



**ANALISIS VARIASI TEKANAN INJEKSI DAN CAMPURAN ETANOL
PADA BD20 TERHADAP KARAKTERISTIK *SPRAY***

SKRIPSI

Oleh :

Tanu Alifudin Dany Saputra

161910101032

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**ANALISIS VARIASI TEKANAN INJEKSI DAN CAMPURAN ETANOL
PADA BD20 TERHADAP KARAKTERISTIK *SPRAY***

SKRIPSI

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

Oleh :

Tanu Alifudin Dany Saputra

161910101032

PROGRAM STUDI STRATA SATU TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Allah SWT dengan ikhlas dan kerendahan hati, saya persembahkan skripsi ini kepada:

1. Allah SWT atas segala berkah rahmat dan rizki-Nya, serta kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW;
2. Kedua Nenek saya yang telah memberi segala do'a dukungan semangat dan materi, keluarga saya Om, Tante, dan kedua Adik saya. Terimakasih atas semua cinta, kasih sayang, perhatian, do'a, pengorbanan, motivasi dan bimbingan kalian semua demi terciptanya insan yang beriman dan berakhlak mulia. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah kalian lakukan.
3. Semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang senantiasa memberikan ilmunya. Semoga ilmu yang Bapak/Ibu berikan bermanfaat dan barokah untukku dan untuk pribadi masing-masing serta menjadi amalan penolong Bapak/Ibu kelak.
4. Seluruh guru dari taman kanak-kanak hingga perguruan tinggi yang telah mendidik dan mengarahkan pada kebaikan.
5. Saudara seperjuanganku Teknik Mesin angkatan 2016.
6. Almamater Universitas Jember tercinta.

MOTTO

”All is well”

(Bagus Sri Agung Nugroho)

“Kamu mempunyai mimpi, kamu harus jaga. Orang tidak bisa melakukan sesuatu sendiri, mereka ingin mengatakan bahwa kamu tidak bisa melakukannya. Jika kamu ingin sesuatu, raihlah”

(The pursuit of Happiness)

“It is not our abilities that show what we truly are. But it is our choices.”

(Harry Potter)

“Our fate lives within us you only have to be brave enough to see it.”

(Brave)

“Life is a journey to be experienced, not a problem to be solved”

(Winnie The Pooh)

“Jangan tunggu hal menjadi lebih mudah, simpel, dan lebih baik. Hidup akan selalu rumit. Belajarlah menjadi bahagia sekarang. Kalau tidak, kamu akan kehabisan waktu”

(The Intouchable)

"The only way to achieve the impossible is to believe that it is possible." (Satu-satunya cara mencapai hal yang mustahil adalah dengan meyakini bahwa hal itu mungkin."

(Alice : Through The Looking Glass)

“Susah bukan berarti tidak mungkin. Lagipula jika hidup tidak ada susahnya, tidak ada perjuangannya, gak seru, gak rame, kurang menantang, gak asik, cupu!”

(Tanu Alifudin Dany Saputra)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Tanu Alifudin Dany Sputra

NIM : 1161910101032

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul “**Analisis Variasi Tekanan Injeksi dan Campuran Etanol pada BD20 terhadap Karakteristik *Spray***” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 16 Juli 2020
yang menyatakan

Tanu Alifudin Dany Saputra
NIM 161910101032

SKRIPSI

**ANALISIS VARIASI TEKANAN INJEKSI DAN CAMPURAN ETANOL
PADA BD20 TERHADAP KARAKTERISTIK *SPRAY***

Oleh
Tanu Alifudin Dany Saputra

NIM 161910101032

Pembimbing

Pembimbing Utama
Pembimbing Anggota

: Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T.
: Ir. Rika Dwi Hidayatul Q S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “Analisis Variasi Tekanan Injeksi dan Campuran Etanol pada BD20 terhadap Karakteristik *Spray*” telah diuji dan disahkan pada:

Hari, Tanggal : 16 Juli 2020

TeMPat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Mengetahui,

Pembimbing Utama,

Pembimbing Anggota,

Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T.
NIP. 197111141999 031002

Ir. Rika Dwi Hidayatul Q S.T., M.T.
NIP. 760014642

Penguji I,

Penguji II,

Dr. Muh. Nurkoyim Kustanto S.T., M.T
NIP. 196911221997021001

Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T.
NIP. 197003101997021001

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 19700826 199702 1 001

PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karuniaNya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini yang berjudul “Analisis Variasi Tekanan Injeksi dan Campuran Etanol pada BD20 terhadap Karakteristik *Spray*”. Skripsi ini disusun guna memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeritas Jember.

Penulis tidak lupa berterima kasih serta mengapresiasi semua pihak yang telah membantu dan mendukung selama penyusunan skripsi ini, khususnya kepada:

1. Bapak Ir. Hari Arbiantara, S.T., M.T selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah banyak membantu proses terselesaikannya penulisan skripsi.
2. Bapak Dr. Ir. Gaguk Jatisukanto S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah mendampingi dan membimbing saya selama 4 tahun menjadi mahasiswa.
3. Dosen dan seluruh karyawan Teknik Mesin Universitas Jember.
4. Bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Utama, dan Ibu Ir. Rika Dwi Hidayatul Q S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya untuk memberikan masukan dalam penyusunan dan penulisan skripsi ini.
5. Bapak Dr. Muh. Nurkoyim Kustanto S.T., M.T selaku Dosen Penguji Utama dan Bapak Ir. Robertus Sidartawan S.T., M.T. selaku Dosen Penguji Anggota yang telah banyak meluangkan waktu, pikiran dan perhatiannya untuk memberikan kritik dan saran untuk perbaikan skripsi.

6. Tim Pengujian *Spray* yang beranggotakan Luluk Fitriani, Putra Barru Sanjaya, Faiz Firdausi dan Geza Sandhiyoga.
7. Tim TITEN Mobil Listrik UNEJ yang menemani dan berjuang bersama dari awal hingga akhir dalam menyelesaikan tugas akhir.
8. Teman seperjuangan Dimas Dwi Sahputra, Bagus Sri Agung, Novi Adhitya, Muh. Nur Rosyid, Thatit Arga, Faiz Firdausi, Putra Sanjaya, Ega Bagaskara, Elok Nurul, dan Ahmad Miftahul Royan.
9. Dulur Teknik Mesin 2016 di Jember (M18) atas dukungan dan doanya dalam terselesainya skripsi ini.
10. Kepada pihak yang telah banyak membantu dan memberi masukan dalam penyelesaian skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi semua pembaca.

RINGKASAN

ANALISIS VARIASI TEKANAN INJEKSI DAN CAMPURAN ETANOL PADA BD20 TERHADAP KARAKTERISTIK *SPRAY*; Tanu Alifudin Dany Saputra, 161910101032; 2020; 52 Halaman; Jurusan Teknik Mesin Universitas Jember.

Biofuel adalah salah satu pemanfaat energi terbarukan untuk menggantikan bahan bakar fosil yang ramah lingkungan. Biodiesel adalah bahan bakar yang terbuat dari minyak nabati atau hewani dan ramah lingkungan sebagai bahan bakar pengganti minyak solar dari fosil. Etanol adalah bahan bakar beroktan tinggi dan dapat digunakan untuk meningkatkan nilai oktan dalam bensin. Etanol mengandung oksigen yang sangat tinggi, sehingga akan memperbaiki pembakaran yang lebih baik. *Spray* adalah aliran udara atau gas yang mengandung droplet atau droplet yang bergerak dalam aliran udara yang akan memecahkan minyak atau fluida dengan kecepatan tertentu. Dengan mengetahui karakteristik *spray*, dapat mengetahui persebaran bahan bakar dalam ruang pembakaran.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan etanol pada BD20 terhadap karakteristik semprotan yang dihasilkan. Karakteristik *spray* yang dimaksud pada penelitian ini adalah *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *spray angle*. Penelitian ini menggunakan biodiesel 20% produk dari PT. Pertamina dan etanol 99% produk dari PT. Enero, komposisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah solar murni 100%, Biodiesel 20% dengan penambahan etanol 5%, dan Biodiesel 20% dengan penambahan etanol 10%. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengujian eksperimental menggunakan *prototype* ruang pembakaran atau dengan ruang chamber berukuran 28 cm x 28 cm yang bertekanan 2 bar.

Hasil dari penelitian karakteristik *spray* penambahan etanol pada bahan bakar biosolar mempengaruhi karakteristik bahan bakar. Penambahan etanol pada bahan bakar biosolar akan menyebabkan penurunan *spray tip penetration* dan *velocity of spray*, sedangkan untuk nilai *spray angle* akan mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena terjadi penurunan

densitas dan viskositas. Prosesntase campuran etanol dengan biosolar semakin besar maka densitasnya akan semakin besar pula. Penigkatan tekanan injeksi akan meningkatkan pula panjang *spray tip penetration* dan *velocity of spray*. Sedangkan untuk lebar *spray angle* semakin menurun atau mengerucut.



SUMMARY

ANALYSIS VARIATION OF INJECTION PRESSURE AND MIXING OF ETHANOL ON BD20 ON SPRAY CHARACTERISTICS; Tanu Alifudin Dany Saputra, 161910101032; 2020; 52 pages; Department of Mechanical Engineering, University of Jember.

Biofuel is a renewable energy user to replace environmentally friendly fossil fuels. Biodiesel is a fuel made from vegetable or animal oil and environmentally friendly as a substitute fuel for diesel oil from fossils. Ethanol is a high octane fuel and can be used to increase the octane value in gasoline. Ethanol contains very high oxygen, so it will improve combustion better. Spray is a flow of air or gas containing a droplet or droplet that moves in an air flow that will break oil or fluid with a certain speed. By knowing the characteristics of the spray, can determine the distribution of fuel in the combustion chamber.

This study aims to determine the effect of ethanol addition variations on BD20 on the characteristics of the spray produced. The spray characteristics referred to in this study are spray tip penetration, velocity of spray, and spray angle. This study uses biodiesel 20% products from PT. Pertamina and ethanol 99% of products from PT. Enero, the composition used in this study is 100% pure diesel fuel, 20% biodiesel with 5% ethanol addition, and 20% biodiesel with 10% ethanol addition. The method used in this study is experimental testing using a combustion chamber prototype or with a chamber chamber measuring 28 cm X 28 cm which is pressurized 2 bars.

The results of the spray characteristic research on the addition of ethanol to biodiesel fuels influence fuel characteristics. The addition of ethanol to biosolar fuel will cause a decrease in spray tip penetration and velocity of spray, while the value of the spray angle will increase. This is due to a decrease in density and viscosity. The process of the mixture of ethanol with biosolar the greater the density will be even greater. Increasing injection pressure will also increase the length of spray tip penetration and velocity of spray. As for the width of the spray angle decreases or cones.

DAFTAR ISI

PERSEMBAHAN	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN	v
PENGESAHAN	vii
PRAKATA	viii
RINGKASAN	x
SUMMARY	xiii
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR TABEL	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1. 2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. LANDASAN TEORI	5
2.1 Emisi Gas Buang	5
2.2 <i>Injector Nozzle Valve</i>	10
2.3 <i>Nozzle/Injektor</i>	10
2.4 Dasar Dasar Spray	13
2.4.1 <i>Spray Tip Penetration</i>	13
2.4.2 <i>Velocity of Spray</i>	14
2.4.3 <i>Spray Angle</i>	14
2.5 Biodiesel BD20	15
2.5.1 Sifat Sifat Bahan Bakar Biodiesel.....	16
2.6 Etanol	21
2.6.1 Nilai Oktan.....	25
2.6.2 Nilai Kalor	25
2.6.3 Kekentalan (Viskositas).....	26

2.6.4 Kerapatan (Densitas).....	26
2.7 Pencampuran Biodiesel dengan Etanol	26
2.8 Hipotesis	30
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	31
3.1 Metode Penelitian	31
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	31
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	31
3.4 Variabel Penelitian	32
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan data	33
3.6 Pengamatan yang Dilakukan	33
3.7 Tahapan Pembuatan dan Pengujian	33
3.7.1 Pencampuran bahan bakar	33
3.7.2 Pembuatan Ruang bertekanan.....	33
3.7.3 Pengujian Karakteristik <i>Spray</i> pada bahan bakar	34
3.7.4 Pengujian <i>Spray Tip Penetration</i>	36
3.7.5 Pengujian <i>Velocity of Spray</i>	36
3.7.6 Pengujian <i>Spray Angle</i>	37
3.8 Diagram Alir	40
3.9 Jadwal Kegiatan Penelitian	411
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	42
4.1 Hasil Penelitian	42
4.1.1 Data <i>Spray Tip Penetration</i>	43
4.1.2 Data <i>Velocity of Spray</i>	44
4.1.3 Data <i>Spray Angle</i>	45
4.2 Analisis Data	46
4.2.1 <i>Spray Tip Penetration</i>	47
4.2.2 <i>Velocity of Spray</i>	49
4.2.3 <i>Spray Angle</i>	50
BAB 5. PENUTUP.....	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN.....	57

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Hasil Olah data Pengujian	13
Tabel 2.2 Properti Minyak Solar	21
Tabel 2.3 Properti Alkohol.....	24
Tabel 3.1 <i>Spray Tip Penetration</i>	36
Tabel 3.2 <i>Velocity of Spray</i>	37
Tabel 3.3 <i>Spray Angle</i>	38
Tabel 3.4 Jadwal Kegiatan Penelitian	40
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Campuran Biosolar dengan Etanol	41
Tabel 4.2 Data Rata-rata <i>Spray Tip Penetration</i> dengan satuan (cm)	42
Tabel 4.3 Data Rata-rata <i>Velocity of Spray</i> dengan satuan (cm/s).....	44
Tabel 4.4 Data Rata-rata <i>Spray Angle</i>	45

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Perbandingan pada gambar UV dari E85	7
Gambar 2.2 Distribusi Spasial dari rasio campuran uap-gas ambient di MEK85.....	7
Gambar 2.3 Variasi Temporal OH* untuk bahan bakar yang berbeda	8
Gambar 2.4 Skema Simulasi Alat Pengujian (Kusuma, dkk)	12
Gambar 2.5 Grafik <i>Spray Tip</i> (Kusuma, dkk)	14
Gambar 2.6 <i>Spray Angle</i>	15
Gambar 2.7 Teknik pengambilan data (Nishida)	18
Gambar 2.8 Perbandingan gambar antara <i>spray</i> dan <i>soot flame</i>	19
Gambar 2.9 Rasio massa udara dan bahan bakar	19
Gambar 2.10 Hasil <i>spray</i> selama proses injeksi	28
Gambar 2.11 Grafik <i>Spray Angle</i>	29
Gambar 3.1 Desain Ruang Bertekanan satuan mm	34
Gambar 3.2 Skema Pengambilan Data	35
Gambar 3.3 Cara Pengukuran <i>Spray tip penetration</i>	36
Gambar 3.4 Pengukuran <i>Spray Angle</i>	38
Gambar 3.5 Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 4.1 Variasi Bahan Bakar	41
Gambar 4.2 <i>Velocity of Spray</i>	43
Gambar 4.3 Gambar <i>spray</i> pada tekanan 15 MPa	45
Gambar 4.4 Gambar <i>spray</i> solar 100%	45
Gambar 4.5 Grafik rata-rata <i>spray tip penetration</i>	46
Gambar 4.6 Grafik rata-rata <i>velocity of spray</i>	48
Gambar 4.7 Grafik rata-rata <i>Spray Angle</i>	49

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Mesin diesel dapat dikategorikan kendaraan yang irit bahan bakar. Akan tetapi mesin diesel memiliki emisi gas buang yang tinggi. Gas buang mesin diesel sangat banyak mengandung partikulat. Pencampuran udara kompresi dengan bahan bakar yang disemprotkan yang tidak sebanding (terlalu banyak bahan bakar) akan menghasilkan gas buang yang mengandung partikulat berlebihan (Wahyu., 2014). Emisi gas buang merupakan sisa hasil proses pembakaran bahan bakar yang tidak terurai atau terbakar dengan sempurna di ruang bakar. Hal ini berarti, masih ada bahan bakar yang tidak terbakar atau tidak semua bahan bakar yang masuk ke dalam mesin habis terbakar. Oleh karena itu, upaya dalam pengurangan emisi mesin diesel harus dilakukan.

Dalam emisi gas buang ada beberapa unsur yang terkandung yaitu : CO, NO₂, N₂, C, H₂, H₂O, dan HC, unsur unsur ini dibuang ke udara bebas melalui saluran pembuangan udara dari suatu mesin. Unsur unsur tersebut sifatnya beracun sehingga dapat mencemari lingkungan sekitar dalam bentuk polusi udara dan mengganggu kesehatan yang menyebabkan kematian pada kadar tertentu (Nurahman dkk., 2017). Etanol dapat mengurangi emisi pada pembakaran mesin diesel karena etanol mengandung nilai O₂ yang tinggi. Keuntungan penambahan etanol pada minyak diesel karena etanol oxygenate fuel dengan kandungan oksigen mencapai 34%. Kandungan oksigen yang tinggi pada bahan bakar akan memperbaiki proses pembakaran sehingga emisi gas buang yang dihasilkan akan lebih rendah jika dibandingkan dengan penggunaan solar sebagai bahan bakar (Gomez dkk., 2019). Hasil penelitian menunjukkan bahwa bila dibandingkan dengan biodiesel, karakteristik pembakaran campuran etanol-biodiesel berubah dan performa mesin sedikit membaik dengan 5% etanol dalam biodiesel (be5). Dibandingkan dengan bahan bakar diesel, biodiesel dan campuran BE memiliki tinggi rem thermal efisiensi (BTE). Secara keseluruhan, dibandingkan dengan bahan bakar diesel, campuran Biodiesel Etanol (BE) dapat menyebabkan penurunan baik NO_x dan emisi partikulat dari mesin Diesel (Jamrozik., 2017).

Proses pencampuran bahan bakar dengan udara menjadi peranan penting dalam keberhasilan proses pembakaran dan emisi yang dihasilkan oleh mesin diesel. Jika pemahaman dan penerapan injeksi bahan bakar dengan baik maka hal itu dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan menghasilkan emisi yang kecil. Kekuatan tekanan pada injektor saat menginjeksi bahan bakar ke ruang bakar dapat meningkatkan berbagai aspek, antara lain : torsi, daya, efisiensi dan mengurangi emisi pembakaran. (Pastor dkk., 2017).

Tekanan pada mesin memberikan gaya dorong terhadap bahan bakar untuk menyemprotkannya ke ruang pembakaran. Peranan tekanan sangat penting, karena jika tekanan terlalu rendah maka kompresinya juga akan rendah, jika kompresi terlalu tinggi maka hasil *spray* tidak terjadi secara merata. Pada umumnya, pembakaran mesin diesel untuk mobil membutuhkan tekanan kompresi sebesar 10-40 MPa agar dapat menyemprotkan bahan bakar secara merata. Jika tidak merata maka, pembakaran akan kurang sempurna karena banyak bahan bakar yang menempel pada dinding ruang bakar sehingga menyebabkan emisi yang tinggi pada pembakaran (Pastor dkk., 2017). Borosnya pemakaian bahan bakar, asap tebal, dan tenaga yang dihasilkan disebabkan oleh tekanan injektor yang tidak sesuai lagi dengan spesifikasi menjadi salah satu faktor karena injektor perannya cukup penting. Agar *spray* injektor berbentuk kabut dan tersebar merata di ruang bakar maka tekanan menyemprotkan bahan bakar dari pompa injeksi ke dalam ruang silinder yang tepat (Ashari dkk., 2017). Dari hal tersebut maka dibutuhkan tekanan yang tepat untuk menghasilkan *spray* yang merata sehingga campuran bahan bakar dengan udara dapat ideal sehingga pembakaran yang terjadi secara optimal.

Penelitian tentang permodelan karakteristik *spray* telah banyak dilakukan dengan menggunakan variasi pada tekanan serta tipe dari nosel, Menurut Kusnandar (2012) pemberian tekanan yang lebih tinggi mempengaruhi efektifitas dalam *coverage area*, kapasitas air atau jumlah air yang disemprotkan, dan momentum untuk menembus dan mencapai bahan bakar. Kusuma, dkk., (2015) melakukan penelitian tentang uji variasi tekanan nosel terhadap karakteristik *spray* bahan bakar biodiesel. Dari hasil penelitian tersebut diketahui bahwa *velocity of spray*, *spray angle* maupun jumlah butirnya pada biodiesel campuran 5% memiliki karakteristik *spray* akan mendekati 100% solar murni jika tekanan noselnya

dinaikkan pada batas tertentu. Menurut Ghurri (2012) juga melakukan penelitian tentang karakteristik *spray* dengan variasi bahan bakar. Dari hasil penelitian untuk menghasilkan *spray tip penetration* yang lebih besar, *velocity of spray* lebih besar dan *spray angle* yang lebih kecil maka diperlukan viskositas dan densitas bahan bakar yang lebih tinggi. Untuk menembus hambatan yang dari lingkungan tempat bahan bakar diinjeksikan diperlukan ukuran droplet yang lebih besar. Semakin tinggi densitas dan viskositas maka ukuran droplet juga semakin besar. Menurut Nishida, dkk (2010) Penambahan tekanan dapat memberikan *spray tip penetration* yang hampir sama terhadap variasi bahan bakar dan *spray angle* akan semakin sempit ketika tekanan dinaikkan.

Dari hasil penelitian terdahulu, maka selanjutnya perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang Analisis Variasi Tekanan Injeksi dan Campuran Etanol pada BD20 terhadap Karakteristik *Spray*, dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan dan penambahan etanol pada minyak biosolar terhadap karakteristik *spray* yang dihasilkan.

1. 2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan tersebut, maka rumusan masalah yang akan diangkat adalah bagaimana pengaruh variasi tekanan injeksi dan penambahan etanol pada biodiesel (BD20) terhadap karakteristik *spray*.

1.3 Tujuan

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi penambahan etanol pada BD20 terhadap karakteristik *spray* yang dihasilkan. Karakteristik *spray* yang dimaksud pada penelitian ini adalah *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *spray angle*.
- b. Untuk mengetahui pengaruh variasi tekanan injeksi pada bahan bakar terhadap karakteristik *spray* yang dihasilkan. Karakteristik *spray* yang dimaksud pada penelitian ini adalah *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *spray angle*.

1.4 Manfaat

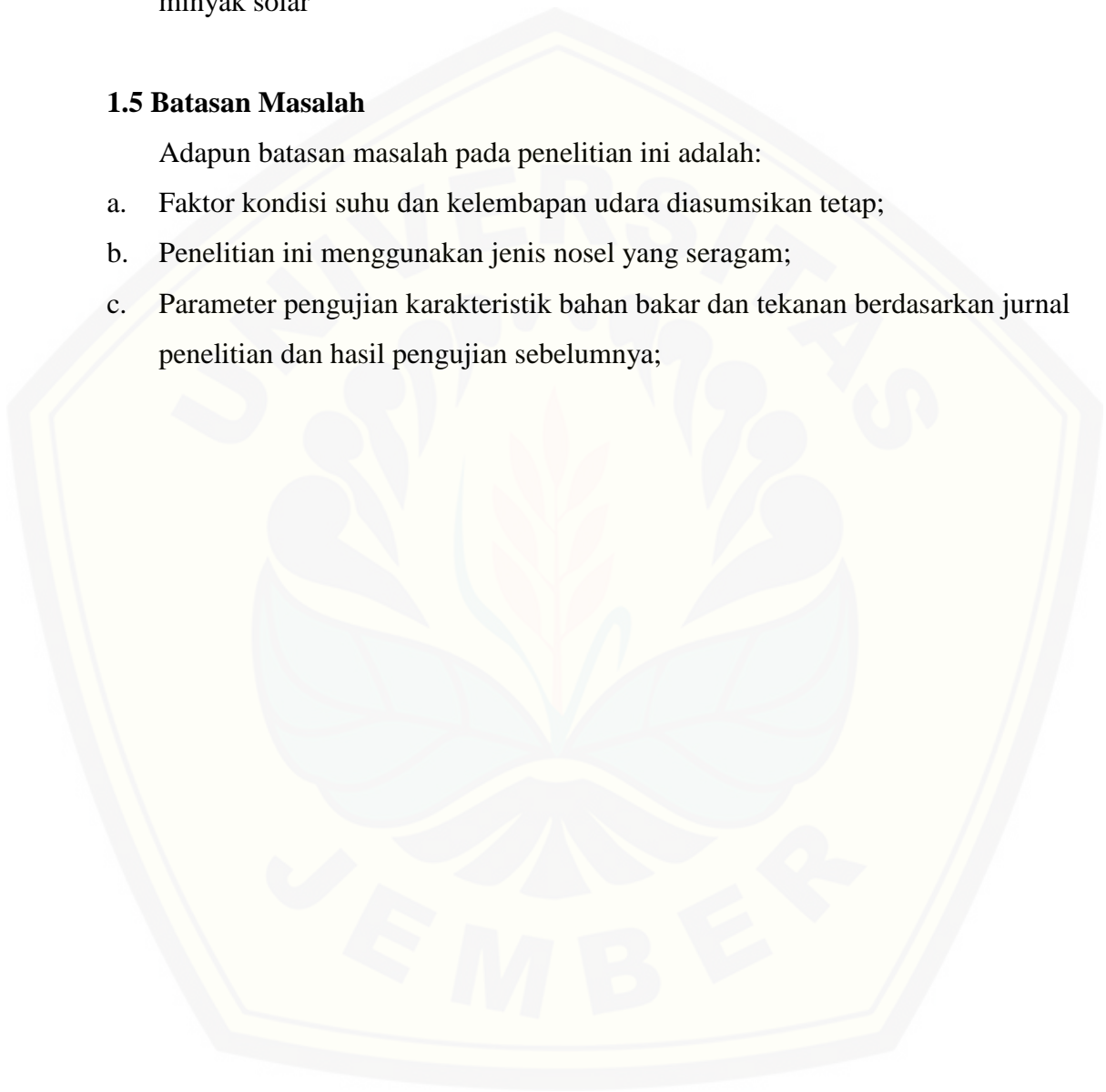
Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Untuk menambah pengetahuan tentang karakteristik bahan bakar untuk mesin diesel.
- b. Untuk mengetahui bahan bakar dan tekanan yang menyerupai karakteristik minyak solar

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

- a. Faktor kondisi suhu dan kelembapan udara diasumsikan tetap;
- b. Penelitian ini menggunakan jenis nosel yang seragam;
- c. Parameter pengujian karakteristik bahan bakar dan tekanan berdasarkan jurnal penelitian dan hasil pengujian sebelumnya;



BAB 2. LANDASAN TEORI

2.1 Emisi Gas Buang

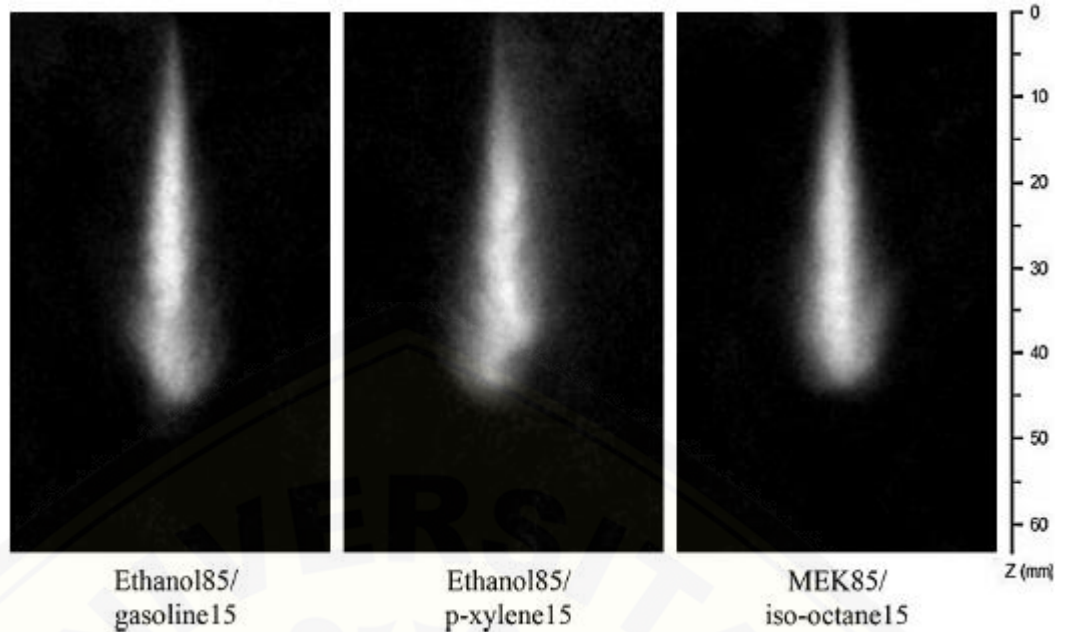
Emisi gas buang adalah hasil pembakaran bahan bakar di dalam mesin pembakaran dalam, mesin pembakaran luar, mesin jet yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan mesin. Transportasi menjadi sumber polusi utama dari pencemaran udara yakni sebesar 70% polutan gas buang kendaraan bermotor yang diantaranya terdiri dari Karbon Monoksida (CO), Nitrogen Oksida (NO_x) Hidrokarbon (HC), dan senyawa partikulat lainnya (Khairi dkk., 2013).

Gas buang mesin diesel sangat banyak mengandung partikulat karena banyak dipengaruhi oleh faktor dari bahan bakar yang tidak bersih. Partikulat pada gas buang mesin diesel berasal dari partikel susunan bahan bakar yang masih berisikan kotoran kasar (abu) dikarenakan pemrosesan bahan bakar yang kurang baik. Faktor lain yang sangat dominan dalam memberikan sumbangan zat pencemar ke udara adalah faktor campuran udara kompresi dengan bahan bakar yang disemprotkan. Pencampuran yang tidak sebanding (terlalu banyak bahan bakar) akan menghasilkan gas buang yang mengandung partikulat berlebihan (Wahyu., 2014).

Emisi gas buang kendaraan berasal dari sisa hasil pembakaran bahan bakar yang tidak terurai atau terbakar dengan sempurna diruang bakar. Unsur yang terkandung dalam gas buang antara lain CO, NO₂, HC, C, H₂, H₂O dan N₂, dimana kandungan tersebut banyak bersifat mencemari lingkungan sekitar dalam bentuk polusi udara dan mengganggu kesehatan hingga menimbulkan kematian pada kadar tertentu. Pada Negara yang memiliki standar emisi gas buang ada 5 unsur dalam emisi gas buang yang diukur yaitu senyawa HC, CO, CO₂, O₂, dan senyawa NO_x, sedangkan pada Negara yang tidak terlalu ketat hanya mengukur 4 unsur yaitu HC, CO, CO₂, dan O₂ (Nurahman dkk., 2017).

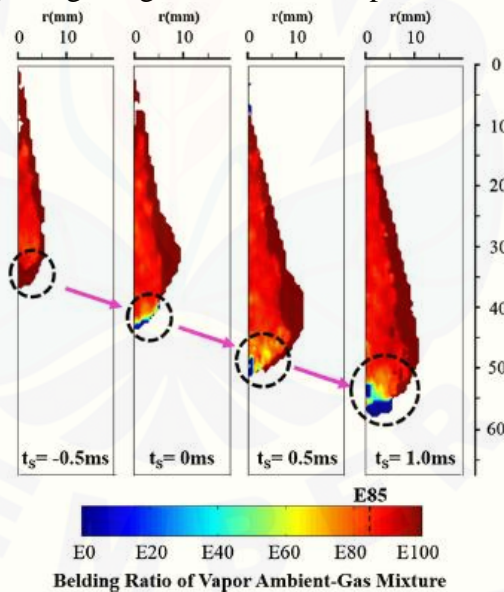
Penelitian dari Chen dan Nishida (2014) tentang Karakteristik penguapan dan pembakaran semprotan campuran etanol-bensin, yang terdiri dari E0 (100% bensin), E85 (85% etanol dan 15% bensin) dan E100 (100% etanol) diselidiki menggunakan nosel tipe lubang dalam bejana volume konstan quiescent suhu tinggi

dan tekanan tinggi. Sebuah Teknik dual-wavelength laser absorption scattering (LAS) digunakan untuk membedakan uap distribusi dari fase cair. Distribusi uap bensin ditentukan oleh p-xylene, yang memiliki sifat fisik yang mirip dengan bensin dan penyerapan tinggi untuk ultraviolet. Demikian juga dengan perilaku uapnya etanol ditentukan oleh metil etil keton (MEK). Untuk menganalisis pengembangan api dan Intensitas pembakaran, chemiluminescence OH* diperiksa dengan menggunakan campuran etanol murni-bensin nilai kalor yang sama. Hasilnya menunjukkan bahwa etanol menguap lebih cepat daripada bensin. Karena berbeda titik didih, campuran gas ambient-stratified uap terbentuk dalam semprotan E85. Ini menyiratkan bahwa komponen titik didih rendah (LBP) dalam bensin mungkin menguap mirip dengan etanol didistribusikan secara homogen di sepanjang sumbu *spray*. Sedangkan titik didih tinggi (HBP), yaitu komponen berat dalam bensin, akan ditempatkan dari tengah ke hilir semprotan, dan karenanya daerah uap bensin padat terbentuk di ujung *spray* setelah akhir injeksi (EOI). Analisis intensitas pembakaran menunjukkan fenomena ini adalah salah satu kemungkinan alasan yang mengarah pada perbedaan perilaku pembakaran antara E85 dan E100. Setelah etanol ditambahkan, pembakaran menjadi lebih banyak kuat karena peningkatan kandungan oksigen. Selain itu, stabilitas pembakaran ditingkatkan dengan menggunakan campuran etanol-bensin, terutama ketika kunci kontak dimulai pada waktu yang maju dan wilayah tengah *spray*.



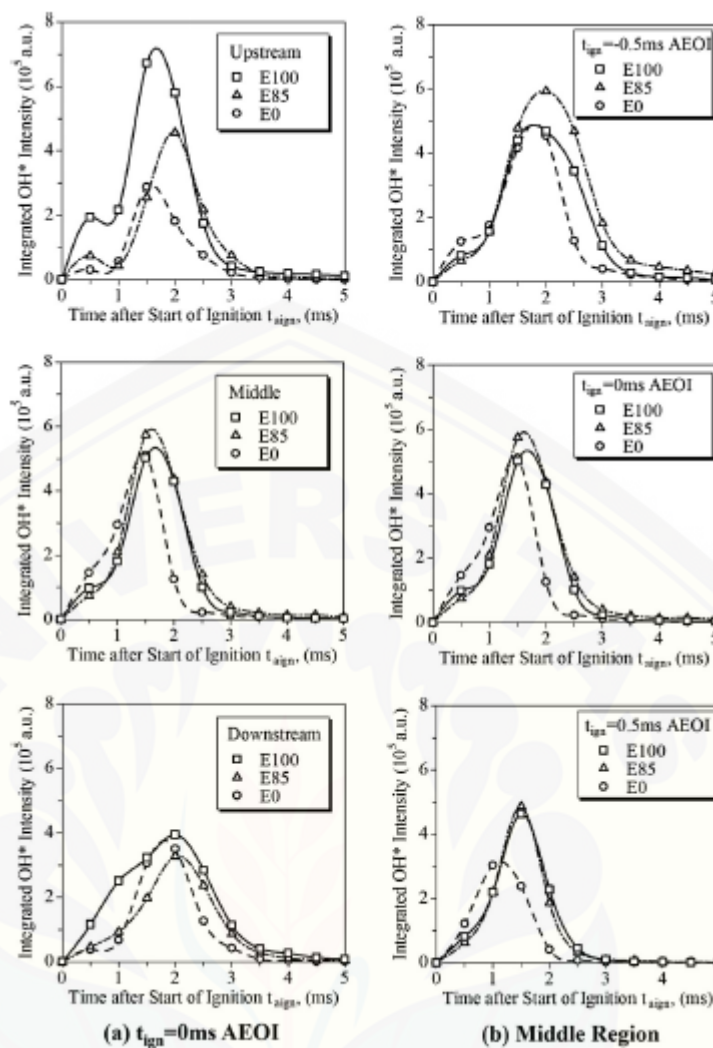
Gambar 2.1 Perbandingan pada gambar UV dari E85 murni dan bahan bakar pengganti oleh LAS di EOI (durasi injeksi adalah 1,51 ms). (Chen dan Nishida, 2014)

Gambar 2.1 adalah hasil pengujian *spray* dengan kondisi ruang ambient bersuhu tinggi cenderung mengurangi efek viskositas pada atomisasi.



Gambar 2.2 Distribusi spasial dari rasio campuran uap-gas ambient di MEK85 / p-xylene15. (Chen dan Nishida, 2014)

Distribusi spasial ombinasi MEK dengan komponen p-xylene, menghasilkan uap yang terstratifikasi dengan jelas dari berbagai komponen dari titik didih, menghasilkan peta rasio pencampuran campuran uap ambient-gas seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.2



Gambar 2.3 Variasi temporal intensitas OH* untuk bahan bakar yang berbeda pada (a) 0 ms pengapian AEOI dan (b) pengapian wilayah tengah. (Chen dan Nishida)

Variasi temporal dari intensitas OH* terintegrasi secara kuantitatif dianalisis pada Gambar 2.3. Hasil rata-rata ini menyediakan variasi yang sebanding pada evolusi pembakaran setelah awal pengapian. Puncak pertama kecil OH* yang bergantung pada konsentrasi dari radikal CH diamati, terutama di pengapian hulu, mungkin sebagai akibat dari biaya percikan. Serupa hasilnya ditemukan untuk emisi CH* yang diambil oleh photomultiplier dalam tes mesin, di mana sinyal CH* sementara meningkat muncul pada durasi percikan. Sementara kecenderungan ini menjadi tidak mencolok pada pengapian terbelakang karena pemendekan keterlambatan pengapian. Di bawah semua kondisi pengapian, tidak ada yang signifikan perbedaan pada fase pembakaran. Dibandingkan dengan E0, OH* Intensitas meningkat dengan meningkatnya penambahan etanol, yang menunjukkan

bahwa proses pembakaran ditingkatkan. Karena oksigen kandungan molekul etanol berkontribusi pada pembakaran yang lebih tinggi efisiensi, di samping itu, durasi injeksi yang diperpanjang menghasilkan formasi campuran lebih cocok.

Di bawah kondisi suhu tinggi, E100 (terwakili oleh MEK100 dalam LAS), karena titik didihnya yang rendah, menunjukkan penguapan lebih cepat dari E0 (diwakili oleh p-xylene dalam LAS). Dalam *spray* E85, berdasarkan hasil dari distribusi fase cair dan uap, dapat dikurangkan bahwa komponen titik didih rendah (LBP) dalam bensin akan menguap mirip dengan etanol, dan mendistribusikan secara homogen sepanjang sumbu *spray*. Sedangkan didih tinggi komponen titik (HBP) dalam bensin terutama berasal dari bagian tengah ke hilir semprotan, menghasilkan padat wilayah uap bensin di ujung semprotan setelah EOI.

Dibandingkan dengan E100, distribusi uap bertingkat komponen yang berbeda dalam semprotan E85 memiliki dampak potensial pada karakteristik pembakarannya, karena bensin yang lebih rendah entalpi penguapannya daripada etanol. Ketika nyala api merambat bertemu dengan bensin padat uap di hilir semprotan E85, nyala memiliki berpotensi untuk membakar lebih cepat, dan karenanya menginduksi pembakaran yang lebih tinggi Intensitas dari E100. E85 juga memiliki *spray angle* yang paling lebar sehingga nyala api pembakaran E85 yang paling homogen dibandingkan E100.

Emisi OH* lebih tinggi dihasilkan ketika etanol diperkenalkan ke dalam bensin karena kandungan oksigen dalam etanol. Pembakaran stabil diamati saat bahan bakar dipicu di wilayah tengah dari semprotan karena berpotensi bidang aliran yang menguntungkan dan pencampuran lokal. Selanjutnya, rentang waktu pengapian pembakaran stabil meluas dengan peningkatan rasio etanol, khususnya untuk pengapian canggih yang memungkinkan percikan lebih fleksibel pengaturan untuk mesin SG-DISI untuk mencapai yang diinginkan pembakaran di dekat TDC.

Dari penelitian Chen, dan Nishida (2014) dapat disimpulkan bahwa *spray angle* dapat mempengaruhi homogenitas nyala api pembakaran. Sehingga dengan meneliti karakteristik *spray* dapat mengetahui homogenitas dari suatu bahan bakar.

2.2 Injector Nozzle Valve

Injector nozzle valve menyemprotkan 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 menyemprotkan 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).

2.3 Nozzle/Injektor

Injector digunakan untuk menyemprot bahan bakar yang dipasang di saluran isap dan hasil semprotannya (*spray*) diarahkan ke dekat katup isap. Nosel digunakan untuk memecah aliran kontinu cair menjadi *spray* atau tetesan. Semprotan atau *Spray* adalah aliran udara atau gas yang mengandung droplet atau droplet yang bergerak dalam aliran udara yang akan memecahkan minyak atau fluida dengan kecepatan tertentu. Tekanan nosel bisa diatur tinggi atau rendah untuk mendapatkan bentuk *spray* yang ideal (Arismunandar., 2005).

Fungsi dasar dari nosel adalah:

1. Pengendalian aliran dari *liquid*
2. Atomisasi *liquid* menjadi butiran
3. Penyebaran tetesan dalam pola tertentu
4. Meningkatkan luas permukaan dari *liquid*
5. Membangkitkan momentum hidrolis

Berbagai aplikasi dan fungsi yang luas telah memunculkan berbagai desain untuk nosel sehingga tersedia secara komersial. Dalam aplikasi seperti cat semprot, keseragaman dari *spray* yang dihasilkan adalah hal yang terpenting, beda halnya dengan kebutuhan *spray* untuk tanaman pertanian, ukuran tetesan kecil harus dihindari karena dapat hanyut oleh angin. Sehingga perlu untuk mengetahui agar nosel mampu menghasilkan *spray* dengan kualitas yang baik, disesuaikan dengan

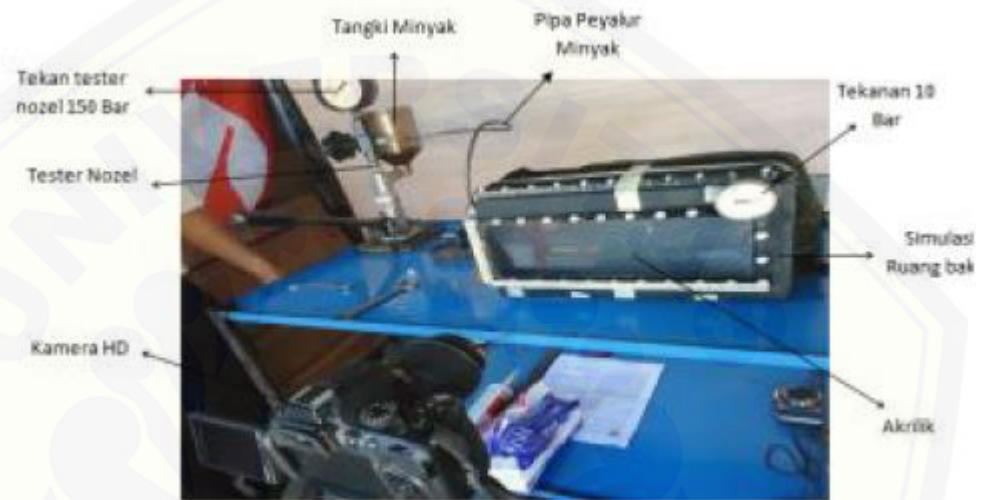
kebutuhan dan bisa bekerja pada berbagai macam laju aliran *flow rate* (Kusnandar., 2012).

Nosel yang biasanya digunakan salah satunya adalah jenis *single fluid* di mana energi kinetik dari fluida dimanfaatkan untuk *breakup* atau ada yang menggunakan *secondary fluid* (udara biasanya dikompresi) untuk mempercepat proses *breakup* (Kusnandar., 2012). Umumnya proses *breakup* terjadi setelah *liquid* meninggalkan nosel sebagai hasilnya terjadi aerodinamis drag atau ketidakstabilan hidrodinamik. Peran nosel hanya untuk menghasilkan sebuah *jet liquid* dengan turbulensi yang diperlukan dan profil kecepatan untuk mencapai *breakup* dengan cara yang diinginkan. Karakteristik *spray* yang dihasilkan oleh nosel tertentu bervariasi tergantung tekanan operasi yang diberikan (Kusnandar., 2012). Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap performa *spray* nosel :

- a. **Tekanan operasi** : Tekanan yang digunakan pada saat melakukan eksperimental, biasanya tekanan terukur yang ada pada pressure gauge (Kusnandar., 2012).
- b. **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.
- c. **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).
- d. **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).

Proses *spray* bahan bakar mengakibatkan terjadinya pengkabutan. Penelitian yang berkaitan dengan karakteristik *spray* diantaranya Kusuma dkk (2015) meneliti pengaruh besar tekanan injeksi karakteristik *spray* pada biodiesel minyak nyamplung seperti *spray tip penetration*, *velocity of spray*, dan *spray angle* secara injeksi langsung (dapat dilihat pada Gambar 2.1)



Gambar 2.4 Skema simulasi alat pengujian.
(Kusuma, dkk., 2015)

Pengujian eksperimen ini dilakukan dengan membuat simulasi alat *spray* minyak yang menyerupai sistem *spray* pada mesin – mesin diesel. Alat simulasi ini terbuat dari besi adn bagian atasnya dipasang akrilik. Tekanan ambient dari kompressor sebesar 10 bar konstan. Bahan bakar minyak disemprotkan pada kotak besi tersebut melalui nosel injektor dan di injeksikan dengan pompa hidraulik (injektor nosel tester) dengan tekanan tinggi sekitar 150 bar (15 MPa). Pada bagian dinding kotak akrilik tersebut dipasang kamera yang berfungsi untuk merekam proses penyemprotan (*spray*) bahan bakar minyak tersebut. Kamera high definition (HD) digunakan pada pengujian ini agar data yang diperoleh memiliki tingkat keakuratan yang tinggi (Kusuma dkk., 2015).

2.4 Dasar Dasar Spray

Konsep injeksi *liquid* yang melewati lubang kecil mungkin tampak seperti proses yang sepele, tetapi secara ilmu fisika fenomena 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).

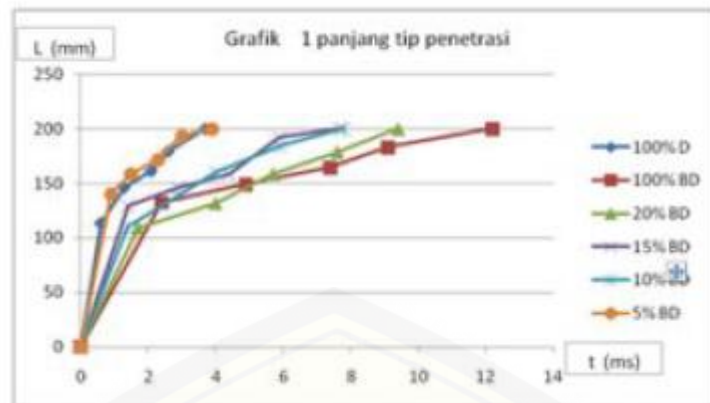
2.4.1 Spray Tip Penetration

Spray Tip Penetration atau Panjang penetrasi ujung semprot didefinisikan sebagai jarak maksimum semprot yang disuntikkan dari ujung nozzle pada batas waktu tertentu.

Tabel 2.1 Hasil Olah data pengujian.

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

(Kusuma, dkk., 2015)



Gambar 2.5 Grafik *Spray Tip Penetration* (Kusuma, dkk., 2015)

Dari Gambar 2.2 dan Tabel 2.1 serta Grafik 1 berikut ini, diketahui bahwa *Spray Tip Penetration* untuk setiap pengujian memiliki panjang yang sama yakni 200 mm karena terbentur dari ruang simulasi bahan bakarnya. Panjang sebenarnya melebihi 200 mm

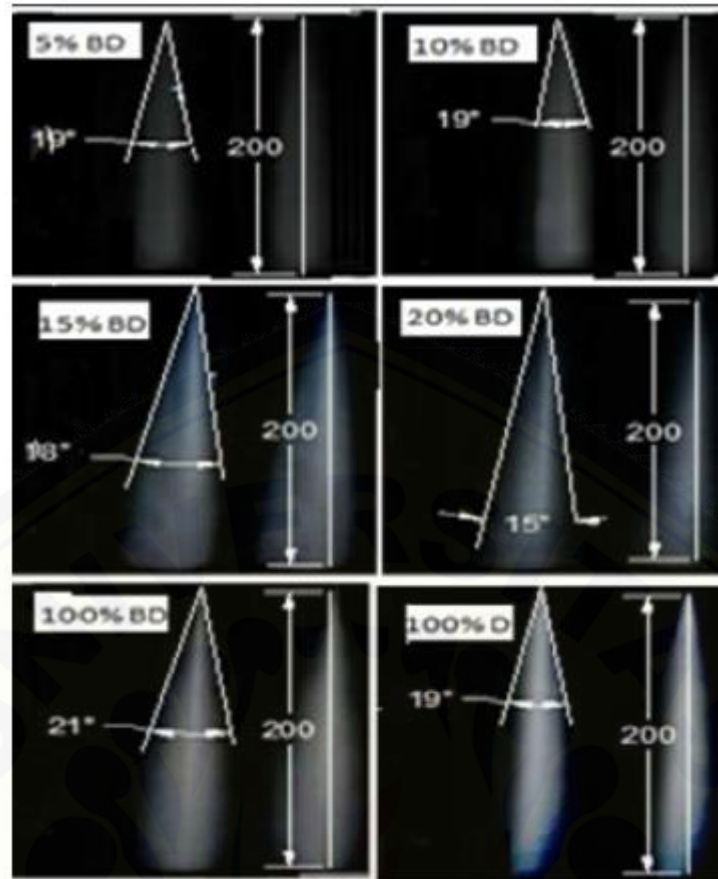
2.4.2 *Velocity of Spray*

Velocity of Spray atau kecepatan penetrasi adalah waktu setelah dimulainya injeksi untuk membentuk *spray tip penetration*.

Dari penelitian Kusuma, dkk., (2015) didapatkan semakin tinggi konsentrasi biodiesel maka kecepatan penyemprotan (*spray*) akan semakin rendah. Hal ini disebabkan viskositas dari bahan bakar penyemprotan (*spray*) yang semakin besar.

2.4.3 *Spray Angle*

Spray Angle atau sudut penetrasi didefinisikan sebagai sudut yang dibentuk antara ujung nozzle dan dua baris yang menggambarkan wilayah luar maksimum semprotan.



Gambar 2.6 *Spray Angle Penetration*
(Kusuma, dkk., 2015)

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

2.5 Biodiesel BD20

Biodiesel BD20 ialah fraksi minyak bumi berwarna kuning coklat yang jernih yang mendidih sekitar 175 - 370 °C dan digunakan sebagai bahan bakar mesin diesel. Umumnya, solar mengandung belerang dengan kadar yang cukup tinggi. Penggunaan solar pada umumnya adalah untuk bahan bakar pada semua jenis mesin diesel dengan putaran tinggi (diatas 1000 rpm), yang juga dapat digunakan sebagai bahan bakar pada pembakaran langsung dalam dapur-dapur kecil yang terutama diinginkan pembakaran yang bersih. Biodiesel ini biasa disebut

juga Gas Oil, Automotive Diesel Oil, High Speed Diesel (Hardjono., 2007). Karakteristik Biodiesel dapat dilihat pada Tabel 2.2

2.5.1 Sifat Sifat Bahan Bakar Biodiesel

Diantara sifat-sifat bahan bakar solar yang terpenting ialah kualitas penyalaaan, volatilitas, viskositas, titik tuang dan titik kabut.

a. Kualitas penyalaaan

Kualitas penyalaaan bahan bakar solar yang berhubungan dengan kelambatan penyalaaan, tergantung kepada komposisi bahan bakar. Kualitas bahan bakar solar dinyatakan dalam angka cetan, dan dapat diperoleh dengan jalan membandingkan kelambatan menyala bahan bakar solar dengan kelambatan menyala bahan bakar pembanding (reference fuels) dalam mesin uji baku CFR (ASTM D 613-86). Sebagai bahan bakar pembanding digunakan senyawa hidrokarbon cetan atau heksadekan ($C_{16}H_{34}$), yang mempunyai kelambatan penyalaaan yang pendek dan heptametilnonan (isomer cetan) yang mempunyai kelambatan penyalaaan relatif panjang (Hardjono., 2007).

b. Volatilitas

Volatilitas bahan bakar diesel yang merupakan faktor yang penting untuk memperoleh pembakaran yang memuaskan dapat ditentukan dengan uji distilasi ASTM (ASTM D 86-90). Makin tinggi titik didih atau makin berat bahan bakar diesel, makin tinggi nilai kalor untuk setiap galonnya dan makin diinginkan dari segi ekonomi. Tetapi hidrokarbon berat merupakan sumber asap dan endapan karbon serta dapat mempengaruhi operasi mesin. Sehingga bahan bakar diesel harus mempunyai komposisi yang berimbang antara fraksi ringan dan fraksi berat agar diperoleh volatilitas yang baik (Hardjono., 2007).

c. Viskositas

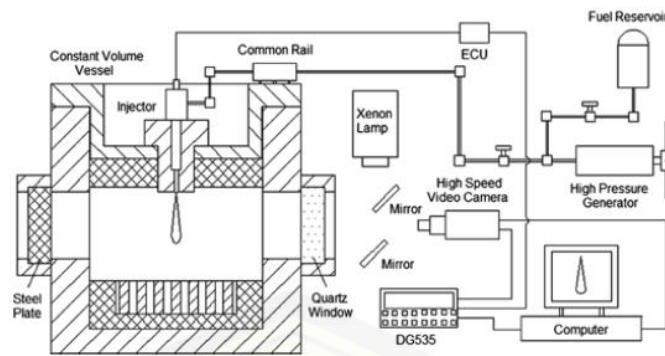
Viskositas bahan bakar solar perlu dibatasi. Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan

bakar, sedangkan viskositas yang terlalu tinggi dapat mempengaruhi kerja cepat alat injeksi bahan bakar dan mempersulit pengabutan bahan bakar minyak akan menumbuk dinding dan memebentuk karbon atau mengalir menuju ke karter dan mengencerkan minyak karter (Hardjono., 2007).

d. Titik tuang dan titik kabut

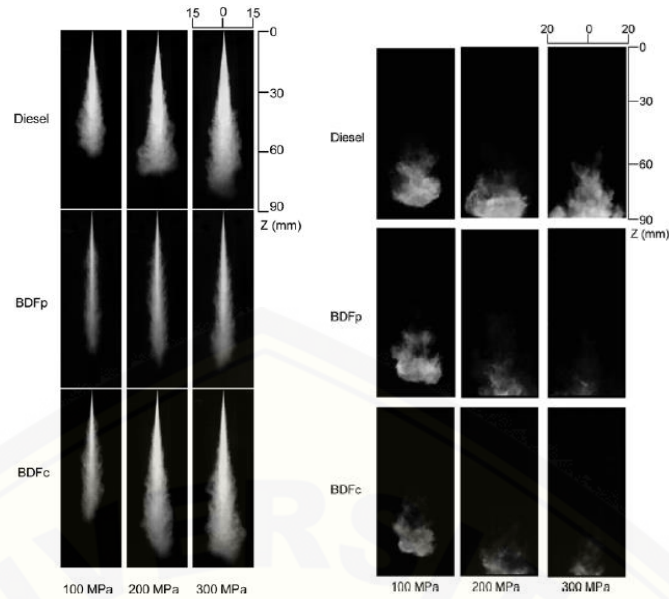
Bahan bakar solar harus dapat mengalir dengan bebas pada suhu atmosfer terendah dimana bahan bakar ini digunakan. Suhu terendah dimana bahan bakar solar masih dapat mengalir disebut titik tuang. Pada suhu sekitar 10 °F diatas titik tuang, bahan bakar solar dapat berkabut dan hal ini disebabkan oleh pemisahan kristal malam yang kecil-kecil. Suhu ini dikenal dengan nama titik kabut. Karena kristal malam dapat menyumbat saringan yang digunakan dalam system bahan bakar mesin diesel, maka seringkali titik kabut lebih berarti dari pada titik tuang (Hardjono., 2007).

Penelitian tentang karakteristik *spray* dan karakteristik nyala api telah dilakukan Nishida, dkk., (2010) yang berjudul “*Effect of Injection Pressure on Flame and Soot Characteristics of the Biodiesel Fuel Spray*”. Penelitian ini mempelajari efek tekanan injeksi pada karakteristik *spray* yang tanpa penguapan dan karakteristik nyala api bahan bakar biodiesel yang diinjeksi oleh sistem injeksi common rail dalam volume konstan kapal pembakaran. Dua biodiesel, biodiesel dari minyak sawit (BDFp) dan biodiesel dari minyak goreng (BDFc) diselidiki, termasuk JIS # 2 Diesel. Teknik Mie *scattering* dipekerjakan untuk menyelidiki karakteristik *spray* tanpa penguapan. Fotografi langsung berkecepatan tinggi dan *pyrometry* dua warna diterapkan untuk karakteristik nyala api. Injeksi tekanan 100, 200, dan 300 MPa dan lingkungan sekitar yang khas dari mesin diesel adalah bekas.



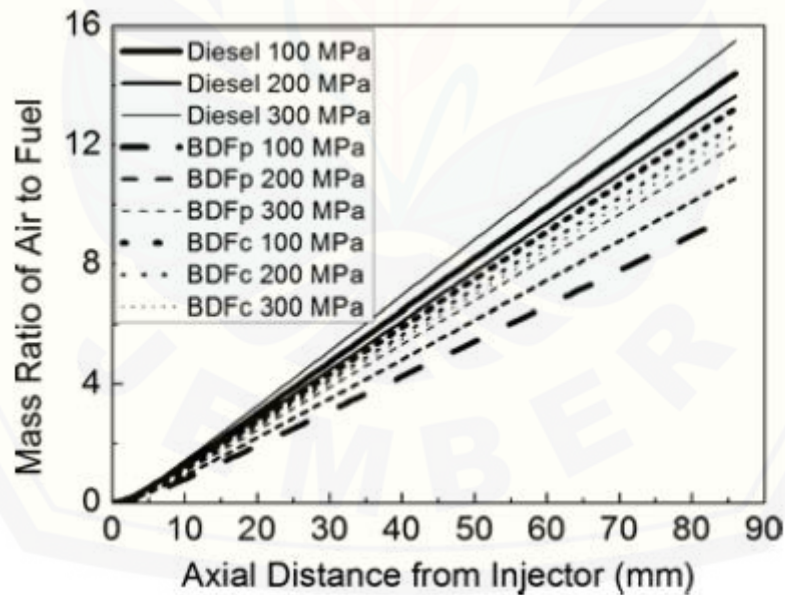
Gambar 2.7 Teknik Pengambilan data pada penelitian Nishida, dkk., (2010)

Hasil *spray* tanpa ada uap menunjukkan bahwa bahan bakar biodiesel memberikan *spray tip penetration* yang lebih lama dan *spray angle* yang lebih sempit terutama untuk BDFp. Luminositas nyala api terintegrasi dari BDFp dan BDFc menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan dengan diesel pada tekanan injeksi 100 MPa, dan luminositas api terintegrasi dari BDFp dan BDFc bahkan lebih rendah daripada diesel di tekanan injeksi 200 dan 300 MPa. Area luminositas api mengikuti tren yang sama dengan bahwa luminositas api terintegrasi. Pengukuran *pyrometry* dua warna menunjukkan bahwa terintegrasi Faktor KL dari BDFp dan BDFc menghasilkan nilai yang lebih kecil daripada diesel saat injeksi tekanan 100 MPa, dan BDFp dan BDFc menghadirkan nilai faktor-faktor KL terintegrasi yang lebih rendah dari diesel pada tekanan injeksi 200 MPa. Pada tekanan injeksi 300 MPa, pembentukan jelaga sangat rendah untuk BDFp dan BDFc. Ini menunjukkan bahwa efek reduksi jelaga dengan menggunakan BDFp dan BDFc meningkat pada tekanan injeksi tinggi. Luminositas api dan faktor KL menunjukkan tren yang sama pada setiap tekanan injeksi. Suhu nyala api BDFp dan BDFc lebih rendah dari diesel pada tekanan injeksi 100 dan 200 MPa. BDFp dan BDFc memberikan suhu nyala lebih tinggi dari diesel pada tekanan injeksi 300 MPa.



Gambar 2.8 Perbandingan gambar yang dihasilkan antara *spray* dan *soot flame*.
(Nishida, 2010)

Jika dilihat semakin lebar *spray angle* maka hasil *soot flame* akan semakin kaya. Hal ini membuktikan bahwa dengan pengujian penyemprotan (*spray*) akan mendapatkan gambar mengenai *soot flame* dari suatu bahan bakar tersebut.



Gambar 2.9 Rasio massa udara dan bahan bakar diperkirakan pada posisi apapun
(Nishida, 2010)

Rasio massa oksigen dalam molekul bahan bakar untuk BDFp dan BDFc masing-masing adalah 11,1% dan 10,6%. Massa oksigen dalam bahan bakar biodiesel Molekul jauh lebih sedikit dibandingkan dengan yang berasal dari udara

yang masuk. Jika oksigen masuk molekul bahan bakar biodiesel bisa diabaikan, maka BDFp dan BDFc seharusnya telah menunjukkan kecenderungan jelaga yang lebih besar daripada bahan bakar diesel. Ini karena itu rasio massa udara terhadap bahan bakar untuk BDFp dan BDFc lebih kecil daripada bahan bakar diesel. Namun, ini bertentangan dengan pengukuran jelaga dari luminositas alami dan metode dua warna. Ini menunjukkan bahwa oksigen dari molekul bahan bakar berperan penting pada pembentukan jelaga untuk BDFp dan BDFc.

Studi ini menunjukkan bahwa oksigen dari bahan bakar biodiesel memainkan peran penting pembentukan jelaga dengan peningkatan tekanan injeksi. Jelaga formasi untuk BDFp dan BDFc jauh lebih rendah dibandingkan dengan diesel dengan peningkatan tekanan injeksi. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9, tekanan injeksi tidak mempengaruhi urutan besarnya rasio massa udara terhadap bahan bakar untuk tiga bahan bakar. Persen massa oksigen untuk setiap bahan bakar adalah konstan. Studi ini menunjukkan bahwa kedua massa oksigen tersedia dari kedua udara entrainment dan molekul bahan bakar dan tekanan injeksi memiliki pengaruh besar kecenderungan pembentukan jelaga. Pada tekanan injeksi 100 MPa, atomisasi dan pencampuran tidak cukup baik dan efek oksigen dari molekul bahan bakar biodiesel terhadap oksidasi jelaga terhambat. Pada tekanan injeksi 200 dan 300 MPa, semakin baik *spray* atomisasi dan pencampuran direalisasikan. Efek dari oksigen dalam molekul bahan bakar pada oksidasi jelaga sangat jelas. Studi eksperimental menunjukkan bahwa kedua reaksi kimia dan proses fisik seperti atomisasi *spray* dan pencampuran udara-bahan bakar memainkan peran kunci pada pembakaran dan pembentukan jelaga dari *spray* api.

Studi eksperimental pendahuluan ini memberikan dorongan untuk penggunaan biodiesel bahan bakar pada tekanan injeksi sangat tinggi pada mesin diesel untuk mengurangi pembentukan jelaga. Karena atomisasi dan pencampuran bahan bakar pada tekanan injeksi sangat tinggi meningkat, maka oksigen dalam molekul bahan bakar biodiesel memainkan peran yang lebih signifikan pada pengurangan jelaga daripada pada tekanan injeksi normal. Selain itu, menurunkan suhu nyala api disajikan untuk biodiesel pada tekanan injeksi 100 dan 200 MPa, dan ini bermanfaat untuk menghambat pembentukan NO. Untuk pembentukan biodiesel yang sangat rendah di tekanan injeksi ultrahigh, pengurangan

pembentukan NO dapat dicapai melalui EGR. Studi ini menunjukkan bahwa pengaruh oksigen dalam molekul bahan bakar biodiesel pada jelaga reduksi ditingkatkan sebagai peningkatan *spray* atomisasi dan pencampuran. Ini masuk akal untuk memprediksi bahwa pengurangan jelaga oleh oksigen dalam bahan bakar biodiesel bisa ditingkatkan saat menggunakan microhole nozzle. Pekerjaan lebih lanjut akan dilakukan tentang efeknya bahan bakar biodiesel pada pengurangan jelaga dalam kasus nozel lubang mikro untuk menguji kemungkinan kontrol jelaga.

Tabel 2.2 Properti Minyak Solar

Karakteristik	Satuan	Batasan		Metode
		Min	Maks	ASTM
Bilang Setana	-	48	-	D 613-95
Angka Setana	-	45	-	D 4737-96a
Indeks Setana	-			
Berat Jenis pada 15 °C	Kg/m ³	815	870	D1298/D4052-96
Viskositas (pada suhu 40 °C)	mm ² /sec	2.0	5.0	D 445-97
Titik Nyala	°C	60	-	D 93-99c
Titik Ruang	°C	-	18	D 97

Sumber : <https://www.pertamina.com/industrialfuel/media/6796/biosolar.pdf>

CATATAN KAKI

CATATAN 1 Batasan 0.35% m/m setara dengan 3500 ppm

2.6 Etanol

Alkohol berupa larutan jernih tak berwarna, beraroma khas yang dapat diterima, berfasa cair pada temperatur kamar, dan mudah terbakar. Spesies alkohol yang banyak digunakan adalah CH₃OH yang disebut metanol (metanol), C₂H₅OH yang diberi nama etil alkohol (etanol), dan C₂H₇OH yang disebut iso propil alkohol (IPA) atau propanol-2. Etanol bisa digunakan dalam bentuk murni ataupun sebagai campuran untuk bahan bakar gasolin (bensin) maupun hidrogen. Interaksi etanol dengan hidrogen bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi *fuel cell* ataupun dalam mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) konvensional

Etanol dikenal dengan nama alkohol yang memiliki rumus molekul C₂H₅OH. Etanol merupakan bahan kimia dalam bentuk cairan yang bening, tidak berwarna, mudah menguap, memiliki aroma yang tajam, dan terasa pedih di kulit (Wiratmaja, 2010:18). Alkohol atau etanol merupakan bahan kimia yang diproduksi

dari bahan baku tanaman yang mengandung pati seperti ubi kayu, ubi jalar, jagung, dan sagu (Nurdyastuti, 2005:75). Etanol adalah bahan bakar beroktan tinggi dan dapat digunakan untuk meningkatkan nilai oktan dalam bensin (Sarjono dan Putra, 2013:4).

Alkohol pada umumnya mengandung 95 persen etanol dan 5 persen air. Dalam kehidupan sehari-hari etanol digunakan sebagai pelarut, bahan anti septik, bahan baku pembuatan eter, serta minuman keras. Etanol juga dapat digunakan sebagai bahan bakar alternatif dan relatif aman terhadap lingkungan. Secara singkat proses produksi etanol dibagi menjadi tiga tahap, yaitu proses gelatinasi, proses fermentasi dan proses distilasi. Nurdyastuti (2005:78) menjelaskan bahwa hasil fermentasi pada umumnya hanya menghasilkan etanol dengan kemurnian 30 sampai 40 persen, oleh karena itu untuk memurnikan etanol menjadi berkadar lebih dari 95 persen agar dapat digunakan sebagai bahan bakar harus melalui proses distilasi. Menurut Sarjono dan Putra (2013:4) penggunaan etanol sebagai tambahan bahan bakar bensin mempunyai beberapa kelebihan dan kelemahan diantaranya yaitu:

- a. Kelebihan dari penambahan etanol dalam bahan bakar bensin: Alkohol dapat menyerap kelembaban dalam tangki bahan bakar, Penambahan alkohol sebesar sepuluh persen dapat meningkatkan nilai oktan sebesar kurang lebih 3 poin, Alkohol dapat membersihkan sistem bahan bakar, Alkohol dapat mengurangi emisi CO karena mengandung oksigen (Karomi., 2016).
- b. Kelemahan dari penggunaan etanol dalam bahan bakar bensin: Alkohol dapat menyumbat saringan bahan bakar, Alkohol meningkatkan *volatility* bahan bakar sebesar 0,5 psi dan dapat menyebabkan masalah saat berkendara pada cuaca panas, Alkohol dapat menyerap air dan terpisah dari bensin, terutama pada temperatur rendah dan menyebabkan mesin sulit untuk dihidupkan (Karomi., 2016).

Pada umumnya etanol memiliki angka oktan 107-109, *density* 0,79 kg/L, A/F rasio 9, LHV sebesar 26.900 kcal/kg, panas penguapan sebesar 840 kJ/kg dan *autoignition temperatur* 423°C (Sarjono dan Putra, 2013:4). *Volatility* pada bahan bakar menunjukkan kemampuan bahan bakar untuk menguap dan sifat ini penting, karena jika bahan bakar tidak cepat menguap maka bahan bakar akan sulit untuk

bisa tercampur dengan udara pada saat pembakaran (Handayani, 2007:100). *Volatility* pada etanol lebih rendah dan energi yang dihasilkan akan lebih rendah jika dibandingkan dengan premium. Tetapi angka oktan yang dimiliki etanol lebih tinggi dari premium dan dapat digunakan untuk kompresi mesin yang lebih tinggi (Karomi., 2016). Spesifikasi Etanol yang lebih lengkap dijelaskan pada Tabel 2.3 Etanol dikategorikan dalam dua kelompok utama, yaitu:

- 1) Etanol 95-96% v/v, disebut "etanol berhidrat", yang dibagi dalam:
 - a. *Technical/raw spirit grade*, digunakan untuk bahan bakar spiritus, minuman, desinfektan, dan pelarut.
 - b. *Industrial grade*, digunakan untuk bahan bakar industri dan pelarut;
 - c. *Potabel grade*, untuk minuman berkualitas tinggi.
- 2) Etanol >99,5% v/v, digunakan untuk bahan bakar. Etanol ini disebut *fuel grade etanol* (FGE) atau *anhydrous etanol* (etanolanhidrat) atau etanol kering, yakni etanol yang bebas air atau hanya mengandung air minimal (Karomi., 2016).

Tabel 2.3 Properti Alkohol

	Isooktan	Metanol	Etanol
Formula	C ₈ H ₁₈	CH ₃ OH	C ₂ H ₅ OH
Berat Molekul	114,224	32,042	46,07
Berat/Hidrogen (berat)	5,25	3,0	4,0
% karbon (berat)	84,0	37,5	52,17
% hidrogen (berat)	16,0	12,5	13,4
% oksigen (berat)	0	50,0	34,78
Titik didih @ 1 atm °C	99,239	64,5	78,40
Titik beku @ 1 atm °C	-107,378	-97,778	-80,00
Kerapatan @ 15,5 °C lb/gal	5,795	6,637	6,63
Viskositas @ 20 °C/1 atm, centipois	0,503	0,596	1,20
Kalor Spesifik @ 25 °C/1 atm, BTU/lb	0,5	0,6	0,6
Kalor penguapan, @ titik didih/1 atm, BTU/lb	116,69	473,0	361,0
Kalor penguapan/1 atm	132,0	503,3	-
Kalor pembakaran, @ 25 °C, BTU/lb	20555	9776	12780
Kalor pembakaran atas	19065	8593	11550
Kalor pembakaran bawah	15,13	6,463	9,0
Stoikiometri lb udara/lb bahan bakar RON	100	106	105
Temperature nyala api, °C	-42,778	11,112	12,778
Temperatu penyalaan sendiri, °C	257,23	463,889	422,778
Panas laten penguapan, @ 20 °C, kJ/kg	349	1177	921,36
Bilangan cetana, °C	-	5	8

(Karomi., 2016)

2.6.1 Nilai Oktan

Bilangan oktan adalah angka yang menunjukkan seberapa besar tekanan yang bisa diberikan sebelum bensin terbakar secara spontan. Di dalam mesin, campuran udara dan bensin (dalam bentuk gas) ditekan oleh piston sampai dengan volume yang sangat kecil dan kemudian dibakar oleh percikan api yang dihasilkan busi. Karena besarnya tekanan ini, campuran udara dan bensin juga bisa terbakar secara spontan sebelum percikan api dari busi keluar. Jika campuran gas ini terbakar karena tekanan yang tinggi (dan bukan karena percikan api dari busi), maka akan terjadi knocking atau ketukan di dalam mesin. Knocking ini akan menyebabkan mesin cepat rusak, sehingga sebisa mungkin harus kita hindari.

Etanol dengan bilangan oktan 87, berarti bensin tersebut terdiri dari 87% oktana dan 13% heptana (atau campuran molekul lainnya). Etanol akan terbakar secara spontan pada angka tingkat kompresi tertentu yang diberikan, sehingga hanya diperuntukkan untuk mesin kendaraan yang memiliki ratio kompresi yang tidak melebihi angka tersebut. Umumnya skala oktan di dunia adalah Research Octane Number (RON). RON ditentukan dengan mengisi bahan bakar ke dalam mesin uji dengan rasio kompresi variabel dengan kondisi yang teratur (Mercubuana., 2016).

2.6.2 Nilai Kalor

Nilai kalor atau heating value dari bahan bakar merupakan ukuran panas dari reaksi pada volume konstan dan keadaan standar untuk pembakaran sempurna satu mol pada bahan bakar (Muhammad, 2010:31). Nilai kalor pada etanol sekitar 67% nilai kalor bensin, hal ini disebabkan oleh adanya oksigen dalam struktur etanol (Handayani, 2007:100). Nilai kalor pada bahan bakar terdiri dari:

a. Nilai Kalor Atas

Nilai kalor atas atau highest heating value (HHV) atau gross heating value (GHV) merupakan nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar dengan memperhitungkan panas kondensasi uap, jenis air yang dihasilkan dari pembakaran berwujud cair (Napitupulu, 2006:60).

b. Nilai Kalor Bawah

Nilai kalor bawah atau lowest heating value (LHV) merupakan nilai kalor yang diperoleh dari pembakaran 1 kg bahan bakar tanpa memperhitungkan panas kondensasi uap, jenis air yang dihasilkan dari pembakaran berwujud gas atau uap (Napitupulu, 2006:60). Jika suatu bahan bakar diketahui nilai kalor atasnya atau highest heating value (HHV), maka untuk menghitung nilai kalor bawah atau lowest heating value (LHV) dapat dihitung dengan persamaan: $LHV = HHV - 3240$ (kJ/kg) (Karomi., 2016).

2.6.3 Kekentalan (Viskositas)

Sifat kekentalan pada bahan bakar mempengaruhi pada lambatnya aliran, dan mempunyai sifat melumasi pada permukaan benda yang dialiri. Viskositas etanol memiliki peranan yang penting dalam proses penginjeksian atau penyemprotan bahan bakar. Viskositas yang terlalu rendah dapat mengakibatkan kebocoran pada pompa injeksi bahan bakar. Viskositas yang terlalu tinggi akan mengakibatkan bahan bakar teratomisasi menjadi butiran yang besar dan memiliki momentum yang tinggi dan bertumbukan dengan dinding silinder, sehingga pompa penginjeksian tidak dapat melakukan pengkabutan dengan baik, atomisasi yang rendah sehingga mengakibatkan mesin sulit di start (Taromi., 2019).

2.6.4 Kerapatan (Densitas)

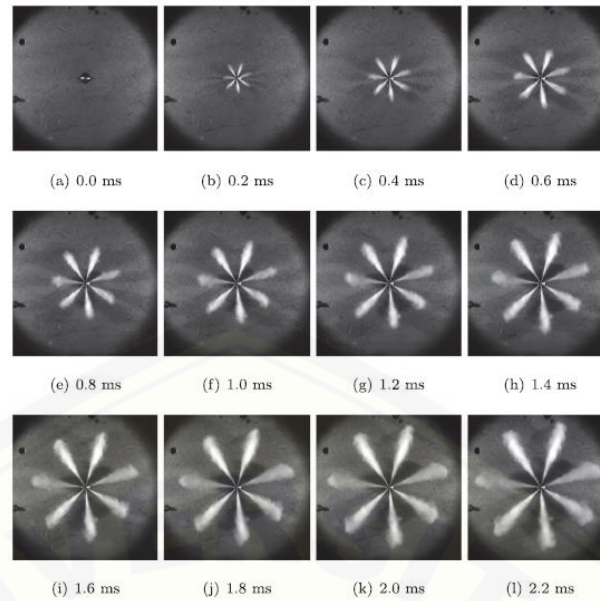
Analisis *density* yaitu perbandingan antara massa bahan bakar dengan volume bahan bakar. *Density* ini dipengaruhi oleh temperatur atau nilai kalor, di mana semakin tinggi temperatur atau nilai kalor yang tinggi, maka *density* semakin turun dan begitu sebaliknya (Taromi., 2019).

2.7 Pencampuran Biodiesel dengan Etanol

Dari penelitian Arifin Nur., dkk (2012) unjuk kerja motor diesel terbaik ditunjukkan pada penggunaan campuran solar dengan etanol 5 %. Campuran solar dengan etanol 5 % (DE5) akan meningkatkan unjuk kerja motor diesel yang diukur dari peningkatan nilai IMEP mencapai 48 % mereduksi tingkat kebutuhan bahan bakar rata-rata (BSFC) mencapai 9,5 %. Dari sisi emisi gas buang, penggunaan etanol sebagai bahan bakar suplemen pada motor diesel konvensional secara

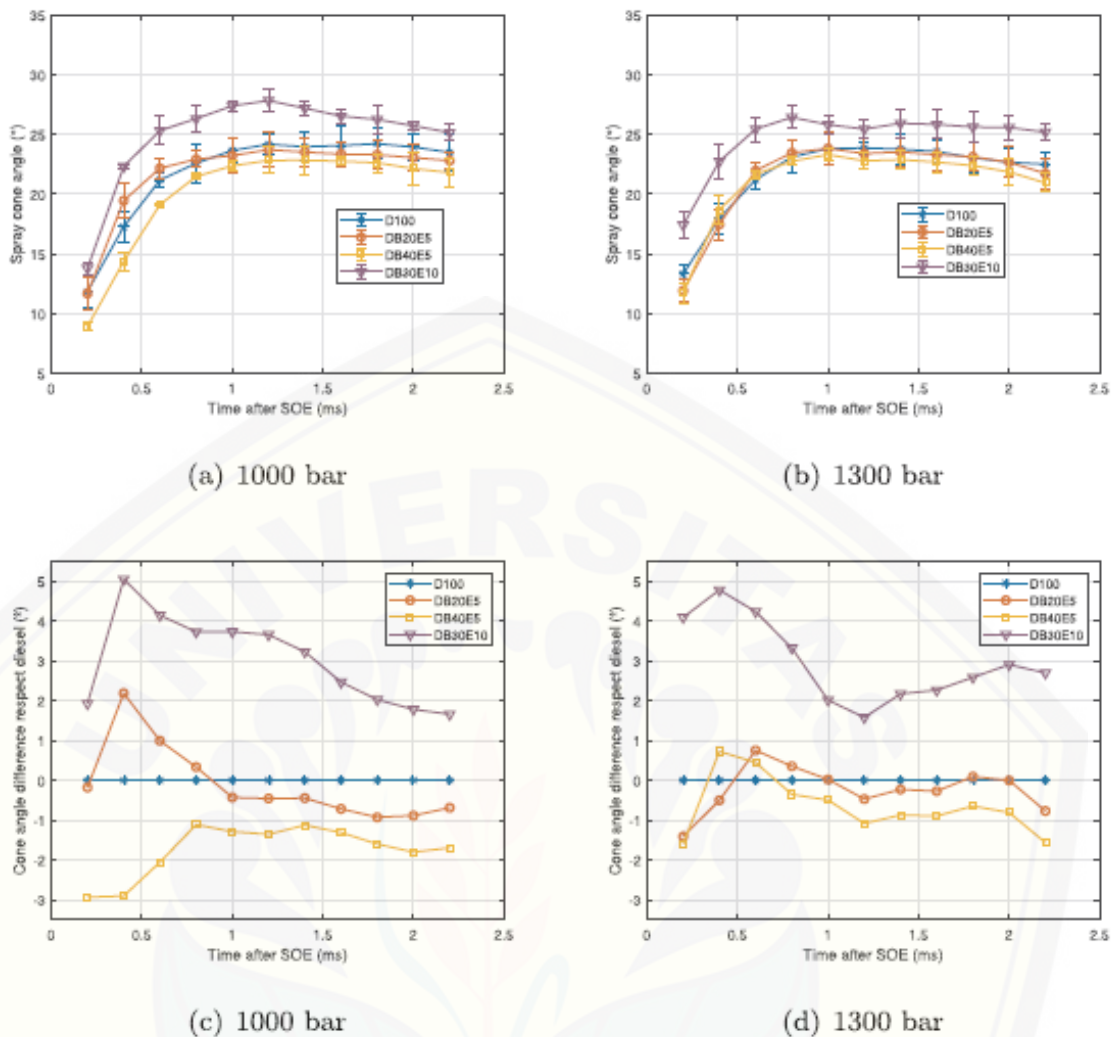
signifikan akan menurunkan emisi CO rata-rata mencapai 37%, menurunkan emisi HC rata rata mencapai 44%, dan menurunkan tingkat kepekatan gas buang (smoke) rata rata mencapai 15,9%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bila dibandingkan dengan biodiesel, karakteristik pembakaran campuran etanol-biodiesel berubah dan performa mesin sedikit membaik dengan 5% etanol dalam biodiesel (BE5). Dibandingkan dengan bahan bakar diesel, biodiesel dan campuran BE memiliki tinggi rem thermal efisiensi (BTE). Secara keseluruhan, dibandingkan dengan bahan bakar diesel, campuran Biodiesel Etanol (BE) dapat menyebabkan penurunan baik NOx dan emisi partikulat dari mesin Diesel (Jamrozik., 2017).

Penelitian Gomez, dkk., (2019) mempelajari kelayakan campuran diesel-biodiesel-etanol untuk mesin pengapian kompresi. Campuran adalah disiapkan dengan fraksi etanol 5%, 10% dan 20% dan fraksi 10%, 20%, 30% dan 40% biodiesel secara volume. Stabilitas campuran tersebut pertama kali dipelajari, dan dinilai dengan menentukan fase secara visual pemisahan 96 jam setelah campuran dibuat. DBBD20E5, BD30E5, BD40E5, BD30E10, BD40E10 BD30E20 dan Campuran BD40E20 mempertahankan pemisahan fase 0% setelah pengujian, yang menunjukkan bahwa biodiesel bertindak sebagai surfaktan dan memungkinkan campuran terner menjadi stabil. Untuk campuran stabil, sifat (kerapatan, viskositas kinematik, dan tegangan permukaan) ditentukan. Akhirnya, dari campuran stabil yang properti berdiri dalam rentang yang diizinkan oleh standar EN-590, tiga di antaranya disuntikkan dalam ruang volume konstan dan semprotan makroskopiknya parameter ditentukan secara eksperimental. Campuran dengan kepadatan lebih tinggi menunjukkan peningkatan *spray tip penetration* dan mereka yang lebih sedikit tegangan permukaan dan viskositas kinematik menunjukkan *spray angle* yang lebih kerucut. Kami menyimpulkan bahwa BD30E10 adalah campuran yang menunjukkan kapasitas pencampuran udara terbaik dari mereka yang memiliki pencampuran stabil dan memungkinkan sifat fisik.



Gambar 2.10 Hasil *spray* selama proses injeksi
(Gomez, dkk., 2019)

Gambar 2.10 menunjukkan urutan gambar yang diperoleh selama injeksi proses diesel fosil murni, dan sesuai dengan tekanan injeksi 130 MPa. Waktu pengambilan gambar, diukur dari awal pemberian energi (SOE), ditampilkan di bagian bawah setiap gambar.



Gambar 2.11 Grafik *Spray Angle* (Gomez, dkk., 2019)

Gambar 2.11 dapat diamati bahwa *spray angle* meningkat ketika nilai viskositas kinematik dan tegangan permukaan menurun. Ini disebabkan oleh peningkatan ketidakstabilan *spray*, yang menghasilkan atomisasi yang lebih besar dari *spray*.

Melalui studi stabilitas, dapat disimpulkan bahwa diesel biodiesel-campuran etanol cukup stabil untuk digunakan dalam ruang pembakaran. Bahan bakar ini harus disimpan secara kedap udara dan rasio pencampuran biodiesel harus lebih besar dari rasio pencampuran etanol.

Peningkatan rasio pencampuran etanol menginduksi pengurangan kepadatan viskositas kinematik dan tegangan permukaan diesel biodiesel-campuran etanol. Peningkatan rasio pencampuran biodiesel menghasilkan peningkatan properti yang sama.

Kepadatan bahan bakar mempengaruhi *spray tip penetration*. Peningkatan kepadatan menyebabkan *spray angle* meningkat, karena bahan bakar yang lebih tinggi viskositas dan tegangan permukaan kinematik juga mempengaruhi parameter ini. *Spray angle* adalah lebih sempit dengan penurunan konsentrasi etanol.

Spray Angle dipengaruhi oleh viskositas kinematik dan tegangan permukaan bahan bakar. Penurunan nilai keduanya menghasilkan peningkatan *spray angle*. Hal ini karena *spray* menjadi lebih tidak stabil dan atomisasi lebih baik. Demikian kontak daerah dengan udara di sekitarnya lebih tinggi dan proses pencampuran smembaik.

2.8 Hipotesis

Dari tinjauan pustaka di atas, hipotesis yang diajukan sebagai berikut :

Campuran etanol pada biodiesel akan mengakibatkan bahan bakar teratomisasi menjadi butiran butiran yang besar sehingga pompa penginjeksian dapat melakukan penyemprotan (*spray*) dengan baik. Campuran biodiesel-etanol dengan konsentrasi lebih tinggi mengakibatkan *spray tip penetration* yang lebih pendek dan *velocity of spray* lebih cepat. Campuran etanol paling besar akan mempunyai *spray angle* paling besar karena persebarannya akan cenderung melebar hal ini dipengaruhi densitas dari biodiesel-etanol akan semakin kecil. Penambahan tekanan injeksi akan mengakibatkan *spray tip penetration* yang lebih panjang, *velocity of spray* lebih cepat, dan *spray angle* yang lebih lebar. Hal ini dikarenakan dorongan bahan bakar untuk menembus udara saat keluar dari nosel semakin kuat, sehingga *spray tip penetration* menjadi semakin panjang.

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 tekanan dan bahan bakar biodiesel dengan etanol terhadap karakteristik *spray* menggunakan nosel tester. Dalam penelitian ini, akan membandingkan karakteristik *spray* biodiesel, etanol murni, campuran etanol dengan biodiesel dengan tekanan injeksi yang berbeda. Pengujian ini bertujuan untuk menganalisa *spray tip penetration*, *spray angle*, dan *velocity of spray*.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian pencampuran biodiesel dengan etanol dan pengujian penyemprotan dilakukan di Labotarium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih tujuh bulan pada bulan Oktober 2019 – Juni 2020.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

Alat pengujian karakteristik *spray* meliputi :

- a. Nosel Tester
- b. Nosel tipe throttle, bagian dari mesin Genset
- c. Stopwatch
- d. Ruang bertekanan 28 x 28 cm
- d. Kunci pass
- e. Selang Nosel
- f. Kompresor
- g. *Sealer*
- h. Kamera DSLR Fujifilm Fine Pix HS10
- i. Mesin Las Listrik
- j. Gerinda Sikat Baja
- k. Snei
- l. Gerinda Potong

Bahan pengujian karakteristik *spray* meliputi

- a. Biodiesel BD20 produk PT. Pertamina
- b. Etanol 99%
- c. Mur M6
- d. Plat besi 6 mm
- e. Plat besi 14 mm
- f. Akrilik 10 mm

3.4 Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol. Variabel bebas adalah variabel yang bebas ditentukan oleh peneliti sebelum melakukan penelitian.

Variabel bebas yang digunakan terdiri atas :

- Solar murni
- Campuran biodiesel dengan 5% etanol (BD20E5)
- Campuran biodiesel dengan 10% etanol (BD20E10),
- Tekanan injeksi 15 MPa, 17 MPa, dan 20 MPa.

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi biasanya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data - data yang diperoleh pada pengujian karakteristik *spray* yang meliputi :

- *Spray Tip Penetration*
- *Velocity of Spray*
- *Spray Angle*

Variabel kontrol dari penelitian ini merupakan variabel yang menyamakan persepsi mengenai penelitian ini.

Variabel kontrol yang digunakan terdiri atas :

- Tekanan Ambient 2 bar
- Nosel tipe throttle

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*.

Data Primer :

- *Spray Tip Penetration*
- *Velocity of Spray*
- *Spray Angle*

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari perhitungan hasil pengujian karakteristik *spray*.

Data sekunder :

- Tekanan Ambient
- Konsentrasi pencampuran biodiesel dengan etanol

3.6 Pengamatan yang Dilakukan

Data yang diamati pada penelitian ini adalah *spray tip penetration*, *spray angle*, *velocity of spray* pada minyak solar, minyak solar-etanol 5%, dan minyak solar – etanol 10%.

3.7 Tahapan Pembuatan dan Pengujian

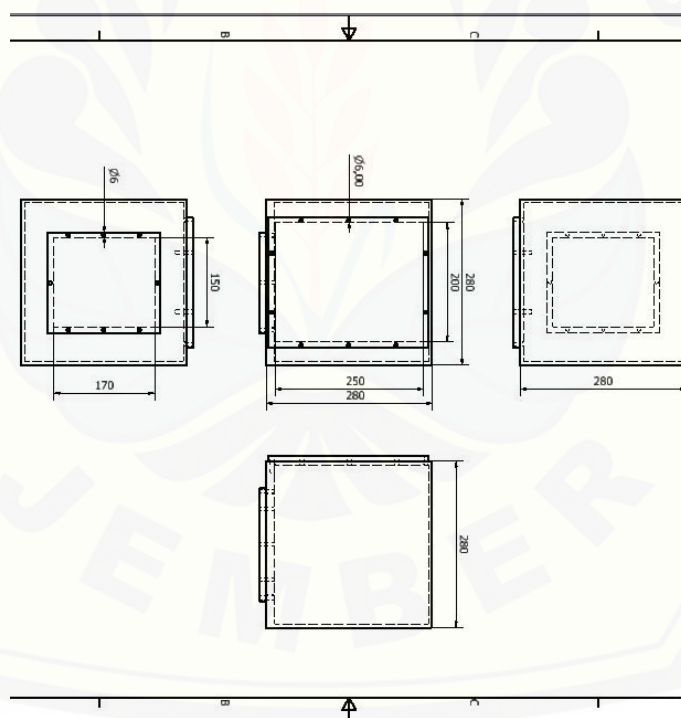
3.7.1 Pencampuran bahan bakar

- a. Menuangkan 500 ml biodiesel BD20 dengan etanol 25 ml (5%) pada gelas beker, kemudian aduk hingga tercampur rata.
- b. Menuangkan 500 ml biodiesel BD20 dengan etanol 50 ml (10%) pada gelas beker, kemudian aduk hingga tercampur rata.
- c. Menyiapkan biodiesel BD20 pada gelas beker.

3.7.2 Pembuatan Ruang bertekanan

- a. Memotong plat besi ketebalan 6 mm berukuran 28 x 28 cm sebanyak 4 lembar untuk sisi panjang plat.
- b. Memotong plat besi ketebalan 6 mm untuk bagian atas dan 14 mm untuk bagian bawah berukuran 28 x 28 cm.

- c. Melubangi 1 sisi panjang plat dengan ukuran lubang 20 x 25 cm dan bagian bawah plat dengan ukuran 17 x 15 cm untuk tempat akrilik.
- d. Di las semua bagian lembar plat membentuk persegi panjang
- e. Menyiapkan akrilik berukuran 20 x 18 cm dan 22 x 18 cm untuk menutup sisi persegi panjang yang telah dilubangi.
- f. Menggabungkan akrilik dengan plat menggunakan mur M6. Pada sisi panjang sebanyak 10 mur, dan pada bagian bawah sebanyak 6 mur.
- g. Memasang *sealer* pada setiap sisi permukaan antara akrilik dengan plat besi agar tidak ada udara yang keluar dan masuk ruang bertekanan.
- h. Mengebor sisi bagian atas pada bagian tengah sebesar 30 mm untuk lubang masuknya nosel. Kemudian bor bagian pinggir sebesar 13 mm untuk memasang pentil masuknya tekanan ambient dari kompressor.
- i. Merendam ruang bertekanan pada air untuk memeriksa apakah terdapat kebocoran pada ruang bertekanan.

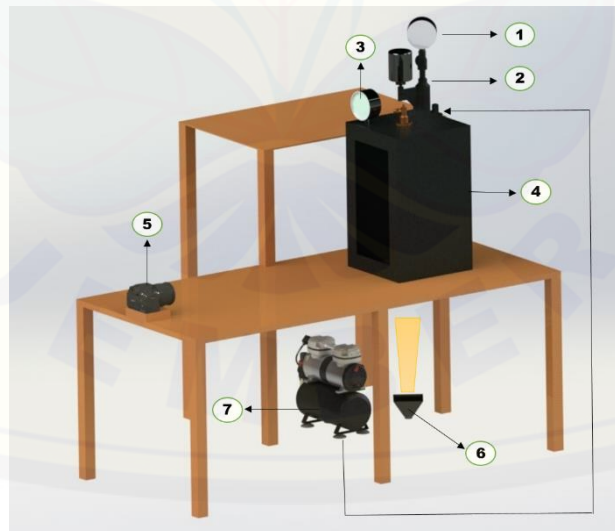


Gambar 3.1 Design Ruang bertekanan (satuan mm)

3.7.3 Pengujian Karakteristik *Spray* pada bahan bakar

- a. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan seperti gambar (3.2)
- b. Memeriksa kebocoran pada ruang bertekanan.
- c. Memeriksa nosel tester berfungsi dengan baik.

- d. Memeriksa nosel yang digunakan tidak tersumbat.
- e. Masukkan bahan bakar minyak solar pada tangki nosel tester.
- f. Memasang selang nosel, dan nosel ke ruang bertekanan serta atur tekanan pada nosel dengan mengatur ulir pada SIM nosel hingga tekanan 15 MPa.
- g. Berikan tekanan ambient pada ruang bertekanan melalui pentil ban dengan kompressor hingga tekanan dalam ruang bertekanan 2 bar.
- h. Mulai menyemprotkan bahan bakar menggunakan nosel tester dengan menarik tuas nosel tester
- i. Merekam semprotan bahan bakar menggunakan kamera FujiFilm Fine Pix HS dengan pengaturan iso 1600, *shutter speed* 125 , F-stop 11, Dynamite Range 400, frame rate 480 fps dan resolusi pixel 224x64.
- j. Dibuka kembali ruang bertekanan, kemudian membersihkan sisa bahan bakar di ruang bertekanan menggunakan tisu.
- k. Atur kembali SIM nosel hingga tekanan 17 MPa, dan 20 MPa.
- l. Ganti bahan bakar Solar 100% dengan BD20E5, dan BD20E10.
- m. Lakukan langkah f, g, h, i, j, k, sebanyak 3 kali.
- n. Mencatat hasil yang diperoleh.



Gambar 3.2 Skema pengambilan data.

Keterangan :

1. *Pressure Gauge* Tekanan Injeksi
2. *Nozzle Tester*
3. *Pressure Gauge* Tekanan Ruang Chamber
4. Ruang Chamber

5. Letak Kamera
6. Lampu Sorot
7. Kompresor

3.7.4 Pengujian *Spray Tip Penetration*

Pengujian *Spray Tip Penetration* dengan merekam penginjeksian semprotan menggunakan kamera sesuai prosedur 3.7.2 point i. Data *Spray Tip Penetration* diperoleh dari hasil pemotongan video, kemudian diambil pada *frame* ketiga dari titik nol yang diukur atau pada waktu 6,25 ms dengan aplikasi *santen*. Teknik pengukurannya dengan cara menaruh titik A pada ujung nozzle, titik B pada ujung semprotan, titik C untuk memastikan skala yang diukur dan dipindahkan ke tabel 3.1 untuk kemudian dilakukan analisa pada objek dan titik X ada batas skala dari pengukuran.

Tabel 3.1 *Spray Tip Penetration*

Tekanan (MPa)	Bahan Bakar (cm)		
	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	12,77	12,60	13,22
17	16,47	14,62	15,78
20	18,00	15,55	17,52



Gambar 3.3 Cara pengukuran *spray tip penetration*

3.7.5 Pengujian *Velocity of Spray*

Tahap perhitungan *velocity of spray* dilakukan dengan pengambilan video kemudian dikonversi 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

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

Keterangan :

v = *velocity of spray* (cm/s)

x = *spray tip penetration* (cm)

t_{in} = waktu yang dibutuhkan *spray tip penetration* (s)

t_{in} = *Frame ke-n* x t_{f1}

= n x 0,00208 s

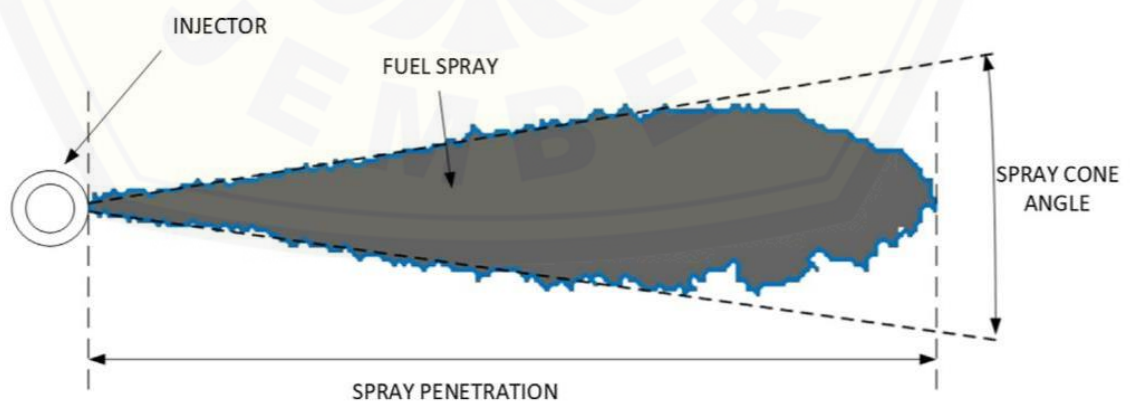
Selanjutnya data hasil perhitungan akan dipindahkan kedalam bentuk Tabel 3.2 untuk kemudian dilakukan analisa.

Tabel 3.2 *Velocity of spray*

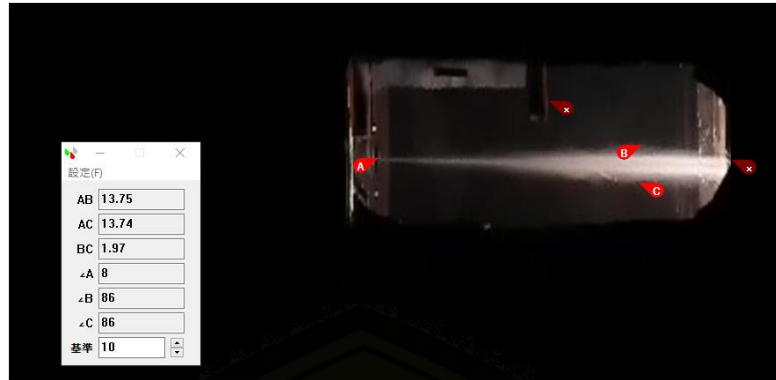
Tekanan (MPa)	Bahan Bakar (cm)		
	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	20,432	20,160	21,152
17	26,357	23,387	25,253
20	28,800	24,875	28,032

3.7.6 Pengujian *Spray Angle*

Tahap pengukuran *spray angle* dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan dengan menggunakan *software Santen*.



Gambar 3.4 Cara pengukuran pada bagian *spray*



Gambar 3.5 Pengukuran *spray angle penetration*

Pengukuran sudut penetrasi dilakukan dengan mengukur besar luasan tip penetrasi dari ujung nosel seperti Gambar 3.4 sesuai prosedur 3.7.2 point i. Data *Spray Angle* diperoleh dari hasil pemotongan video menggunakan aplikasi Video converter, kemudian dipilah untuk mendapatkan gambar semprotan yang interpolasi dan diambil pada *frame* keempat dari titik nol yang diukur atau pada waktu 8,32 ms dengan aplikasi *santen*. Teknik pengukurannya dengan cara menaruh titik A pada ujung nozzle, lalu titik B pada bagian atas tip semprotan dan titik C pada bagian bawah tip *spray*. Pemilihan *frame* keempat didasarkan *spray* yang telah membentuk *tip penetration* untuk mendapatkan hasil pengukuran yang lebih akurat. Untuk pembuktian bahwa akurasi aplikasi *SanTen* akurat, maka pembuktian dengan perhitungan trigonometri segitiga :

$$\frac{\text{panjang } AB}{\sin AB} = \frac{\text{panjang } AC}{\sin AC}$$

$$\frac{13,75 \text{ cm}}{\sin 86^\circ} = \frac{\text{Panjang } AC}{\sin 86^\circ}$$

$$\text{Panjang } AC = 13,72 \text{ cm}$$

Hasil perhitungan trigonometri dan aplikasi selisih 13,72 cm selisih 0,2 cm maka dapat disimpulkan jika aplikasi memiliki akurasi yang tinggi hanya toleransi 0,2 cm.

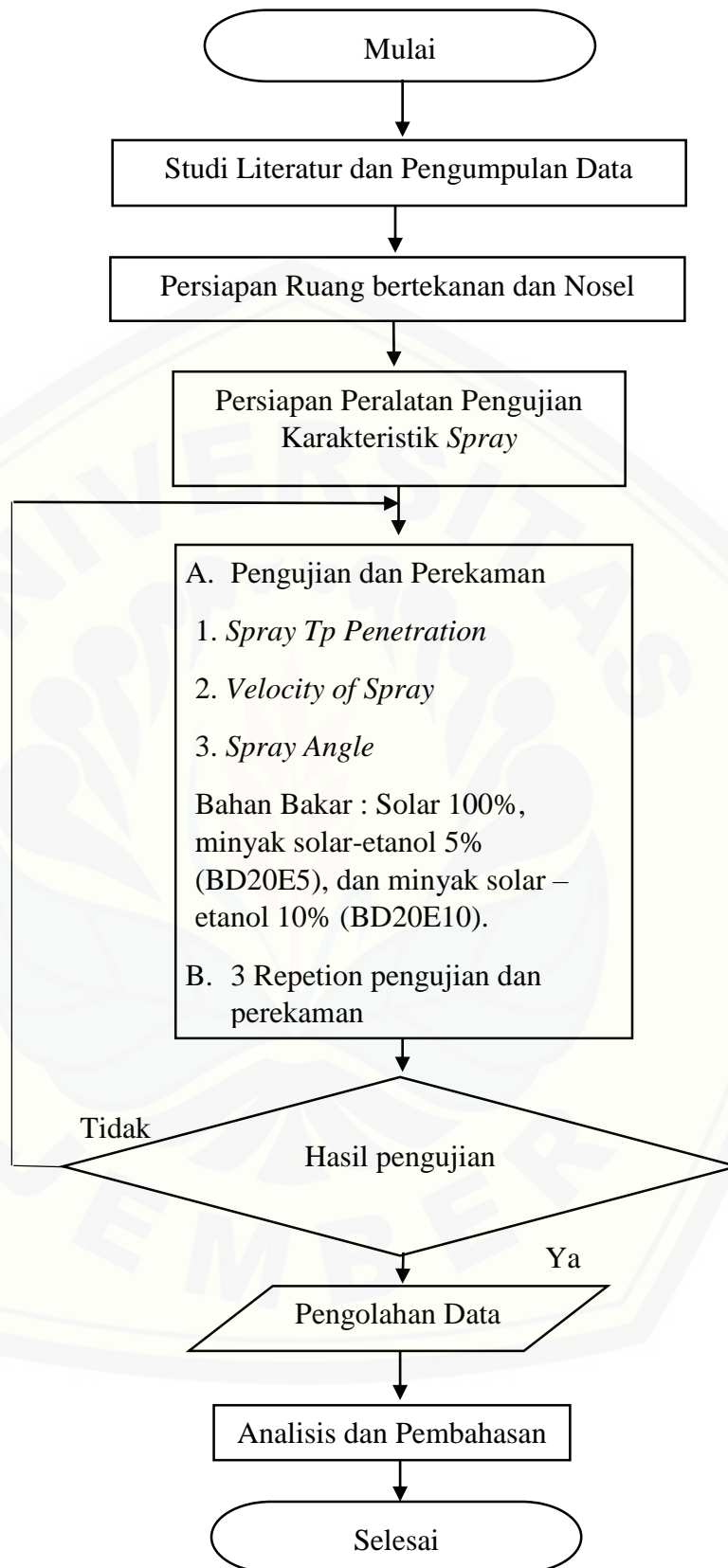
Hasil pengukuran sudut penetrasi akan dimasukkan pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 *Spray Angle*

Tekanan (MPa)	Bahan Bakar (cm)		
	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	8,33	9,00	8,67
17	7,33	8,00	7,67
20	6,67	7,00	7,00

Setelah dilakukan pengukuran dan pengambilan data *spray angle*, kemudian dilakukan analisis terhadap sudut penetrasi pada tekanan injeksi dan bahan bakar.

3.8 Diagram Alir



Gambar 3.5 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini suatu inovasi untuk mengembangkan energi alternatif pengganti bahan solar murni. Pengujian dilakukan pada biosolar campuran etanol dengan perbandingan prosentase 5% dan 10%. Hasil analisis karakteristik *spray* dapat disimpulkan :

1. Penambahan etanol pada bahan bakar biosolar mempengaruhi karakteristik bahan bakar. Penambahan etanol pada bahan bakar biosolar akan menyebabkan penurunan *spray tip penetration* dan *velocity of spray*, sedangkan untuk *spray angle* akan mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan karena terjadi penurunan densitas dan viskositas. Prosentase campuran etanol dengan biosolar semakin besar maka densitasnya akan semakin besar pula. Karakteristik *spray* campuran etanol 10% pada tekanan ambient 2 bar ditinjau dari *spray tip penetration* paling mendekati solar 100% adalah BD20E10.
2. Peningkatan tekanan injeksi akan mempengaruhi karakteristik *spray* yakni, *spray tip penetration*, *velocity of spray* dan *spray angle*. Peningkatan tekanan injeksi akan menyebabkan peningkatan *spray tip penetration* dan *velocity of spray* pula pada nosel mesin diesel. Peningkatan tekanan injeksi menambah dorongan bahan bakar yang keluar lebih besar. Besarnya *spray tip penetration* dan *velocity of spray* kenaikan selaras dengan densitas. Jika pada karakteristik bahan bakar densitas solar 100% paling besar, kemudian mengalami penurunan pada campuran etanol 5% dan mengalami sedikit kenaikan pada etanol 10% sedangkan *spray angle* akan mengalami penurunan jika tekanan injeksi ditingkatkan, hal ini dikarenakan *spray tip penetration* semakin besar sehingga *spray angle* semakin menurun yang juga dipengaruhi dari densitas bahan bakar tersebut.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, maka terdapat saran yang dapat peneliti sampaikan :

1. Disarankan peneliti melakukan pengujian karakteristik bahan bakar dengan sendirinya atau mengikuti proses secara langsung agar peneliti mengerti cara pengambilan data karakteristik serta memastikan data karakteristik bahan bakar tidak tertukar atau salah.
2. Disarankan bioetanol disimpan pada tempat yang sejuk dan terhindar dari tempat matahari agar tidak merusak karakteristik bahan bakar tersebut.
3. Disarankan saat akan melakukan pengujian *spray* sebaiknya bahan bakar diaduk kembali agar tidak menggumpal serta dapat dipastikan rata tercampur kembali.
4. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk menggunakan otomatis *spray* bahan bakar agar waktu dan tekanan operator konstan.
5. Disarankan pada penelitian selanjutnya untuk menggunakan kamera dengan *resolution* lebih tinggi untuk menghasilkan potongan gambar yang lebih akurat dan lebih jelas.
6. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai bahan bakar bioetanol terhadap kinerja performa mesin diesel agar mengetahui pengaruh pada mesin diesel jika dengan penambahan etanol dan mengenai pembakaran pada karakteristik nyala api agar mengetahui nyala api yang mendekati solar 100%.

DAFTAR PUSTAKA

- Arismunandar.W. dan K. Tsuda. 2005. *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta. PT. Pradnya Paramita.
- Ashari A, Abd. Wahad, dan Ena M. 2017. Pengaruh Variasi Tekanan Injektor dan Putaran Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang pada Motor Diesel. *Jurnal. Fakultas Teknik Mesin Univeristas Islam Malang*.
- Borman G. L. 1998. *Combustion Engineering International Editions*. Oxford. USA.
- Chen Run, dan Keiya Nishida. Spray Evaporation of Ethanol-Gasoline like blend and Combustion of Ethanol-Gasoline Blend Injected by hole-type nozzle for direct-injection spark ignition engines. *Journal. Deparment of Mechanical System Engineering University of Hiroshima Japan*. ISSN 739-8527 X.
- Ghurri A. 2010. Qualitative and Quantitative Analysis of Spray Characteristics of Diesel and Biodiesel Blend on Common-Rail Injection System. *Journal. Fakultas Teknik Mesin Universitas Udayana*.
- Gomez C, Rubio G, Martiez M, dan Sanchez C. 2019. Effect of diesel-biodiesel-ethanol blends on the spray macroscopic parameters in a common-rail diesel injection system. *Journal of mechanical science and technology* available from : www.elsevier.com/locate/fuel.
- Handayani, Sri Utami. 2007. Pemanfaatan Bio Etanol Sebagai Bahan Bakar Pengganti Bensin. *Gema Teknologi*. Vol. 15. No. 2 Hal 99-102.
- Hardjono A. 2007. *Teknologi Minyak Bumi*. Yogyakarta : Gajah Mada University press. Hal. 87-96.

- Jamrozik A, Wojciech T, Michal PYRC, dan Michal S. 2017. Effect of Diesel-Ethanol-Biodiesel blend on combustion, performance, and emissions characteristics on a direct injection diesel engine. *Journal. Faculty of Mechanical Engineering and Computer Science Czestochowa University of Technology, Poland*. DOI 10.2298/TSCI160913275J
- Karomi A. A. 2016. Pengaruh Penambahan Etanol Dalam Bahan Bakar Pertalite Terhadap Performa dan Emisi Gas Buang Mesin 4 Silinder. *Skripsi*. Fakultas Teknik Mesin Universitas Semarang.
- Kusnandar Hendar. 2012. Eksperimental dan Permodelan Karakteristik Distribusi Kabut Air Dua Nosel untuk Aplikasi Pemadaman Kebakaran Kolam Api. *Thesis*. Depok Fakultas Teknik Mesin Universitas Indonesia.
- Muhammad. 2010. Analisis Energi Campuran Bioetanol Premium. *Rotasi*. Vol. 12. No. 2 Hal 31-33.
- Napitupulu, Farel H. 2006. Pengaruh Nilai Kalor (Heating Value) Suatu Bahan Bakar terhadap Perencanaan Volume Ruang Bakar Ketel Uap Berdasarkan Metode Penelitian Nilai Kalor Bahan Bakar yang Dipergunakan. *Jurnal. Sistem Teknik Industri*. Vol. 7. No. 1 Hal 60-65.
- Nishida K, Wang X, Olawole A. K, Wu Z, dan Zuohua Huang. 2010. Effect of Injection Pressure on Flame and Soot Characteristics of the Biodiesel Fuel Spray. *Journal*. Department of Mechanical System Engineering University of Hiroshima Japan. ISSN 1563-521X.
- Nur A, Yanuandri P, dan Iman K. R. 2012. The Effect of Ethanol-Diesel Blends on The Performance of a Direct Injection Diesel Engine. *Jurnal*. Institut Teknologi Bandung. ISSN 2088-6985.

- Nurahman V. W, Ika K. N, dan Anggun A. B. P. 2017. Uji Emisi Gas Buang Pemanfaatan Bahan Bakar Pirolisis HDPE pada Motor Bensin 4 TAK 1 Silinder. *Jurnal*. Politeknik Negeri Tanah Laut Kalimantan. ISSN 2581-2661.
- Nurdyastuti, Indyah. 2005. Teknologi Proses Produksi Bio-Etanol. (Online). http://www.geocities.ws/markal_bppt/publish/biofbm/biindy.pdf. Diakses pada 26 Oktober 2019.
- Park, Su Han, Hyun Kyu Suh, dan Chang Sik Lee. 2009. Effect of Bioethanol-Biodiesel Blending Ratio on Fuel Spray Behavior and Atomization Characteristic. *Journal*. Department of Mechanical University of Hanyang Korea. 4092-4098.
- Pastor J, Jose M. G. O, dan Antonio G. 2017. An Experimental on Diesel Spray Injction into a Non-Quiescent Chamber. *Journal of mechanical science and technology* available from : saefuel.saejournals.org. doi 10.4271/2017-01-0850
- Samlawi A. K, 2018. Motor Bakar. *Manual Book*. Fakultas Teknik Mesin Universitas Lambung Mangkurat.
- Sarjono dan F. E. A. Putra. 2013. Studi Eksperimental Pengaruh Campuran Bahan Bakar Premium dengan Bioetanol Nira Siwalan terhadap Performa Motor 4 Langkah. *Majalah Ilmiah STTR Cepu*. No. 16. Hal 1-11.
- Taromi, Mohammad. 2019. Pengujian Emisi Biodiesel Biji Nyamplung Ditinjau dari Karakteristik Semprotan dan Ukuran Butiran. *Thesis*. Fakultas Teknik Mesin Universitas Jember.
- Wahyu E, dan Dwi H. S. 2014. Studi KoMParasi Emisi Gas Buang Bahan Bakar Solar dan Biodiesel dari *Crude Oil* Nyamplung dengan Proses Degumming pada Mesin Diesel Nissan D22. *Jurnal*. Fakultas Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya.

LAMPIRAN**A. LAMPIRAN PENGAMBILAN DATA****A.1 Pengambilan Data****1. Pengaturan tekanan Injeksi**

Gambar A.1 Tekanan Injeksi pada tekanan 15 MPa



Gambar A.2 Tekanan Injeksi pada 17 MPa



Gambar A.3 Tekanan Injeksi pada 20 MPa

4. Tekanan ambient ruang chamber 2 bar



Gambar A.4 Tekanan Ruang Chamber pada 2 bar

5. Alat alat yang digunakan pengambilan data



Gambar A.5 Nosel Tester



Gambar A.6 Nosel Tipe Throttle single hole



Gambar A.7 Ruang Bertekanan/Ruang Chamber



Gambar A.8 Lampu Sorot 1000 watt

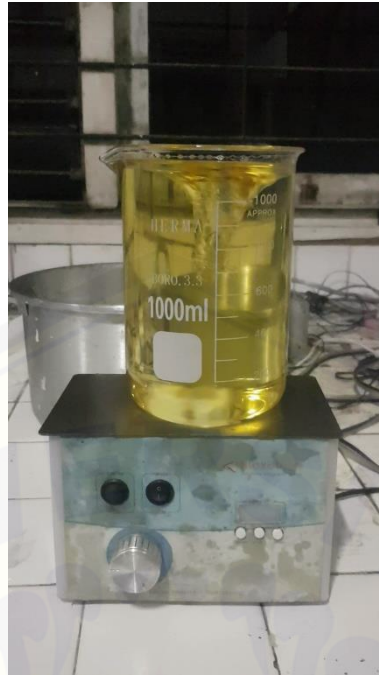


Gambar A.9 Kipas kecil



Gambar A.10 Kompresor

6. Bahan yang digunakan pengambilan data



Gambar A.11 Proses Steiring bahan bakar selama 20 menit



Gambar A.12 Bahan Bakar yang digunakan dalam pengambilan data

7. Skema pengambilan data



Gambar A.11 Letak Kipas dan Lampu saat pengambilan data



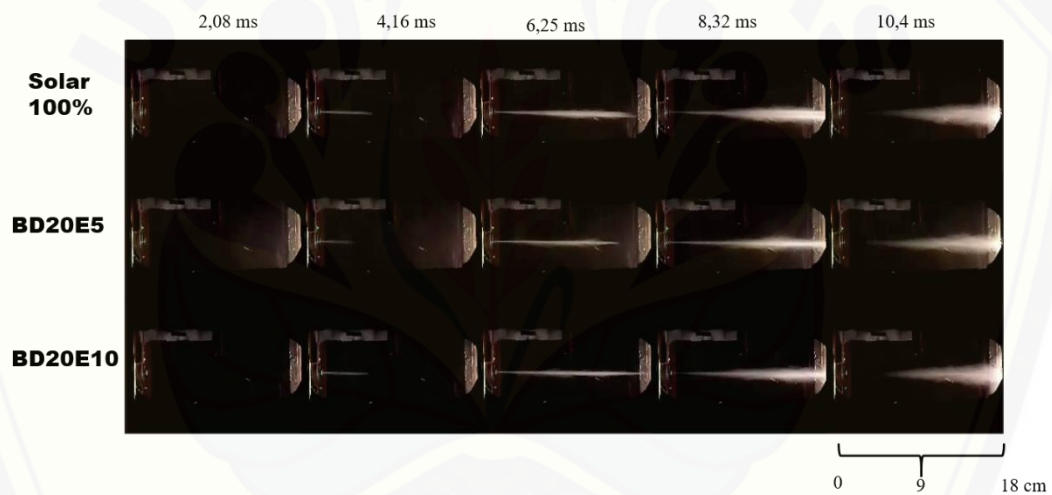
Gambar A.12 Letak kompresor saat pengambilan data



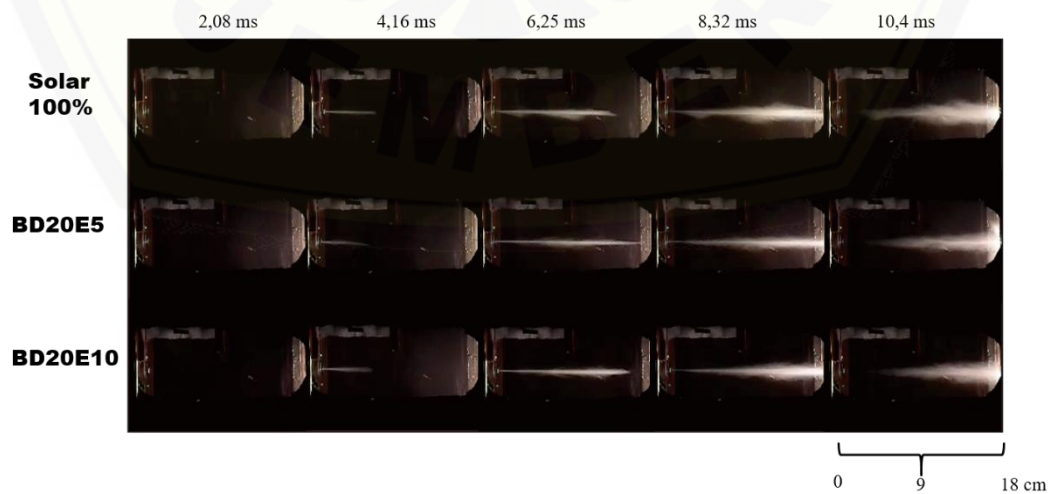
Gambar A.13 Letak kamera dan ruang chamber saat pengambilan data

B. LAMPIRAN HASIL PENGAMBILAN DATA

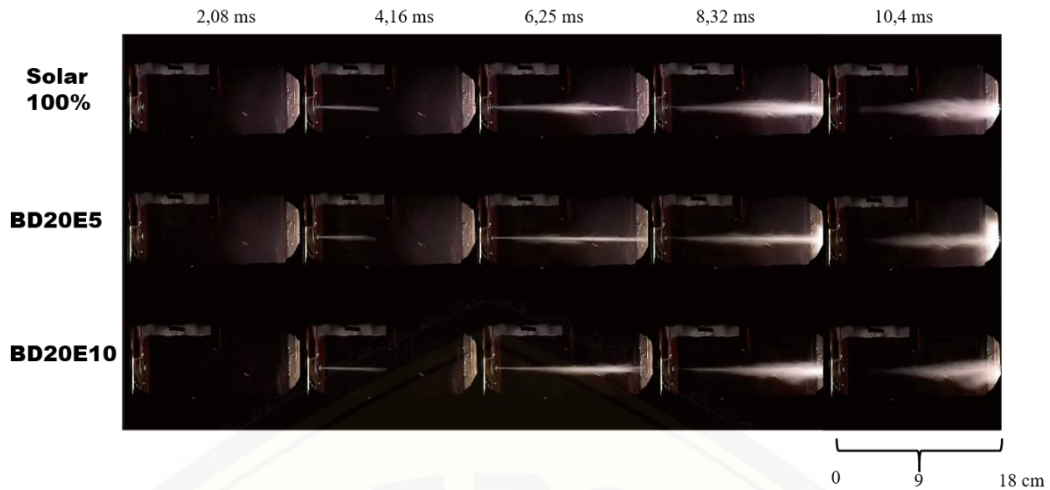
B.1 Tekanan Injeksi 15 MPa



Gambar B.1 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 15 MPa percobaan 1

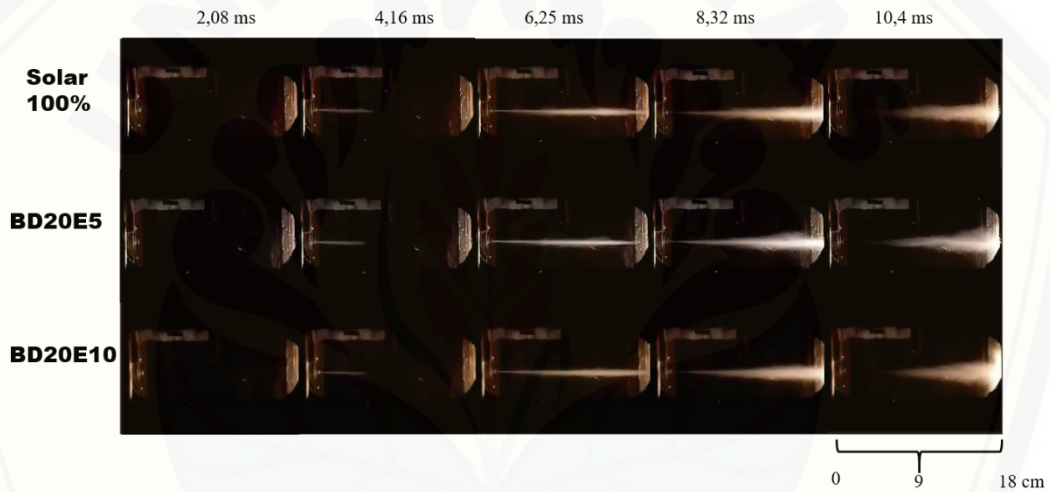


Gambar B.2 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 15 MPa percobaan 2



Gambar B.3 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 15 MPa percobaan 3

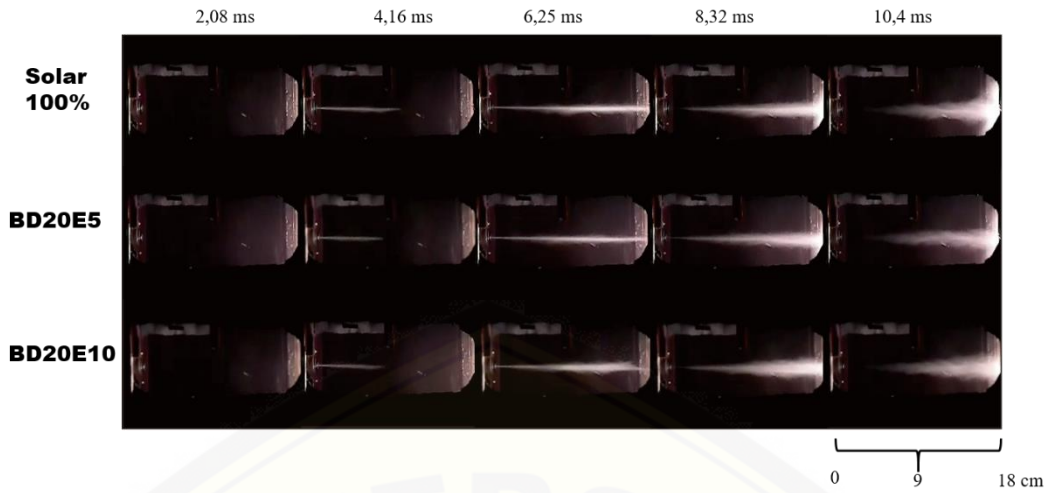
B.2 Tekanan Injeksi 17 MPa



Gambar B.4 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 17 MPa percobaan 1

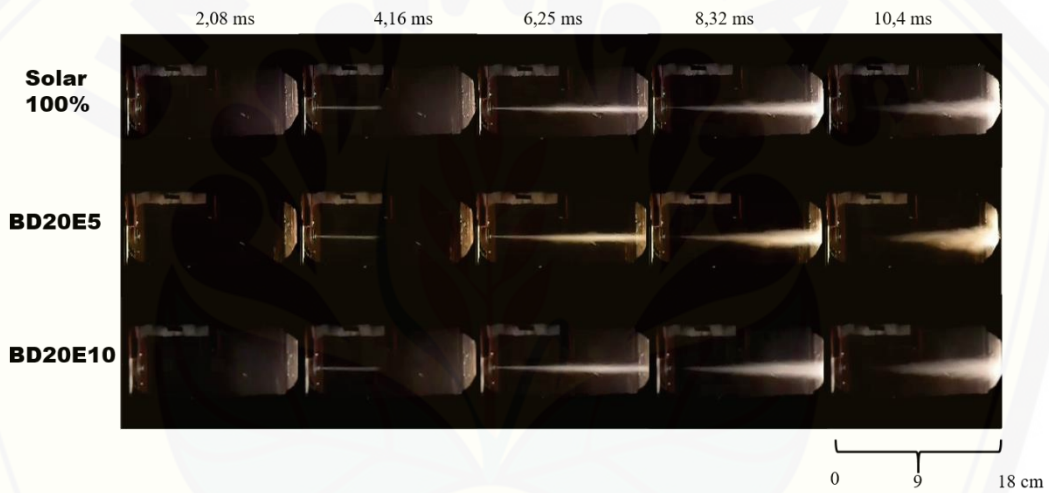


Gambar B.5 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 17 MPa percobaan 2

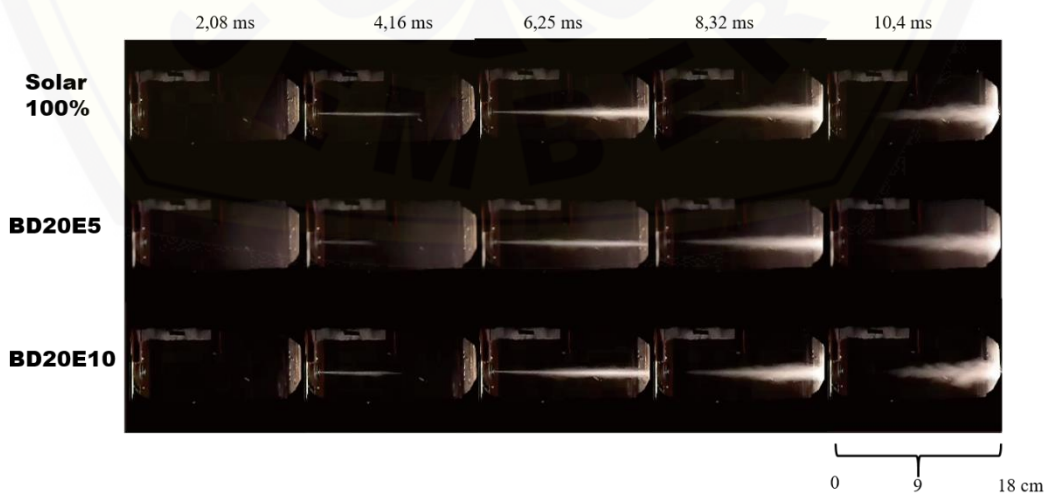


Gambar B.6 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 17 MPa percobaan 3

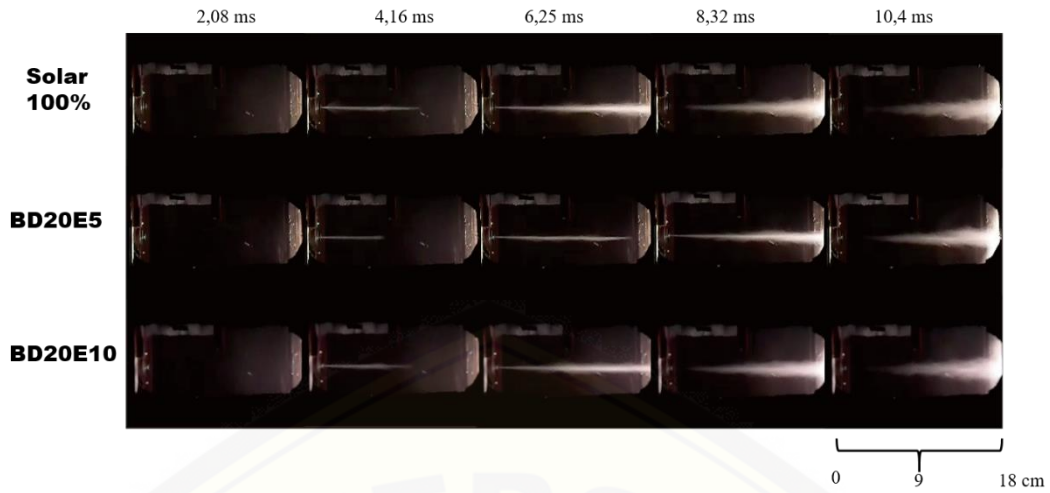
B.3 Tekanan Injeksi 20 MPa



Gambar B.7 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 20 MPa percobaan 1

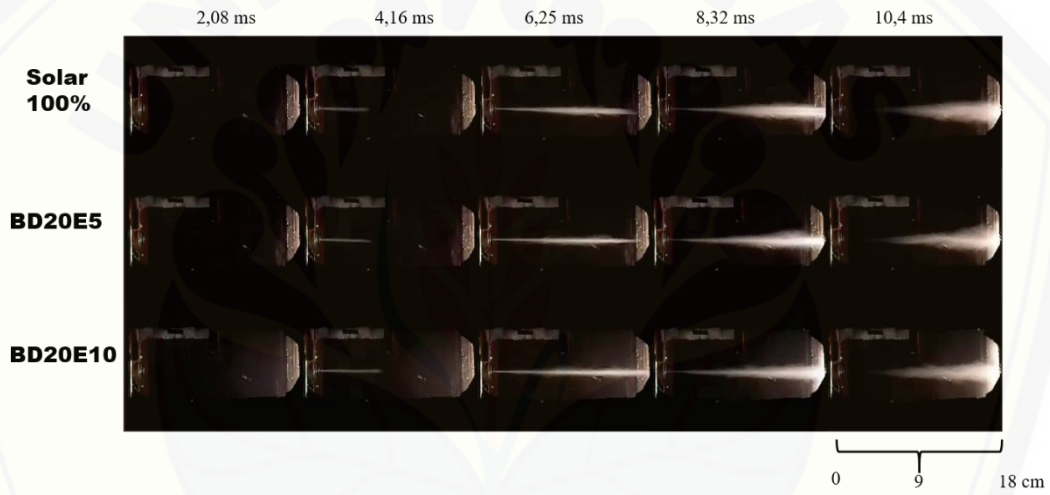


Gambar B.8 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 20 MPa percobaan 2

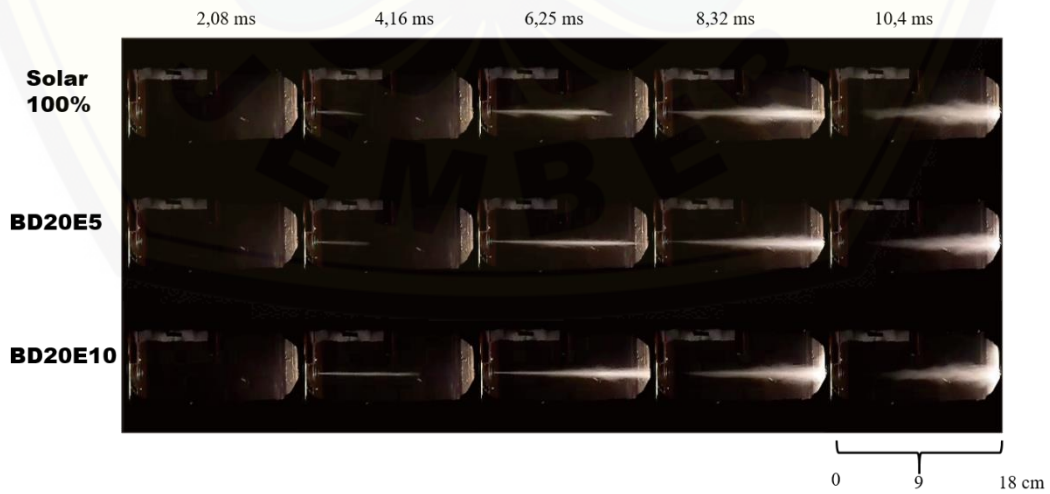


Gambar B.9 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 20 MPa percobaan 3

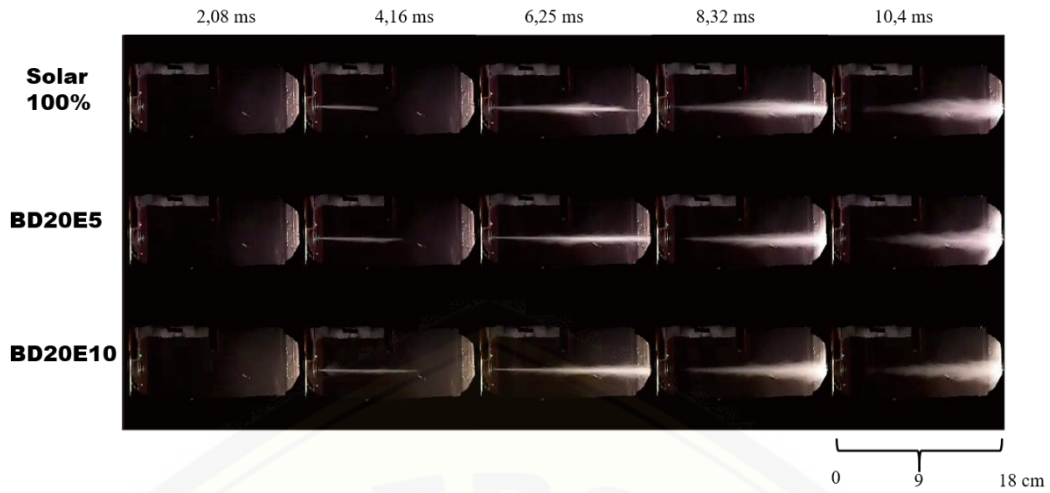
B.4 Solar 100%



Gambar B.10 Hasil Pengambilan Data pada Solar 100% percobaan 1

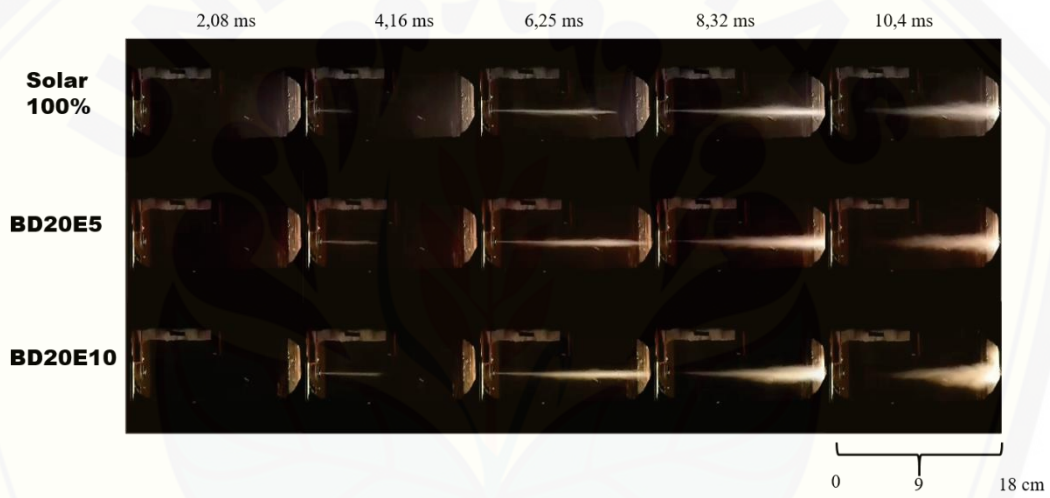


Gambar B.11 Hasil Pengambilan Data pada Solar 100% percobaan 2

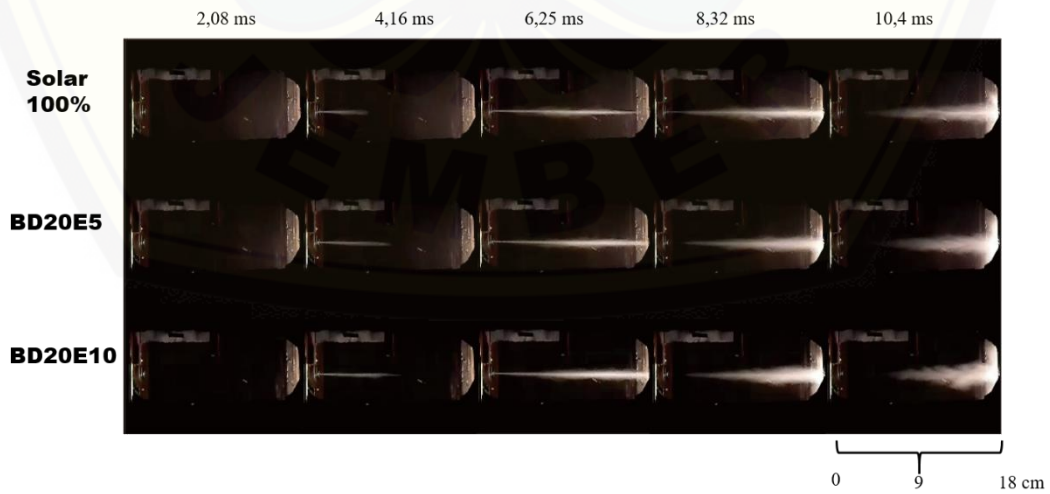


Gambar B.12 Hasil Pengambilan Data pada Solar 100% percobaan 3

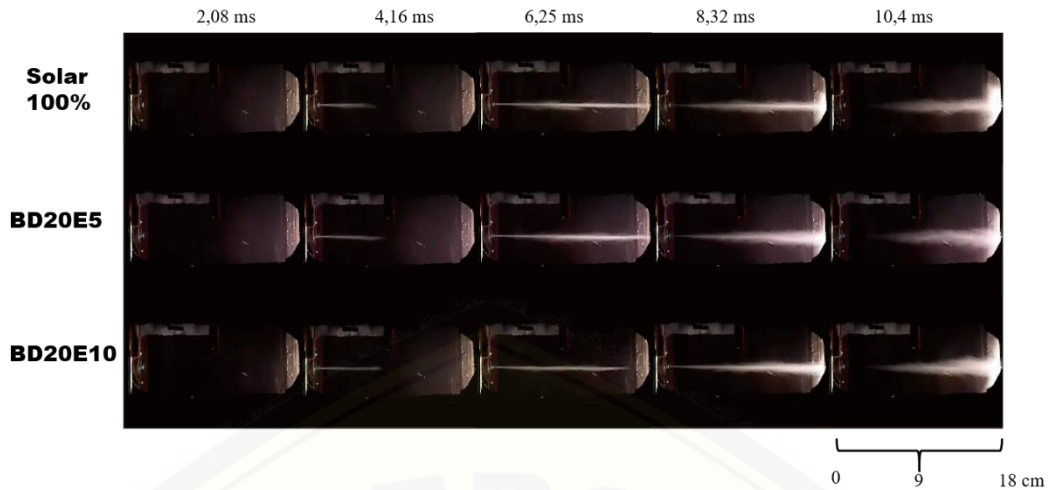
B.5 BD20E5



Gambar B.13 Hasil Pengambilan Data pada BD20E5 percobaan 1

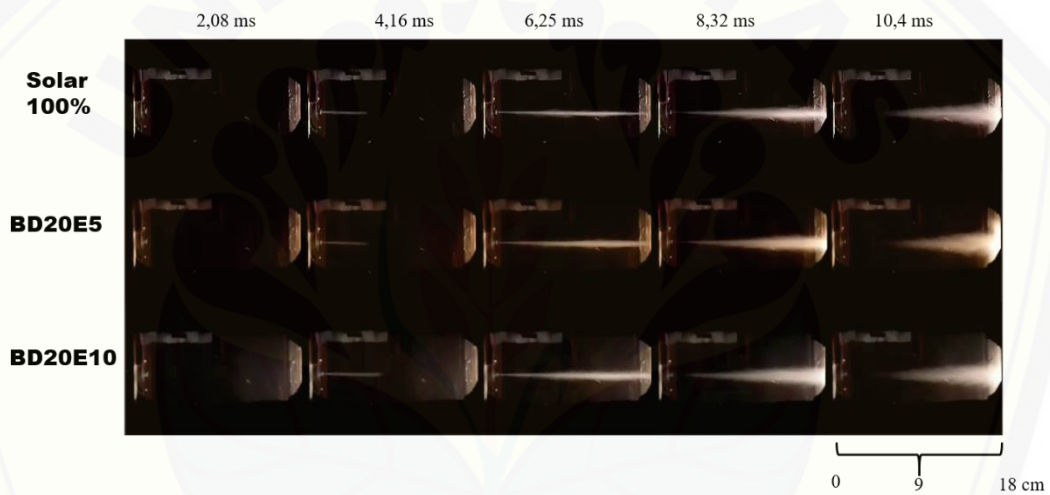


Gambar B.14 Hasil Pengambilan Data pada BD20E5 percobaan 2

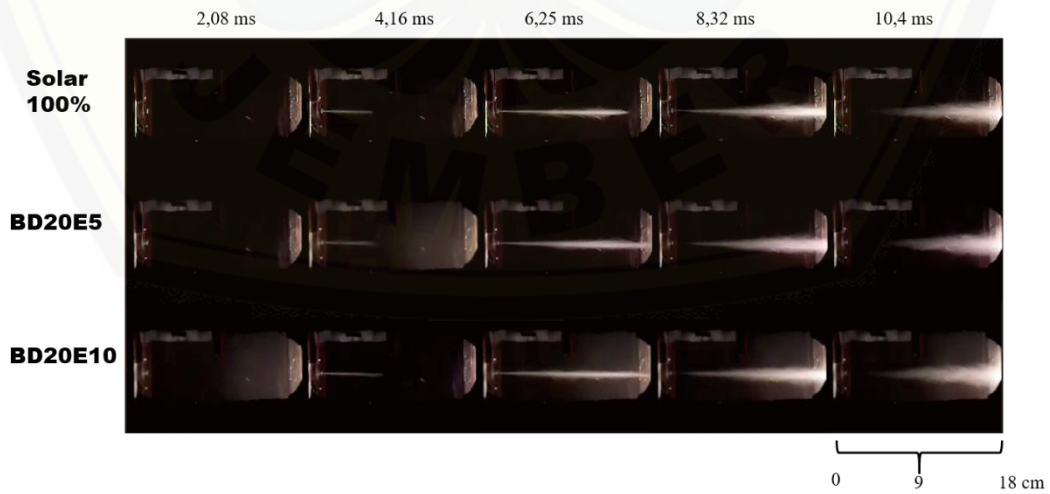


Gambar B.15 Hasil Pengambilan Data pada BD20E5 percobaan 3

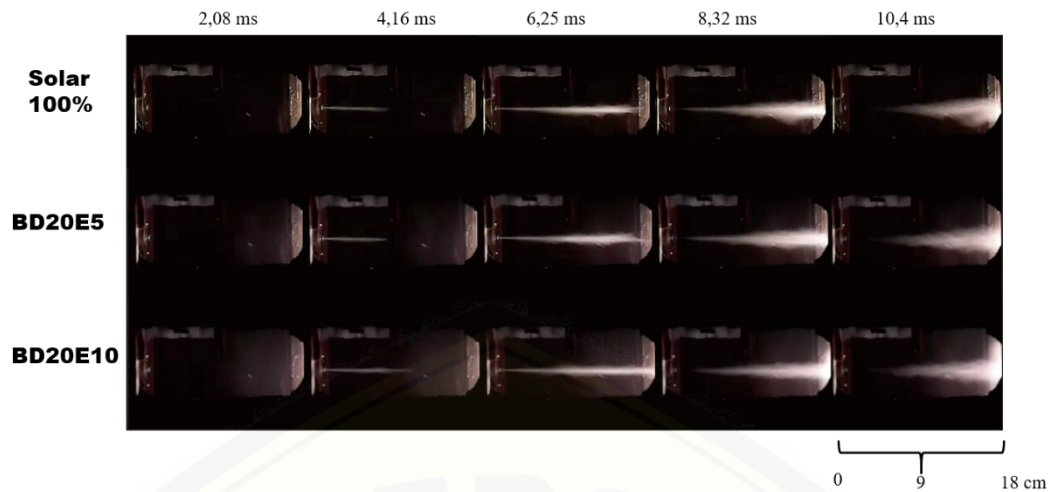
B.6 BD20E10



Gambar B.16 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 15 MPa percobaan 1



Gambar B.17 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 15 MPa percobaan 2



Gambar B.18 Hasil Pengambilan Data pada Tekanan Injeksi 15 MPa percobaan 3

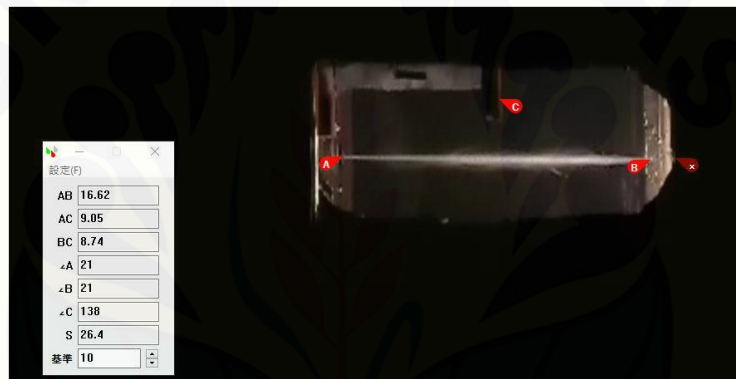
C. LAMPIRAN PENGUKURAN DATA

C.1 *Spray Tip Penetration*

1. BAHAN BAKAR SOLAR 100%



Gambar C.1 Pengukuran data *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 15 MPa



Gambar C.2 Pengukuran data *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 17 MPa



Gambar C.3 Pengukuran *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 20 MPa

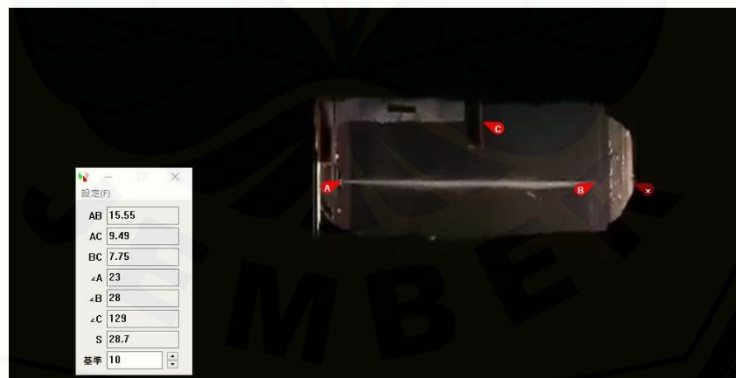
2. BAHAN BAKAR BD20E5



Gambar C.4 Pengukuran data *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 15 MPa

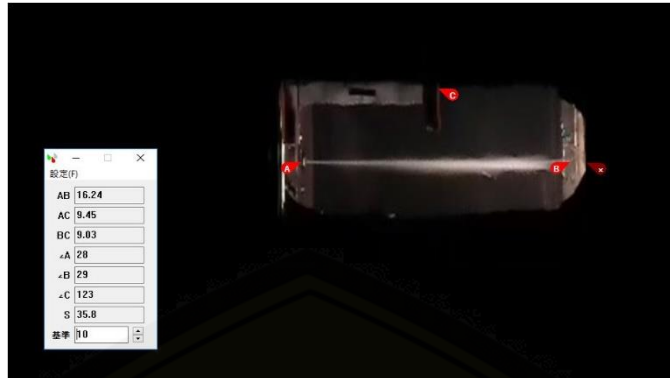


Gambar C.5 Pengukuran data *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 17 MPa

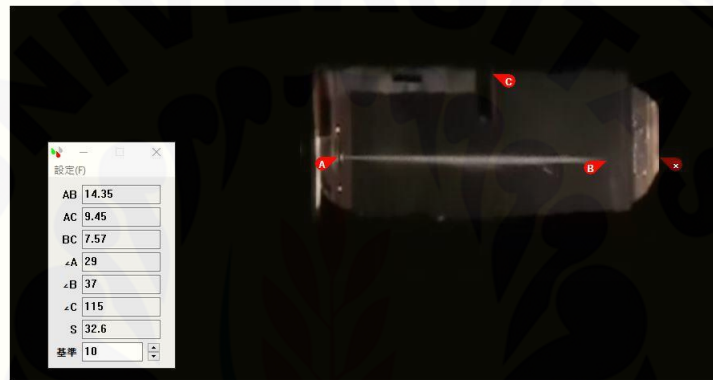


Gambar C.6 Pengukuran data *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 20 MPa

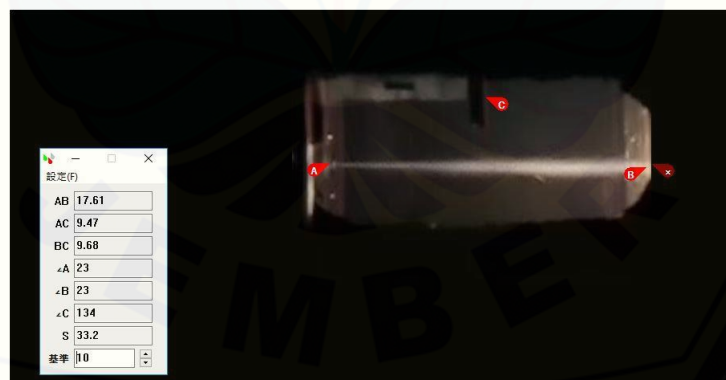
3. BAHAN BAKAR BD20E10



Gambar C.7 Pengukuran data *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 15 MPa



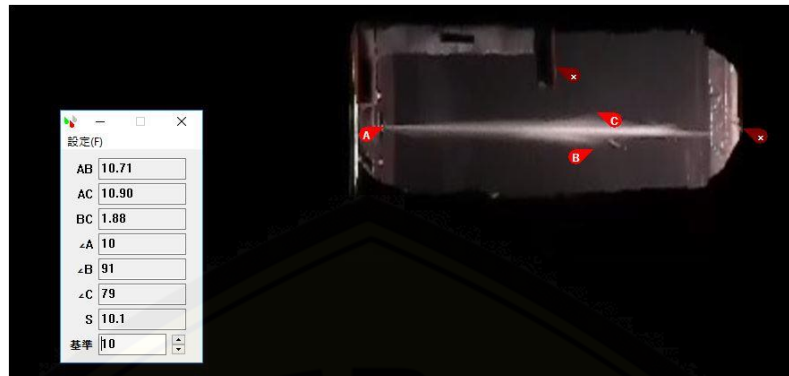
Gambar C.8 Pengukuran data *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 17 MPa



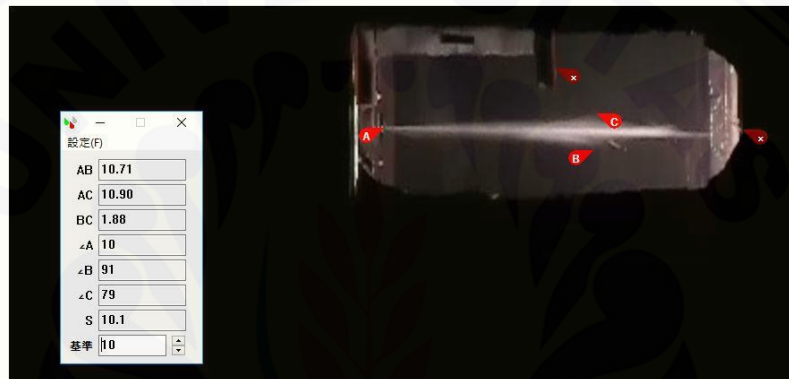
Gambar C.9 Pengukuran data *spray tip penetration* pada tekanan injeksi 20 MPa

C.2 *Spray Angle*

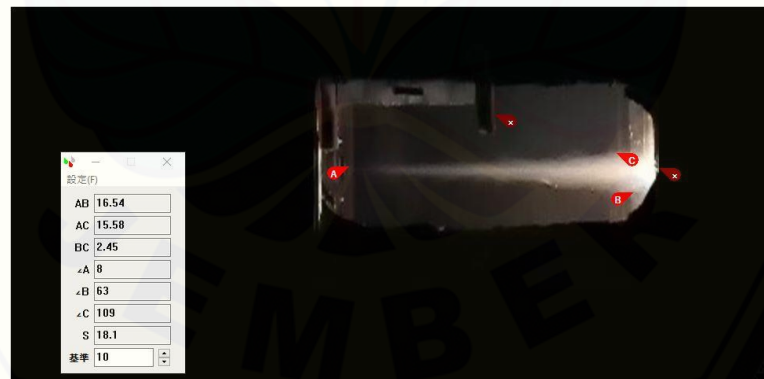
1. BAHAN BAKAR SOLAR 100%



Gambar C.10 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 15 MPa

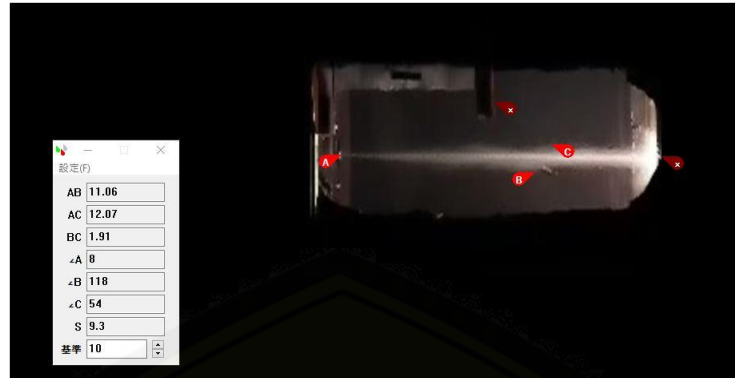


Gambar C.11 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 17 MPa



Gambar C.12 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 20 MPa

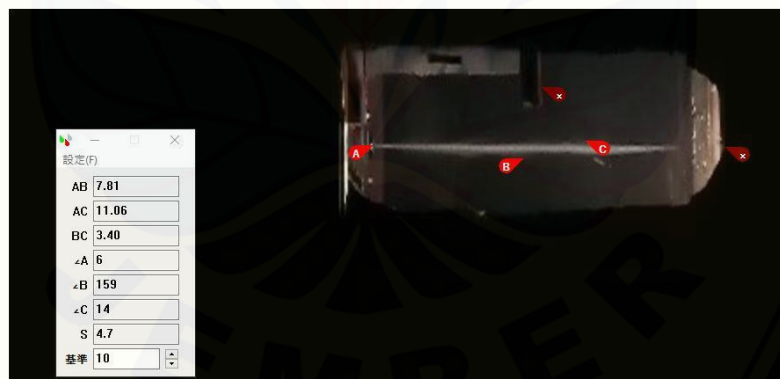
2. BAHAN BAKAR BD20E5



Gambar C.13 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 15 MPa



Gambar C.14 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 17 MPa

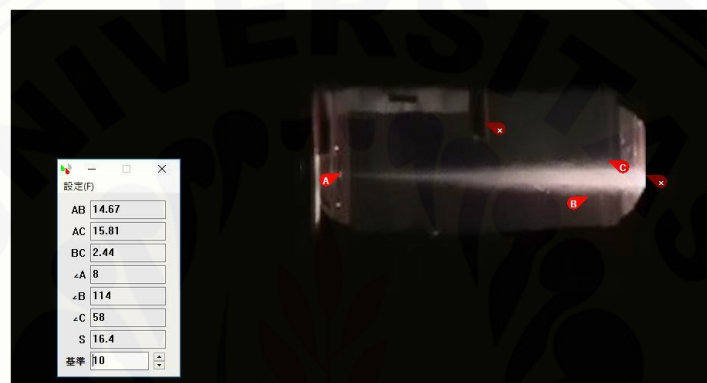


Gambar C.15 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 20 MPa

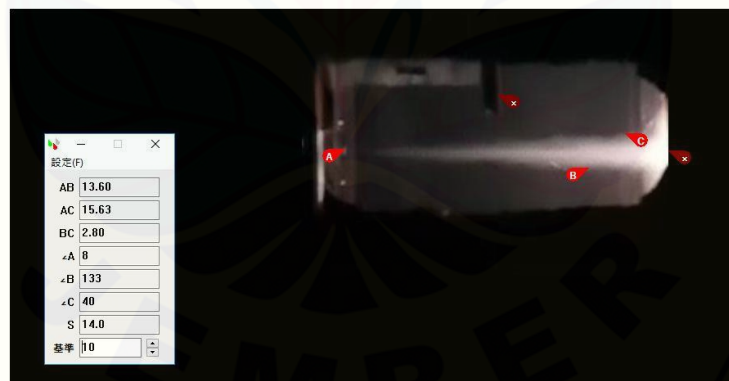
3. BAHAN BAKAR BD20E10



Gambar C.16 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 15 MPa



Gambar C.17 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 17 MPa



Gambar C.18 Pengukuran data *spray angle* pada tekanan injeksi 20 MPa

4. Data Spray Tip Penetration

Tabel C.1 Data *Spray Tip Penetration* pada percobaan 1

Percobaan 1		Bahan Bakar (cm)	
Tekanan (MPa)	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	13,65	11,67	11,72
17	16,22	14,33	14,87
20	18	15,5	17,48

Tabel C.2 Data *Spray Tip Penetration* pada percobaan 2

Percobaan 2		Bahan Bakar (cm)	
Tekanan (MPa)	Solar 100%	Tekanan (MPa)	Solar 100%
15	12,44	12,03	13,02
17	16,62	14,42	16,63
20	18	15,55	17,57

Tabel C.3 Data *Spray Tip Penetration* pada percobaan 3

Percobaan 3		Bahan Bakar (cm)	
Tekanan (MPa)	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	12,22	14,1	14,92
17	16,58	15,1	15,85
20	18	15,59	17,51

5. Data Velocity of Spray

C.4 Data *Velocity of spray* pada percobaan 1

Percobaan 1		Bahan bakar (cm/s)	
Tekanan (MPa)	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	21,840	18,672	18,752
17	25,952	22,928	23,792
20	28,800	24,800	27,968

Tabel C.5 Data *Velocity of spray* pada percobaan 2

Percobaan 2		Bahan bakar (cm/s)	
Tekanan (MPa)	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	19,904	19,248	20,832
17	26,592	23,072	26,608
20	28,800	24,880	28,112

Tabel C.6 Data *Velocity of Spray* pada percobaan 3

Percobaan 3		Bahan bakar (cm/s)	
Tekanan (MPa)	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	19,552	22,560	23,872
17	26,528	24,160	25,360
20	28,800	24,944	28,016

6. Data Spray Angle Penetration

Tabel C.7 Data *Spray angle penetration* pada percobaan 1

Percobaan 1		Bahan bakar (°)	
Tekanan (MPa)	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
15	8	8	9
17	7	7	8
20	6	6	8

Tabel C.8 Data *Spray angle penetration* Tip pada percobaan 2

Percobaan 2	Bahan bakar (°)		
	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
Tekanan (MPa)			
15	8	9	9
17	7	8	8
20	7	7	7

Tabel C.9 Data *Spray angle penetration* pada percobaan 3

Percobaan 3	Bahan bakar (°)		
	Solar 100%	BD20E5	BD20E10
Tekanan (MPa)			
15	9	10	8
17	8	9	7
20	7	8	6

D. LAMPIRAN HASIL UJI KARAKTERISTIK BAHAN BAKAR

D.1 Hasil Uji Karakteristik BD20E5 dan BD20E10



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. 40/LTAKI/II/2020

Terima dari : **Tamu**
 Universitas Jember

Jenis contoh : Bahan bakar

Kode contoh : B100-E5, B100-E10

Uji : kalor, flash point, densitas, viskositas

Diterima tgl. : 17 Februari 2020

Parameter	Satuan	Hasil analisa		Metode analisa
		B100-E5	B100-E10	
Nilai kalori	Kcal/kg	10191,8	9423,74	Bomb calorimetry
Flash point	°C	85	80	ASTM D-93
Densitas 40°C	g/mL	0,830	0,834V	ASTM D-1298
Viskositas 40°C	cSt	4	3,5	ASTM D-45

Keterangan :

- ◆ Hasil analisa tersebut diatas berdasarkan contoh yang kami terima

Surabaya, 05 Februari 2020



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

Gambar D.1 Hasil Uji Karakteristik Bahan Bakar di Lab. TAKI ITS

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 : TPPJ - Tuban No. Sample : 227/AR/F307/2020
 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
Penampilan 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 Motu (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

Gambar D.3 Spesifikasi Karakteristik Solar Murni PT. PERTAMINA