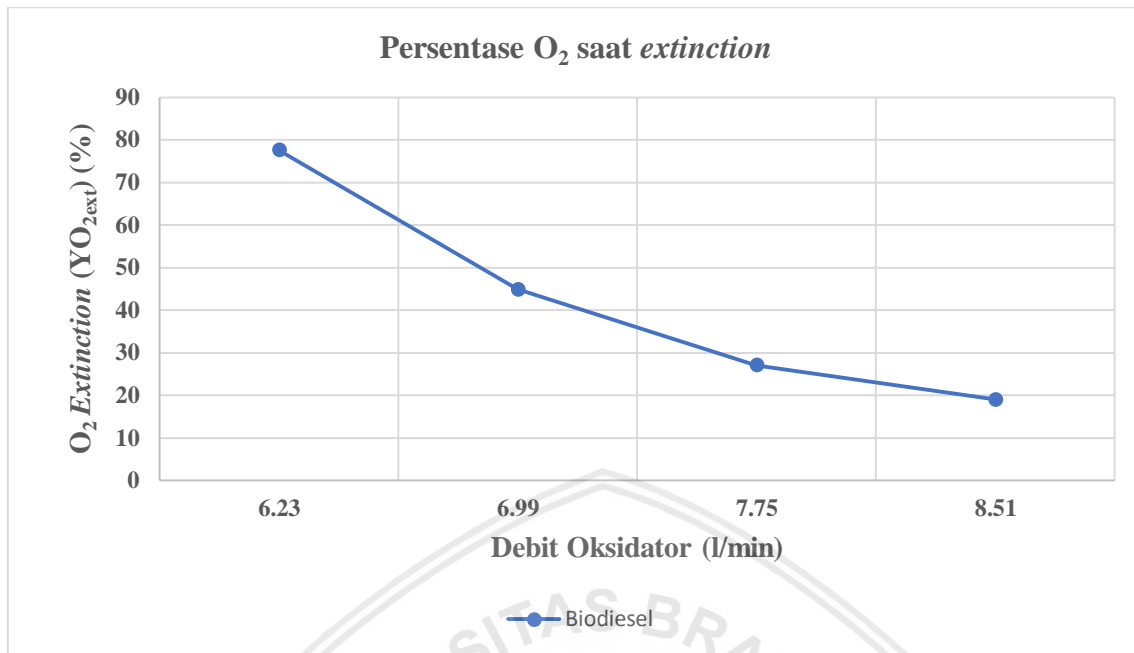
Dari grafik diatas dapat dilihat persentase luas api biru mengalami tren meningkat seiring meningkatnya persentase oksigen. Didapatkan nilai persentase luas api biru dengan variasi persentase oksigen secara berurutan sebagai berikut, untuk bahan bakar biodiesel dengan debit total oksidator 6.99 l/menit diperoleh luas api biru yaitu 1.99, 2.13, 2,8, 3.29, 4.68, dan 4.7, untuk debit 8.51 l/menit yaitu 2.44, 2.31, 3.03, 3.86, 4.66, dan 7.04, untuk debit 10.03 l/menit yaitu 3.6, 4, 4.21, 7.2, 6.28, dan 9.66. Masing-masing data dinyatakan dalam %. Data tersebut diperoleh dari hasil visualisasi nyala api *spray* biodeisel minyak jelantah ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Bedasarkan grafik dan gambar diatas, semakin besar persentase oksigen dan debit oksidator dalam pembakaran biodiesel maka persentase luas api biru cenderung meningkat. Hal ini menunjukkan bahwa tingginya persentase oksigen yang digunakan menyebabkan pembakaran semakin sempurna yang ditandai timbul api biru didekat *nozzle*. Berbeda dengan api *spray* biodiesel, pada api *spray* solar tidak diperoleh daerah api biru hal ini dikarenakan biodiesel minyak jelantah merupakan *oxygenated fuel* dimana bahan bakar tersebut mengandung oksigen yang dapat menyempurnakan pembakaran yang terjadi. Nyala api *spray* solar dapat ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4
Visualisasi Nyala Api *Spray* Solar

Debit (l/min)	50% O ₂	60% O ₂	70% O ₂	80% O ₂	90% O ₂	100% O ₂
10.03						
8.51						
6.99						

4.3.5 Grafik Kestabilan Api *Spray Biodiesel Waste Cooking Oil*



Gambar 4.8 Grafik persentase oksigen saat *extinction* pada biodiesel

Dari pengujian ini, batas kestabilan api dinyatakan dalam karakteristik *extinction* api. *Extinction* api tersebut diperoleh dengan cara menurunkan konsentrasi oksigen pada oksidator dengan menjaga debit total oksidator tetap konstan sampai kondisi api akan padam. Gambar 4.8 menunjukkan grafik perbandingan antara variasi debit oksidator total dengan persentase oksigen yang dibutuhkan saat keadaan *extinction*. Debit oksidator divariasikan sebesar 6.23, 6.99, 7.75, dan 8.51 semua dalam satuan l/min. Nilai masing-masing persentase oksigen sebesar 77.64, 44.93, 27.13, dan 19,05 semua dalam satuan %.

Dari grafik diatas dapat dipahami semakin bertambahnya debit total oksidator maka persentasi oksigen saat *extinction* akan menurun. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi debit oksidator maka api yang dihasilkan semakin stabil. Hal ini disebabkan semakin kecil ukuran droplet bahan bakar yang dihasilkan sehingga memudahkan proses difusi dengan O₂ di sekitar untuk menjaga api *spray* tetap stabil



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilaksanakan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

Semakin besar persentase oksigen dan semakin besar debit oksidator maka tinggi, lebar dan tinggi *lift-off* api *spray* biodiesel dan solar yang dihasilkan semakin menurun. Lebar, tinggi dan tinggi *lift-off* api *spray* yang dihasilkan oleh biodiesel *waste cooking oil* lebih pendek dari pada api *spray* yang dihasilkan oleh solar. Selain itu, semakin besar persentase oksigen dan semakin besar debit oksidator maka persentase warna api biru yang dihasilkan oleh pembakaran *spray* biodiesel *waste cooking oil* semakin meningkat, akan tetapi pada api *spray* solar tidak ada api biru sehingga pembakaran cenderung ke difusi. Untuk kestabilan api *spray* biodiesel *waste cooking oil*, semakin meningkatnya debit total oksidator maka persentase oksigen saat *extinction* akan menurun. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin tinggi debit oksidator maka api *spray* yang dihasilkan akan semakin stabil.

5.2 Saran

Untuk menunjang pengembangan penelitian lebih lanjut, maka penulis memberikan saran untuk pengembangan penelitian ini sebagai berikut.

1. Untuk penelitian selanjutnya, sebaiknya karakteristik yang diteliti bertambah seperti ukuran droplet, temperatur, dan emisi dari hasil pembakaran tersebut.
2. Untuk penelitian selanjutnya, digunakan simulasi berbasis metode elemen hingga untuk membandingkan data dan mencari tingkat perbedaan data antara eksperimental semu dan nyata.



Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Aggarwal, S.K. & Sirignano, W.A. 1985. *Unsteady Spray Flame Propagation in a Closed Volume*. Chicago: University of Illinois
- Akamatsu, F., Hayashi, J., Nakamura, M. & Nishioka, D. 2011. *Soot Formation, Spray Characteristic, and Structure of Jet Spray Flames Under High Pressure*. Osaka: Osaka University.
- Arai, M., Hiroyasu, H., Shimizu, M., Tabata, M. 1984. *Disintegrating Process and Spray Characterization of Fuel Jet Injected by a Diesel Nozzle*. Detroit: International Congress & Exposition.
- Bravo, L. & Kweon, C. 2014. *A Review on Liquid Spray Models for Diesel Engine Computational Analysis*. Vehicle Technology Directorate: Army Research Laboratory.
- Benkenida, A. & Colin, O. 2004. *The 3-Zones Extended Coherent Flame Model (ECFM3Z) for Computing Premixed/Diffusion Combustion*. France: Institut français du pétrole.
- Bhele, S.K., Deshpande, N.V. & Thombre, S.B. 2016. *Experimental Investigations on Combustion Characteristics of Jatropha biodiesel (JME) and its Diesel Blends for Tubular Combustor Application*. India: Kavikulguru Institute of Technology and Science
- Chang, K.C. & Shieh, J.S. 1995. *Theoretical Investigation of Transient Droplet Combustion by Considering Flame Radiation*. Taiwan: Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Chigier, N., Mao, C.P & Wang, G. 1986. *An Experimental Study of Air-Assist Atomizer Spray Flames*. Pittsburg: Carnegie-Mellon University.
- Fan, L.S. & Wang, D. 2013. *Particle Characterization and Behavior Relevant to Fluidized Bed Combustion and Gasification System*. USA: The Ohio State University.
- Fan, Y., Hashimoto, N., Nishida, H. & Ozawa, Y. 2014. *Spray Characterization of an Air-Assist Pressure-Swirl Atomizer Injecting High-Viscosity Jatropha Oil*. Nagasaka: Energy Engineering Research Laboratory.
- Dube, M.A., Kates, M., Mc Lean, D.D. & Zhang, Y. 2003. *Biodiesel Production from Waste Cooking Oil : 1. Process design and technological assessment*. Ottawa: University of Ottawa
- Dong, B., Li, W., Ma, R., Wang, Y., Yu, Z. & Zhang, T. 2015. *An experimental study on the spray characteristics of the air-blast atomizer*. China: China University of Petroleum.
- El-Mahallawy, F. & Habik, S.E. 2002. *Fundamental and Technology of Combustion*. Egypt: Cairo University
- Enweremadu, C.C. & Mbarawa, M.M. 2009. *Technical Aspects of Production and Analysis of Biodiesel from Used Cooking Oil-A review*. South Africa: Tshwane University of Technology.

- Fan, L.S. & Wang, D. 2013. *Particle Characterization and Behavior Relevant to Fluidized Bed Combustion and Gasification System*. USA: The Ohio State University
- Hsu, T.C., Wu, M.S. & Yang, S.I. 2017. *Spray Combustion Characteristics of Kerosene/Bio-oil Part I : Experimental Study*. Taiwan: National Formosa University.
- Kashir, B., Mohammadi, B.M. & Tabejamaat, S. 2012. *Experimental Study on Propane/Oxygen and Gas/Oxygen Laminar Diffusion Flame in Diluting and Preheating Conditions*. Iran: Amirkabr University of Technology (Tehran Polytechnic).
- Knothe, G. & Razon, L.F. 2017. *Biodiesel Fuels*. Peoria: U.S. Department of Agriculture.
- Kumar, S., Reddy V.M. & Trivedi, D. 2011. *Experimental Investigations on Lifted Spray Flames for a Range of Coflow Conditions*. Mumbai: Indian Institute of Technology Bombay
- Law, C.K. 1976. *Unsteady Droplet Combustion with Droplet Heating*. New Jersey: Princeton University
- Lee, T.J. & T'ien, J.S. 1982. *A Numerical Analysis of Flame Flashback in a Premixed Laminar System*. Cleveland: Case Western Reserve University.
- Lefebvre, A.H. 1989. *Properties of Sprays*. USA: Purdue University
- Leong, M.Y., McDonell, V.G. & Samuelsen, G.S. 2000. *Mixing of an Airblast-Atomized Fuel Spray Injected Into a Crossflow of Air*. California: University of California.
- Meier, G.R., Sanford, S.D., Shah, P.S., Valverde, M.A., Wee, C. & White, J.M. 2009. *Feedstock and Biodiesel Characteristics Report*. Ames: Renewable Energy Group Inc.
- Mikami, M., Sasongko, M. N. & Seo, T. 2016. *Extinction Condition of Counterflow Spray Diffusion Flame wih Polydispers"e Water Spray*. Indonesia: University of Brawijaya
- Poinsot, T & Veynante, D. 2005. *Theoretical and Numerical Combustion*. United States: R.T. Edwards Inc.
- Sass, F. 1928. *Ignition and Combustion Phenomena in Diesel Engines*. Washington
- Sasongko, M.N. 2014. *Pengaruh Persentase CO₂ Terhadap Karakteristik Pembakaran Difusi Biogas*. Indonesia: Universitas Brawijaya
- Stiesch, G. 2003. *Modeling Engine Spray and Combustion Processes*. Germany: Hannover University
- Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. PT. Dinar Wijaya. Brawijaya University Press: Malang.