



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BIOSOLAR DENGAN
PENAMBAHAN BIODIESEL KEPUH
(*STERCULIA FOETIDA*)**

TESIS

Oleh

**Dani Hari Tunggal Prasetyo
NIM 161920101006**

**PROGRAM STUDI STRATA DUA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**



**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BIOSOLAR DENGAN
PENAMBAHAN BIODIESEL KEPUH
(*STERCULIA FOETIDA*)**

TESIS

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Magister Teknik Mesin (S2) dan mencapai gelar Magister Teknik

Oleh

Dani Hari Tunggal Prasetyo

NIM 161920101006

**PROGRAM STUDI STRATA DUA
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2020**

PERSEMBAHAN

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa penguasa kehidupan dunia dan akhirat. Shalawat dan salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW. Saya persembahkan tesis ini kepada:

1. Istri saya tercinta Arista Fiorentin, Amd.Keb dan anak saya Keysha Sakila Shanum tersayang yang tidak pernah berhenti memberikan semangat, nasihat, kesabaran dan rasa sayang;
2. Ibu Retno Wihendarti, S.Pd., Ayah Rohmat Hidayat, S.E., dan bapak mertua Hariyanto, S.A.P., serta ibu Sati Ruswantari tercinta yang selalu tiada lelah memberikan semangat dan motivasi. Semoga Allah SWT selalu melimpahkan rahmat dan karunia-Nya serta membalas semua kebaikan yang telah anda lakukan;
3. Saudara kandung saya Dano Hari Tunggal Prabowo, S.E, Dewi Ninda Prastiwi serta saudara ipar saya Okta Rachma, S.T., dan Putri Revilia yang selalu memberikan motivasi terhadap diri saya.
4. Semua guru-guruku dari Taman Kanak-Kanak sampai Perguruan Tinggi yang saya hormati, yang telah memberikan ilmu, mendidik, dan membimbingku dengan penuh rasa sabar dan Almamater Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember serta seluruh teman-teman PT Bank Rakyat Indonesia, Tbk. yang telah memberikan kontribusi, dukungan, ide yang inspiratif, dan kritikan yang konstruktif. Terimakasih atas semua kontribusi yang anda berikan.

MOTO

“Setiap kebaikan pasti akan dibalas dengan kebaikan pula. (Ar Rohman-60)”

“Tak semua yang dapat dihitung diperhitungkan dan tak semua yang diperhitungkan dapat dihitung.” (Albert Einstein)

"Kerja keras pasti akan membuahkan hasil yang memuaskan." (Bapak dan Ibu)

"Kerja yang sungguh-sungguh dengan niat baik dan ikhlas pasti akan ada tangan-tangan tak terlihat yang akan membantu" (Fitroh dan Suwarno)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dani Hari Tunggal Prasetyo

NIM : 161920101006

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tesis yang berjudul: “Karakteristik Pembakaran Biosolar dengan Penambahan Biodiesel Kepuh (*Sterculia Foetida*)” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta 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 adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 03 Juni 2020
Yang menyatakan,

Dani Hari Tunggal Prasetyo
NIM. 161920101006

TESIS

**KARAKTERISTIK PEMBAKARAN BIOSOLAR DENGAN
PENAMBAHAN BIODIESEL KEPUH
(*STERCULIA FOETIDA*)**

Oleh

Dani Hari Tunggal Prasetyo

NIM. 161920101006

Pembimbing :

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

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T.

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tesis berjudul “*Karakteristik Pembakaran Biosolar dengan Penambahan Biodiesel Kepuh (Sterculia Foetida)*” telah diuji pada:

Hari, Tanggal : 03 Juni 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Dosen Pembimbing Utama,

Dosen Pembimbing Anggota,

Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T.
NIP. 19711114 199903 1 002

Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T.
NIP. 19751006200212 1 002

PENGESAHAN

Tesis berjudul “*Karakteristik Pembakaran Biosolar dengan Penambahan Biodiesel Kepuh (Sterculia Foetida)*” telah diuji pada:

Hari, Tanggal : 03 Juni 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Penguji

Penguji I,

Dr. Muh. Nurkoyim Kustanto, S.T., M.T.
NIP. 1969112219902 1 001

Penguji II,

Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D
NIP. 19700322199501 1 001

Penguji III,

Dr. Ir. Agus Triono S.T., M.T.
NIP. 19700807200212 1 001

Mengesahkan
Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember,

Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 19700826199702 1 001

RINGKASAN

Karakteristik Pembakaran Biosolar dengan Penambahan Biodiesel Kepuh (*Sterculia Foetida*); Dani Hari Tunggal Prasetyo, 161920101006: 57 Halaman; Program Studi Strata Dua Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

Biodiesel merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat menjawab kebutuhan masyarakat terhadap kebutuhan energi. Biodiesel merupakan bahan bakar yang berasal dari lemak tumbuh-tumbuhan atau hewan. Penelitian ini fokus pada karakteristik api pada bahan bakar biosolar dengan penambahan biodiesel kepuh dengan memvariasikan komposisi bahan bakar dan ekivalen ratio (ϕ). Tujuan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan biodiesel kepuh terhadap laju pembakaran laminar dan tinggi api. Variasi komposisi penambahan biodiesel pada biosolar yang digunakan pada saat penelitian sebanyak B0% biodiesel, B10% biodiesel, B20% biodiesel, B30% biodiesel, B40% biodiesel dan B100% biodiesel dengan ekivalen ratio (ϕ) 0,8, 1 dan 1,2.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Jember untuk membuat biodiesel dan pengujian karakteristik pembakaran, sedangkan pengujian nilai kalor, densitas dan viskositas dilakukan di laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang. Hasil penelitian bahan bakar B100% biodiesel memiliki karakteristik terbaik sebagai berikut: nilai kalor 10.0080,40 cal/g, densitas 0,869 g/ml dan viskositas 5,34 cst

Dari hasil penelitian menghasilkan data yang menunjukkan nilai tertinggi pada laju pembakaran laminar (SL) dengan nilai tertinggi laju pembakaran laminar pada $\phi = 0,8$ dengan komposisi bahan bakar B10% biodiesel dengan nilai 22,227 cm/s dan nilai terendah pada komposisi pencampuran B40% biodiesel

dengan nilai 10,050 cm/s pada $\phi = 1,2$. Namun, hasil penelitian nilai laju pembakaran laminer secara total terdapat pada $\phi = 0,8$; pada komposisi bahan bakar B0% biodiesel dengan nilai 24,035 cm/s sedangkan nilai terendah pada komposisi B100% biodiesel dengan nilai 8,578 cm/s pada $\phi = 1,2$. Peningkatan persentase biodiesel dan rendahnya ekivalen ratio menyebabkan penurunan sudut nyala api sehingga nilai laju pembakaran laminer menurun.

Hasil penelitian tinggi api biosolar dengan penambahan biodiesel kepuh menunjukkan nilai tertinggi pada tinggi api saat proses pembakaran terdapat pada $\phi = 1,2$ pada komposisi bahan bakar B40% biodiesel dengan nilai 24,330 mm dan nilai terendah pada komposisi B10% biodiesel dengan nilai 19,096 mm pada $\phi = 0,8$. Namun, nilai laju pembakaran laminer secara total terdapat pada $\phi = 1,2$, pada komposisi bahan bakar tanpa penyampuran, B100% biodiesel memiliki nilai tertinggi dengan nilai 25,561 mm sedangkan nilai terendah pada komposisi B0% biodiesel dengan nilai 18,177 mm pada $\phi = 0,8$. Peningkatan persentase biodiesel dan ekivalen ratio menyebabkan peningkatan tinggi api.

SUMMARY

Characteristics of Diesel Fuel Combustion with Addition of Kepuh Biodiesel (*Sterculia Foetida*); Dani Hari Tunggal Prasetyo, 161920101006: 57 Pages; Master of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Biodiesel is a renewable energy source that can answer people's needs for energy. Biodiesel is a fuel derived from vegetable or animal fat. This study focuses on the characteristics of laminar combustion in biosolar fuels with the addition of kepuh (*sterculia foetida*) biodiesel by varying the composition of *kepuh* biodiesel and an equivalent ratio (ϕ). The purpose of this study is to observe the effect of the addition of biodiesel *kepuh* to the rate of laminar combustion and flame height. Variations in the composition of the addition of biodiesel to biodiesel used at the time of the study were B0% biodiesel, B10% biodiesel, B20% biodiesel, B30% biodiesel, B40% biodiesel, and B100% biodiesel with an equivalent ratio (ϕ) 0.8, 1 and 1.2.

This research was conducted at the Energy Conversion Laboratory in the Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember to make biodiesel and test the characteristics of combustion, while testing the value of heating, density and viscosity was carried out at the Fuel Engine Engineering Mechanical Laboratory in Malang. The results of the study have the best characteristics as follows: heating value of 10.0080,40 cal/g, density of 0,869 g/ml and viscosity of 5,34 cst.

The results of the study produced data that showed the highest value at the laminar burning velocity (SL) with the highest value at the laminar combustion rate at $\phi = 0.8$ with the mixing composition of biodiesel B10% with a value of 22,227 cm / s and the lowest value on the composition of the biodiesel mixture B40% with a value of 10.050 cm/s at $\phi = 1.2$. However, the total value of laminar

combustion is $\phi = 0.8$, in the composition of B0% biodiesel fuel with a value of 24.035 cm / s while the lowest value in the composition of biodiesel B100% with a value of 8.578 cm / s at $\phi = 1.2$. An increase in the percentage of biodiesel and a low equivalent ratio causes a decrease in the flame angle so that the combustion rate of the laminator decreases.

The results of the study produced data that showed the highest value at the height of the flame during the combustion process with the highest value at $\phi = 1.2$ with the composition of mixing biodiesel B40% with a value of 24.330 mm and the lowest value on the composition of mixing biodiesel B10% with a value of 19.096 mm at $\phi = 0.8$. However, the total value of laminar combustion is at $\phi = 1.2$, in the composition of B100% biodiesel fuel with a value of 25.561 mm while the lowest value in the composition of biodiesel B0% with a value of 18.177 mm at $\phi = 1.2$. An increase in biodiesel percentage and equivalent ratio causes an increase in flame height.

PRAKATA

Alhamdulillah, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Shalawat dan salam yang selalu tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW karena Beliau lah panutan seluruh umat di dunia maupun akhirat.

Tesis ini berjudul “Karakteristik Pembakaran Biosolar dengan Penambahan Biodiesel Kepuh (*sterculia foetida*)”. Penyusunan tesis ini digunakan untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan Strata Dua (S2) pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua yang telah memberikan bimbingan, dukungan, dan arahan kepada penulis selama penyusunan laporan tesis ini, khususnya kepada:

1. Bapak dan Ibu tercinta yang selalu tiada henti dan tiada lelah mendidik dan menasehati, nenek serta saudara-saudaraku Dano, Ninda yang telah memberikan doa dan motivasi kepada saya.
2. Staf pengajar semua dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan bimbingan kepada saya terutama Bapak Dr. Ir. Nasrul Ilminnafik, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama, Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing anggota, yang selalu memberikan ide, saran, dan motivasi, serta meluangkan waktunya untuk membimbing saya selama proses penelitian dan penyusunan laporan tesis ini
3. Bapak Dr. Muh. Nurkoyim, S.T., M.T., selaku dosen penguji I, Bapak Ir. Mahros Darsin, S.T., M.Sc., Ph.D selaku dosen penguji II dan Bapak Dr. Ir. Agus Triono, S.T., M.T., selaku dosen penguji III yang memberikan saran dan kritikan bersifat konstruktif untuk penyusunan tesis ini.
4. Seluruh staf pengajar dosen Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan ilmu dan membimbing saya selama saya duduk di bangku perkuliahan.
5. Seluruh staf dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Jember.

6. Seluruh teman-teman PT. Bank Rakyat Indonesia, Tbk. telah memberikan banyak dukungan, dan teman lain yang telah banyak membantu selama perkuliahan.
7. Semua pihak yang telah membantu proses penelitian dan penyusunan tesis ini dari awal hingga akhir.

Penulis menyadari sebagai manusia yang tak lepas dari kekhilafan dan kekurangan, oleh karena itu diharapkan adanya kritik, saran, dan ide yang bersifat konstruktif demi kesempurnaan tesis ini dan penelitian berikutnya yang berkaitan dengan tesis ini. Semoga hasil dari penelitian pada tesis ini dapat memberikan manfaat khususnya bagi penulis dan peneliti-peneliti berikutnya.

Jember, 03 Juni 2020

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSEMBAHAN	ii
HALAMAN MOTO	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN PEMBIMBINGAN	v
HALAMAN PERSETUJUAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
PRAKATA	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR	xvii
DAFTAR ISTILAH	xix
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Bahan Bakar	5
2.1.1 Biodiesel	5
2.1.2 Biosolar	7
2.2 Tanaman Kepuh (<i>Sterculia Foetida</i>)	8
2.3 Potensi Bahan Baku Biodiesel Kepuh (<i>Sterculia Foetida</i>)	9
2.4 Proses Pembuatan Biodiesel	11
2.4.1 Degumming	12
2.4.2 Esterifikasi	12
2.4.3 Transesterifikasi	13
2.5 Pembakaran	14
2.5.1 Pembakaran Laminer	15
2.5.2 Pembakaran Turbulen	16
2.6 Air Fuel Ratio (AFR)	17
2.7 Ekuivalen Ratio (ϕ)	18
2.8 Karakteristik Pembakaran	19
2.8.1 Laju Pembakaran Laminer (SL)	20
2.8.2 Tinggi Api	20
2.8.3 Api <i>Premixed</i>	21
2.8.4 Api Difusi (<i>Non-Premixed</i>)	22
2.8.5 Api Parsial	23
2.9 Metode Pengujian <i>Bunsen Burner</i>	24

2.10 Penelitian Terdahulu	24
2.11 Hipotesa	25
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	27
3.1 Metode Penelitian	27
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.2.1 Tempat Penelitian	27
3.2.2 Waktu Penelitian	28
3.3 Alat dan Bahan Penelitian	28
3.3.1 Alat Pengujian Pembakaran	28
3.3.2 Bahan Pengujian Pembakaran	28
3.3.3 Alat Pembuatan Biodiesel	28
3.3.4 Bahan Pembuatan Biodiesel	28
3.4 Variabel Penelitian	29
3.4.1 Variabel Bebas	29
3.4.2 Variabel Terikat	29
3.4.3 Variabel Kontrol	29
3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data	30
3.6 Tahap Pengujian	30
3.6.1 Tahap Persiapan Biodiesel Kepuh	30
3.6.2 Tahap Persiapan Pengujian Pembakaran	31
3.7 Rekap Pengambilan Data	35
3.8 Diagram Alir Penelitian	37
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	38
4.1 Hasil Penelitian	38
4.1.1 Karakteristik Bahan Bakar	38
4.1.2 Laju Pembakaran Laminer (SL)	39
4.1.3 Tinggi Api Biodiesel	45
4.2 Hasil Penelitian	49
4.2.1 Laju Pembakaran Laminer (SL)	49
4.2.2 Tinggi Api	52
BAB 5. PENUTUP	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran	56
DAFTAR PUSTAKA	57
LAMPIRAN	61

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Produksi bahan baku minyak nabati per hektar	10
Tabel 2.2. Tumbuhan Indonesia penghasil minyak lemak	10
Tabel 2.3 Parameter fisiko kimia biodiesel	11
Tabel 3.1 Komposisi bahan bakar	27
Tabel 3.2 Tabel pengujian tinggi api	35
Tabel 3.3 Tabel pengujian laju pembakaran	35
Tabel 4.1 Perbandingan karakteristik biosolar dengan biodiesel kepuh	38
Tabel 4.2 Debit bahan bakar	40
Tabel 4.3 Laju pembakaran laminer (SL) pada $\phi = 0,8$	41
Tabel 4.4 Laju pembakaran laminer (SL) pada $\phi = 1$	43
Tabel 4.5 Laju pembakaran laminer (SL) pada $\phi = 1,2$	44
Tabel 4.6 Tinggi Api pada $\phi = 0,8$	46
Tabel 4.7 Tinggi Api pada $\phi = 1$	47
Tabel 4.8 Tinggi Api pada $\phi = 1,2$	49

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Penyampuran biodiesel kepuh dengan minyak solar	7
Gambar 2.2 Biosolar	8
Gambar 2.3 Pohon kepuh.....	9
Gambar 2.4 (a) Biji kepuh (b) Buah kepuh.....	11
Gambar 2.5 Hasil degumming biodiesel kepuh	12
Gambar 2.6 Esterifikasi biodiesel kepuh	13
Gambar 2.7 Transesterifikasi biodiesel kepuh	14
Gambar 2.8 Aliran laminar	15
Gambar 2.9 Arus laminar vs arus turbulenta	17
Gambar 2.10 Aliran turbulenta	17
Gambar 2.11 Nyala api	18
Gambar 2.12 Tinggi api pembakaran <i>premixed</i>	21
Gambar 2.13 Nyala api <i>premixed</i>	22
Gambar 2.14 Aliran nyala api <i>premixed</i>	22
Gambar 2.15 Nyala api difusi	23
Gambar 2.16 Pembakaran parsial pada <i>bunsen burner</i>	23
Gambar 2.17 Bunsen burner	24
Gambar 2.18 Digram <i>fish bone</i> penelitian	26
Gambar 3.1 Skema pengujian pembakaran laminar	31
Gambar 3.2 (a) Pengujian tinggi dan (b) Sudut api biodiesel	32
Gambar 3.3 Contoh pengambilan data gambar	33
Gambar 3.4 Contoh <i>set scala</i> ukuran sebenarnya pada gambar	33
Gambar 3.5 Contoh pengukuran tinggi api	34
Gambar 3.6 Contoh pengukuran sudut api	34
Gambar 3.7 Gambar alat pengujian	36
Gambar 3.8 Diagram alir penelitian	37

Gambar 4.1 Nyala api $\phi = 0,8$	40
Gambar 4.2 Grafik laju pembakaran laminar pada $\phi = 0,8$	41
Gambar 4.3 Nyala api $\phi = 1$	42
Gambar 4.4 Grafik laju pembakaran laminar $\phi = 1$	42
Gambar 4.5 Nyala api $\phi = 1,2$	43
Gambar 4.6 Grafik laju pembakaran laminar $\phi = 1,2$	44
Gambar 4.7 Grafik tinggi api $\phi = 0,8$	45
Gambar 4.8 Grafik tinggi api $\phi = 1$	47
Gambar 4.9 Grafik tinggi api $\phi = 1,2$	48
Gambar 4.10 Grafik perbandingan hasil penelitian dan literatur	50
Gambar 4.11 Grafik laju pembakaran laminar	51
Gambar 4.12 Grafik tinggi api	53

DAFTAR ISTILAH

B

Biosolar adalah biosolar yang didapatkan di SPBU, pada umumnya komposisi bahan bakar 80% solar dan 20% biodiesel sawit.

B0% biodiesel adalah campuran bahan bahan bakar dengan komposisi 0% biodiesel kepuh.

B10% biodiesel adalah campuran bahan bahan bakar dengan komposisi 10% biodiesel kepuh dan 90% biosolar.

B20% biodiesel adalah campuran bahan bahan bakar dengan komposisi 20% biodiesel kepuh dan 80% biosolar.

B30% biodiesel adalah campuran bahan bahan bakar dengan komposisi 30% biodiesel kepuh dan 70% biosolar.

B40% biodiesel adalah campuran bahan bahan bakar dengan komposisi 70% biodiesel kepuh dan 60% biosolar

B100% biodiesel adalah campuran bahan bahan bakar dengan komposisi 100% biodiesel kepuh.

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk meningkat sangat cepat, sehingga mempengaruhi kebutuhan konsumsi energi. Energi terbesar yang digunakan bertumpu pada bahan bakar fosil khususnya minyak bumi. Konsumsi minyak bumi rata-rata meningkat 6% per tahun (Kuncahyo dkk, 2013). Minyak bumi di Indonesia diperkirakan tersisa 7,99 miliar barel dengan tingkat eksplorasi 346 juta barel per tahun dan akan habis 23 tahun mendatang (Jakfar dan Sudarmanta, 2014). Menipisnya jumlah cadangan minyak bumi maka diperlukan solusi pengganti diantaranya biodiesel.

Potensi sumber daya alam Indonesia sangat mendukung untuk pengembangan biodiesel. Indonesia memiliki 50 jenis bahan baku biodiesel yang berasal dari tumbuh-tumbuhan dan lemak hewan (Kuncahyo dkk, 2013). Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang menjanjikan untuk mesin diesel terutama dari bahan baku yang tidak dapat dimakan (Silitonga dkk, 2013). Penggunaan biodiesel menurunkan karbonmonoksida (CO) sebesar 4% dan mengurangi emisi SO₂ sekitar 7,9% (Wahyu, 2014; Wirawan dkk, 2013). Biodiesel merupakan salah satu opsi untuk menggantikan bahan bakar fosil tanpa harus memodifikasi mesin diesel (Hartantyadhi dkk, 2016).

Bahan baku biodiesel diantaranya berasal dari biji buah pohon kepuh. Pemanfaatan tanaman kepuh baru terbatas pada kayunya, sedangkan buah, daun dan bijinya belum dimanfaatkan (Ahmad, 2012). Biji buah kepuh termasuk dalam buah yang tidak dapat dikonsumsi (Rao dkk, 2015). Komposisi minyak kepuh terdiri dari lemak 51,78%, protein 21,61%, pati 12,1%, gula 5%, selulosa 5,51% dan abu 3,9% (Silitonga dkk, 2013; Rao dkk, 2015). Minyak kepuh menjadi opsi bahan baku biodiesel.

Penelitian bahan bakar biodiesel kepuh pernah dilakukan oleh Kavitha dan Murugavelh (2019) pada mesin diesel satu silinder. Hasil penelitian bahan bakar

biodiesel kepuh menghasilkan performa pada mesin diesel yang optimal dan emisi gas buang rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Rao dkk (2015) melakukan penelitian dengan menambahkan bahan bakar biodiesel kepuh pada bahan bakar minyak diesel. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penambahan bahan bakar biodiesel kepuh dapat meningkatkan performa mesin dan memiliki efisiensi termal lebih rendah dari bahan bakar minyak diesel. Ong dkk (2013) melakukan penelitian produksi dan sifat bahan bakar biodiesel kepuh. Hasil penelitian menunjukkan biodiesel kepuh sangat cocok digunakan sebagai biodiesel pengganti bahan bakar fosil dan disarankan melakukan penelitian lebih lanjut tentang pembakaran biodiesel kepuh.

Karakteristik pembakaran api menjadi tolak ukur. Hal ini dikarenakan pembakaran mempengaruhi performa pada mesin kendaraan dan mengurangi emisi gas buang (Jakfar dan Sudarmanta, 2014). Penyampuran biodiesel dan solar dengan perbandingan tertentu akan mempengaruhi performa mesin berupa daya, torsi dan konsumsi bahan bakar pada motor diesel (Hartanyadhi dkk, 2016). Bahan bakar nabati sangat menarik untuk dipelajari karena gliserol higroskopis dan asam lemak yang memiliki sifat berbeda sehingga akan mempengaruhi perilaku api pada pembakaran *premixed* seperti laju pembakaran laminer (Wirawan dkk, 2013). Kondisi stasioner mempengaruhi pada kestabilan pembakaran laminer, kondisi stasioner terjadi pada ekivalen ratio (ϕ) = 1. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan ekivalen ratio menyebabkan laju pembakaran laminer menurun. Penurunan pembakaran laju laminer disebabkan ekivalen ratio kaya bahan bakar sehingga sudut api yang terbentuk lebih kecil dan kecepatan reaktannya rendah (Riwu dkk, 2016).

Pengujian bahan bakar biodiesel kepuh sudah banyak dilakukan penelitian pada performa mesin dan karakteristik bahan bakar. Namun pengujian pembakaran *premixed* masih jarang dilakukan, Oleh karena itu perlu dilakukan pengujian pembakaran *premixed* biosolar dengan penambahan biodiesel kepuh. Pengujian menggunakan *bunsen burner*. *Bunsen burner* sangat efektif untuk

mengetahui karakteristik pembakaran serta untuk pengolahan datanya lebih akurat karena kontak permukaan bahan bakar dengan udara sekitar lebih merata.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini:

1. Bagaimana pengaruh penambahan biodiesel kepuh (*sterculia foetida*) pada biosolar terhadap karakteristik pembakaran;
2. Bagaimana pengaruh ekivalen rasio terhadap karakteristik pembakaran.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui laju pembakaran laminer dan tinggi api dengan variasi penambahan biodiesel kepuh pada biosolar dengan komposisi bahan bakar B0% biodiesel, B10% biodiesel, B20% biodiesel, B30% biodiesel, B40% biodiesel dan B100% biodiesel dengan menggunakan *bunsen burner*;
2. Mengetahui pengaruh ekivalen ratio terhadap laju pembakaran laminer dan tinggi api dengan perbandingan ekivalen ratio 0,8; 1 dan 1,2 pada *bunsen burner*.

1.4 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh penambahan biodiesel kepuh pada biosolar terhadap laju pembakaran dan tinggi api sehingga diketahui komposisi bahan bakar yang optimal;
2. Mengetahui prinsip pembuatan biodiesel kepuh;
3. Memberikan pengetahuan kepada Civitas Akademik Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember untuk lebih mengembangkan penelitian biodiesel kepuh lebih lanjut.

1.5 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Faktor kecepatan angin saat pengujian diabaikan;
2. Suhu ruangan saat pengujian tetap.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bahan Bakar

Bahan bakar dapat dirubah dalam bentuk energi yang dapat digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Bahan bakar bereaksi dengan udara sehingga menghasilkan produk. Bahan bakar dibagi menjadi dua bagian yaitu bahan bakar fosil dan bahan bakar nabati (*renewble energy*). Bahan bakar fosil merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbarui seperti minyak diesel, bensin, LPG, batu bara, dll. Bahan bakar nabati merupakan bahan bakar yang dapat diperbarui seperti biogas, briket, biodiesel, dll. Berdasarkan fase, bahan bakar diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu padat, gas dan cair (Munir, 2008). Bahan bakar menjadi komponen yang sangat penting dalam proses pembakaran. Proses pembakaran terdiri dari tiga komponen yaitu oksidator, bahan bakar dan panas (Bachtiar dkk, 2019).

Karbon (C) dan hidrogen (H) merupakan susunan senyawa kimia bahan bakar. Senyawa yang tersusun pada bahan bakar direaksikan dengan oksigen pada tekanan dan suhu tertentu sehingga menghasilkan gas dan energi panas. Bahan bakar menghasilkan panas dan cahaya (Bachtiar dkk, 2019). Pada umumnya bahan bakar mengandung energi panas yang bisa dilepaskan. Bahan bakar minyak pada kendaraan bermotor meliputi bensin dan solar. Saat ini komposisi solar ditambahkan biodiesel yang berasal dari bahan baku nabati sehingga berganti nama menjadi biosolar.

2.1.1 Biodiesel

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif dari bahan nabati mentah yang terbarukan (*renewable*) dan bukan berasal dari minyak bumi. Menurut Kharis dkk (2019) biodiesel merupakan methyl ester dari asam lemak rantai panjang yang berasal dari bahan baku terbarukan seperti minyak biji-bijian atau lemak hewani. Sedangkan Menurut Ong dkk (2013) biodiesel didefinisikan ester mono-alkil

dengan rantai panjang asam lemak yang berasal dari minyak nabati, lemak hewani atau minyak jelantah. Bahan baku biodiesel antara lain didapatkan dari minyak tumbuhan seperti minyak sawit, minyak kelapa, minyak jarak pagar, minyak biji kapok randu, minyak kemiri, minyak kepuh, dan masih ada lebih dari 50 macam tumbuhan Indonesia yang potensial untuk dijadikan sumber energi terbarukan (Kuncahyo dkk, 2013).

Biodiesel merupakan bahan bakar yang diperoleh dari proses kimia esterifikasi dan transesterifikasi yang menghasilkan methyl ester. Komposisi kimia biodiesel dan solar tidak jauh berbeda (Kuncahyo dkk, 2013). Biodiesel salah satu bahan bakar alternatif yang menjanjikan dan bersifat ramah lingkungan, tidak mempunyai efek terhadap kesehatan dan dapat dipakai sebagai bahan bakar kendaraan bermotor yang dapat menurunkan emisi bila dibandingkan dengan minyak diesel (Suroto dan Rinayu, 2016). Pemakaian biodiesel dapat memperpanjang umur mesin karena efek pelumasan yang lebih baik. Biodiesel dapat digunakan secara murni maupun dicampur dengan solar tanpa memodifikasi mesin. Biodiesel tidak menghasilkan uap yang membahayakan pada suhu kamar, sehingga biodiesel lebih aman dari pada petroleum diesel dalam penyimpanan dan penggunaannya (Elizabeth dkk, 2013).

Meskipun banyak kelebihanannya, biodiesel juga mempunyai kekurangan, dari sisi keekonomian di mana biaya produksinya masih lebih tinggi dibandingkan harga solar di pasaran, sehingga peran pemerintah sangatlah penting dalam hal pemberian insentif produksi biodiesel. Viskositas (kekentalan) minyak biodiesel lebih tinggi dibandingkan minyak solar yang akan menyulitkan pompa bahan bakar untuk mengalirkan minyak biodiesel ke ruang bakar. Akibat dari aliran bahan bakar yang rendah akan menyulitkan terjadinya atomisasi bahan bakar yang baik. Buruknya atomisasi berkorelasi langsung dengan kualitas pembakaran dan daya mesin. Untuk menurunkan nilai viskositas biodiesel dan meningkatkan atomisasinya biodiesel dapat dicampur dengan bahan bakar solar dengan berbagai komposisi. Pada Gambar 2.1 contoh penyampuran biodiesel dengan minyak solar dengan berbagai komposisi.



Gambar 2.1 Penyampuran biodiesel kepuh dengan minyak solar
(Sethusundaram, dkk., 2016)

2.1.2 Biosolar

Konversi energi dari jenis energi fosil (*unrenewable energy*) ke jenis energi nabati non fosil (*renewable energy*) dilakukan untuk mengurangi konsumsi energi. Biosolar merupakan hasil campuran sejumlah produk yang dihasilkan dari proses penyampuran. Penyampuran biosolar dilakukan dengan komposisi minyak nonfosil dan minyak fosil yang didapatkan dari bahan nabati. Proses penyampuran bertujuan memberikan karakteristik bahan bakar yang optimal saat digunakan pada mesin diesel (Nurhadiansah dan Kawano, 2012).

Pengembangan biosolar terus dilakukan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar fosil. Kelebihan biosolar antara lain energi terbarukan, karakteristik yang sama dengan solar, tidak menambah kandungan gas karbondioksida maka penyampuran biodiesel-biosolar mempengaruhi karakteristik pada mesin diesel (Nasir dkk, 2017). Menurut Hartantyadhi dkk (2016) penyampuran biodiesel dengan solar dengan perbandingan tertentu akan terdapat perbedaan performa/prestasi mesin berupa daya, torsi dan konsumsi bahan bakar spesifik pada motor diesel. Kelemahan biosolar antara lain viskositas minyak tinggi dan angka setana yang rendah jika dibandingkan dengan minyak solar (Nasir dkk, 2017; Nurhadiansah dan Kawano, 2012) Angka setana merupakan nilai tekanan maksimum yang terjadi pada mesin sebelum biosolar terbakar. Nilai angka setana yang rendah menyebabkan pembakaran biosolar tidak optimal dan mempengaruhi unjuk kerja mesin diesel. Menurut Nurhadiansah dan Kawano (2012) biosolar perlu penambahan zat aditif sehingga unjuk kerja mesin dapat optimum. Zat aditif

mempengaruhi peningkatan pada efisiensi thermis sebesar 4,5% dibanding pada bahan bakar biosolar murni.

Dengan berbagai kelebihan dan kelemahan maka diperlukan penelitian dengan menambahkan biodiesel pada biosolar sehingga didapatkan komposisi bahan bakar yang optimal untuk digunakan pada mesin diesel. Standart bahan bakar biosolar di Indonesia telah diatur menurut SNI (standart nasional Indonesia) 7182:2015. Pada Gambar 2.2 merupakan gambar biosolar yang diproduksi di Indonesia.



Gambar 2.2 Biosolar

2.2 Tanaman Kepuh (*Sterculia Foetida*)

Tanaman kepuh dapat dijumpai di daerah tropis. Pohon kepuh memiliki ciri dengan tinggi pohon berkisar sekitar 30 - 40 m dengan diameter mencapai 120 cm. Populasi kepuh di Indonesia banyak dijumpai di Jawa Tengah, Jawa Timur, Madura, Bali, dan Pulau-pulau karang namun secara luas persebaran kepuh hingga ke Afrika Timur, Asia Selatan, Asia Tenggara. Tanaman kepuh diperkirakan berasal dari Afrika tropis. Pohon kepuh dapat hidup pada 500 m di atas permukaan laut (Maryanti dan Laksmi, 2014). Pohon kepuh merupakan tanaman yang dianggap keramat yang banyak di jumpai di area pemakaman atau pura.

Pohon kepuh merupakan tanaman yang mudah tumbuh di daerah tropis, terutama di daerah daratan rendah, berbuah sangat lebat sepanjang tahun, banyak ditanam sebagai perintang jalan di luar kota, di hutan-hutan tropis dan di sekitar pemakaman. Saat ini pemanfaatan tanaman kepuh baru terbatas pada kayunya, yaitu untuk membuat peti dan kayu bakar. Di beberapa daerah, kulit buah kepuh dipakai untuk menghentikan pendarahan pada hidung, daunnya untuk obat demam, dan bijinya untuk obat batuk (Ahmad, 2012). Pemanfaatan biji kepuh sebagai bahan baku biodiesel masih jarang dilakukan saat ini (Rao dkk, 2015). Biji kepuh dapat menghasilkan rendemen minyak 89% (Ong dkk, 2013). Biji kepuh mengandung cukup besar minyak nabati yang terdiri asam lemak yaitu asam sterkulat sebesar 40% (Hendra dkk : 20, 2018). Tanaman kepuh juga mampu tumbuh dengan mudah di lahan kritis dan termasuk tumbuhan yang dapat tumbuh dengan cepat. Pohon kepuh di Indonesia tersaji pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Pohon kepuh (Rao dkk, 2015)

2.3 Potensi Bahan Baku Biodiesel Kepuh (*Sterculia Foetida*)

Bahan baku biodiesel banyak dijumpai di Indonesia. Bahan baku biodiesel berasal dari tumbuhan dan hewan (Ong dkk, 2013; Silitonga dkk, 2013). Biodiesel merupakan hasil dari proses esterifikasi dan transesterifikasi sehingga menghasilkan methyl ester (Silitonga dkk, 2013). Hasil produksi setiap jenis bahan

baku berbeda-beda menurut jenisnya. Pada Tabel 2.1 ditampilkan produksi bahan baku minyak nabati per hektar untuk diproses menjadi biodiesel.

Tabel 2.1 Produksi bahan baku minyak nabati per hektar

Tanaman	Kg/Ha	Tanaman	Kg /Ha
Gandum	183	Coklat	863
Sawit	189	Kopi	386
Alpukat	2217	Ketumbar	450
Kelapa	2260	Kepuh	850
Wijen	589	Jarak Pagar	1590
Labu	665	Macauba Palm	3375
Padi	696	Sawit	5000

Sumber: (Kuncahyo dkk, 2013)

Potensi bahan baku biodiesel tersebar di Indonesia. Di Indonesia lahan subur berpotensi untuk dijadikan sebagai lahan pertanian bahan baku biodiesel. Pada Tabel 2.2 ditampilkan tumbuhan penghasil minyak lemak pada biodiesel.

Tabel 2.2. Tumbuhan Indonesia penghasil minyak lemak

No	Nama Lokal	Sumber	Kadar Minyak %
1	Jarak pagar	Inti biji (kernel)	40-60
2	Kapuk/randu	Biji	24-50
3	Karet	Biji	40-50
4	Kepuh	Biji	45-55
5	Nyamplung	Inti biji	40-73
6	Bintaro	Biji	43-64
7	Alpukat	Daging buah	40-80
8	Padi	Dedak	20
9	Kemiri	Inti biji(kernel)	57-69
10	Wijen	Biji	45-55

Sumber: (Kuncahyo dkk, 2013)

Minyak kepuh merupakan minyak yang berasal dari biji buah pohon kepuh. Tanaman kepuh berbuah sepanjang tahun dan tersebar cukup luas di Indonesia. Buah tanaman kepuh diperas bijinya sehingga menghasilkan minyak. Minyak kepuh diproses menjadi biodiesel untuk menggantikan minyak solar. Biji kepuh dapat menghasilkan minyak sebanyak 55% pada biji segar dan 70,5% pada

biji kering. Kandungan asam lemak jenuh yang sedikit dari minyak biji kepuh membuat minyak kepuh berwujud cair pada suhu kamar (Sudrajat dkk, 2009). Gambar biji dan buah kepuh ditampilkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 (a) Biji kepuh (b) Buah kepuh (Rao dkk, 2015)

Pusat penelitian dan pengembangan hasil hutan melakukan pengujian fisiko kimia biodiesel yang ditampilkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Parameter fisiko kimia biodiesel

No.	Parameter	Satuan	Biodiesel Nyamplung	Biodiesel Kesambi	Biodiesel Kepuh	Biodiesel Bintaro
1.	Massa jenis pada 40 ⁰ C	kg/m ³	880,6	909	990,7	922,3
2.	Viskositas kinematik pada 40 ⁰ C	mm ² /s (cst)	5,724	14,8	4,28	3,162
3.	Air dan sedimen	% volume	0	0,490	0,05	0,025
4.	Bilangan asam	mg koh/g	0,76	0,877	0,63	0,45

Sumber : * Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan

2.4 Proses Pembuatan Biodiesel

Bahan baku biodiesel tidak dapat langsung digunakan langsung menjadi bahan bakar. Biodiesel harus diproses terlebih dahulu untuk menurunkan asam lemak bebas (ALB) dan viskositas karena dapat menghambat proses injeksi

pembakaran (Bachtiar dkk, 2019). Proses pembuatan biodiesel dilakukan dengan tiga proses yaitu degumming, esterifikasi dan transesterifikasi.

2.4.1 Degumming

Degumming merupakan proses awal pada pembuatan biodiesel untuk memisahkan getah pada minyak mentah. Getah terdiri dari alkaloid, fosfatida, karo-tenoid, khlorofil dan lain-lain (Hendra dkk : 25, 2018). Getah pada bahan bakar wajib dipisahkan agar minyak (trigliserida) tidak terjadi emulsi saat proses pengolahan minyak mentah. Proses degumming dapat dilakukan dengan penambahan H_3PO_4 , H_2SO_4 dan HCl. Beberapa penelitian pernah dilakukan dan menghasilkan perbedaan pada biodiesel dengan proses degumming. Penelitian yang dilakukan oleh Wahyu (2014) proses degumming dapat menurunkan emisi gas buang CO sebesar 9%. Ong dkk (2013) melakukan proses degumming dengan menambahkan sebesar 0,5% volume H_3PO_4 pada minyak mentah kepuh (*sterculia foetida*) dengan suhu $60^{\circ}C$ selama 30 menit. Getah/sisa kotoran minyak pada proses degumming dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Sisa kotoran pada proses degumming

Gambar 2.5 Hasil degumming biodiesel kepuh

2.4.2 Esterifikasi

Proses esterifikasi merupakan proses reaksi yang menghasilkan ester dengan proses reaksi asam karboksilat dan alkohol. Esterifikasi bertujuan merubah asam lemak bebas menjadi metil ester (Sartika dkk, 2015). Proses esterifikasi menggunakan katalis asam kuat seperti H_2SO_4 dan HCL dengan suhu rendah (Hendra dkk : 25, 2018). Menurut Elizabeth dkk (2013) jumlah katalis berbanding lurus dengan kecepatan reaksi. Jika jumlah katalis ditingkatkan maka

jumlah molekul yang bertumbuk akan bertambah dan kecepatan reaksi juga meningkat. Apabila langsung dilakukan transesterifikasi, maka asam lemak bebas akan menjadi emulsi sabun. Prinsipnya, proses esterifikasi dilakukan sebelum proses transesterifikasi. Proses akhir esterifikasi didapatkan pemisahan antar metanol dan minyak, metanol berada diatas sedangkan minyak berada di posisi bawah seperti pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Esterifikasi biodiesel kepuh

2.4.3 Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan proses akhir pembuatan biodiesel dengan tujuan mengonversi asam lemak menjadi metil ester dengan menggunakan katalis basa. NaOH dan KOH yang merupakan katalis basa yang banyak digunakan dalam proses transesterifikasi (Hendra dkk : 25, 2018). Tujuan penggunaan katalis basa agar mempercepat proses reaksi sehingga didapatkan hasil yang optimal. Proses transesterifikasi dilakukan dengan cara mengubah trigliserida dengan menambahkan alkohol sehingga menjadi ester dan gliserol (Bachtiar dkk, 2019). Beberapa cara agar dapat menghasilkan produk yang optimal yaitu lebih banyak menambahkan metanol/etanol ke dalam reaksi, temperatur pada saat proses transesterifikasi dalam kondisi rendah. Gambar transesterifikasi ditampilkan pada Gambar 2.7.

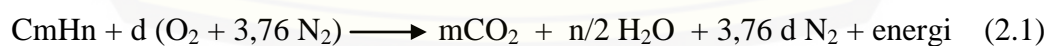


Gambar 2.7 Transesterifikasi biodiesel kepuh

2.5 Pembakaran

Proses pembakaran adalah reaksi yang sangat cepat antara bahan bakar dengan oksidator untuk menghasilkan produk. Menurut Triwibowo (2013) Pembakaran adalah oksidasi bahan bakar secara cepat yang disertai dengan produksi panas dan cahaya. Pembakaran secara umum mengandung unsur-unsur karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), dan sulfur (S). Sementara oksidator adalah segala substansi yang mengandung oksigen (misalnya udara) yang akan bereaksi dengan bahan bakar.

Pembakaran menghasilkan panas sehingga disebut sebagai proses oksidasi eksotermis. Menurut Irawan (2017) oksigen yang dibutuhkan untuk proses pembakaran diperoleh dari udara kering, di mana udara kering terdiri dari 21% oksigen, maka reaksi stoikiometrik pembakaran hidrokarbon murni C_mH_n dapat ditulis dengan persamaan 2.1 berikut ini:



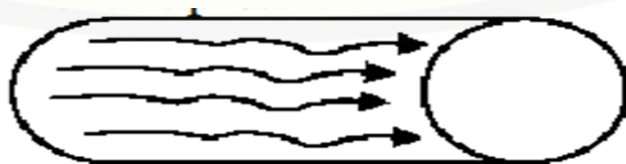
Dimana $d = 0,25 (4m + n)$, persamaan ini telah disederhanakan karena cukup sulit untuk memastikan proses pembakaran yang sempurna dengan rasio ekuivalen yang tepat dari udara. Jika terjadi pembakaran tidak sempurna, maka hasil persamaan di atas CO_2 dan H_2O tidak akan terjadi, akan tetapi terbentuk hasil oksidasi parsial berupa CO , CO_2 , dan H_2O . Juga sering terbentuk

hidrokarbon tak jenuh, formaldehida dan karbon. Pada temperatur yang sangat tinggi gas-gas pecah atau terdisosiasi menjadi gas-gas yang kecil dan molekul-molekul dari gas dasar akan terpecah menjadi atom-atom yang membutuhkan panas sehingga menyebabkan kenaikan temperatur.

2.5.1 Pembakaran Laminer

Penelitian tentang pembakaran pada awalnya mengarah pada mekanika fluida yang didalamnya terjadi reaksi kimia yang melepaskan sejumlah panas (Triwibowo, 2013). Dalam aliran laminer terjadi fluktuasi kecepatan, temperatur dan sifat-sifat fluida yang seragam, fluktuasi tersebut berperan dalam transfer energi dan momentum. Mekanisme laminer terdiri atas laju aliran yang sejajar yang berfluktuasi secara cepat yang mengangkut gumpalan-gumpalan fluida secara teratur, partikel-partikel saling bertabrakan membentuk aliran dan mencampur fluida secara efektif (Triwibowo, 2013).

Api laminer merupakan api berbentuk secara laminar atau teratur. Api jenis ini memiliki bentuk mengikuti streamline aliran tanpa membentuk turbulensi atau gerakan tidak beraturan. Aliran fluida pada api laminer bergerak dengan kondisi lapisan yang membentuk garis alir dan tidak berpotongan antara yang satu dengan yang lain. Pada aliran laminer cenderung relatif rendah pada kecepatannya dan gerak pada fluidanya sejajar. Partikel fluida pada api laminer mengalir dengan bentuk garis lurus dan sejajar. Filamen aliran tergambar dalam bentuk panjang. Bilangan Reynolds (Re) pada aliran laminar mempunyai nilai < 2000 . Pada kondisi aliran laminer, aliran dari gas terbakar mengikuti streamline aliran tanpa adanya api turbulen dimana panas dan massa tergantung pada sifat molekul dari bahan bakar. Gambar aliran laminer dapat dilihat pada Gambar 2.8.

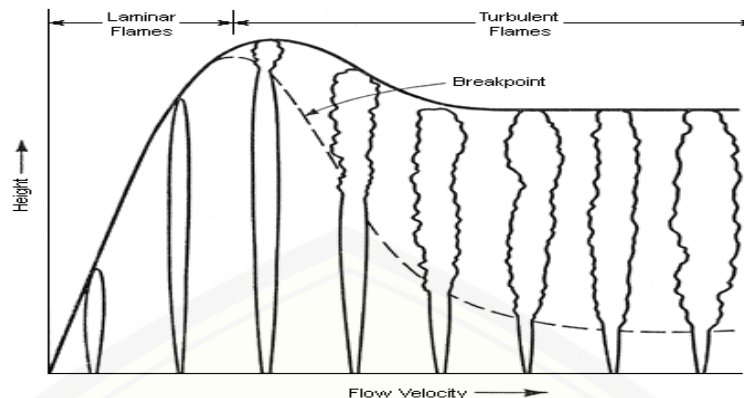


Gambar 2.8 Aliran laminer (Ulfah dkk, 2016)

2.5.2 Pembakaran Turbulen

Turbulensi merupakan suatu fenomena yang tidak linier, tiga dimensi, dan berubah terhadap waktu. Pada aliran turbulen, secara kontinu terbentuk pusaran-pusaran besar yang kemudian terpecah menjadi pusaran-pusaran yang lebih kecil dan akhirnya menghilang (Triwibowo, 2013). Partikel-partikel fluida yang semula berjauhan dapat dibawa saling mendekati dengan adanya pusaran pada aliran turbulen ini. Sebagai konsekuensinya, pertukaran panas, massa dan momentum menjadi sangat efektif. Pencampuran yang efektif ini akan menyebabkan koefisien difusi yang besar untuk perpindahan massa, momentum, dan panas. Tetapi kehilangan energi yang terjadi pada aliran turbulen juga lebih besar dibandingkan pada aliran laminar. Hal ini terjadi karena pusaran-pusaran yang terjadi melakukan kerja melawan sehingga energi yang terkandung dalam pusaran akan menjadi panas. Pembakaran turbulen terjadi secara acak.

Pola aliran nyala api yang tidak beraturan dan sangat aktif merupakan nyala api turbulen. Pada pembakaran gasifikasi menunjukkan indikasi diskontinuitas atau produksi yang cenderung tidak konstan membuat api yang terbentuk juga mengalami hambatan dalam pertumbuhannya. Dalam keadaan aliran turbulen maka turbulensi yang terjadi membangkitkan tegangan geser yang merata di seluruh fluida sehingga menghasilkan kerugian-kerugian aliran (Ulfah dkk, 2016). Gas sebagai reaktan akan direaksikan bersama oksigen bersamaan dengan saat penyalaan. Kualitas dari nyala api juga tak lepas dari nilai kalor yang terkandung dalam syngas yang dihasilkan oleh proses gasifikasi. Semakin tinggi kandungan zat yang mudah terbakar maka kualitas api juga akan semakin tinggi. Turbulen aliran tiga dimensi yang tidak teratur terdiri dari pusaran (transport panas, massa, dan momentum yang beberapa kali lipat lebih besar daripada molekul konduktivitas, difusivitas, dan viskositas). Angka Reynolds (Re) pada api turbulen > 4000 . Model Arus *laminar* vs arus *turbulent* pada nyala api ditampilkan pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Arus laminar vs arus turbulent (Kurnia, 2012)

Meningkatnya turbulensi akan meningkatkan propagasi api. Namun intensitas turbulensi terlalu banyak menyebabkan tingkat propagasi menurun dan menyebabkan api padam. Turbulensi di pengaruhi aliran bahan bakar yang menguap, kecepatan aliran bahan bakar, dan media penguapan bahan bakar. Gambar aliran turbulen dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Aliran turbulen (Ulfah dkk, 2016)

2.6 Air Fuel Ratio (AFR)

AFR adalah perbandingan antara bahan bakar dengan udara. Bahan bakar dan udara dapat dibandingkan antara volume atau berat. AFR terbagi menjadi tiga komposisi yaitu komposisi miskin bahan bakar, komposisi stokiometri dan komposisi kaya bahan bakar. AFR kaya adalah komposisi perbandingan bahan bakar jumlahnya lebih dominan dibanding dengan udara. Komposisi AFR *stokiometri* merupakan komposisi bahan bakar dan udara seimbang sedangkan AFR miskin adalah komposisi bahan bakar lebih sedikit dan banyak dominan udara. Perbedaan pada AFR dapat mempengaruhi reaksi pada pembakaran. Persamaan perhitungan bahan bakar dapat dilihat pada persamaan 2.2 berikut ini:

$$AFR = \frac{m_{fuel}}{m_{air}} + \frac{v_{fuel}}{v_{air}} \quad (2.2)$$

Keterangan:

AFR : *air fuel ratio*;

m_{fuel} : massa bahan bakar;

m_{air} : massa udara;

v_{fuel} : volume bahan bakar;

v_{air} : volume udara.

Seperti yang terlihat pada Gambar 2.11 menunjukkan tipe nyala api yang berbeda. Perbedaan tersebut disebabkan oleh perbandingan AFR yang berbeda. Pada gambar paling kiri kondisi campuran kaya bahan bakar dengan proses *premixed* awal udara-bahan bakar yang memadai, menghasilkan api yang lebih panjang (Bahri, 2015). Dapat diamati gambar api dari kiri menuju ke arah kanan dengan proses *premixed* bahan bakar menjadi kurang baik, sehingga menghasilkan campuran miskin bahan bakar yang sudah tercampur (Riwu dkk, 2016).



Gambar 2.11 Nyala api (Riwu dkk, 2016)

2.7 Ekvivalen Ratio (ϕ)

Ekivalen ratio merupakan metode yang sering digunakan dalam melakukan pengujian bahan bakar. Ekvivalen ratio merupakan perbandingan antara *air fuel ratio* (AFR) stokiometri dengan AFR aktual. Perbandingan AFR dibagi menjadi tiga bagian yaitu $\phi < 1$ merupakan perbandingan kaya udara, $\phi = 1$

merupakan perbandingan stokiometri, $\varphi > 1$ merupakan perbandingan kaya bahan bakar. Persamaan ekivalen ratio (φ) dapat dilihat pada persamaan 2.3 berikut ini:

$$\varphi = \frac{AFR_{\text{stok}}}{AFR_{\text{akt}}} \quad (2.3)$$

Keterangan :

AFR_{sto} : *Air fuel ratio* stokiometri;

AFR_{akt} : *Air fuel ratio* aktual.

2.8 Karakteristik Pembakaran

Karakteristik berasal dari kata karakter yang berarti perilaku atau sifat. Pembakaran didefinisikan suatu reaksi kimia eksotermal dengan kalor yang dibangkitkan sangat besar dan menghasilkan nyala, reaksi ini berlangsung spontan dan berkelanjutan karena adanya suplai kalor (Caroko dkk, 2015) sedangkan menurut Triwibowo (2013) pembakaran adalah oksidasi bahan bakar secara cepat yang disertai dengan produksi panas dan cahaya atau api. Maka karakteristik pembakaran dapat didefinisikan sebagai perilaku bahan bakar yang beroksidasi secara cepat dan berkelanjutan yang disertai produk berupa panas dan cahaya. Dalam proses pembakaran, bahan bakar dan udara bereaksi sehingga menghasilkan pembakaran.

Karakteristik pembakaran ditandai dengan perbedaan visualisasi pada api. penggunaan kedua bahan bakar tersebut memiliki posisi nyala api dan warna nyala api yang berbeda-beda. Menurut Ilminnafik dkk (2017) karakteristik pembakaran memberikan suatu pengetahuan baru tentang perbedaan pada setiap variasi bahan bakar dan variasi nilai rasio ekuivalen. Hal ini disebabkan karena zat yang ada pada masing-masing bahan bakar berbeda. peningkatan nilai rasio ekuivalen akan meningkatkan pula kandungan massa yang dikandung oleh campuran reaktan. Sehingga, apabila intensitas massa yang terkandung terlalu banyak, proses reaksi akan semakin sulit dan menyebabkan kecepatan reaksi pembakaran menurun. Karakteristik pembakaran mempengaruhi pola kecepatan

pembakaran dan tinggi api selain itu terdapat dua tipe mode nyala api, yaitu api *premixed* dan api difusi.

2.8.1 Laju Pembakaran Laminar (SL)

Laju pembakaran laminar merupakan jumlah bahan bakar yang terbakar dengan aliran reaktan tersusun secara laminar dan angka Reynolds < 2000 . Beberapa masalah yang berhubungan dengan laju pembakaran adalah karakteristik bahan bakar dan ekivalen ratio. Karakteristik bahan bakar tersebut meliputi nilai viskositas, densitas dan nilai kalor. Viskositas dan densitas yang tinggi dapat dapat menyulitkan penyalaan dan mempengaruhi temperatur pembakaran. Selain itu viskositas dan densitas yang tinggi pada bahan bakar mengindikasikan bahwa bahan bakar akan lebih sulit terbakar (Arsad dkk, 2015). Besarnya nilai viskositas dan densitas dipengaruhi oleh kandungan gliserol pada bahan bakar, khususnya bahan bakar biodiesel. Bahan bakar membutuhkan banyak udara dan temperatur yang tinggi agar laju pembakaran meningkat (Wirawan dkk, 2014). Laju pembakaran akan meningkat dengan meningkatnya laju aliran udara dan peningkatan temperatur. Persamaan untuk menghitung laju laminar (SL) (Wirawan dkk, 2013) dapat dilihat pada persamaan 2.4 berikut ini:

$$SL = V \cdot \sin \alpha \quad (2.4)$$

Keterangan :

SL : laju pembakaran laminar (*laminar burning velocity*) (cm/s);

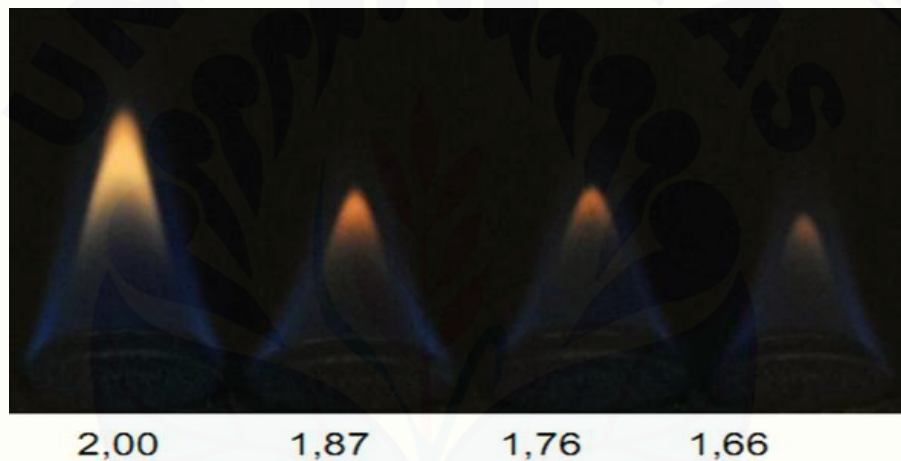
V : kecepatan reaktan (cm/s);

α : sudut api yang diukur pada *bunsen burner* ($^{\circ}$).

2.8.2 Tinggi Api

Pembakaran menghasilkan energi dan cahaya. Cahaya merupakan gambar reaksi pembakaran atau yang biasa disebut kerucut api. Peningkatan tinggi kerucut api dipengaruhi oleh nilai kalor pada bahan bakar (Listyadi dkk, 2018). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Zhen dkk (2014) menyatakan bahwa

penambahan konsentrasi bahan bakar dapat meningkatkan tinggi kerucut api namun diikuti dengan penurunan laju pembakaran laminar. Penelitian pembakaran *premixed* yang pernah dilakukan oleh Bahri dkk (2015) menunjukkan semakin kaya bahan bakar maka pola api akan semakin meningkat. Hal ini dipengaruhi oleh ekivalen ratio, semakin meningkat ekivalen ratio maka komposisi udara semakin berkurang sedangkan komposisi bahan bakar semakin meningkat sehingga bahan bakar tidak bereaksi secara keseluruhan sisa bahan bakar yang tidak bereaksi terdorong keluar pada ujung *bunsen burner* dan menyebabkan pola tinggi api semakin meningkat. Contoh pola api pembakaran *premixed* pada Gambar 2.12.

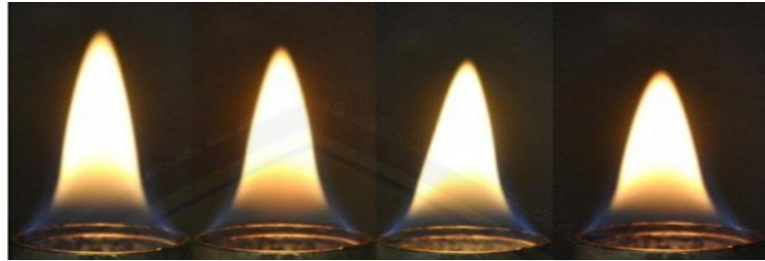


Gambar 2.12 Tinggi api pembakaran *premixed* (Bahri dkk, 2015)

2.8.3 Api *Premixed*

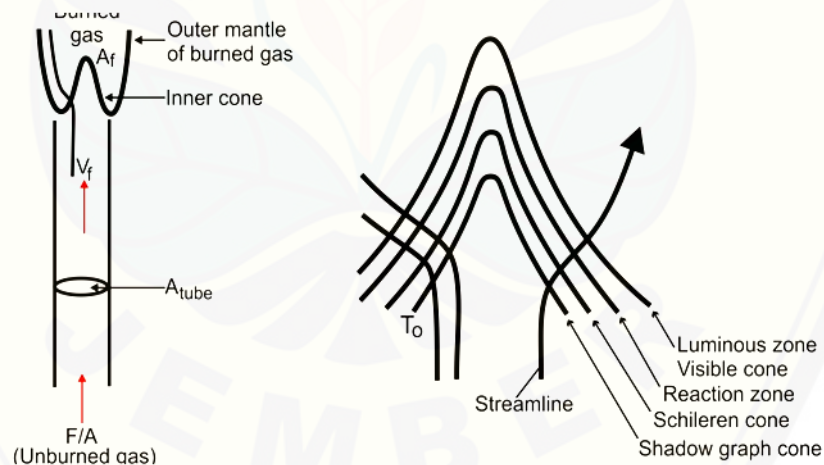
Api *premixed* adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar bercampur dengan udara. Tempat udara dan bahan bakar bercampur pada *mixing chamber*. Api *premixed* dapat dikelompokkan berdasarkan komposisinya. Komposisi api *premixed* terdiri dari kaya udara, *stokiometri* dan kaya bahan bakar. Pada $\phi = 1$ kecepatan api dapat meningkat dan optimal karena udara-bahan bakar seimbang (Riwu dkk, 2016). Laju pembakaran menurun ketika ekivalen ratio meningkat (Wirawan dkk, 2013). Menurut Iminnafik dkk (2017) Ekivalen ratio sangat berpengaruh terhadap laju pembakaran, hal ini dipengaruhi oleh komposisi kimia

bahan bakar yang digunakan dan intensitas massa yang dikandung oleh reaktan.. Contoh gambar api *premixed* ditampilkan pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Nyala api *premixed* (Bahri, 2015)

Nyala api pada *bunsen burner* adalah nyala rangkap, yaitu inti nyala *premix* yang kaya akan bahan bakar dikelilingi dengan nyala difusi. Bentuk nyala api sangat ditentukan oleh kombinasi pengaruh profil kecepatan perambatan nyala api (*flame propagation*) dan pengaruh hilangnya panas ke dinding tabung (*flame quenching*). Gambar 2.14 menunjukkan secara skematik suatu struktur nyala api yang dihasilkan oleh suatu *bunsen burner*.

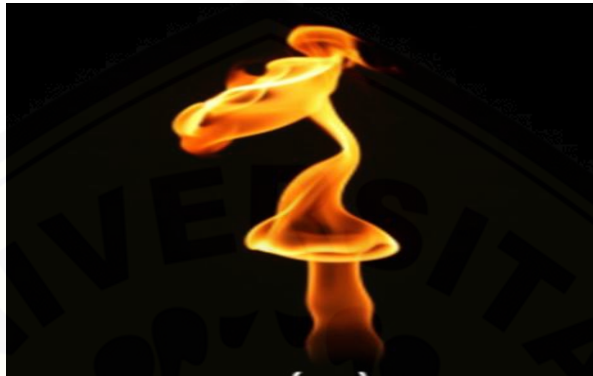


Gambar 2.14 Aliran nyala api *premixed* (Kurnia, 2012)

2.8.4 Api Difusi (*Non-Premixed*)

Api *difusi* adalah api yang dihasilkan ketika bahan bakar kontak langsung dengan udara lingkungan. Oksidator pembakaran difusi dari udara luar mempengaruhi nyala api yang dihasilkan. Pemunculan nyala api akan tergantung pada sifat dari bahan bakar dan kecepatan pemancaran bahan bakar terhadap udara

sekitarnya. Laju pencampuran bahan bakar dengan udara lebih rendah dari laju reaksi kimia. Nyala api difusi pada suatu pembakaran cenderung mengalami pergerakan nyala lebih lama dan menghasilkan asap lebih banyak daripada nyala api *premix*. Model nyala api difusi ditampilkan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Nyala api difusi (Made dan Syihan, 2017)

2.8.5 Api Parsial

Penggabungan pembakaran *premixed* dan difusi pada *bunsen burner* mengakibatkan terbentuknya api parsial. Campuran bahan bakar dan udara yang lebih kaya menyebabkan kekurangan oksigen untuk mencapai pembakaran sempurna sehingga menghasilkan pembakaran parsial. Pembakaran parsial menghasilkan karbon monoksida (CO) dan hidro karbon (HC) yang tidak terbakar sehingga keluar pada gas buang. Pembakaran parsial dengan menggunakan *bunsen burner*, oksidator dan bahan bakar dicampur terlebih dahulu pada bagian ujung *bunsen burner*. Pencampuran oksidator dan bahan bakar disalurkan pada saluran suplai yang terdapat pada bagian ujung *bunsen burner*. Contoh gambar pembakaran parsial pada *bunsen burner* terdapat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Pembakaran parsial pada *bunsen burner*

2.9 Metode Pengujian *Bunsen Burner*

Metode pengujian dengan menggunakan *bunsen burner* merupakan metode yang sering digunakan dalam proses pengamatan pembakaran api secara visual (Wirawan dkk, 2013). Pengamatan proses pembakaran bertujuan untuk menentukan kualitas pembakaran dan menentukan nilai laju pembakaran. Nilai laju pembakaran diperoleh dengan cara mengkalikan kecepatan reaktan dengan sudut api yang terbentuk. Pengujian laju pembakaran dengan menggunakan *bunsen burner* lebih mudah untuk dilakukan, serta memungkinkan untuk meneliti variasi ekivalen ratio. Gambar *bunsen burner* ditampilkan pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 *Bunsen burner*

2.10 Penelitian Terdahulu

Zhen Dkk, (2014) melakukan pengujian eksperimental pada biogas dengan menambahkan hidrogen untuk mengetahui karakteristik pembakaran. Hasil pengujian yang dilakukan dengan penambahan hidrogen menghasilkan peningkatan pada laju pembakaran laminar namun nilai tinggi api berkurang.

Bahri dkk, (2015) melakukan pengujian eksperimental pada minyak nabati. Pengujian menunjukkan bahwa komposisi kaya bahan bakar mempengaruhi sudut api. Sudut api semakin mengecil hingga padam. Fenomena ini terjadi karena komposisi bahan bakar yang semakin kaya udara menyebabkan meningkatnya pembakaran difusi.

Wirawan dkk (2013) melakukan penelitian tentang pembakaran *premixed* minyak nabati pada *perforated burner*. Dengan hasil menunjukkan bahwa minyak kelapa murni terjadi penurunan laju pembakaran (SL) pada *perforated burner* seiring dengan meningkatnya ekivalen ratio (ϕ). Gliserol membutuhkan udara lebih agar bahan bakar dapat terurai. Laju pembakaran laminar tertinggi pada campuran ekivalen ratio rendah.

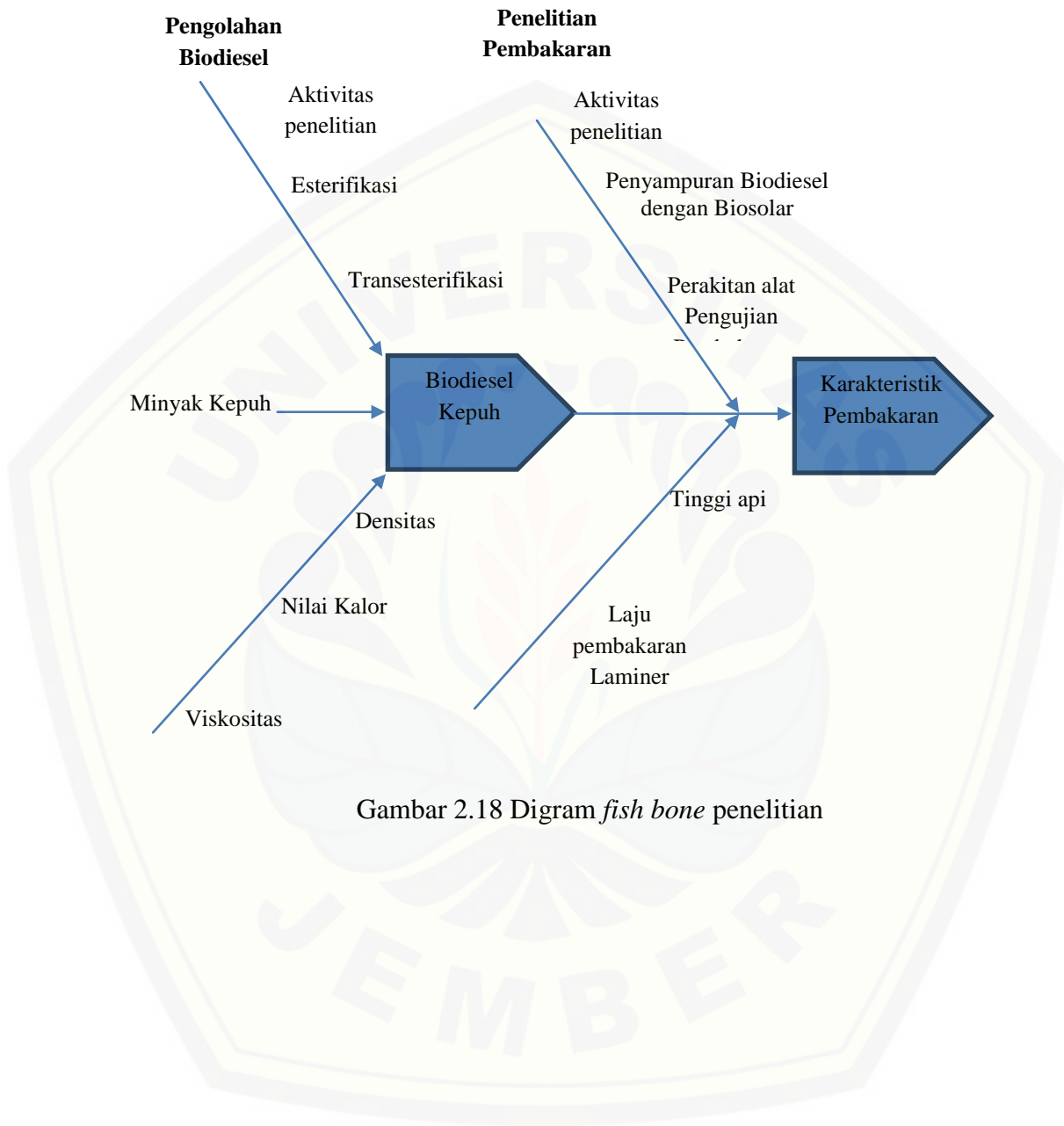
Listyadi dkk (2018) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh kandungan gas CO₂ pada biogas terhadap karakteristik pembakaran *premix* dengan hasil menunjukkan bahwa kandungan CO₂ dalam biogas berpengaruh terhadap karakteristik nyala api *premix*. Pada kandungan oksigen dalam reaktan berpengaruh signifikan terhadap perubahan lebar api *premix*. Nilai kalor mempengaruhi tinggi api.

Riwu (2016) melakukan penelitian pembakaran *premixed* minyak jarak dengan *liquefied petroleum gas* (LPG). Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar persentase LPG, maka nyala api semakin stabil pada nilai ekivalen ratio rendah. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar prosentase penambahan bahan bakar LPG, maka laju pembakaran semakin meningkat pada ekivalen ratio yang ramping. Nilai besar sudut api mempengaruhi laju pembakaran, karena nilai sudut kerucut api berbanding lurus dengan kecepatan pembakaran.

2.11 Hipotesa

Penggunaan biodisel kepuh (*sterculia foetida*) dengan komposisi B0% biodiesel, B10% biodiesel, B20% biodiesel, B30% biodiesel, B40% biodiesel dan B100% biodiesel serta dengan variasi ekivalen ratio 0,8; 1 dan 1,2 akan mempengaruhi karakteristik pembakaran. Karakteristik pembakaran mempengaruhi nilai laju pembakaran laminar, sudut api dan tinggi api. Peningkatan ekivalen ratio (ϕ) akan mempengaruhi peningkatan tinggi api dan menurunkan laju pembakaran laminar. Penurunan laju pembakaran laminar disebabkan sudut api yang terbentuk lebih kecil seiring dengan meningkatnya

ekivalen ratio (ϕ) namun tinggi api semakin meningkat. Diagram *fish bone* pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2.18 Digram *fish bone* penelitian

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Bahan bakar yang digunakan dalam penelitian adalah biodiesel kepuh (*sterculia foetida*). Bahan bakar divariasikan dengan komposisi B0% biodiesel, B10% biodiesel, B20% biodiesel, B30% biodiesel, B40% biodiesel dan B100% biodiesel. Komposisi bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi bahan bakar

Bahan bakar	Komposisi bahan bakar
B0% biodiesel	0% biodiesel kepuh
B10% biodiesel	10% biodiesel kepuh dan 90% biosolar
B20% biodiesel	20% biodiesel kepuh dan 80% biosolar
B30% biodiesel	30% biodiesel kepuh dan 70% biosolar
B40% biodiesel	40% biodiesel kepuh dan 60% biosolar
B100% biodiesel	100% biodiesel

Ekivalen ratio pengujian terdiri dari (ϕ) 0,8; 1 dan 1,2. Campuran bahan bakar diuji dengan *bunsen burner*. Pengujian tahap ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan biodiesel kepuh dan pengaruh ekivalen ratio terhadap karakteristik pembakaran. Metode penelitian dilakukan dengan menghitung laju pembakaran laminar serta mengukur tinggi dan sudut api.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

3.2.1 Tempat Penelitian

a. Pembuatan alat

Pembuatan alat dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Pengujian biodiesel dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya.

b. Pengamatan Karakteristik Pembakaran

Pengamatan karakteristik pembakaran dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember.

3.2.2 Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama kurang lebih 1 bulan pada tanggal 1 Oktober – 30 Oktober 2019.

3.3 Alat dan Bahan Penelitian

3.3.1 Alat Pengujian Pembakaran

- | | | |
|--------------------------------|----------------------------|--------------------|
| - Lem | - Gelas ukur | - Klem |
| - Selang silikon | - Filter udara | - Kertas teflon |
| - <i>Freeware ImageJ</i> | - Dimer | - Obeng |
| - <i>Thermocontrol</i> | - Kabel | - Kompresor |
| - <i>Heater</i> nikelin 0,6 mm | - <i>Syringe pump</i> | - <i>Flowmeter</i> |
| - <i>Thermocouple</i> | - <i>Bunsen burner</i> | |
| - <i>Syringe</i> 5 ml | - Kamera Fujifilm | |
| - Selang kompresor | 480 <i>frame/s</i> 224x168 | |

3.3.2 Bahan Pengujian Pembakaran

- Biosolar
- Biodiesel kepuh (*sterculia foetida*)

3.3.3 Alat Pembuatan Biodiesel

- | | |
|---------------------------|----------------|
| - Botol penyimpanan | - Gelas beaker |
| - Timbangan digital | - Gelas ukur |
| - <i>Magnetic stirrer</i> | - Corong |
| - <i>Heater</i> | - Buret |
| - <i>Thermocontrol</i> | - Panci |

3.3.4 Bahan Pembuatan Biodiesel

- H₃PO₄
- Metanol

- H₂SO₄
- NaOH
- Aquades
- Minyak kepuh

3.4 Variabel Penelitian

3.4.1 Variabel Bebas

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

1. Komposisi biodiesel dan biosolar;
2. Ekuivalen ratio.

3.4.2 Variabel Terikat

Variabel terikat merupakan variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan sepenuhnya oleh peneliti, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebasnya. Penelitian ini mempunyai variabel terikat yang meliputi data-data yang diperoleh saat pengujian pembakaran untuk mengetahui karakteristik api dengan menambahkan biodiesel kepuh pada biosolar, data-datanya yang meliputi:

1. Sudut api;
2. Tinggi api.

3.4.3 Variabel Kontrol

Variabel kontrol merupakan variabel yang besarnya sebagai pengendali dalam proses penelitian, tetapi besarnya tergantung pada variabel bebas dan variabel terikat. Penelitian ini mempunyai variabel kontrol sebagai berikut:

1. Temperatur ruangan;
2. Kecepatan angin.

3.5 Metode Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang dipergunakan dalam pengujian ini meliputi:

- a. Data primer, merupakan data yang diperoleh langsung dari pengukuran sudut api pada masing-masing pengujian.
- b. Data sekunder, merupakan data yang diperoleh dari literatur, perhitungan maupun hasil pengujian kecepatan pembakaran laminar.

3.6 Tahap Pengujian

Prosedur pengujian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan biodiesel kepuh pada biosolar. Salah satu prosedur yang dilakukan dalam pengujian adalah sebagai berikut:

3.6.1 Tahap Persiapan Biodiesel Kepuh

Tahap penyiapan minyak kepuh dilakukan dengan membeli minyak mentah kepuh pada bapak Samino di Jawa Tengah sebagai pengepul minyak kepuh. Minyak kepuh kemudian diproses menjadi biodiesel dengan cara sebagai berikut:

1. Proses Degumming

Proses degumming bertujuan memisahkan getah atau kotoran pada minyak mentah. Proses degumming dilakukan dengan cara menambahkan H_3PO_4 pada minyak kepuh sebanyak 1% volume. Kemudian setelah ditambahkan diaduk dengan *magnetic stirrer* selama 30 menit dengan suhu $60^{\circ}C$. Setelah selesai didiamkan selama 4 jam.

2. Proses Esterifikasi

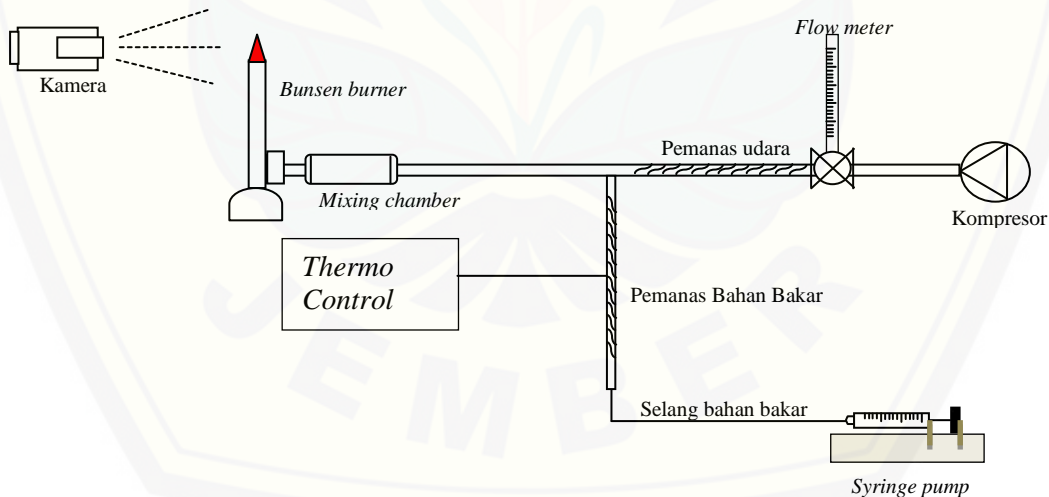
Proses esterifikasi bertujuan menurunkan asam lemak bebas pada minyak kepuh. Proses esterifikasi dilakukan dengan menambahkan H_2SO_4 sebesar 1% volume minyak kepuh setelah proses degumming. Kemudian minyak kepuh ditambahkan metanol dengan perbandingan 1 : 22 mol metanol. Kemudian diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada temperatur $60^{\circ}C$. Setelah selesai diamkan selama 8 jam sehingga metanol dan minyak pisah.

3. Proses Transesterifikasi

Proses transesterifikasi merupakan proses akhir pembuatan biodiesel. Transesterifikasi bertujuan mengonversi asam lemak menjadi methyl ester. Transesterifikasi dilakukan dengan cara menambahkan NaOH sebesar 1% berat minyak kepuh. Kemudian ditambah dengan metanol dengan perbandingan 1 : 6 mol. Satu mol minyak kepuh dan 6 mol metanol. Langkah selanjutnya campuran diaduk dengan menggunakan *magnetic stirrer* selama 3 jam pada temperatur 60°C . Setelah selesai diamkan selama 8 jam sehingga metanol dan minyak pisah.

3.6.2 Tahap Persiapan Pengujian Pembakaran

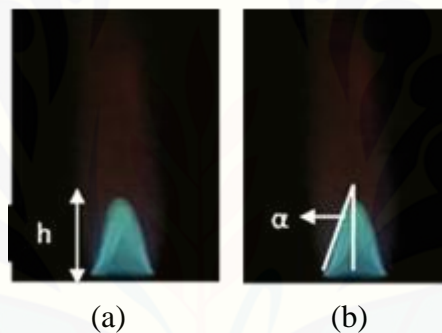
Tahap persiapan pengujian laju pembakaran laminar dengan menggunakan *bunsen burner* sebagai tempat visual api. Dimensi *bunsen burner* dengan diameter 10 mm dan tinggi 140 mm. Skema alat pengujian pembakaran laminar dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Skema pengujian pembakaran laminar

Proses pengujian dilakukan dengan mengatur debit bahan bakar pada *syringe pump* sebesar 1 ml/menit. Kemudian dilanjutkan dengan mengatur debit udara yang akan dilakukan penyampuran dengan bahan bakar. Pengaturan debit

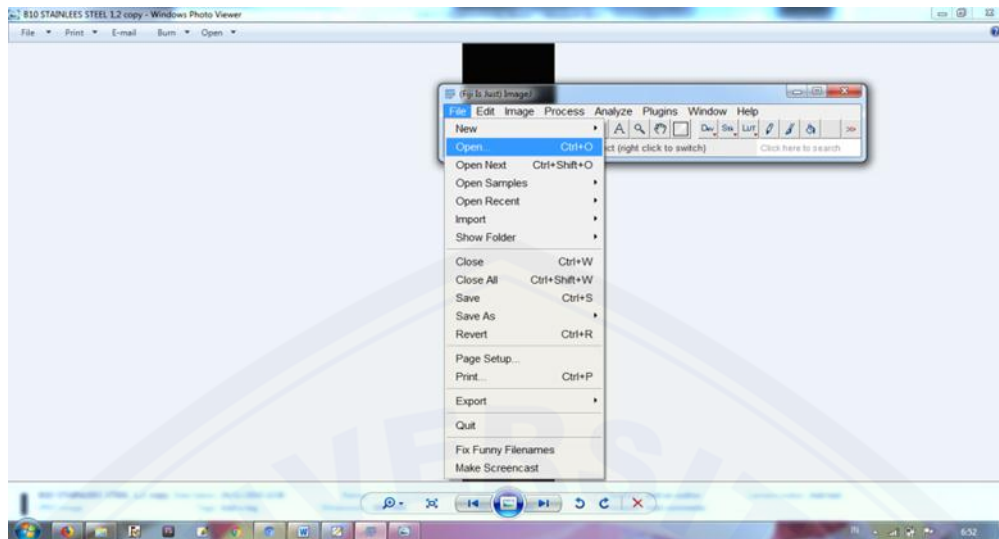
udara diatur pada *flow meter* dengan debit udara sesuai perhitungan yang terlampir pada Lampiran A. Bahan bakar dan udara dipanaskan melalui pipa pada temperature 200°C . Udara dipanaskan agar kandungan air dari kompresor hilang. Uap bahan bakar dicampur dengan udara pada *mixing chamber*. Setelah proses penyampuran udara dan bahan bakar maka campuran dialirkan menuju *bunsen burner* dan dinyalakan. Nyala api yang fluktuatif membutuhkan perekaman yang cepat. Api direkam dengan kamera fujifilm 480 frame/s 224x168 agar memudahkan dalam menganalisa sudut dan tinggi api. Setelah proses pengujian dan pengambilan data selesai, langkah selanjutnya adalah merekap dan menyimpan data pengujian. Data gambar api yang diperoleh diukur tinggi (h) dan sudut api (α) pada kerucut api bagian dalam seperti ditunjukkan pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 (a) Pengujian tinggi dan (b) Sudut api biodiesel

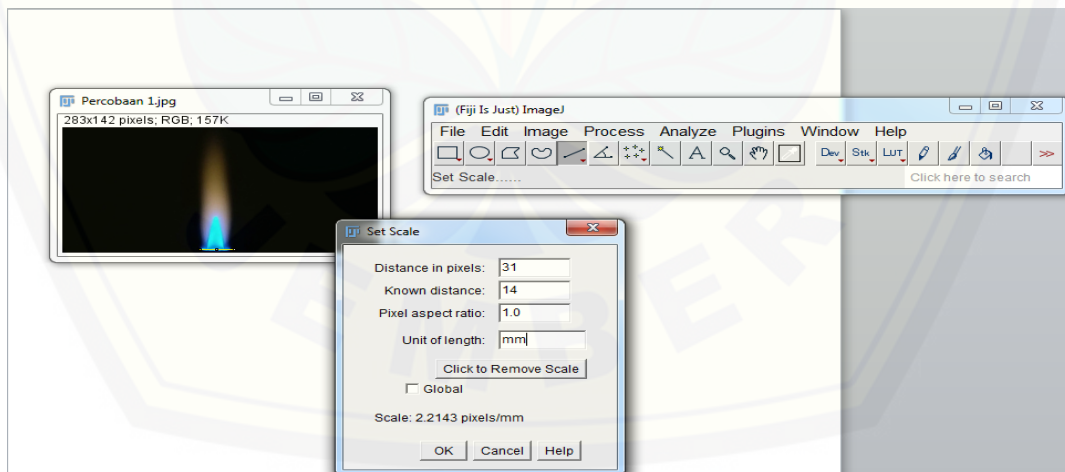
Hasil perekaman gambar api saat pengujian berupa video. Video harus dikonversi menjadi bentuk potongan gambar. Cara mengkonversi menjadi potongan gambar menggunakan program *DVDVideoSoft Free Studio*. Setelah menjadi gambar langkah selanjutnya mengukur sudut dan tinggi api. Pengukuran menggunakan program *freeware imageJ*. Satuan tinggi api menggunakan milimeter (mm). Berikut langkah-langkah cara menghitung sudut dan tinggi api yang ditampilkan pada Gambar 3.3 – Gambar 3.6.

Langkah pertama buka aplikasi *imageJ*, pilih gambar dengan memilih *File* kemudian pilih *Open* seperti pada Gambar 3.3.



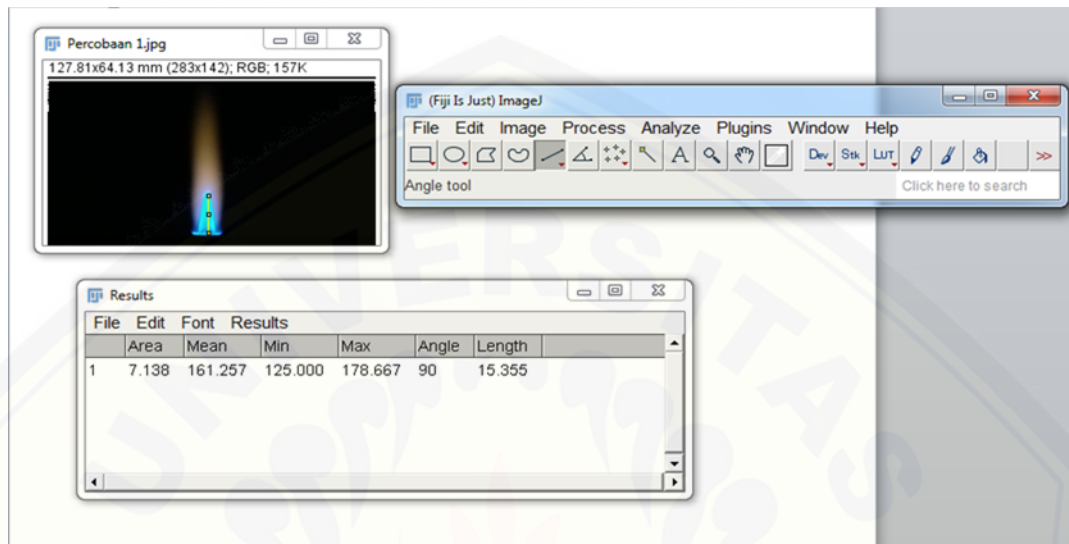
Gambar 3.3 Contoh pengambilan data gambar menggunakan *freeware imageJ*

Langkah kedua pilih *Straight* untuk mengukur tinggi api kemudian ukur benda kerja yang diketahui ukurannya, yang diketahui diameter *bunsen burner* sebesar 10 mm kemudian pilih *analyze* dan dilanjutkan pilih *set scala*, isi *know distance* sesuai benda kerja yang diketahui ukurannya. Langkah pengukuran seperti pada Gambar 3.4.



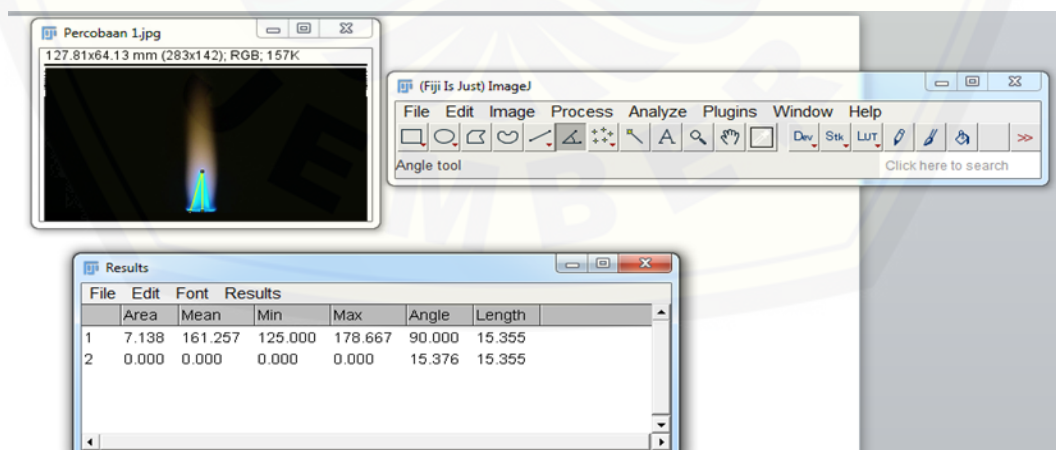
Gambar 3.4 Contoh *set scala* ukuran sebenarnya pada gambar

Langkah ketiga ukur tinggi api pada gambar untuk menentukan tinggi api sebenarnya dan tekan `ctrl + m` sehingga muncul *results* ukuran tinggi api, seperti pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Contoh pengukuran tinggi api

Langkah keempat pengukuran sudut api pada gambar dengan cara pilih *Angle tool* kemudian dilanjutkan dengan mengukur sudut pada kerucut api bagian dalam. Tekan `ctrl + m` sehingga muncul *result* dan muncul ukuran sudut api. Contoh pengukuran seperti pada Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Contoh pengukuran sudut api

Langkah selanjutnya rekap masing-masing data hasil pengujian tinggi dan sudut api masukkan pada tabel yang telah disediakan.

3.7 Rekap Pengambilan Data

Untuk mencatat data hasil pengujian karakteristik pembakaran laminar biosolar dengan penambahan biodiesel kepuh maka disediakan tabel hasil pengujian seperti Tabel 3.2 dan Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Tabel pengujian tinggi api

Pengujian	Komposisi bahan bakar					
	B0	B10	B20	B30	B40	B100
Pengujian 1						
Pengujian 2						
Pengujian 3						

Tabel 3.3 Tabel pengujian laju pembakaran

Pengujian	Komposisi bahan bakar					
	B0	B10	B20	B30	B40	B100
Pengujian 1						
Pengujian 2						
Pengujian 3						

Untuk menentukan nilai laju pembakaran dan kecepatan reaktan menggunakan persamaan (3.2) dan (3.3).

$$S_L = v \cdot \sin \alpha \quad (3.1)$$

Keterangan :

S_L : laju pembakaran laminar (cm/s);

V : kecepatan reaktan (cm/s);

α : sudut api yang terbentuk ($^{\circ}$);

$$V = \frac{QU_{udara} + Q_{FueI}}{A} \quad (3.2)$$

Keterangan :

V : kecepatan reaktan (cm/s);

Q_{udara} : debit udara (cm/s);

Q_{fuel} : debit bahan bakar (cm/s);

A : luas permukaan *bunsen burner* (cm²).

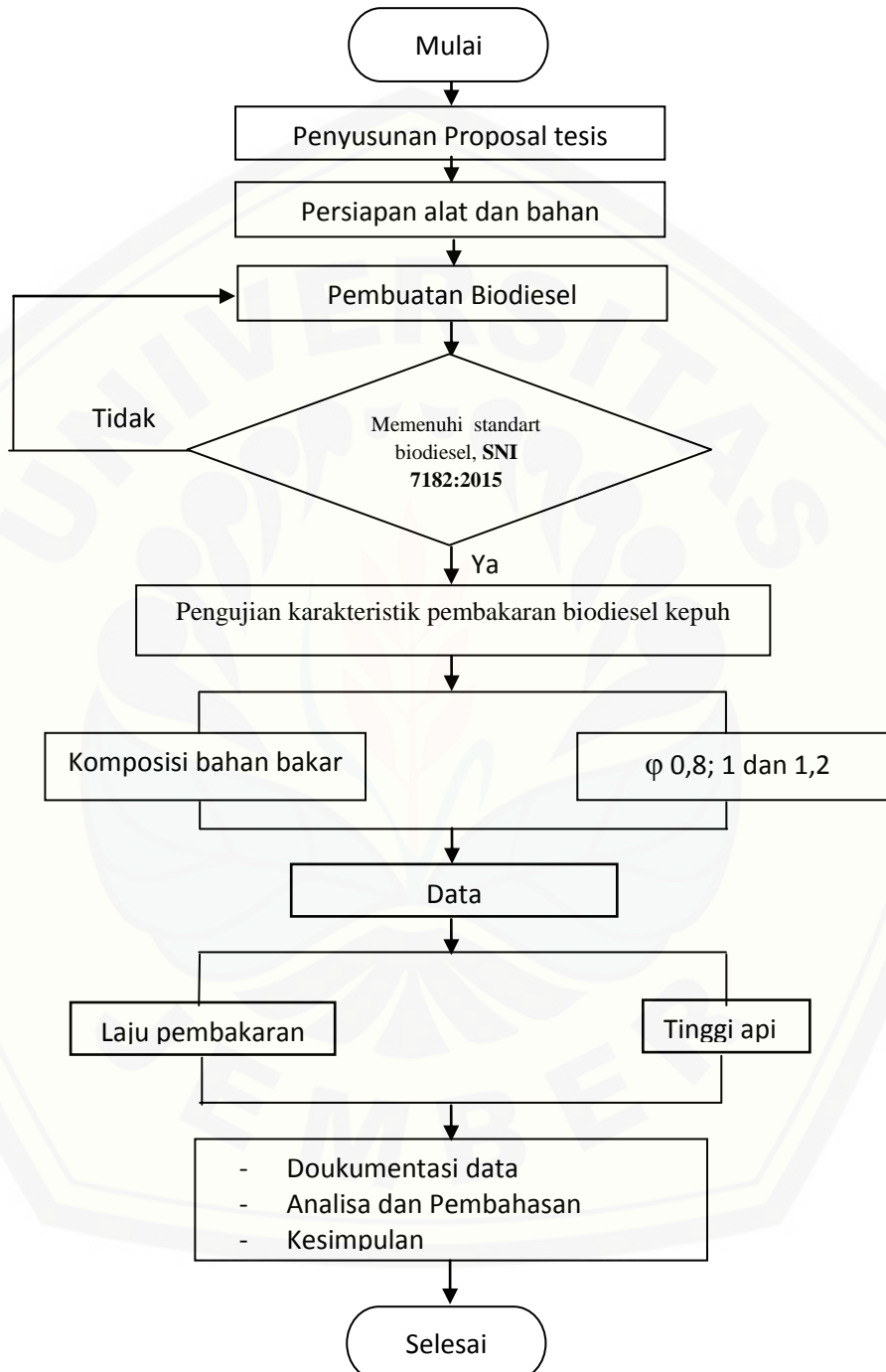
Untuk menentukan nilai laju pembakaran laminar maka kecepatan reaktan dikalikan dengan sudut alpha (⁰) yang diperoleh dari pengukuran sudut api pembakaran biodiesel. Contoh gambar alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Gambar alat pengujian

3.8 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir kecepatan pembakaran laminer adalah sebagai berikut:



Gambar 3.8 Diagram alir penelitian

BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Telah dilakukan penelitian karakteristik pembakaran biosolar dengan penambahan biodiesel kepuh. Penelitian dilakukan dengan memvariasikan komposisi bahan bakar dan ekivalen ratio. Kesimpulan hasil penelitian sebagai berikut:

1. Hasil pengujian karakteristik pembakaran biosolar dengan penambahan biodiesel kepuh (*sterculia foetida*) pada komposisi campuran bahan bakar B0% biodiesel, B10% biodiesel, B20% biodiesel, B30% biodiesel, B40% biodiesel dan B100% biodiesel mempengaruhi karakteristik pembakaran pada laju dan tinggi api. Pada bahan bakar campuran antara biosolar dengan biodiesel kepuh, laju pembakaran laminar tertinggi terdapat pada komposisi B10% biodiesel sedangkan nilai laju pembakaran laminar terendah pada komposisi B40% biodiesel. Namun nilai laju pembakaran laminar secara total hasil pengujian, nilai tertinggi terdapat pada komposisi bahan bakar B0% biodiesel sedangkan nilai terendah terdapat pada komposisi B100% biodiesel. Bahan bakar campuran antara biosolar dengan biodiesel kepuh mengalami trend penurunan nilai laju pembakaran laminar seiring penambahan komposisi biodiesel. Penurunan laju pembakaran laminar dipengaruhi oleh meningkatnya nilai viskositas dan densitas serta menurunnya nilai kalor pada komposisi bahan bakar sehingga bahan bakar sulit terbakar dengan sempurna. Nilai tinggi api terus meningkat dengan penambahan biodiesel kepuh. Tinggi api terendah pada komposisi bahan bakar hasil penyampuran terdapat pada B10% biodiesel sedangkan nilai tertinggi pada komposisi bahan bakar B40% biodiesel kepuh. Untuk nilai tinggi api secara total, komposisi B0% biodiesel mengalami nilai tinggi terendah sedangkan B100% biodiesel memiliki nilai tertinggi. Peningkatan tinggi api pada komposisi masing-

masing bahan bakar dipengaruhi oleh penurunan nilai kalor kemudian peningkatan viskositas dan densitas pada setiap penambahan biodiesel kepuh.

2. Peningkatan ekivalen ratio (ϕ) menyebabkan penurunan nilai laju pembakaran laminar. Laju pembakaran laminar tertinggi pada $\phi = 0,8$ dan terendah pada $\phi = 1,2$. Hal ini dikarenakan, pada $\phi = 0,8$ komposisi reaksi pembakaran kaya udara sehingga menyebabkan bahan bakar secara keseluruhan mengalami reaksi pembakaran dan hanya sedikit yang berdifusi. Gliserol pada biodiesel merupakan penghambat laju pembakaran sehingga membutuhkan banyak udara agar terjadi proses pembakaran secara optimal. Nilai tinggi api terus meningkat seiring dengan meningkatnya ekivalen ratio. Nilai tinggi api tertinggi pada $\phi = 1,2$ dengan komposisi bahan bakar B40% sedangkan nilai tinggi api terendah pada $\phi = 0,8$ dengan komposisi bahan bakar B0% biodiesel. Pada $\phi = 1,2$ merupakan reaksi kaya bahan bakar sehingga gliserol pada bahan bakar sulit terurai. Sulit terurainya gliserol mengakibatkan terjadinya pembakaran difusi pada ujung *bunsen burner* sehingga bahan bakar terdorong keluar pada ujung *bunsen burner*. Pada komposisi penambahan bahan bakar B40% biodiesel jumlah asam lemak dan gliserol lebih banyak jika dibandingkan dengan bahan bakar B0% biodiesel yang ditunjukkan pada viskositas dan densitas campuran bahan bakar yang lebih tinggi dari pada komposisi B0% biodiesel.

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan oleh penulis dari hasil penelitian ini yaitu antara lain:

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan memvariasikan temperatur pembakaran.
2. Peningkatan pengujian ekivalen ratio dapat dilakukan dengan rentang yang semakin tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, K.R. 2012. Pembuatan Biodiesel Biji Kepuh (*Sterculia Foetida*) dengan Proses Alkoholis dengan Katalisator Buangan Proses Perengkahan Minyak Bumi Pertamina Unit II Palembang. *Jurnal Dinamika Penelitian Industri*, 23, 1, 21-29.
- Arsad, M.A.B, Lilis Yuliati, dan Achmad As'ad Sonief. 2015. Karakteristik Pembakaran Difusi Campuran Biodiesel Minyak Jarak Pagar (*Jathropa Curcas L*) - Etanol/Metanol Pada Mini Glass Tube. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 6, 85-93.
- Bachtiar, H. R., Boy, A. F., and Nasrul, I. 2019. Flame Characteristics of Diffusion of *Calophyllum inophyllum* Methyl Ester on Mini Glass Tube. *Akademia Baru*, 57, 40-47.
- Bahri, S.L.M, Wardana, I., dan Denny Widhiyanuriyawan. 2015. Pembakaran Premixed Minyak Nabati pada Bunsen Burner Type Silinder. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6, 2015, 45-50.
- Caroko, N., Wahyudi, Aditya Kurniawan. 2015. Analisa Karakteristik Pembakaran Briket Limbah Industri Kelapa Sawit dengan Variasi Perekat dan Temperatur Dinding Tungku 300⁰C Menggunakan Metode Heat Flux Constant (HFC). *Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT)*, 3, 1-6.
- Elizabeth D.C., M. Nur Faniudin, M. Said. 2013. Pengaruh Rasio Reaktan dan Jumlah Katalis Terhadap Konversi Minyak Jagung Menjadi Metil Ester. *Jurnal Teknik Kimia*, 19, 40-49.
- Fahmi, H.A.M., Aris Zainul M., dan Nasrul Ilminnafik,. 2019. "Karakteristik Pembakaran Biosolar Dengan Penambahan Biodiesel Minyak Jelantah. *Skripsi*. Universitas Jember.
- Hartantyadhi, A.P., Danar Susilo Wijayanto, Ngatou Rohman. 2016. Pengaruh Pemanasan Bahan Bakar dan Penambahan Biodiesel Pada Solar terhadap Konsumsi Bahan Bakar Mesin Diesel Mitsubishi L300. *Jurnal Mekanika dan Sistem Termal*, 1 (2), 61-64.
- Hendra D., Santiyo Wibowo, Heru S. W. 2018. Biodiesel dari Beberapa Jenis Tanaman Hutan. *IPB Press*, 1-65.
- Ilminnafik, N., F.X. Kristianta, Ivan Bagus Sanjaya. 2017. Karakteristik Pembakaran pada Meso Scale Combustor dengan Bahan Bakar Butan dan Liquefied Petroleum Gas. *Jurnal ROTOR*, 3, 18-21.

- Irawan, B. 2017. Perhitungan Energi Pembakaran Bahan Bakar di Dalam Silinder Mesin Bensin. *Prosiding SNTT*, 3, 13-16.
- Jakfar, A., dan Sudarmanta. 2014. Pembuatan dan Pengujian Biodiesel Biji Nyamplung pada Mesin Diesel Multi Injeksi dengan Variasi Komposisi Campuran Biodiesel dan Biosolar. *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi*, 1-8.
- Kharis, N., Sutjahjono, H., Arbiantara, H., Setyawan, D., L., dan Nasrul, I. 2019. Karakteristik Biodiesel dari Minyak Biji Randu (*Ceiba Pentandra*) dengan Proses Transesterifikasi Menggunakan Katalis NaOH. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 12, (1), 37-40.
- Kharis, N., Sutjahjono, H., dan Arbiantara, H.,. 2019. "Karakteristik Pembakaran Biosolar Dengan Penambahan Biodiesel Minyak Biji Randu (*Ceiba Pentandra*). Skripsi. Universitas Jember.
- Kavitha, M.S., and Murugavelh, S. 2019. Optimization and transesterification of sterculia oil: Assessment of engine performance, emission and combustion analysis. *Journal of Cleaner Production*, 234, 1192-1209.
- Kuncahyo, P., Aguk Zuhdi M.F., dan Semin. 2013. Analisa Prediksi Potensi Bahan Baku Biodiesel sebagai Suplemen Bahan Bakar Motor Diesel di Indonesia. *Jurnal Teknik POMITS* , 2 (1), 62-1209.
- Kurnia, K.H. 2012. Visualisasi Kecepatan Tinggi Nyala Api Difusi Tipe SWIRL pada Medan Aliran Berlawanan Dengan Rasio GAP Diameter Kecil. *Skripsi*, Universitas Indonesia.
- Listyadi, D.S., Ilham Budi Erawan and Ilminafik, N. 2018. Analysis of Characteristic of Combustion Flame from Biogas Fuel Mixed With Butane. *IJCAR*, 7, 12284-12287.
- Listyadi, D.S., Nasrul Iminafik, Hary Sutjahjono, D. Tri Vicca and Salman Al Farisi. 2020. Premixed Combustion Characteristics Between Biosolar That Produced Pertamina with Biodiesel from Coconut Waste (*Cocos Nucifera*). *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 15, 1502-1507.
- Kurnia, K.H. 2012. Visualisasi Kecepatan Tinggi Nyala Api Difusi Tipe SWIRL pada Medan Aliran Berlawanan Dengan Rasio GAP Diameter Kecil. *Skripsi*, Universitas Indonesia.

- Made, I. K. D., dan Syihan, A. A. 2017. Analisa Pengaruh Variasi Medan Magnet Terhadap Karakteristik Nyala Api Difusi Bahan Bakar LPG. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 3, 8-16.
- Maryanti, A., dan Laksmi, R.H. 2014. Budidaya Kepuh (*Sterculia foetida* Linn) untuk Antisipasi Kondisi Kering. *IPB Press Printing*, 1-16.
- Munir, S. 2008. Peran Sistem Klasifikasi Bahan Bakar Padat Konvensional Hubungannya dengan Diversifikasi Energi. *MIMBAR*, 24, 69-78.
- Nasir, M., Toto Sugiarto, dan Ijal Pandi. 2017. Pengaruh Penambahan Biosolar dari *Virgin Coconut Oil* pada Solar Terhadap Ketebalan Asap Motor Diesel 4 Langkah. *Jurnal JIT*, 1(1), 50-59.
- Nurhadiansah, E.P., dan H. D. Sungkono Kawano. 2012. Uji Eksperimental Bahan Bakar Campuran Biosolar dengan Zat Aditif Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Putaran Konstan. *Jurnal Teknik POMITS*, 1 (1), 1-5.
- Ong, H.C., A.S. Silitonga, H.H. Masjuki, T.M.I. Mahlia and W.T. Chong. 2013. Production and comparative fuel properties of biodiesel from non-edible oils: *Jatropha curcas*, *Sterculia foetida* and *Ceiba pentandra*. *Energy Conversion and Management*, 73, 245–255.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Hasil Hutan. Teknologi Pengolahan dan Pemanfaatan Biodiesel. *Badan Penelitian*, www.pustekolah.org
- Riwu, D.B.N., I.N.G. Wardana, dan Lilis Yuliati. 2016. Kecepatan Pembakaran Premixed Campuran Minyak Jarak – Liquefued Petroleum Gas (LPG) Pada Circular Tube Burner. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7, 41-47.
- Rao, V.P., Ramesh S, and Anil Kumar S. 2015. Study of C I Engine performance with Diesel - Biodiesel (*sterculia foetida*) Blend as fuel. *International Journal of Trend in Research and Development*, 2, 76-79.
- Sartika, A., Nurhayati, dan Muhdarina. 2015. Esterifikasi Minyak Goreng Bekas dengan Katalis H_2SO_4 dan Transesterifikasi dengan Katalis CaO dari Cangkang Kerang Darah Variasi Kondisi Esterifikasi. *JOM FMIPA*, 2 (1), 178-185.
- Sethusundaram, P.P., M.Vijayakumar., and Prasanna, N. 2016. Effect of *Sterculia Foetida* Biodiesel on Single Cylinder Four Stroke Diesel Engine Performance and Emission. *Journal of Advances in chemistry*, 12, 4614–4621.

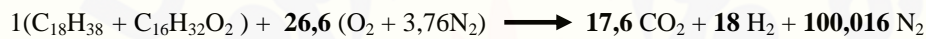
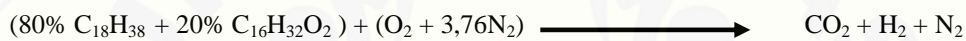
- Silitonga, A.S., H.C. Ong, H.H. Masjuki, T.M.I. Mahlia and W.T. Chong. 2013. Production of biodiesel from *Sterculia foetida* and its process optimization. *Fuel*, 111, 478–484.
- Sudradjat, R., Yogie, S., D. Hendra & D. Setiawan. 2009. Pembuatan Biodiesel Biji Kepuh Dengan Proses Transesterifikasi. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 28 (2), 145-155.
- Sukarni, S., Partono, P., Deni Krisdianto and Retno Wulandari. 2017. Effect of Magnetic Field on Diesel Engine Power Fuelled with *Jatropha*-Diesel Oil. *Journal of Mechanical Engineering Science and Technology*, 1 (1), July, 44-48.
- Suroto, S. dan Rinayu, H. 2016. Efektivitas Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas (Minyak Jelantah) menjadi Biosolar Sebagai Bahan Bakar Alternatif Dikota Surakarta. *AUTINDO*, 1 (3), 39-48.
- Triwibowo, B. 2013. Teori Dasar Simulasi Proses Pembakaran Limbah Vinasse dari Industri Alkohol Berbasis CFD. *JBAT*, 2 (2), 14-24.
- Wahyu, E.A. 2014. Studi Komparasi Emisi Gas Buang Bahan Bakar Solar dan Biodiesel dari *Crude Oil* Nyamplung dengan Proses Degumming pada Mesin Diesel Nissan D22. *JTM*. 3, (01), 96 -105.
- Wirawan, I.K.G., I.N.G. Wardana, Rudy Soenoko and Slamet Wahyudi. 2013. Premixed Combustion of Kapok (*ceiba pentandra*) seed oil on Perforated Burner. *IJRED*, 3, 91-97.
- Wu, Y., Bjorn Rossowb, Vincent Modica, Xilong Yu, Linlin Wu and Frédéric Grisch. 2017. Laminar flame speed of lignocellulosic biomass-derived oxygenates and blends of gasoline/oxygenates. *Fuel*, 202, 572–582.
- Zhen, H.S., C.W. Leung., C.S. Cheung and Z.H. Huang. 2014. Characterization of biogas-hydrogen premixed flames using Bunsen burner. *ScienceDirect*, 39, 13292 - 13299.

LAMPIRAN

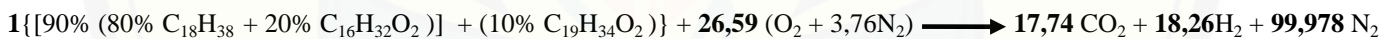
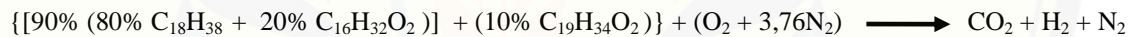
A. Menghitung nilai debit udara

Biodiesel Kepuh (<i>Sterculia Foetida</i>)	$C_{19}H_{34}O_2$
Solar	$C_{18}H_{38}$
Biodiesel Sawit	$C_{16}H_{32}O_2$
Udara	$(O_2 + 3,76N_2)$
Produk Pembakaran	$CO_2 + H_2 + N_2$
Reaksi pembakaran	

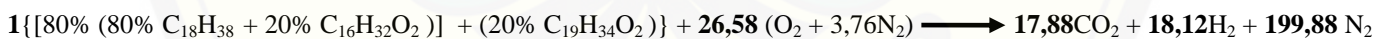
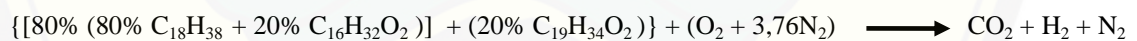
1. B0 (0% Biodiesel Kepuh + 100% Biosolar)



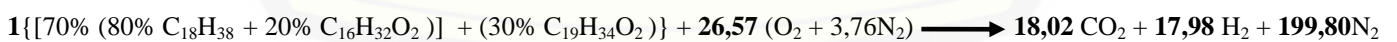
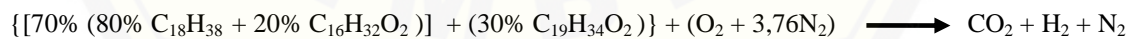
2. B10 (10% Biodiesel Kepuh + 90% Biosolar)



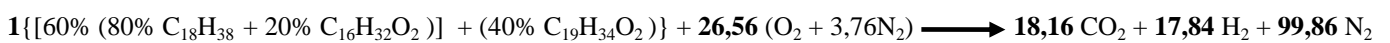
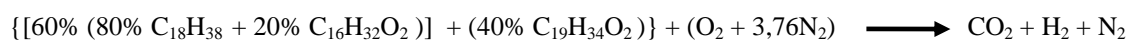
3. B20 (20% Biodiesel Kepuh + 80% Biosolar)



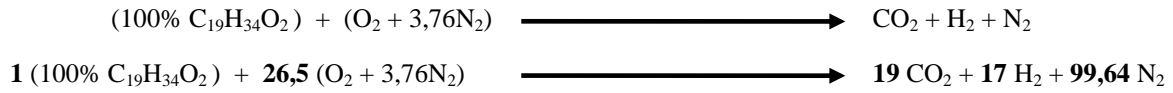
4. B30 (30% Biodiesel Kepuh + 70% Biosolar)



5. B40 (40% Biodiesel Kepuh + 60% Biosolar)



6. B100 (0% Biosolar + 100% Biodiesel Kepuh)



➤ Perhitungan AFR

B0 (0% Biodiesel Kepuh + 100% Biosolar)

$$\varphi = 0,8$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 0,8 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,6} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,6}{0,8} = 33,25$$

$$\varphi = 1$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,6} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,6}{1} = 26,6$$

$$\varphi = 1,2$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,6} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1,2 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,6} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,6}{1,2} = 22,16$$

B10 (10% Biodiesel Kepuh + 90% Biosolar)

$$\varphi = 0,8$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 0,8 = \frac{AFR_{stokiometri}}{29,25} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,59}{0,8} = 33,23$$

$$\varphi = 1$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1 = \frac{AFR_{stokiometri}}{29,25} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,59}{1} = 26,59$$

$$\varphi = 1,2$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1,2 = \frac{AFR_{stokiometri}}{29,25} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,59}{1,2} = 22,15$$

B20 (20% Biodiesel Kepuh + 80% Biosolar)

$$\varphi = 0,8$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 0,8 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,58} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,58}{0,8} = 33,22$$

$$\varphi = 1$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,58} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,58}{1} = 26,58$$

$$\varphi = 1,2$$

$$\varphi 1,2 = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1,2 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,58} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,58}{1,2} = 22,15$$

B30 (30% Biodiesel Kepuh + 70% Biosolar)

$$\varphi = 0,8$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 0,8 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,57}{0,8} = 33,21$$

$$\varphi = 1$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,57}{1} = 26,57$$

$$\varphi = 1,2$$

$$\varphi 1,2 = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1,2 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,57}{1,2} = 22,14$$

B40 (40% Biodiesel Kepuh + 60% Biosolar)

$$\varphi = 0,8$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 0,8 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,56}{0,8} = 33,2$$

$$\varphi = 1$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi 1 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,56}{1} = 26,56$$

$$\varphi = 1,2$$

$$\varphi 1,2 = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,56}{1,2} = 22,13$$

B100 (0% Biosolar + 100% Biodiesel Kepuh)

$$\varphi = 0,8$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi_{0,8} = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,5}{0,8} = 33,12$$

$$\varphi = 1$$

$$\varphi = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi_1 = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,5}{1} = 26,5$$

$$\varphi = 1,2$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{AFR_{stokiometri}}{AFR_{aktual}} \quad AFR_{aktual} = \frac{AFR_{stokiometri}}{\varphi}$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{AFR_{stokiometri}}{26,13} \quad AFR_{aktual} = \frac{26,5}{1,2} = 22,08$$

Debit bahan bakar dalam 1 ml/menit

$$Q = \frac{V}{t} = 1 \frac{\text{ml}}{\text{menit}}$$

Debit bahan bakar yang digunakan 1 ml/menit

$$V = 1 \text{ ml}$$

$$= 1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$= 0,000001 \text{ m}^3/\text{menit}$$

ρ Biosolar	=	832	kg/m ³
ρ Biodiesel Kepuh	=	869	kg/m ³
ρ Udara	=	1,2	kg/m ³

- Perhitungan massa (m) bahan bakar setiap 1 menit pada biosolar dan biodiesel kepuh

Massa biosolar

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

$$832 \text{ kg/m}^3 = \frac{m}{0,000001} = 832 \text{ kg/m}^3 \times 0,000001 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$m = 0,000832 \text{ kg}$$

$$m = 0,832 \text{ g}$$

Massa biodiesel kepuh

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

$$880,7 \text{ kg/m}^3 = \frac{M}{0,000001} = 869 \text{ kg/m}^3 \times 0,000001 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$m = 0,0008807 \text{ kg}$$

$$m = 0,869 \text{ g}$$

Kemudian dilakukan perhitungan massa pada setiap komposisi bahan bakar

Jadi massa masing-masing bahan bakar sebagai berikut

m Biosolar	=	0,832	g
m Kepuh	=	0,869	g
m B0 (100% Biosolar)	=	0,832	g
m B10 (90% Biosolar + 10% Biodiesel)	=	0,8357	g
m B20 (80% Biosolar + 20% Biodiesel)	=	0,8394	g
m B30 (70% Biosolar + 30% Biodiesel)	=	0,8431	g
m B40 (60% Biosolar + 40% Biodiesel)	=	0,8468	g
m B100 (100% Biodiesel)	=	0,869	g

- Dilanjutkan dengan menghitung massa relatif (Mr) pada masing-masing campuran bahan bakar

Biodiesel kepuh $C_{19}H_{34}O_2$

$$\begin{array}{rcl} \text{C} & 12,0115 & \times 19 = 228,2185 \\ \text{H} & 1,0079 & \times 34 = 34,2686 \\ \text{O} & 15,9994 & \times 2 = 31,9988 \\ & & \hline & & 294,4859 \end{array}$$

Biodiesel Sawit $C_{16}H_{32}O_2$

$$\begin{array}{rcl} \text{C} & 12,0115 & \times 16 = 192,184 \\ \text{H} & 1,0079 & \times 32 = 32,2528 \\ \text{O} & 15,9994 & \times 2 = 31,9988 \\ & & \hline & & 256,4356 \end{array}$$

Solar $C_{18}H_{38}$

$$\begin{array}{rcl} \text{C} & 12,0115 & \times 18 = 216,207 \\ \text{H} & 1,0079 & \times 38 = 38,3002 \\ & & \hline & & 254,5072 \end{array}$$

$$\text{Mr Biosolar } [(80\% \times C_{18}H_{38}) + (20\% \times C_{16}H_{32}O_2)]$$

$$[(80\% \times 256,4356) + (20\% \times 254,5072)]$$

$$= 254,89$$

$$\text{Mr Biodiesel kepuh } (C_{19}H_{34}O_2)$$

$$= 294,48$$

Massa relatif pada setiap bahan bakar dilakukan perhitungan prosentase pada masing-masing bahan bakar dan kemudian dilanjutkan mencari mol bahan Bakar.

n =	$\frac{m}{M_r}$			
m B0	(100% Biosolar)	=	0,003235	mol
m B10	(90% Biosolar + 10% Biodiesel)	=	0,003203	mol
m B20	(80% Biosolar + 20% Biodiesel)	=	0,003172	mol
m B30	(70% Biosolar + 30% Biodiesel)	=	0,003141	mol
m B40	(60% Biosolar + 40% Biodiesel)	=	0,003112	mol
m B100	(100% Biodiesel)	=	0,002951	mol

- Nilai AFR dapat dihitung dengan masing-masing mol bahan bakar yang telah diketahui

B0 (0% Biodiesel Kepuh + 100% Biosolar)

φ0,8	33,250	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,107558	mol udara	:	0,003235	mol bahan bakar
φ1	26,6	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,086047	mol udara	:	0,003235	mol bahan bakar
φ1,2	22,167	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,071706	mol udara	:	0,003235	mol bahan bakar

B10 (10% Biodiesel Kepuh + 90% Biosolar)

φ0,8	33,238	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,10645	mol udara	:	0,003203	mol bahan bakar
φ1	26,590	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,08516	mol udara	:	0,003203	mol bahan bakar
φ1,2	22,158	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,07097	mol udara	:	0,003203	mol bahan bakar

B20 (20% Biodiesel Kepuh + 80% Biosolar)

φ0,8	33,225	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,10538	mol udara	:	0,003172	mol bahan bakar
φ1	26,580	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,0843	mol udara	:	0,003172	mol bahan bakar
φ1,2	22,150	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,07025	mol udara	:	0,003172	mol bahan bakar

B30 (30% Biodiesel Kepuh + 70% Biosolar)

φ0,8	33,213	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,10433	mol udara	:	0,003141	mol bahan bakar
φ1	26,570	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,08347	mol udara	:	0,003141	mol bahan bakar
φ1,2	22,142	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,06956	mol udara	:	0,003141	mol bahan bakar

B40 (40% Biodiesel Kepuh + 60% Biosolar)

φ0,8	33,200	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,10332	mol udara	:	0,003112	mol bahan bakar
φ1	26,560	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,08265	mol udara	:	0,003112	mol bahan bakar
φ1,2	22,133	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,06888	mol udara	:	0,003112	mol bahan bakar

B100 (0% Biosolar + 100% Biodiesel Kepuh)

φ0,8	33,125	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,09775	mol udara	:	0,002951	mol bahan bakar
φ1	26,500	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,0782	mol udara	:	0,002951	mol bahan bakar
φ1,2	22,083	mol udara	:	1	mol bahan bakar
	0,06517	mol udara	:	0,002951	mol bahan bakar

- Mol udara masing-masing komposisi bahan bakar yang telah digunakan diketahui maka dilakukan perhitungan massa udara

Mr Udara	=	28,84	gram/mol
n	=	$\frac{m}{Mr}$	
m	=	n X Mr	

B0 (0% Biodiesel Kepuh + 100% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= n \times Mr \\ &= 0,107558 \times 28,84 = 3,102 \text{ g} = 0,003102 \text{ kg} \\ \varphi_1 &= n \times Mr \\ &= 0,086047 \times 28,84 = 2,482 \text{ g} = 0,002482 \text{ kg} \\ \varphi_{1,2} &= n \times Mr \\ &= 0,071706 \times 28,84 = 2,068 \text{ g} = 0,002068 \text{ kg} \end{aligned}$$

B10 (10% Biodiesel Kepuh + 90% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= n \times Mr \\ &= 0,10645 \times 28,84 = 3,070 \text{ g} = 0,003070 \text{ kg} \\ \varphi_1 &= n \times Mr \\ &= 0,08516 \times 28,84 = 2,456 \text{ g} = 0,002456 \text{ kg} \\ \varphi_{1,2} &= n \times Mr \\ &= 0,07097 \times 28,84 = 2,047 \text{ g} = 0,002047 \text{ kg} \end{aligned}$$

B20 (20% Biodiesel Kepuh + 80% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= n \times Mr \\ &= 0,10538 \times 28,84 = 3,039 \text{ g} = 0,003039 \text{ kg} \\ \varphi_1 &= n \times Mr \\ &= 0,0843 \times 28,84 = 2,431 \text{ g} = 0,002431 \text{ kg} \\ \varphi_{1,2} &= n \times Mr \\ &= 0,07025 \times 28,84 = 2,026 \text{ g} = 0,002026 \text{ kg} \end{aligned}$$

B30 (30% Biodiesel Kepuh + 70% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= n \times Mr \\ &= 0,10433 \times 28,84 = 3,009 \text{ g} = 0,003009 \text{ kg} \\ \varphi_1 &= n \times Mr \\ &= 0,08347 \times 28,84 = 2,407 \text{ g} = 0,002407 \text{ kg} \\ \varphi_{1,2} &= n \times Mr \\ &= 0,06956 \times 28,84 = 2,006 \text{ g} = 0,002006 \text{ kg} \end{aligned}$$

B40 (40% Biodiesel Kepuh + 60% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= n \times Mr \\ &= 0,10332 \times 28,84 = 2,980 \text{ g} = 0,002980 \text{ kg} \\ \varphi_1 &= n \times Mr \\ &= 0,08265 \times 28,84 = 2,384 \text{ g} = 0,002384 \text{ kg} \\ \varphi_{1,2} &= N \times Mr \\ &= 0,06888 \times 28,84 = 1,986 \text{ g} = 0,001986 \text{ kg} \end{aligned}$$

B100 (0% Biosolar + 100% Biodiesel Kepuh)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= n \times Mr \\ &= 0,09775 \times 28,84 = 2,819 \text{ g} = 0,002819 \text{ kg} \\ \varphi_1 &= n \times Mr \\ &= 0,0782 \times 28,84 = 2,255 \text{ g} = 0,002255 \text{ kg} \\ \varphi_{1,2} &= n \times Mr \\ &= 0,06517 \times 28,84 = 1,879 \text{ g} = 0,001879 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Massa per menit udara telah dihitung maka diubah menjadi volume agar dapat menghitung debit pada masing-masing bahan bakar (v/t)

ρ Udara	=	1,2	kg/m^3
ρ Udara	=	$\frac{M}{V}$	
v	=	$\frac{M}{P}$	

Maka volume tiap komposisi bahan bakar adalah

B0 (0% Biodiesel Kepuh + 100% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= m : \rho \\ &= 0,0031 : 1,2 \quad 0,00372 \text{ m}^3 = 3,72238 \text{ liter} = 3722,38 \text{ ml} \\ \varphi_1 &= m : \rho \\ &= 0,00248 : 1,2 \quad 0,00298 \text{ m}^3 = 2,9779 \text{ liter} = 2977,90 \text{ ml} \\ \varphi_{1,2} &= m : \rho \\ &= 0,00207 : 1,2 \quad 0,00248 \text{ m}^3 = 2,48159 \text{ liter} = 2481,59 \text{ ml} \end{aligned}$$

B10 (10% Biodiesel Kepuh + 90% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00307}{1,2} \cdot 0,00368 \text{ m} = 3,68412 \text{ liter} = 3684,12 \text{ ml} \\ \varphi_1 &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00246}{1,2} \cdot 0,00295 \text{ m} = 2,94729 \text{ liter} = 2947,29 \text{ ml} \\ \varphi_{1,2} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00205}{1,2} \cdot 0,00246 \text{ m} = 2,45608 \text{ liter} = 2456,08 \text{ ml} \end{aligned}$$

B20 (20% Biodiesel Kepuh + 80% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00304}{1,2} \cdot 0,00365 \text{ m} = 3,64692 \text{ liter} = 3646,92 \text{ ml} \\ \varphi_1 &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00243}{1,2} \cdot 0,00292 \text{ m} = 2,91754 \text{ liter} = 2917,54 \text{ ml} \\ \varphi_{1,2} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00203}{1,2} \cdot 0,00243 \text{ m} = 2,43128 \text{ liter} = 2431,28 \text{ ml} \end{aligned}$$

B30 (30% Biodiesel Kepuh + 70% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00301}{1,2} \cdot 0,00361 \text{ m} = 3,61075 \text{ liter} = 3610,75 \text{ ml} \\ \varphi_1 &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00241}{1,2} \cdot 0,00289 \text{ m} = 2,8886 \text{ liter} = 2888,60 \text{ ml} \\ \varphi_{1,2} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00201}{1,2} \cdot 0,00241 \text{ m} = 2,40717 \text{ liter} = 2407,17 \text{ ml} \end{aligned}$$

B40 (40% Biodiesel Kepuh + 60% Biosolar)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00298}{1,2} \cdot 0,00358 \text{ m} = 3,57556 \text{ liter} = 3575,56 \text{ ml} \\ \varphi_1 &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00238}{1,2} \cdot 0,00286 \text{ m} = 2,86045 \text{ liter} = 2860,45 \text{ ml} \\ \varphi_{1,2} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00199}{1,2} \cdot 0,00238 \text{ m} = 2,38371 \text{ liter} = 2383,71 \text{ ml} \end{aligned}$$

B100 (0% Biosolar + 100% Biodiesel Kepuh)

$$\begin{aligned} \varphi_{0,8} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,002819}{1,2} \cdot 0,00338 \text{ m} = 3,38289 \text{ liter} = 3382,89 \text{ ml} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00226}{1,2} \text{ m} = 0,000188 \text{ m} = 0,188 \text{ mm} \\ \phi_{1,2} &= \frac{m}{\rho} \\ &= \frac{0,00188}{1,2} \text{ m} = 0,000157 \text{ m} = 0,157 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Waktu dalam pengujian tiap 1 menit dan ,maka volume sudah menjadi debit liter/menit
- Perhitungan kecepatan reaktan

$$V = \frac{Q_{\text{fuel}} + Q_{\text{reaktan}}}{A}$$

V = Kecepatan reaktan
 Q_{fuel} = Debit bahan bakar
 Q_{reaktan} = Debit udara sesuai stokiometri
 A = Luas penampang *bunsen burner*

$$\begin{aligned} Q_{\text{fuel}} &= 1 \text{ ml/menit} \\ Q_{\text{reaktan}} &= \text{Sesuai komposisi masing-masing bahan bakar} \\ A &= 0,79 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

- Kecepatan reaktan masing-masing campuran bahan bakar

B0 (0% Biodiesel Kepuh + 100% Biosolar)

$$\begin{aligned} \phi_{0,8} &= \frac{1 \text{ ml} + 3722,38 \text{ ml}}{0,79} = 4743,16 \text{ cm/menit} = 79,053 \text{ cm/s} \\ \phi_1 &= \frac{1 \text{ ml} + 2977,9 \text{ ml}}{0,79} = 3794,78 \text{ cm/menit} = 63,246 \text{ cm/s} \\ \phi_{1,2} &= \frac{1 \text{ ml} + 2481,59 \text{ ml}}{0,79} = 3162,53 \text{ cm/menit} = 52,709 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

B10 (10% Biodiesel Kepuh + 90% Biosolar)

$$\begin{aligned} \phi_{0,8} &= \frac{1 \text{ ml} + 3684,12 \text{ ml}}{0,79} = 4694,42 \text{ cm/menit} = 78,240 \text{ cm/s} \\ \phi_1 &= \frac{1 \text{ ml} + 2947,29 \text{ ml}}{0,79} = 3755,79 \text{ cm/menit} = 62,596 \text{ cm/s} \end{aligned}$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{1 \text{ ml} + 2456,08 \text{ ml}}{0,79} = 3130,04 \text{ cm/menit} = 52,167 \text{ cm/s}$$

B20 (20% Biodiesel Kepuh + 80% Biosolar)

$$\varphi_{0,8} = \frac{1 \text{ ml} + 3646,92 \text{ ml}}{0,79} = 4647,04 \text{ cm/menit} = 77,451 \text{ cm/s}$$

$$\varphi_1 = \frac{1 \text{ ml} + 2917,54 \text{ ml}}{0,79} = 3717,88 \text{ cm/menit} = 61,965 \text{ cm/s}$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{1 \text{ ml} + 2431,28 \text{ ml}}{0,79} = 3098,45 \text{ cm/menit} = 51,641 \text{ cm/s}$$

B30 (30% Biodiesel Kepuh + 70% Biosolar)

$$\varphi_{0,8} = \frac{1 \text{ ml} + 3610,75 \text{ ml}}{0,79} = 4600,96 \text{ cm/menit} = 76,683 \text{ cm/s}$$

$$\varphi_1 = \frac{1 \text{ ml} + 2888,6 \text{ ml}}{0,79} = 3681,02 \text{ cm/menit} = 61,350 \text{ cm/s}$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{1 \text{ ml} + 2407,17 \text{ ml}}{0,79} = 3067,73 \text{ cm/menit} = 51,129 \text{ cm/s}$$

B40 (40% Biodiesel Kepuh + 60% Biosolar)

$$\varphi_{0,8} = \frac{1 \text{ ml} + 3575,56 \text{ ml}}{0,79} = 4556,13 \text{ cm/menit} = 75,935 \text{ cm/s}$$

$$\varphi_1 = \frac{1 \text{ ml} + 2860,45 \text{ ml}}{0,79} = 3645,16 \text{ cm/menit} = 60,753 \text{ cm/s}$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{1 \text{ ml} + 2383,71 \text{ ml}}{0,79} = 3037,84 \text{ cm/menit} = 50,631 \text{ cm/s}$$

B100 (0% Biosolar + 100% Biodiesel Kepuh)

$$\varphi_{0,8} = \frac{1 \text{ ml} + 3382,89 \text{ ml}}{0,79} = 4310,69 \text{ cm/menit} = 71,845 \text{ cm/s}$$

$$\varphi_1 = \frac{1 \text{ ml} + 2706,31 \text{ ml}}{0,79} = 3448,8 \text{ cm/menit} = 57,480 \text{ cm/s}$$

$$\varphi_{1,2} = \frac{1 \text{ ml} + 2255,26 \text{ ml}}{0,79} = 2874,22 \text{ cm/menit} = 47,904 \text{ cm/s}$$

B. Hasil Pengujian Laju Pembakaran Laminer

Hasil Pengujian Laju Pembakaran Laminer pada ϕ 0,8			
Pengujian	Sudut	Kec Reaktan	Laju Pembakaran / SL (cm/s)
B0			
1	17,745	79,053	24,0938
2	17,103	79,053	23,2486
3	17,700	79,053	24,0346
RATA-RATA	17,516	79,053	23,7926
B10			
1	16,390	78,240	22,0774
2	16,798	78,240	22,6113
3	16,504	78,240	22,2267
RATA-RATA	16,564	78,240	22,3052
B20			
1	15,524	77,451	20,7290
2	15,255	77,451	20,3785
3	15,803	77,451	21,0922
RATA-RATA	15,527	77,451	20,7334
B30			
1	14,657	76,683	19,4032
2	14,036	76,683	18,5980
3	14,250	76,683	18,8757
RATA-RATA	14,314	76,683	18,9591
B40			
1	13,650	75,935	17,9200
2	13,421	75,935	17,6250
3	13,465	75,935	17,6817
RATA-RATA	13,512	75,935	17,7422
B100			
1	12,095	71,845	15,0539
2	12,529	71,845	15,5856
3	12,362	71,845	15,3811
RATA-RATA	12,329	71,845	15,3402

Hasil Pengujian Laju Pembakaran Laminer pada ϕ 1			
Pengujian	Sudut	Kec Reaktan	Laju Pembakaran / SL (cm/s)
B0			
1	16,220	63,246	17,6664
2	16,699	63,246	18,1734
3	16,607	63,246	18,0761
RATA-RATA	16,509	63,246	17,9721
B10			
1	15,173	62,596	16,3837
2	15,422	62,596	16,6461
3	15,680	62,596	16,9176
RATA-RATA	15,425	62,596	16,6492
B20			
1	14,036	61,965	15,0284
2	14,470	61,965	15,4833
3	14,657	61,965	15,6791
RATA-RATA	14,388	61,965	15,3971
B30			
1	13,055	61,350	13,8582
2	13,241	61,350	14,0521
3	13,285	61,350	14,0980
RATA-RATA	13,194	61,350	14,0028
B40			
1	12,771	60,753	13,4297
2	12,450	60,753	13,0975
3	12,043	60,753	12,6758
RATA-RATA	12,421	60,753	13,0678
B100			
1	11,929	57,480	11,8811
2	11,611	57,480	11,5688
3	11,310	57,480	11,2728
RATA-RATA	11,617	57,480	11,5743

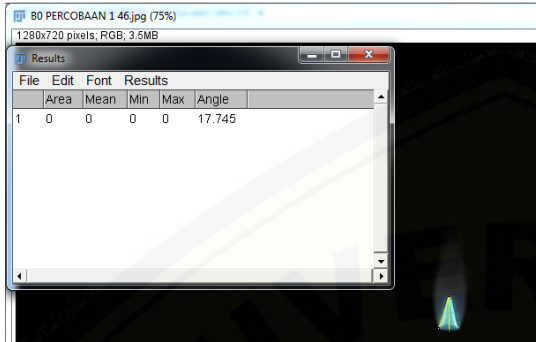
Hasil Pengujian Laju Pembakaran Laminer pada ϕ 1,2			
Pengujian	Sudut	Kec Reaktan	Laju Pembakaran / SL (cm/s)
B0			
1	15,680	52,709	14,2453
2	15,173	52,709	13,7957
3	15,422	52,709	14,0167
RATA-RATA	15,425	52,709	14,0193
B10			
1	14,257	52,167	12,8473
2	14,036	52,167	12,6522
3	14,621	52,167	13,1683
RATA-RATA	14,305	52,167	12,8894
B20			
1	13,241	51,641	11,8282
2	13,431	51,641	11,9948
3	13,650	51,641	12,1867
RATA-RATA	13,450	51,641	12,0033
B30			
1	12,804	51,129	11,3310
2	12,450	51,129	11,0227
3	12,043	51,129	10,6678
RATA-RATA	12,432	51,129	11,0073
B40			
1	11,739	50,631	10,3010
2	11,449	50,631	10,0500
3	11,310	50,631	9,9296
RATA-RATA	11,499	50,631	10,0936
B100			
1	10,316	47,904	8,5784
2	10,244	47,904	8,5192
3	10,620	47,904	8,8284
RATA-RATA	10,393	47,904	8,6420

C. Hasil Pengujian Tinggi Api

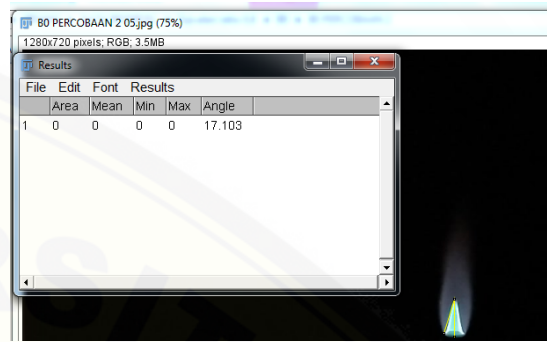
Hasil Pengujian Tinggi Api pada \varnothing 0,8		Hasil Pengujian Tinggi Api pada \varnothing 1		Hasil Pengujian Tinggi Api pada \varnothing 1,2	
Pengujian	Tinggi (mm)	Pengujian	Tinggi (mm)	Pengujian	Tinggi (mm)
B0		B0		B0	
1	18,151	1	19,624	1	20,216
2	18,618	2	19,167	2	20,738
3	18,177	3	19,206	3	20,331
RATA-RATA	18,315	RATA-RATA	19,332	RATA-RATA	20,428
B10		B10		B10	
1	19,565	1	20,674	1	21,675
2	19,096	2	20,333	2	21,737
3	19,231	3	20,114	3	21,261
RATA-RATA	19,297	RATA-RATA	20,374	RATA-RATA	21,558
B20		B20		B20	
1	20,223	1	21,774	1	22,581
2	20,678	2	21,319	2	22,194
3	20,000	3	21,267	3	22,088
RATA-RATA	20,300	RATA-RATA	21,453	RATA-RATA	22,288
B30		B30		B30	
1	21,209	1	22,747	1	23,068
2	21,758	2	22,526	2	23,333
3	21,753	3	22,419	3	23,74
RATA-RATA	21,573	RATA-RATA	22,564	RATA-RATA	23,380
B40		B40		B40	
1	22,188	1	23,100	1	24,14
2	22,340	2	23,407	2	24,33
3	22,292	3	23,736	3	24,439
RATA-RATA	22,273	RATA-RATA	23,414	RATA-RATA	24,303
B100		B100		B100	
1	23,778	1	24,132	1	25,561
2	23,250	2	24,270	2	25,635
3	23,407	3	24,533	3	25,730
RATA-RATA	23,478	RATA-RATA	24,312	RATA-RATA	25,642

D. Pengukuran Sudut Api

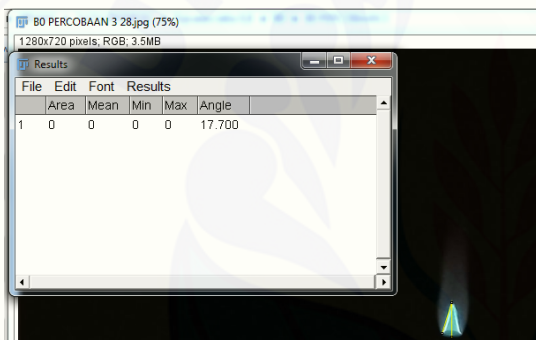
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B0



Percobaan 1

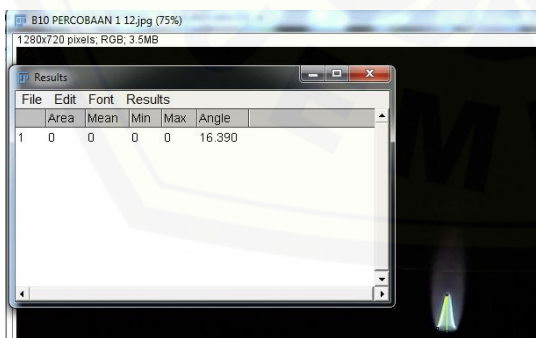


Percobaan 2

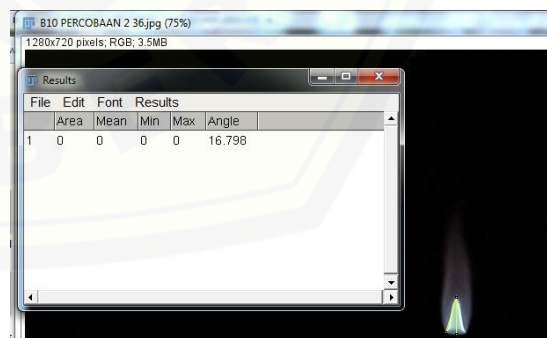


Percobaan 3

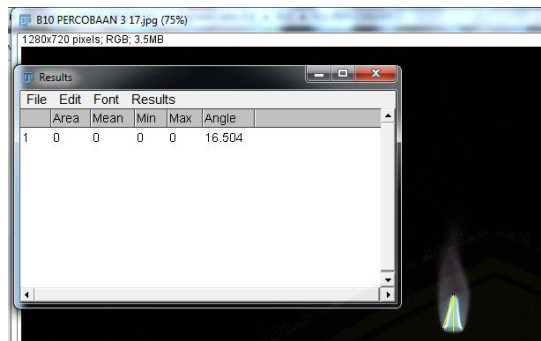
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B10



Percobaan 1

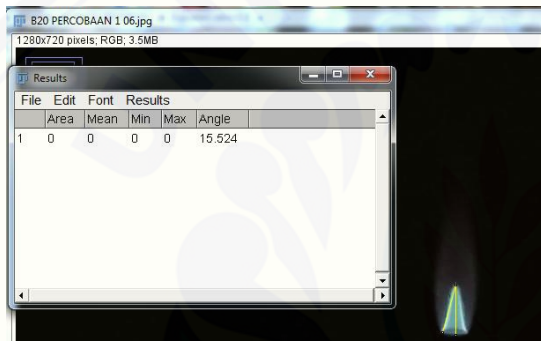


Percobaan 2

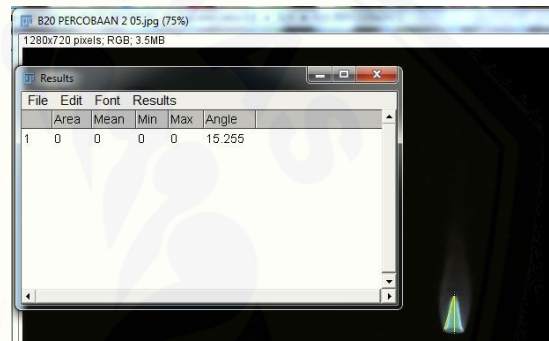


Percobaan 3

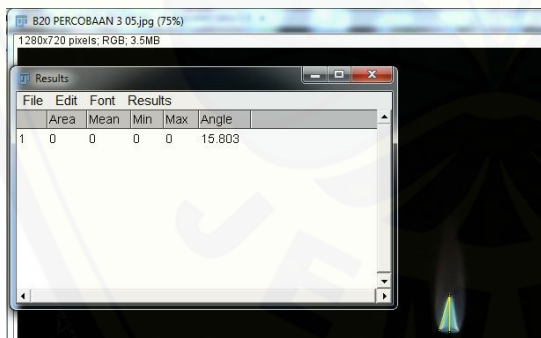
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B20



Percobaan 1

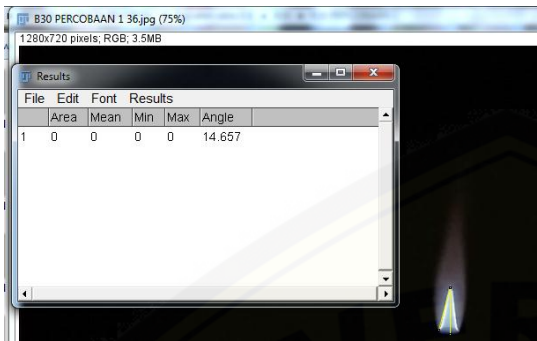


Percobaan 2

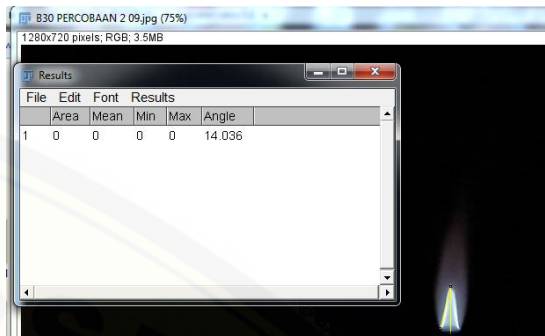


Percobaan 3

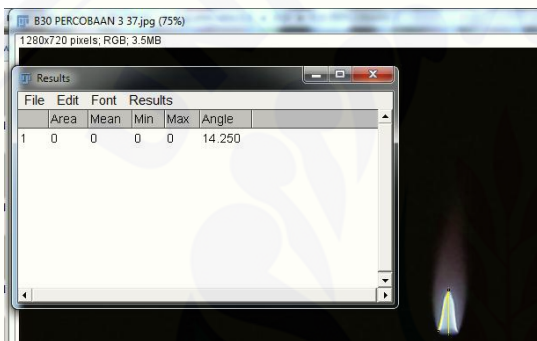
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B30



Percobaan 1

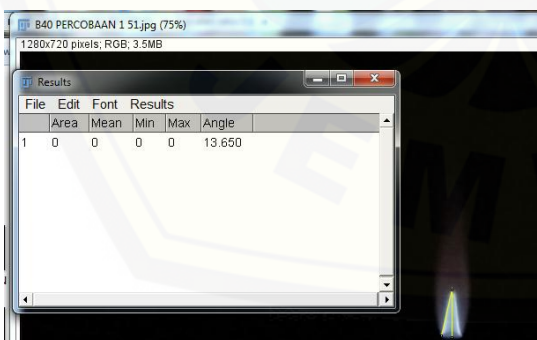


Percobaan 2

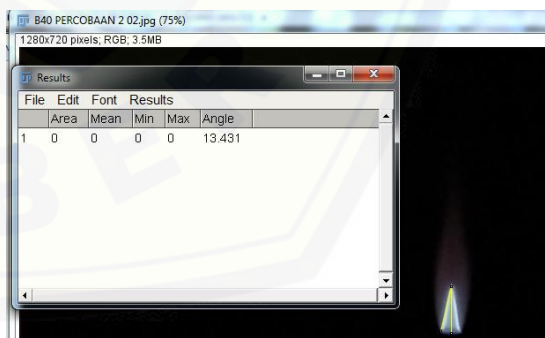


Percobaan 3

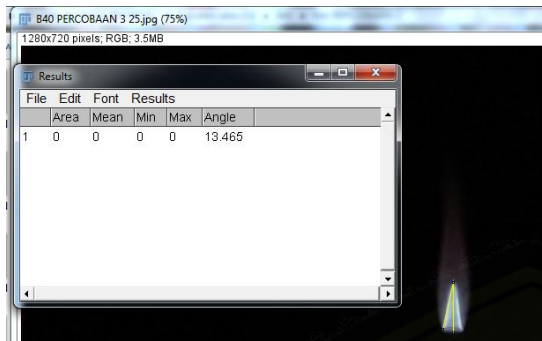
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B40



Percobaan 1

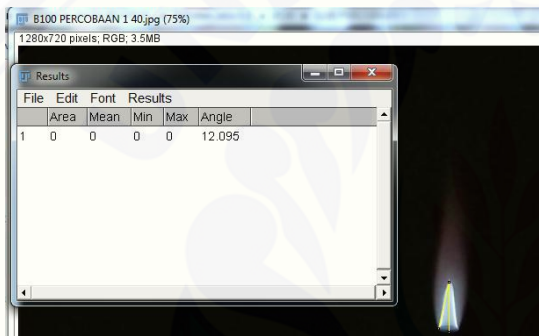


Percobaan 2

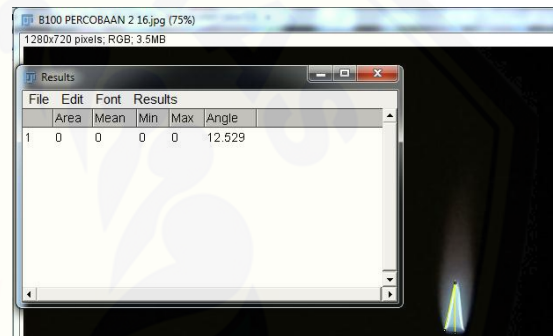


Percobaan 3

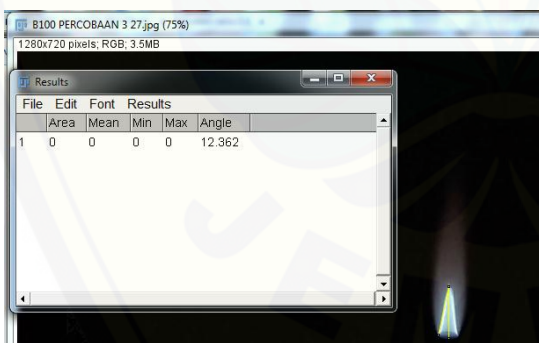
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B100



Percobaan 1



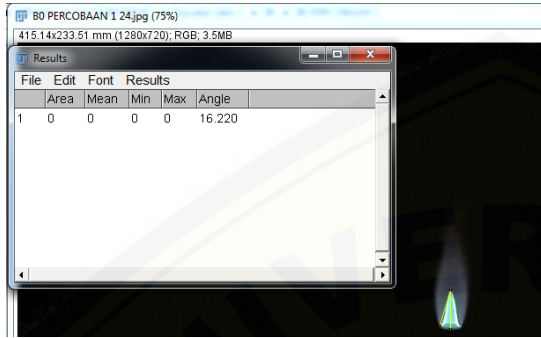
Percobaan 2



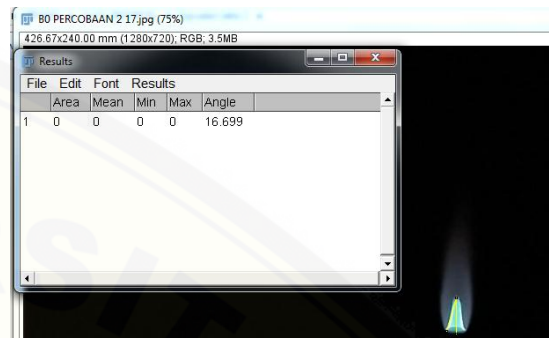
Percobaan 3

Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (φ) = 1

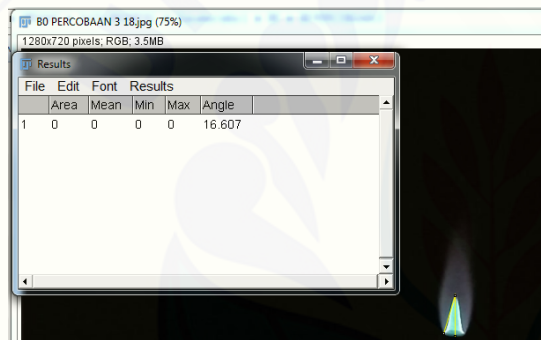
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (φ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B0



Percobaan 1

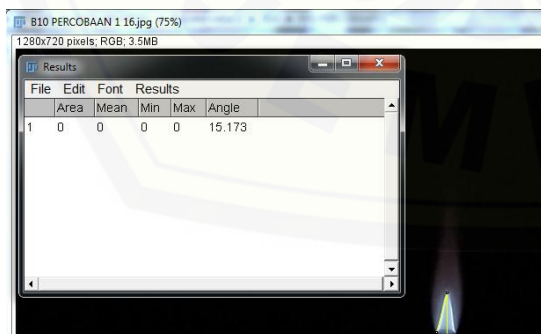


Percobaan 2

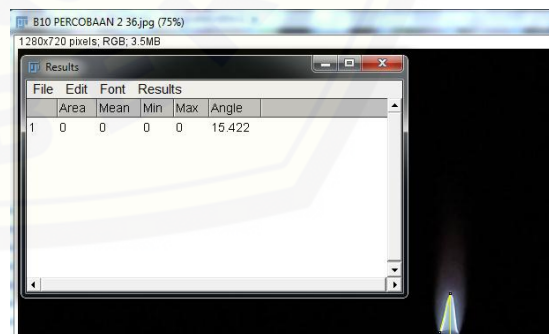


Percobaan 3

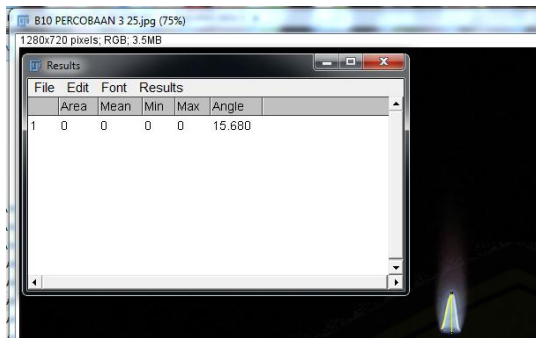
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (φ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B10



Percobaan 1

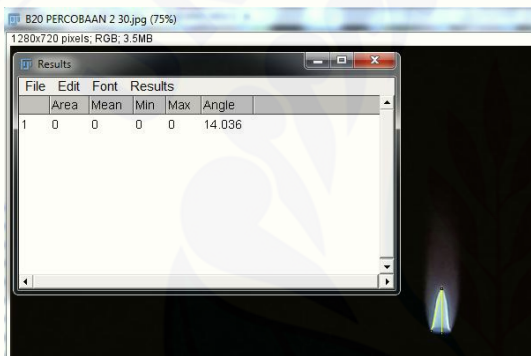


Percobaan 2

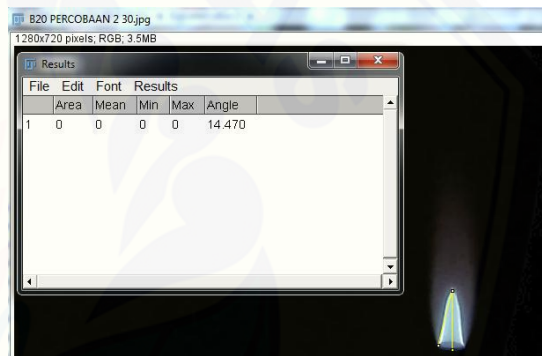


Percobaan 3

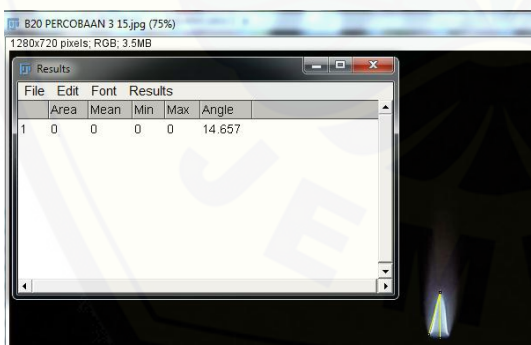
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B20



Percobaan 1

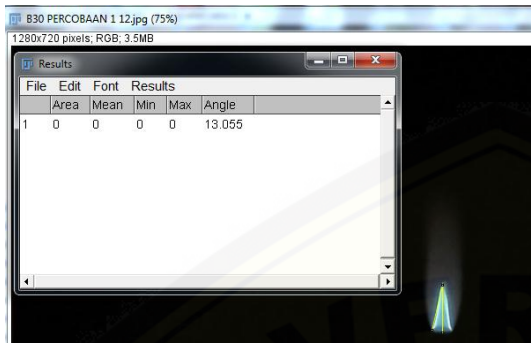


Percobaan 2

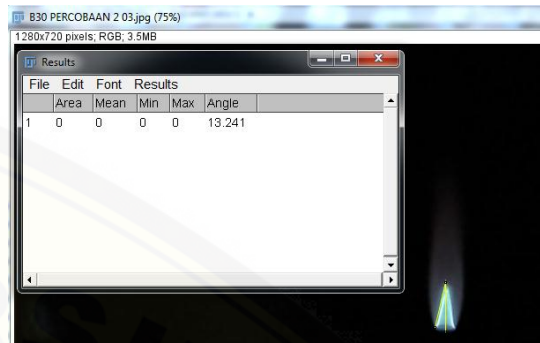


Percobaan 3

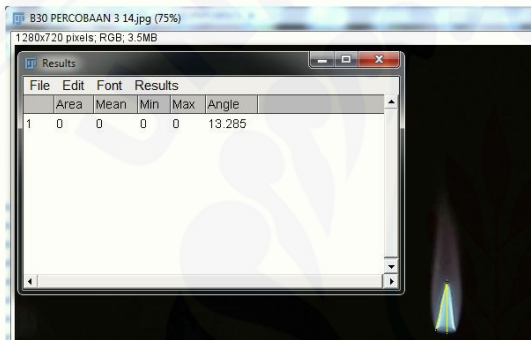
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B30



Percobaan 1



Percobaan 2

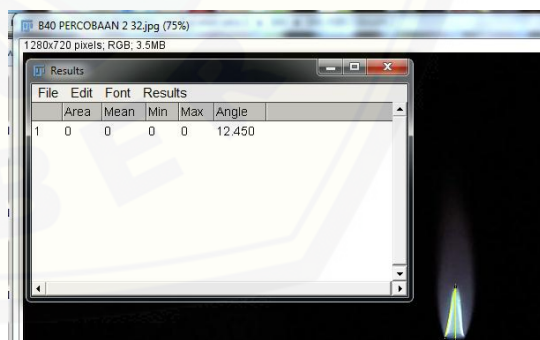


Percobaan 3

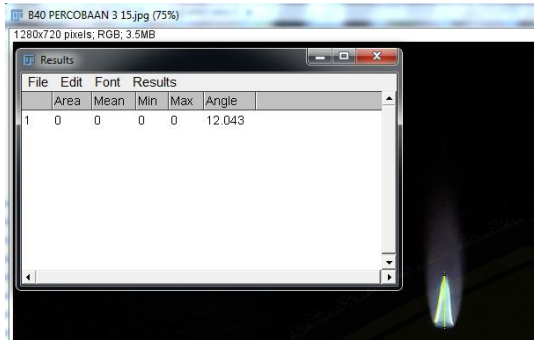
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B40



Percobaan 1



Percobaan 2

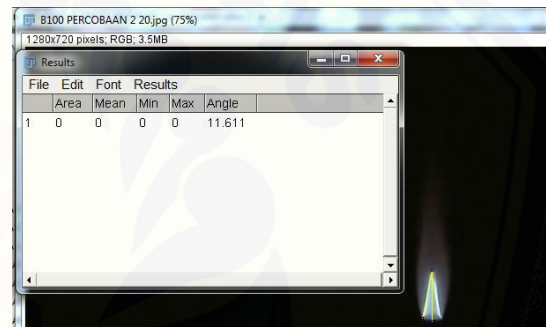


Percobaan 3

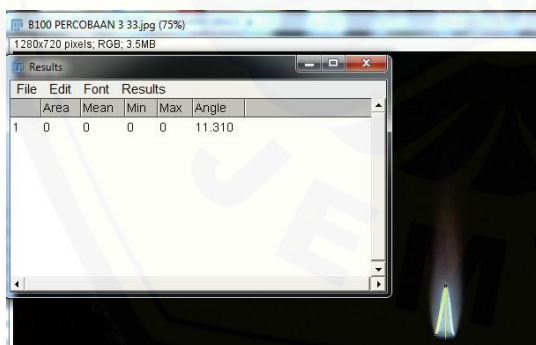
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B100



Percobaan 1



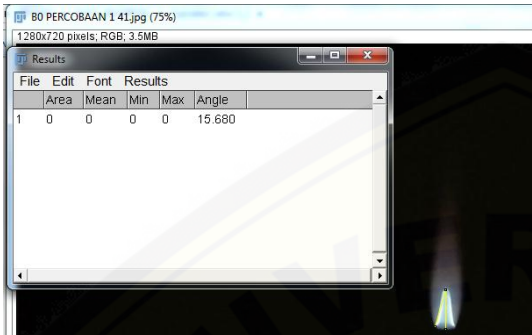
Percobaan 2



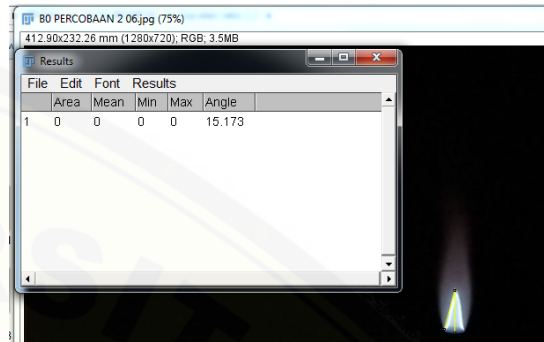
Percobaan 3

Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (φ) = 1,2

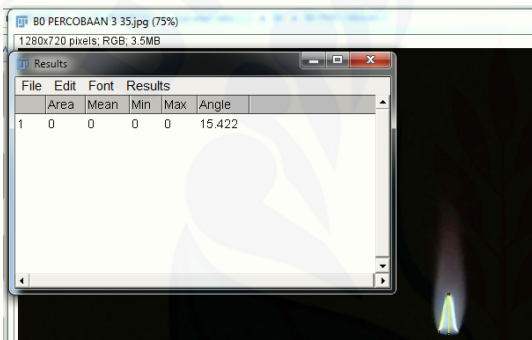
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (φ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B0



Percobaan 1

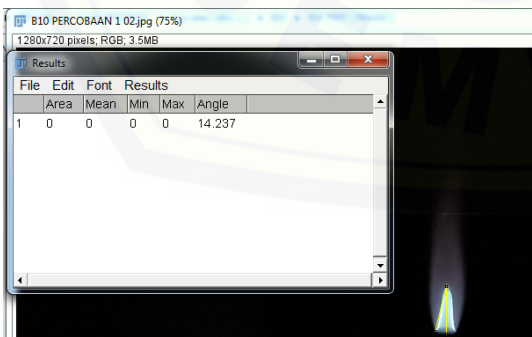


Percobaan 2

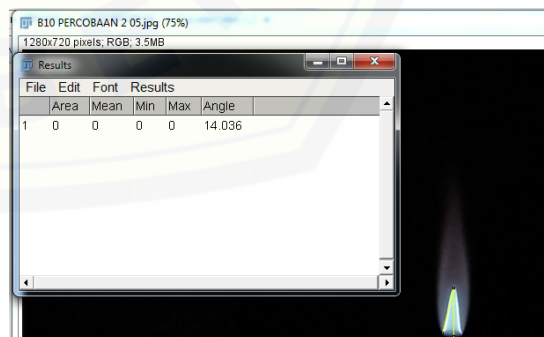


Percobaan 3

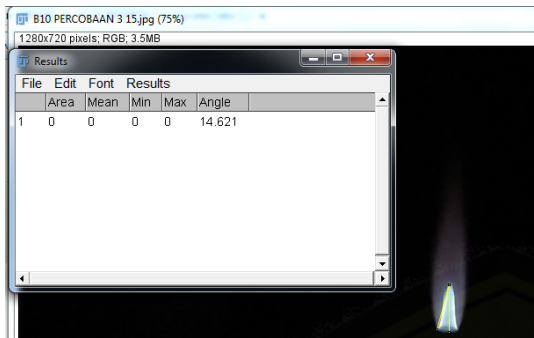
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (φ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B10



Percobaan 1

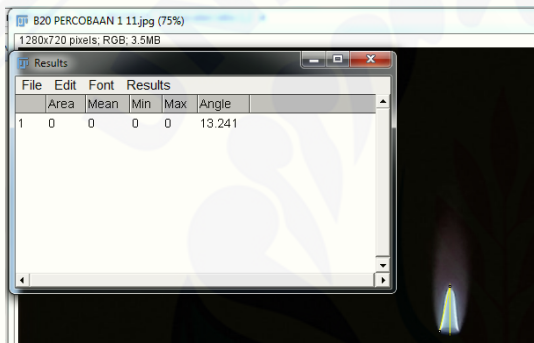


Percobaan 2

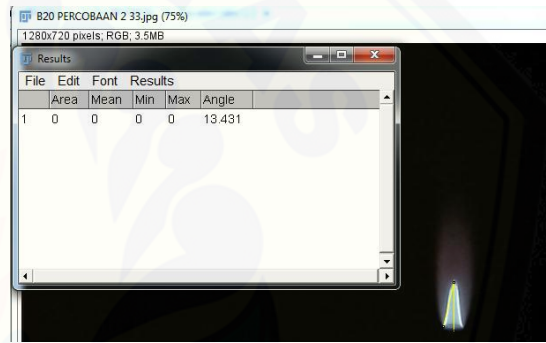


Percobaan 3

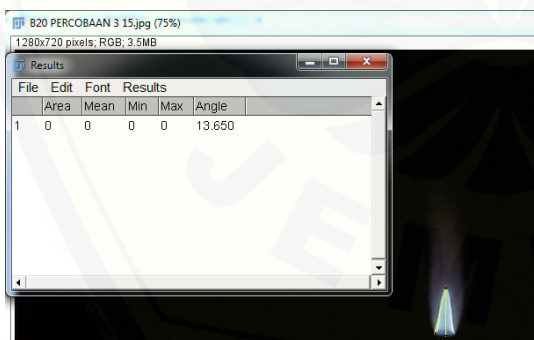
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B20



Percobaan 1

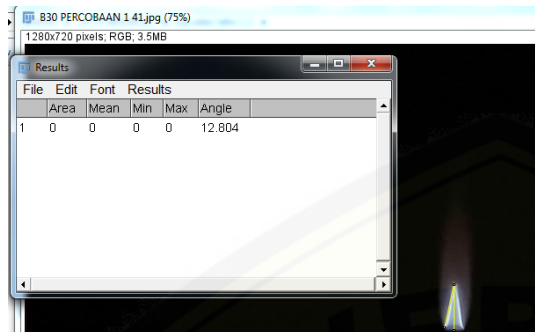


Percobaan 2



Percobaan 3

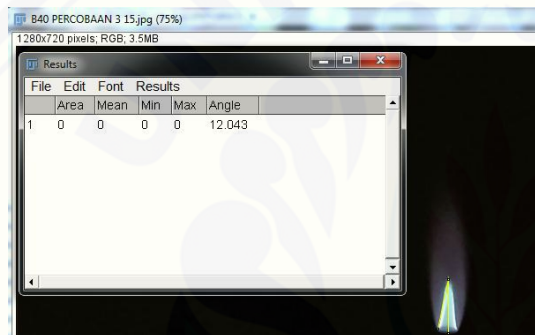
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B30



Percobaan 1

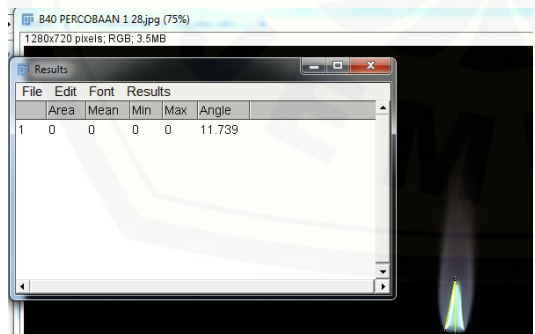


Percobaan 2

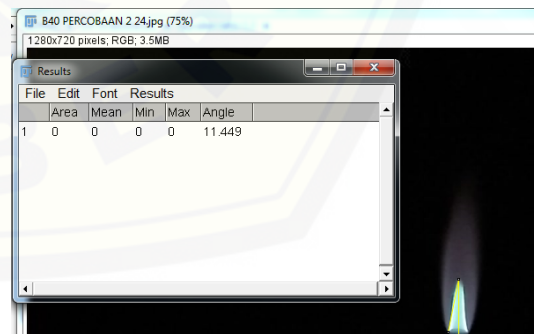


Percobaan 3

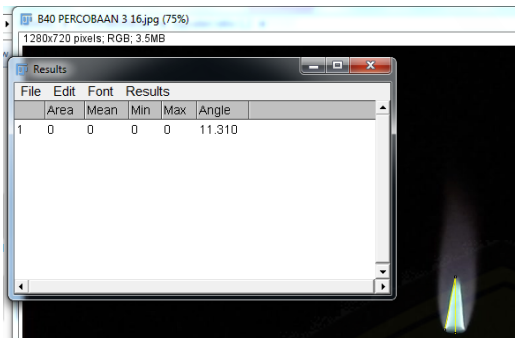
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B40



Percobaan 1

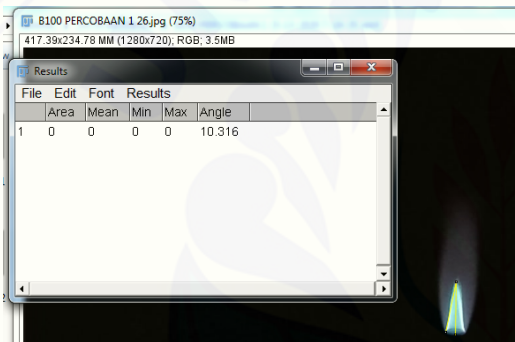


Percobaan 2

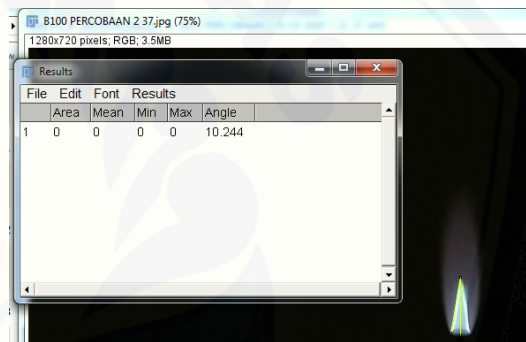


Percobaan 3

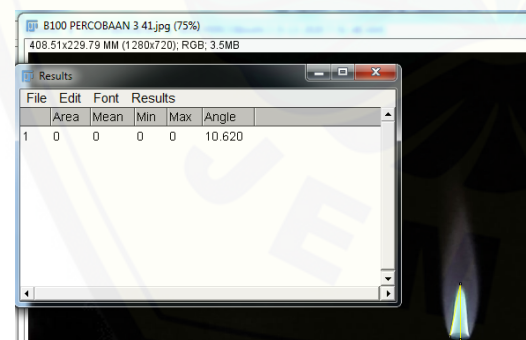
Pengukuran sudut api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B100



Percobaan 1



Percobaan 2

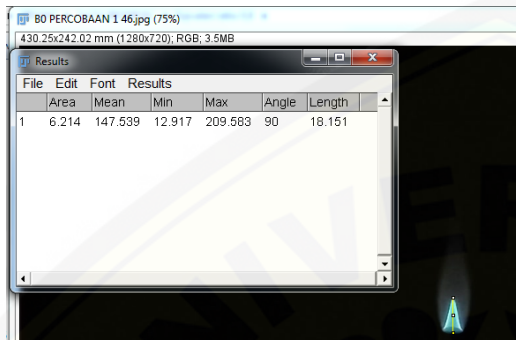


Percobaan 3

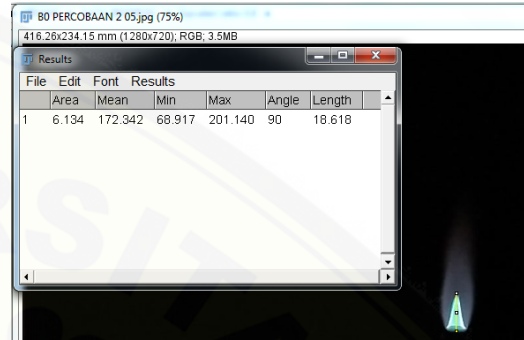
E. Pengukuran Tinggi Api

Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8

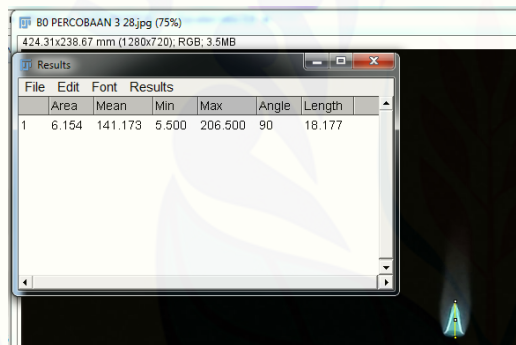
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B0



Percobaan 1

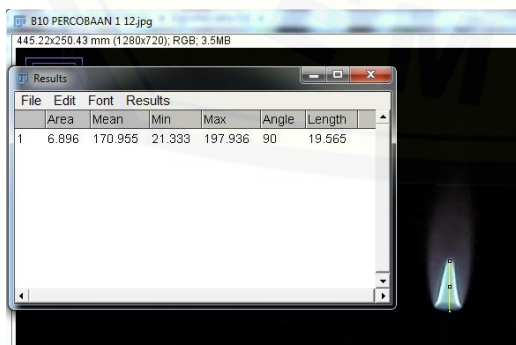


Percobaan 2

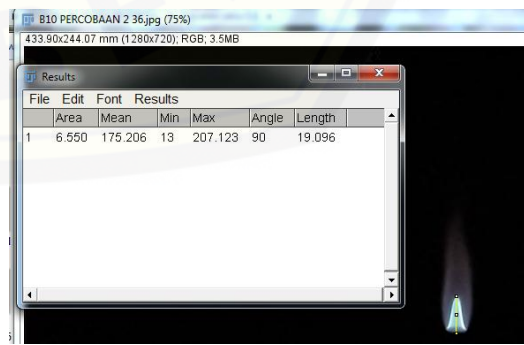


Percobaan 3

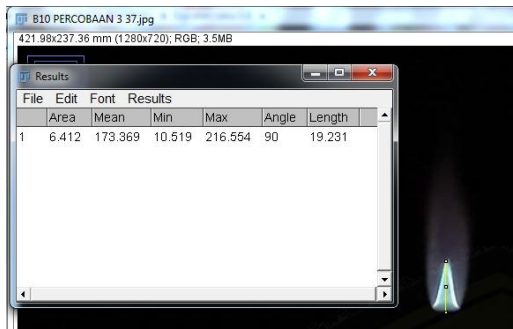
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B10



Percobaan 1

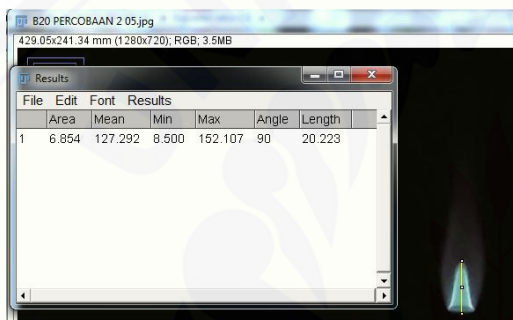


Percobaan 2

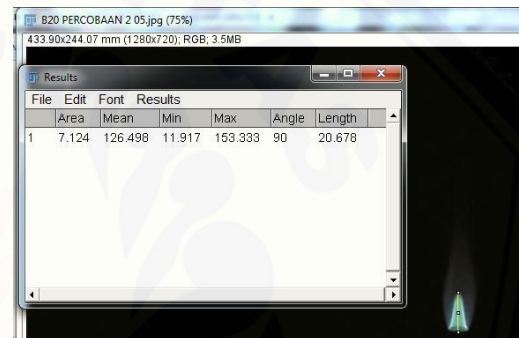


Percobaan 3

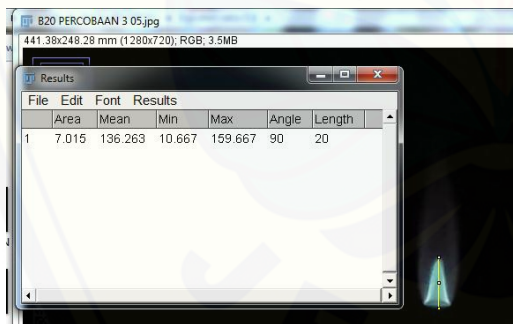
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B20



Percobaan 1

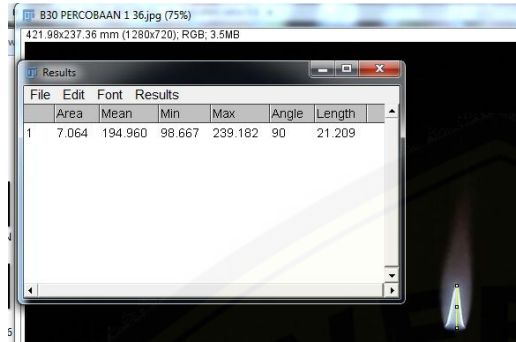


Percobaan 2



Percobaan 3

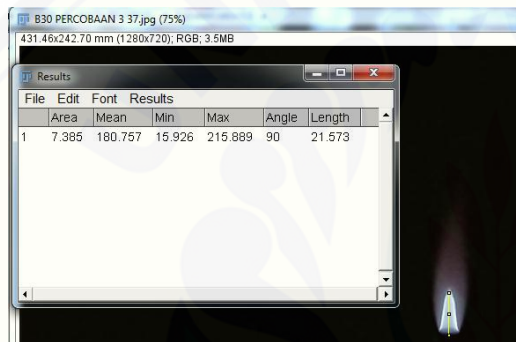
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B30



Percobaan 1

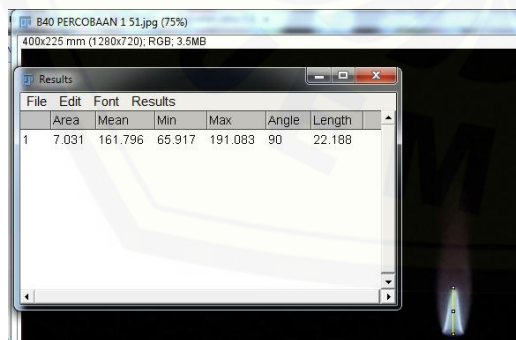


Percobaan 2

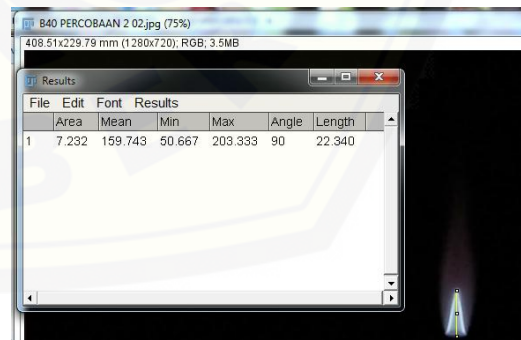


Percobaan 3

Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B40



Percobaan 1

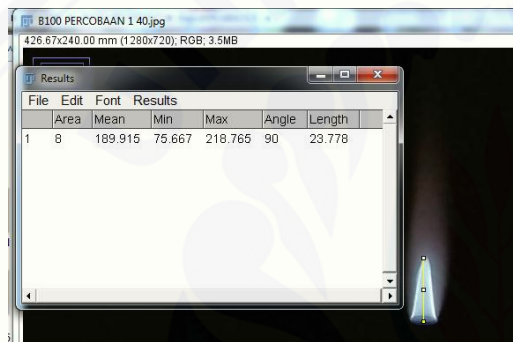


Percobaan 2

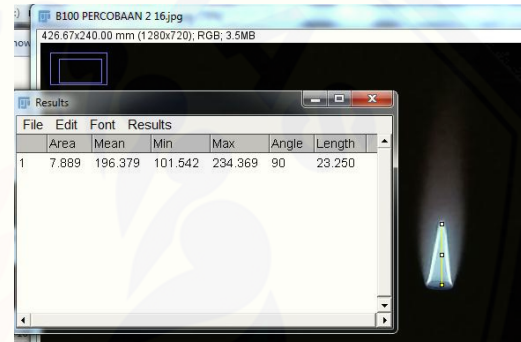


Percobaan 3

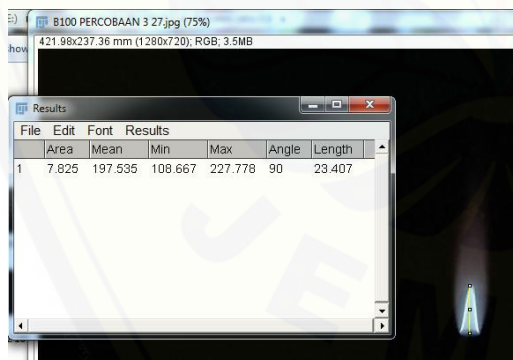
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 0,8 dengan komposisi bahan bakar B100



Percobaan 1



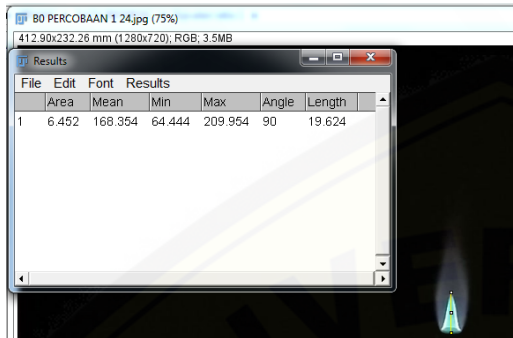
Percobaan 2



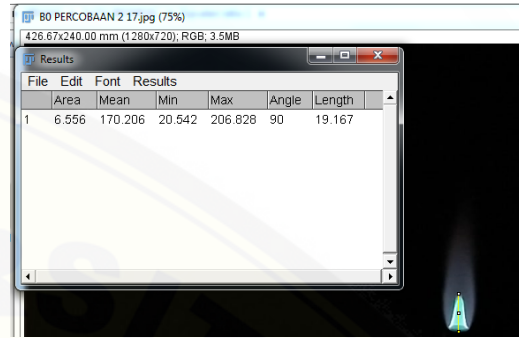
Percobaan 3

Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1

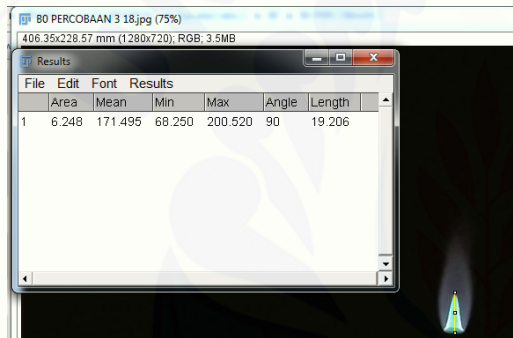
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B0



Percobaan 1

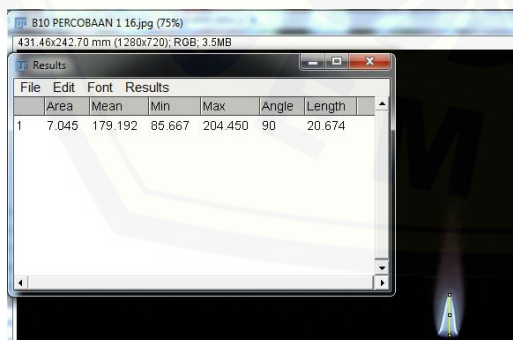


Percobaan 2

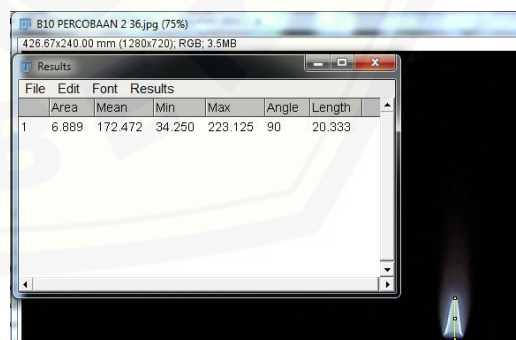


Percobaan 3

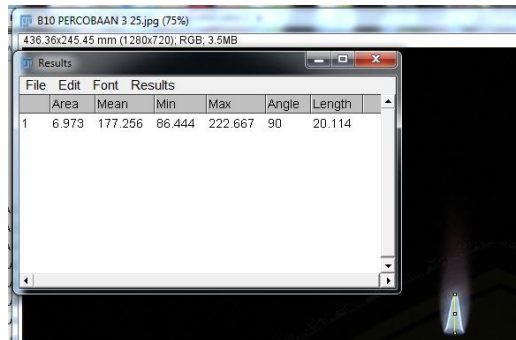
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B10



Percobaan 1

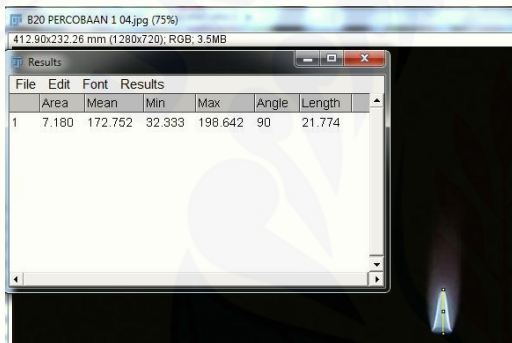


Percobaan 2

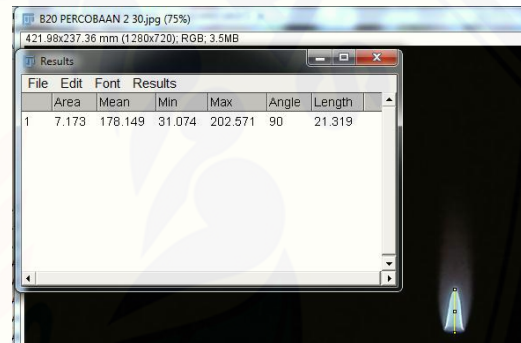


Percobaan 3

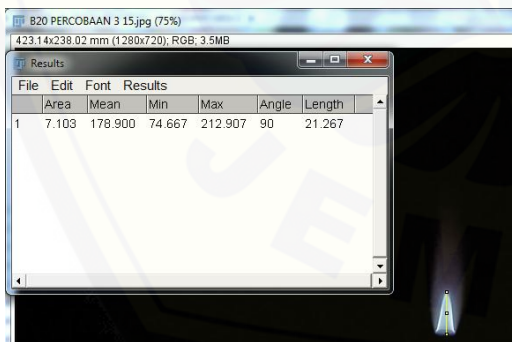
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B20



Percobaan 1

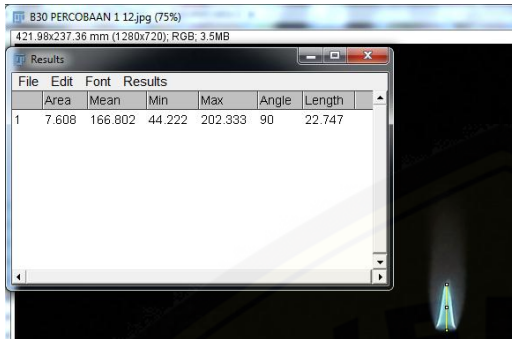


Percobaan 2

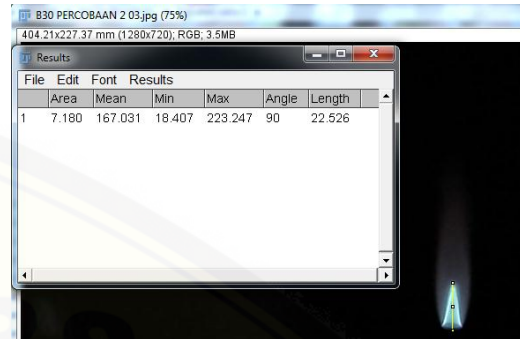


Percobaan 3

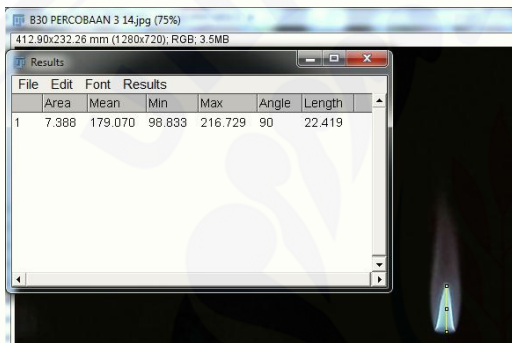
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B30



Percobaan 1

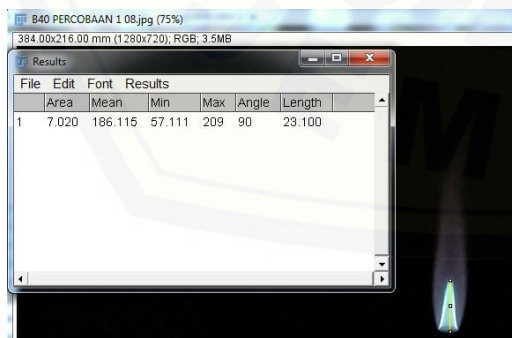


Percobaan 2

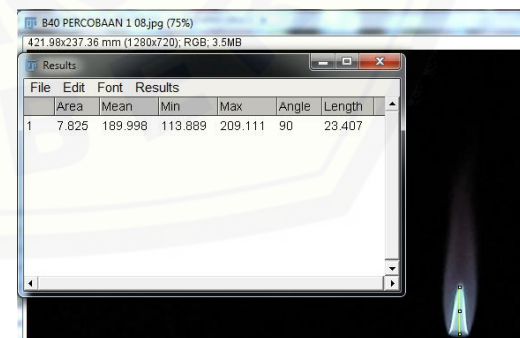


Percobaan 3

Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B40



Percobaan 1

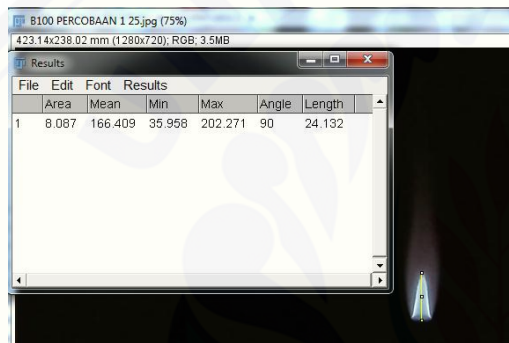


Percobaan 2

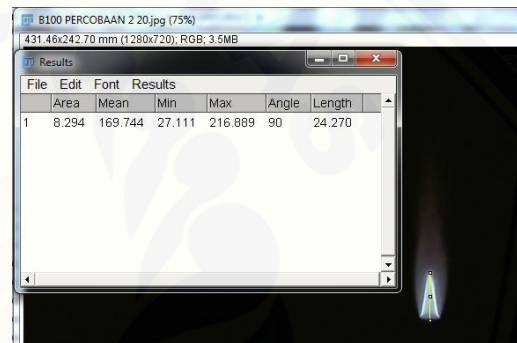


Percobaan 3

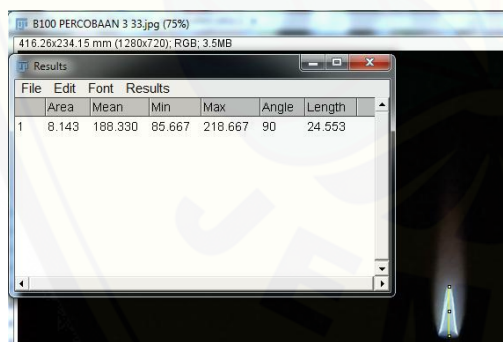
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1 dengan komposisi bahan bakar B100



Percobaan 1



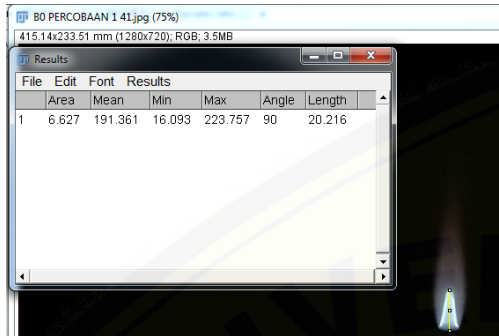
Percobaan 2



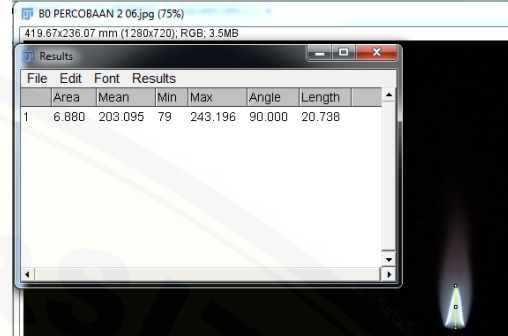
Percobaan 3

Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (φ) = 1,2

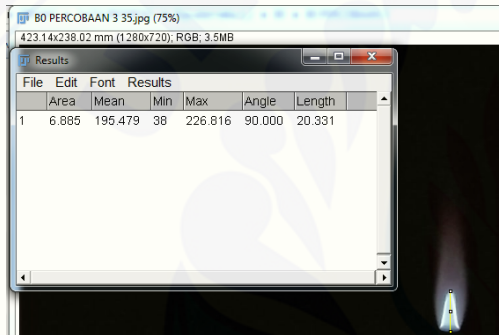
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (φ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B0



Percobaan 1

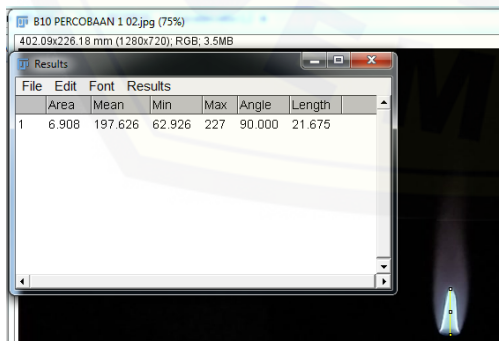


Percobaan 2

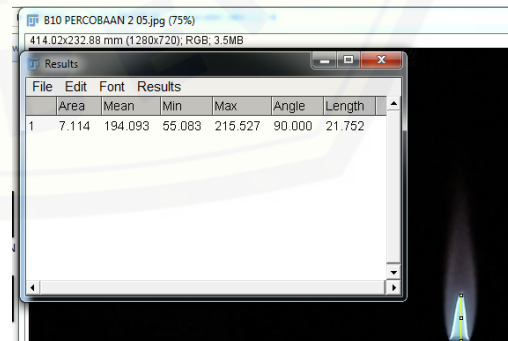


Percobaan 3

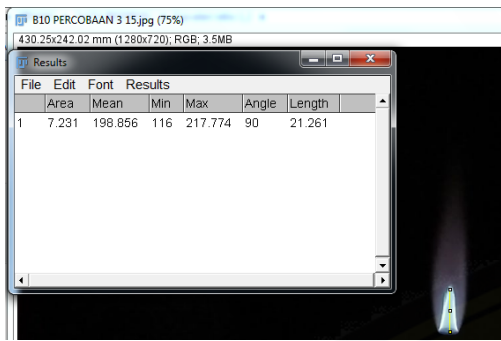
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (φ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B10



Percobaan 1

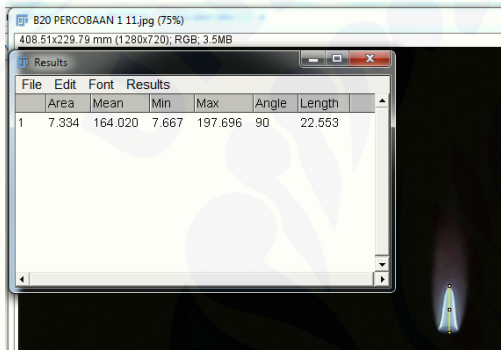


Percobaan 2

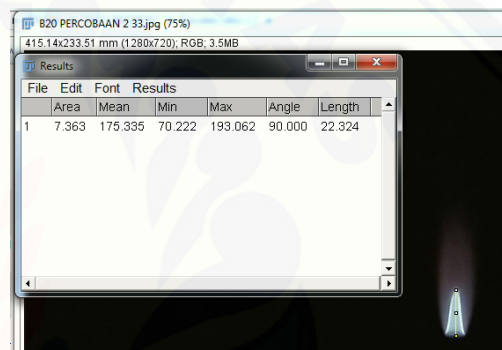


Percobaan 3

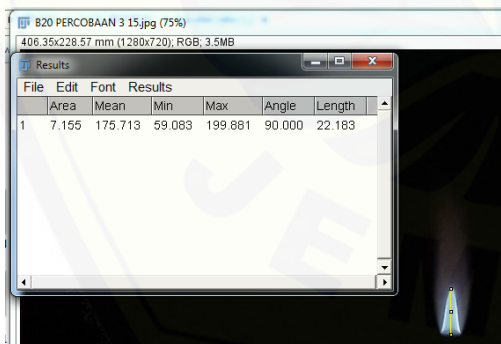
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B20



Percobaan 1

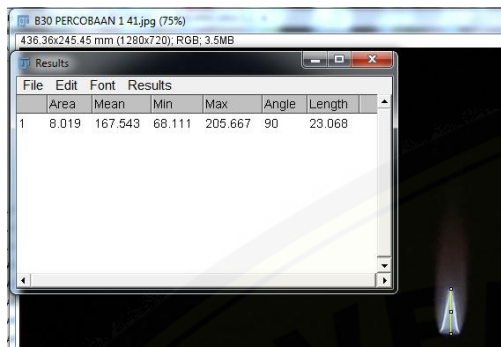


Percobaan 2

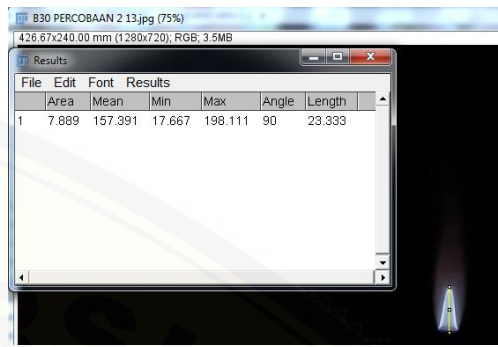


Percobaan 3

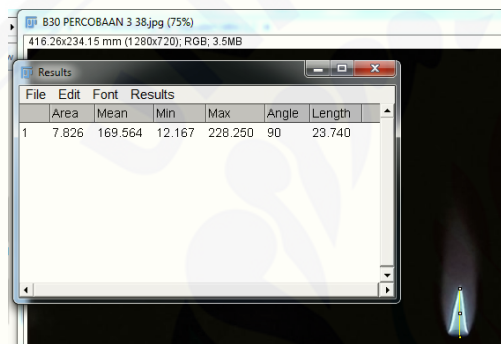
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B30



Percobaan 1

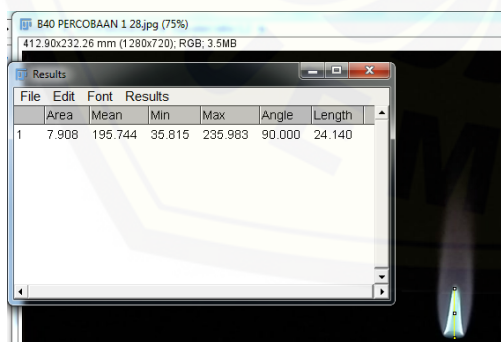


Percobaan 2

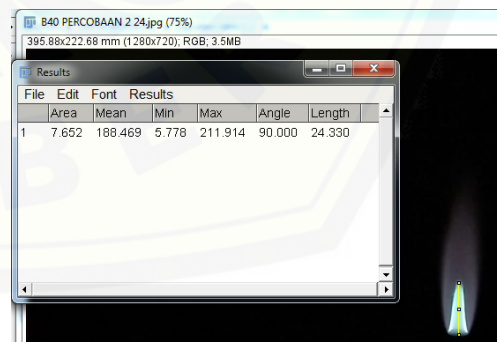


Percobaan 3

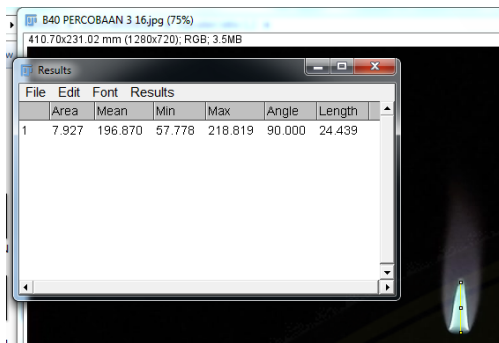
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B40



Percobaan 1

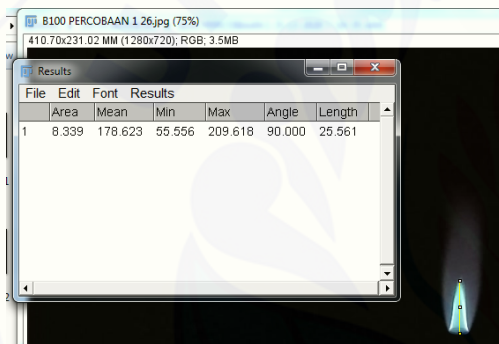


Percobaan 2

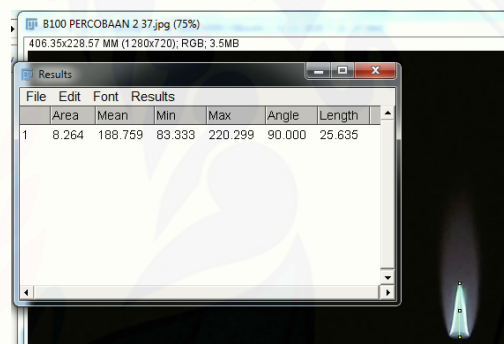


Percobaan 3

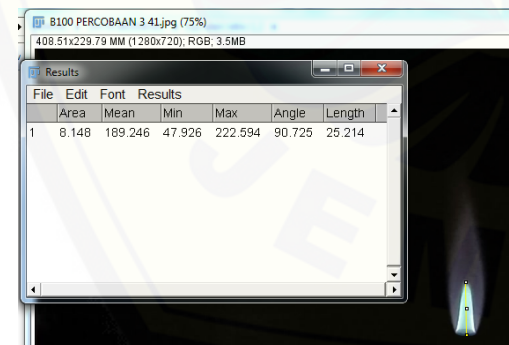
Pengukuran tinggi api pada ekivalen ratio (ϕ) = 1,2 dengan komposisi bahan bakar B100



Percobaan 1



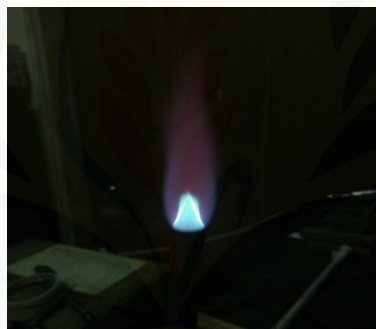
Percobaan 2



Percobaan 3

F. Gambar pengujian





G. Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Bakar



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145

Web : motorbakar.ub.ac.id Email : LaboratoriummotorbakarCEL@gmail.com

Lembar Data Hasil Pengujian

Nama : Dani Hari Tunggal P., S.T.
NIM : 161920101006
Prodi/Jurusan : Magister Teknik (S-2) Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik
Universitas : Universitas Jember
Tanggal Penerimaan : 12 Februari 2020
Tanggal Pengujian : 13 Februari 2020
Analisa / Uji : Nilai kalor, Massa jenis, dan Viskositas
Nama Bahan : Biodiesel Kepuh B0

No	Metode Uji	Nilai
1	Nilai Kalor	11100.2976 (cal/gram)
2	Massa Jenis	0,840 (gram/ml)
3	Viskositas (40°)	3:165333333 (cst)

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng
NIP. 1974072/199903 1 001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145

Web : motorbakar.ub.ac.id Email : LaboratoriummotorbakarCEL@gmail.com

Lembar Data Hasil Pengujian

Nama : Dani Hari Tunggal P., S.T.
NIM : 161920101006
Prodi/Jurusan : Magister Teknik (S-2) Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik
Universitas : Universitas Jember
Tanggal Penerimaan : 12 Februari 2020
Tanggal Pengujian : 13 Februari 2020
Analisa / Uji : Nilai kalor, Massa jenis, dan Viskositas
Nama Bahan : Biodiesel Kepuh B10

No	Metode Uji	Nilai
1	Nilai Kalor	10617.04551 (cal/gram)
2	Massa Jenis	0,841 (gram/ml)
3	Viskositas (40°)	4.461099531 (cst)

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Dr. Eng. Nurkholis Hamidi, ST., M.Eng
NIP. 1974072/199903 1 001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145



Web : motorbakar.ub.ac.id Email : LaboratoriummotorbakarCEL@gmail.com

Lembar Data Hasil Pengujian

Nama : Dani Hari Tunggal P., S.T.
NIM : 161920101006
Prodi/Jurusan : Magister Teknik (S-2) Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik
Universitas : Universitas Jember
Tanggal Penerimaan : 12 Februari 2020
Tanggal Pengeraan : 13 Februari 2020
Analisa / Uji : Nilai kalor, Massa jenis, dan Viskositas
Nama Bahan : Biodiesel Kepuh B20

No	Metode Uji	Nilai
1	Nilai Kalor	10481.28082 (cal/gram)
2	Massa Jenis	0.845 (gram/ml)
3	Viskositas (40°)	4.53974759 (cst)

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Dr. Eng. Nursholis Hamidi, ST., M.Eng
NIP. 19740121 199903 1 001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145



Web : motorbakar.ub.ac.id Email : LaboratoriummotorbakarCEL@gmail.com

Lembar Data Hasil Pengujian

Nama : Dani Hari Tunggal P., S.T.
NIM : 161920101006
Prodi/Jurusan : Magister Teknik (S-2) Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik
Universitas : Universitas Jember
Tanggal Penerimaan : 12 Februari 2020
Tanggal Pengeraan : 13 Februari 2020
Analisa / Uji : Nilai kalor, Massa jenis, dan Viskositas
Nama Bahan : Biodiesel Kepuh B30

No	Metode Uji	Nilai
1	Nilai Kalor	10130.0352 (cal/gram)
2	Massa Jenis	0.847 (gram/ml)
3	Viskositas (40°)	4.757580548 (cst)

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Dr. Eng. Nursholis Hamidi, ST., M.Eng
NIP. 19740121 199903 1 001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145
Web : motorbakar.ub.ac.id Email : LaboratoriummotorbakarCEL@gmail.com



Lembar Data Hasil Pengujian

Nama : Dani Hari Tunggal P., S.T.
NIM : 161920101006
Prodi/Jurusan : Magister Teknik (S-2) Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik
Universitas : Universitas Jember
Tanggal Penerimaan : 12 Februari 2020
Tanggal Pengerjaan : 13 Februari 2020
Analisa / Uji : Nilai kalor, Massa jenis, dan Viskositas
Nama Bahan : Biodiesel Kepuh B40

No	Metode Uji	Nilai
1	Nilai Kalor	10096.34761 (cal/gram)
2	Massa Jenis	0,850 (gram/ml)
3	Viskositas (40°)	4,890225115 (cst)

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Dr. Eng. Nurholidis Hamidi, ST., M.Eng
NIP. 19740121 199903 1 001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS TEKNIK JURUSAN MESIN
LABORATORIUM MOTOR BAKAR
Jl. Mayjen Haryono 167 Malang 65145
Web : motorbakar.ub.ac.id Email : LaboratoriummotorbakarCEL@gmail.com



Lembar Data Hasil Pengujian

Nama : Dani Hari Tunggal P., S.T.
NIM : 161920101006
Prodi/Jurusan : Magister Teknik (S-2) Teknik Mesin
Fakultas : Fakultas Teknik
Universitas : Universitas Jember
Tanggal Penerimaan : 12 Februari 2020
Tanggal Pengerjaan : 13 Februari 2020
Analisa / Uji : Nilai kalor, Massa jenis, dan Viskositas
Nama Bahan : Biodiesel Kepuh B100

No	Metode Uji	Nilai
1	Nilai Kalor	10080.40643 (cal/gram)
2	Massa Jenis	0,869 (gram/ml)
3	Viskositas (40°)	5,347923304 (cst)

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Dr. Eng. Nurholidis Hamidi, ST., M.Eng
NIP. 19740121 199903 1 001