



**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TERHADAP KARAKTERISTIK
SPRAY DENGAN BAHAN BAKAR CAMPURAN MINYAK DIESEL DAN
BIODIESEL *CALOPHYLLIUM INOPHYLLUM***

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir guna memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Mesin (S1) dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Putra Barru Sanjaya

(161910101087)

PROGRAM STUDY S1 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 Nur Wachid dan ibunda Eny Suhariyati yang senantiasa memberikan doa, semangat, dan motivasi serta dukungan terhadap saya baik materil dan non materil sehingga skripsi ini dapat selesai dengan baik.
3. Izzatul Ma'rifah yang juga memberikan semangat dan motivasi serta dukungan sehingga skripsi saya dapat selesai dengan baik.
4. Biodiesel team Faiz, Geza, Sinyo, Aziz yang turut membantu dalam pengujian dan penelitian pada skripsi ini sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
5. Almamater Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember yang telah memberikan sarana dan prasarana untuk menuntut ilmu.
6. 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.
7. Kontrakan Brantas X Nopek Str, Faiz kirun, Komeng, Saroyan, Samid Semen, Mas Gendos, Abah lala, Ayu Gewel, Si kembar, Buadi, yang selalu menjadi sahabat dalam segala kondisi dan menjadi teman dalam proses pengerjaan skripsi ini sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.



MOTTO

“Failure only happens when we give up”

(B.J Habiebie)

“Pendidikan adalah senjata paling mematikan di dunia, karena dengan pendidikan,
anda dapat mengubah dunia”

(Nelson Mandela)

“Jika seseorang bepergian dengan tujuan mencari ilmu, maka Allah akan
menjadikan perjalanannya seperti perjalanan menuju surga”

(Nabi Muhammad SAW)

“Saya tidak bisa mengubah arah angin, namun saya bisa menyesuaikan pelayaran
saya untuk menggapai tujuan saya”

(Jimmy Dean)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Putra Barru Sanjaya

NIM : 161910101087

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan skripsi dengan judul

“Pengaruh Temperatur Terhadap Karakteristik *Spray* dengan Bahan Bakar Minyak *Diesel* dan Biodiesel *Calophyllum Inophyllum*”

” 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 di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember 30 Juli 2020

Yang menyatakan,

Putra Barru Sanjaya

161910101087

The background features a large, faint watermark of the Universitas Jember logo. The logo is a shield-shaped emblem with a central floral motif. The word "UNIVERSITAS" is written in an arc across the top, and "JEMBER" is written in an arc across the bottom. The central floral element consists of a stylized flower with multiple petals and a central stem with leaves.

SKRIPSI

**PENGARUH VARIASI TEMPERATUR TERHADAP KARAKTERISTIK
SPRAY DENGAN BAHAN BAKAR CAMPURAN MINYAK DIESEL DAN
BIODIESEL *CALOPHYLLIUM INOPHYLLUM***

Oleh:

v

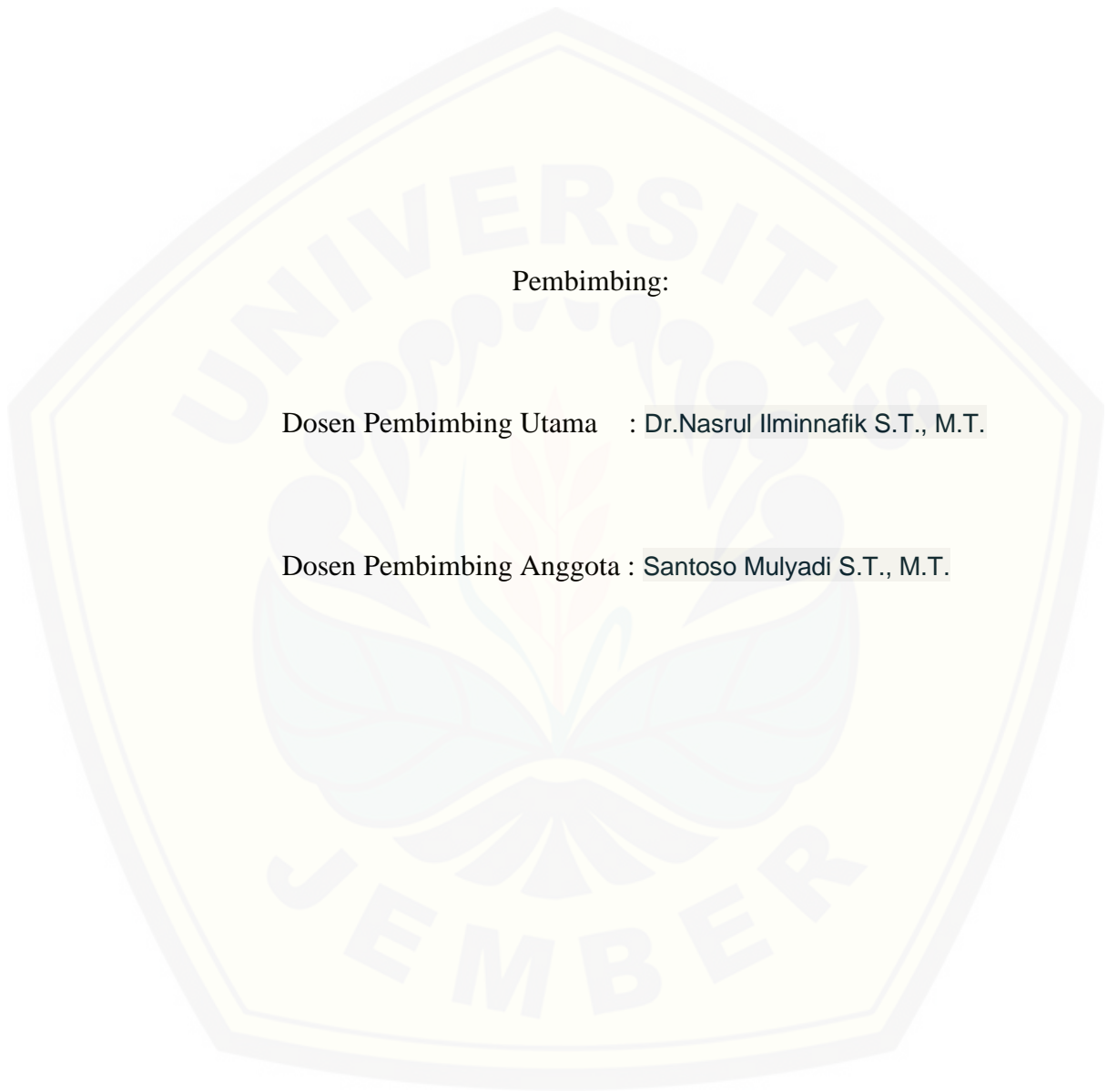
Putra Barru Sanjaya

161910101087

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Dr.Nasrul Iminnafik S.T., M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Santoso Mulyadi S.T., M.T.



PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Pengaruh Variasi Temperatur Pada Karakteristik *Spray* Dengan Bahan Bakar Minyak *Diesel* dan Biodiesel *Chalophyllum Inophyllum*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 30 Juli 2020

Tempat : Ruang Ujian II Fakultas Teknik Universitas Jember

Pembimbing,

Pembimbing I,

Pembimbing II,

Dr.Nasrul Ilminnafik S.T., M.T.

Santoso Mulyadi S.T., M.T.

NIP. 19711114 199903 1 002

NIP. 19700228 199702 1 001

Penguji,

Penguji I,

Penguji II,

Aris Zainul Muttaqin S.T., M.T.

Hari Arbiantara Basuki S.T., M.T.

NIP. 19681207 199512 1 002

NIP. 19670924 199412 1 001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember

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

RINGKASAN

UJI UNJUK KERJA MESIN DIESEL DENGAN MENGGUNAKAN CAMPURAN BAHAN BAKAR BIOSOLAR PERTAMINA DAN BIODIESEL AMPAS KELAPA; Putra Barru Sanjaya, 161910101087; 2020; 78 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Tidak sempurnanya proses pembakaran merupakan masalah yang dijumpai dalam usaha peningkatan kinerja motor diesel. Kualitas bahan bakar yang kurang baik menjadi salah satu faktor penyebab ketidak sempurnaan atau efektivitas pembakaran. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *spray* pada campuran minyak solar dengan biodiesel nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) dengan variasi pemanasan bahan bakar sebesar 70°C, 90°C dan 110°C. Karakteristik *spray* yang diuji adalah densitas dan viskositas, *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *spray angle*.

Metode penelitian menggunakan tekanan injeksi normal pada *nozzle Dongfang* satu lubang sebesar 13,8-14,8 Mpa. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini meliputi B 0, B 20, B 30, B 100. Dari pengujian yang telah dilakukan di dapatkan hasil sebagai berikut, nilai densitas maksimum pada bahan bakar B 100 adalah pada variasi 70°C dengan nilai densitas 0,841 gr/ ml sedangkan nilai densitas minimum pada bahan bakar B 100 pada variasi 110°C dengan nilai densitas 0,811 gr/ml. Hasil

pengukuran viskositas maksimum pada bahan bakar B 30 adalah pada variasi pemanasan 70°C dengan nilai 2,676 mm²/s sedangkan nilai minimum pada variasi pemanasan 110°C dengan nilai 2,018 mm²/s. Hasil *spray tip penetration* paling maksimal pada temperatur pemanasan 70°C adalah B 100 dengan panjang 58,433 cm sedangkan paling minimum adalah B 0 dengan 47,401 cm. Hasil *velocity of spray* yang paling tinggi pada temperatur pemanasan 90°C adalah B 100 dengan 47,210 cm/s. Hasil *spray angle* yang paling besar pada temperatur pemanasan 110°C adalah B 0 dengan 9,191°, sedangkan yang paling kecil adalah B 100 dengan 6,969°.



SUMMARY

PERFORMANCE TEST OF DIESEL ENGINE USING A FUEL OF PERTAMINA BIOSOLAR FUEL AND COCONUT BIODIESEL; Putra Barru Sanjaya, 161910101087; 2020; 78 pages; Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

The incomplete combustion process is a problem encountered in efforts to improve the performance of diesel engines. Poor fuel quality is one of the factors causing imperfections or combustion effectiveness. This study aims to determine the characteristics of the spray on a mixture of diesel oil with biodiesel nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) with heating variations of 70 ° C, 90 ° C and 110 ° C. The spray characteristics tested were density and viscosity, spray tip penetration, velocity of spray, and spray angle.

The research method uses normal injection pressure on a one-hole Dongfang nozzle of 13.8-14.8 Mpa. The fuel used in this study includes B 0, B 20, B 30, B 100. From the tests that have been carried out, the following results are obtained, the maximum density value of the B 100 fuel is at a variation of 70 ° C with a density value of 0.841 gr / ml while the maximum density value in B 100 fuel varies 110 ° C with a density value of 0.811 gr / ml. The results of the measurement of maximum viscosity on B 30 fuel is at 70 ° C heating variation with a value of 2.676 mm² / s while the minimum value at 110 ° C heating variation with a value of 2.018 mm² / s. The maximum spray tip penetration results at a heating temperature of 70 ° C is B 100 with a length of 58.433 cm while the minimum is B 0 with 47.401 cm. The highest velocity of spray results at a heating temperature of 90 ° C is B 100 with 47.210 cm / s. The highest spray angle at a heating temperature of 110 ° C is B0 with 9,191°, while the smallest is B100 with 6,969°.

PRAKATA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena hanya dengan rahmat-Nyalah penulis akhirnya bisa menyelesaikan skripsi yang berjudul “*Uji Unjuk Kerja Mesin Diesel dengan Menggunakan Campuran Bahan Bakar Biosolar Pertamina dan Biodiesel Ampas Kelapa*” 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 Nur Wachid dan ibunda Eny Suhariyarti yang telah memberikan doa dan motivasi serta dukungan baik secara materil maupun non materil.
2. Bapak Dr.Nasrul Iminnafik S.T., M.T., dan Santoso Mulyadi, S.T., 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 Aris Zainul M, S. T., M. T, dan bapak Hari Arbiantara, S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang membangun kepada penulis.
4. Seluruh dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang memberikan ilmu serta motivasi kepada penulis.
5. Civitas akademika Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

6. Saudara seperjuangan Teknik Mesin angkatan 2016 yang telah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.
7. Saudara seperjuangan biodiesel team Geza, Sinyo, Aziz dan Faiz yang telah meluangkan waktu serta tenaga sehingga penulis mendapat pengalaman beserta ilmu baru.
8. Izzatul Ma'rifah yang telah memberikan semangat dan motivasi terhadap penulis serta memberikan bantuan kepada penulis.
9. Kontrakan Brantas X Nopek Str, Faiz kirun, Komeng, Saroyan, Samid Semen, Mas Gendos, Abah lala, Ayub Gewel, Si kembar, Buadi, yang selalu menjadi sahabat dalam segala kondisi dan menjadi teman dalam proses pengerjaan skripsi ini sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi ini dengan baik.
10. Teman-teman KKN 99 Tangsil Kuyon yang memberikan dukungan dan semangat kepada penulis.

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

Jember, 30 Juli 2020

Penulis

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN.....	i
MOTTO	iii
PERNYATAAN.....	iv
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA.....	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DFTAR TABEL	xvii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan	4
1.4 Manfaat	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
BAB II LANDASAN TEORI.....	7
2.1. Biodiesel.....	7
2.1.1. Ketersediaan Bahan Baku Biodiesel	7
2.1.2.Karakteristik Biodiesel	9
2.2 Tanaman Nyamplung (<i>Calophyllum inophyllum</i>).....	10
2.3 Minyak Nyamplung.....	11
2.4 Pembuatan Biodiesel Nyamplung.....	12
2.4.1.Ekstraksi bahan	13
2.4.2. <i>Degumming</i>	13
2.4.3. Esterifikasi.....	14
2.4.4. Transesterifikasi.....	14
2.5 <i>Injector Nozzle Valve</i>	14

2.7.1 Pengaruh Biodiesel Terhadap Panjang Tip Semprotan	20
2.7.2 Pengaruh biodiesel terhadap sudut semprotan.....	21
2.7.3 Karakteristik Semprotan Bahan Bakar.....	22
2.7.4 Pengaruh Pemanasan Terhadap Bahan Bakar.....	23
2.7.5 Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Terhadap Peforma Mesin Diesel	23
2.8 Dasar Dasar Spray	25
2.8.1 Panjang Tip	25
2.8.2 Kecepatan Tip	27
2.8.3 Sudut Penetrasi.....	29
BAB 3 METODE PENELITIAN	32
3.1. Metode Penelitian	32
3.2. Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2.1.Tempat Penelitian.....	32
3.2.2. Waktu Penelitian	33
3.3. Alat dan Bahan.....	33
3.3.2.Pembuatan Alat Pengujian Karakteristik Pembakaran.....	34
3.4. Variabel Penelitian.....	34
3.4.1.Variabel Bebas	35
3.4.1.Variabel Terikat	35
3.4.2. Variabel Kontrol.....	35
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan data	35
3.6 Pengamatan yang Dilakukan.....	36
3.7 Tahap Penelitian	36
3.7.1 Tahap Penyiapan Biodiesel Minyak Nyamplung.....	36
3.7.2 Tahap Pengujian Karakteristik Biodiesel	37
3.7.3 Tahap Pembuatan Heater.....	37
3.7.4 Tahap Pembuatan Alat Uji Semprotan Nosel	37
3.7.6 Pengujian Tip Penetrasi	42
3.7.7 Pengujian Kecepatan membentuk Tip.....	43
3.7.8 Pengujian Sudut Penetrasi.....	43
3.8 Diagram Alir	44

3.9 Jadwal Kegiatan Penelitian	45
BAB 4 PEMBAHASAN	46
4.1 Data Hasil Penelitian	46
4.1.1 Viskositas dan Densitas Bahan Bakar	46
4.1.2 <i>Spray TIP Penetration</i>	49
4.1.3 <i>Velocity of Spray</i>	50
4.1.4 <i>Angle of Spray</i>	51
4.2 Analisa	51
4.2.1 Viskositas dan Densitas	51
4.2.2 <i>Spray TIP Penetration</i>	55
4.2.3 <i>Velocity of sprayNozzle</i>	58
BAB 5 PENUTUP	62
5.1 Kesimpulan	62
5.2 Saran	63

DAFTAR GAMBAR

2.1 Buah dan Biji Nyamplung	9
2.2 Proses Transesterifikasi Secara Kimia	12
2.3 Alat Press Mekanik	13
2.4 Grafik Panjang TIP Penetration	20
2.5 Sudut Penetrasi	32
3.1 Alat Uji Semprotan Nosel	33
3.2 Cara Pengukuran Panjang Penetrasi	34
3.3 Pengukuran Sudut Penetrasi	36
3.4 Diagram Alir	46
4.1 Variasi Campuran Bahan Bakar	47
4.2 Pengujian <i>Spray TIP Penetration</i>	50
4.3 <i>Velocity of Spray</i> Pada B O T 70°C	51
4.4 Pengambilan Data <i>Angle of Spray</i>	52
2.3 Grafik Densitas Bahan Bakar	55
2.4 Grafik Viskositas Bahan Bakar	57
2.5 Grafik <i>Spray TIP Penetration</i>	59
3.1 Grafik <i>Velocity of Spray</i>	61
3.2 Grafik <i>Angle of Spray</i>	63

DAFTAR TABEL

2.1 Tumbuhan penghasil lemak di Indonesia.....	9
2.2 Standar mutu biodiesel	12
2.3 Komposisi minyak nyamplung.....	13
2.4 Hasil olah data	20
3.1 Panjang Tip penetrasi	32
4.2 Data Hasil Pengujian Variasi Campuran Bahan Bakar	47
4.3 Data 4peng.uku4ran Densitas	48
4.4 Data Hasil Perhitungan Densitas Rata-rata	49
4.5 Data Pengukuran Viskositas	50
4.6 Data hasil Perhitungan Viskositas Rata-rata.....	51
4.7 Data Hasil Pengujian <i>Spray Tip Penetration</i> Rata-rata	52
4.8 Data Hasil Pengujian <i>Velocity of Spray</i> Rata-rata.....	53
4.9 Data hasil Pengujian Sudut Semprotan Rata-rata	54

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan hal yang sangat dibutuhkan di kehidupan sekarang atau bahkan menjadi sebuah keharusan karena apabila tidak ada energi di kehidupan rasanya akan sulit sekali bagi manusia dalam menjalankan hidup. Akan tetapi ketergantungan manusia akan energi saat ini sangat melonjak sehingga menyebabkan terjadinya kelangkaan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui terutama bahan bakar minyak. Persoalan akan energi juga kian memburuk karena banyak pemanfaatan atau pencarian sumber energi yang merusak alam, oleh karena itu perlu ada energi pengganti untuk menggantikan energi utama atau yang biasa kita sebut sebagai energi alternatif (Anies., Dkk. 2019).

Energi alternatif adalah energi pengganti atau energi selain energi utama yang digunakan saat ini yang diharapkan dapat menggantikan energi utama yang cepat habis, merusak lingkungan, dan menimbulkan kerugian tanpa ada efek samping maupun kerugian. Penggunaan energi alternatif ini nanti diharapkan akan mengurangi kelangkaan akan sumber daya energi yang tidak dapat diperbaharui contohnya Bahan Bakar Minyak (BBM). Bahan bakar minyak saat ini penggunaannya di Indonesia sangat melonjak sehingga dalam hal ini perlu energi pengganti atau yang bisa disebut energi alternatif (Kuti., Dkk. 2010).

Salah satu jenis tanaman hutan yang mempunyai potensi sebagai bahan baku biofuel adalah biji buah Nyamplung (*Calophyllum inophyllum l.*). Selain bukan merupakan tanaman pangan, tanaman ini sudah mulai dibudidayakan di Indonesia sebagai tanaman *wind breaker* pada daerah marginal di tepi pantai atau lahan-lahan kritis (Leksono dkk., 2014). Produktivitas biji nyamplung sangat tinggi bervariasi antara 40 - 150 kg/pohon/tahun atau sekitar 20 ton/ha/th dan lebih tinggi dibandingkan jenis tanaman lain seperti Jarak pagar (5 ton/ha/tahun)

dan sawit (6 ton/ha/tahun). Nyamplung selain menghasilkan BBN juga berpotensi menghasilkan produk lain seperti briket arang, asap cair untuk pengawet kayu, bungkil untuk pakan ternak, resin/getah untuk obat-obatan, pewarna tekstil, sabun, dll (Leksono dkk., 2014).

Tidak sempurnanya proses pembakaran merupakan masalah yang dijumpai dalam usaha peningkatan kinerja motor diesel. Kualitas bahan bakar yang kurang baik menjadi salah satu faktor penyebab ketidak sempurnaan atau efektivitas pembakaran. Untuk menghasilkan pembakaran yang sempurna serta menurunkan nilai Sfc (Priyanto., Dkk. 2017), diperlukan suatu *treatment* pada bahan bakar tersebut. *Treatment* yang dapat dilakukan terhadap biodiesel sebelum pembakaran yaitu 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 bila diinjeksikan ke dalam ruang bakar akan membentuk butiran-butiran kabut bahan bakar yang lebih halus yang akan menyebabkan proses pencampuran bahan bakar dan udara menjadi lebih homogen (Priyanto., Dkk. 2017). Disamping itu, dengan temperatur yang lebih tinggi akan membuat biodiesel menjadi lebih mudah terbakar karna energi aktivasi bahan bakar yang menurun, sehingga dapat mengimbangi singkatnya waktu yang tersedia untuk pembakaran pada putaran tinggi. Berdasarkan pengaruh temperatur pemanasan terhadap perubahan *properties* bahan bakar berupa viskositas dan densitas. Maka selanjutnya akan dilakukan pengujian terhadap karakteristik semprotan yang ditunjukkan dengan panjang penetrasi dan sudut semprotan secara visual (Nufu, Tatun Hayatun., 2018).

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 semprotan 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 semprotan 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 ledakan bahan bakar, penetrasi ujung semprot yang lebih panjang, diameter butiran semprotan rata-rata yang lebih besar, sudut semprotan yang semakin menyempit, dan volume semprotan yang lebih kecil semakin meningkat dengan rasio campuran bahan bakar biodiesel. Hal tersebut dikarenakan viskositas dan tegangan permukaannya yang tinggi. Semakin panjang Tip penetrasi dan semakin kecilnya sudut semprotan membuat atomisasi semprotan yang buruk (Kuti dkk., 2010).

Biodiesel membutuhkan tekanan injeksi yang lebih tinggi untuk mencapai tingkat injeksi yang sama dengan solar. Kondisi bahan bakar yang dipanaskan juga mempengaruhi kualitas atomisasi semprotan, 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 semprotan telah dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur dan biodiesel, menurut Hoang dkk., (2019) tentang studi eksperimental pada karakteristik semprotan 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 Anies dkk., (2019) pemanasan suhu biodiesel juga memainkan peranan penting pada sistem bahan bakar, semakin tinggi campuran biodiesel membutuhkan pemanasan suhu

biodesel yang semakin tinggi untuk atomisasi yang lebih baik pada proses injeksi. Dari hasil penelitian tersebut juga menunjukkan kebutuhan pemanasan suhu biodesel pada pompa injeksi dan injektor berbeda. Pada B100 dari minyak jelantah suhu 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 (Anies., Dkk. 2019).

Dari hasil penelitian pendahuluan, maka selanjutnya perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang uji pengaruh temperatur dan variasi campuran biodesel nyamplung terhadap karakteristik semprotan nosel. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi temperatur dan pencampuran biodesel nyamplung pada minyak solar terhadap karakteristik semprotan yang dihasilkan. Karakteristik semprotan bahan bakar solar sebagai acuan menghasilkan penguapan dan pembakaran yang paling baik, sehingga karakteristik semprotan biodiesel diinginkan menyerupai bahan bakar solar.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh komposisi campuran minyak solar dengan bioolar dengan variasi temperatur terhadap viskositas dan densitas ?
2. Bagaimana pengaruh komposisi campuran biodiesel dengan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada *Spray Tip Penetration* ?
3. Bagaimana pengaruh komposisi campuran biodiesel dengan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada *Velocity of Spray* ?
4. Bagaimana pengaruh komposisi campuran biodiesel dengan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada *Angle of Spray* ?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan adalah sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh komposisi campuran biodiesel dengan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada viskositas dan densitas.

2. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh komposisi campuran biodiesel dengan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada *Spray TIP Penetration*.
3. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh komposisi campuran biodiesel dengan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada *Velocity of Spray*.
4. Untuk mengetahui bagaimana pengaruh komposisi campuran biodiesel dengan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada panjang *Angle of Spray*.

1.4 Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diperoleh adalah sebagai berikut

1. Mengetahui dan mengaplikasikan pengaruh komposisi campuran biodiesel dan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada viskoisitas dan densitas.
2. Mengetahui dan mengaplikasikan pengaruh komposisi campuran biodiesel dan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada *Spray TIP Penetration*.
3. Mengetahui dan mengaplikasikan pengaruh komposisi campuran biodiesel dan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada *Velocity of Spray*.
4. Mengetahui dan mengaplikasikan pengaruh komposisi campuran biodiesel dan minyak solar dengan variasi temperatur pemanasan pada *Angle of Spray*.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Faktor kondisi suhu dan kelembapan udara diasumsikan tetap;
2. Penelitian ini menggunakan jenis nosel yang seragam;
Parameter pengujian karakteristik bahan bakar dan tekanan berdasarkan jurnal penelitian sebelumnya.

3. Tekanan injector pada nozzle merupakan tekanan normal *nozzle* yaitu 14,8 MPa



BAB II LANDASAN TEORI

2.1. Biodiesel

Fatty Acid Metyl Ester (FAME) adalah sebutan lain dari Biodiesel. Biodiesel adalah jenis lemak solar yang berasal dari minyak nabati atau hewani berbentuk rantai panjang (metil-ester) yang diproses dengan reaksi kimia lipid atau alkohol (metanol) untuk menghasilkan ester asam lemak (Chen, dkk., 2018). Reaksi Kimia yang dapat kita lakukan untuk membuat biodiesel tergantung dari kandungan asam lemak bebasnya (FFA). Asam Lemak Bebas (ALB) terdapat pada beberapa tanaman, biji – bijian, maupun hewan yang berpotensi untuk dijadikan biodiesel. Terdapat sekitar 45 jenis tanaman pangan maupun non pangan yang mengandung minyak nabati sebagai bahan baku biodiesel (Kuncahyo, dkk., 2013).

Biodiesel dapat diproses melalui dua reaksi kimia, yaitu esterifikasi dan transesterifikasi. Reaksi esterifikasi dan transesterifikasi merupakan reaksi dengan perlakuan yang hampir sama. Perbedaan dari kedua reaksi tersebut adalah terletak pada katalis yang digunakan. Katalis yang digunakan pada reaksi esterifikasi adalah katalis asam (HCl, H₂SO₄, dll), sedangkan transesterifikasi adalah katalis basa (NaOH, KOH, H₃PO₄, dll). Reaksi transesterifikasi dapat langsung dilakukan apabila kandungan ALB dari bahan <3% atau 5% dan sponifikasi akan terjadi apabila kandungan ALB dari bahan terlalu tinggi, sehingga dapat mempengaruhi pemurnian biodiesel (Haryanto, dkk., 2015).

2.1.1. Ketersediaan Bahan Baku Biodiesel

Indonesia memiliki berbagai macam potensi tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel. Biodiesel dapat diperoleh dari minyak lemak nabati yang terkandung dalam tanaman tertentu. Potensi tanaman

yang dapat menghasilkan minyak lemak nabati di Indonesia dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Tumbuhan penghasil minyak lemak di Indonesia (Kuncahyo, dkk., 2013)

No.	Nama Lokal	Sumber	Kadar %b-kr	P/NP
1.	Kelapa	Daging Buah	60-70	P
2.	Kusambi	Daging Biji	55-70	NP
3.	Jarak Pagar	Inti biji (kernel)	40-60	NP
4.	Sawit	Sabut + Daging buah	40-70 + 45-54	P
5.	Jarak Kaliki	Biji (seed)	45-50	NP
6.	Kacang Suuk	Biji	35-55	P
7.	Kapuk / Randu	Biji	24-50	NP
8.	Karet	Biji	40 -50	NP
9.	Kecipir	Biji	15-20	P
10.	Kelor	Biji	30-49	P
11.	Kemiri	Inti Biji (kernel)	57-69	NP
12.	Nimba	Daging Biji	40-50	NP
13.	Saga Utan	Inti Biji (kernel)	14-28	P
14.	Akar Kepayang	Biji	65	P
15.	Alpukat	Daging Buah	40-80	P
16.	Cokelat	Biji	54-58	P
17.	Ketiau	Inti Biji	50-57	P
18.	Malapari	Biji	27-39	NP
19.	Nyamplung	Inti Biji	40-73	NP
20.	Randu Alas/Agung	Biji	18-26	NP
21.	Wijen	Biji	45-55	P
22.	Bidaro	Inti Biji	49-61	NP
23.	Bintaro	Biji	43-64	NP
24.	Cerakin/Kroton	Inti Biji	50-60	NP
25.	Labu Merah	Biji	35-38	P
26.	Mayang Batu	Inti Biji	45-55	P
27.	Nagasari (gede)	Biji	35-50	NP
28.	Pepaya	Biji	20-25	P
29.	Pulasan	Inti Biji	62-72	P
30.	Rambutan	Inti Biji	37-43	P
31.	Sirsak	Inti Biji	20-30	NP
32.	Srikaya	Biji	15-20	NP
33.	Kopi arab (okra)	Biji	16-33	NP
34.	Rosela	Biji	17	NP
35.	Kayu Manis	Biji	30	P
36.	Padi	Dedak	20	P
37.	Jagung	Germ	33	P

*P = Pangan

**NP = Non Pangan

Berdasarkan tabel 2.1 diatas tanaman nyamplung memiliki kadar minyak antara 40-73% yang didapat dari prngolahan inti biji buah nyamplung. Dalam hal ini potensi bahan baku buah nyamplung untuk dapat dimanfaatkan menjadi biodiesel sangatlah tinggi hal ini dikarenakan tanaman nyamplung mudah kita jumpai di sekitaran tepi jalan, selain itu tanaman nyamplung juga tidak mauk dalam kategori tanaman pangan. Hal ini yang dapat membuat tanaman nyamplung berpotensi dimanfaatkan menjadi bahan baku pembuatan biodiesel.

2.1.2.Karakteristik Biodiesel

Karakteristik biodiesel diperlukan untuk mengetahui kandungan atau kualitas dari minyak biodiesel yang telah dibuat. Menurut (Havendri, 2008), karakteristik bahan bakar biodiesel yang perlu diketahui adalah sebagai berikut :

1. Densitas

Berat jenis (kerapatan) merupakan perbandingan antara massa bahan bakar per satuan volume. Faktor tersebut dapat diperoleh dengan membandingkan berat minyak biodiesel dan berat air dalam volume yang sama. Massa jenis biodiesel juga dapat diukur dengan menggunakan piknometer (Haryanto, dkk., 2015).

2. Viskositas

Dalam buku combustion yang ditulis oleh John Zink mengatakan viskositas adalah resistansi fluida untuk bergerak. Sebagian besar fluida (gas, minyak) adalah fluida Newtonian karena rasio yang diberikan konstan dan berpengaruh terhadap waktu, temperatur dan tekanan. Semakin tinggi temperatur, semakin rendah viskositas (mencadi lebih cair). Faktor penting pada aliran fluida adalah kuantitas dimensi yang disebut *Reynold Number*. *Reynold number* dirumuskan dengan :

$$Re = Dv/\vartheta \quad (2.1)$$

Dengan :

D = Diameter pipa (m)

v = Kecepatan fluida (m/s)

ϑ = viskositas kinematik (m^2/s)

Viskositas kinematik (ν) bergantung pada densitas dan memiliki satuan stokes ($0,001 m^2/s$), centistokes (stokes/100) dalam SSU (*Seconds Saybolt Universal*). Viskositas dapat berpengaruh terhadap ruang bakar. Kerugian gesekan di dalam pipa, kerja pompa yang berat, dan kesulitan dalam penyaringan, serta bahan bakar yang sulit dikabutkan akibat kotoran yang ikut terendap dalam ruang bakar adalah beberapa kendala yang disebabkan oleh viskositas yang besar. Apabila viskositas bahan terlalu rendah, nozzle pada ruang bakar akan rusak akibat bahan bakar yang dikabutkan terlalu halus dan penetrasi ke ruang bakar rendah. Viskositas dapat diukur dengan *falling ball viscometer*, *ostwald viscometer*, dll.

Tabel 2.2 Standar mutu biodiesel (SNI 7182:2015)

Parameter Uji	Satuan, min/maks	Persyaratan	Metode Uji
Densitas / massa	kg/m^3 ($40^{\circ}C$)	850 – 890	ASTM D 1298
Jenis			
Viskositas	cSt ($40^{\circ}C$)	2,3 – 6,0	ASTM D 445

2.2 Tanaman Nyamplung (*Calophyllum inophyllum*)

Tanaman nyamplung adalah pohon yang masuk kedalam family *Clusiaceae*. Tanaman ini memiliki persebaran habitat di Afrika Timur, India, Asia Tenggara, Australia dan Pasifik Selatan. Tanaman ini tumbuh di area dengan curah hujan 1000-5000 mm pertahun pada ketinggian 0-200 m diatas

permukaan laut. Tanaman nyamplung sangat potensial bila digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel dikarenakan kadar minyak yang tinggi pada biji (40-73 % (w/w)), minyak yang dapat dihasilkan sebesar 4680 kg/ha serta merupakan *non-edible oil* sehingga tidak bersaing dengan kebutuhan pangan (Fatih Ridho Muhammad, dkk., 2014).



Gambar 2.1 Buah dan biji nyamplung.

2.3 Minyak Nyamplung

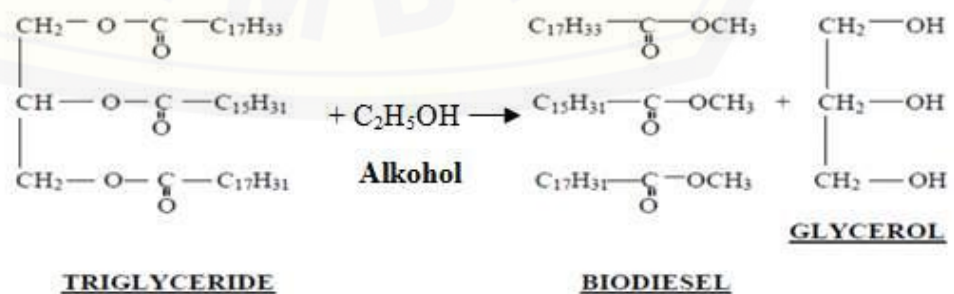
Minyak nyamplung adalah minyak hasil ekstraksi dari biji nyamplung menggunakan mesin pres, yang mana bisa dilakukan dengan dua macam mesin pres yaitu mesin pres hidrolis manual dan mesin pres ekstruder (sistem ulir). Minyak yang keluar dari mesin pres berwarna hitam/gelap karena mengandung kotoran dari kulit dan senyawa kimia seperti alkaloid, fosfatida, karotenoid, klorofil, dan lain lain. Agar minyak nyamplung dapat digunakan untuk proses selanjutnya dilakukan proses *degumming* (Fatih Ridho., dkk. 2014).

Tabel 2.3 Komposisi Minyak Nyamplung (Fatih Ridho., dkk. 2014)

No.	Jenis Asam Lemak	Presentase (%)
1.	Asam lemak jenuh	29,41
	-Asam Palmitat (C16:0)	14,31
	-Asam Stearat (C18:0)	15,09
2.	Asam lemak tidak jenuh	70,32
	-Asam Palmitoleat (C16:1)	0,406
	-Asam Oleat (C18:1)	35,48
	-Asam Linoleat (C18:2)	33,87
	-Asam Linoleat (C18:3)	0,557

2.4 Pembuatan Biodiesel Nyamplung

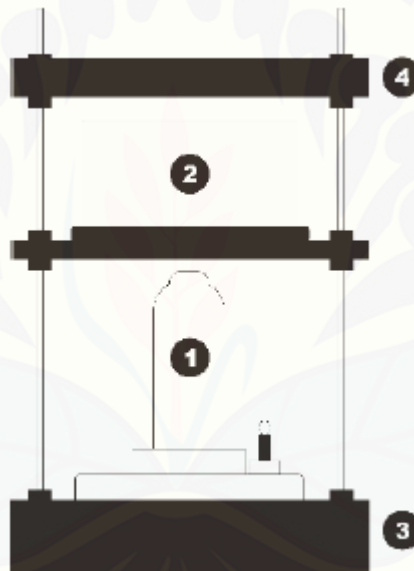
Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang diformulasikan khusus untuk mesin diesel yang terbuat dari minyak nabati (bio-oil). Biodiesel tersusun dari berbagai macam ester asam lemak yang dapat diproduksi dari minyak-minyak tumbuhan seperti minyak sawit (palm oil), minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak biji kapuk randu, minyak kemiri, minyak nyamplung dan masih ada lebih dari 30 macam tumbuhan Indonesia yang potensial untuk dijadikan sumber energi bentuk cair ini dan dalam penelitian ini bahan bakar nabati berasal dari minyak nyamplung. Secara kimia, transesterifikasi berarti mengambil molekul asam lemak kompleks dari minyak nabati atau hewani, menetralkan asam lemak tak jenuh minyak nabati atau hewani dan menghasilkan alcohol-ester. Karena komposisi asam lemak tak jenuh pada minyak nyamplung sudah berkurang secara drastis, maka pembuatan biodiesel dengan bahan baku minyak nyamplung diperkirakan akan terjadi dengan lebih cepat. Prinsip proses transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 1.1 berikut ini:



Gambar 2.2 Proses Transesterifikasi Secara Kimia

2.4.1. Ekstraksi bahan

Biji buah Nyamplung dimasukkan ke dalam *oven* dengan suhu 70oC hingga memiliki berat konstan dan permukaan biji berminyak, kemudian dihaluskan menggunakan blender. Biji yang telah halus dilapis dengan kain saring kemudian dilakukan proses pengepresan hingga keluar minyaknya. Pengepresan mekanik merupakan suatu cara ekstraksi minyak atau lemak, terutama untuk bahan-bahan yang berasal dari biji-bijian. Pengepresan juga dimaksudkan untuk mengetahui rendemen minyak yang terkandung pada biji buah nyamplung. Pada penelitian ini digunakan metode ekstraksi mekanik dengan menggunakan *hydraulic jack press* bertekanan maksimum 5 ton.



Gambar 2.3 Alat Press Mekanik

Keterangan :

1. *Hydraulic Jack*
2. Wadah Press
3. Penumpu Beban Bawah
4. Penumpu Beban Atas

2.4.2. *Degumming*

Minyak biji nyamplung dipanaskan pada temperatur 60°C dalam *beaker glass* dengan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500 rpm. Setelah 15 menit, minyak biji nyamplung ditambah larutan asam fosfat pekat (85%) sebanyak 1% (v/v minyak) dan pengadukan dilakukan hingga 30 menit. Minyak selanjutnya dimasukkan ke corong pemisah dan didiamkan selama 6 jam hingga gum dan kotoran terpisah dari minyak. Selanjutnya, minyak biji nyamplung dicuci dengan akuades yang telah dipanaskan pada suhu ($\pm 60^\circ\text{C}$) sebanyak 30% (v/v minyak) sambil diaduk menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500 rpm selama 10 menit.

2.4.3. Esterifikasi

Pada reaksi esterifikasi ini, minyak dari proses *degumming* direaksikan dengan 20% metanol (v/v minyak) dan 2% H₂SO₄ (v/v minyak). H₂SO₄ dicampur dengan metanol sampai homogen kemudian campuran homogen tersebut dicampur ke minyak nyamplung yang telah di *degumming*. Kemudian dipanaskan pada suhu 60 - 65°C selama 2 jam pengadukan. Minyak hasil esterifikasi dimasukan ke corong pemisah dan didiamkan selama 12 jam untuk mengendapkan asam lemak bebas dari metil ester yang terbentuk .

2.4.4. Transesterifikasi

Pada proses transesterifikasi, katalis KOH dengan variasi 1.15%, 1.25%, dan 1.35% (w/w minyak) dicampur dengan metanol 20 %(v/v minyak) sampai homogen. Campuran homogen tersebut dicampur ke minyak nyamplung yang telah melalui tahap esterifikasi dan dipanaskan pada suhu 60 - 65°C selama 2 jam pengadukan. Minyak hasil transesterifikasi dimasukkan ke dalam corong pemisah dan di endapkan selama 12 jam untuk memisahkan metil ester dengan gliserol. Minyak yang sudah terpisah dari gliserol di cuci dengan akuades yang telah dipanaskan pada suhu 50°C sebanyak 30% (v/v minyak) sambil dilakukan pengadukan menggunakan *magnetic stirrer* dengan kecepatan 500 rpm selama 3 menit. Minyak yang telah dicuci kemudian diendapkan selama 1 jam dan dikeringkan dengan pemanasan pada suhu 100°C .

2.5 *Injector Nozzle Valve*

Injector nozzle valve menyembrotkan bahan bakar dengan pressure tinggi yang dipompakan oleh *injection pump*. *Injector* adalah hak tunggal dari *cummin* dengan memanfaatkan pergerakan vertikal *plunger* untuk menghasilkan tekanan *fuel* yang sangat tinggi dan menyembrotkan langsung ke dalam *cylinder*. *Injector* membutuhkan mekanisme penggerak *plunger* dihubungkan dengan putaran *cam shaft* dengan pergerakan vertikal *plunger* di dalam *cylinder head*. *Cylinder head type injector* konstruksinya lebih rumit dibanding dengan *cylinder head type injector nozzle* (Arismunandar., 2005). *Injection Pump* berfungsi untuk memberikan tekanan bahan bakar masuk kedalam nosel, kemudian di injeksikan sesuai dengan beban dan putaran mesin (Arismunandar., 2005).

Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap performa *spray* nosel :

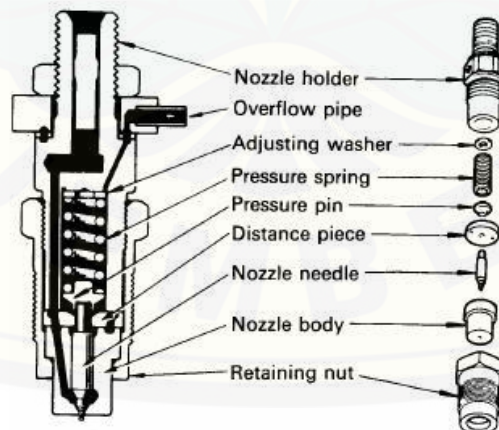
- **Tekanan operasi** : Tekanan yang digunakan pada saat melakukan eksperimental, biasanya tekanan terukur yang ada pada pressure gauge (Kusnandar., 2012).
- **Viskositas Fluida** : Viskositas dinamik *liquid* yang menolak perubahan bentuk atau susunan unsur-unsur pada saat aliran. Viskositas dari fluida merupakan faktor utama yang mempengaruhi pembentukan pola *spray* dan, sudut *spray* dan kapasitas.
- **Temperatur fluida**: Meskipun temperatur fluida tidak menyebabkan perubahan langsung terhadap kinerja *spray* nosel, namun sering mempengaruhi viskositas, permukaan ketegangan, dan gravitasi spesifik sehingga parameter tersebut mempengaruhi kinerja terhadap *spray* nosel (Kusnandar., 2012).
- **Tegangan Permukaan (*Surface tension*)** : Permukaan *liquid* cenderung dianggap memiliki pengaruh yang paling kecil, dalam hal ini, mirip membran yang diberi tarikan. Setiap bagian dari permukaan *liquid* memberikan ketegangan pada bagian yang berdekatan atau pada benda lainnya yang berada dalam kontak *liquid* tersebut. Tegangan permukaan yang lebih tinggi dapat mengurangi sudut *spray*, terutama pada *hollow cone* dan *Flat fan spray*. Jika tegangan permukaan yang rendah

memungkinkan untuk dioperasikan pada tekanan rendah untuk bisa melihat pola *spray* (Kusnandar., 2012).

2.5.1 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 2.6 Bagian bagian dari nosel injektor (Ahmad, 2017).

2.5.2 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 kantong)

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).

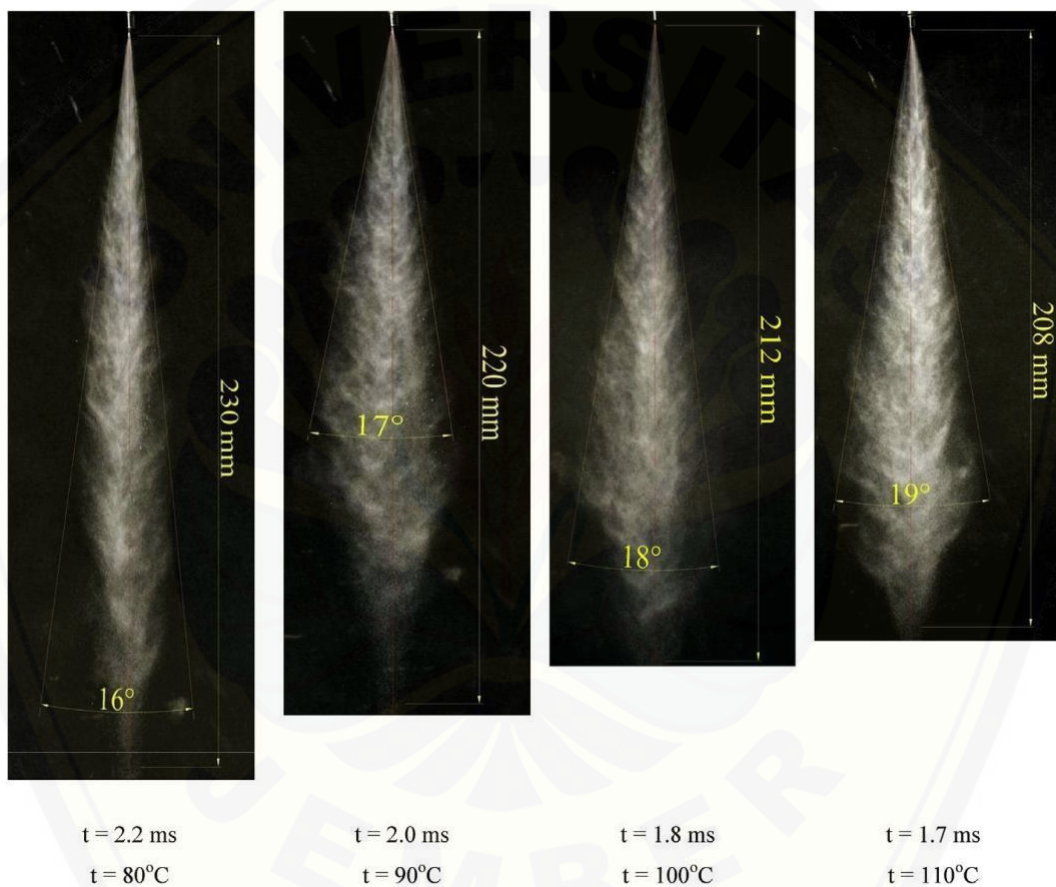
2.6 Pengaruh Temperatur Terhadap Semprotan

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).

2.6.1 Pengaruh temperatur terhadap sudut semprotan

Penelitian terdahulu mengenai studi pengaruh karakteristik semprotan terhadap temperatur suhu biodiesel telah dilakukan. Pada penelitian Hoang dkk. (2013) tentang studi eksperimental karakteristik semprotan dan emisi pada mesin diesel dengan campuran biodiesel menunjukkan bahwa sudut semprotan 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 . Sudut semprotan pada pemanasan suhu minyak kelapa 110°C mempunyai karakteristik yang sama dengan minyak solar pada suhu 40°C sehingga karakteristik semprotan pada minyak kelapa dengan pemanasan suhu 110°C memiliki karakteristik atomisasi dan evaporasi yang sama dengan minyak solar.

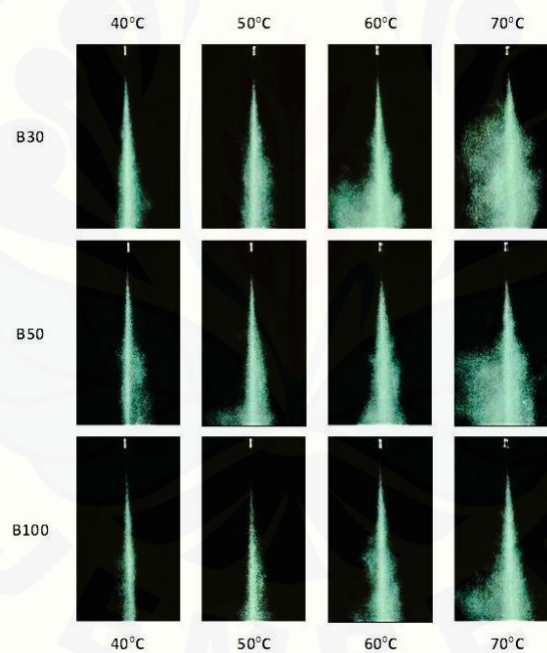


Gambar 2.9 Karakteristik semprotan pada biodiesel minyak kelapa (Hoang dkk., 2013).

Dapat dilihat pada Gambar 2.8 bahwa sudut semprotan terkecil ada pada pemanasan suhu biodiesel minyak kelapa 80°C dengan besar sudut 16° sedangkan sudut semprotan 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 semprotan 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 temperature pemanasan suhu 40 °C, 50 °C, 60 °C, dan 70°C. Pada B100 minyak jelantah menghasilkan sudut semprotan yang paling kecil karena viskositasnya dan pada B30 pada temperatur pemanasan suhu 70°C menunjukkan sudut semprotan yang paling besar. Semakin tinggi *preheating* temperatur menyebabkan semakin tinggi energi kinetik pada semprotan dan ukuran butiran yang semakin kecil, yang dibutuhkan untuk atomisasi yang lebih baik pada ruang bakar.



Gambar 2.10 Perbandingan sudut semprotan pada campuran biodiesel pada variasi temperatur (Anies dkk., 2019)

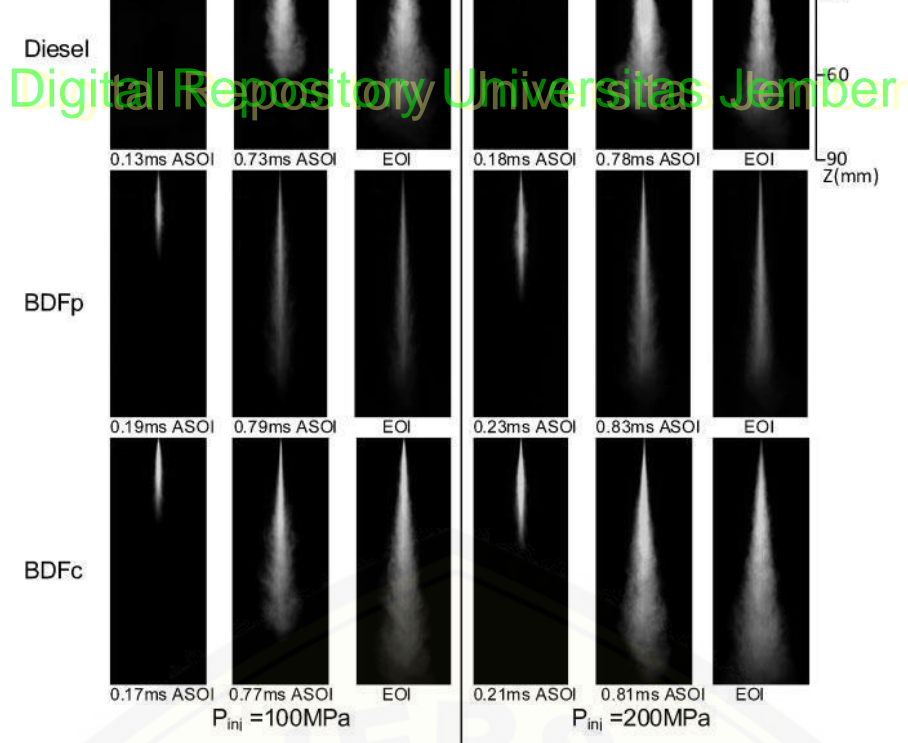
2.7 Pengaruh Biodiesel Terhadap Tip Semprotan

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 solar penetrasi yang dihasilkan lebih rendah (kegl dkk., 2013).

2.7.1 Pengaruh Biodiesel Terhadap Panjang Tip Semprotan

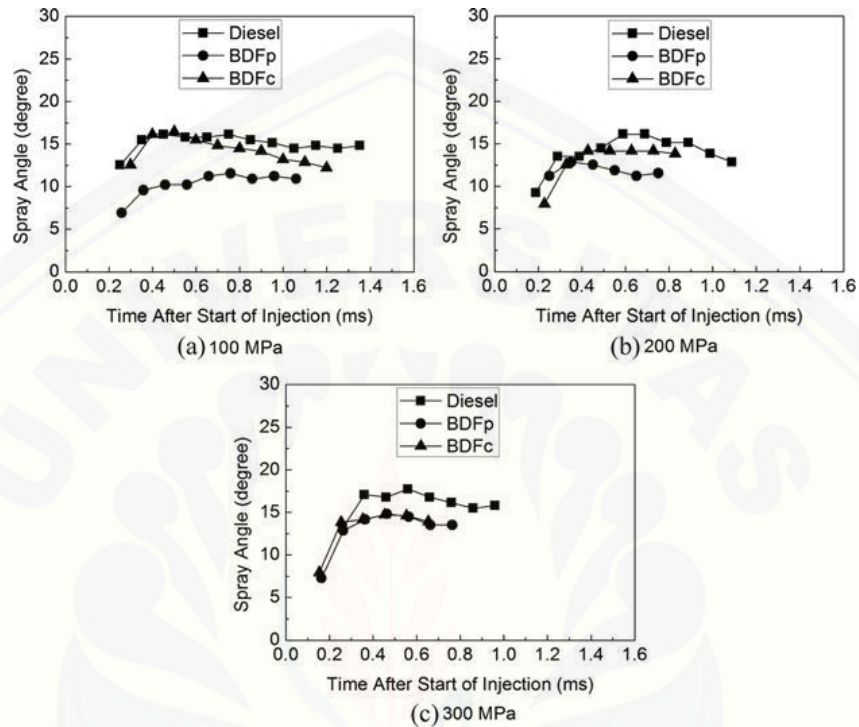
Penelitian terdahulu mengenai pengaruh panjang tip penetrasi semprotan dengan beberapa jenis biodiesel dan berbagai injektor telah dilakukan. Menurut Kuti dkk. (2010), mengenai pengaruh dari biodiesel minyak sawit atau *palm oil biodiesel* (BDFp) dan biodiesel minyak jelantah atau *palm oil cooking oil* (BDFc) terhadap panjang tip penetrasi mesin diesel dengan tipe *common rail* (CR) menunjukkan hasil bahwa panjang tip semprotan 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 semprotan. Pada Gambar terlihat bahwa biodiesel minyak sawit karena memiliki viskositas yang tinggi maka membuat panjang tip penetrasi lebih panjang dibandingkan biodiesel minyak jelantah. Pada 3 gambar tekanan injeksi yang digunakan masing masing 100 MPa dan 200MPa.



Gambar 2.11 Perbandingan panjang semprotan pada biodiesel minyak sawit, jelantah dan minyak solar (Kuti dkk., 2010).

2.7.2 Pengaruh biodiesel terhadap sudut semprotan

Pada penelitian pengaruh tekanan injeksi pada nyala api dan karakteristik semprotan pada biodiesel, Wang dkk., (2010) mengatakan bahan bakar biodiesel membuat sudut semprotan 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 sudut semprotan yang hampir sama pada minyak jelantah. Perbedaan dari sudut semprotan untuk minyak sawit dan minyak jelantah semakin kecil saat tekanaan injeksi semakin tinggi. Pada umumnya semakin tinggi tingkat viskositas dan tegangan permukaan dari campuran biodiesel memberikan pengaruh pada sudut semprotan dan atomisasi yang buruk.



Gambar 2.11 Perbandingan panjang semprotan pada biodiesel minyak sawit, jelantah dan minyak solar (Kuti dkk., 2010).

2.7.3 Karakteristik Semprotan Bahan Bakar

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

Karakteristik semprotan bahan bakar (*spray tip penetration, spray cone angle and atomization*) mempunyai pengaruh yang besar terhadap proses

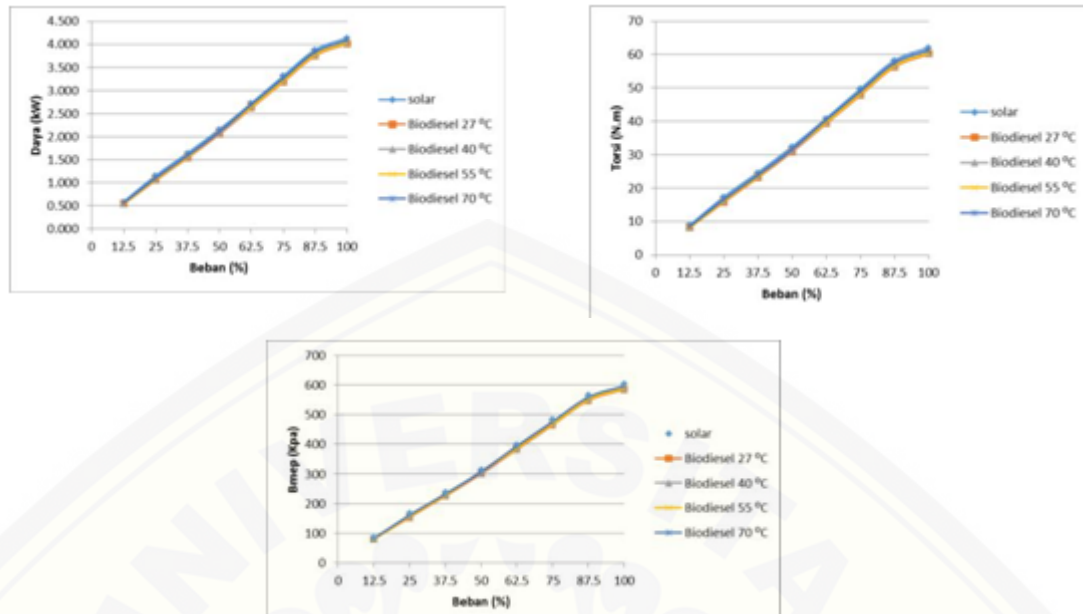
pencampuran bahan bakar-udara di ruang bakar [3]. Karakteristik semprotan bahan bakar solar sebagai acuan menghasilkan penguapan dan pembakaran yang paling baik sehingga karakteristik semprotan biodiesel diinginkan menyerupai bahan bakar solar (Priyanto., dkk, 2015).

2.7.4 Pengaruh Pemanasan Terhadap Bahan Bakar

Pemanasan terhadap Biodiesel sampai temperatur tertentu sebelum masuk ke dalam pompa tekanan tinggi akan menyebabkan penurunan viskositas dan densitas biodiesel tersebut. Penurunan viskositas biodiesel akan membuat campuran udara dan bahan bakar saat diinjeksikan lebih homogen di ruang bakar. Sehingga bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar dapat membentuk butiran-butiran yang lebih halus dan bahan bakar tersebut akan lebih mudah bercampur dengan udara di dalam ruang bakar dan pembakaran pun menjadi lebih baik.

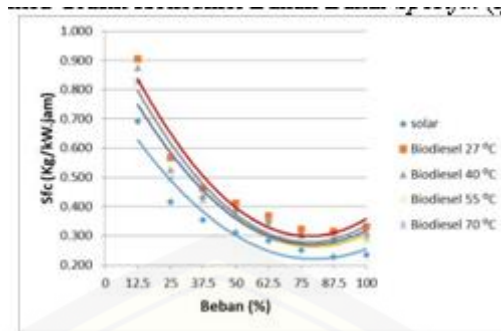
Tetapi perlu diingat temperatur bahan bakar yang terlalu panas juga akan merugikan karena akan merusak sebagian sistem dari pompa tekanan tinggi, terutama seal dari karet yang rentan terhadap suhu tinggi. Selain itu Penurunan viskositas juga dapat mengakibatkan turunnya sifat pelumasan bahan bakar. Hal itu terjadi karena mesin diesel biasanya dijalankan dengan bahan bakar yang dipasok pada suhu kamar. Pemanasan yang sesuai akan memberikan viskositas rendah mirip dengan *diesel fuel*, tetapi tidak begitu tinggi sehingga tidak merusak sistem injeksi (Priyanto., dkk. 2015).

2.7.5 Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar Terhadap Peforma Mesin Diesel



Gambar 2. 12 Pengaruh Temperatur BB dengan Peforma Mesin Diesel(Priyanto., Dkk. 2017)

Gambar 2. 12 Bahan bakar solar memiliki nilai daya, torsi dan Bmep yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar biodiesel. Hal tersebut disebabkan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan solar membuat atomisasi biodiesel kurang baik. Akibatnya pembakaran menjadi kurang sempurna di ruang bakar. Dengan pemanasan biodiesel nilai daya, torsi dan bkep meningkat seiring kenaikan temperatur pemanasan, dimana terdapat kenaikan sebesar 1,9% yang dicapai pada temperatur pemanasan biodiesel 70 °C dengan pembebanan 100% dan putaran konstan 2000 rpm jika dibandingkan dengan biodiesel temperatur 27 °C (standar) pada beban dan putaran mesin yang sama. Dikarnakan dengan kenaikan temperatur biodiesel, nilai viskositas semakin turun maka hasilnya semakin baik karena droplet yang disemprotkan semakin halus dan atomisasi semakin baik sehingga pembakaran menjadi baik dan nilai daya, torsi, dan bkep mengalami kenaikan (Priyanto., Dkk. 2017).



Gambar 2. 13 Grafik SFC Fungsi Beban (Priyanto., Dkk. 2017)

Gambar 2. 13. Menunjukkan bahwa dengan bertambahnya beban, pemakaian bahan bakar spesifik cenderung menurun. Penyebab fenomena tersebut adalah campuran bahan bakar dan udara yang terlalu miskin, sehingga untuk menghasilkan daya 1 Watt dalam 1 jam membutuhkan lebih banyak bahan bakar. Seiring dengan bertambahnya beban serta peningkatan daya, engine semakin efektif dalam mengkonsumsi bahan bakar (Priyanto., Dkk. 2017).

2.8 Dasar Dasar Spray

Konsep injeksi *liquid* yang melewati lubang kecil mungkin tampak seperti proses yang sepele, tetapi secara ilmu fisika phenomena pembentukan *spray* terbukti merupakan proses yang sangat kompleks. Meskipun analisis pembentukan *spray* memiliki disiplin ilmu sendiri, memahami beberapa aspek fisiknya merupakan suatu pembelajaran yang berharga. Dalam pembahasan ini akan dijelaskan tentang dasar-dasar *spray* secara umum, seperti kondisi pembentukan *spray*, pembentukan tetesan dan kondisi pemisahan *droplet*. Namun dalam penelitian ini akan dibahas lebih khusus pada *spray* untuk mesin diesel yang menggunakan minyak sebagai fluidanya (Kusnandar., 2012).

2.8.1 Panjang Tip

Panjang penetrasi semprot tip didefinisikan sebagai jarak maksimum semprot yang disuntikkan dari ujung nozzle pada batas waktu tertentu. Secara

teoritis, panjang tip penetrasi ini juga dapat diperkirakan dengan menggunakan persamaan pada berikut (Borman, 1998).

$$\frac{L}{L_b} = 0.0349 \left(\frac{\rho_a}{\rho_L} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{t}{d_0} \right) \left(\left[\frac{\Delta p}{\rho_L} \right] \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan nilai L_b dapat dihitung melalui rumus (Borman, 1998).

$$L_b = 15.8 d_0 \sqrt{\frac{\rho_L}{\rho_a}} \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana :

L = Jarak penetrasi (mm)

L_b = Lubang nosel (mm)

P_a = Udara lingkungan (kg/s)

ρ_L = Massa jenis minyak (kg/s)

Δp = Tekanan Injeksi (Mpa)

T_b = waktu pengkabutan (m/s)

D_0 = Diameter nosel (mm)

Perhitungan panjang tip pada penelitian Kusuma dkk (2015) menggunakan persamaan 2.1 dan 2.2 dengan data yang diketahui

ΔP_{inj} = 150 bar = 1.5×10^7 Pa

t = 3,7 ms (ms) = 0,0037 (s)

ρ_a = 1,2 (kg/ m³)

ρ_L = 880 (kg/m³)

d_0 = 0,2 (mm)

Sehingga panjang L_b , menggunakan persamaan (2.3) :

$$L_b = 15.8 \cdot 0,2 \sqrt{\frac{880}{1,2}}$$

= 85 mm

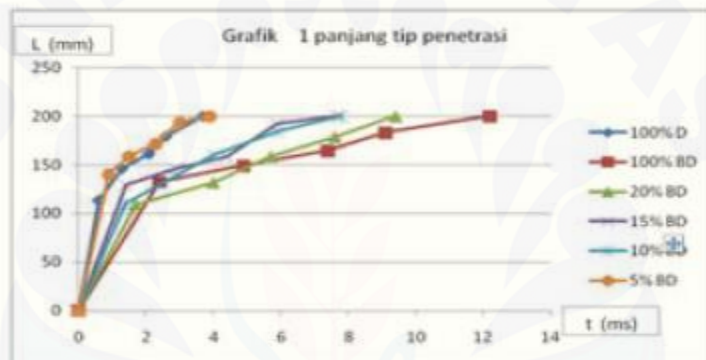
Dan panjang tip penetrasi dihitung menggunakan persamaan (2.2), L :

$$L = 85 \times 0.0349 \left(\frac{1,2}{880} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{3,7}{0,2} \right) \left(\left[\frac{1,5 \times 10^7}{880} \right] \right)^{\frac{1}{2}}$$

= 266 mm

Tabel 2.4 Hasil Olah data pengujian.
(I Wayan Kusuma, dkk., 2015)

No	Nama Minyak	Sudut rata2, θ (deg)	Panjang semp. L (10^{-3} m)	Waktu semp. t (10^{-3} s)	kec. semp. v (m/s)
1	100% D	19	>200	3.7	54.1
2	5% BD	19	>200	3.9	51.2
3	10% BD	19	>200	6.8	35.6
4	15% BD	18	>200	7.9	25.9
5	20% BD	15	>200	9.4	21.2
6	100% BD	21	>200	12.2	16.4



Gambar 2.4 Grafik Panjang Tip Penetrasi

Dari Gambar 3 dan Tabel 1 serta Grafik 1 berikut ini, diketahui bahwa panjang tip penetrasi semprotan untuk setiap pengujian memiliki panjang yang sama yakni 200 mm karena terbentur dari ruang simulasi bahan bakarnya. Panjang sebenarnya melebihi 200 mm

2.8.2 Kecepatan Tip

Kecepatan Tip adalah waktu setelah dimulainya injeksi untuk membentuk penetrasi tip. Nilai kecepatan semprotan ini dapat diperkirakan secara teoritis dengan menggunakan persamaan berikut (Liguang, 2007) :

$$U_{in} = C_d \sqrt{\frac{2\Delta P_{inj}}{\rho_L}} \dots\dots\dots(2.4)$$

$C_d = 0.6$ (asumsi)

$$\Delta P_{inj} = 150 \text{ bar} = 1.5 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\rho_L = 940 \text{ kg/m}^3$$

Dimana : U_{in} = Kecepatan awal semprotan (m/s)

ΔP_{inj} = Tekanan Injeksi (Mpa)

C_d = Discharge diameter nosel

ρ_L = Massa jenis minyak (kg/s)

Pada Tabel 2.1 juga didapatkan nilai kecepatan tip semprotan yang terjadi berkisar 54.1 m/s yang terjadi pada minyak diesel murni (100% D), sedangkan untuk minyak biodiesel murni (100% BD) nilai kecepatan semprotannya paling rendah yaitu hanya sekitar 16.4 m/s. Dengan dihitung dengan persamaan (2.3) nilai kecepatan semprotan ini adalah :

$$U_{in} = C_d \sqrt{\frac{2\Delta P_{inj}}{\rho_L}}$$

$$U_{in} = 0,6 \sqrt{\frac{2 \times 1,5 \times 10^7}{940}}$$

$$= 107,5 \text{ m/s}$$

dimana :

$$C_d = 0.6 \text{ (asumsi)}$$

$$\Delta P_{inj} = 150 \text{ bar} = 1.5 \times 10^7 \text{ Pa}$$

$$\rho_L = 940 \text{ kg/m}^3$$

Jika dibandingkan dengan nilai kecepatan yang terukur nilai tersebut diatas lebih tinggi yang mana nilai pada pengujian hanya 54.1 m/s. hal ini dikarenakan

nilai kecepatan 107.5 m/s diatas merupakan nilai kecepatan awal semprotan, sedangkan nilai kecepatan 54.1 m/s merupakan nilai kecepatan rata – rata.

Dari tabel 2.1 pula didapatkan semakin tinggi konsenstrasi biodiesel maka kecepatan penyemprotan akan semakin rendah. Hal ini disebabkan viskositas dari bahan bakar penyemprotan yang semakin besar.

2.8.3 Sudut Penetrasi

Sudut semprot kerucut didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk antara ujung nozzle dan dua baris yang menggambarkan wilayah luar maksimum semprotan.

Untuk besarnya sudut semprotan secara teoritis, dapat menggunakan rumus berikut ini (Borman, 1998) :

$$\theta = 0.05 \left(\frac{\Delta\rho \cdot d_0^2}{\rho_L \cdot v_L^2} \right)^{1/4} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana : θ = Sudut penyemprotan (°)

$\Delta\rho$ = Tekanan Injektor (Mpa)

d_0^2 = Diameter Penyemprotan (mm)

v_L^2 = Viscositas (m/s)

Untuk besarnya sudut semprotan secara teoritis pada penelitian Kusuma dkk (2015),

ΔP_{inj} = 150 (bar) = $1,5 \times 10^7$ (Pa)

d_0 = 0,2 (mm)

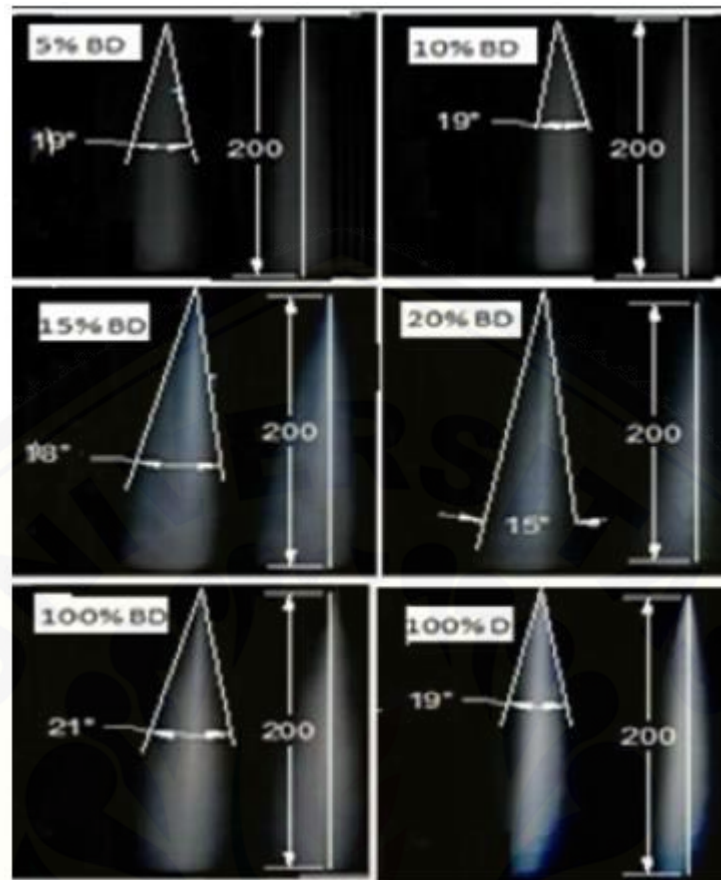
v_L = 3×10^{-7} (m²/s)

ρ_L = 840 kg/m³

Sehingga jika dimasukkan ke persamaan (2.5) maka:

$$\theta = 0.05 \left(\frac{1,5 \times 10^7 \cdot 0,2^2}{840 \cdot 9 \times 10^{-14}} \right)^{1/4}$$

$$\theta = 15^\circ$$



Gambar 2.5 Sudut Penetrasi

Dari penelitian Kusuma dkk (2015) Gambar 2.3 semakin tinggi konsentrasi campuran biodiesel maka sudut penyemprotan semakin besar. Hal ini disebabkan viskositas dengan campuran biodiesel yang semakin besar sehingga sudut penyemprotan semakin besar dan merata.

2.9 Hipotesa

Dari tinjauan pustaka diatas, hipotesa yang diajukan adalah :

1. Kosentrasi campuran biodiesel nyamplung yang semakin tinggi pada minyak solar akan membuat viskositas dan densitas semakin tinggi. Pada penelitian ini, diperkirakan campuran B100 atau biodiesel nyamplung murni akan mendapatkan viskositas dan densitas yang paling tinggi.

2. Panjang tip penetrasi semprotan dipengaruhi oleh viskositas dari bahan bakar. Semakin tinggi viskositas bahan bakar maka semakin panjang tip penetrasi semprotan. Semakin panjang tip penetrasi menunjukkan *droplet breakup* saat penginjeksian yang lebih buruk karena butiran yang besar pada bahan bakar. Sehingga akan mempengaruhi pada emisi yang lebih banyak karena campuran hidrokarbon dan udara yang tidak homogen. Pada penelitian ini diperkirakan pada B100 akan mendapatkan panjang tip penetrasi semprotan paling panjang karena viskositas dan densitas yang tinggi.
3. Kecepatan semprotan dipengaruhi oleh viskositas. Semakin tinggi viskositas menyebabkan energi yang lebih untuk menginjeksikan bahan bakar, sehingga menyebabkan kinerja pada pompa injeksi yang berlebihan dan menyebabkan rendahnya kecepatan semprotan. Semakin cepat kecepatan semprotan akan mempengaruhi pada *droplet breakup* yang semakin cepat menjadi *secondary breakup* atau butiran yang lebih kecil, sehingga membuat panjang tip penetrasi yang lebih pendek. Hal itu dikarenakan butiran menjadi lebih cepat kecil dan akhirnya hilang karena adanya perubahan phase menjadi uap dan membuat atomisasi yang lebih baik.
4. Semakin tinggi pemanasan terhadap biodiesel minyak nyamplung maka akan menyebabkan tingkat viskositas dan densitas dari biodiesel akan semakin berkurang sehingga menyebabkan sudut pada semprotan semakin melebar. Sudut semprotan yang lebih besar menunjukkan *droplet breakup* saat penginjeksian lebih baik dan menyebabkan kualitas campuran udara-bahan bakar lebih baik. Sehingga menghasilkan kualitas atomisasi dan pembakaran yang lebih baik. Pada penelitian ini diperkirakan sudut semprotan paling besar ada pada pemanasan suhu biodiesel 110°C.

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah metode experimental. Metode ini digunakan untuk menguji karakteristik semprotan nosel campuran minyak solar dan biodiesel dengan komposisi B0 (100% minyak solar), B20 (80% minyak solar dan 20% biodiesel), B30 (70% minyak solar dan 30% biodiesel), B100 (100% biodiesel) dengan variasi pemanasan dari semburan nosel 70°C, 70°C dan 110°C. Minyak solar yang digunakan pada penelitian ini merupakan bahan bakar solar murni (80%) yang telah dicampur dengan biodiesel minyak kelapa sawit (20%), sedangkan biodiesel pada penelitian ini adalah biodiesel yang berasal dari minyak nyamplung.

Bahan bakar campuran antara Minyak solar dengan Biodiesel dapat digunakan sebagai Bahan Bakar mesin diesel, yang telah diuji semprotan dengan menggunakan alat nosel tester yang ditambah dengan heater sebagai pemanas, guna semburan dari nosel memenuhi dari variasi pemanasan yang diinginkan. Pengujian semprotan nosel dilakukan dengan menggunakan sebuah *nosel spray tester* yang bertujuan untuk mengetahui dan membandingkan karakteristik semprotan meliputi sudut semburan nosel, kecepatan rambat semprotan nosel dan viskositas dari setiap komposisi biodiesel dengan memvariasikan suhu semburan sebesar 50°C, 60°C dan 70°C sehingga diperoleh perbedaan karakteristik semburan nosel dari setiap komposisi dan juga dari setiap variasi pemanasan.

3.2. Waktu dan Tempat Penelitian

3.2.1. Tempat Penelitian

1. Pembuatan Bahan dan Alat Proses pembuatan biodiesel minyak nyamplung dan pembuatan alat uji semprotan dilakukan di Laboratorium

Konversi Energi 1 Universitas Jember, Jalan Slamet Riyadi No. 36 Patrang Jember.

2. Pengujian Karakteristik Kandungan Biodiesel

Pengujian karakteristik kandungan biodiesel dilakukan di Laboratorium Motor Bakar, Institut Teknologi Sepuluh November Laboratorium TAKI, Surabaya, Jawa Timur.

3.2.2. Waktu Penelitian

Penelitian pembuatan bahan dan alat serta pengujian karakteristik pembakaran dilakukan selama lima bulan yaitu dari bulan Oktober 2019 hingga Juni 2020.

3.3. Alat dan Bahan

3.3.1. Pembuatan Biodiesel.

a. Alat

- | | |
|-------------------------|-----------------------------|
| 1. <i>Magnet Stirer</i> | 7. Timer |
| 2. Heater | 8. Thermometer Raksa |
| 3. Panci | 9. Neraca Digital |
| 4. Gelas Ukur | 10. Batang Pengaduk |
| 5. Gelas Beker | 11. Kompor |
| 6. Buret | 12. Batang Penyimpan Minyak |

b. Bahan

1. Minyak nyamplung
2. Kalium Hidroksida (KOH)
3. Methanol

4. Air
5. Asam Phospat (H_3PO_4)
6. Asam Sulfat (H_2SO_4)

3.3.2. Pembuatan Alat Pengujian Karakteristik Pembakaran

Pembuatan alat ini digunakan untuk menguji semburan dari nosel menggunakan nosel spray tester. Berikut adalah alat dan bahan yang digunakan.

a. Alat :

- | | |
|-----------------------|----------------|
| 1. Nosel | 7. Thermokopel |
| 2. Nosel Spray Teter | 8. Kamera |
| 3. Tangki Bahan Bakar | 9. Heater Belt |
| 4. Pressure Gauge | 10. Dimmer |
| 5. Kain Background | |
| 6. Lampu | |

b. bahan

1. Kabel
2. Glasswool
3. Kain Hitam
4. Bahan bakar B0, B20, B30, B100

3.4. Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah sesuatu yang dapat ditetapkan ataupun diubah oleh peneliti untuk diketahui dan dipelajari sehingga dapat diperoleh informasi dan pengaruhnya bagi penelitian baik secara teoritis dan aktual. Beberapa variabel yang digunakan dalam penelitian adalah bvariabel bebas, terikat dan kontrol. Berikut penjelasan dari masing – masing variabel penelitian.

3.4.1. Variabel Bebas

Variabel bebas adalah variabel atau perlakuan yang bebas ditentukan oleh peneliti dan dapat menyebabkan terjadinya variabel terikat. Variabel bebas yang ditentukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Percampuran bahan bakar minyak solar dan biodiesel dengan komposisi B0 (100 % minyak disel), B20 (20 % Biodiesel, 80 % minyak diesel), B30 (30 % Biodiesel, 70% minyak disel), B100 (100% Biodiesel)
- b. Variasi pemanasan 70°C, 90°C dan 110°C

3.4.1. Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel hasil yang dapat dicari dan dihitung visual atau nilainya. Variabel ini dapat diperoleh akibat adanya variabel bebas. Variabel terikat yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah analisa data hasil pembakaran yang meliputi :

- a. Viskositas dan densitas
- b. *Spray TIP Penetration*
- c. *Velocity of Spray*
- d. *Angle of Spray*

3.4.2. Variabel Kontrol

Variabel kontrol adalah variabel atau perlakuan tetap atau sama yang diberikan pada setiap pengujian penelitian. Variabel kontrol yang digunakan pada penelitian ini adalah tekanan injektor yang diberikan oleh noel tester adalah sesuai dengan manual book semprotan nosel yaitu 13, 8 – 14, 8 MPa.

3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan data

Data yang digunakan dalam penelitian meliputi data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang diperoleh langsung dari pengujian karakteristik *spray* seperti panjang tip penetrasi, sudut *spray*, kecepatan *spray* dengan variasi temperatur 70°C, 90°C dan 110°C serta variasi bahan bakar

meliputi biodiesel murni, campuran biodiesel 80%-Biodiesel 20% (B20), dan Minyak solar 70% – Biodiesel 30% (B30), dan Biodiesel 100% (B100) . Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari perhitungan hasil pengujian karakteristik penyemprotan.

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Pengamatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah

1. Viskositas dan densitas bahan bakar pada setiap variasi temperatur
2. *Spray TIP Penetration* nosel pada setiap komposisi Bahan bakar dan variasi temperatur setiap mili second.
3. *Velocity of Spray* pada setiap komposisi Bahan bakar dan variasi temperatur.
4. *Angle of Spray* semburan nosel pada setiap komposisi Bahan bakar dan variasi temperatur setiap mili second

3.7 Tahap Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh campuran minyak solar dengan biodiesel minyak nyamplung dengan variasi temperatur terhadap fenomena semburan nosel di ruang terbuka. Data semburan nosel dapat diperoleh melalui beberapa tahapan berikut.

3.7.1 Tahap Penyiapan Biodiesel Minyak Nyamplung

Biodiesel minyak nyamplung diperoleh dengan pembuatan biodiesel yang dilakukan di laboratorium konversi energi 1, Fakultas Teknik, Universitas Jember. Biodiesel diperoleh melalui reaksi transesterifikasi. Setelah pembuatan biodiesel, bahan bakar dibuat dengan mencampurkan minyak solar dan biodiesel dengan komposisi B0, B20, B30 dan B100. Biodiesel yang dibutuhkan adalah sekitar 50 ml untuk dapat diuji semburan nosel terhadap tiap komposisi campuran biodiesel dengan variasi temperatur.

3.7.2 Tahap Pengujian Karakteristik Biodiesel

Karakteristik biodiesel yang diuji ada 2 yaitu massa jenis, viskositas. Dari pengujian tersebut dapat diketahui bahwa biodiesel telah memenuhi standar sebagaimana tercantum dalam SNI 7182 : 2015) atau tidak memenuhi standar.

3.7.3 Tahap Pembuatan Heater.

Berikut adalah langkah – langkah pembuatan heater ebagai pemanas bahan bakar yang akan disemprotkan oleh nosel.

- a. Mempersiapkan Heater belt yang akan digunakan.
- b. Melilitkan Heater belt pada selang nosel.
- c. Sambungkan ujung heater belt pada kabel dan nantinya akan dihubungkan dengan dimmer, untuk mengatur *voltage* dari heater agar panas yang dikeluarkan heater bias diatur.

3.7.4 Tahap Pembuatan Alat Uji Semprotan Nosel

Proses pembuatan alat diawali dengan mempersiapkan alat membuat sekaligus menghubungkan alat. Berikut langkah – langkah pembuatan alat penelitian semprotan nosel.

- a. Menyiapkan Alat dan Bahan yang akan digunakan.
- b. Pasang *heater belt* pada selang nosel.
- c. Menyambungkan heater ke kabel dan juga dimmer agar dapat dialiri listrik.
- d. Memaang Nosel yang akan digunakan dalam penelitian pada selang nosel dan mengatur SIM nosel hingga mencapai tekanan 13,8 – 14,8 Mpa.

- e. Melubangi kain background dan ditempelkan pada bagian bawah nosel
- f. Memaangkan thermokopel pada bagian lubang nosel agar mencapai suhu yang diinginkan.
- g. Menyiapkan lampu yang akan ditunjukan langsung ke semburan nosel..
- h. Menuangkan bahan bakar ke tangki bahan bakar secara bergantian mulai B0, B20, B30 dan B100.
- i. Menyambungkan *heater belt* pada listrik hingga variasi suhu yang diinginkan.
- j. Menarik tuas pada nosel tester menyiapkan kamera dan merekam semprotan nosel menggunakan kamera Fujifilm Fine Pix HS 10 dengan pengaturan ISO 400, *shutter speed* 125, F – Stop 3.2, dan kecepatan 480 fps.
- k. Lakukan langkah g, h, i, j sebanyak 3 kali.
- l. Catat hasil yang diperoleh.



Gambar 3.1 Alat uji semprotan nosel

Keterangan :

- | | |
|-----------------------|----------------|
| 1. Nosel | 7. Thermokopel |
| 2. Nosel Spray Teter | 8. Kamera |
| 3. Tangki Bahan Bakar | 9. Heater Belt |
| 4. Pressure Gauge | 10. Dimmer |
| 5. Kain Background | |
| 6. Lampu | |

3.7.5 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 :

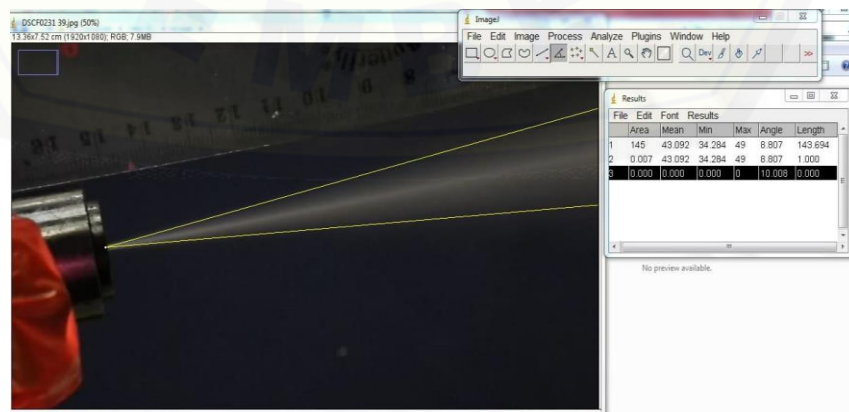
ρ = massa jenis bahan bakar (gr/ml)

m = massa bahan bakar pada
piknometer (gr) v = volume
piknometer (ml)

3.7.6 Pengujian Tip Penetrasi

Pengujian Panjang Tip penetrasi dengan merekam penginjeksian semprotan menggunakan kamera sesuai prosedur 3.7.3 point j. Foto yang didapat akan diolah kembali dengan menggunakan *software image-J* untuk mendapatkan besaran panjang. Hasil olahan dari data *software image-J* akan dipindahkan kedalam bentuk Tabel 3.1 untuk kemudian dilakukan analisa.

Tabel 3.1 Panjang tip penetrasi



Gambar 3.2 Cara pengukuran panjang penetrasi

3.7.7 Pengujian Kecepatan membentuk Tip

Tahap perhitungan kecepatan semprotan membentuk tip dilakukan dengan pengambilan video kemudian dikoversi menggunakan aplikasi *free studio cutter*. Hasil olahan data dari *software free studio cutter* diamati panjang yang didapat dan lamanya waktu yang diperlukan untuk membentuk tip penetrasi. Hasil data selanjutnya akan dihitung menggunakan persamaan 3.1

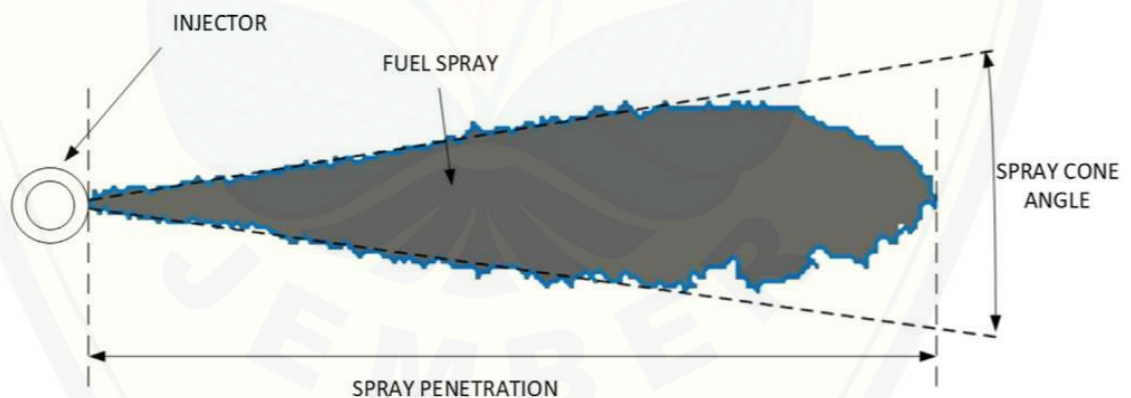
$$v = \frac{\text{jarak penetrasi } (x)}{\text{waktu penetrasi } (t)} \quad 3.1$$

Keterangan :

- v = Kecepatan membentuk tip (cm/s)
- x = jarak penetrasi membentuk tip (cm)
- t = waktu yang membutuhkan penetrasi membentuk tip (s)

3.7.8 Pengujian Sudut Penetrasi

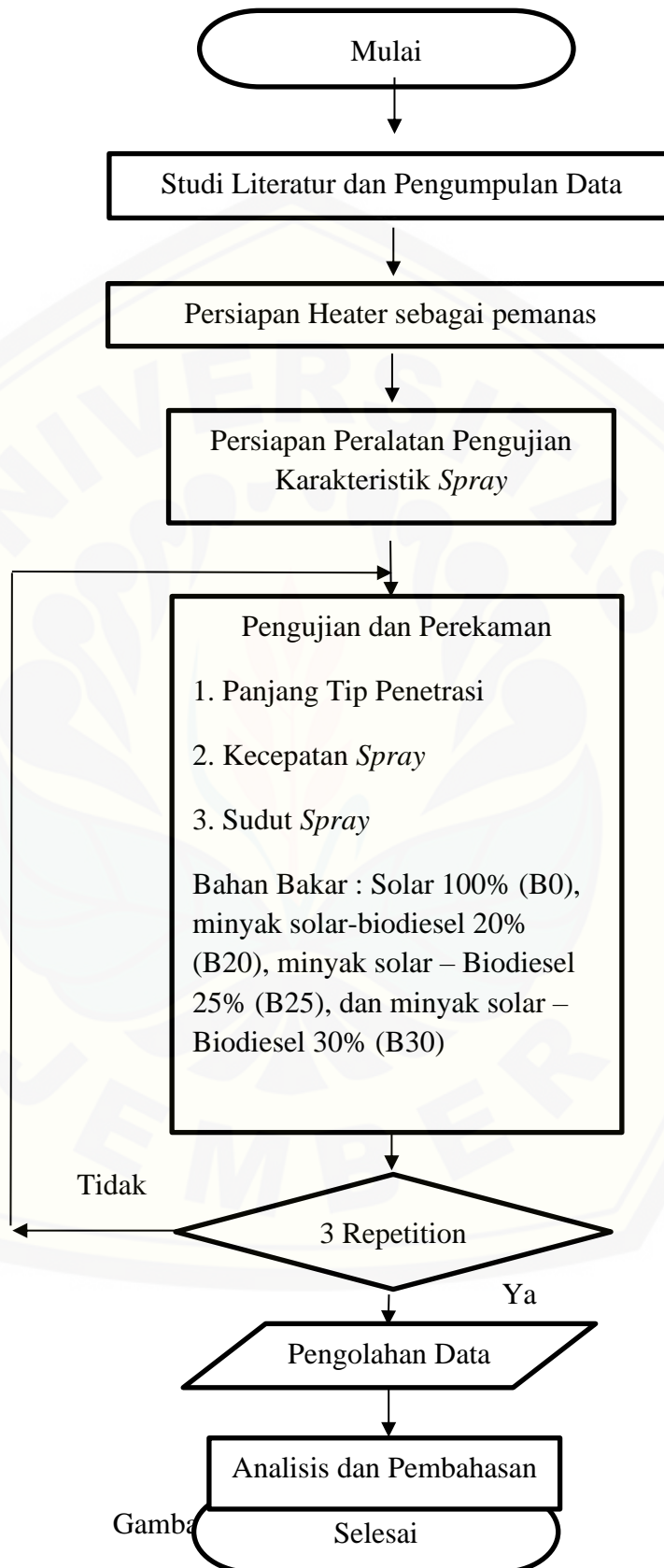
Tahap pengukuran sudut penetrasi pada semprotan dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan dengan menggunakan *software image-J*.



Gambar 3.3 Pengukuran sudut penetrasi

Pengukuran sudut penetrasi dilakukan dengan mengukur besar luasan tip penetrasi dari ujung nosel seperti Gambar 3.5 sesuai prosedur 3.7.2 point i. Hasil pengukuran sudut penetrasi akan dimasukkan pada tabel 3.3

3.8 Diagram Alir



3.9 Jadwal Kegiatan Penelitian

Jadwal kegiatan penelitian dapat dilihat pada tabel 3.4 berikut :

Tabel 3.4 Jadwal kegiatan penelitian

No	Jenis Kegiatan	Bulan																											
		Oktober				November				Desember				Januari				Febuari				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

Pada penelitian yang dilakukan dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Pemanasan pada bahan bakar akan mempengaruhi dari besarnya viskositas. Pemanasan terhadap Biodiesel sampai temperatur tertentu sebelum masuk ke dalam pompa tekanan tinggi akan menyebabkan penurunan viskositas dan densitas biodiesel tersebut. Penambahan bahan bakar biodiesel juga menyebabkan nilai viskositas dan densitas semakin tinggi. Dalam penelitian ini nilai viskositas dan densitas terkecil dimiliki bahan bakar B 0 dengan temperature pemanasan 110°C dan yang terbesar dimiliki oleh bahan bakar B 100 dengan temperatur pemanasan 70°C. Nilai viskositas dan densitas B 100 hampir menyamai nilai viskositas dan densitas pada bahan bakar B 20 dengan suhu pemanasan 70°C ketika temperatur pemanasan di variasi 110°C.
2. Nilai panjang penetrasi mengalami kenaikan pada saat campuran biodiesel semakin tinggi, dan Spray TIP Penetration semakin pendek ketika temperature pemanasan dinaikan. Hal ini disebabkan karena semakin banyak campuran biodiesel yang digunakan maka akan menyebabkan viskositas dan densitas dari bahan bakar akan semakin tinggi. Tingginya viskositas dan densitas akan menyebabkan butiran atau partikel bahan bakar bakar saat disemprotkan akan lebih sulit untuk terurai. Semakin sulit partikel bahan bakar untuk terurai maka panjang penetrasinya juga akan semakin panjang. Untuk menurunkan tingkat viskositas dan densitas dari suatu bahan bakar maka dilakukan perlakuan menaikkan temperatur bahan bakar, Ketika bahan bakar diberikan perlakuan panas, partikel dalam bahan bakar akan mudah terurai saat disemprotkan dan akan membentuk Angle of Spray yang besar dan juga Spray TIP Penetration yang semakin pendek.

Pada penelitian nilai Spray TIP Penetration bahan bakar B 100 dengan temperatur pemanasan 110°C hampir sama dengan nilai Spray TIP Penetration B 20 dengan temperatur pemanasan 70°C.

3. Nilai viskositas dan densitas yang tinggi akan menyebabkan velocity os spray juga semakin tinggi. Hal ini disebabkan sulitnya partikel terpecah pada saat semprotan. Pemanasan awal sebelum bahan bakar disemprotkan dapat menurunkan velocity os spray. Pada penelitian ini nilai velocity os spray hampir sama semua yaitu 0,625 *second* hanya bahan bakar B 100 dengan temperature pemanasan 70°C dan 90°C karena memiliki nilai viskositas dan densitas yang relative tinggi.
4. Dari penelitian ini dapat disimpulkan bahwa semakin banyak campuran dari biodiesel maka pada saat percobaan akan menghasilkan Angle of Spray yang semakin sempit. Hal ini disebabkan karena viskositas dan densitas dari biodiesel yang tinggi. Maka saat penyemprotan memerlukan tekanan yang lebih tinggi karena biodiesel memiliki tegangan permukaan yang lebih tinggi dari solar. Maka ketika proses penyemprotan akan menghasilkan Angle of Spray yang lebih kecil dari pada solar murni. Dari grafik diatas juga dapat dilihat, bahwa semakin tinggi heat treatment yang diberikan pada Bahan Bakar maka akan menyebabkan Angle of Spray yang semakin tinggi juga, hal ini disebabkan karena saat treatment dilakukan pada Bahan Bakar, pada saat itu pula viskositas dan densitas dari bahan Bakar akan mengalami penurunan. Pada penelitian ini nilai sudut sempotan B 100 dengan temperatur pemanasan 110°C memiliki nilai yang hamper sama dengan B 20 dengan temperatur pemanasan 70°C.

5.2 Saran

1. Maintenance alat dan bahan yang akan digunakan untuk penelitian harus sangat diperhatikan, agar ketepatan dan kepresisian dari alat dan bahan semakin baik saat digunakan untuk mengambil data penelitian.

2. Data yang dihasilkan akan semakin baik jika alat dan bahan juga menunjang pengambilan data.
3. Mengkalibrasi alat yang digunakan dalam pengambilan data agar tidak ada data tidak valid





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.
- 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).
- 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.

Sudarmanta, Bambang dan Djoko Sungkono. 2005. Transesterifikasi Crude Palm Oil dan Uji Karakteristik Semprotan Menggunakan Injektor Motor Diesel. *Jurnal*. 5(2):62-68.

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.
- Leksono, Budi, Rina Laksmi Hendrati, Eritrina Windyarini, dan Trimaria Hasnah. 2014. Variation in Biofuel Potential of Twelve *Calpophyllum 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.
- 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 Puthean. 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.

Reif, Konkrad. 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 Metyhl Ester Soybean Oil/Diesel Fuel Blends. *Bioresource Technology*. 57(1):31-36.

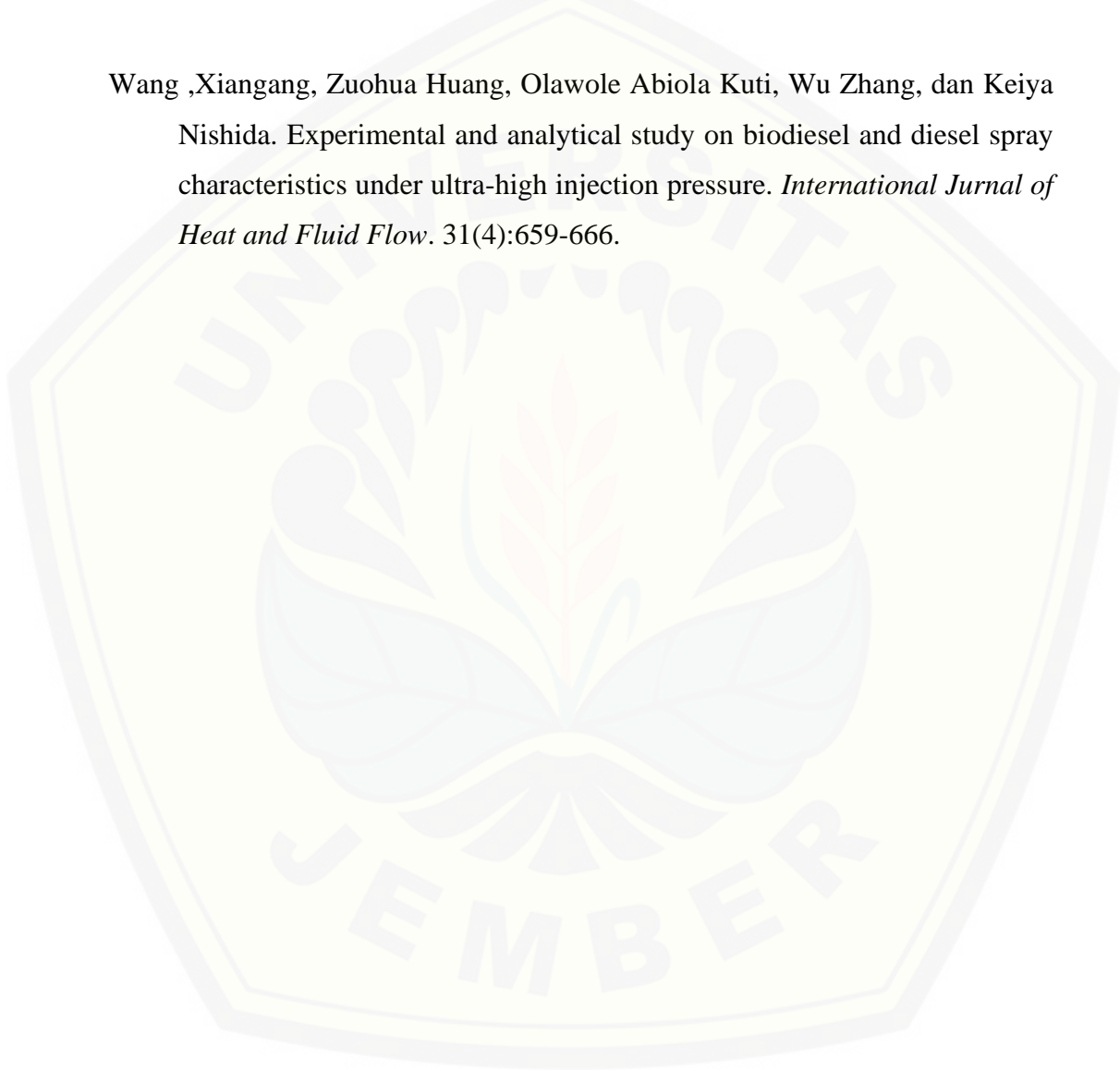
Tesfa, B., R. Mishra , F. Gu , dan N. Powles. 2010. Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines. *Renewable energy*. 35(12):2752-2760.

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 Biodiesel. *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 Journal of Heat and Fluid Flow*. 31(4):659-666.



A. LAMPIRAN PENGAMBILAN DATA

A.1 PENGAMBILAN DATA

1. Pengaturan Tekanan Injeksi



Gambar A.1 Pengaturan Tekanan injeksi



Gambar A.2 Pencampuran Bahan Bakar



Gambar A.3 Pengaturan Temperatur Pemanasan 70°C



Gambar A.4 Pengaturan Temperatur Pemanasan 90°C



Gambar A.5 Pengaturan Temperatur Pemanasan 110°C

2. Alat yang digunakan Pengambilan Data



Gambar A.6 Nosel Tester



Gambar A.7 Nosel Tipe Throtle single hole



Gambar A.8 Lampu Sorot 1000 watt

6. Bahan yang digunakan pengambilan data



Gambar A.9 Proses Steiring bahan bakar selama 20 menit



Gambar A. 10 Alat untuk mengukur viskositas



Gambar A.11 Alat Untuk Mengukur Densitas

3. Skema Pengambilan Data



Gambar A.12 Skema Pengambilan Data



Gambar A.13 Skema Peletakan Heater dan Dimmer

B. Lampiran Pengukuran Dara

B.1 Viskositas dan Densitas

Tabel B.1 Pengambilan Berat Kotor Bahan Bakar Percobaan 1

T/C	70°	90°	110°
B 0	71,480	71,060	70,520
B 20	71,850	71,200	71,220
B 30	72,350	71,770	71,330
B 100	73,640	72,790	72,040

Tabel B.2 Pengambilan Berat Kotor Bahan Bakar Percobaan 2

T/C	70°	90°	110°
B 0	71,760	71,230	70,610
B 20	71,700	71,430	71,300
B 30	72,220	71,760	71,310
B 100	73,810	72,860	72,340

Tabel B.3 Pengambilan Berat Kotor Bahan Bakar Percobaan 3

T/C	70°	90°	110°
B 0	71,870	71,320	70,720
B 20	71,830	71,660	71,020
B 30	72,710	71,800	71,250
B 100	73,660	72,970	72,240

Tabel B.4 Pengambilan Berat Kotor Bahan Bakar Rata-rata

T/C	70°	90°	110°
B 0	71,703	71,203	70,617
B 20	71,793	71,430	71,180
B 30	72,427	71,777	71,297
B 100	73,703	72,873	72,207

Tabel B.5 Pengambilan Data viskositas Percobaan 1

T/C	70°	90°	110°
B 0	1,49	1,36	1,07
B 20	1,54	1,48	1,23
B 30	1,99	1,56	1,48
B 100	2,24	1,97	1,76

Tabel B.6 Pengambilan Data viskositas Percobaan 2

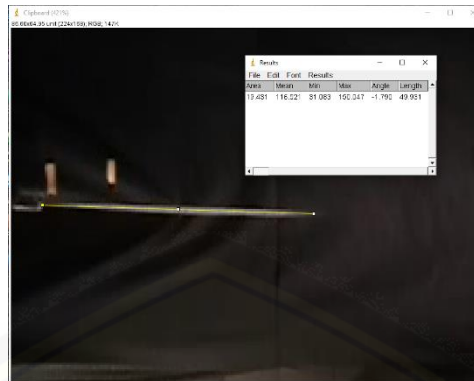
T/C	70°	90°	110°
B 0	1,54	1,19	1,13
B 20	1,73	1,61	1,35
B 30	1,99	1,66	1,59
B 100	2,28	1,97	1,78

Tabel B.7 Pengambilan Data viskositas Percobaan 3

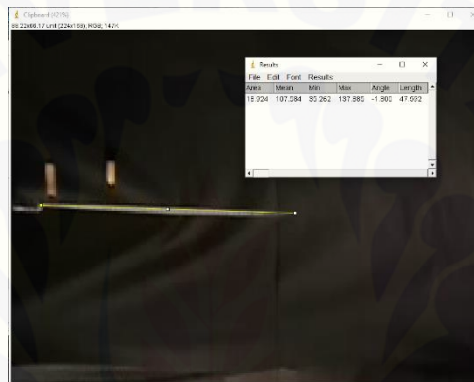
T/C	70°	90°	110°
B 0	1,46	1,25	1,14
B 20	1,85	1,55	1,31
B 30	1,95	1,61	1,44
B 100	2,26	2	1,76

Tabel B.8 Pengambilan Data viskositas Rata-rata

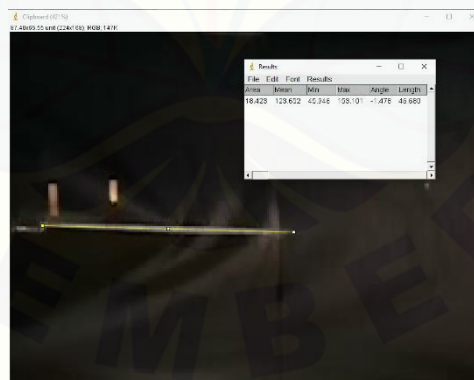
T/C	70°	90°	110°
B 0	1,497	1,267	1,113
B 20	1,707	1,547	1,297
B 30	1,977	1,610	1,503
B 100	2,260	1,980	1,767



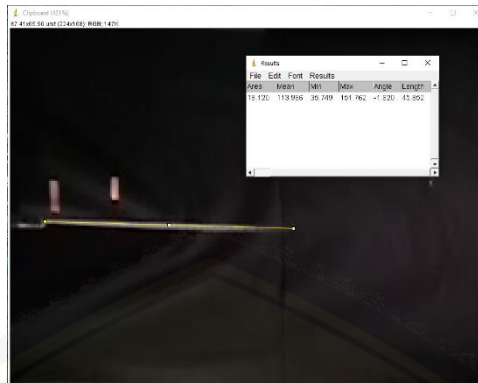
Gambar B.1 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 70°C Percobaan 1



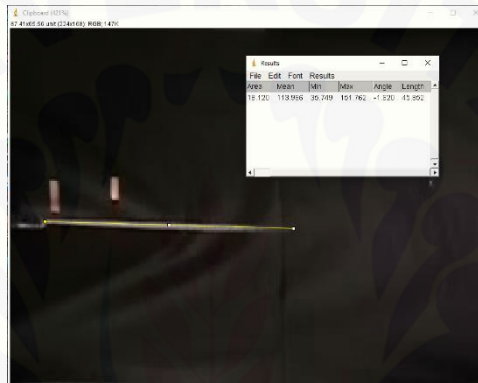
Gambar B.2 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 70°C Percobaan 2



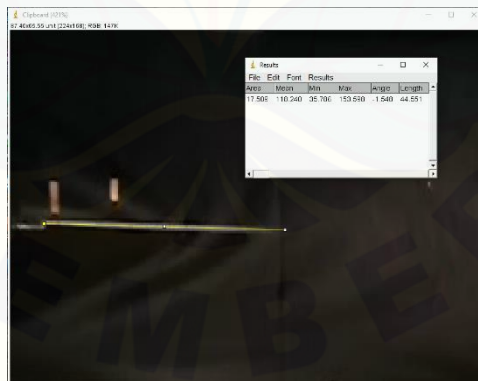
Gambar B.3 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 70°C Percobaan 3



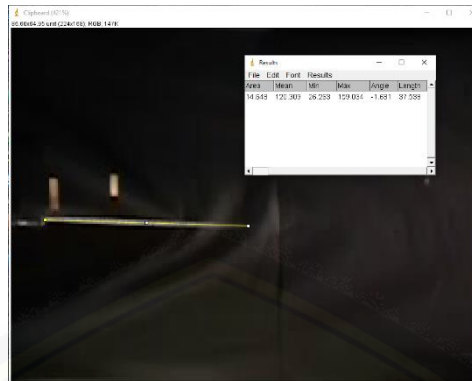
Gambar B.4 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 90°C Percobaan 1



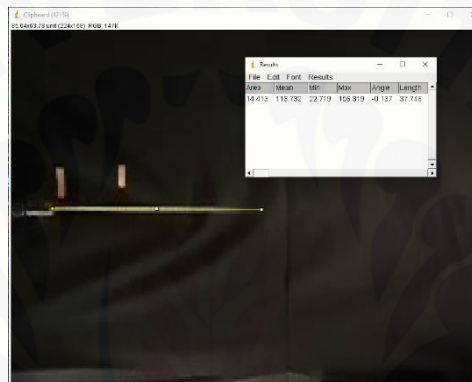
Gambar B.5 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 90°C Percobaan 2



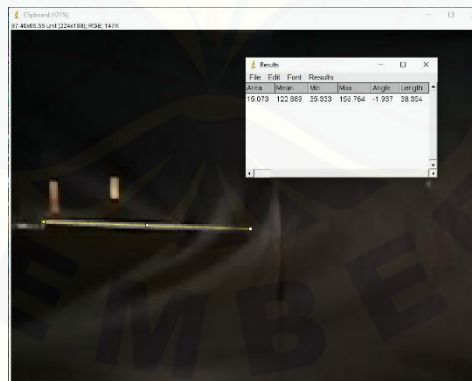
Gambar B.6 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 90°C Percobaan 3



Gambar B.7 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 110°C Percobaan 1



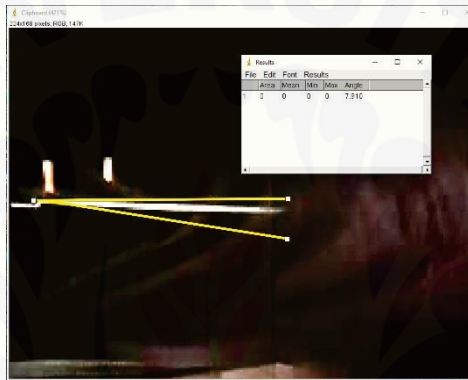
Gambar B.8 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 110°C Percobaan 2



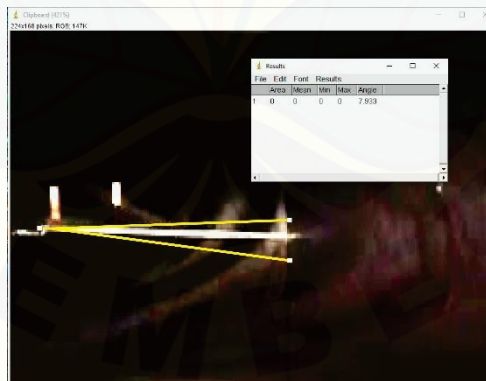
Gambar B.9 Pengambilan Data Panjang Penetrasi B 0, T 110°C Percobaan 3



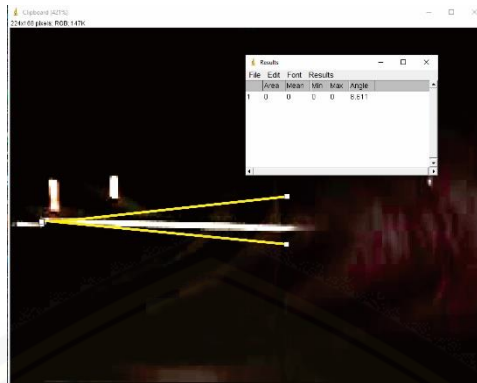
Gambar B.10 Pengujian Angle of Spray B 0 T 70°C Percobaan 1



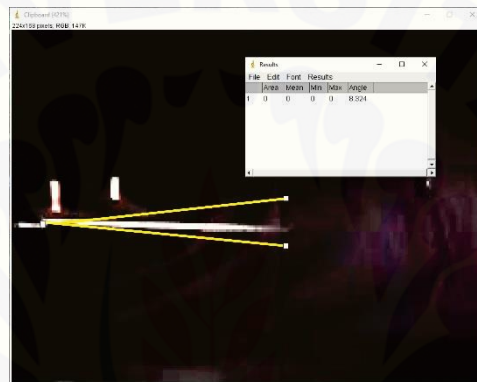
Gambar B.11 Pengujian Angle of Spray B 0 T 70°C Percobaan 2



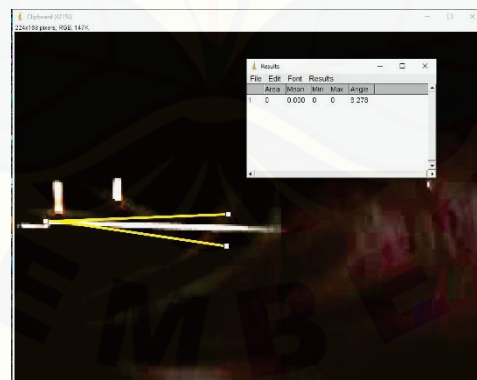
Gambar B.12 Pengujian Angle of Spray B 0 T 70°C Percobaan 3



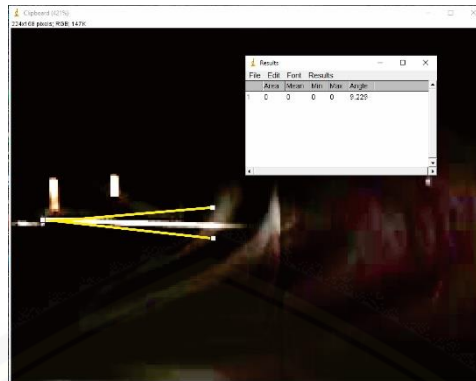
Gambar B.13 Pengujian Angle of Spray B 0 T 90°C Percobaan 1



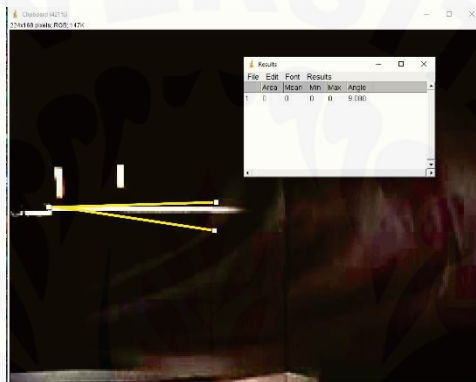
Gambar B.14 Pengujian Angle of Spray B 0 T 90°C Percobaan 2



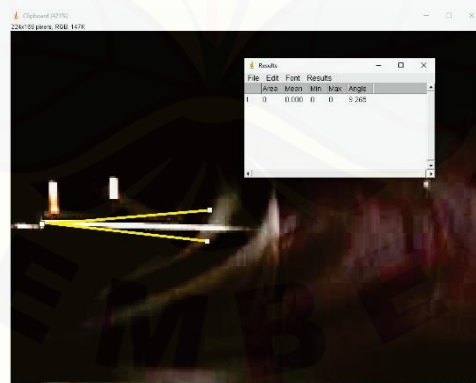
Gambar B.15 Pengujian Angle of Spray B 0 T 90°C Percobaan 3



Gambar B.16 Pengujian Angle of Spray B 0 T 110°C Percobaan 1



Gambar B.17 Pengujian Angle of Spray B 0 T 110°C Percobaan 2



Gambar B.18 Pengujian Angle of Spray B 0 T 110°C Percobaan 3

2. Data Hasil pengamatan

Tabel B.5 Hasil Data Densitas Percobaan 1

T/C	70°	90°	110°
B 0	0,7966	0,7882	0,7774
B 20	0,804	0,791	0,7914
B 30	0,814	0,8024	0,7936
B 100	0,8398	0,8228	0,8078

Tabel B.6 Hasil Data Densitas Percobaan 2

T/C	70°	90°	110°
B 0	0,8022	0,7916	0,7792
B 20	0,801	0,7956	0,793
B 30	0,8114	0,8022	0,7932
B 100	0,8432	0,8242	0,8138

Tabel B.7 Hasil Data Densitas Percobaan 3

T/C	70°	90°	110°
B 0	0,8044	0,7934	0,7814
B 20	0,8036	0,8002	0,7874
B 30	0,8212	0,803	0,792
B 100	0,8402	0,8264	0,8118

Tabel B.8 Hasil Data Densitas Rata-rata

T/C	70°	90°	110°
B 0	0,801	0,791	0,779
B 20	0,803	0,796	0,791
B 30	0,816	0,803	0,793
B 100	0,841	0,824	0,811

Tabel B.9 Data hasil Perhitungan Viskositas Percobaan 1

T/C	70	90	110
B 0	1,671	1,509	1,171
B 20	1,743	1,648	1,371
B 30	2,281	1,762	1,654
B 100	2,649	2,282	2,002

Tabel B.10 Data hasil Perhitungan Viskositas Percobaan 2

T/C	70	90	110
B 0	1,739	1,326	1,240
B 20	1,951	1,804	1,507
B 30	2,274	1,875	1,776
B 100	2,707	2,286	2,040

Tabel B.11 Data Hasil Perhitungan Viskositas Percobaan 3

T/C	70	90	110
B 0	1,654	1,396	1,254
B 20	2,093	1,746	1,452
B 30	2,255	1,820	1,606
B 100	2,674	2,327	2,012

Tabel B.12 Data Hasil Perhitungan Viskositas Rata-rata

T/C	70	90	110
B 0	1,688	1,411	1,222
B 20	1,929	1,733	1,443
B 30	2,270	1,819	1,678
B 100	2,676	2,299	2,018

Tabel B.13 Data Hasil Pengukuran Panjang Penetrasi Percobaan 1

T/C	70	90	110
B 0	47,931	46,217	37,538
B 20	53,931	47,088	44,978
B 30	55,986	49,82	45,316
B 100	56,817	55,41	51,826

Tabel B.14 Data Hasil Pengukuran Panjang Penetrasi Percobaan 2

T/C	70	90	110
B0	47,592	45,852	37,746
B20	54,243	47,385	45,66
B30	55,547	53,337	51,272
B100	57,275	56,545	53,863

Tabel B.15 Data Hasil Pengukuran Panjang Penetrasi Percobaan 3

T/C	70	90	110
B0	46,68	44,551	38,354
B20	50,652	46,78	44,69
B30	53,007	50,899	46,271
B100	61,208	58,001	55,15

Tabel B.16 Data Hasil Pengukuran Panjang Penetrasi Rata-rata

T/°C	70	90	110
B 0	47,401	45,384	37,946
B 20	52,942	47,084	45,109
B 30	54,847	51,352	47,620
B 100	58,433	56,652	53,613

Tabel B.17 Data Hasil Pengukuran Velocity os spray Percobaan 1

T/°C	70°	90°	110°
B 0	29,957	28,886	23,461
B 20	33,707	29,430	28,111
B 30	34,991	31,138	28,323
B 100	47,348	46,175	32,391

Tabel B.18 Data Hasil Pengukuran Velocity os spray Percobaan 2

T/°C	70°	90°	110°
B 0	29,745	28,658	23,591
B 20	33,902	29,616	28,538
B 30	34,717	33,336	32,045
B 100	47,729	47,121	33,664

Tabel B.19 Data Hasil Pengukuran Velocity os spray Percobaan 3

T/°C	70°	90°	110°
B 0	29,175	27,844	23,971
B 20	31,658	29,238	27,931
B 30	33,129	31,812	28,919
B 100	51,007	48,334	34,469

Tabel B.20 Data Hasil Pengukuran Velocity os spray Rata-rata

T/°C	70°	90°	110°
B 0	29,626	28,365	23,716
B 20	33,089	29,428	28,193
B 30	34,279	32,095	29,762
B 100	48,694	47,210	33,508

Tabel B.21 Data Hasil Pengukuran Angle of Spray Percobaan 1

T/°C	70	90	110
B 0	7,957	8,611	9,229
B 20	7,288	8,242	8,599
B 30	6,81	7,957	8,13
B 100	5,927	6,793	7,118

Tabel B.22 Data Hasil Pengukuran Angle of Spray Percobaan 2

T/C	70	90	110
B 0	7,91	8,324	9,08
B 20	7,55	8,161	8,395
B 30	6,934	7,604	7,853
B 100	5,83	6,527	6,841

Tabel B.23 Data Hasil Pengukuran Angle of Spray Percobaan 3

T/C	70	90	110
B 0	7,933	8,278	9,265
B 20	7,412	8,165	8,93
B 30	6,733	7,815	7,876
B 100	5,946	6,403	6,948

Tabel B.24 Data Hasil Pengukuran Angle of Spray Rata-rata

T/°C	70	90	110
B 0	7,933	8,404	9,191
B 20	7,417	8,189	8,641
B 30	6,826	7,792	7,953
B 100	5,879	6,574	6,969



