



**ANALISIS KARAKTERISTIK *SPRAY* BODIESEL DAN
CAMPURANNYA DENGAN VARIASI TEMPERATUR INJEKSI**

SKRIPSI

Oleh :

GEZA SANDHIYOGA

161910101086

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Dengan puji syukur kehadiran Allah SWT maka skripsi ini saya persembahkan kepada:

1. Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
2. Ayahanda Slamet Herman Subagyo dan Ibunda Noor Aina yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan motivasi serta dukungan terhadap saya baik materil maupun non materil sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik
3. Intan Ismawati HR yang juga memberikan semangat dan motivasi serta dukungan sehingga skripsi saya dapat selesai dengan baik
4. Biodiesel *spray* team yang turut membantu dalam pengujian dan penelitian pada skripsi ini sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik
5. Guru-guru saya dari mulai taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi, seluruh dosen serta civitas akademik jurusan Teknik Mesin Universitas Jember yang telah membimbing, memberikan banyak ilmu, pelajaran dan motivasi serta menjadi tempat untuk saya menuntut ilmu dan mengenyam pendidikan.

MOTTO

“Sistem pendidikan yang bijaksana setidaknya akan mengajarkan kita betapa sedikitnya yang belum diketahui oleh manusia, seberapa banyak yang masih harus ia pelajari”

(Sir John Lubbock)

“Jangan pergi mengikuti kemana jalan akan berujung. Buat jalanmu sendiri dan tinggalkanlah jejak”

(Ralph Waldo Emerson)

“For union machine strong, solidarty forever”

(Solidarty M Forever)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Geza Sandhiyoga

NIM : 161910101086

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi dengan judul **“Analisis Karakteristik *Spray Biodiesel* dan Campurannya Dengan Variasi Temperatur Injeksi”** adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan benar adanya dan penuh kesadaran tanpa ada unsur pemaksaan dari pihak manapun. Dan bersedia dengan sanksi akademik apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember 29 Juli 2020

Yang menyatakan,

Geza Sandhiyoga

161910101086

SKRIPSI

**ANALISIS KARAKTERISTIK *SPRAY* BIODIESEL DAN
CAMPURANNYA DENGAN VARIASI TEMPERATUR INJEKSI**

Oleh:

Geza Sandhiyoga

161910101086

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah ST., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi ini berjudul “Analisis Karakteristik *Spray* Biodiesel dan Campurannya dengan Variasi Temperatur Injeksi” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : Rabu, 29 Juli 2020

Tempat : Ruang Pengujian II Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember

Pembimbing,

Pembimbing I,

Pembimbing II

Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T.
NIP. 197111141999031002

Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah ST., M.T.
NIP. 760014642

Penguji,

Penguji I,

Penguji II

Yuni Hermawan S.T., M.T
NIP. 197506152002121008

Ir. Digdo Listyadi Setyawan ,MSc.
NIP. 196806171995011001

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 197008261997021001

RINGKASAN

ANALISIS KARAKTERISTIK *SPRAY* BIODIESEL DAN CAMPURANNYA DENGAN VARIASI TEMPERATUR INJEKSI;

Geza Sandhiyoga; 72 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penggunaan biodiesel minyak nyamplung pada mesin diesel masih mengalami kendala, karena viskositas dan densitas yang lebih tinggi dibandingkan minyak diesel. Hal tersebut mengakibatkan kinerja mesin diesel tidak optimal. Proses pemanasan bahan bakar merupakan salah satu cara untuk menurunkan viskositas dan densitas bahan agar sama dengan minyak diesel. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *spray* campuran biodiesel-diesel terhadap temperatur pemanasan bahan bakar yang sesuai, untuk diaplikasikan pada mesin injeksi langsung. Metode penelitian menggunakan variasi temperatur pemanasan 70° C, 90° C dan 110° C dengan variasi komposisi campuran bahan bakar minyak nyamplung B0 (minyak diesel 100 %), B20 (biodiesel nyamplung 20 % dan minyak diesel 80%), B30 (biodiesel nyamplung 30 % dan minyak diesel 70%) dan B100 (biodiesel nyamplung 100 %). Dari pengujian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kenaikan temperatur dapat mempengaruhi karakteristik *spray* berupa *spray tip penetration*, *spray angle*, dan *velocity of spray*. Hasil karakteristik *spray* bahan bakar biodiesel murni atau B0 memiliki karakteristik *spray* yang paling baik dengan *spray tip penetration* sebesar 123.44 mm, *spray angle* sebesar 11.22° dan *velocity of spray* sebesar 32.07 mm/ms.

SUMMARY

ANALYSIS OF BIODIESEL SPRAY CHARACTERISTICS AND ITS MIXES WITH INJECTION TEMPERATURE VARIATIONS; Geza Sandhiyoga; 72 pages; Departement of Mechanical Engineering Faculty of Engineering. University of Jember.

The application of biodiesel nyamplung oil in diesel engines is still depleted, because of the higher viscosity and density compared to diesel oil. This increases the performance of diesel engines that are not optimal. One way to reduce the viscosity and density of the material to be the same as diesel oil. This study studies the spray characteristics of a biodiesel-diesel mixture against the appropriate fuel temperature, to be applied to a direct injection engine. The research method uses a temperature variation of 70° C, 90° C and 110° C with variations in the composition of the B0 nyamplung fuel oil (100% diesel oil), B20 (20% nyamplung biodiesel and 80% diesel oil), B30 (30% nyamplung biodiesel and 30% nyamplung biodiesel and 70% diesel oil) and B100 (100% nyamplung biodiesel). From the testing that has been done the temperature test can affect the spray consisting of penetration of the spray tip, spray angle, and spray speed. The results of the spray characteristics of pure biodiesel fuel or B0 have the best spray characteristics with a spray tip penetration of 123.44 mm, a spray angle of 11.22° and a spray speed of 32.07 mm / ms.

PRAKATA

Puji Syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena hanya dengan rahmat-Nyalah penulis akhirnya bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Analisis karakteristik spray biodiesel dan campurannya dengan variasi temperatur injeksi*” ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Dalam proses penyusunan dan penelitian skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari beberapa pihak. Oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Ayahanda Slamet Herman Subagyo dan Ibunda Noor Aina yang telah memberikan doa dan motivasi serta dukungan baik secara materil maupun non materil
2. Bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T. dan Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Qoryah ST., M.T., selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dengan penuh kesabaran dan keikhlasan, serta meluangkan waktu, pikiran, motivasi, dan saran kepada penulis selama penyusunan dan penelitian skripsi ini.
3. Bapak Yuni Hermawan S.T., M.T dan Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan ,MSc., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu serta motivasi kepada penulis.
5. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.
6. Intan Ismawati HR yang telah memberikan semangat dan motivasi terhadap penulis serta memberikan bantuan kepada penulis.

7. Teman-teman seperjuangan biodiesel *spray team* Tanu Alifudi Dany S., Putra Barru Sanjaya, M. Faiz Firdausi yang telah meluangkan waktu serta tenaga sehingga penulis mendapat pengalaman beserta ilmu baru
8. Teman-teman seperjuangan kepala departemen himpunan mahasiswa mesin masa bakti 2019 Shandy Novian D., Silfia Nur Choiroh, Mazuda Perdana P., Putri Nur Hidayah, M. Fikar Nazary, Ali Aqsho Hudzaifi, Majid Teguh Pamuji, Rury Amalia Putri, Vito Mironda, Herninda Ayu M.S. yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
9. Saudara seperjuangan Teknik Mesin Angkatan 2016 atau M18 yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
10. Teman-teman tempat beradu pikiran, kebahagiaan dan duka Fachrul Rozi D., Ahmad Kurniawan, Dimas Dwi Syahputra, Nopek, Reza Marinanda, Ahmad Mifhtahul Royan, Rosyid, Sandy tole, Kevin, Awang yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

Skripsi ini disusun berdasarkan hasil data yang diperoleh dari studi lapangan dan literatur. Apabila terhadap kekurangan terhadap skripsi ini, penulis senantiasa untuk menerima kritik dan saran dalam upaya penyusunan skripsi ini.

Jember, 29 Juli 2020

Penulis

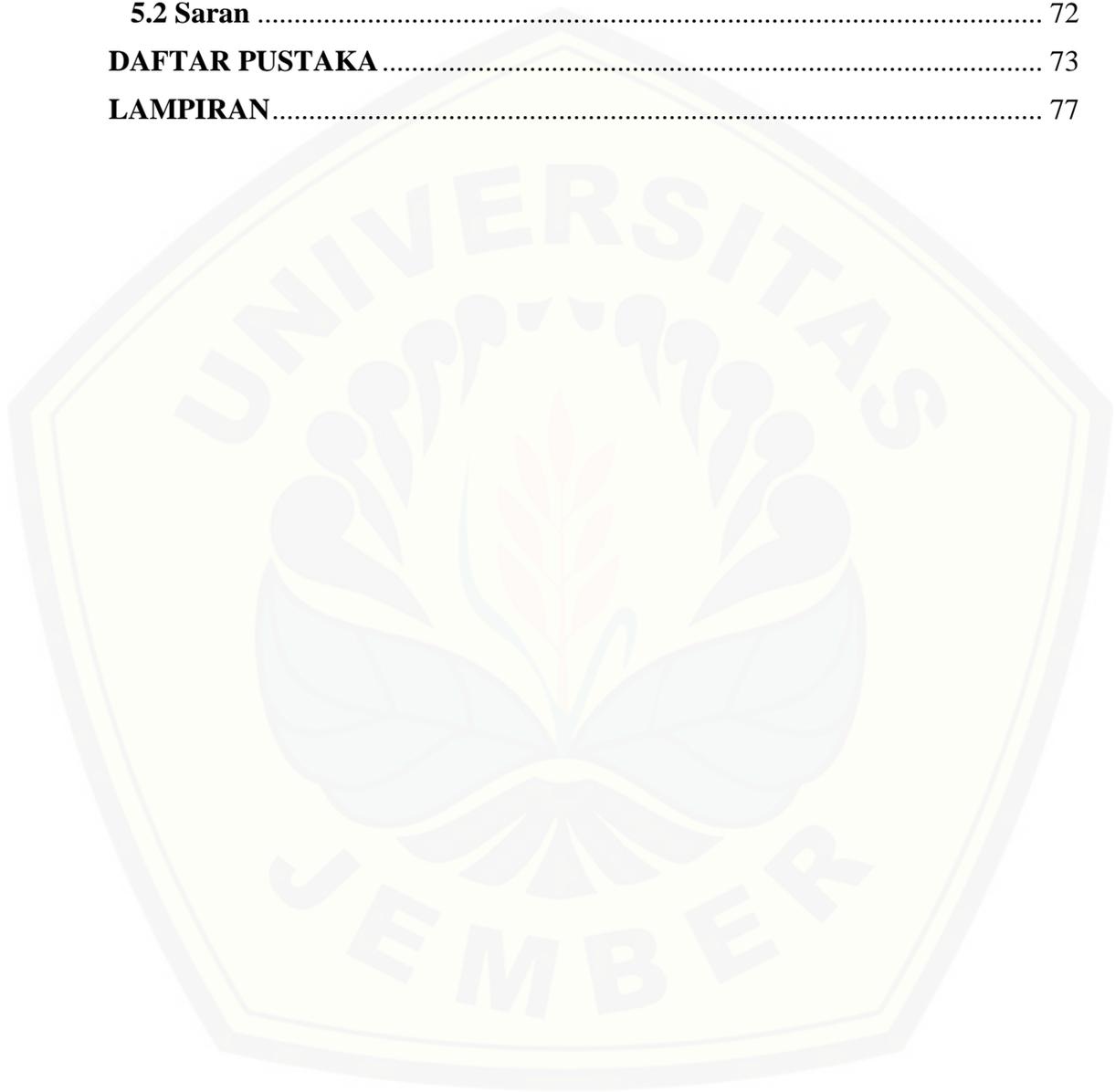
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
PERSEMBAHAN	ii
MOTTO	iii
PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBING	v
PENGESAHAN	vi
RINGKASAN	vii
SUMMARY	viii
PRAKATA	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	4
1.3 Tujuan	5
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah	5
BAB 2. LANDASAN TEORI	6
2.1 Biodiesel	6
2.1.1 Parameter biodiesel pada mesin diesel	7
2.1.2 Kelebihan biodiesel sebagai bahan bakar diesel.....	12
2.1.3 Kekurangan biodiesel sebagai bahan bakar diesel.....	16
2.2 Tanaman Nyamplung	18
2.3 Minyak Nyamplung	20
2.4 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung	21
2.4.1 Persiapan biji	21
2.4.2 Ekstraksi Bahan	21

2.4.3 Proses <i>Degumming</i>	22
2.4.4 Proses Esterifikasi.....	22
2.4.5 Proses Transesterifikasi	23
2.4.6 Proses <i>Post-treatment</i>	23
2.5 Campuran Biodiesel Minyak Nyamplung dengan Minyak Solar.....	23
2.6 Nosel Injektor	24
2.6.1 Cara Kerja Nosel Injektor.....	25
2.6.2 Nosel tipe lubang (<i>Hole type nozzle</i>).....	26
2.7 Karakteristik <i>Spray</i>	27
2.7.1 Karakteristik Makroskopis <i>Spray</i>	27
2.7.2 <i>Spray Tip Penetration</i>	28
2.7.3 <i>Spray Angle</i>	29
2.7.4 Perubahan phase cairan <i>spray</i>	30
2.8 Pengaruh temperatur terhadap <i>spray</i>	30
2.8.1 Pengaruh temperatur terhadap <i>spray angle</i>	30
2.9 Pengaruh biodiesel terhadap <i>spray</i>	32
2.9.1 Pengaruh biodiesel terhadap <i>spray tip penetration</i>	33
2.9.2 Pengaruh biodiesel terhadap <i>spray angle</i>	34
2.10 Hipotesa.....	35
BAB 3. METODE PENELITIAN	37
3.1 Metode Penelitian.....	37
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	37
3.3 Alat dan Bahan Penelitian.....	37
3.3.1 Alat pembuatan biodiesel	37
3.3.2 Bahan Pembuatan Biodiesel	38
3.3.3 Alat Pembuatan Ruang Pengujian	38
3.3.4 Bahan Pembuatan Ruang Pengujian.....	38
3.3.5 Alat pengujian karakteristik <i>spray</i>	39
3.3.6 Bahan pengujian karakteristik <i>spray</i>	39
3.4 Variabel Penelitian.....	40
3.4.1 Variabel Bebas.....	40
3.4.2 Variabel Terikat.....	40

3.4.3 Variabel Kontrol	40
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data	41
3.6 Pengamatan yang Dilakukan	41
3.7 Tahap Penelitian	42
3.7.1 Tahap Pembuatan <i>Heater</i>	42
3.7.2 Tahap Penyiapan Biodiesel Minyak Nyamplung	42
3.7.3 Tahap Penyampuran Biodiesel dan Minyak Diesel.....	42
3.7.4 Tahap Pengujian Karakteristik Biodiesel	42
3.7.5 Tahap Pembuatan Ruang Pengujian.....	43
3.7.6 Tahap Pembuatan Alat Penguji Karakteristik <i>Spray</i>	44
3.8 Tahap Pengujian	45
3.8.1 Tahap Pengukuran Viskositas Bahan Bakar	45
3.8.2 Tahap Pengukuran Densitas Bahan Bakar	47
3.8.3 Tahap Pengujian Karakteristik <i>spray</i>	47
3.9 Rekap Pengambilan Data	49
3.9.1 Pengambilan Data <i>Spray Tip Penetration</i>	49
3.9.2 Pengambilan Data <i>Spray Angle</i>	52
3.9.2 Pengambilan Data <i>Velocity of Spray</i>	53
3.10 Diagram Alir.....	55
3.11 Jadwal Kegiatan Penelitian.....	57
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
4.1 Data Hasil Penelitian	58
4.1.1 Karakteristik Bahan Bakar.....	58
4.1.2 Densitas Bahan Bakar.....	59
4.1.3 Viskositas Bahan Bakar.....	60
4.1.4 <i>Spray Tip Penetration</i>	60
4.1.5 <i>Spray Angle</i>	61
4.1.6 <i>Velocity of Spray</i>	62
4.2 Analisis Data	64
4.2.1 Densitas Bahan Bakar.....	64
4.2.2 Viskositas Bahan Bakar.....	65
4.2.3 <i>Spray Tip Penetration</i>	66

4.2.5 <i>Spray Angle</i>	68
4.2.5 <i>Velocity of Spray</i>	69
BAB 5. PENUTUP	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	77



DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Hasil pengujian nilai kalor bahan bakar	11
2.2 Standar mutu biodiesel	12
2.3 Perbandingan sifat kimia dan HHV antara bahan bakar biodiesel dengan solar	14
2.4 Perubahan rata-rata massa emisi dari mesin diesel menggunakan campuran biodiesel (%)	15
2.5 Variasi nama <i>Calophyllum inophyllum</i> L.....	18
2.6 Sifat fisika dan kimia <i>C. Inophyllum</i>	21
3.1 Campuran bahan bakar biodiesel dan minyak diesel	42
3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian	57
4.1 Data hasil pengujian karakteristik biodiesel	58
4.2 Data Pengukuran Densitas Bahan Bakar Rata-Rata.....	59
4.3 Data Pengukuran Viskositas Bahan Bakar Rata-Rata.....	60
4.4 Data Pengukuran <i>Spray Tip Penetration</i> Rata-Rata	61
4.5 Data Pengukuran <i>Spray Angle</i> Rata-Rata	62
4.6 Data Pengukuran <i>Velocity of Spray</i> Rata Rata.....	63

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Proses transesterifikasi dari trigliserida	7
2.2 Pengaruh temperatur terhadap viskositas bahan bakar	8
2.3 Pengaruh temperatur terhadap densitas bahan bakar	10
2.4 Dampak emisi dari mesin diesel pada biodiesel berbasis minyak nabati	15
2.5 Dampak emisi dari mesin diesel pada biodiesel berbasis minyak hewani	16
2.6 Peta persebaran dari <i>Calophyllum inophyllum L</i> diberbagai belahan dunia	18
2.7 Pohon dan Buah <i>Calophyllum inophyllum L</i>	19
2.8 Bagian bagian dari nosel injektor	26
2.9 Parameter fisik makroskopis <i>spray</i>	28
2.10 <i>Break up spray</i> bahan bakar	30
2.11 Karakteristik <i>spray</i> pada biodiesel minyak kelapa	31
2.12 Perbandingan <i>spray angle</i> pada campuran biodiesel pada variasi temperatur	32
2.13 Perbandingan <i>spray tip penetration</i> pada biodiesel minyak sawit, jelantah dan minyak solar	34
2.14 Grafik perbedaan <i>spray angle</i> pada variasi tekanan	35
3.1 Nosel R175/180.....	41
3.2 Desain ruang pengujian	43
3.3 Skema pengambilan data	45
3.4 <i>Thermocouple</i> pada <i>viscometer oswalt</i>	45
3.5 Aplikasi <i>free studio</i>	49
3.6 Opsi open pada <i>image-J</i>	50
3.7 Mengatur garis skala pada <i>image-J</i>	50
3.8 Mengatur skala pada <i>image-J</i>	51

3.9	Mengukur panjang pada aplikasi <i>image-J</i>	51
3.10	Pengambilan <i>spray angle</i>	52
3.11	Mengatur garis sudut pada aplikasi <i>image-J</i>	53
3.12	Mengukur sudut pada aplikasi <i>image-J</i>	53
3.13	Diagram alir penelitian penelitian	56
4.1	Variasi Komposisi Biodiesel	59
4.2	<i>Spray tip penetration</i>	61
4.3	<i>Spray angle</i>	62
4.4	<i>Velocity of spray</i> pada bahan bakar B20	63
4.5	Grafik pengaruh temperatur pemanasan terhadap densitas bahan bakar	64
4.6	Grafik pengaruh temperatur pemanasan terhadap viskositas bahan bakar .	65
4.7	Grafik Pengaruh temperatur pemanasan bahan bakar pada <i>spray tip penetration</i>	67
4.8	Grafik Pengaruh temperatur pemanasan bahan bakar pada <i>spray angle</i>	68
4.9	Grafik Pengaruh temperatur pemanasan bahan bakar pada <i>velocity of spray</i>	69

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Meningkatnya populasi dan modernisasi menyebabkan total konsumsi energi primer di dunia semakin meningkat dari hari ke hari. Tahun 2015, total konsumsi energi primer di dunia telah mencapai angka 150.000.000 Gw per jam dan akan diperkirakan meningkat sebesar 57 % pada tahun 2050. Peningkatan yang terjadi secara drastis ini memberikan pengaruh lebih banyaknya emisi gas rumah kaca dan masalah lingkungan yang lain. Saat ini, 80 % lebih dari total energi yang digunakan di dunia disediakan oleh bahan bakar fosil, dimana hal itu memberikan dampak besar terhadap kesehatan dan juga lingkungan (Hajjari dkk., 2017).

Sementara itu, selama beberapa dekade terakhir pasokan bahan bakar fosil telah menurun yang disebabkan oleh peningkatan permintaan energi di dunia. (EL-Sessy dkk., 2019). Penurunan deposit bahan bakar fosil dan dampak negatif dari pemanfaatannya terhadap lingkungan telah meningkatkan pengembangan bahan bakar alternatif, termasuk biodiesel. Biodiesel tidak mengandung senyawa belerang dan aromatik.

Nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) merupakan salah satu dari banyak tanaman di Indonesia yang berpotensi besar untuk menjadi bahan baku biodiesel karena kandungan minyak bijinya yang tinggi. Produktivitas benih *C. inophyllum* juga tinggi. Ini bisa mencapai 20 ton biji / hektar, lebih tinggi dari biji karet produktivitas (2 ton benih / hektar) dan produktivitas benih jarak (5 ton benih / hektar). Selain itu, *C. inophyllum* adalah tanaman yang tidak dapat dimakan, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan baku biodiesel tidak akan memotong dengan penyediaan makanan (Fadhlullah ,dkk. 2015).

Penggunaan biodiesel minyak nyamplung pada mesin diesel masih mengalami kendala, karena viskositas dan densitas lebih tinggi daripada minyak solar hal tersebut mengakibatkan kinerja dari mesin diesel tidak optimal (Wibawa, 2010). Misra dkk., (2010) menyimpulkan bahwa semakin tinggi viskositas campuran biodiesel menyebabkan atomisasi bahan bakar yang buruk, pembakaran

bahan bakar tidak sempurna, dan juga pengendapan karbon pada injektor sehingga terjadi pengotoran pada mesin. Dan disaat yang sama pada mesin diesel tipe injeksi langsung menyebabkan injektor tersumbat setelah beberapa jam beroperasi. Karena pembakaran yang tidak sempurna, sebagian bahan bakar mengalir menuruni dinding silinder dan mencairkan oli pelumas sehingga terjadi pengentalan minyak pelumas.

Kekurangan penggunaan bahan bakar biodiesel juga masih memiliki beberapa kekurangan yang lain, beberapa kesimpulan dari banyak penelitian yang berkaitan dengan penggunaan bahan bakar biodiesel seperti yang terdapat pada *The Biodiesel Handbook* oleh Knothe Gerhard, dkk. (2004) adalah nilai viskositas dan densitas biodiesel lebih tinggi jika dibandingkan dengan minyak diesel yang membuat atomisasi menjadi kurang baik sehingga pembakaran menjadi tidak sempurna, akibatnya daya yang dihasilkan menjadi turun. Hal tersebut membuat nilai *Sfc* (*Spesific Fuel Consumption*) cenderung meningkat

Pembakaran yang tidak sempurna dan atomisasi sangat dipengaruhi oleh tingkat homogenitas campuran udara dan bahan bakar. Tingkat homogenitas campuran membuat bahan bakar yang menguap, terkompresi di udara untuk mencapai pengapian secara cepat dan memiliki campuran paling lengkap. Oleh karena itu, karakteristik *spray* injeksi bahan bakar juga memainkan peran utama dalam proses pembakaran, dimana sejumlah besar butiran bahan bakar diuapkan untuk pencampuran dan pembakaran yang lebih baik (Hoang, 2019).

Karakteristik *spray* injeksi bahan bakar, juga dipengaruhi dari viskositas dan densitas bahan bakar. Sulitnya memisahkan partikel bahan bakar selama proses injeksi menyebabkan hanya sedikit udara yang dapat masuk ke dalam kabut. Pada Penelitian Wang dkk., (2010) menunjukkan bahwa, *spray tip penetration* yang lebih panjang, diameter butiran *spray* rata-rata yang lebih besar, *spray angle* yang semakin menyempit, dan volume *spray* yang lebih kecil semakin meningkat dengan rasio campuran bahan bakar biodiesel. Hal tersebut dikarenakan viskositas dan tegangan permukaannya yang tinggi. Semakin tinggi *spray tip penetration* dan semakin kecilnya *spray angle* membuat atomisasi *spray* yang buruk (Kuti dkk., 2010).

Untuk dapat menurunkan viskositas dan densitas biodiesel, diperlukan suatu *treatment* terhadap biodiesel. *Treatment* yang dapat dilakukan terhadap biodiesel adalah dengan pemanasan terhadap biodiesel sampai temperatur tertentu yang akan menyebabkan penurunan densitas dan viskositas bahan bakar tersebut sebelum masuk ke dalam pompa tekanan tinggi, sehingga ketika diinjeksikan kedalam ruang bakar akan membentuk butiran-butiran yang lebih halus yang akan menyebabkan proses campuran bahan bakar dan udara lebih homogen. Disamping itu, dengan temperatur yang lebih tinggi membuat biodiesel menjadi lebih mudah terbakar karena *flash point* yang menurun, sehingga dapat mengimbangi singkatnya waktu yang tersedia untuk pembakaran pada putaran tinggi (Priyanto dan Sudarmanta, 2015). Kondisi bahan bakar yang dipanaskan juga ternyata mempengaruhi kualitas atomisasi *spray*, ditemukan bahwa pemanasan awal bahan bakar biodiesel hingga 60°C dapat menghasilkan efisiensi mesin diesel yang lebih baik dan mengurangi konsumsi bahan bakar (Anies, dkk. 2019).

Sejumlah penelitian tentang permodelan karakteristik *spray* telah dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur dan biodiesel, menurut Hoang dkk., (2019) tentang studi eksperimental pada karakteristik *spray* dan emisi diesel mesin berbahan bakar *bio-oil preheated* dan solar menunjukkan bahwa suhu pemanasan minyak kelapa yang paling cocok adalah 105°C (PSCO105). Pada suhu ini, beberapa sifat fisik minyak kelapa seperti viskositas kinematik, kepadatan, dan tegangan permukaan sama dengan bahan bakar solar, meskipun angka *cetane* dan nilai kalor lebih rendah dari bahan bakar solar. Mengenai karakteristik semprotan, penetrasi semprotan (S) dari PSCO105 1,5% lebih tinggi, dan sudut kerucut (F) 10,5% lebih kecil dibandingkan dengan bahan bakar diesel fosil.

Menurut Priyanto dan Sudarmanta (2015), tentang studi eksperimental pengaruh temperatur pemanasan bahan bakar biodiesel *palm oil* (B100) terhadap unjuk kerja mesin diesel sistem injeksi langsung diamond tipe Di800 menunjukkan bahwa kenaikan temperatur pemanasan biodiesel dapat memperbaiki karakteristik *spray* bahan bakar berupa *spray tip penetration* yang semakin pendek dan *spray angle* yang lebih besar jika dibandingkan dengan *spray* biodiesel pada temperatur 27 °C. Dan dengan kenaikan temperatur biodiesel terdapat penurunan nilai

viskositas, densitas, dan tegangan permukaan dengan variasi temperatur 27 °C, 40 °C, 55 °C, dan 70 °C viskositasnya 4,2 cSt, 4 cSt, 3,7 cSt, dan 3,5 cSt kemudian densitas 866 kg/m³, 854 kg/m³, 845 kg/m³, dan 833 kg/m³, dan untuk tegangan permukaan adalah 71,4 dyne/cm, 65,8 dyne/cm, 64,9 dan 61,8 dyne/cm.

Menurut Anies dkk., (2019) pemanasan suhu biodiesel juga memainkan peranan penting pada sistem bahan bakar, semakin tinggi campuran biodiesel membutuhkan pemanasan suhu biodiesel yang semakin tinggi untuk atomisasi yang lebih baik pada proses injeksi. Dari hasil penelitian tersebut juga menunjukkan kebutuhan pemanasan suhu biodiesel pada pompa injeksi dan injektor berbeda. Pada B100 dari minyak jelantah temperatur yang menghasilkan efisiensi pompa dan semprotan bahan bakar yang hampir identik dengan bahan bakar diesel adalah 50°C untuk pompa injeksi dan 70°C untuk injektor.

Dari hasil penelitian pendahuluan, maka selanjutnya perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang uji pengaruh temperatur dan variasi campuran biodiesel nyamplung terhadap karakteristik semprotan dengan sistem injeksi langsung. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan pencampuran biodiesel nyamplung pada minyak diesel terhadap karakteristik semprotan yang dihasilkan.

1.2 Rumusan masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap viskositas dan densitas bahan bakar biodiesel dan campurannya
2. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap *spray tip penetration* bahan bakar biodiesel dan campurannya
3. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap *spray angle* bahan bakar biodiesel dan campurannya
4. Bagaimana pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap *velocity of spray* bahan bakar biodiesel dan campurannya

1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengetahui pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap viskositas dan densitas bahan bakar biodiesel dan campurannya.
2. Mengetahui pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap *spray tip penetration* bahan bakar biodiesel dan campurannya.
3. Mengetahui pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap *spray angle* bahan bakar biodiesel dan campurannya.
4. Mengetahui pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap *velocity of spray* bahan bakar biodiesel dan campurannya

1.4 Manfaat

Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui dan mengaplikasikan pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap viskositas dan densitas bahan bakar biodiesel dan campurannya.
2. Mengetahui dan mengaplikasikan variasi temperatur pemanasan terhadap *spray tip penetration* bahan bakar biodiesel dan campurannya.
3. Mengetahui dan mengaplikasikan variasi temperatur pemanasan terhadap *spray angle* bahan bakar biodiesel dan campurannya.
4. Mengetahui pengaruh variasi temperatur pemanasan terhadap *velocity of spray* bahan bakar biodiesel dan campurannya.

1.5 Batasan Masalah

Adapun Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Kondisi udara dalam keadaan ideal.
2. Suhu pada ruang pengujian diabaikan.

BAB 2. LANDASAN TEORI

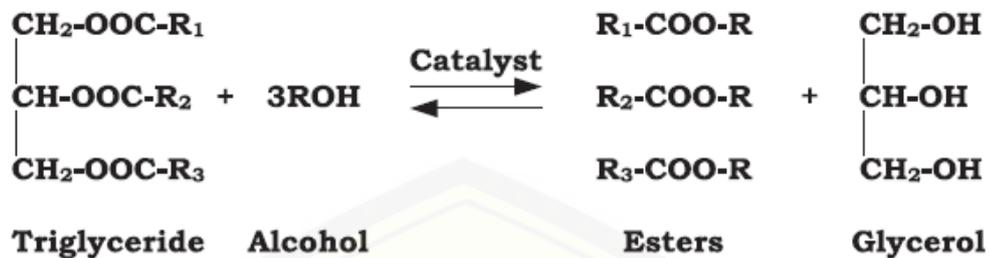
2.1 Biodiesel

Nama biodiesel telah disetujui oleh Departement of Energi (DOE), *Enviromental Protection Agency* (EPA) dan *American Society of Testing Material* (ASTM), biodiesel merupakan bahan bakar alternatif menjanjikan yang dapat diperoleh dari minyak tumbuhan, lemak binatang atau minyak bekas melalui esterifikasi dengan alkohol. Biodiesel dapat digunakan tanpa modifikasi ulang mesin diesel. Biodiesel juga dapat ditulis dengan B100, yang menunjukkan bahwa biodiesel tersebut murni 100 % monoalkil ester. Karena bahan bakunya berasal dari minyak tumbuhan atau lemak hewan, biodiesel digolongkan sebagai bahan bakar yang dapat diperbaharui. Pada dasarnya, semua minyak nabati atau lemak hewan dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk mendapatkan bahan baku alternatif yang dapat dikembangkan secara luas sebagai bahan baku pembuatan biodiesel. Biodiesel bisa berasal dari minyak sawit, minyak jarak, minyak kedelai, dan minyak jelantah (Lestari, 2017).

Minyak nabati dan lemak hewan sebagai bahan bakar mesin alternatif sangat kental dengan viskositas mulai dari 10 hingga 17 kali lebih besar dari bahan bakar diesel. Oleh karena itu, biodiesel diproduksi dengan proses transesterifikasi minyak atau lemak induk untuk mencapai viskositas yang mendekati dari bahan bakar diesel. Transesterifikasi merupakan konversi kimia dari minyak menjadi ester dengan kadar lemak yang sesuai (biodiesel). Tujuan dari proses transesterifikasi adalah untuk menurunkan kadar viskositas dari minyak (Demirbas, 2007).

Transesterifikasi merupakan proses sederhana yang melibatkan suhu dan tekanan rendah untuk menghasilkan hasil konversi dengan efisiensi yang tinggi. Sifat biodiesel hasil dari proses tersebut mendekati dengan sifat bahan bakar minyak solar. Transesterifikasi melibatkan reaksi kimia trigliserida (minyak/lemak) dengan alkohol untuk membentuk ester dan gliserol. Rincian proses reaksi kimia transesterifikasi ditunjukkan pada Gambar 2.1, dimana katalis digunakan untuk

meningkatkan hasil konversi dan tingkat respon proses (Mohd Noor, dkk. 2018).



Gambar 2.1 Proses transesterifikasi dari trigliseda (Mohd Noor dkk., 2018)

2.1.1 Parameter biodiesel pada mesin diesel

Beberapa karakteristik bahan bakar mesin diesel yang paling utama diantaranya adalah berat jenis (*specific gravity*), viskositas (*viscosity*), nilai kalori (*caloric value*), kandungan sulfur (*sulfur content*), daya pelumasan, titik tuang (*pour point*), titik nyala (*flash point*), angka *cetane* (*cetane number*), kandungan arang dan kadar abu (*ash content*) (Ahmad, 2017).

Agar bahan bakar yang diujikan pada mesin diesel memiliki kinerja yang baik, maka diperlukan spesifikasi bahan bakar yang sesuai dengan standar Dirjen Migas sehingga analisa masih dalam range yang dianjurkan. Karakteristik umum yang perlu diketahui untuk menilai bahan bakar mesin diesel antara lain sebagai berikut (Ahmad, 2017) :

1. Viskositas

Viskositas atau kekentalan dari suatu cairan adalah salah satu sifat cairan yang menyatakan besarnya perlawanan atau hambatan dari suatu bahan bakar cair untuk mengalir atau ukuran besarnya tahanan geser dari bahan cair. Viskositas terjadi terutama karena adanya interaksi antara molekul molekul cairan. Viskositas mempengaruhi derajat pemanasan awal yang diperlukan untuk *handling*, penyimpanan, dan atomisasi yang memuaskan.

Pada suatu padatan, resistensi terhadap deformasi adalah modulus elastisitas. Modulus geser suatu padatan elastik dinyatakan sebagai :

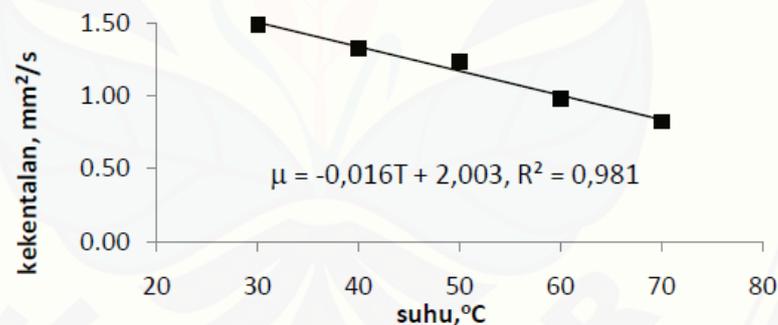
$$\text{modulus geser} = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{regangan geser}} \dots\dots\dots(2.1)$$

Seperti halnya modulus geser padatan elastik adalah properti padatan yang menghubungkan tegangan geser dengan regangan geser, terdapat suatu

hubungan yang serupa dengan persamaan diatas yang menghubungkan tegangan geser pada aliran paralel, laminer dengan properties fluida. Hubungan ini dikenal dengan hukuman viskositas newton.

$$\text{viskositas} = \frac{\text{tegangan geser}}{\text{laju regangan geser}} \dots \dots \dots (2.2)$$

Sehingga dapat dikatakan bahwa kekentalan suatu fluida adalah sifat fisik suatu fluida yang merupakan ukuran resistensinya terhadap laju deformasi apabila fluida dikenai gaya-gaya geser. Sebagai properties fluida, viskositas bergantung pada suhu, komposisi, dan tekanan fluida (Sunandar, 2010).. Seperti salah satunya ditunjukkan pada Gambar 2.2 Merupakan hasil penelitian mengenai pengaruh temperatur terhadap viskositas minyak tanah oleh Sunandar (2010). Menurut Sunandar (2010), kenaikan temperatur akan mengakibatkan turunnya ikatan antar molekul, yang secara langsung berpengaruh terhadap tegangan geser dari fluida tersebut. Dengan bertambah kecilnya tegangan geser, sesuai dengan Persamaan 2.2, angka viskositas menjadi lebih kecil.



Gambar 2.2 Pengaruh temperatur terhadap viskositas bahan bakar
(Sunandar, 2010)

Viskositas bahan bakar minyak sangat penting, terutama bagi mesin-mesin diesel maupun ketel-ketel uap, karena viskositas minyak sangat berkaitan dengan suplai konsumsi bahan bakar ke dalam ruang bakar dan juga sangat berpengaruh terhadap kesempurnaan proses pengabutan (*atomizing*) bahan bakar melalui injektor (Ahmad, 2017).

Jika viskositas terlalu tinggi maka akan menyulitkan dalam pemompaan dan sulit untuk diinjeksikan karena bahan bakar akan semakin kental dan

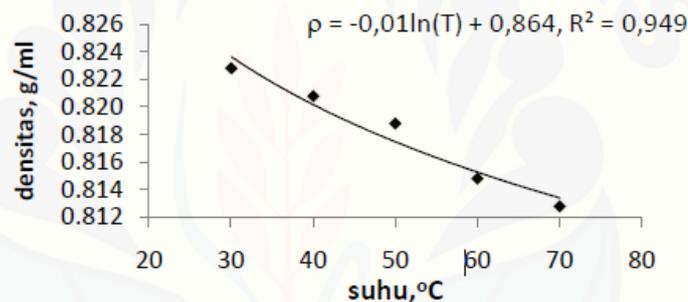
sulit mengalir, sehingga atomisasi bahan bakar menjadi jelek. Sedangkan untuk bahan bakar yang mempunyai viskositas rendah dapat menimbulkan gesekan (*abrasive*) dalam ruang bakar karena gerakan piston dalam ruang bakar membutuhkan pelumasan dari bahan bakar. Secara, logika viskositas yang lebih tinggi memiliki tingkat pelumasan yang lebih baik (Ahmad, 2017).

Maka dari itu, solar sebagai bahan bakar mesin diesel diusahakan memiliki nilai viskositas yang tidak terlalu tinggi, secara umum bahan bakar solar memiliki viskositas yang relatif rendah, karena dengan viskositas maka bahan bakar akan lebih mudah teratomisasi pada saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar dan tidak mengalami hambatan di dalam sistem pompa dan injeksi. Akan tetapi nilai viskositasnya juga tidak boleh rendah, karena akan menyebabkan panas berlebihan yang ditimbulkan oleh kurangnya pelumasan pada dinding silinder dan piston sehingga membuat komponen mesin menjadi cepat aus. Oleh sebab inilah karakteristik ini sangat penting karena mempengaruhi kinerja injektor pada mesin diesel (Ahmad, 2017).

2. Densitas

Adalah perbandingan antara massa bahan bakar dengan volume bahan bakar. Secara umum, densitas untuk padatan jauh lebih besar dari densitas cairan dan densitas gas. Perbedaan ini disebabkan akibat jarak antar molekul padatan jauh lebih rapat dibandingkan jarak molekul cairan dan gas (Sunandar, 2010). Densitas bahan bakar dipengaruhi oleh temperatur, dimana semakin tinggi temperatur, maka densitas semakin turun dan sebaliknya (Wibawa, 2015).

Hal ini dibuktikan dengan hasil penelitian dari Sunandar (2010), mengenai pengujian densitas minyak tanah yang mengalami penurunan seperti tampak pada Gambar 2.3. Sesuai dengan definisinya, densitas merupakan perbandingan massa suatu materi dalam hal ini fluida terhadap volumenya. Kenaikan suhu mengakibatkan bergesernya jarak molekul dalam minyak tanah menjadi lebih besar, sehingga akibatnya bertambah jarak antar molekul, jumlah molekul yang mengisi satu satuan volume menjadi lebih kecil sedangkan volumenya menjadi lebih besar. Dengan bertambahnya besar volume maka merujuk pada persamaan densitas adalah perbandingan massa bahan bakar dengan volume bahan bakar, angka densitas menjadi lebih kecil.



Gambar 2.3 Pengaruh temperatur terhadap densitas bahan bakar (Sunandar, 2010).

3. Nilai kalor

Calorific value atau nilai kalor merupakan suatu angka yang menyatakan jumlah panas atau kalori yang dihasilkan dari proses pembakaran sejumlah tertentu bahan bakar dengan udara atau oksigen. Dari bahan bakar yang dibakar, nilai kalor yang terkandung akan diubah menjadi energy mekanik melalui kerja komponen mesin. Nilai kalor dinyatakan dalam 2 ukuran besaran, yaitu nilai kalor atas, NKA (jika air hasil pembakaran dalam phase cair) dan nilai kalor bawah, NKB (jika air hasil pembakaran dalam phase uap) (Ahmad, 2017).

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Ariani, dkk (2017), mengenai pengujian nilai kalor minyak diesel, B5, B10, B15, dan B20 menunjukkan hasil nilai kalor tertinggi terdapat pada minyak diesel sebesar

43142,47 kJ/kg. Dan nilai kalor paling rendah terdapat pada bahan bakar B20 yaitu 36818,92 kJ/kg. Nilai kalor bahan bakar menunjukkan energi yang dihasilkan pada saat proses pembakaran bahan bakar per satuan massanya dimana nilai kalor dipengaruhi oleh komposisi penyusun bahan bakar tersebut. Semakin tinggi konsentrasi biodiesel didalam campuran diesel-biodiesel maka semakin rendah nilai kalor bahan bakar tersebut. Nilai kalor bahan bakar B20 paling rendah disebabkan karena meningkatnya kadar oksigen dalam stuktur bahan bakar tersebut. Sehingga untuk mendapatkan jumlah energi yang sama maka jumlah B20 yang diperlukan menjadi lebih besar. Berikut merupakan Tabel 2.1 hasil pengujian nilai kalor bahan bakar oleh Ariani, dkk.(2017).

Tabel 2.1 Hasil pengujian nilai kalor bahan bakar (Ariani dkk., 2017).

Bahan Bakar	Nilai Kalor (kJ/kg)
Minyak diesel	43142.47
B5	41230.7
B10	40201.29
B15	39024.81
B20	36.818.92

4. Titik Nyala Bahan bakar (*Flash Point*)

Titik nyala suatu bahan bakar adalah suhu terendah dimana bahan bakar dapat menyala pada saat dipanaskan, uap yang bercampur dengan udara dari hasil pemanasan tersebut akan menyala bila diberikan api kecil berupa kilatan api. Hal ini penting diketahui untuk mengatasi masalah yang berkaitan dengan keamanan pada saat penyimpanan dan penanganan bahan bakar. Titik nyala sebaiknya harus cukup tinggi untuk menghindari bahaya kebakaran pada suhu *ambient* yang normal. Titik nyala ini bisa digunakan sebagai salah satu indikasi bilamana bahan bakar tercampur dengan fraksi-fraksi ringan dari suatu hidrokarbon, dimana bila bahan bakar tercampur dengan fraksi ringan seperti *kerosene*, *wash solvent* maka kecenderungan angka *flash point* akan semakin turun (Ahmad, 2017).

Biodiesel mempunyai *flash point* lebih tinggi daripada minyak diesel, sehingga tidak mudah terbakar. Disamping itu biodiesel tidak mengandung sulfur dan senyawa benzene yang karsinogenik sehingga biodiesel merupakan bahan bakar yang lebih bersih dan lebih mudah ditangani dibandingkan dengan minyak diesel. Pada penelitian terdahulu oleh Djamin dan Wirawan (2010) mengenai pengaruh komposisi biodiesel terhadap kinerja mesin dan emisi gas buang menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai *flash point* akan berpengaruh pada kadar CO dan No_x yang semakin rendah.

Karakteristik mutu bahan bakar biodiesel berdasarkan standar pengujian SNI 7182:2015 dapat dilihat pada Tabel 2.2

Tabel 2.2 Standar mutu biodiesel (Sumber : SNI 7182:2015)

Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan	Metode Uji
Densitas/ jenis	massa Kg/m ³ (40°C)	850-890	ASTM D 1298
Viskositas	cSt (40°C)	2,3 – 6,0	ASTM D 445
Nilai Kalor	Cal/g	-	-
<i>Flash point</i>	°C	Min 100	ASTM D 3588

2.1.2 Kelebihan biodiesel sebagai bahan bakar diesel

Biodiesel memiliki tingkat polusi yang lebih rendah dari pada solar dan dapat digunakan pada motor diesel tanpa modifikasi sedikitpun. Biodiesel dianggap tidak menyumbang pemanasan global sebanyak bahan bakar fosil. Mesin diesel yang beroperasi dengan menggunakan mesin diesel yang menggunakan bahan bakar petroleum (Lestari, 2017). Beberapa kelebihan penggunaan biodiesel antara lain:

1. Biodiesel dapat diperbaharui dan ketersediannya

Biodiesel adalah satu satunya bahan bakar alternatif yang dengan sedikit konsentrasi pencampuran antara biodiesel dengan minyak solar dapat langsung digunakan pada motor diesel tanpa melakukan modifikasi. Biodiesel dapat disimpan dimana saja, ditempat minyak solar juga disimpan. Biodiesel dapat diproduksi dari dalam negeri dengan memanfaatkan minyak

dari biji kedelai, *rapeseed*, dan bunga matahari. Biodiesel aman untuk digunakan dan dibawa karena ramah lingkungan dan mempunyai titik nyala api yang tinggi jika dibandingkan dengan mesin diesel bahan bakar solar. Biodiesel dapat digunakan dengan tidak dicampur ataupun dicampur dengan minyak solar. Pada umumnya campurannya adalah 20% biodiesel dengan 80% minyak solar atau B20. Namun di Eropa terdapat peraturan yang mengatur campuran biodiesel maksimal 5.75 % (Dermibas, 2007).

2. Biodiesel memiliki efisiensi pembakaran yang tinggi

Kandungan biodiesel meningkatkan proses pembakaran dan mengurangi potensi oksidasi. Stuktural kandungan dari oksigen yang terkandung pada bahan bakar mampu meningkatkan efisiensi pembakaran karena tingkat homogenitas oksigen dengan bahan bakar selama proses pembakaran. Oleh karena itu efisiensi pembakarannya lebih tinggi dibandingkan bahan bakar solar. Biodiesel mengandung 11% dari berat oksigen dan tidak mengandung belerang. Penggunaan biodiesel juga bisa meningkatkan umur mesin diesel karena lebih mampu untuk melumasi mesin diesel dari pada bahan bakar solar (Dermibas,2007).

Nilai kalor atau *Higher High Values* (HHVS) dari biodiesel relatif lebih tinggi. HHVS dari biodiesel adalah 39-41 (MJ/Kg) sedikit lebih rendah dari bensin 46 (MJ/Kg), solar (43 MJ/Kg), tetapi lebih tinggi dari batu bara 32-37 (MJ/Kg) (Dermibas,2007). Pada tabel 2.3 menunjukkan perbandingan sifat bahan kimia dan HHV antara bahan bakar biodiesel dengan solar.

Tabel 2.3 Perbandingan sifat kimia dan HHV antara bahan bakar biodiesel dengan solar (Dermibas,2007).

Sifat kimia	Biodiesel	Solar
Ash (wt%)	0.0002-0.036	0.006-0.010
Sulfur (wt%)	0.006-0.020	0.020-0.050
Nitrogen (wt%)	0.002-0.007	0.0001-0.0003
Aromatik (vol%)	0	28-38
Bilangan iodin	65-156	0
HHV (MJ/Kg)	39.2-40.6	45.1-45.6

3. Biodiesel memiliki emisi yang rendah

Pembakaran pada biodiesel terbukti mampu mengurangi 90% lebih dari total hidrokarbon (HC) yang tidak terbakar dan 75-90% mengurangi hidromatik aromatik polisiklik atau *polycyclic aromatic hidrocarbons* (PAHs). Biodiesel mengurangi secara signifikan pada partikulat dan karbon monoksida dibandingkan minyak solar. Biodiesel juga memberikan sedikit peningkatan atau penurunan NO tergantung pada mesin dan prosedur pengujian tersebut (Dermibas, 2007).

Penggunaan biodiesel untuk mengurangi N₂O terbukti menarik untuk beberapa alasan. Biodiesel terdiri dari sedikit Nitrogen jika dibandingkan dengan minyak solar. Pengurangan N₂O sangat bergantung pada konsentrasi awal N₂O dan hanya sedikit bergantung pada temperatur, dimana peningkatan temperatur diikuti dengan pengurangan N₂O. Hal ini menghasilkan produksi N₂O yang lebih rendah dengan menggunakan biodiesel (Dermibas, 2007).

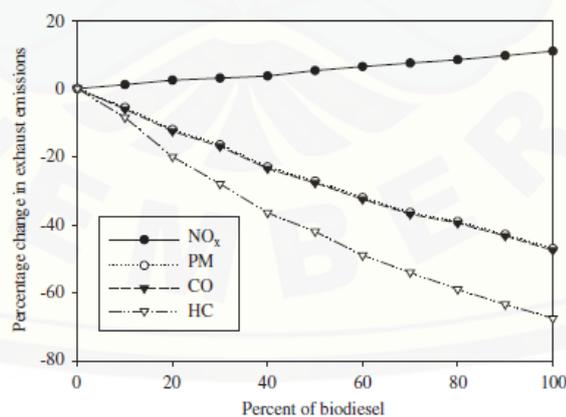
Salah satu campuran biodiesel yang paling umum terkandung adalah 20% biodiesel dan 80% solar. Untuk biodiesel dari bahan baku kedelai pada konsentrasi ini diperkirakan dampak emisi untuk perubahan NO_x, PM, HC dan CO adalah +20 %, -10.1%, -21.1 % dan -11.0 % (Dermibas, 2007). Penggunaan campuran biodiesel dan minyak solar lebih disarankan untuk mesin diesel, untuk menghindari beberapa masalah yang berkaitan dengan

penurunan daya, torsi dan peningkatan emisi NO_x yang semakin meningkat dengan kandungan biodiesel murni dalam campuran tersebut. (Schumacher dkk., 1996).

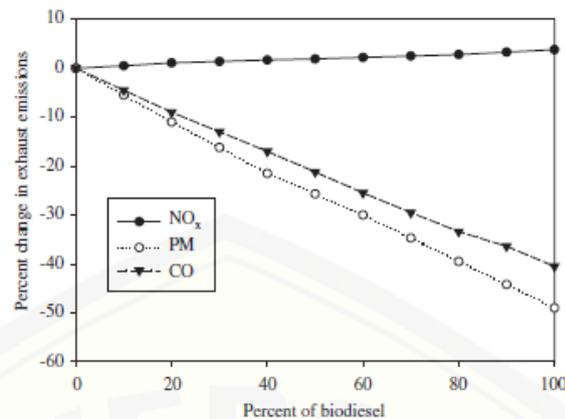
Emisi semua polutan kecuali NO_x tampak berkurang ketika biodiesel digunakan. Fakta bahwa emisi NO_x meningkat dengan meningkatnya konsentrasi biodiesel bisa menjadi satu kerugian (Dermibas, 2007). Pada tabel 2.4 menunjukkan perubahan rata-rata pada emisi dari mesin diesel menggunakan campuran biodiesel terhadap minyak solar. Pada gambar 2.4 menunjukkan dampak emisi rata-rata biodiesel berbasis minyak nabati terhadap motor bakar dan gambar 2.5 menunjukkan dampak rata-rata biodiesel berbasis minyak hewan terhadap mesin diesel.

Tabel 2.4 Perubahan rata-rata massa emisi dari mesin diesel menggunakan campuran biodiesel (%) (Morris dkk., 2007)

Campuran	CO	Nox	So2	Partikular	Senyawa organik mudah menguap
B20	-13.1	2.4	-20	-8.9	-17.9
B100	-42.7	13.2	100	-55.3	-63.2



Gambar 2.4 Dampak emisi dari mesin diesel pada biodiesel berbasis minyak nabati (Dermibas, 2007).



Gambar 2.5 Dampak emisi dari mesin diesel pada biodiesel berbasis minyak hewani (Dermibas, 2007).

4. Biodiesel dapat terbiodegradasi dan tidak beracun

Biodiesel dapat terbiodegradasi dan tidak beracun. Pada penelitian ditunjukkan bahwa biodiesel mempunyai biodegradasi 4 kali lebih cepat dari pada minyak solar hingga mencapai tingkat biodegradasi 98% dalam 3 minggu. Berkurangnya emisi, bau yang ramah, dapat terbiodegradasi dan aman digunakan membuat biodiesel sangat cocok di lingkungan laut dan daerah sensitif seperti taman nasional dan juga hutan (Joshua Tickell dan Kaia Tickell, 2003).

2.1.3 Kekurangan biodiesel sebagai bahan bakar diesel

Menurut Mohd Noor dkk., (2018) seiring dengan banyaknya manfaat yang dibahas sebelumnya, biodiesel juga memiliki beberapa batasan dan kekurangan sebagai berikut:

1. Viskositas dan densitas yang tinggi

Semakin tinggi nilai viskositas dan densitas dapat membuat masalah pada sistem injeksi. Penelitian yang dilakukan oleh Tesfa dkk., (2010) menunjukkan bahwa hal tersebut berdampak pada sistem kerja filter bahan bakar dan mengurangi efisiensi performa pompa bahan bakar pada mesin diesel.

2. Nilai kalori yang lebih rendah

Biodiesel memiliki nilai kalori yang lebih sedikit dari pada minyak solar.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa penggunaan biodiesel mengurangi tenaga dari mesin diesel. Jadi, hal ini akan menyebabkan penggunaan bahan bakar yang naik sekitar 2-10 % (Mohd Noor dkk., 2018).

3. Tingginya titik keruh dan titik tuang

Tingginya titik keruh dan titik tuang dikaitkan dengan biodiesel. Hal tersebut pada mesin dalam cuaca dingin dapat menyebabkan filter bahan bakar tersumbat dan saluran bahan bakar yang mengarah pada sistem mesin mengalami kerusakan (Mohd Noor dkk., 2018).

4. Tingginya NOx

Emisi NOx pada bahan bakar biodiesel berkisar 10% lebih tinggi dari minyak solar bergantung pada kondisi penyetelan mesin. Nitrogen oksida adalah salah satu gas yang ada dalam pembentukan ozon dan penyebab hujan asam (Mohd Noor dkk., 2018)..

5. Kompabilitas material

Biodiesel cenderung secara alami merusak material berbahan karet seperti selang dan juga seal. Proses oksidasi biodiesel juga dapat membuat efek pada beberapa material (Mohd Noor dkk., 2018)..

6. Mesin mulai dingin

Biodiesel memerlukan penanganan khusus dalam cuaca dingin. Broatch dkk. (2014) mengatakan bahwa mesin yang dioperasikan dengan biodiesel mengalami kesulitan untuk dinyalakan dan hal ini dapat diatasi dengan mencampur bahan bakar (Mohd Noor dkk., 2018)..

7. Kualitas yang bervariasi

Biodiesel mempunyai kualitas produk yang berbeda-beda dan bergantung pada bahan baku yang digunakan (Mohd Noor dkk., 2018)..

8. Persaingan sumber daya

Penggunaan bahan pangan manusia sebagai bahan baku biodiesel telah menyebabkan krisis pangan di beberapa negara (Mohd Noor dkk., 2018)..

9. Biaya yang tinggi

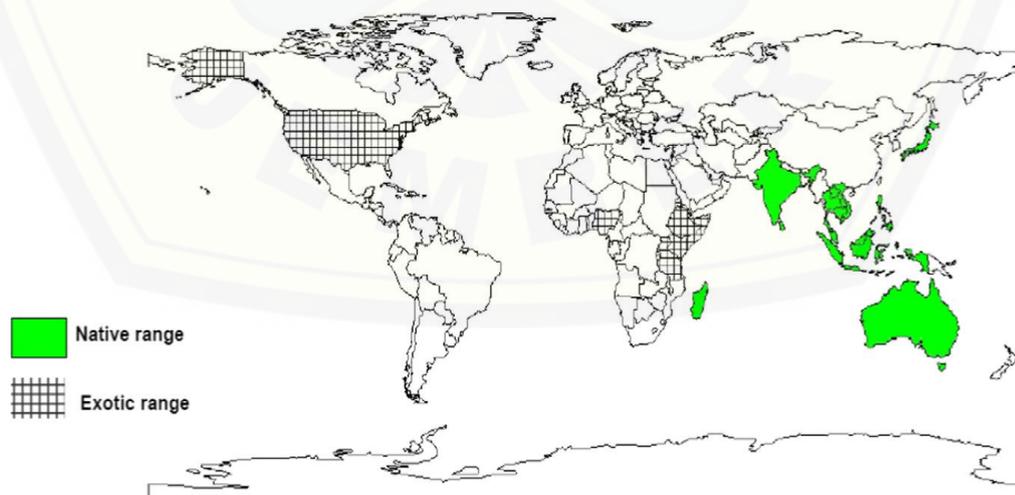
Saat ini, harga biodiesel lebih tinggi dibandingkan dengan minyak solar (Mohd Noor dkk., 2018)..

2.2 Tanaman Nyamplung

Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) adalah pohon yang termasuk dalam keluarga *Clusiaceae*, umumnya dikenal sebagai keluarga mangga remaja. Tanaman ini memiliki persebaran yang luas termasuk Afrika Timur, India, Asia Tenggara, Australia dan Selatan Pasifik. *Calophyllum inophyllum* L dikenal dengan variasi nama di berbagai negara belahan dunia. Berbagai variasi nama tersebut dapat di lihat pada tabel 2.5 (Sanjid A dkk., 2013).

Tabel 2.5 Variasi nama *Calophyllum inophyllum* L (Sanjid A dkk., 2013)

Negara	Variasi nama
Bangladesh	Punnang
Cambodia	Kchyong, Khitung
India	Poon, Polanga, Undi, Sultan champa
Indonesia	Bintangur, Nyamplung
Malaysia	Bintangor, Penanglaut
Thailand	Naowakan, Krathing, Saraphee
Philippines	Bitag, Butalau, Palomaria
Guam	Da'ok, Da'og
Tahiti	Tamanu



Gambar 2.6 Peta persebaran dari *Calophyllum inophyllum* L diberbagai belahan dunia (Atabani, 2014).

Pada Gambar 2.6 menunjukkan peta distribusi dari *C.inophyllum L* diberbagai belahan dunia. Seperti yang terlihat pada gambar, pohon ini banyak tersedia di India, Asia Tenggara, dan Australia. *Calophyllum inophyllum L* adalah pohon hijau yang tumbuh hingga mencapai 8-20 m. Tumbuh dengan baik di daerah dengan curah hujan 1000-5000 mm pada ketinggian dari 0 hingga 200 m. Di tingkat dunia, *Calophyllum inophyllum L* telah diperkirakan sebagai bahan baku biodiesel dengan tingkat produktif kedua, yaitu 11.7 Kg/Pohon atau 4680 kg/ha minyak setelah kelapa sawit yaitu 4000-6000 kg/ha minyak (Jain dkk., 2018).

Tingkat pertumbuhan pohon adalah 1 m (3,3 kaki) per tahun pada kondisi yang baik. Daunnya berat dan berkilau, mempunyai panjang 10-20 cm dan lebar 6-9 cm, berwarna hijau muda saat memiliki umur yang muda dan berwarna hijau tua saat memiliki umur yang tua. Buahnya berbentuk bulat dan tersusun rapi secara berkelompok. Warna awal buah dari pohon ini berwarna hijau kehitaman namun kemudian berubah menjadi hijau cerah dan saat dalam kondisi matang menjadi coklat tua dan berkeriput. Hasil panennya adalah 100-200 buah/kg, disetiap buah terdapat satu biji coklat besar berdiameter 2-4 cm (0.8–1.6 in). Menghasilkan 3000–10.000 biji permusimnya. Bijinya dikelilingi oleh cangkang dan lapisan tipis 3–5 mm. Gambar 2.7 menunjukkan pohon dan buah *Calophyllum inophyllum L* (Atabani, dkk. 2014).



Gambar 2.7 Pohon dan Buah *Calophyllum inophyllum L*. (Atabani, 2014)

2.3 Minyak Nyamplung

Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) adalah salah satu dari banyak tanaman di Indonesia yang berpotensi besar untuk menjadi bahan baku biodiesel karena kandungan minyak bijinya yang tinggi (Fadhlullah dkk., 2015). Minyak nyamplung berwarna hijau, tebal dan berbau tidak enak (Atabani, 2014). kandungan minyak biji Kandungan minyak biji dalam *C. inophyllum* berada dalam kisaran 40-75% (basis berat kering), lebih tinggi dari kandungan minyak biji jarak (40-60%) dan kadar minyak biji karet (40-50%). Produktivitas benih *C. inophyllum* juga tinggi. Ini bisa mencapai 20 ton biji / hektar, lebih tinggi dari biji karet produktivitas (2 ton benih / hektar) dan produktivitas benih jarak (5 ton benih / hektar). Selain itu, *C. inophyllum* adalah tanaman yang tidak dapat dimakan, sehingga pemanfaatannya sebagai bahan baku biodiesel tidak akan memotong dengan penyediaan makanan (Fadhlullah dkk., 2015).

Minyak *C. Inophyllum* terdiri dari asam lemak bebas atau *free fatty acid* (FFA), gliserida, *sterol*, *terpenoids steroids*, *calophyllolids*, *inophyllolids* dan asam *chalopyl*. Minyak *C. Inophyllum* mempunyai sifat yang hampir sama dengan minyak solar dan memenuhi beberapa parameter pembakaran pada mesin seperti pelepasan panas, penundaan pengapian, tekanan puncak dan waktu terjadinya tekanan puncak. Sifat fisika dan kimia *C. Inophyllum* ditunjukkan pada Tabel 2.6 (Arumugam dan Ponnusami, 2018).

Tabel 2.6 Sifat fisika dan kimia *C. Inophyllum*. (Arumugam dan Ponnusami, 2018).

Aspek 16°C -20°C	cair dan mengkristal
Aspek 25 °C	Cair
Bau	Sedikit dan berkarakter
Warna	Hijau
Berat jenis 25°C	0.91 - 0.96 Kg/l
Indeks bias 20 °C	1.463 - 1.495
Kelarutan pada air	Tidak bercampur
Kelarutan pada minyak	Bercampur
Kelarutan pada ethanol	Sebagian larut
Viskositas kinematik	39 cSt
Titik nyala	210°C
Titik api	118°C
Titik embun	-2.5 ± 1 °C
Titik tuang	-8±1 °C
Nilai Asam	6- 75 mg KOH/gm dari minyak
Asam lemak	4-29.66
Nilai saponifikasi	230
nilai iodine	97
Nilai kalori	38743-41.397 MJ/Kg
Kandungan minyak	75
pH pada 26°C	4.6± 5.0
Residu karbon	0.85± 0.05
Ash (wt%)	0.04± 0.05

2.4 Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung

2.4.1 Persiapan biji

Buah nyamplung dikumpulkan dan dihancurkan untuk memisahkan daging dan kulit buah, sehingga lapisan tipis (*shell*) juga ikut terpisah. Sampel biji kemudian dikeringkan dibawah sinah matahari selama tiga hari untuk mendapatkan bobot kering dengan kadar air 8-12 % (Leksono, 2014).

2.4.2 Ekstraksi Bahan

Pada umumnya, terdapat 2 alat yang digunakan untuk mengekstraksi biodiesel dari biji nyamplung yaitu, mesin press hidrolik dan mesin press *screw* (Leksono, 2014). Pengepresan biodiesel dilakukan untuk mengetahui rendemen

minyak yang terkandung pada biji nyamplung. Pada penelitian ini digunakan mesin press hidrolik dengan tekanan maksimum 5 ton.

2.4.3 Proses *Degumming*

Proses *degumming* adalah proses untuk memisahkan minyak dan gum dari minyak nyamplung atau *Crude Calophyllum Oil* (CCIO) yang diproduksi dari proses ekstraksi bahan. *Gum* terdiri dari fosfat, protein, karbohidrat, air residu, dan resin. Proses ini, *crude calophyllum oil* (CCIO) dipanaskan pada temperatur 60°C dan diaduk pada kecepatan 1000 rpm. Kemudian, 0.5 % volume dari H₃PO₄ (Konsentrasi 20%) dimasukkan pada CCIO yang dipanaskan. Proses selanjutnya kemudian diaduk dan ditahan pada suhu 60°C selama 30 menit. Setelah itu, minyak dipisahkan dari *gum* menggunakan *separator funnel* dengan cara didiamkan selama 4 jam, dimana *gum* akan mengendap dibawah permukaan karena perbedaan massa jenis (Ong, 2014).

2.4.4 Proses Esterifikasi

Proses esterifikasi digunakan ketika kadar asam lemak atau FFA dari minyak lebih dari 2%. Pada CCIO diketahui bahwa asam lemak sebesar 41.74 Mg KOH/g. Oleh karena itu, proses esterifikasi dilakukan dua kali untuk mengkonversi CCIO menjadi methyl ester *Calophyllum inophyllum oil* (CIME). Pada proses ini, 50 % (v/v minyak)(12:1 rasio methanol) dari methanol untuk campuran minyak dan 1% (v/v minyak) dari asam sulfat (H₂SO₄) ditambahkan dan dipanaskan pada suhu 60°C selama 3 jam dan diaduk dengan kecepatan 400 rpm di dalam gelas reaksi. Setelah selesai, hasilnya kemudian dituangkan pada *separator funnel* dan dipisahkan dari zat yang berlebih seperti alkohol, asam sulfat, dan kotoran yang berada pada diatas campuran tersebut. Kemudian setelah dipisahkan, campuran dimasukkan kedalam *Rotary Evaporator* dan dipanaskan pada suhu 95°C dalam keadaan vakum selama 1 jam untuk menghilangkan sisa methanol dan air pada hasil esterifikasi. Proses ini mengurangi nilai asam lemak pada minyak hingga mencapai 11 mg KOH/g (Atabani, 2014).

Proses ini kemudian diulangi dengan metode yang sama untuk mengurangi nilai asam lemak yang terkandung pada minyak dari 11 mg KOH/g hingga mencapai kurang dari 4 mg KOH/g. bagian bawah campuran kemudian dipisahkan

dan dimasukkan kedalam *rotary evaporator* dan dipanaskan pada suhu 95°C dalam kondisi vakum selama 1 jam untuk memisahkan methanol dan air pada minyak dari proses esterifikasi. Pada reaksi ini, asam lemak atau *free fatty acid* (FFA) telah dikonversi menjadi methyl ester (Atabani, 2014).

2.4.5 Proses Transesterifikasi

Pada proses ini, hasil esterifikasi minyak *Calophyllum inophyllum* pada langkah sebelumnya di reaksikan dengan 25% (v/vminyak) dari methanol dan 1% (m/m minyak) dari KOH, di jaga suhunya 60°C selama 2 jam dan di aduk dengan kecepatan 400 rpm. Pada proses ini, trigiliseda telah dikonversi menjadi methyl ester dan gliserol telah berubah menjadi produk. Setelah reaksi selesai kemudian biodiesel di pisahkan pada separator dan didiamkan selama 12 jam. Kotoran dan gliserol akan terendap di bagian bawah cairan (Atabani, 2014).

2.4.6 Proses *Post-treatment*

Methyl ester yang berada pada bagian atas dari proses sebelumnya kemudian di cuci untuk dihilangkan kotoran yang masuk dan kandungan gliserolnya. Pada proses ini, 50% (v/v minyak) dari air sulingan pada suhu 60°C di masukkan dari atas permukaan dan diaduk secara perlahan. Proses ini dilakukan secara berulang ulang hingga kadar pH dari air sulingan menjadi netral. Bagian bawah pada campuran tersebut kemudian dibuang dan bagian atas pada campuran dimasukkan pada gelas dan dikeringkan menggunakan Na₂SO₄. Dan selanjutnya dikeringkan menggunakan *rotary evaporator* untuk memastikan biodiesel bebas dari kandungan methanol dan air (Atabani, 2014).

2.5 Campuran Biodiesel Minyak Nyamplung dengan Minyak Solar

Presentase volume biodiesel minyak nyamplung atau *Calophyllum inophyllum Methyl Ester* (CIME) pada campuran biodiesel dengan minyak solar memiliki dampak besar pada sifat bahan bakar dan penerapannya pada mesin diesel. Penambahan CIME dengan minyak solar meningkatkan kandungan oksigen yang melekat, densitas dan viskositas, tetapi mengurangi keseluruhan nilai kalor, karena efisiensi thermal rem atau *Brake Efeciency Thermal* yang lebih rendah

dibandingkan dengan minyak solar. Semakin meningkatnya presentase volume CIME dalam bahan bakar, nilai BTE cenderung menurun dan tetap sama dengan minyak solar. Akibat dari nilai kalor yang lebih rendah dari CIME, penambahan CIME dalam campuran bahan bakar mengakibatkan konsumsi bahan bakar yang lebih besar sehingga meningkatkan nilai *Brake Specific Fuel Consumption* (BSFC) (Vighneswar dkk., 2019).

Penelitian terdahulu telah menyarankan bahwa peningkatan BSFC disebabkan oleh viskositas yang tinggi dan densitas biodiesel. Parameter yang lebih tepat untuk membandingkan bahan bakar dengan nilai kalor yang berbeda adalah *Brake Specific Energy Consumpition* (BSEC). Karena viskositas dan titik didih yang lebih tinggi juga nilai kalor yang lebih rendah, menyebabkan BSEC pada CIME lebih rendah dibandingkan minyak solar. Selain itu, suhu gas buang atau *exhaust gas temperature* (EGT) naik dengan meningkatnya presentase CIME dalam campuran. Hal ini mungkin disebabkan dengan viskositas yang lebih tinggi dan nilai kalor yang lebih rendah menyebabkan atomisasi yang buruk dan karakteristik semprotan bahan bakar yang berbeda dalam ruang silinder pembakaran (Vighneswar dkk., 2019).

2.6 Nosel Injektor

Nosel injektor berfungsi untuk menyemprotkan bahan bakar kedalam ruang bakar pada mesin diesel. Nosel injektor menjadi faktor penentu dalam kinerja mesin, karakteristik dari gas buang, dan kebisingan. Pada mesin, nosel injeksi harus dirancang sesuai dengan sistem injeksi bahan bakar dan tipe mesin yang digunakan agar nosel injeksi dapat berfungsi secara efektif. Nosel injektor adalah komponen utama dari setiap mesin dengan sistem injeksi bahan bakar. Nosel memainkan peran utama dalam (Reif, 2014):

1. Bentuk kurva laju pelepasan bahan bakar (pengaruh tekanan dan distribusi bahan bakar terhadap rotasi *crankshaft*)
2. Optimalisasi atomisasi dan distribusi bahan bakar pada ruang bakar, dan
3. Pengunci dari sistem injeksi bahan bakar pada ruang bakar

Karena posisi dari nosel yang muncul dan terbuka dalam ruang bakar, nosel

dikenakan tekanan mekanis dan termal dari mesin dan sistem injeksi bahan bakar. Saat mesin kehabisan tenaga dan tidak ada bahan bakar yang disemprotkan, suhu nosel meningkat dengan pesat. Karena itu, nosel harus mempunyai sifat yang cukup untuk menahan suhu tinggi untuk mengatasi kondisi tersebut (Reif, 2014).

Dalam sistem pompa injeksi bahan bakar tipe *inline* (Tipe PE), dan tipe distributor (Tipe VE/VR), nosel digabungkan dengan *nozzle holder* untuk membentuk rakitan nosel yang dipasang pada mesin. Dalam sistem injeksi bahan bakar dengan tekanan tinggi, seperti *common rail* (CR) dan *unit injector* (UI) nosel diintergerasikan secara pusat sehingga tidak diperlukan *nozzle holder* (Reif, 2014).

Mesin injeksi tipe *indirect* menggunakan nosel tipe pintel, sedangkan mesin injeksi dengan tipe *direct* menggunakan nosel tipe lubang. Nosel terbuka oleh tekanan bahan bakar. Terbukanya nosel, lamanya injeksi, dan kurva laju pelepasan (pola injeksi) adalah penentu penting dari kuantitas semprotan bahan bakar. Nosel juga harus menutup dengan cepat saat tekanan bahan bakar mulai menurun. Tekanan menutupnya nosel setidaknya maksimal 40 bar di atas tekanan pembakaran untuk mencegah hal-hal yang tidak diinginkan pasca injeksi. Nosel harus dirancang khusus untuk tipe mesin yang digunakan dan ditentukan oleh (Reif, 2014):

1. Metode injeksi (*direct* atau *indirect*)
2. Bentuk geometri ruang bakar
3. Bentuk dan arah dari injeksi yang diperlukan
4. Penetrasi dan atomisasi yang diperlukan
5. Durasi injeksi yang diperlukan
6. Kuantitas bahan bakar injeksi relatif yang dibutuhkan untuk rotasi poros engkol (*crankshaft*)

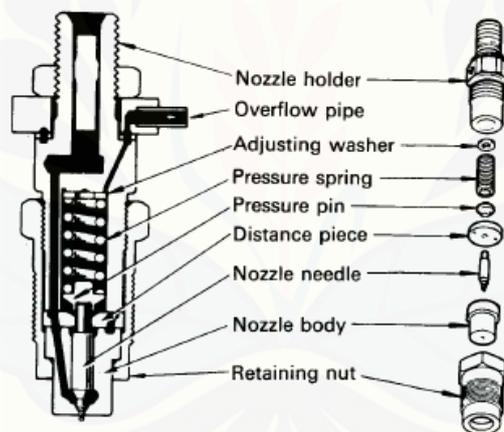
Standarisasi dari dimensi dan kombinasi nosel diperlukan dengan perbedaan yang minimum. Karena kinerja yang unggul saat dikombinasikan dan juga dengan konsumsi bahan bakar yang ditawarkan, saat ini desain mesin baru menggunakan injeksi tipe *direct* (nosel tipe lubang) (Reif, 2014).

2.6.1 Cara Kerja Nosel Injektor

Cara kerja nosel pada umumnya adalah sebagai berikut:

Bahan bakar bertekanan tinggi mengalir dari pompa injeksi melalui saluran minyak

pada *nozzle holder* menuju ke *oil pool* pada bagian bawah *nozzle body*. Penginjeksian bahan bakar terjadi apabila tekanan bahan bakar pada *oil pool* naik, sehingga menekan permukaan ujung *needle*. Bila tekanan bahan bakar melebihi kekuatan pegas, maka *nozzle needle* akan terdorong ke atas dan menyebabkan *nozzle needle* akan terlepas dari *nozzle body*. Kejadian ini menyebabkan nosel menyemburkan bahan bakar ke dalam ruang bakar. Jika pompa penginjeksi berhenti mengalirkan bahan bakar, maka tekanan bahan bakar turun dan tekanan pegas mengembalikan *nozzle needle* ke posisi semula. Pada saat *needle* tertekan kuat, *nozzle body seat* akan menutup saluran bahan bakar, sehingga proses penginjeksian akan berhenti. Sebagian bahan bakar yang tersisa diantra *nozzle needle* dan *nozzle body* antara *pressure pin* dan *nozzle holder* akan melumasi semua komponen dan kembali pada keadaan awal (Ahmad, 2017).



Gambar 2.8 Bagian bagian dari nosel injektor (Ahmad, 2017).

2.6.2 Nosel tipe lubang (*Hole type nozzle*)

Nosel tipe lubang digunakan pada mesin yang menggunakan sistem injeksi langsung atau (*Direct Injection*). Posisinya secara umum ditentukan dari desain mesin. Lubang injeksi diatur dengan berbagai sudut sesuai dengan kebutuhan ruang bakar (Reif,2014). Nosel tipe lubang dibagi menjadi:

1. *Blind-hole nozzle* (Nosel lubang buta)
2. *Sac-less (vco) nozzle* (Nosel tanpa kantung)

Nosel tipe lubang juga dibagi sesuai ukurannya menjadi:

1. Tipe P yang memiliki diameter jarum 4mm (*Blind-hole* dan *Sac-less (vco)*)

nozzle)

2. Tipe S yang memiliki diameter jarum 5 atau 6 mm (*Blind-hole nozzle* untuk ukuran mesin besar)

Nosel tipe lubang menggunakan sistem injeksi bahan bakar *common rail* (CR) dan *unit injector* (UI) yang terintegrasi secara pusat. Oleh karena itu *nozzle holder* telah dikombinasikan dan tidak digunakan. Tekanan pada saat nosel tipe lubang membuka berada pada kisaran 150-350 bar (Reif, 2014).

2.7 Karakteristik *Spray*

Distribusi spasial dan temporal dari *spray* bahan bakar dalam mesin diesel memiliki pengaruh pada kebisingan, emisi gas buang, konsumsi bahan bakar, dan kinerja mesin. Karakteristik *spray* bahan bakar yang paling penting adalah *spray tip penetration*, *spray angle*, dan diameter rata-rata butiran. Karakteristik ini sangat tergantung pada tipe injektor, komposisi bahan bakar, dan cara pengoperasian (Kegl, 2013).

Karakteristik *spray* bahan bakar dipengaruhi oleh properties fisik bahan bakar berupa densitas, viskositas dan tegangan permukaan. Untuk *spray* pada ruang terbuka (ambient atmospheric pressure), semakin tinggi properties fisik bahan bakar akan menghasilkan *spray tip penetration* yang semakin panjang. Sedangkan kenaikan tekanan dan suhu ambient menyebabkan phase cairan *spray* menjadi lebih pendek dan tipis. Hal ini disebabkan oleh kenaikan momentum dan perpindahan panas droplet ke udara ambient (Sudarmanta dan Sungkono, 2005).

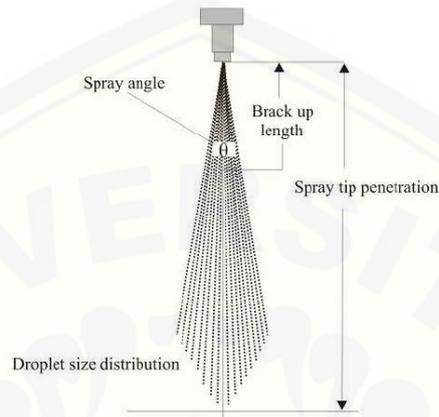
Karakteristik *spray* diesel dapat dianalisis secara makroskopis atau dengan sudut pandang mikroskopis. Tujuan untuk memahami proses ini secara rinci adalah melihat berbagai parameter fisik yang terlibat selama *spray* berlangsung (Martinez dkk. 2010).

2.7.1 Karakteristik makroskopis *spray*

Karakteristik makroskopis *spray* umumnya dipengaruhi dari interaksi terakhir dan kontrol volume bahan bakar yang di semprotkan (*spray*) dan yang di campurkan. Oleh karena itu, *spray* dapat didefinisikan dengan parameter fisik

sebagai berikut (Martinez dkk. 2010):

1. *Spray tip penetration*
2. *Spray angle*
3. *Break up length*



Gambar 2.9 Parameter fisik makroskopis *spray* (Martinez dkk. 2010).

2.7.2 *Spray tip penetration*

Spray tip penetration didefinisikan sebagai panjang *spray* di antara ujung lubang nosel dengan titik semprotan terjauh setelah diinjeksikan (Agarwal dkk., 2012). Menggunakan konsep dari fluks momentum pada aliran nosel, Densates dkk., (2006) rumus persamaan dari *spray tip penetration* dari fluks momentum dan kecepatan aksial, *spray tip penetration* dapat dihitung seperti:

$$S = 1.26M_o^{1/4} \rho_a^{-1/4} t_{asoi}^{1/2} \tan^{-1/2}\left(\frac{\theta u}{2}\right) \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana M_o adalah momentum fluks dari lubang terluar dan θu adalah sudut dari *spray*. Dalam rumus ini, laju injeksi dan kecepatan aksial dapat dihitung dari fluks momentum.

Rumus persamaan empiris juga disarankan oleh Hiroyasu dan Arai (1990) untuk menghitung *spray tip penetration*. Dijelaskan bahwa untuk menghitung *spray tip penetration* dibagi menjadi dua bagian, yaitu waktu sebelum dan sesudah butiran butiran terpecah atau *breakup time* (t_b). Ketika waktu setelah dimulainya injeksi lebih pendek dari waktu sesudah butiran terpecah atau *breakup time* (t_b), *spray tip penetration* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S = 0.39 t_{asoi} \sqrt{(2\Delta P)/\rho_f} \quad (t_{asoi} \leq t_b) \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana S adalah *spray tip penetration* (mm), t_{asoi} adalah waktu setelah diinjeksikan (ms) dan ΔP adalah perbedaan tekanan dari injeksi dan densitas gas *ambient* (MPa), dan ρ_f adalah densitas bahan bakar (kg/m^3). Ketika waktu setelah dimulainya injeksi lebih panjang dari waktu sesudah butiran terpecah atau *breakup time* (t_b), *spray tip penetration* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$S = 2.59\sqrt{D}t_{asoi}(2\Delta P)/\rho_g \quad (t_{asoi} \geq t_b) \dots \dots \dots (2.5)$$

Dimana D adalah diameter dari lubang nosel, dan ρ_g adalah tekanan *ambient*. *Breakup time* (t_b) dinyatakan dengan

$$t_b = 28.65 \rho_f D / (\rho_g \Delta P)^{0.5} \dots \dots \dots (2.6)$$

2.7.3 *Spray angle*

Spray angle didefinisikan sebagai sudut terbesar yang dibentuk oleh dua garis lurus dari ujung nosel ke batas *spray* (Agarwal dkk., 2012). Menurut Martinez dkk., (2010) *spray angle* juga didefinisikan sebagai sudut yang terbentuk oleh dua garis lurus yang dimulai dari lubang keluar pertama nosel dan garis singgung *spray* yang ditentukan oleh jarak. Sudut *spray* diesel dibentuk oleh dua garis lurus yang bersentuhan dengan garis *spray* terluar dan pada jarak yang setara 60 kali diameter lubang keluar nosel. Sudut ini biasanya antara 5 sampai dengan 30 derajat. Hal ini menentukan distribusi makroskopis bahan bakar pada ruang bakar. Disatu sisi, peningkatan sudut mengurangi penetrasi dan dapat menyebabkan gangguan antar *spray* (saat *spray* di injeksikan dengan lubang banyak) di ruang yang sama. Di sisi lain, penetrasi berlebihan disukai ketika sudut berkurang lebih rendah dari nilai-nilai tertentu, menyebabkan *spray* bertabrakan dengan mangkuk piston atau ruang pembakaran.

Persamaan *spray* menurut Hiroyasu dkk., 1980 adalah:

$$\theta = 0.05 \left(\frac{d^2 \rho_a \Delta P}{\mu_a^2} \right)^{0.25} \dots \dots \dots (2.7)$$

Dimana :

θ = Sudut semprotan ($^\circ$)

d^2 = diameter lubang nosel (mm)

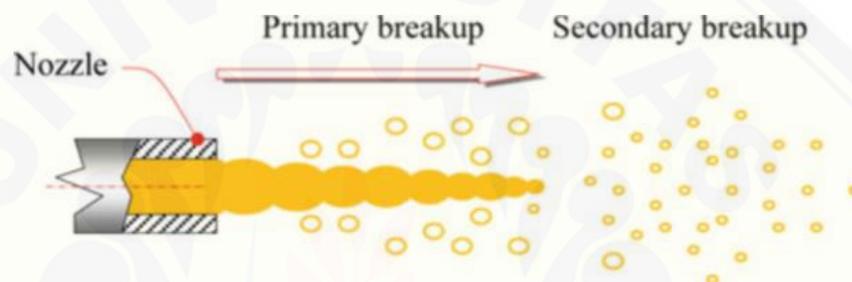
ρ_a = massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

ΔP = Perbedaan tekanan injeksi dan tekanan gas ambient (MPa)

μ_a = Viskositas kinematik bahan bakar (mm^2/s)

2.7.4 Perubahan phase cairan *spray*

Perubahan phase cairan *spray* atau *Liquid spray formation* adalah proses fisika yang canggih. Proses ini, dimulai dari pemecahan inti cairan menjadi butiran, tak lama setelah cairan tersebut keluar dari nosel atau yang disebut *primary breakup*. Pada tahap selanjutnya, butiran yang terbentuk kemudian terpecah menjadi lebih kecil yang disebut *secondary breakup* (kegl, 2013)



Gambar 2.10 *Breakup spray* bahan bakar

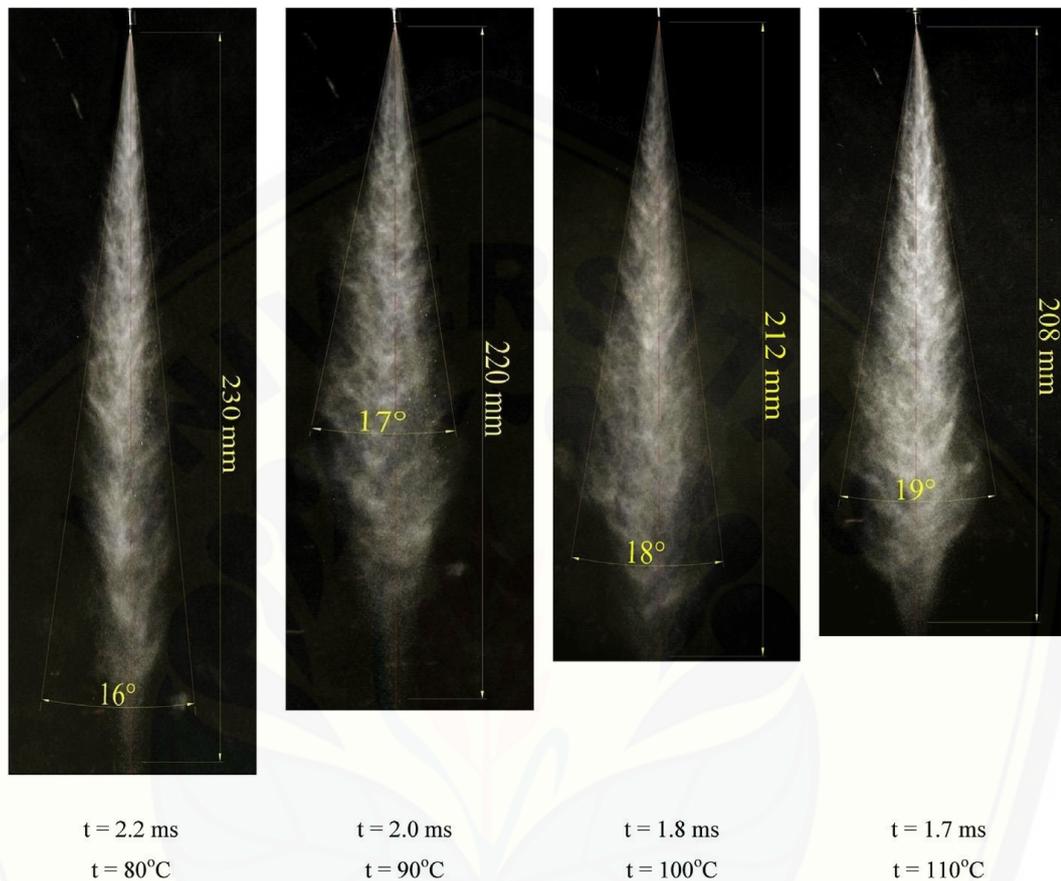
2.8 Pengaruh temperatur terhadap *spray*

Penjelasan mengenai hubungan antara karakteristik semprotan, pembakaran, dan emisi dari mesin diesel dengan campuran biodiesel masih terbatas. Oleh karena itu efek temperatur pada campuran biodiesel pada rantai “sifat fisika bahan bakar \Leftrightarrow karakteristik semprotan \Leftrightarrow campuran udara dan bahan bakar \Leftrightarrow pembakaran \Leftrightarrow emisi harus dianalisis secara menyeluruh melalui hasil eksperimental (Hoang dkk., 2013).

2.8.1 Pengaruh temperatur terhadap *spray angle*

Penelitian terdahulu mengenai studi pengaruh karakteristik *spray* terhadap temperatur suhu biodiesel telah dilakukan. Pada penelitian Hoang dkk. (2013) tentang studi eksperimental karakteristik *spray* dan emisi pada mesin diesel dengan campuran biodiesel menunjukkan bahwa *spray angle* semakin melebar seiring dengan naiknya temperatur pemanasan biodiesel. Pada penelitian ini biodiesel yang digunakan adalah minyak kelapa dengan pemanasan suhu dari rentang 40°C – 110°C . *Spray angle* pada pemanasan suhu minyak kelapa 110°C mempunyai karakteristik yang sama dengan minyak solar pada suhu 40°C sehingga karakteristik

spray pada minyak kelapa dengan pemanasan suhu 110°C memiliki karakteristik atomisasi dan evaporasi yang sama dengan minyak solar.

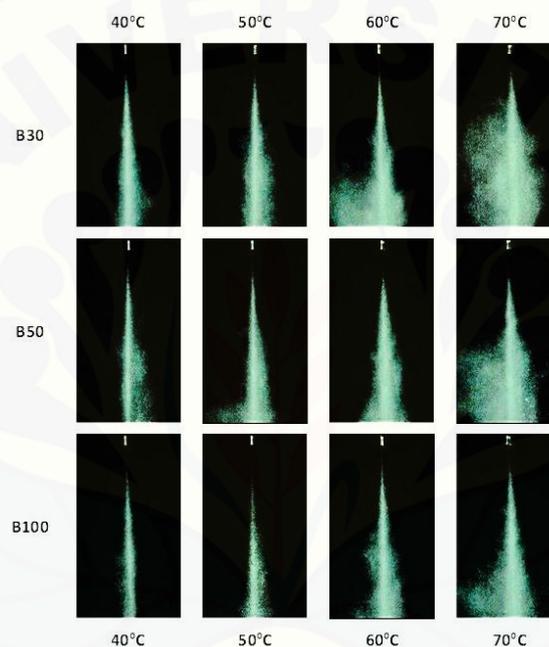


Gambar 2.11 Karakteristik *spray* pada biodiesel minyak kelapa (Hoang dkk., 2013).

Dapat dilihat pada Gambar 2.11 bahwa *spray angle* terkecil ada pada pemanasan suhu biodiesel minyak kelapa 80°C dengan besar sudut 16° sedangkan *spray angle* terbesar ada pada pemanasan suhu biodiesel minyak kelapa 110°C dengan besar sudut 19° .

Pada penelitian yang dilakukan oleh Anies dkk., (2019) tentang investigasi dari efek *preheating* temperatur dari campuran biodiesel diesel pada karakteristik *spray* dan performa pompa injeksi menunjukkan hasil bahwa semakin tinggi campuran biodiesel maka membutuhkan *preheating* temperature yang tinggi untuk atomisasi yang balik selama proses injeksi. Pada penelitian ini biodiesel yang

digunakan adalah biodiesel minyak jelantah (B30, B50, dan B100) dengan variasi temperatur pemanasan suhu 40 °C, 50 °C, 60 °C, dan 70°C. Pada B100 minyak jelantah menghasilkan *spray angle* yang paling kecil karena viskositasnya dan pada B30 pada temperatur pemanasan suhu 70°C menunjukkan *spray angle* yang paling besar. Semakin tinggi *preheating* temperatur menyebabkan semakin tinggi energi kinetik pada *spray* dan ukuran butiran yang semakin kecil, yang dibutuhkan untuk atomisasi yang lebih baik pada ruang bakar.



Gambar 2.12 Perbandingan *spray angle* pada campuran biodiesel pada variasi temperatur (Anies dkk., 2019)

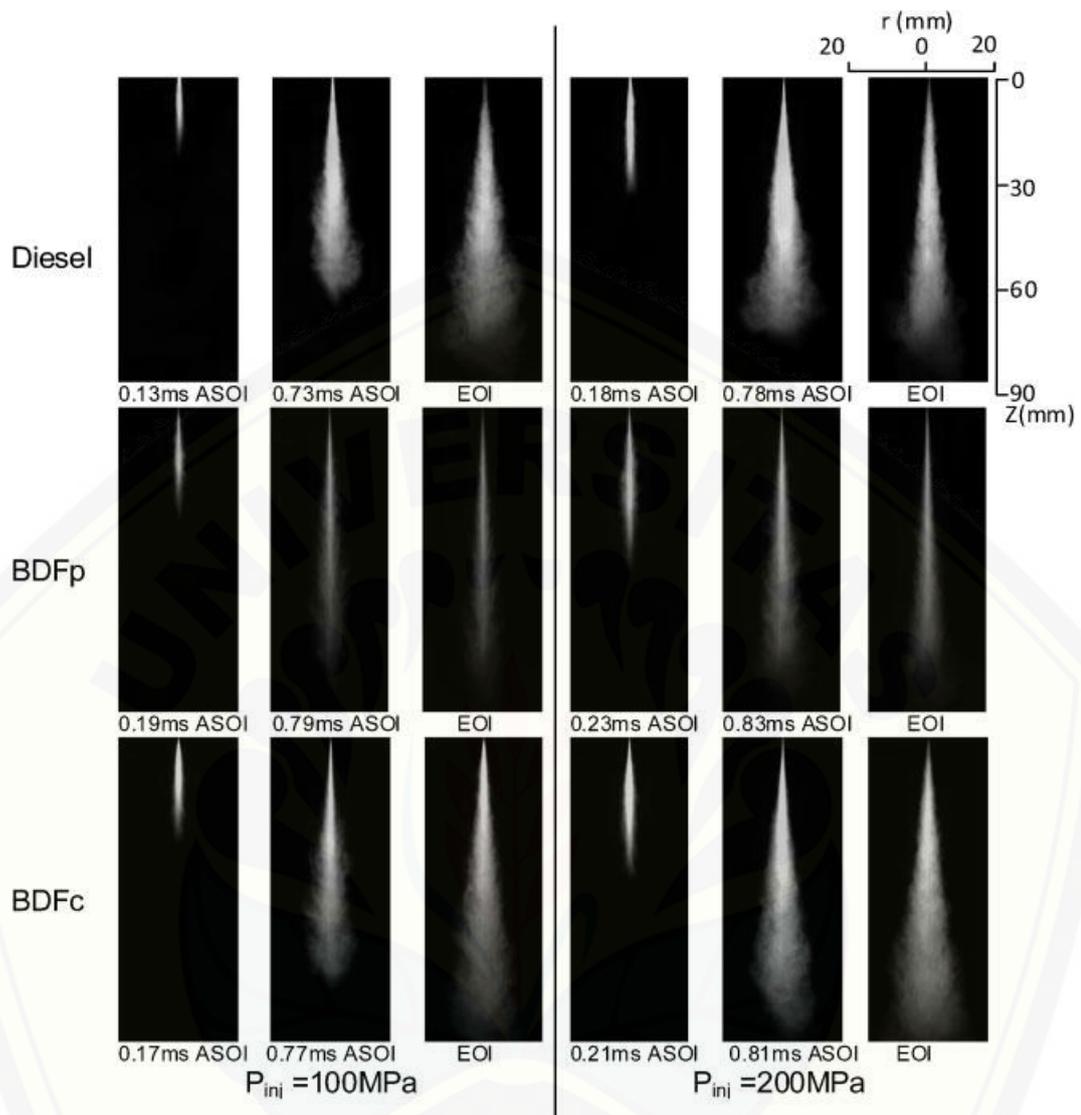
2.9 Pengaruh biodiesel terhadap semprotan

Secara umum, biodiesel memiliki densitas, viskositas, tegangan permukaan yang lebih tinggi daripada minyak solar. Viskositas dan tegangan permukaan yang lebih tinggi menghasilkan penguapan yang lebih buruk pada bahan bakar. Densitas yang lebih tinggi meningkatkan momentum bahan bakar yang disuntikkan. Secara umum densitas yang lebih tinggi juga membuat panjang penetrasi lebih tinggi. Sebaliknya, viskositas yang tinggi menunjukkan gesekan yang lebih tinggi antara bahan bakar dan permukaan nosel injektor. Dalam beberapa keadaan seperti pencampuran biodiesel dengan minyak diesel penetrasi yang dihasilkan lebih

rendah (kegl dkk., 2013).

2.9.1 Pengaruh biodiesel terhadap *spray tip penetration*

Penelitian terdahulu mengenai pengaruh *spray tip penetration* dengan beberapa jenis biodiesel dan berbagai injektor telah dilakukan. Menurut Kuti dkk. (2010), mengenai pengaruh dari biodiesel minyak sawit atau *palm oil biodiesel* (BDFp) dan biodiesel minyak jelantah atau *palm oil cooking oil* (BDFc) terhadap panjang tip penetrasi mesin diesel dengan tipe *common rail* (CR) menunjukkan hasil bahwa *spray tip penetration* dari biodiesel minyak sawit dan minyak jelantah lebih panjang dibandingkan dengan minyak solar. Hal ini dikarenakan tingkat viskositas yang lebih tinggi menyebabkan besarnya ukuran butiran, sehingga mengurangi masuknya udara dalam *spray*. Pada Gambar 2.13 terlihat bahwa biodiesel minyak sawit karena memiliki viskositas yang tinggi maka membuat *spray tip penetration* lebih panjang dibandingkan biodiesel minyak jelantah. Pada 3 gambar tekanan injeksi yang digunakan masing masing 100 MPa dan 200MPa.

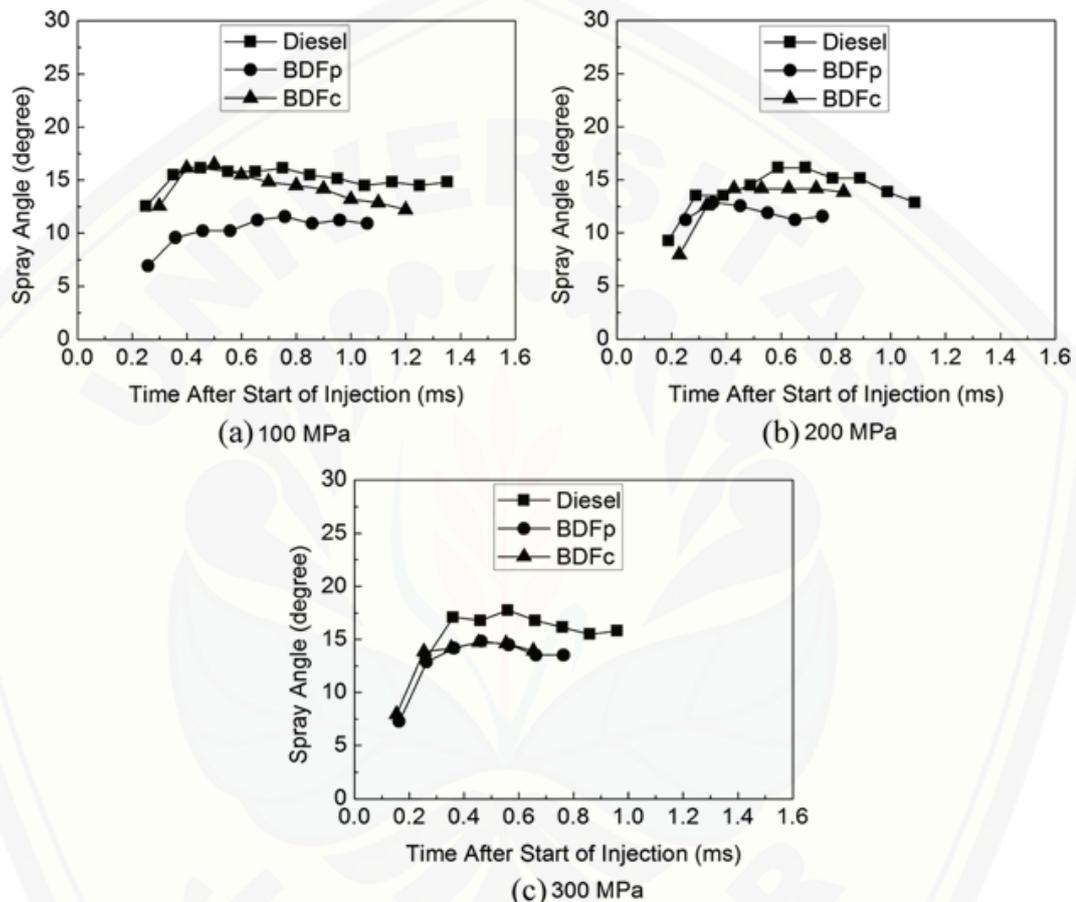


Gambar 2.13 Perbandingan panjang *spray* pada biodiesel minyak sawit, jelantah dan minyak solar (Kuti dkk., 2010).

2.9.2 Pengaruh biodiesel terhadap *spray angle*

Pada penelitian pengaruh tekanan injeksi pada nyala api dan karakteristik semprotan pada biodiesel, Wang dkk., (2010) mengatakan bahan bakar biodiesel membuat *spray angle* semakin mengecil pada 3 tekanan injeksi yang berbeda. Penelitian ini menggunakan bahan bakar minyak solar murni, biodiesel minyak sawit atau *biodiesel from palm oil* (BDFp) dan biodiesel minyak jelantah *biodiesel from cooking oil* (BDFc) pada tekanan 100 MPa, 200 MPa dan 300 MPa. Dimana sudut semprotan pada minyak sawit lebih kecil pada tekanan 100 MPa dan 200

MPa. Pada tekanan injeksi 300 MPa, biodiesel minyak sawit membuat *spray angle* yang hampir sama pada minyak jelantah. Perbedaan dari *spray angle* untuk minyak sawit dan minyak jelantah semakin kecil saat tekanan injeksi semakin tinggi. Pada umumnya semakin tinggi tingkat viskositas dan tegangan permukaan dari campuran biodiesel memberikan pengaruh pada *spray angle* dan atomisasi yang buruk.



Gambar 2.14 Grafik perbedaan *spray angle* pada variasi tekanan (Wang dkk., 2010).

2.10 Hipotesa

Dari tinjauan pustaka diatas, hipotesa yang diajukan sebagai berikut:

1. Semakin banyak campuran minyak nyamplung pada biodiesel nyamplung membuat viskositas dan densitas dari bahan bakar semakin tinggi. Semakin tinggi viskositas dan densitas dari bahan bakar membuat *spray angle* menurun, *spray tip penetration* yang semakin besar, *velocity of spray* yang semakin rendah. Hal tersebut diakibatkan *droplet breakup* yang buruk.

karena butiran yang besar sehingga dapat menyebabkan kualitas atomisasi yang buruk dan campuran udara bahan bakar yang buruk.

2. Semakin besar temperatur pada biodiesel minyak nyamplung membuat viskositas dan densitas dari bahan bakar semakin menurun. Semakin turun viskositas dan densitas dari bahan bakar membuat *spray angle* semakin besar, *spray tip penetration* yang semakin kecil dan *velocity of spray* yang tinggi. Hal tersebut diakibatkan *droplet breakup* yang baik karena butiran yang kecil sehingga dapat menyebabkan kualitas atomisasi yang baik dan campuran udara bahan bakar yang baik



BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu suatu metode yang digunakan untuk menguji pengaruh variasi temperatur injeksi dan konsentrasi biodiesel minyak nyamplung terhadap karakteristik *spray*. Dalam penelitian ini, akan membandingkan karakteristik minyak solar murni dan biodiesel minyak nyamplung komposisi B20, B30 dan B100 dengan pemanasan suhu yang berbeda.

Untuk mendapatkan *spray* yang diinginkan digunakanlah tester nosel sebagai sumber tekanan, nosel sebagai pengabut, selang nosel yang dililitkan kawat tembaga sebagai sumber panas dan ruang pengujian berbentuk balok yang memiliki kondisi menyerupai ruang bakar sesungguhnya, kemudian bahan bakar yang masuk ke dalam simulasi ruang bakar direkam dengan kamera DSLR yang memiliki fps tinggi sehingga didapatkan gambar *spray tip penetration*, dan *spray angle*. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisa *spray tip penetration* (S), *spray angle* (θ), dan *velocity of spray* (v).

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian pengaruh pemanasan dan konsentrasi bioedesel terhadap pengujian semprotan dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih enam bulan pada bulan November 2019 – April 2020.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat pembuatan biodiesel

Alat yang digunakan yaitu:

- a. Mesin Press
- b. *Thermometer*
- c. *Erlenmeyer*

- d. *Magnetic stirrer*
- e. Panci atau wadah
- f. *Pippet Filler*
- g. Gelas Ukur
- h. Corong pemisah
- i. Kompor gas
- j. *Thermostat*
- k. Neraca

3.3.2 Bahan Pembuatan Biodiesel

Bahan yang digunakan yaitu:

- a. Biji minyak nyamplung
- b. Minyak diesel murni
- c. H_3PO_4 (asam pospat)
- d. H_2SO_4 (asam sulfat)
- e. NaOH (natrium hidroksida)
- f. Methanol
- g. Air

3.3.3 Alat Pembuatan Ruang Pengujian

Alat yang digunakan yaitu:

- a. Mesin las listrik
- b. Sikat baja
- c. Gerinda Potong
- d. Bor tangan

3.3.4 Bahan Pembuatan Ruang Pengujian

Bahan yang digunakan yaitu:

- a. Mur M6
- b. Baut M10 x 20 mm
- c. Plat besi tebal 6 mm
- d. Plat besi tebal 14 mm
- e. Akrilik tebal 10 mm

f. *Acrylic Sealer*

g. TBA

3.3.5 Alat pengujian karakteristik semprotan

Alat yang digunakan yaitu:

- a. Nosel *tester*
- b. Nosel tipe lubang
- c. Stopwatch
- d. Ruang Pengujian berukuran 30 x 30 mm
- e. Kunci pass
- f. Selang nosel
- g. Kompresor
- h. *Sealer*
- i. Kamera Fuji Fine Pix HS10 spesifikasi : ISO 400, *shutter speed* 1/125, dan *speed camera* 480 fps
- j. *Tripod*
- k. Nikelin
- l. *Glasswol*
- m. Kabel
- n. Pisau
- o. Obeng

3.3.6 Bahan pengujian karakteristik semprotan

Bahan yang digunakan yaitu:

- a. Bahan bakar diesel murni atau B0
- b. Biodiesel minyak nyamplung komposisi B20 (campuran bahan bakar dengan volume 20% biodiesel minyak nyamplung dan 80%(80 ml) diesel murni, B30 (campuran bahan bakar dengan volume 30% biodiesel minyak nyamplung dan 70% diesel murni, dan B100 (campuran bahan bakar dengan volume 100% biodiesel minyak nyamplung).

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

Variabel bebas yaitu variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian. Variabel bebas yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Pencampuran bahan bakar solar dan biodiesel nyamplung dengan komposisi B0, B20, B30 dan B100.
2. Variasi temperatur injeksi 70 °C ,90 °C, dan 110 °C.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat yaitu variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data – data yang diperoleh pada pengujian semprotan menggunakan minyak solar murni dengan komposisi biodiesel B20, B30 dan B100 terhadap variasi temperatur injeksi 70 °C ,90 °C, dan 110 °C untuk menganalisa data – data yang meliputi:

1. Viskositas dan Densitas bahan bakar
2. *Spray tip penetration (S)*
3. *Spray Angle (θ)*
4. *Velocity of spray (v)*

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol yaitu variabel yang menyamakan persepsi mengenai penelitian ini. Penelitian ini mempunyai variabel kontrol meliputi:

1. Tekanan *ambient* sekitar sebesar 2 bar untuk ruangan pengujian.
2. Tekanan injeksi nosel yaitu 13.8 – 14.8 MPa sesuai dengan manual book semprotan nosel.
3. Nosel tipe lubang satu model R175/180 pada mesin diesel Dongfeng R175.
4. Komposisi biodiesel minyak nyamplung B20, B30 dan B100



Gambar 3.1 Nosel R175/180

3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang digunakan dalam pengujian ini meliputi:

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran karakteristik semprotan seperti viskositas dan densitas bahan bakar, *spray tip penetration* (S), *spray angle* (θ), dan *velocity of spray* (v) pada masing - masing pengujian minyak solar murni dengan komposisi biodiesel B20, B30 dan B100 terhadap variasi temperatur injeksi 70 °C, 90 °C, dan 110 °C.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur perhitungan maupun hasil pengujian.

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pada penelitian ini yang akan diamati adalah:

1. Mengukur viskositas dan densitas bahan bakar
2. Menentukan gambar semprotan bahan bakar
3. Mengukur *spray tip penetration* (S)
4. Mengukur *spray angle* (θ)
5. Mengukur *velocity of spray* (v)

3.7 Tahap Penelitian

Tahap prosedur yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

3.7.1 Tahap Pembuatan *Heater*

Tahap pembuatan *heater* dilakukan dengan memodifikasi selang nosel dililit *heater belt* yang dihubungkan dengan *dimmer AC* untuk kemudian diatur arus listriknya sesuai dengan variasi temperatur injeksi.

3.7.2 Tahap Penyiapan Biodiesel Minyak Nyamplung

Tahap penyiapan biodiesel minyak nyamplung dilakukan dengan proses *degumming*, proses esterifikasi dan transterifikasi kemudian membuat variasi komposisi campuran biodiesel B0, B20, B30 dan B100.

3.7.3 Tahap Penyampuran Biodiesel dan Minyak Diesel

Tahap penyampuran biodiesel dan minyak diesel dilakukan dengan menyampurkan bahan bakar berdasarkan fraksi volume. Pencampuran dilakukan selama kurang lebih 15 menit menggunakan *magnetic stirrer*. Bahan bakar dengan komposisi campuran B0 atau Biodiesel 0% merupakan campuran bahan bakar dengan biodiesel 0 % dan minyak diesel 100%. Campuran bahan bakar biodiesel dan minyak diesel ditunjukkan pada Tabel 3.1

Tabel 3.1 Campuran bahan bakar biodiesel dan minyak diesel

Komposisi campuran	Biodiesel	Minyak diesel
B0	0 %	100 %
B20	20 %	80 %
B30	30 %	70 %
B100	100 %	0 %

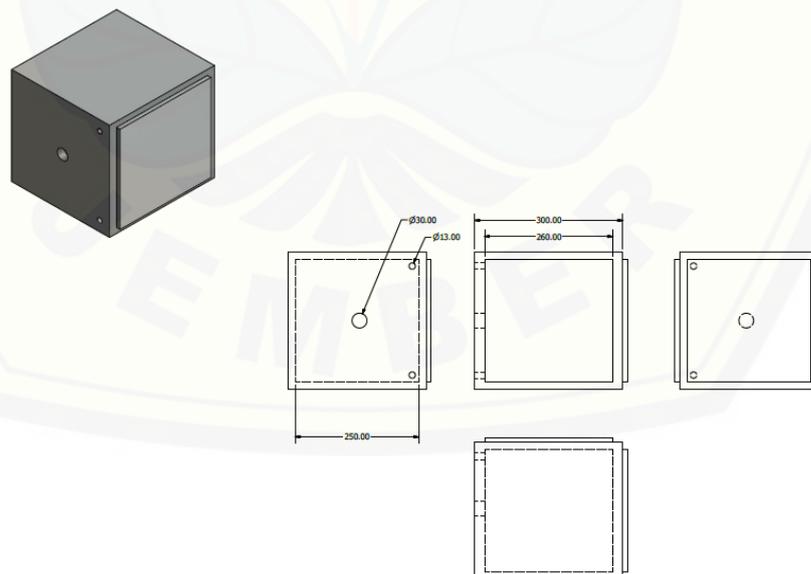
3.7.4 Tahap Pengujian Karakteristik Biodiesel

Tahap pengujian karakteristik biodiesel dilakukan dengan menguji 4 karakteristik biodiesel, seperti : viskositas, densitas, tegangan permukaan, *flash point* dan nilai kalor. Dari pengujian tersebut kemudian diketahui bahwa biodiesel telah memenuhi standar sebagaimana tercantum dalam (SNI 7182 : 2015) atau tidak memenuhi standar.

3.7.5 Tahap Pembuatan Ruang Pengujian

Tahap pembuatan ruang pengujian yaitu:

1. Memotong plat besi dengan tebal 6 mm berukuran 300 x 300 mm sejumlah 3 lembar sebagai sisi samping ruang pengujian dan 300 x 300 mm sejumlah 1 lembar sebagai sisi atas ruang pengujian.
2. Menyiapkan akrilik berukuran 250 x 200 mm sebagai sisi depan ruang pengujian dan 250 x 200 mm sebagai sisi bawah ruang pengujian
3. Menggabungkan dengan mengelas plat besi dan menyambungkan akrilik dengan besi menggunakan baut, mur dan ring yang sudah dilubangi pada tiap sisi sehingga ruang pengujian membentuk balok.
4. Membuat lubang pada sisi atas ruang pengujian berdiameter 30 mm di tengah sebagai masuknya nosel dan lubang pada pojok atas ruang pengujian berdiameter 13 mm sebagai masuknya tekanan *ambient* dari kompressor
5. Memasang *sealer* pada setiap sisi permukaan antara akrilik dengan plat besi agar ruang pengujian tidak mengalami kebocoran.

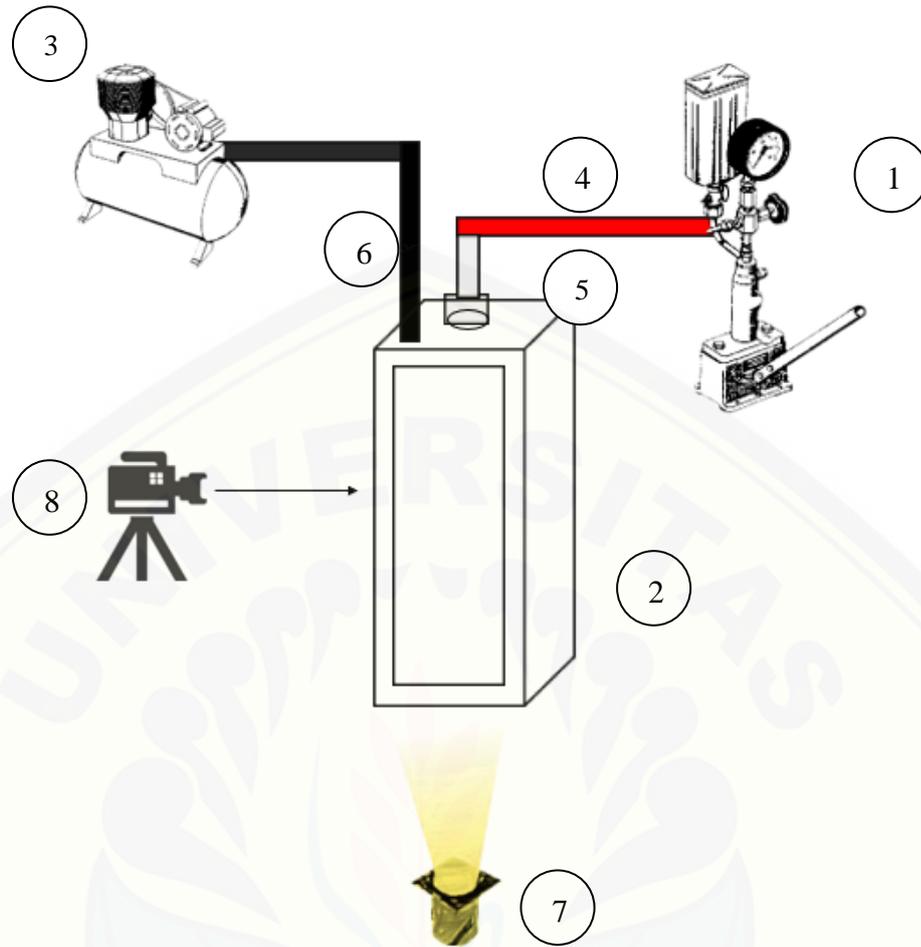


Gambar 3.2 Desain Ruang Pengujian

3.7.6 Tahap Pembuatan Alat Penguji Karakteristik *Spray*

Tahap pembuatan alat penguji karakteristik *spray* dengan menggunakan tester nosel sebagai sumber tekanan, nosel sebagai pengabut, selang nosel yang dililitkan kawat nikelin sebagai sumber panas dan ruang pengujian berbentuk balok, berikut langkah pembuatannya:

1. Memasukkan bahan bakar pada tangki bahan bakar nosel tester
2. Menghubungkan selang nosel dan nosel yang sudah dimodifikasi menjadi *heater* dari nosel tester menuju lubang pada sisi atas ruang pengujian
3. Memberikan tekanan *ambient* pada ruang pengujian melalui lubang yang berada pada sisi atas ruang pengujian sebesar 2 bar dengan kompressor
4. Menyiapkan lampu halogen sebagai penerangan dalam pengambilan gambar semprotan bahan bakar
5. Merekam hasil semprotan nosel menggunakan kamera DLSR
6. Memeriksa kebocoran pada ruang pengujian



Gambar 3.3 Skema pengambilan data

Keterangan Gambar:

- | | |
|--------------------|-----------------------------|
| 1. Nosel Tester | 6. Selang Kompresor |
| 2. Ruang Pengujian | 7. Lampu Sorot |
| 3. Kompresor | 8. <i>High Speed Camera</i> |
| 4. <i>Heater</i> | |
| 5. Injektor Nosel | |



3.8 Tahap Pengujian

3.8.1 Tahap Pengukuran Viskositas Bahan Bakar

Pengukuran viskositas bahan bakar menggunakan alat *viscometer Oswald*, yaitu dengan cara menghitung waktu yang dilewati bahan bakar melewati titik A ke titik B. Alat dan bahan pengukuran viskositas bahan bakar sebagai berikut:

1. *Viscometer Oswald*

2. *Ball pipet*
3. Corong kaca
4. Klem buret
5. *Heater*
6. *Stopwatch*
7. Bahan Bakar
8. Air
9. *Thermocouple*

Tahap pengukuran viskositas bahan bakar sebagai berikut:

1. Menggantungkan *viscometer oswald* pada klem buret
2. Memasukkan bahan bakar ke dalam *viscometer oswald* pada bagian pipa dengan diameter yang lebih besar hingga memenuhi separuh bagian dari *viscometer* yang berbentuk bola menggunakan bantuan corong kaca
3. Memasukkan *thermocouple* ke dalam *viscometer Oswald* dan *heater*. *Thermocouple* satu dimasukkan ke dalam *heater* dan *thermocouple* dua dimasukkan kedalam pipa dengan diameter yang lebih besar hingga menyentuh sample (bahan bakar) pada *viscometer* yang berbentuk bola seperti pada Gambar 3.4



Gambar 3.4 *Thermocouple* pada *viscometer Oswald*

4. Penggunaan dua *thermocouple* dimaksudkan untuk menghitung perbedaan temperatur dari bahan bakar di dalam *viscometer oswald* dengan temperatur di dalam *heater* atau menghitung *losses* yang terjadi saat memanaskan bahan bakar.
5. Memasangkan ball pipet pada *viscometer* dengan diameter yang lebih kecil
6. Menyedot bahan bakar dengan cara menekan bagian S pada ball pipet, hingga melewati titik paling atas, kemudian lepas tekanan pada ball pipet.
7. Mencatat waktu yang ditempuh bahan bakar saat melewati titik atas menuju titik bawah menggunakan stopwatch
8. Pada bahan bakar dengan variasi temperatur 70⁰C, 90⁰C, dan 110⁰C bahan bakar dipanaskan menggunakan *heater* dengan cara memanaskan hingga temperatur pada *thermocouple* yang ada pada bahan bakar didalam *viscometer oswalt* mencapai temperatur yang diinginkan, kemudian diukur nilai viskositasnya.
9. Dengan menggunakan rumus viskositas Oswald maka diukur nilainya dengan rumus sebagai berikut:

$$\frac{\eta_1}{\eta_2} = \frac{\rho_1 \times t_1}{\rho_2 \times t_2}$$

Keterangan:

η_1 = viskositas sampel (cP)

η_2 = viskositas air (cP)

ρ_1 = massa jenis sampel (g/ml)

ρ_2 = massa jenis air (g/ml)

t_1 = waktu yang dibutuhkan sampel melewati titik atas ke titik bawah (s)

t_2 = waktu yang dibutuhkan air melewati titik atas ke titik bawah (s)

10. Air digunakan sebagai pembanding karena nilai viskositasnya telah diketahui

3.8.2 Tahap Pengukuran Densitas Bahan Bakar

Pengukuran densitas bahan bakar menggunakan alat piknometer, adapun alat dan bahan pengukuran densitas bahan bakar:

1. Piknometer
2. Timbangan
3. Bahan bakar

Tahap pengukuran densitas bahan bakar yaitu dengan cara memasukkan bahan bakar pada piknometer sebesar 50 ml (volume maksimal dari alat ukur) kemudian menimbanginya. Rumus yang digunakan untuk menghitung massa jenis adalah sebagai berikut:

$$\rho = \frac{m}{v}$$

Keterangan :

- ρ = massa jenis bahan bakar (gr/ml)
 m = massa bahan bakar pada piknometer (gr)
 v = volume piknometer (ml)

3.8.3 Tahap Pengujian Karakteristik Penyemprotan

Tahap pengujian karakteristik penyemprotan yaitu:

1. Mempersiapkan minyak solar murni dan biodiesel dengan variasi komposisi B20, B30 dan B100
2. Bahan bakar dimasukkan kedalam tangki bahan bakar pada nosel tester.
3. Memberikan tekanan *ambient* pada ruang pengujian dari kompressor sebesar 2 bar.
4. Menyalakan lampu halogen.
5. Selang nosel yang sudah dimodifikasi menjadi *heater* dipanaskan hingga bahan bakar yang diinjeksikan mencapai suhu 70°C.
6. Menyemprotkan bahan bakar menggunakan nosel tester dengan menarik tuas nosel tester.
7. Merekam semprotan bahan bakar menggunakan kamera Fuji Fine Pix HS10 dengan pengaturan ISO 400, *shutter speed* 1/125, dan dimensi piksel 480 fps.
8. Melakukan percobaan sebanyak 3 kali dengan komposisi yang sama.

9. Membersihkan ruang pengujian dari sisa bahan bakar menggunakan tisu atau lap dengan membuka mur dan baut akrilik atau bagian depan ruang pengujian.
10. Mengulangi percobaan dengan mengganti variasi komposisi biodiesel dan variasi suhu.
11. Menganalisa gambar menggunakan software ImageJ dan kemudian mencatat hasilnya.

3.9 Rekap Pengambilan Data

3.9.1 Pengambilan data *spray tip penetration*

Pengambilan data panjang tip penetrasi dilakukan dengan mengukur panjang semprotan pada gambar yang didapatkan dari hasil perekaman sesuai dengan tahap pengujian.

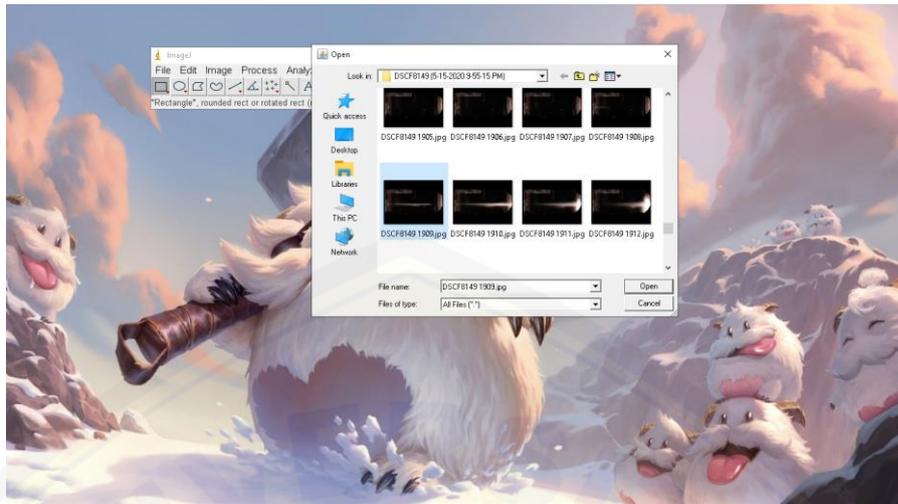
Adapun tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Hasil perekaman video pada tahap pengujian di konversi menjadi foto menggunakan aplikasi *free studio*.



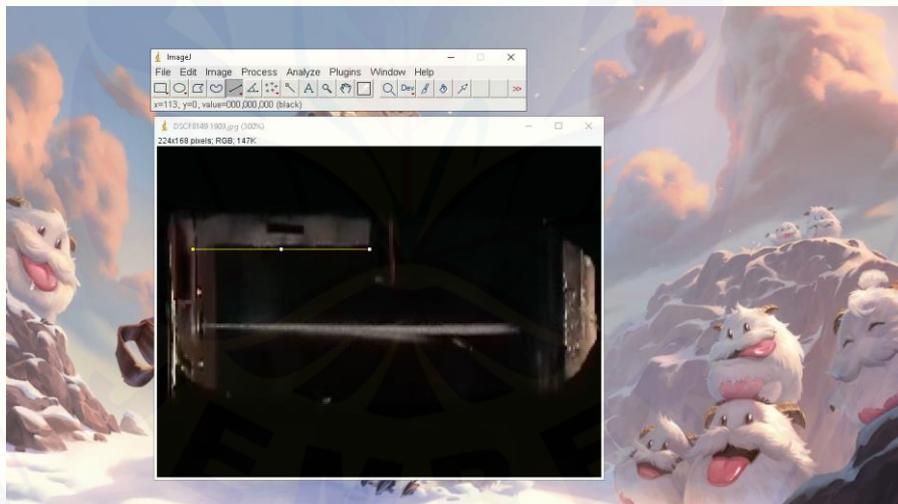
Gambar 3.5 Aplikasi *free studio*

2. Olahan foto atau gambar dari *free studio* kemudian diukur menggunakan aplikasi *image-J*.
3. Memilih opsi open untuk membuka foto atau gambar yang akan di ukur panjangnya pada aplikasi *image-J*



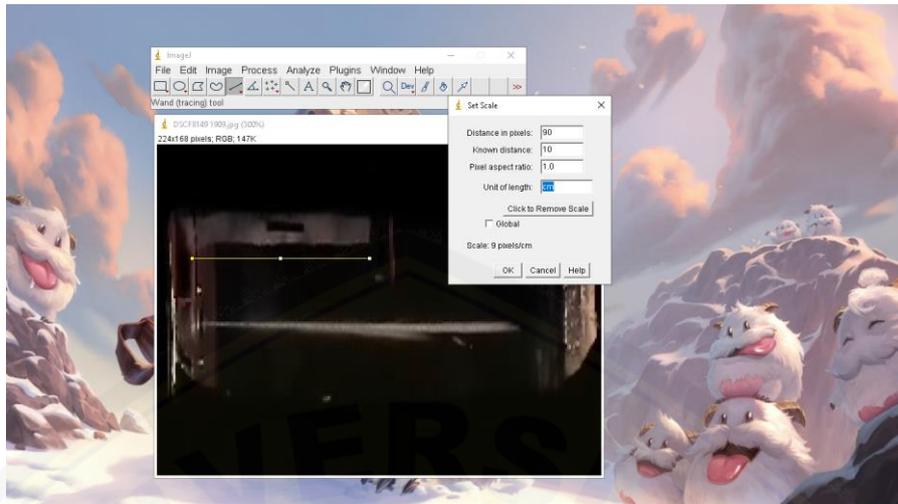
Gambar 3.6 Opsi open pada *image-J*

4. Mengkalibrasi aplikasi *image J* dengan cara mengatur garis yang akan digunakan sebagai skala pada foto atau gambar yang akan di ukur pada *image-J* dengan memilih opsi *straight* pada *image-J*.



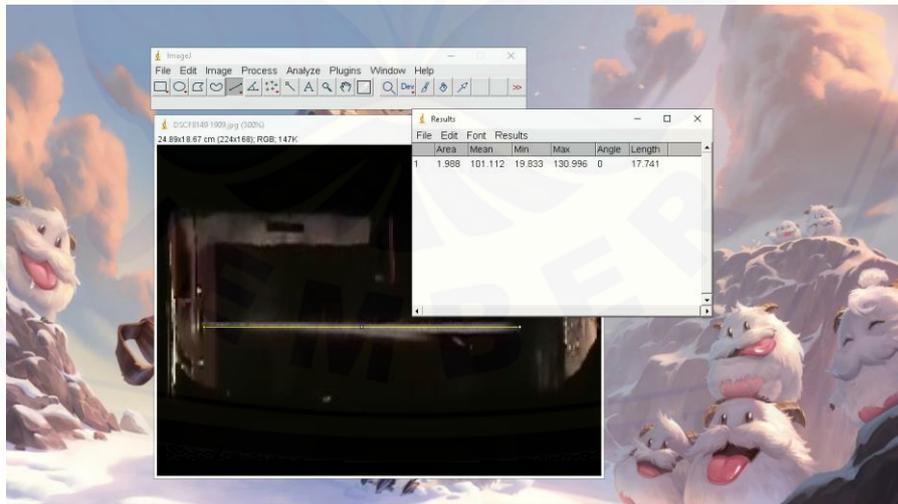
Gambar 3.7 Mengatur garis skala pada *image-J*

5. Skala pada foto disesuaikan dengan skala yang telah dibuat menggunakan milimeter blok dengan panjang 10 cm dan ditempel pada ruang pengujian
6. Mengatur skala yang telah ditentukan dari garis yang dibuat dengan cara memilih opsi *Analyze* kemudian *Set Scale* pada *image-J*.



Gambar 3.8 Mengatur skala pada *image-J*

7. Membuat garis yang akan digunakan sebagai ukuran panjang tip semprotan dengan memilih opsi *straight* pada *image-J*.
8. Menyesuaikan garis dengan cara menarik garis pada ujung nosel pada gambar sebagai titik awal dan ujung panjang tip penetrasi semprotan sebagai titik akhir dari garis.
9. Mengukur panjang garis dengan cara memilih opsi *Analyze* kemudian *Measure* pada *image-J*.

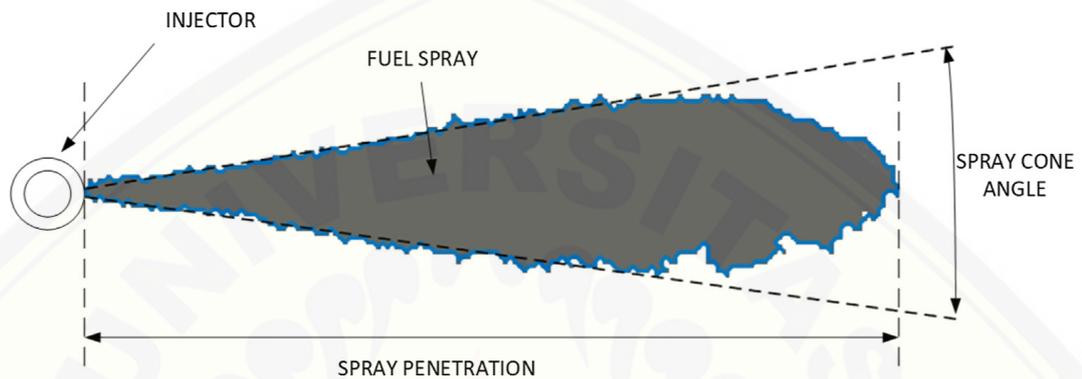


Gambar 3.9 Mengukur panjang pada aplikasi *image-J*

10. Mencatat hasil dari pengukuran panjang pada *image-J*
11. Melakukan secara berulang dengan metode yang sama pada masing-masing variasi campuran biodiesel dan temperatur

3.9.2 Pengambilan data *spray angle*

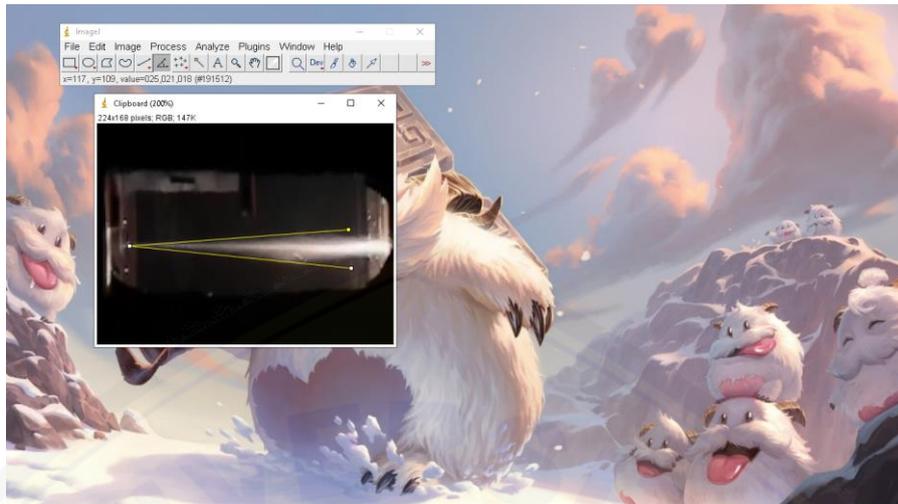
Pengambilan data sudut penetrasi semprotan dilakukan dengan mengukur besar luasan tip penetrasi dari ujung nosel seperti Gambar 3.10 yang didapatkan dari hasil perekaman sesuai dengan tahap pengujian.



Gambar 3.10 Pengambilan *spray angle*

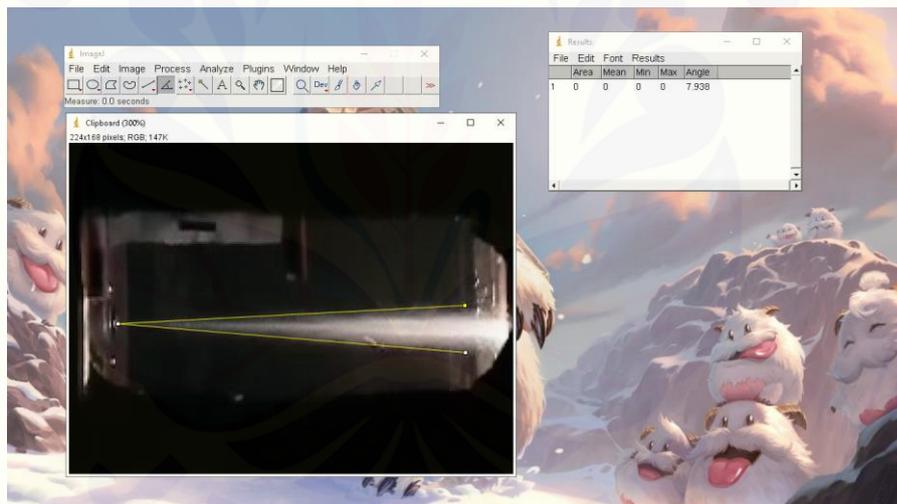
Adapun tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Hasil perekaman video pada tahap pengujian di konversi menjadi foto menggunakan aplikasi *free studio*.
2. Olahan foto atau gambar dari *free studio* kemudian diukur menggunakan aplikasi *image-J*.
3. Memilih opsi open untuk membuka foto atau gambar yang akan di ukur sudutnya pada aplikasi *image-J*
4. Memilih opsi *angle tool* pada aplikasi *image-J*
5. Mengatur garis pada *angle tool* dengan cara menyesuaikan dua garis lurus dari ujung nosel ke batas terluar sudut yang dibentuk oleh semprotan pada gambar yang akan diukur.



Gambar 3.11 Mengatur garis sudut pada aplikasi *image-J*

6. Mengukur sudut yang dibentuk yang telah disesuaikan dengan cara memilih opsi *Analyze* kemudian *Measure* pada aplikasi *image-J*



Gambar 3.12 Mengukur sudut pada aplikasi *image-J*

7. Mencatat hasil dari pengukuran panjang pada *image-J*
8. Melakukan secara berulang dengan metode yang sama pada masing-masing variasi campuran biodiesel dan temperatur.

3.9.3 Pengambilan Data *Velocity of Spray*

Pengambilan data kecepatan tip semprotan dilakukan dengan mengkonversi hasil perekaman berupa video menjadi foto dengan aplikasi *free studio*. Hasil olahan data dari *free studio* diamati panjang yang didapat dan lamanya waktu yang

diperlukan semprotan untuk membentuk tip penetrasi. Hasil data selanjutnya akan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

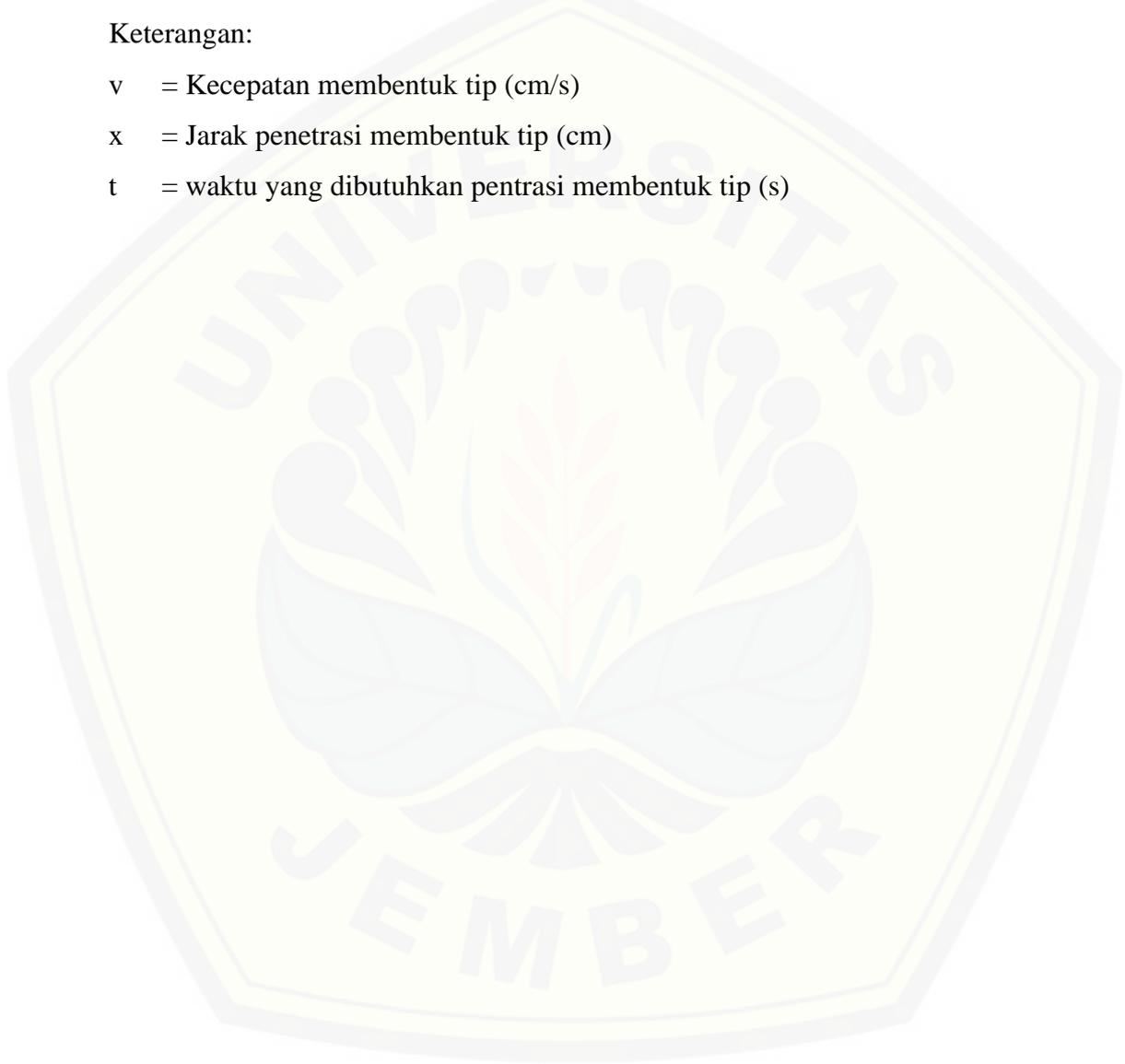
$$v = \frac{\text{jarak penetrasi } (x)}{\text{waktu penetrasi } (t)}$$

Keterangan:

v = Kecepatan membentuk tip (cm/s)

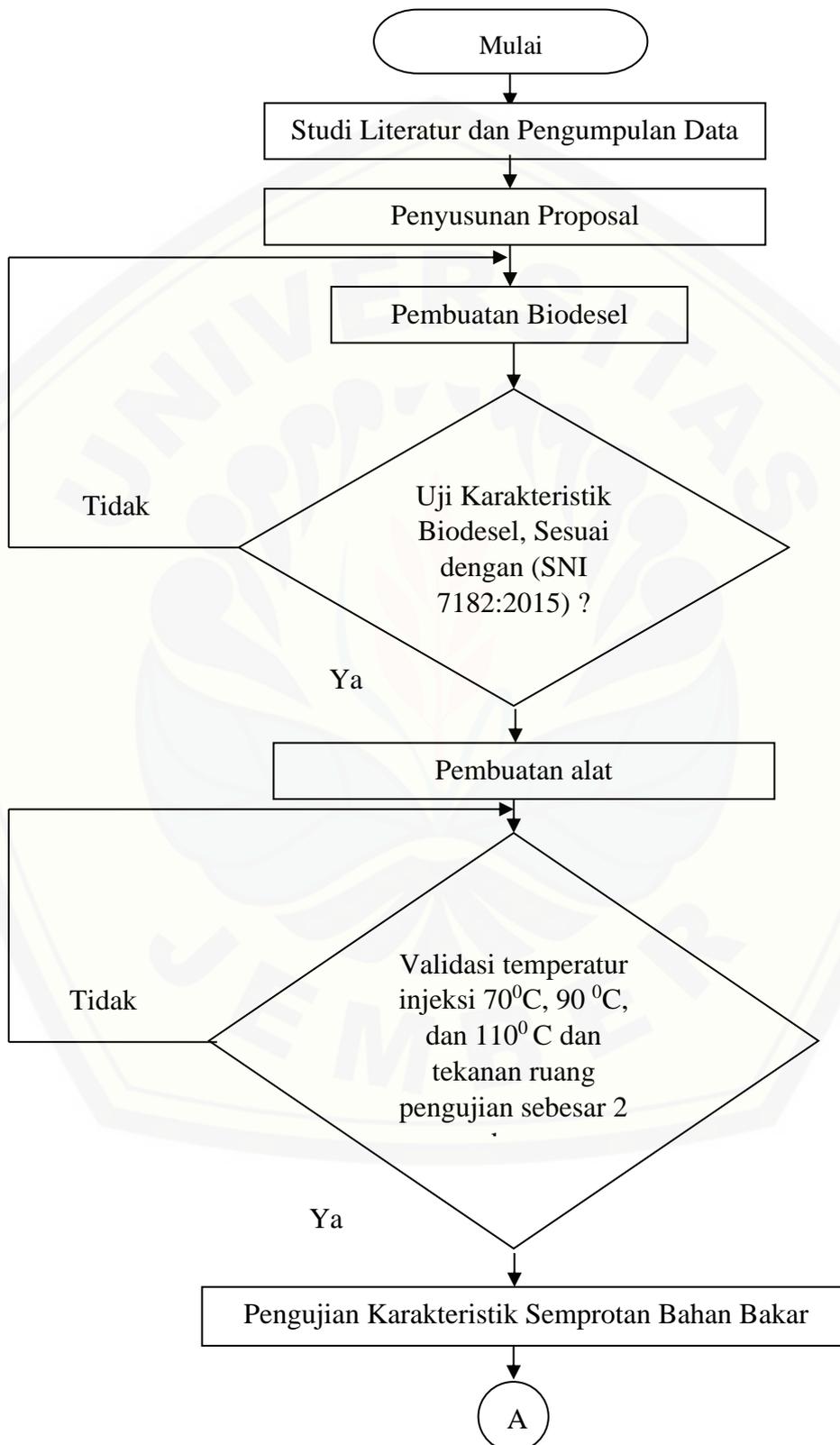
x = Jarak penetrasi membentuk tip (cm)

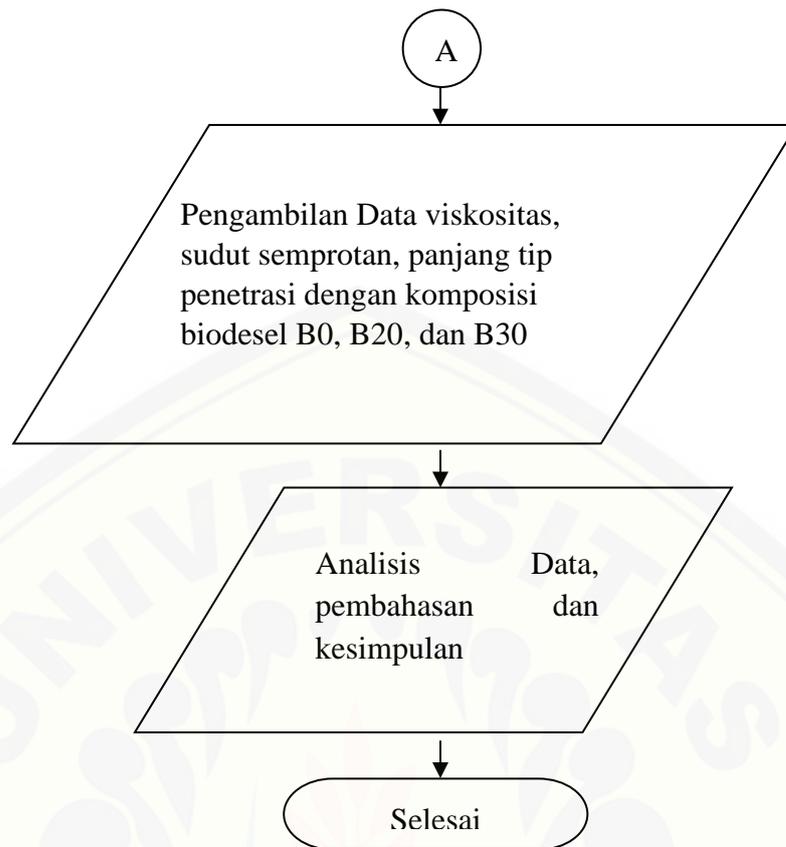
t = waktu yang dibutuhkan penetrasi membentuk tip (s)



3.10 Diagram Alir

Diagram alir pengujian karakteristik semprotan sebagai berikut:





Gambar 3.13 Diagram alir

3.11 Jadwal Kegiatan Penelitian

Jadwal kegiatan penelitian dapat dilihat pada tabel 3.2.

Tabel 3.2 Jadwal Kegiatan Penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan																											
		Oktober				November				Desember				Januari				Februari				Maret				April			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■	■	■	■	■	■	■	■																				
2	Penelitian pendahuluan									■	■	■	■																
3	Penyusunan Proposal													■	■	■	■												
4	Seminar Proposal																	■	■										
5	Persiapan Alat dan Bahan																			■	■								
6	Pelaksanaan Penelitian																					■							
7	Pengolahan Data																							■	■				
8	Seminar Hasil																									■	■		
9	Sidang Skripsi																											■	■



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian dan analisis data yang telah dipaparkan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Penambahan variasi temperatur akan mempengaruhi viskositas dan densitas bahan bakar. Semakin bertambahnya variasi temperatur akan menyebabkan penurunan nilai viskositas dan densitas bahan bakar. Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur suatu fluida maka jarak antar molekul akan semakin melebar yang mengakibatkan densitas dan viskositas semakin menurun. Pada penelitian ini, bahan bakar dengan komposisi campuran B0 dan variasi temperatur 110°C memiliki nilai densitas dan viskositas terendah sebesar 0.788 gr/ml dan 1.288 mm²/s
2. Penambahan variasi temperatur akan mempengaruhi *spray tip penetration*. Semakin bertambahnya variasi temperatur akan menyebabkan penurunan nilai *spray tip penetration*. Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur injeksi mengakibatkan nilai viskositas yang lebih rendah sehingga menyebabkan butiran menjadi semakin kecil dan mempercepat perubahan fase butiran menjadi uap. Pada penelitian ini, bahan bakar dengan komposisi campuran B0 dan variasi temperature 110°C memiliki nilai *spray tip penetration* terendah sebesar 12.344 mm.
3. Penambahan variasi temperatur akan mempengaruhi *spray angle*. Semakin bertambahnya variasi temperatur akan menyebabkan kenaikan nilai *spray angle*. Hal ini disebabkan semakin tinggi temperatur pemanasan menyebabkan semakin tinggi energi kinetik pada *spray* dan ukuran butiran yang semakin kecil pada *spray* sehingga menyebabkan sudut *spray* semakin besar .Pada penelitian ini, bahan bakar dengan komposisi campuran B0 dan variasi temperatur 110 °C memiliki nilai *spray angle* tertinggi sebesar 11.22°
4. Penambahan variasi temperatur akan mempengaruhi *velocity of spray*. Semakin bertambahnya variasi temperatur akan menyebabkan

penurunan nilai *velocity of spray*. Hal ini disebabkan viskositas atau densitas besar menjadikan bahan bakar memiliki ukuran droplet yang lebih besar sehingga memiliki momentum yang besar untuk menembus hambatan dari lingkungan tempat bahan bakar diinjeksikan dan menyebabkan *velocity of spray* menjadi lebih tinggi. Pada penelitian ini, bahan bakar dengan komposisi campuran B100 dan variasi temperatur 70 °C memiliki nilai *velocity of spray* paling tinggi sebesar 32.07 mm/ms

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka saran yang dapat peneliti sampaikan adalah:

1. Disarankan melakukan penelitian karakteristik bahan bakar dengan sendirinya atau melihat secara langsung proses pengujian, agar peneliti dapat mengetahui secara langsung proses pengujian karakteristik bahan bakar.
2. Disarankan biodiesel disimpan pada tempat yang sejuk dan terhindar dari tempat matahari agar tidak merusak karakteristik bahan bakar tersebut
3. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk menggunakan kamera dengan fps dan resolusi yang lebih tinggi agar dalam proses analisis gambar, hasil yang didapatkan lebih maksimal.
4. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk menggunakan pengatur keluaran tekanan otomatis pada *nozel tester* agar hasil *spray* lebih presisi dan seragam
5. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai bahan bakar biodiesel dan campurannya terhadap kinerja performa mesin diesel agar mengetahui pengaruh pada mesin diesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Agarwal, A.K., dan Vipul H. Chaudhury. 2012. Spray Characteristic of biodiesel/blends in a high pressure constant volume spray chamber. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 42:212-218.
- Annamalai, K., Ishwar. K. Puri. 2002. *Advanced Thermodynamics Engineering*. Whashington DC: CRC Press.
- Ahmad, Arizal Sita. 2017. Studi Eksperimen Unjuk Kerja Mesin Diesel Sistem Dual Fuel dengan Variasi Tekanan Penginjeksian Pada Injektor Mesin Yanmar TF55R Di. *Skripsi*. Surabaya: Program Sarjana Fakultas Teknologi Industri Insitut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Anis, Samsudin dan Galuh Nur Budiandono. 2019. Investigation of the effects of preheating temperature of biodiesel-diesel fuel blends on spray characteristics and injection pump performances. *Renewable energy*. 140:274-280.
- Arumugam, A. dan V. Ponnusami. 2019. Biodiesel production from *Calophyllum inophyllum* oil a potential non-edible feedstock: An overview. *Renewable Energy*. 131:459-471.
- Dermibas, Ayhan. 2007. Importance of biodiesel as transportation fuel. *Energy Policy*. 35:4661-4670.
- Desantes, J.M, R. Payri, F.J. Salvador, dan A. Gil. 2006. Development and validation of a theoretical model for diesel spray penetration. *Fuel*. 85(8):910-917.
- Djamin, M. , dan Soni S. Wirawan. 2010. Pengaruh Komposisi Biodiesel Terhadap Kinerja Mesin dan Emisi Gas Buang. *Jurnal Teknik Lingkungan*. 11(3): 381-387.
- Kuti, O A, W G Xiangang, W Zhang, K Nishida, dan Z H Huang. 2010. Characteristic of the ignition and combustion of biodiesel fuel spray injected by a common-rail injection system for a direct-injection diesel engine. *Jurnal*. 224:1581-1596.
- El-Sessy, Ahmed I, Hidenori Kosaka, Hamdy Hassan, dan Susumu Sato. 2019. Combustion and emission characteristics of a common rail diesel engine and RCEM fueled by n-heptanol-diesel blends and carbon nanomaterial additives. *Energy Conversion and Management*. 196:370-394.

- Fadhlullah, Muhammad, Sri Nanan B. Widiyanto, dan Elvi Restiawaty. 2015. The potential of nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) seed oil as biodiesel feedstock: effect of seed moisture content and particle size on oil yield. *Energy Procedia*. 68:177-185.
- Ghurri, Ainul. 2012. Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodiesel Pada Sistem Injeksi Common-Rail. *Proceedings Seminar Nasional Tahunan Teknik Mesin XI (SNTTM XI) & Thermofluid IV*. 16-17 Oktober 2012. Universitas Gajah Mada (UGM): 146-149.
- Hajjari, Masoumeh, Meisam Tabatabaiea, Mortaza Aghbashlod, dan Hossein Ghanavati. 2017. A review on the prospects of sustainable biodiesel production: A global scenario with an emphasis on waste-oil biodiesel utilization. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 72:445-464.
- Hiroyasu, H dan Masataka Arai. *SAE Technical Paper SAE900475*, 1990.
- Hoang, Anh Tuan. 2019. Experimental study on spray and emission characteristics of a diesel engine fueled with preheated bio-oils and diesel fuel. *Energy*. 171:795-808.
- Jain, Mohit, Usha Chandrakant, Valérie Orsat, dan Vijaya Raghavan. 2018. A review on assessment of biodiesel production methodologies from *Calophyllum inophyllum* seed oil. *Industrial Crops & Products*. 114:28-44.
- Kegl, Breda, Marko Kegl, Stanislav Pehan. 2013. *Green Diesel Engines Biodiesel Usage in Diesel Engines*. London: Springer-Verlag.
- Knothe, Gerhard. 2004. *The Biodiesel Handbook*. AOCS Press. Illinois.
- Leksono, Budi, Rina Laksmi Hendrati, Eritrina Windyarini, dan Trimaria Hasnah. 2014. Variation in Biofuel Potential of Twelve *Calophyllum inophyllum* Populations in Indonesia. *Indonesian Journal of Forestry Research*. 1(2):127-138.
- Lestari, Nita Fitria. 2017. Analisis Fisik Biodesel Berbahan Baku Minyak hasil Pengolahan Limbah Industri Pengalengan Ikan. *Skripsi*. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Martínez, Simón Martínez, Fausto Sanchez, Vicente Bermudez dan J. Manuel Riesco-Avila (2010). *Liquid Sprays Characteristics in Diesel Engines, Fuel Injection*, Daniela Siano (Ed.), ISBN: 978-953-307-116-9, InTech.
- Misra, R.D, dan M.S. Murthy. Straight Vegetable oils usage in compression ignition engine-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 14(9):3005-3013.

- Morris, R.E., Pollack, A.K., Mansell, G.E., Lindhjem, C., Jia, Y., dan Wilson, G., 2003. Impact of biodiesel fuels on air quality and human health. Subcontractor Report, NREL/SR-540-33793, National Renewable Energy Laboratory, Golden, CO.
- Noor, C.W. Mohd, M.M. Noora, dan R. Mamat. 2018. Biodiesel as alternative fuel for marine diesel engine applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 94:127-142.
- Ong, Hwai Chyuan, H.H Masjuki, T.M.I Mahlia, A.S Silitonga, W.T. Chong, K.Y. Leong. 2014. Optimization of biodiesel production and engine performance from high free fatty acid Calophyllum inophyllum oil in CI diesel engine. *Energy Conversion and Management*. 81:30-40.
- Prabu, S. Senthur, M.A. Asokan, S. Prathiba, Shakkeel Ahmed, dan George Puthen. 2018. Effect of additives on performance, combustion and emission behavior of preheated palm oil/diesel blends in DI diesel engine. *Renewable Energy*. 122:196-205.
- Priyanto, Dimas, dan Bambang Sudarmanta. 2015. Studi Eksperimental Pengaruh Temperatur Pemanasan Bahan Bakar Biodiesel Palm Oil (B100) Terhadap Unjuk Kerja Mesin Diesel Sistem Injeksi Langsung Diamond Tipe Di800. *Jurnal Teknik POMITS*. 4(2):2301-9271.
- Reif, Konrad. 2014. *Diesel Engine Management System and Components*. Jerman: Springer Viewg.
- Sanjid, A., H.H. Masjuki, M.A. Kalam, S.M. Ashrafur Rahman, M.J. Abedin, dan S.M. Palash. 2013. Impact of palm, mustard, waste cooking oil and Calophyllum inophyllum biofuels on performance and emission of CI engine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 27:664-682.
- Schumacher, L. G., S. C. Borgelt, D. Fosseen, W. Goetz dan W. G. Hires. 1996. Heavy-Duty Engine Exhaust Emission Tests Using Methyl Ester Soybean Oil/Diesel Fuel Blends. *Bioresource Technology*. 57(1):31-36.
- Sudarmanta, Bambang dan Djoko Sungkono. 2005. Transesterifikasi Crude Palm Oil dan Uji Karakteristik Semprotan Menggunakan Injektor Motor Diesel. *Jurnal*. 5(2):62-68. Bogor: Sekolah Pascasarjana Insitut Pertanian Bogor.
- Sunandar, Kudrat. 2010. Kajian Kapilaritas Minyak Nabati Pada Kompur Sumbu. *Disertasi*. Bogor.

Tesfa, B., R. Mishra , F. Gu , dan N. Powles. 2010. Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines. *Renewable energy*. 35(12):2752-2760.

Tickell, Joshua dan Kaia Tickell. 2003. *From the Fryer to the Fuel Tank: The Complete Guide to Using Vegetable Oil as an Alternative Fuel*. Amerika: Tickell Energy.

Vigneshwar, V. , S. Yogesh Krishnan, R. Susanth Kishna, R. Srinath, B. Ashok, dan K. Nanthagopal. 2019. Comprehensive review of *Calophyllum inophyllum* as a feasible alternate energy for CI engine applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 115: 109397.

Wibawa, I Wayan Suma, I Gusti Bagus Wijaya Kusuma, dan I Nyoman Budiarsa. 2015. Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan Bakar Biodesel. *METTEK*.1(2):35-44.

Wang ,Xiangang, Zuohua Huang, Olawole Abiola Kuti, Wu Zhang, dan Keiya Nishida. Experimental and analytical study on biodiesel and diesel spray characteristics under ultra-high injection pressure. *International Jurnal of Heat and Fluid Flow*. 31(4):659-666.

A. LAMPIRAN**A.1 Pengambilan Data****1. Pengaturan Tekanan Injeksi**

Gambar A.1 Tekanan injeksi pada tekanan 15 MPa

2. Tekanan *ambient* ruang pengujian 2 bar

Gambar A.2 Tekanan ruang pengujian 2 bar

3. Alat yang digunakan pada pengambilan data



Gambar A.3 *Nozzle Tester*



Gambar A.4 *Nozzle tipe throttle single hole*



Gambar A.5 Ruang Pengujian



Gambar A.6 Lampu Sorot



Gambar A.7 Kompresor



Gambar A.8 Heater Belt



Gambar A.9 Dimmer AC

4. Bahan yang digunakan pada pengambilan data



Gambar A. 8 Bahan bakar yang digunakan dalam pengambilan data

5. Skema pengambilan data

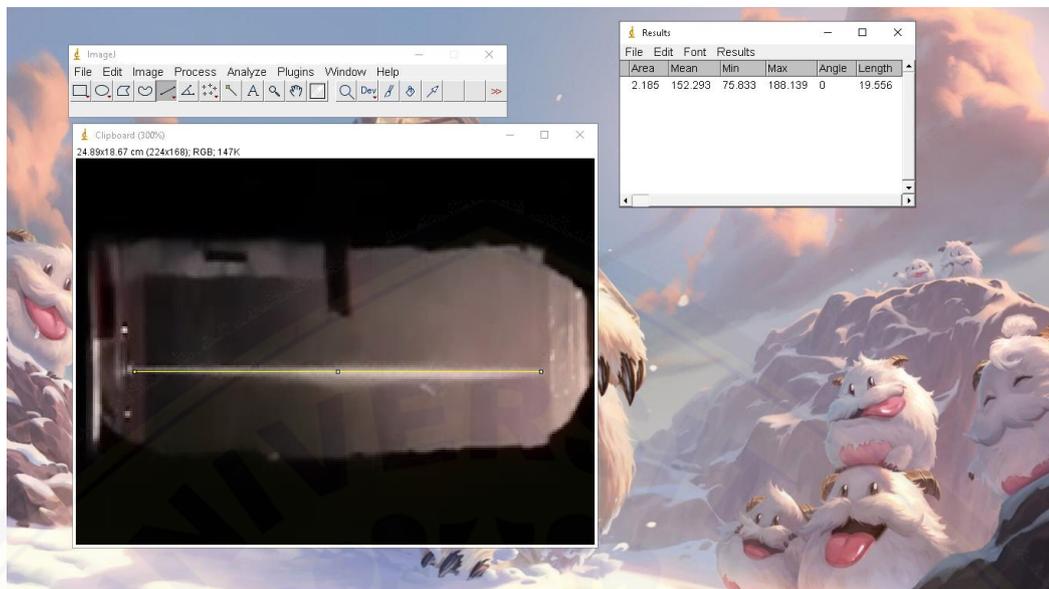


Gambar A.9 Skema pengambilan data

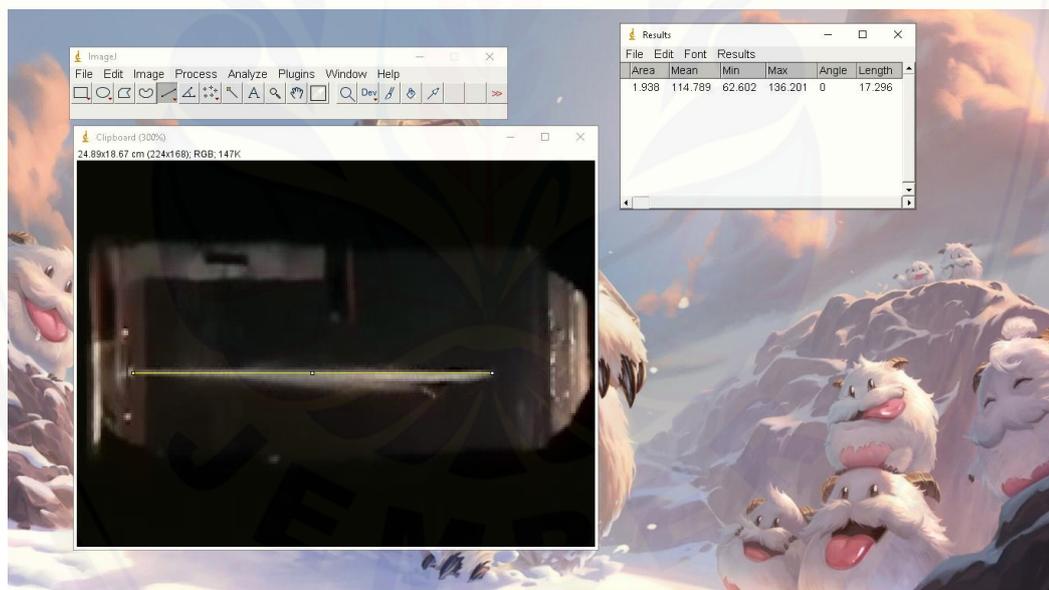
B. LAMPIRAN PENGUKURAN DATA

B.1 *Spray tip penetration*

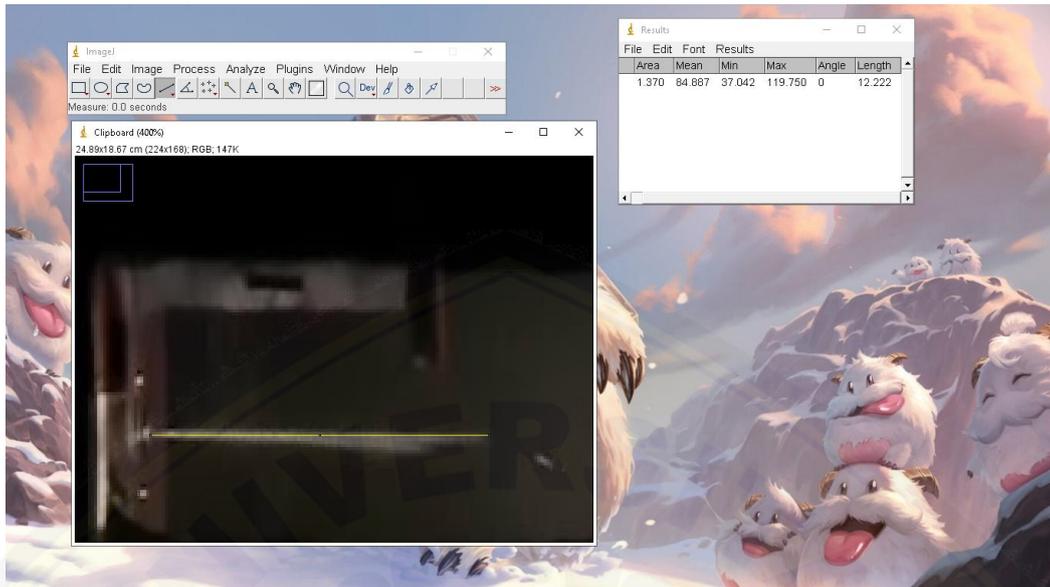
1. Pengukuran Bahan bakar diesel 100%



Gambar B.1 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 100% pada temperatur 70°C

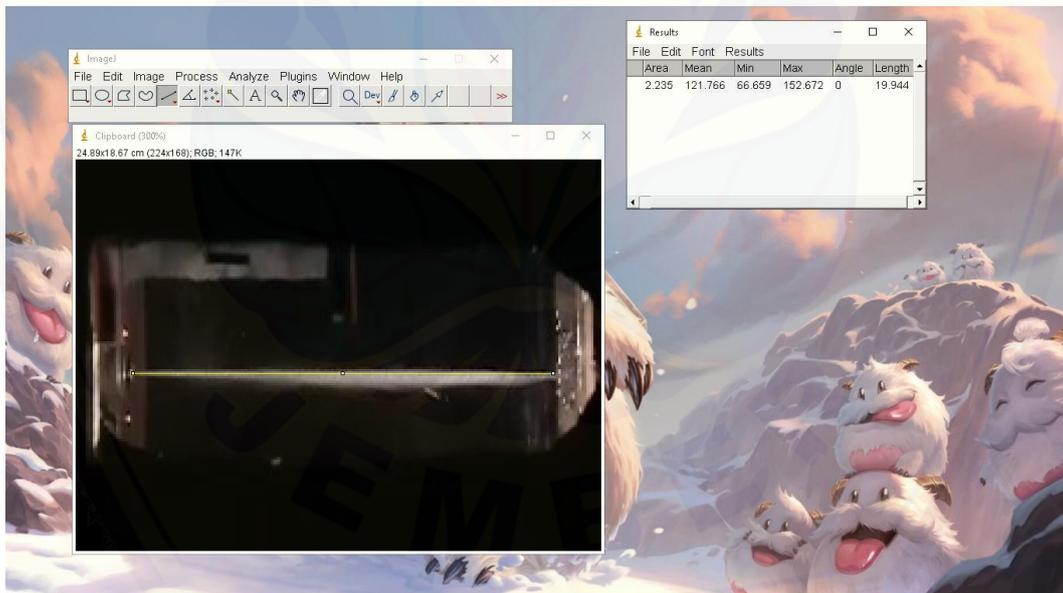


Gambar B.2 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 100% pada temperatur 90°C

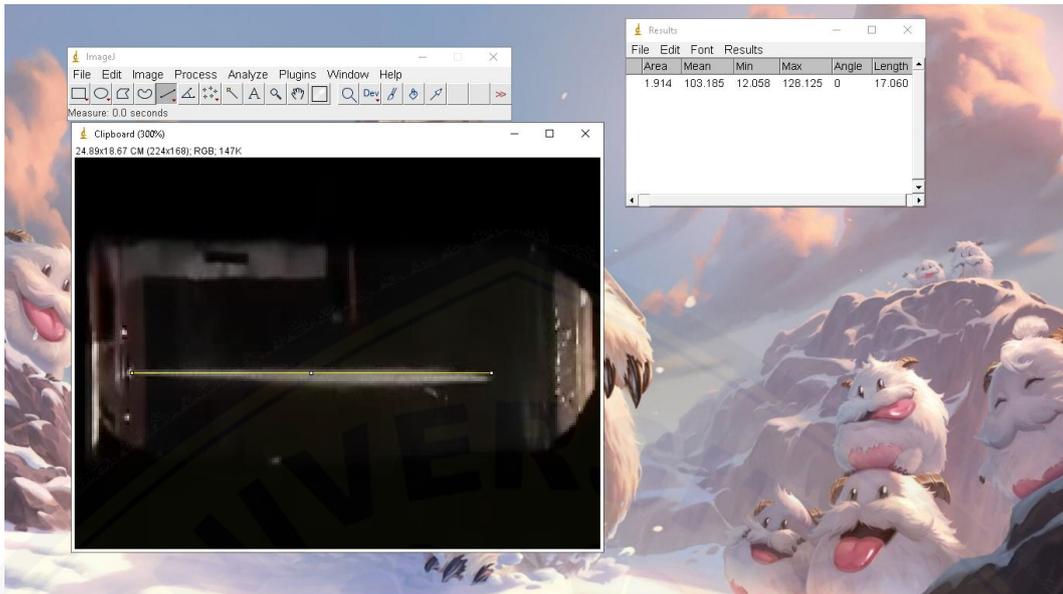


Gambar B.3 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 100% pada temperatur 110 °C

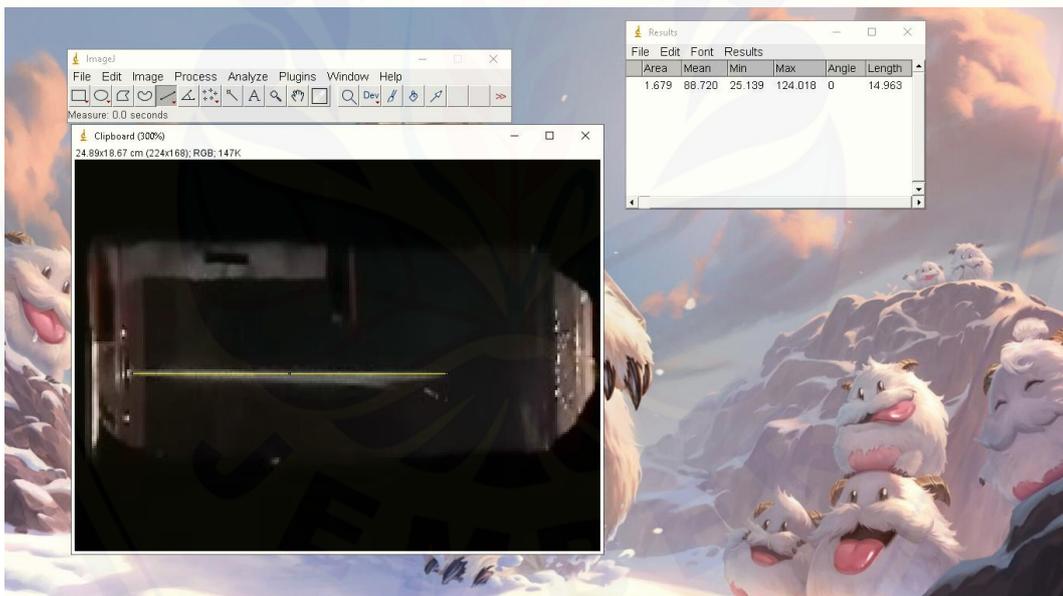
2. Pengukuran Bahan bakar biodiesel 20%



Gambar B.4 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 20% pada temperatur 70 °C

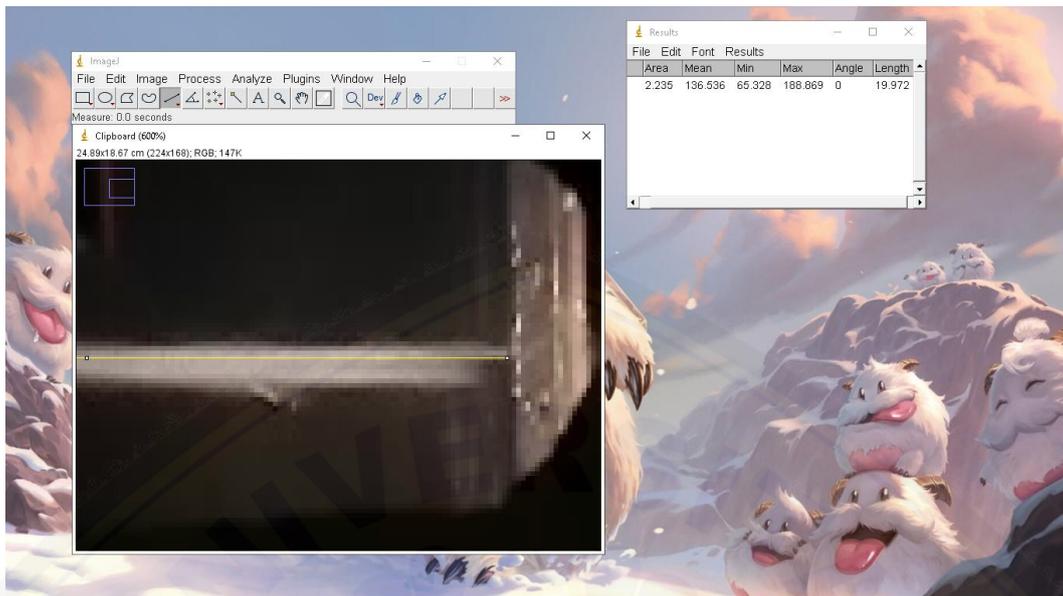


Gambar B.5 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 20% pada temperatur 90 °C

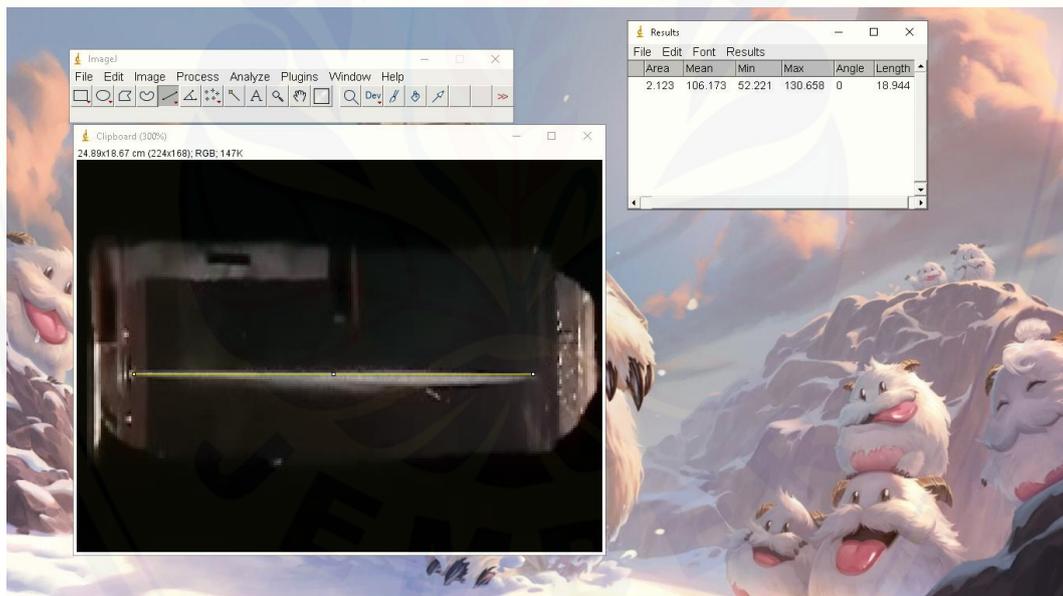


Gambar B.6 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 20% pada temperatur 110 °C

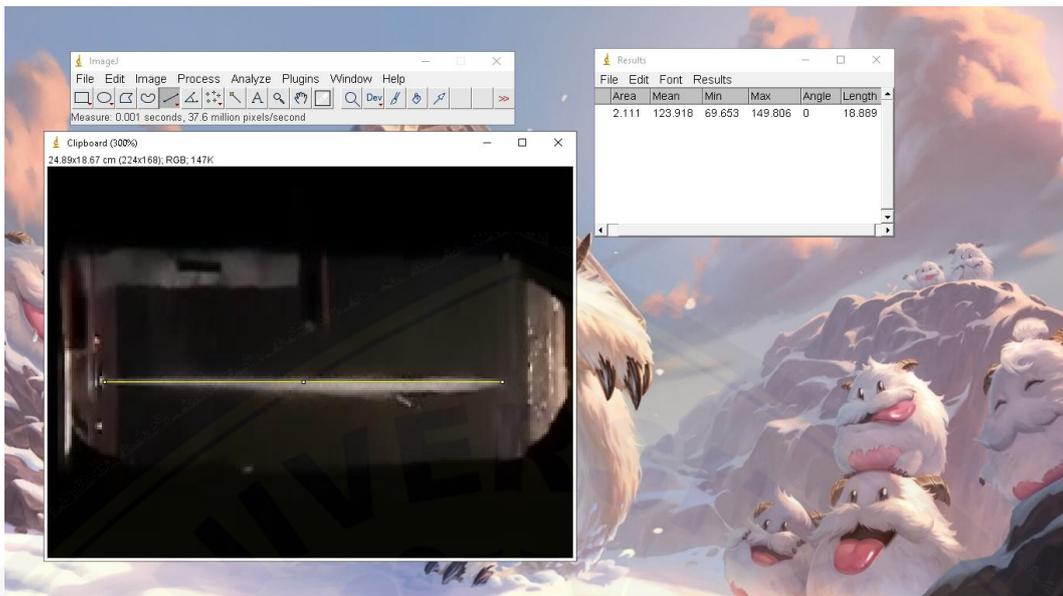
3. Pengukuran Bahan bakar biodiesel 30%



Gambar B.7 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 30% pada temperatur 70 °C

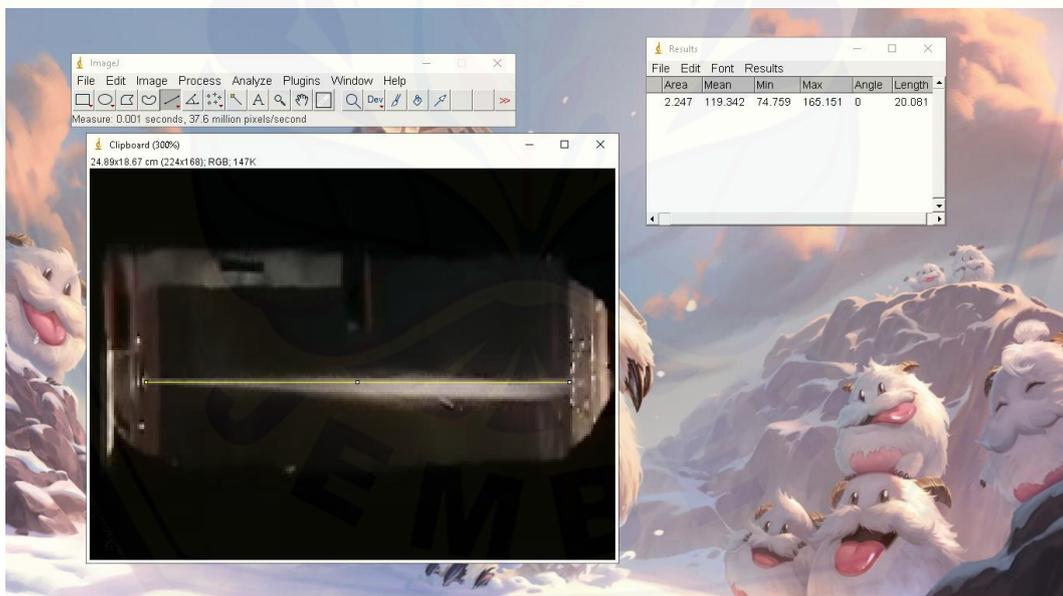


Gambar B.8 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 20% pada temperatur 90 °C

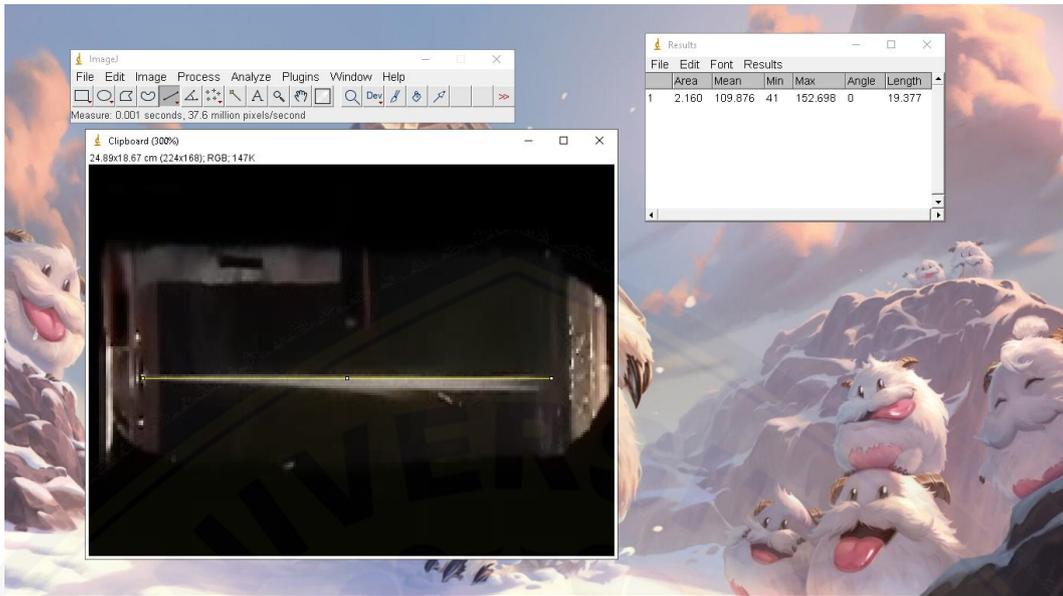


Gambar B.9 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 20% pada temperatur 110 °C

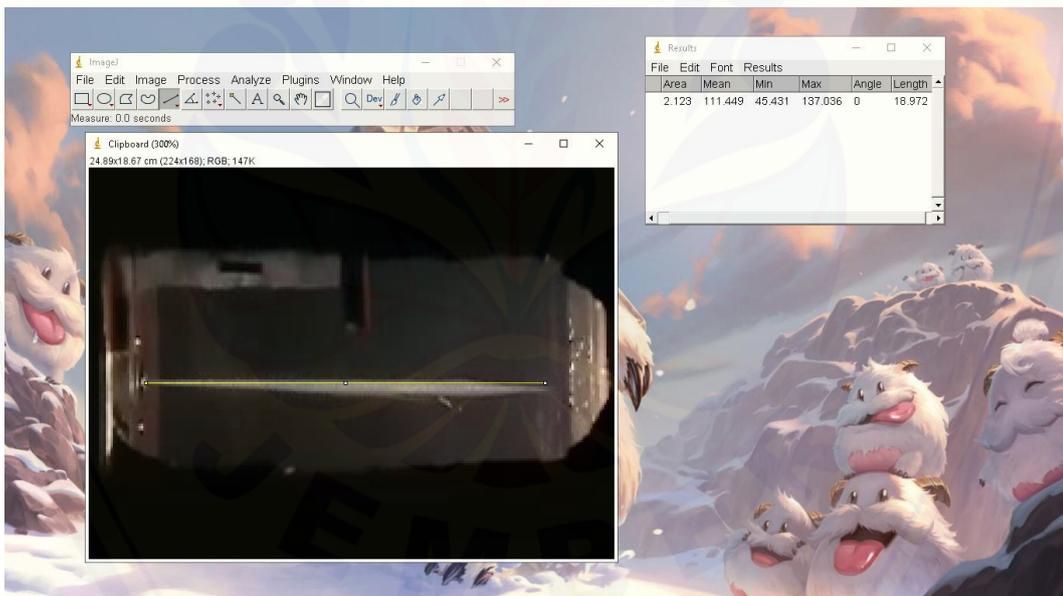
4. Pengukuran Bahan bakar biodiesel 100%



Gambar B.10 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 100% pada temperatur 70 °C



Gambar B.11 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 100% pada temperatur 90 °C



Gambar B.12 Pengukuran *spray tip penetration* bahan bakar diesel 100% pada temperatur 110 °C

5. *Data spray tip penetration*Tabel B.1 *Data spray tip penetration* percobaan 1

Temperatur °C	Panjang Tip Semprotan (S) (cm)			
	B0	B20	B30	B100
70	19.556	19.944	19.972	20.081
90	17.963	17.06	18.944	19.377
110	13.292	14.963	18.889	18.972

Tabel B.2 *Data spray tip penetration* percobaan 2

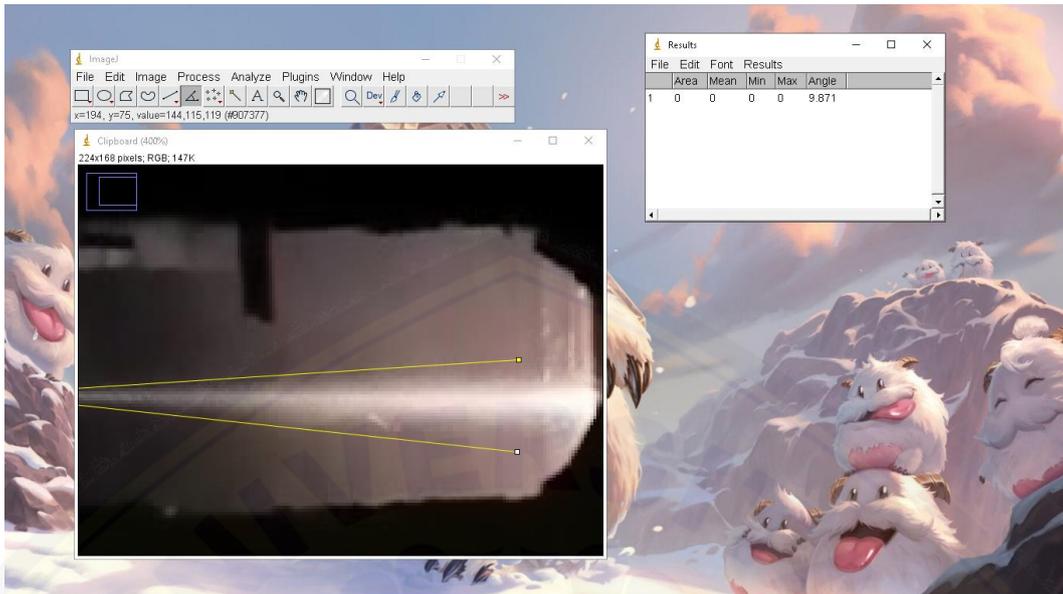
Temperatur °C	Panjang Tip Semprotan (S) (cm)			
	B0	B20	B30	B100
70	18.963	19.917	19.586	20.097
90	17.296	16.648	17.852	19.259
110	12.222	16.556	17.431	18.667

Tabel B.3 *Data spray tip penetration* percobaan 3

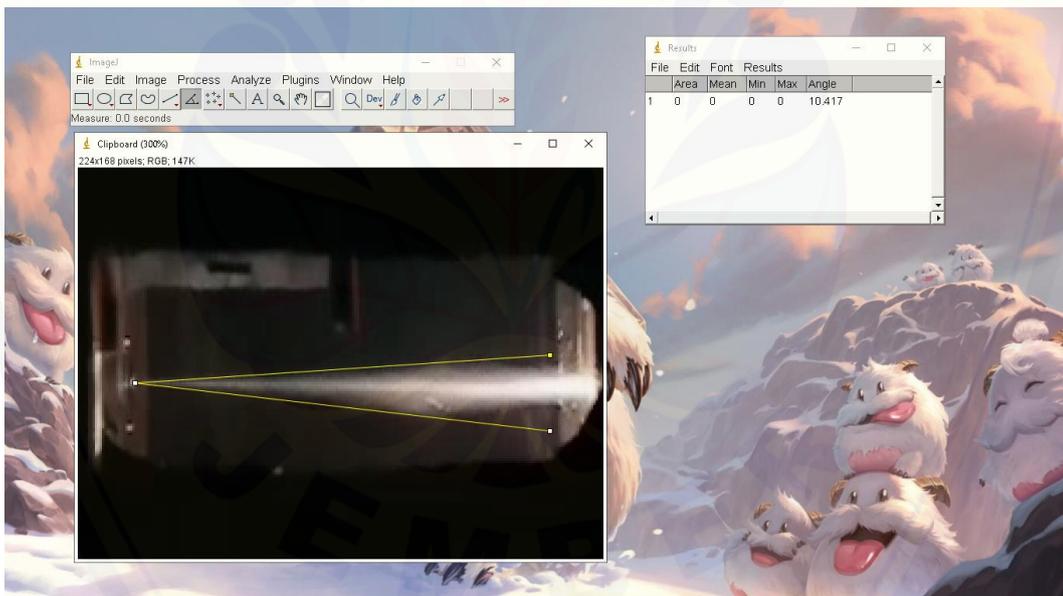
Temperatur °C	Panjang Tip Semprotan (S) (cm)			
	B0	B20	B30	B100
70	16.667	16.556	19.597	19.956
90	15	17.431	17.986	18.87
110	11.519	13.056	16.694	17.63

B.2 *Spray Angle*

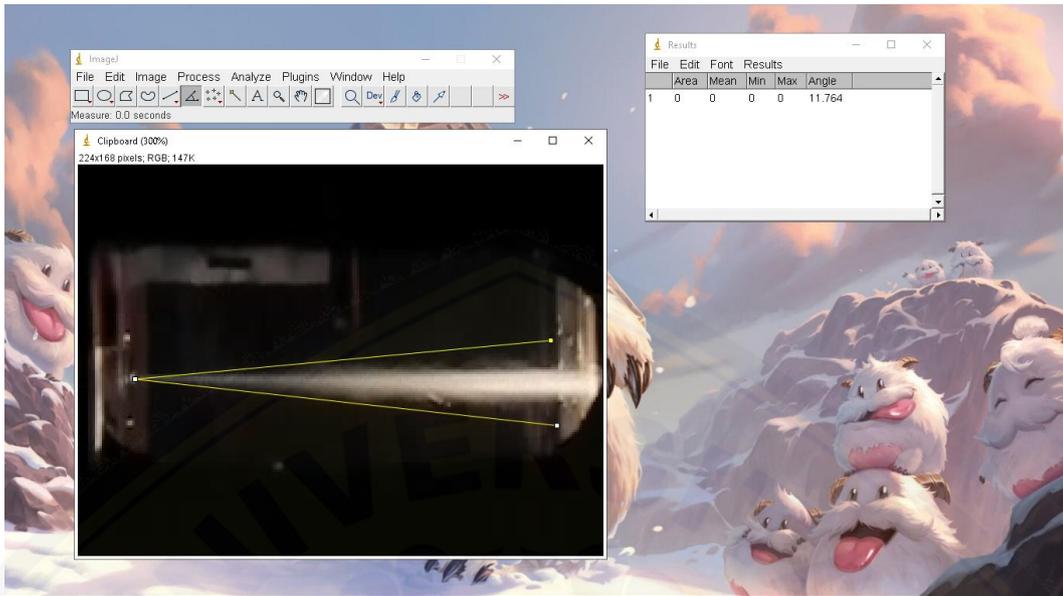
1. Pengukuran Bahan bakar diesel 100%



Gambar B.13 Pengukuran *spray angle* bahan bakar diesel 100 % pada temperatur 70°C

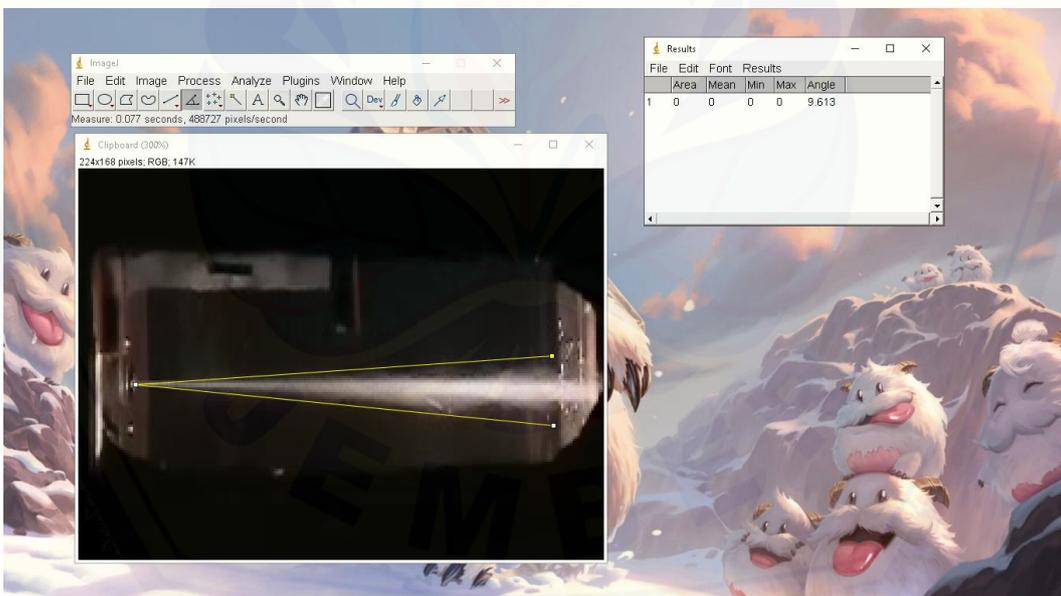


Gambar B.14 Pengukuran *spray angle* bahan bakar diesel 100 % pada temperatur 90°C

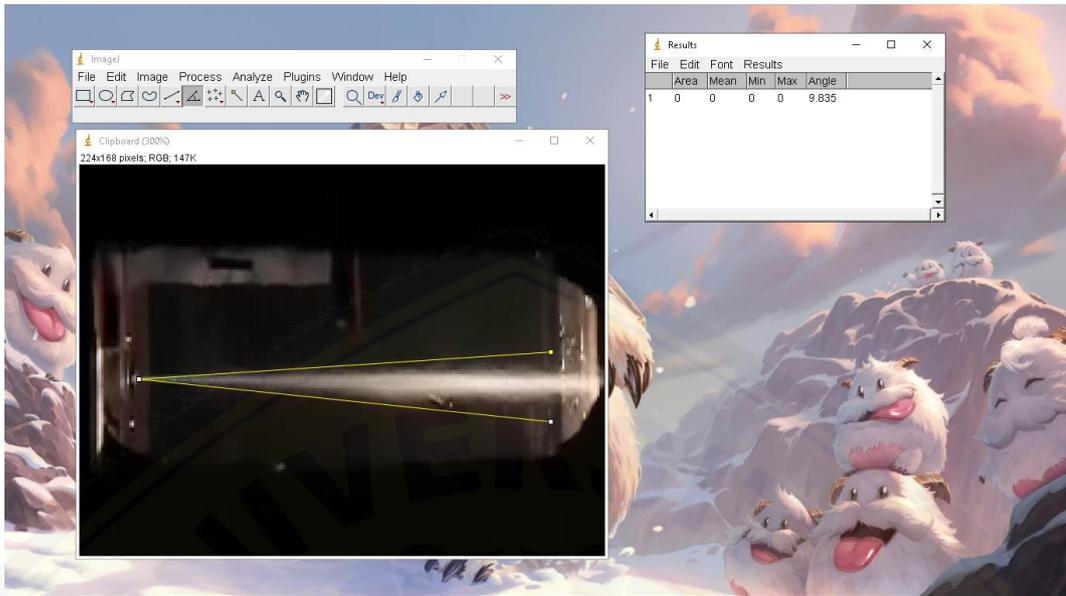


Gambar B.15 Pengukuran *spray angle* bahan bakar diesel 100 % pada temperatur 110°C

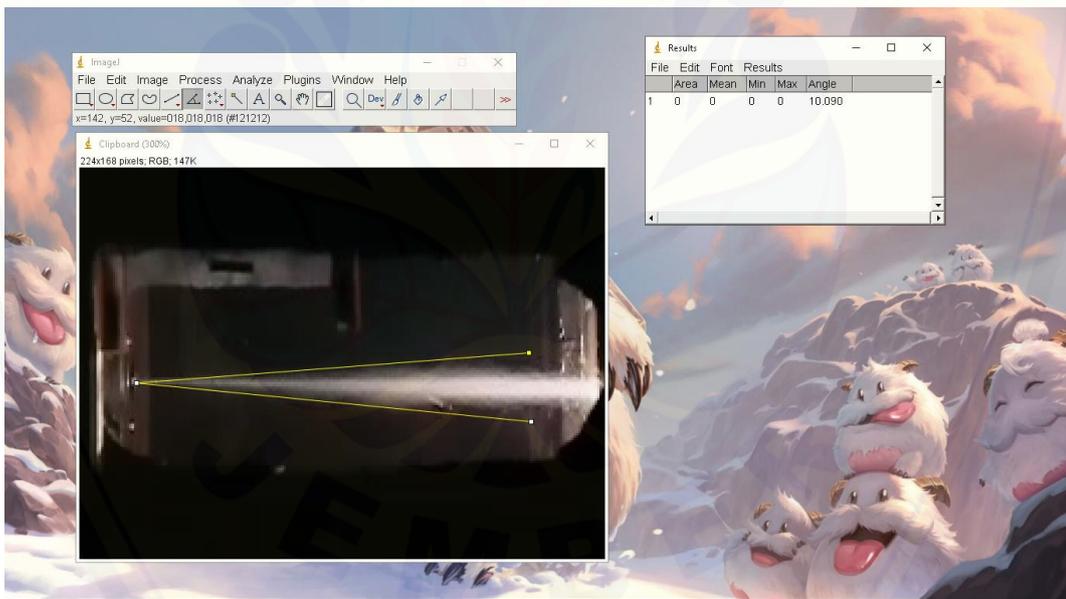
2. Pengukuran Bahan bakar biodiesel 20%



Gambar B.16 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 20 % pada temperatur 70°C

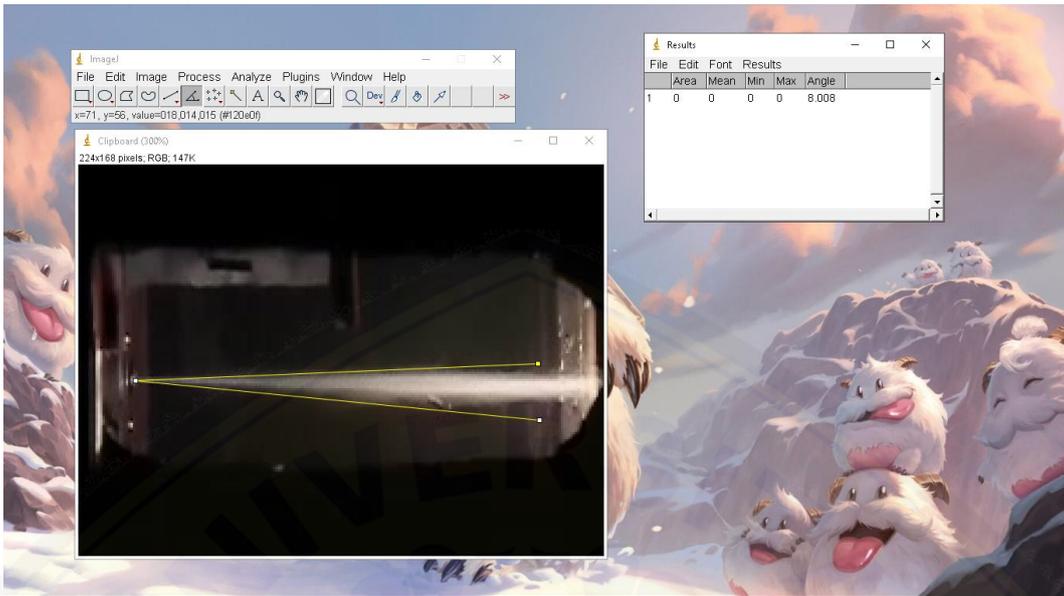


Gambar B.17 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 20 % pada temperatur 90°C

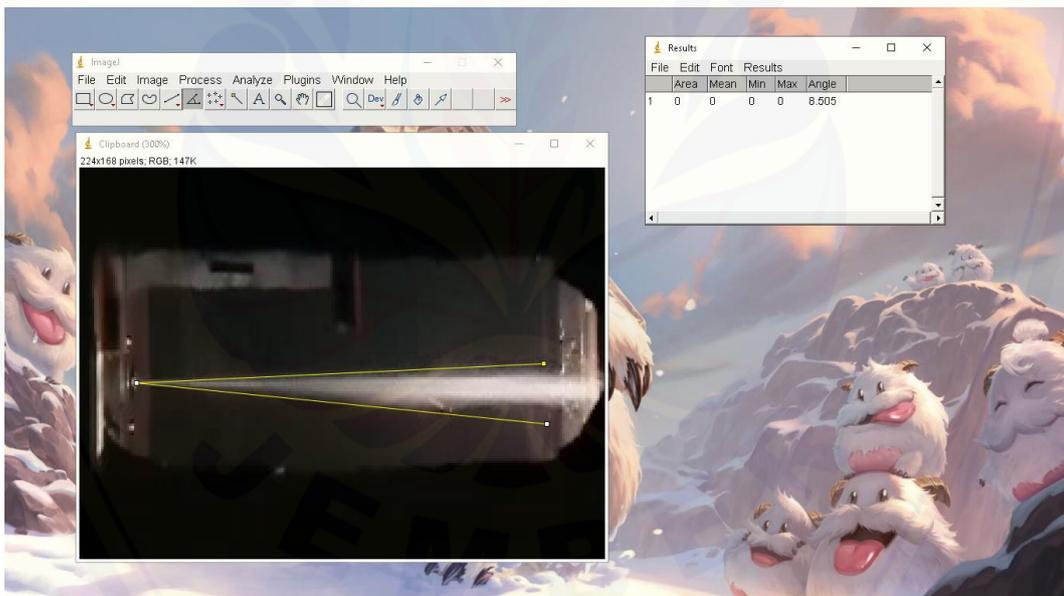


Gambar B.18 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 100 % pada temperatur 110°C

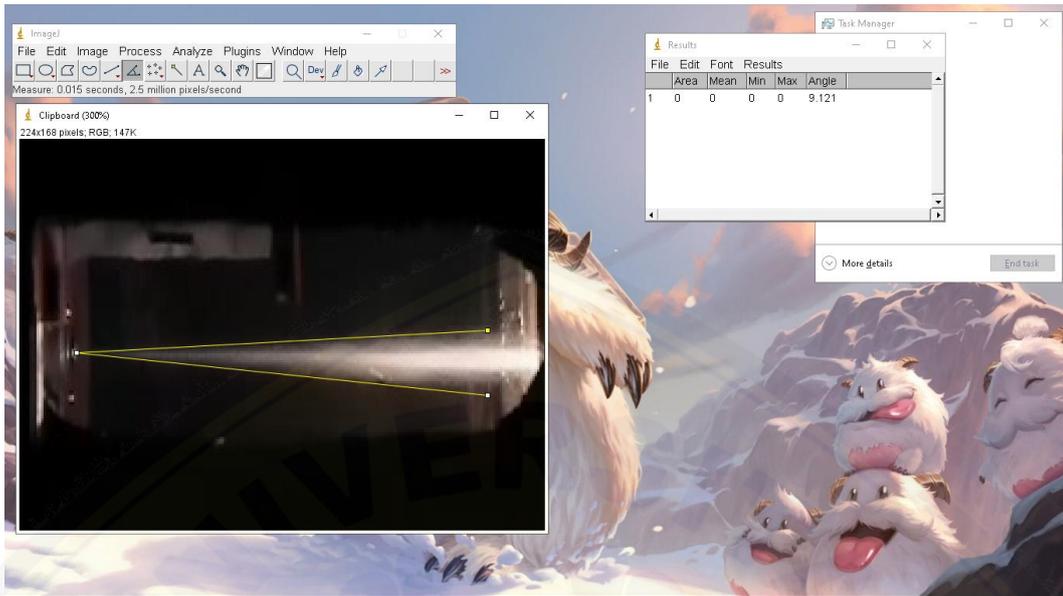
3. Pengukuran Bahan bakar biodiesel 30%



Gambar B.19 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 30 % pada temperatur 70°C

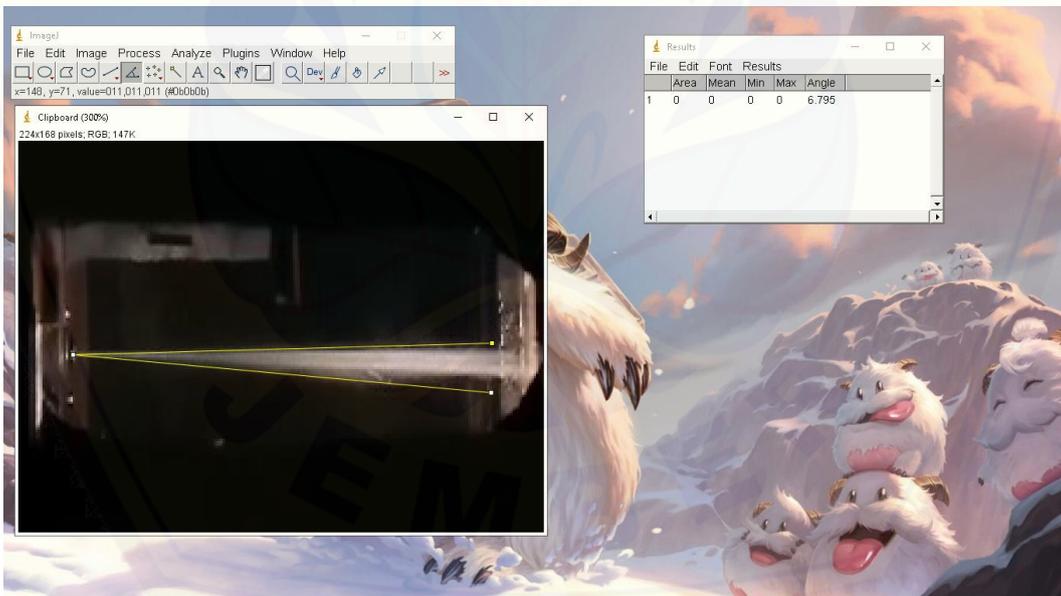


Gambar B.20 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 30 % pada temperatur 90°C

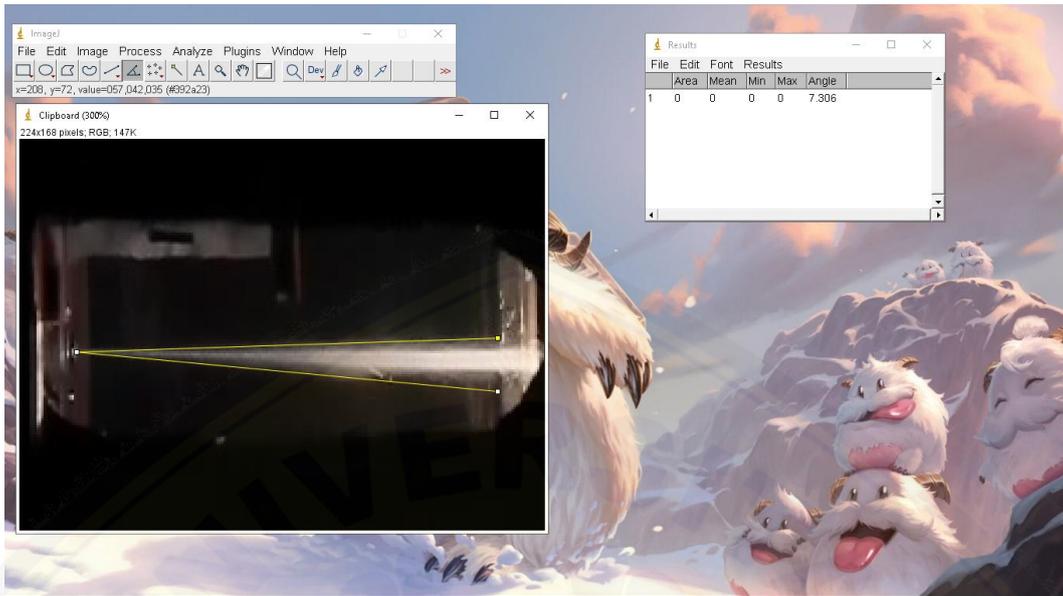


Gambar B.21 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 30 % pada temperatur 110°C

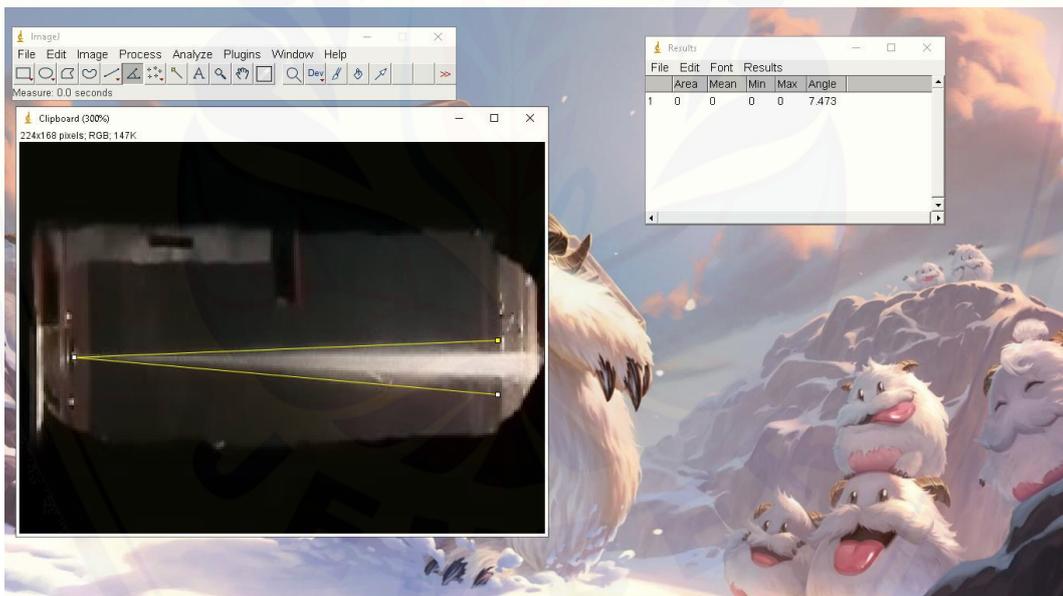
4. Pengukuran Bahan bakar biodiesel 100%



Gambar B.22 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 100 % pada temperatur 70°C



Gambar B.23 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 100 % pada temperatur 90°C



Gambar B.24 Pengukuran *spray angle* bahan bakar biodiesel 100 % pada temperatur 110°C

5. Data Spray Angle percobaan 1

Temperatur °C	Sudut Semprotan (θ) (°)			
	B0	B20	B30	B100
70	10.212	9.613	8.008	6.795
90	11.166	9.835	8.505	7.306
110	11.764	10.09	9.121	7.473

6. Data Spray Angle percobaan 2

Temperatur °C	Sudut Semprotan (θ) (°)			
	B0	B20	B30	B100
70	9.254	8.718	8.471	6.527
90	9.534	9.078	8.134	7.646
110	11.097	10.24	9.994	7.951

7. Data Spray Angle percobaan 3

Temperatur °C	Sudut Semprotan (θ) (°)			
	B0	B20	B30	B100
70	9.871	8.855	8.108	7.064
90	10.417	8.952	9.148	7.424
110	10.798	9.813	10.081	8.421

B.3 Velocity of spray1. Data *velocity of spray* percobaan 1

Temperatur °C	Kecepatan Semprotan Bahan Bakar (v) (cm/ms)			
	B0	B20	B30	B100
70	3.129	3.191	3.196	3.213
90	2.874	2.730	3.031	3.100
110	2.127	2.394	3.022	3.036

6. Data *velocity of spray* percobaan 2

Temperatur °C	Kecepatan Semprotan Bahan Bakar (v) (cm/ms)			
	B0	B20	B30	B100
70	3.034	3.187	3.134	3.216
90	2.767	2.664	2.856	3.081
110	1.956	2.649	2.789	2.987

7. Data *velocity of spray* percobaan 3

Temperatur °C	Kecepatan Semprotan Bahan Bakar (v) (cm/ms)			
	B0	B20	B30	B100
70	2.667	2.649	3.136	3.193
90	2.400	2.789	2.878	3.019
110	1.843	2.089	2.671	2.821

C. Lampiran hasil uji karakteristik bahan bakar

C.1 Hasil Uji karakteristik B20, B30 dan B100



LABORATORIUM TAKI
 (Teknologi Air dan Konsultasi Industri)
 Departemen Teknik Kimia FTIRS – ITS
 Kampus ITS, Keputih – Sukolilo, Surabaya, Telp. 031 – 5922935
 Fax. 031-5922935, E-mail: lab.taki@chem-eng.its.ac.id

KETERANGAN HASIL ANALISA

No. 39/LTAKI/II/2020

Terima dari : Azis
 Universitas Jember
 Jenis contoh : Bahan bakar
 Kode contoh : B20, B30, B100
 Uji : kalor, flash point, densitas, viskositas
 Diterima tgl. : 17 Februari 2020

Parameter	Satuan	Hasil analisa			Metode analisa
		B20	B30	B100	
Nilai kalori	Kcal/kg	10731,3	10492,2	9673,51	Bomb calorimetry
Flash point	°C	127	118	192	ASTM D-93
Densitas 40°C	g/mL	0,838	0,845	0,890	ASTM D-1298
Viskositas 40°C	cSt	3	3,25	4	ASTM D-45

Keterangan :

- Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima

25 Februari 2020



Siti Nurkhaidah, ST, MS, Ph.D
 Kepala Laboratorium TAKI

C.2 Karakteristik bahan bahan diesel murni dari PT. PERTAMINA

PT. PERTAMINA (PERSERO)
Integrated Terminal Tanjung Wangi, Jl. Gatot Subroto No.72
Ketapang, Banyuwangi
Telp : 0333-510900 Fax : 0333-510354



Test Report
No.TR-043-AR/F15433/2020

No. COQ : LAB-COQ-GO-20-032 Produk : SOLAR
Nama Transport : MT SC EXPLORER LIII No. Tangki : TK 11;TK 09
Loading Port : TPPI - Tuban No. Sample : 227/AR/E307/2020
Discharge Port : Integrated Terminal Tanjung Wangi Tanggal Sampling : 04 Maret 2020

Parameter	Test Method	Unit	Limitation Min	Limitation Max	TK 11	TK 09
Indeks Setana	ASTM D4737	-	45	-	48.8	46.9
Berat Jenis @ 15 °C	ASTM D1298	kg/m ³	815	870	831.5	837.4
Viskositas Kinematis @ 40 °C	ASTM D445	mm ² /dt	2.0	4.5	2.21	2.19
Kandungan Sulfur	ASTM D4294	% m/m	-	0.25	0.01	0.01
Distilasi : 90% vol Penguapan	ASTM D86	°C	-	370	292.1	292.6
Flash Point	ASTM D93	°C	52	-	76	81.5
Titik Tuang	ASTM D97	°C	-	18	-18	-18
Kandungan Air	ASTM D6304	mg/kg	-	500	79.6	79.9
Kandungan Sedimen	ASTM D473	% m/m	-	0.01	0.01	0.01
Pensampilan Visual		-	Clear & Bright	Clear & Bright	Clear & Bright	Clear & Bright
Warna	ASTM D1500	No. ASTM	-	3.0	0.5	0.5

Catatan :

1. Sesuai keputusan Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi No. 28.K/10/DJM.T/2016 tanggal 24 Februari 2016 tentang Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar Minyak Jenis Minyak Solar 48 yang Dipasarkan di Dalam Negeri.
2. Hasil pengujian sampel memenuhi spesifikasi Dirjen Migas.

Banyuwangi, 04 Maret 2020

Pengawas Quality & Quantity

Muhammad Choirar Rofiqul Mizan

