

**PENGARUH TEMPERATUR AWAL *DROPLET* MINYAK KELAPA
TERHADAP WAKTU DAN TEMPERATUR TERJADINYA
*MICROEXPLOSION***

SKRIPSI

KONSENTRASI KONVERSI ENERGI

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

**YUSWANDITA TOESA FEBRIANTO
NIM. 0510623072-62**

KEMENTERIAN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2010



KATA PENGANTAR

Puji syukur *Alhamdulillah*, saya ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “*Pengaruh Temperatur Awal Droplet Minyak Kelapa Terhadap Waktu dan Temperatur Terjadinya Microexplosion*” dapat terselesaikan.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih dan penghargaan kepada semua pihak yang telah banyak membantu hingga terselesaikannya skripsi ini, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., M.T., selaku Ketua Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Dr.Eng. Anindito Purnowidodo,ST.,M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. I. Made Gunadiarta, M.T., selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya.
4. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran yang konstruktif dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak dan ibu serta semua keluargaku di rumah yang senantiasa memberikan dukungan dan dorongan semangat serta tanpa bosan untuk senantiasa memberikan doa demi kesuksesan anaknya.
6. Teman – teman angkatan 2005, teman – teman kos, dan sahabat – sahabatku yang selalu memberikan dukungan dan motivasi.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua terutama warga Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Malang, 1 Agustus 2009

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Minyak Kelapa (<i>cocos nucifera</i>).....	4
2.3. Energi Disosiasi	8
2.4. Viskositas.....	9
2.5. Pembakaran.....	11
2.6. Pembakaran pada <i>Droplet</i>	13
2.7. <i>Microexplosion</i>	18
2.8. Teori Kinetik Gas.....	20
2.9. Kerangka Berfikir Teoritis.....	21
2.10 Hipotesa	22
BAB III METODE PENELITIAN	23
3.1. Metode Penelitian	23
3.2. Variabel Penelitian.....	23

3.3. Alat-alat Penelitian	23
3.4. Skema Instalasi Penelitian	28
3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian.....	29
3.6. Diagram Alir Penelitian	32
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Hasil	33
4.2. Pembahasan	33
4.2.1. Hubungan antara waktu pembakaran dan temperatur pembakaran pada beberapa variasi pemanasan awal <i>droplet</i> minyak kelapa	34
4.2.2. Hubungan antara temperatur awal <i>droplet</i> minyak kelapa terhadap waktu terjadinya <i>microexplosion</i>	39
4.2.3. Hubungan antara temperature awal <i>droplet</i> minyak kelapa terhadap temperature terjadinya <i>microexplosion</i>	41
4.2.4. Visualisasi api <i>droplet</i> minyak kelapa pada beberapa variasi pemanasan awal <i>droplet</i>	42
4.2.5. Hubungan antara tinggi api terhadap waktu pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan awal <i>droplet</i> minyak kelapa.....	46
4.2.6. Hubungan antara lebar api terhadap waktu pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan awal <i>droplet</i> minyak kelapa.....	50
4.2.7. Hubungan antara probabilitas <i>microexplosion</i> terhadap temperatur awal <i>droplet</i> minyak kelapa.....	55
BAB V PENUTUP	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	56

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Sifat fisik beberapa minyak nabati dan minyak fosil	6
Tabel 2.2.	Produktifitas tanaman untuk menghasilkan minyak tumbuhan.	6
Tabel 2.3.	Perbandingan minyak kelapa (<i>Cocos Nucifera.</i>) dengan spesifikasi standar minyak diesel.	7
Tabel 2.4.	Beberapa energi ikatan dan jarak ikatan beberapa unsur dan senyawa.	8



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Tanaman kelapa	5
Gambar 2.2.	Rumus struktur kimia minyak kelapa	7
Gambar 2.3.	Viskositas mutlak gas dan cairan tertentu	10
Gambar 2.4.	Cara reaktan terbakar	12
Gambar 2.5.	Skema <i>droplet combustion</i>	13
Gambar 2.6.	Model nyala api <i>droplet</i>	14
Gambar 2.7.	Proses pembakaran <i>droplet</i> pada bahan bakar cair	14
Gambar 2.8.	Perubahan parameter pada <i>double film model</i>	15
Gambar 2.9.	Distribusi temperature pada penguapan <i>droplet</i>	16
Gambar 2.10.	Perubahan bentuk <i>droplet</i>	17
Gambar 2.11.	Gambar komposisi cairan <i>droplet</i> dan perubahannya menjadi <i>oil membrane</i>	18
Gambar 2.12.	Mekanisme terjadinya <i>microexplosion</i>	19
Gambar 2.13.	Perbandingan pembakaran tanpa <i>microexplosion</i> dan dengan <i>microexplosion</i> .	20
Gambar 3.1.	Alat pembentuk <i>droplet</i> minyak kelapa	24
Gambar 3.2.	Seperangkat alat pemanas minyak kelapa	27
Gambar 3.3.	Rangkaian alat uji penelitian	28
Gambar 3.4.	Alat pembentuk <i>droplet</i> minyak kelapa	30
Gambar 3.5.	Layout program penelitian	30
Gambar 3.6.	Ruang pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa	31
Gambar 3.7.	Diagram alir penelitian	32
Gambar 4.1.	Grafik hubungan waktu pembakaran dan temperatur pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan awal	37
Gambar 4.2.	Grafik hubungan temperature awal <i>droplet</i> dan waktu terjadinya <i>microexplosion</i> dengan variasi ukuran <i>droplet</i> .	39
Gambar 4.3.	Grafik hubungan temperature awal <i>droplet</i> dan waktu terjadinya <i>microexplosion</i> dengan variasi ukuran <i>droplet</i> .	41

- Gambar 4.4. Visualisasi nyala api tanpa pemanasan awal dan dengan pemberian pemanasan awal *droplet* minyak kelapa 44
- Gambar 4.5. Grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan *droplet* minyak kelapa 47
- Gambar 4.6. Grafik gabungan hubungan tinggi api dan waktu pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal *droplet* dengan diameter 1.7512 mm. 47
- Gambar 4.7. Grafik gabungan hubungan tinggi api dan waktu pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal *droplet* dengan diameter 1.877 mm. 48
- Gambar 4.8. Grafik hubungan lebar api dan waktu pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan *droplet* minyak kelapa 51
- Gambar 4.9. Grafik gabungan hubungan lebar api dan waktu pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal *droplet* dengan diameter 1.7512 mm. 51
- Gambar 4.10. Grafik gabungan hubungan lebar api dan waktu pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal *droplet* dengan diameter 1.877 mm. 52
- Gambar 4.11 Grafik hubungan pemanasan awal dan prosentase *microexplosion*. 53

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Proses pembuatan minyak kelapa dengan cara pemanasan santan
Lampiran 2	Prosentase <i>microexplosion</i>
Lampiran 3	Visualisasi nyala api tanpa temperature awal dan berbagai temperatur awal minyak kelapa..
Lampiran 4	Visualisasi api pembakaran tanpa <i>microexplosion</i> dan dengan <i>microexplosion</i>
Lampiran 5	Gambar alat penelitian
Lampiran 6	Data waktu dan temperatur terjadinya <i>microexplosion</i> .



DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Amplitudo	Meter atau m	Y
Berat molekul	Kilogram per mol atau Kg/mol	M
Daya	Watt atau Watt	W
Frekuensi	Hertz atau Hz	f
Intensitas gelombang	Watt per meter kuadrat atau W/m^2	I
Kecepatan	Meter per detik atau m/s	v
Konstanta gas	Joule Kilogram per Mol Kelvin atau J Kg/mol K	R
Massa	Kilogram atau Kg	m
Massa jenis	Kilogram per meter kubik atau Kg/m^3	ρ
Panjang	Meter atau m	l
Panjang gelombang	Meter atau m	λ
Panas	Joule atau J	Q
Temperatur	Derajat celcius atau $^{\circ}C$	T
Waktu	Detik atau dtk	t
Berat molekul	Kg/mol	M
Viskositas Absolut	Newton/ sekon kuadrat	μ
Viskositas kinematik	Meter kuadrat per sekon	ν

RINGKASAN

YUSWANDITA TOESA FEBRIANTO, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, juni 2010, *Pengaruh Temperatur Awal Droplet Minyak Kelapa Terhadap Waktu dan Temperatur Terjadinya Microexplosion*, Dosen Pembimbing : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.

Pada saat ini sumber energi telah menjadi salah satu kebutuhan pokok yang sangat penting peranannya dalam kehidupan kita sehari-hari. Sumber energi yang banyak dimanfaatkan adalah jenis bahan bakar terutama yang berasal dari fosil seperti : minyak bumi, batu bara, serta gas alam. Sumber energi yang berasal dari fosil sangat terbatas keberadaannya dan termasuk jenis sumber energi yang tidak dapat diperbaharui (*unrenewable resources*).

Untuk itu perlu dilakukan suatu usaha diversifikasi sumber energi lain yang mempunyai propertis mendekati minyak bumi dan bersifat *renewable*. Salah satunya adalah dengan menggunakan minyak kelapa. Akan tetapi bahan bakar dari minyak kelapa ini masih memiliki banyak kekurangan, salah satunya adalah memiliki rantai ikatan yang panjang sehingga menyulitkan dalam proses pembakarannya. Atas dasar kekurangan tersebut maka dilakukan penelitian dengan memberikan temperature awal *droplet* pada minyak kelapa sebelum mengalami proses pembakaran. Dengan pemberian temperature awal ini maka diharapkan akan mengakibatkan atom-atom mengalami polarisasi sehingga atom-atom yang dikandung mengalami getaran dan gesekan sehingga dapat melemahkan bahkan memutuskan ikatan antar atom yang nantinya akan mempengaruhi karakteristik pembakarannya. Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperature awal *droplet* minyak kelapa terhadap waktu dan temperature terjadinya *microexplosion*. Minyak kelapa yang digunakan dalam penelitian adalah minyak yang berasal dari proses pemanasan santan sehingga diperoleh kandungan minyak tanpa dilakukan proses kimia lebih lanjut.

Pada penelitian ini digunakan temperature awal *droplet* sebesar 25⁰C, 30⁰C, 40⁰C, 50⁰C, 60⁰C, dan 70⁰C. Ukuran *droplet* minyak kelapa yang digunakan sebesar 1,7512 mm dan 1,877 mm. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa pemanasan awal mempengaruhi waktu dan temperatur terjadinya *microexplosion*. Temperatur awal yang memberikan pengaruh terbaik apabila diberikan sebesar 50⁰C. Nyala api sangat terang karena *microexplosion* selalu terjadi apabila diberikan pemanasan awal sebesar 50⁰C. Warna terang disini menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan dari pembakaran ini cukup besar.

Kata kunci : Minyak kelapa, *droplet*, temperatur, *microexplosio*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan peradaban manusia selalu diikuti oleh peningkatan pemakaian energi. Hal ini disebabkan pikiran manusia menjadi sangat berperan sedangkan tenaga manusia semakin tidak terpakai. Seperti yang telah diketahui sebagian besar pemenuhan energi tersebut berasal dari bahan bakar fosil yang ketersediaannya tidak dapat diperbarui dan keberadaannya semakin menipis. Peningkatan ini ditandai dengan semakin banyaknya jumlah dan jenis kendaraan bermotor, munculnya berbagai macam industri-industri dan produk-produk baru diseluruh penjuru dunia, dan lain sebagainya. Kondisi ini mendorong kita untuk mengganti, menemukan dan mengembangkan sumber energi baru.

Peneletian telah banyak dilakukan oleh para peneliti untuk mencari alternatif pengganti bahan bakar minyak tersebut. Sumber-sumber energi alternatif tersebut antara lain fuel cell, solar cell, biodiesel, biogas dan lain sebagainya yang diharapkan mampu menggantikan posisi bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama. Selain itu sumber energi alternatif lain adalah minyak kelapa (*Cocos Nucifera*).

Minyak kelapa (*Cocos Nucifera*) adalah sumber energi alternatif yang berasal dari tumbuhan (pohon kelapa) yang keberadaannya sangat mudah ditemukan di lingkungan kita. Khususnya di Indonesia, karena hampir seluruh daerah di Indonesia banyak terdapat pohon kelapa baik yang dibudidayakan maupun yang tumbuh liar. Pohon kelapa merupakan tumbuhan tropis yang hanya dapat tumbuh di daerah dataran rendah. Sehingga tidak jarang kita banyak menjumpai pohon kelapa di sepanjang daerah pantai di Indonesia. Minyak kelapa ini diperoleh dari daging buah kelapa dengan proses yang sederhana, yaitu dengan menggunakan alat penekan hidrolis atau dengan menggunakan mesin sentrifugal. Minyak kelapa sangat bagus prospeknya untuk dijadikan sebagai bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar yang tidak bisa diperbaharui. Indonesia merupakan negara penghasil kelapa yang sangat besar di dunia dengan areal seluas 3,7 juta hektare dengan peroduksi 2,8 juta butir kelapa sekali panen (*Manggabarani, 2006 ; Ditjenbun, 2006*). Sehingga di Indonesia sangat cocok digunakan sebagai tempat untuk mengembangkan energi alternatif ini.

Dalam proses pembakaran, bahan bakar merupakan komponen yang sangat penting. Ada tiga syarat yang harus dipenuhi untuk terjadinya proses pembakaran yaitu meliputi bahan bakar (*fuel*), udara (*air*), dan energi panas (*heat*). Pembakaran merupakan suatu reaksi kimia (reaksi oksidasi) yang berlangsung pada temperatur tinggi, berjalan dengan cepat dan disertai dengan lepasnya sejumlah kalor. Fungsi dari pembakaran adalah untuk mengubah energi kimia dari bahan bahan bakar menjadi energi kalor yang selanjutnya dapat digunakan secara langsung ataupun diubah menjadi energi lain.

Salah satu karakteristik pembakaran yang dapat meningkatkan efisiensi pembakaran adalah *microexplosion*. Pada perkembangan selanjutnya Agung Sudrajat (mahasiswa program doktor di Kobe University Faculty of Maritime Sciences) menemukan bahwa *microexplosion* dapat meningkatkan efisiensi pembakaran dan mengurangi emisi nitrogen oksida akibat pembakaran pada suhu tinggi. Manfred Aigner dkk (2006) menyatakan bahwa *microexplosion* berasal dari perbedaan titik didih kedua komponen penyusun bahan bakar, yaitu air dan bahan bakar. *Microexplosion* menyebabkan terbentuknya butiran bahan bakar yang sangat kecil, sehingga menyebabkan makin mudahnya pembakaran pada suhu tinggi. Ahmad Adib Rosyadi (2009) dalam penelitiannya mendapatkan bahwa *microexplosion* yang terjadi pada pembakaran droplet mempercepat waktu penyalaan (*ignition delay time*) karena terdapat jumlah *fatty acid* yang banyak sehingga *fatty acid* terbakar terlebih dahulu dan sebagian menyusup ke dalam *glycerol* untuk melakukan *microexplosion*. Choirul Azhar (2008) menyatakan bahwa penambahan temperature hingga 50° menyebabkan penurunan viskositas, namun pemanasan diatas temeperatur 50° viskositas minyak jarak cenderung konstan yaitu sekitar $0,0139 \text{ N/s.m}^2$.

Berdasarkan penelitian tersebut diatas maka perlu dikembangkan objek penelitian yang lebih luas, yaitu pengaruh temperatur minyak kelapa terhadap waktu dan temperatur terjadinya *microexplosion*. Dengan mengetahui waktu dan temperatur terjadinya *microexplosion* pada pembakaran minyak kelapa (*cocos nucifera*) maka kita dapat dengan mudah memanfaatkan minyak kelapa untuk digunakan dalam kehidupan sehari-hari.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dibuat rumusan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana pengaruh temperatur awal *droplet* minyak kelapa terhadap waktu dan temperatur terjadinya *microexplosion*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk menjawab rumusan masalah diatas dan menghindari meluasnya permasalahan yang ada, maka dalam penelitian ini diberikan batasan masalah yang diteliti sebagai berikut :

1. Pengambilan data dilakukan pada kondisi lingkungan yang dianggap konstan (*steady state*).
2. Bahan bakar yang digunakan adalah minyak kelapa (*cocos nucifera*) tanpa melalui proses transesterifikasi atau katalisasi lebih lanjut.
3. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi selama proses pembakaran.
4. Tidak menghitung besarnya perpindahan panas yang terjadi.
5. Perhitungan konstruksi alat diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui bagaimana pengaruh temperatur awal *droplet* minyak kelapa terhadap waktu dan temperatur terjadinya *microexplosion*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan wawasan tentang penggunaan bahan bakar minyak kelapa dalam proses pembakaran.
2. Sebagai sarana pengembangan sumber energi alternatif yang sifatnya dapat diperbaharui yang berguna baik dalam bidang industri, rumah tangga, dan transportasi.
3. Dapat menambah ilmu pengetahuan dan wawasan bagi penulis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya.

Manfred Aigner dkk (2006) menyatakan bahwa *microexplosion* berasal dari perbedaan titik didih kedua komponen penyusun bahan bakar, yaitu air dan bahan bakar. *Microexplosion* menyebabkan terbentuknya butiran bahan bakar yang sangat kecil, sehingga menyebabkan makin mudahnya pembakaran pada suhu tinggi.

Choirul Azhar (2008) menyatakan bahwa penambahan temperatur hingga 50°C menyebabkan penurunan viskositas, namun pemanasan di atas temperatur 50°C viskositas minyak nabati cenderung konstan yaitu sekitar 0,0139 N/s.m².

Ahmad Adib Rosyadi (2009) dalam penelitiannya mendapatkan bahwa *microexplosion* yang terjadi pada pembakaran droplet mempercepat waktu penyalaan (*ignition delay time*) karena terdapat jumlah *fatty acid* yang banyak sehingga *fatty acid* terbakar terlebih dahulu dan sebagian menyusup ke dalam *glycerol* untuk melakukan *microexplosion*.

2.2. Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera*).

Tanaman Kelapa (*Cocos Nucifera*.) merupakan komoditas yang paling luas penyebarannya karena disamping dilakukan oleh manusia juga tumbuh secara alami, sehingga ditemukan juga tumbuh ditempat-tempat yang tidak dihuni oleh manusia. Tanaman dari keluarga *Falmales* ini banyak ditemukan di daerah yang beriklim tropis (*Benson, 1882*). Tanaman yang terdiri dari 35% serabut, 12% tempurung, 28% daging, dan 21% air merupakan pohon yang paling banyak kegunaannya karena hampir tiap bagian dari pohon tersebut dapat dimanfaatkan.

Yang dimanfaatkan dari pohon kelapa sebagai bahan bakar cair alternatif adalah buahnya. Pohon kelapa yang telah berumur sekitar 6 bulan sudah bisa diolah. Ditandai dengan warna tempurung yang lebih gelap dan membukanya spate. Semakin tua umur dari pohon kelapa, yaitu sekitar 11 – 14 bulan semakin berkurang kandungan airnya, namun semakin meningkat kandungan lemak dalam dagingnya (*Woodroof, 1978*).

Minyak kelapa sangat berpotensi menggantikan minyak diesel karena titik bakar (temperatur yang menunjukkan mulai terbakarnya suatu bahan bakar) pada minyak kelapa lebih rendah daripada minyak nabati lainnya, meskipun viskositasnya lebih tinggi daripada minyak diesel. Dengan pemanasan awal pada minyak kelapa, kedua karakter ini bisa direduksi.

Minyak kelapa berasal dari pengolahan daging buah kelapa. Ada 3 macam cara pengolahan daging buah kelapa diantaranya :

1. Cara basah tradisional
2. Cara basah sentrifugasi
3. Cara basah fermentasi (tanpa menggunakan api).



Gambar 2.1 Tanaman Kelapa (*Cocos Nucifera*.)

Sumber : Andi Nur Alam Syah, *Biodiesel Kelapa*, 2005: 33

Alasan penggunaan minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif antara lain :

1. Minyak dari daging buah kelapa merupakan sumber daya alam yang dapat terbarukan (*renewable*).
2. Tanaman kelapa yang mudah tumbuh dan dikembangkan sebagai bahan bakar minyak alternatif.
3. Emisi yang dihasilkan lebih rendah dari bahan bakar minyak.
4. Secara agronomis tanaman kelapa dapat tumbuh di daerah yang terpencil yang jarang mendapat pasokan minyak.
5. Pengolahannya yang relatif mudah.

Berikut ini adalah sifat dan karakteristik dari minyak kelapa (*cocos nucifera*) dibandingkan dengan minyak nabati yang lain dan minyak fosil.

Tabel 2.1. Sifat fisik beberapa minyak nabati dan minyak fosil

Jenis Minyak	Titik Bakar (0C)	Kekentalan (10 ⁻⁶ m ² /s)	Angka Iodine	Saponification Value	Nilai Kalori (MJ/Kg)
Jarak	340	75,7	103,0	198,0	39,65
Kelapa	270-300	51,9	10,4	268,0	37,54
Kelapa Sawit	314	88,6	54,2	199,1	39,54
Bunga Matahari	316	65,8	132,0	190,0	39,81
Minyak Tanah	50-55	2,2	-	-	43,50
Minyak Solar	55	2-8	-	-	45,00

Sumber : Lide dan Frederikse,1995 dalam Mahlbauer et al. (1998).

Tabel 2.2. Produktifitas tanaman untuk menghasilkan minyak tumbuhan (**BioOil**)

Tanaman	liter minyak/ha
Jagung	172
Kedelai	446
Kacang Tanah	1059
Zaitun	1212
Jarak	1892
Alpukat	2638
Kelapa	2689
Kelapa Sawit	5950

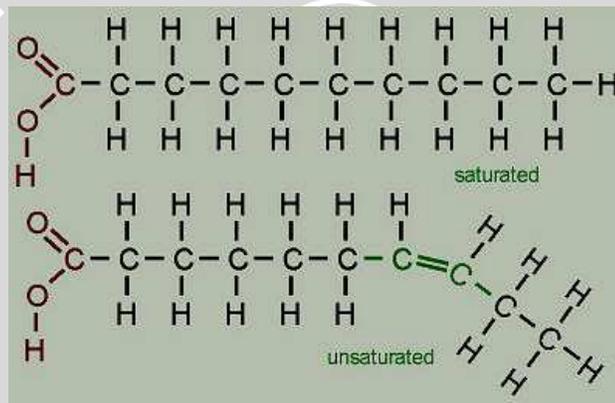
Sumber:[http://www.dkp.go.id/files/Marine Biodiesel Pengganti Bahan Bakar Minyak.pdf](http://www.dkp.go.id/files/Marine_Biodiesel_Pengganti_Bahan_Bakar_Minyak.pdf)

Tabel 2.3. Perbandingan minyak kelapa dengan spesifikasi standar minyak diesel.

Property	Diesel	Coconut oil
Cal Value kJ/kg	42500.00	37260.000
Spesific Gravity	0.83	0.918
Sulphur,wt,%	0.10	0.009
Cetane Number	52.00	37.000
Cost (approx),Rs/kg	18.00	40.000
Kinematic Viscosity,cst 40 ⁰	3.60	26.220

Sumber: H M Raffiq and K M B Ahamed,2005, *Emission Control for a Direct Injection CI Engine using Preheated Coconut Oil Blended Diesel.*

Rumus struktur dari minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*) adalah:



Gambar 2.2.Rumus struktur kimia minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*)

Sumber : <http://biology.clc.uc.edu/graphics/bio104/fatty%20acid.jpg>

Berdasarkan struktur kimia diatas dapat dilihat bahwa rantainya memiliki ikatan yang panjang. Termasuk dalam susunan asam lemak rantai sedang (medium chain fatty acids) yang memiliki 8-16 atom karbon yang diikat oleh 1 atom hydrogen. Karena memiliki ikatan panjang menyebabkan atom-atom dari minyak kelapa menjadi stabil, sehingga minyak kelapa akan lebih sulit terbakar dan butuh energi yang besar untuk melepaskan ikatan-ikatan atom dari minyak kelapa tersebut. Namun minyak kelapa merupakan asam lemak jenuh (Saturated Fatty Acid), yaitu tidak memiliki ikatan ganda, sehingga nilai energi disosiasinya rendah dibanding minyak nabati lain yang memiliki ikatan rangkap.

2.3 Energi Disosiasi

Energi disosiasi ikatan didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan kimia suatu zat dalam fase gas. Satuan SI (standar internasional) untuk energi ikatan adalah kilojoule per mol ikatan (kJ/mol).

Dengan demikian kekuatan suatu ikatan kimia ditentukan oleh energi ikatan yang besarnya tergantung pada sifat ikatan antara atom-atom. Di samping itu, terdapat hubungan antara energi disosiasi ikatan dan jarak ikatan, yaitu jarak antara inti dari atom-atom yang berikatan. Semakin pendek jarak ikatannya maka semakin kuat ikatan kimianya. Di bawah ini ditunjukkan data energi ikatan dan jarak ikatan untuk sejumlah ikatan kimia.

Tabel 2.4 Beberapa energi ikatan dan jarak ikatan beberapa unsur dan senyawa

Ikatan	Energi ikatan, kJ/mol	Jarak ikatan		Ikatan	Energi ikatan kJ/mol	Jarak ikatan	
		Å	pm			Å	pm
H—H	435	0,74	74	C—O	360	1,43	143
H—C	414	1,10	110	C=O	736	1,23	123
H—N	389	1,00	100	C—Cl	326	1,77	177
H—O	464	0,97	97	N—N	163	1,45	145
H—F	565	1,01	101	N=N	418	1,23	123
H—Cl	431	1,36	136	N≡N	946	1,09	109
H—Br	364	1,51	151	F—F	155	1,28	128
H—I	297	1,70	170	Cl—Cl	243	1,99	199
C—C	347	1,54	154	Br—Br	192	2,28	228
C=C	611	1,34	134	I—I	151	2,66	266
C≡C	837	1,20	120				
C—N	305	1,47	147				
C=N	615	1,28	128				
C≡N	891	1,16	116				

Sumber: Ralph H. Petrucci, *Kimia Dasar*, 1996: 293.

Dengan adanya rantai yang panjang pada struktur kimia minyak kelapa diperlukan sejumlah energi dari luar yang dapat membantu energi panas untuk pemutusan ikatan-ikatan kimia tersebut, sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih cepat. Dengan adanya penelitian terhadap variasi diameter *droplet* bahan bakar terhadap pembakaran minyak kelapa dalam medan listrik, diharapkan dapat memperlemah energi ikat dan mengurangi jumlah molekul yang harus bereaksi sehingga reaksi kimia pembakaran akan semakin cepat.

2.4. Viskositas

Viskositas adalah sifat fluida dalam menahan laju deformasi dari molekul fluida tersebut. Hukum Viskositas *Newton* menyatakan bahwa, laju perubahan bentuk suatu fluida tertentu, merupakan fungsi dari tegangan geser dan viskositas. Viskositas dibedakan menjadi 2 macam yaitu :

1. Viskositas mutlak / dinamik (μ)

Viskositas dinamik adalah viskositas yang menunjukkan ketahanan suatu fluida terhadap tegangan geser / gaya yang bekerja padanya. Secara matematis dinyatakan sebagai :

$$v = \frac{\mu}{\rho} \quad (\text{Streeter, 1996: 10}) \quad (2-1)$$

Dimana :

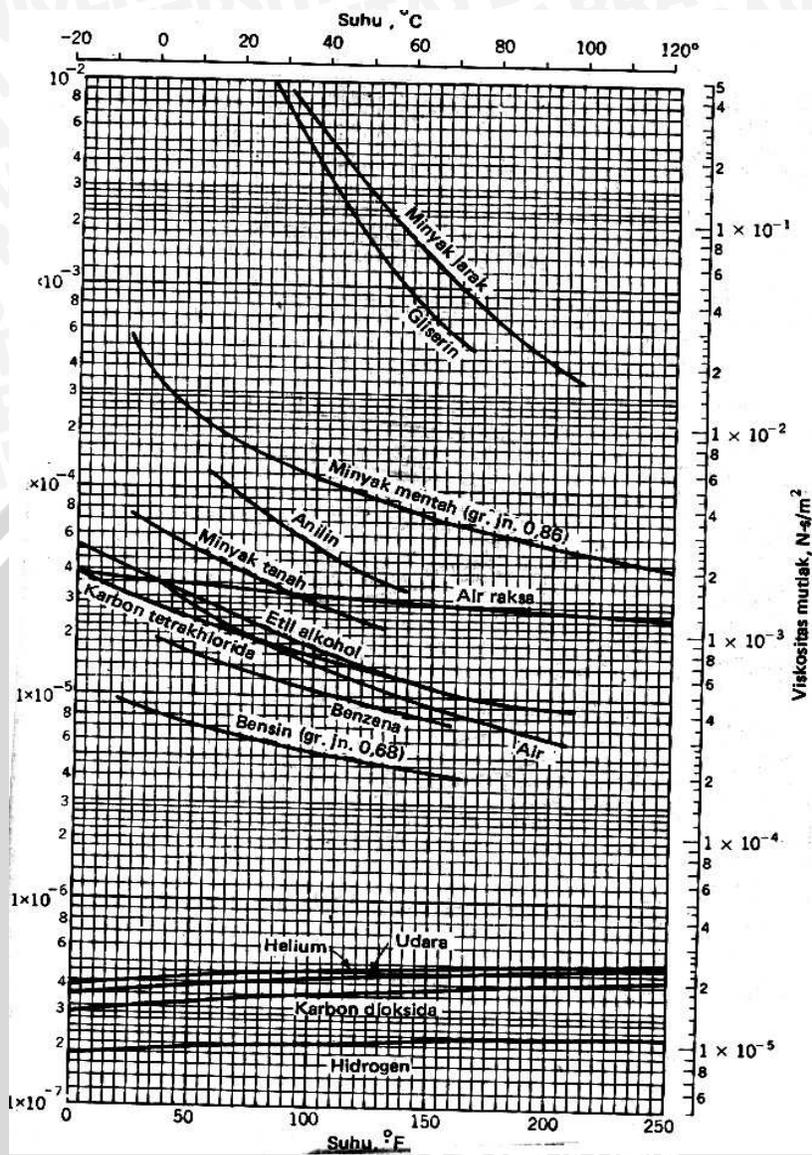
v = viskositas kinematik (m^2/s)

μ = viskositas dinamik ($\text{N.s}/\text{m}^2$)

ρ = densitas/ massa jenis (Kg/m^3)

2. Viskositas kinematik (v).

Viskositas kinematik adalah perbandingan antara viskositas dinamik dengan densitas suatu fluida. Viskositas kinematik banyak dipengaruhi oleh temperatur tanpa memperhitungkan tekanan yang bekerja.



Gambar 2.3 Viskositas mutlak gas dan cairan tertentu
 Sumber : Streeter.L.V, Wylie.E.B, *Mekanika Fluida*, 1993

Viskositas bahan bakar sangat erat kaitannya dengan injeksi dan pengkabutan minyak solar pada ruang bakar melalui nosel dan juga menentukan kemudahan pemompaan dari tangki ke pompa injeksi. Viskositas yang tinggi memberikan atomisasi yang rendah sehingga memberikan hasil seperti mesin sulit untuk dinyalakan dan gas buang yang berasap, akan tetapi viskositas bahan bakar terlalu rendah dapat mempercepat terjadinya keausan pada komponen pompa injektor bahan bakar. (*Lembaran Publikasi Lemigas No.3/1987*)

Kekentalan merupakan faktor penting dalam mempengaruhi besarnya kerugian mekanis pada pompa injeksi maupun terhadap hasil pengabutan di ruang bakar. Hubungan antara naiknya temperatur dengan penurunan kekentalan berbagai macam cairan dapat dilihat dalam gambar berikut:

Dari gambar tersebut dapat dilihat bahwa pada saat temperatur fluida naik, kekentalan semua cairan menurun. Hal ini disebabkan karena gaya kohesi tergantung pada temperatur, tidak tergantung pada cairan.

Secara teoritis kekentalan cairan sangat dipengaruhi oleh temperatur. Hubungan antara kekentalan fluida dengan temperatur ditunjukkan dengan persamaan:

$$\mu = Ae^{B/T}$$

$$\log \mu = \log A + \frac{B}{T} \log e \quad (\text{Robert W. Fox, 1985}) \quad (2-2)$$

Keterangan :

μ = Viskositas absolut atau dinamik ($N.s/m^2$)

A,B = Konstanta

T = Temperatur fluida ($^{\circ}C$)

Dengan menurunnya kekentalan fluida maka kerugian mekanis yang dialami pompa injeksi juga akan menurun, di samping itu akan memperbaiki proses pengabutan yang dilakukan oleh nosel di ruang bakar, sehingga butir-butir bahan bakar yang terjadi akan semakin kecil.

2.5. Pembakaran

Pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai dengan timbulnya cahaya (*flame*) dan menghasilkan kalor (Turns, 1996:12). Energi tersebut berfungsi sebagai pemutus ikatan-ikatan molekul bahan bakar menjadi radikal bebas (ion) yang sangat reaktif. Ion-ion akan bereaksi dengan oksigen membentuk ikatan yang lebih kuat dan kelebihan-kelebihan energi ikatan akan dilepas sehingga menyebabkan kenaikan temperatur yang sangat tinggi.

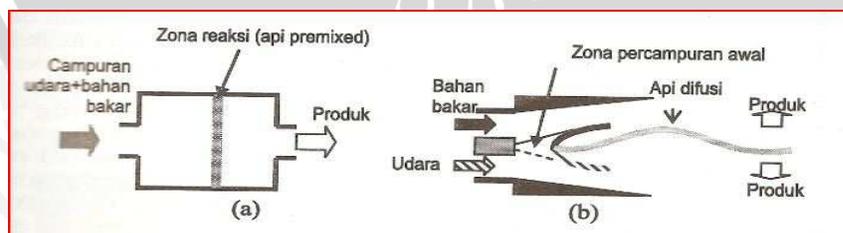
Pada proses pembakaran terdapat dua peristiwa utama yang terjadi, yaitu:

1. Komposisi spesies campuran berubah terhadap waktu dan perubahan ini disebabkan oleh proses pada tingkat molekuler.
2. Ikatan-ikatan molekul yang lemah terlepas, kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikat akan dilepas ke dalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur.

Berdasarkan dua peristiwa di atas terdapat dua hal yang sangat penting yang harus dipenuhi agar proses pembakaran bisa berlangsung, antara lain kesetimbangan massa dan kesetimbangan energi. Kesetimbangan massa yang diperlukan disebut stoikiometri sedangkan kesetimbangan energi yang diterapkan ketika proses pembakaran berlangsung diturunkan dari prinsip-prinsip termokimia (Wardana, 1996:11).

Berdasarkan kondisi campuran bahan bakar dengan oksigen, pembakaran dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. Pembakaran difusi yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur sendiri secara alami melalui proses difusi selanjutnya baru terjadi pembakaran. Pembakaran difusi lebih didominasi oleh pengadukan (mixing) reaktannya dan reaksi terjadi pada jarak antara bahan bakar dan oksidator.
2. Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara (oksigen) sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu secara mekanik sebelum terjadi pembakaran. Keberhasilan dari pembakaran *premixed* dipengaruhi oleh faktor homogenitas campuran udara dan bahan bakar, dimana pembakaran pada campuran udara dan bahan bakar yang tidak homogen menghasilkan pembakaran yang tidak sempurna dan tekanan yang dihasilkan tidak maksimal.



Gambar: 2.4 Cara reaktan terbakar. (a) pembakaran premix; (b) Pembakaran difusi

Sumber: Wardana I.N.G, Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran, 2008, 149

Pada proses pembakaran selalu diusahakan untuk terjadinya pembakaran yang sempurna, karena itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu :

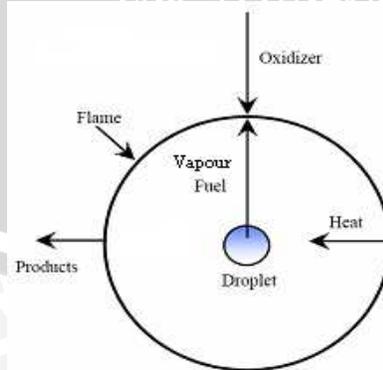
1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Digunakan cukup udara .
3. Harus terjadi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Jika salah satu syarat ini tidak dipenuhi maka tidak akan terjadi pembakaran sempurna. (Soetiari Tj,1990:35).

2.6. Pembakaran pada Droplet

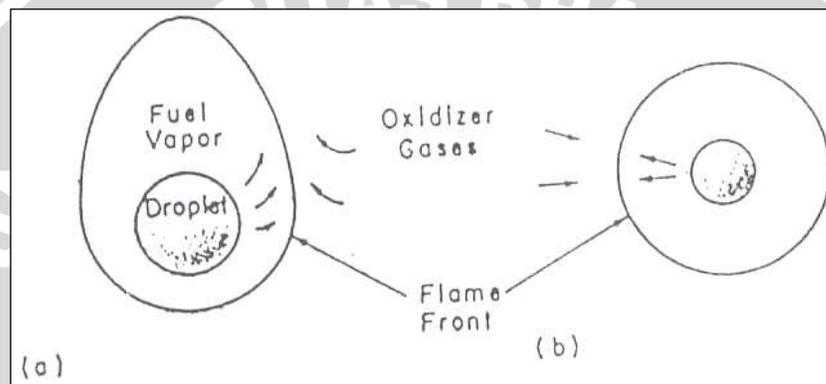
Pada bahan bakar cair dalam hal ini minyak kelapa, pembakaran yang baik akan terjadi apabila minyak kelapa tersebut berupa tetesan atau butiran yang kecil di mana dengan bentuk yang kecil ini, minyak kelapa akan mudah menguap sebelum terbakar. Pemasukan minyak kelapa ke dalam ruang bakar akan berbentuk kabut yang terdiri dari banyak butir-butir yang disebut *droplet*. Karakteristik pembakaran minyak kelapa merupakan karakteristik pembakaran tiap-tiap *droplet*. Dengan demikian karakteristik bahan bakar tersebut dapat diteliti dengan satu buah *droplet*. Pemakaian *droplet* pada penelitian ini akan dapat menyederhanakan permasalahan dan dapat diterima sesuai dengan perlakuan secara teori.

Percobaan yang paling ideal pada pembakaran adalah dengan menggunakan *droplet* pada keadaan *steady*. Pada pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan proses oksidasi di atmosfer, dimana proses penguapan akan dimulai dari permukaan cairan kemudian berdifusi ke permukaan nyala api (*flame front*). Sementara oksigen akan bergerak dan berdifusi dari lingkungan sekeliling menuju ke permukaan nyala api.

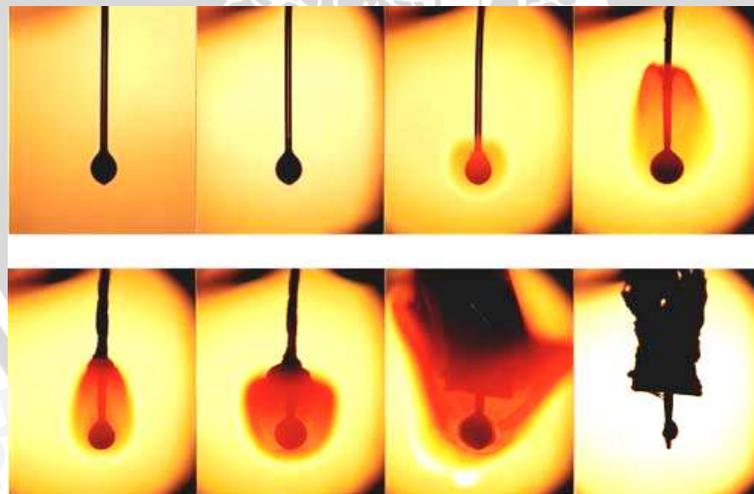


Gambar 2.5 Skema *droplet combustion*
Sumber : Choi and Dryer, 2001

Bentuk dari nyala api bisa berupa *spherical* (bulat) atau *non-spherical* (tidak bulat) bergantung dari lingkungan sekitarnya dan juga bergantung dari ukuran *droplet*. Bentuk nyala api *non-spherical* dapat disebabkan karena kecepatan relatif antara udara sekeliling dengan *droplet* juga oleh efek konveksi alami atau gravitasi. Jika ukuran *droplet* dibuat kecil, maka *droplet* akan ditahan oleh gas sekelilingnya dan kecepatan relatif antara gas dengan *droplet* menjadi sangat kecil. Hal ini menyebabkan nyala api dari *droplet* dapat mendekati *spherical*. Dalam penelitian ini mempergunakan *droplet* dengan ukuran yang bervariasi sehingga dapat diamati bentuk nyala api dari pembakaran tiap-tiap *droplet*.

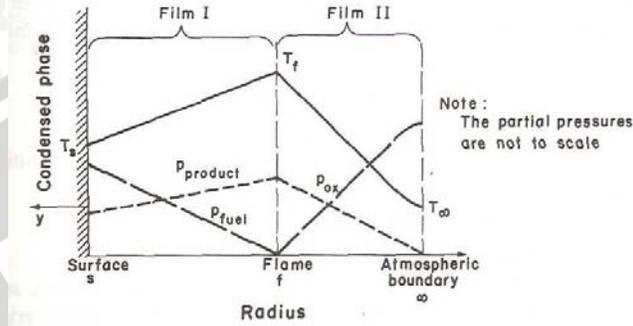


Gambar 2.6 Model nyala api *droplet*
Sumber: Kenneth J. Kuo, *Principle of combustion*, 1986: 371.



Gambar 2.7 Proses pembakaran droplet pada bahan bakar cair
Sumber : www.nmri.go.jp

Pada pembakaran satu *droplet*, banyak teori yang menggambarkan pembakaran dianggap sebagai *double film model*. Salah satu film (*film I*) memisahkan permukaan *droplet* dengan sisi nyala yang mana pada daerah tersebut terjadi pemanasan awal *droplet*. Sedangkan *film II* memisahkan sisi nyala dengan udara (gas) sekelilingnya, daerah ini disebut daerah reaksi atau daerah api (*flame front*).



Gambar 2.8 Perubahan parameter pada *double film model*
 Sumber: Kenneth J. Kuo, *Principle of combustion*, 1986: 371

Keterangan gambar :

- T_f : temperatur penyalaan
- T_∞ : temperatur produk
- T_s : temperatur reaktan
- $P_{product}$: konsentrasi produk
- P_{fuel} : konsentrasi reaktan atau bahan bakar
- P_{ox} : konsentrasi oksidasi

Setelah proses pembakaran, akan terjadi perambatan api dari nyala api menuju permukaan *droplet*. Temperatur gas hasil pembakaran yang lebih tinggi akan dipindahkan secara konveksi menuju permukaan *droplet*. Panas yang diterima oleh permukaan *droplet* akan digunakan untuk memanaskan *droplet* menuju fase gas. Peristiwa ini disebut dengan penguapan (*evaporation*). Besarnya energi yang dibutuhkan untuk penguapan *droplet* dapat diketahui dengan persamaan:

$$Q = \Delta h_v + C_{liq}(T_s - T_0) \quad (\text{Kuo, 1986: 373}) \quad (2-3)$$

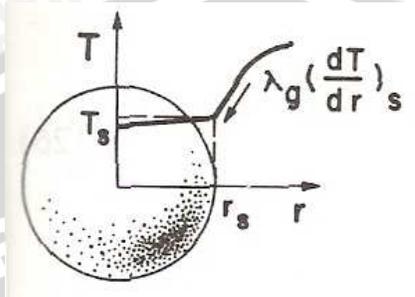
Keterangan :

- Q = energi total penguapan (kJ/kg)
- Δh_v = kalor laten (kJ/kg)

C_{liq} = kalor jenis bahan bakar (kJ/kg.°C)

T_s = temperatur permukaan *droplet* (°C)

T_0 = temperatur awal *droplet* (°C)



Gambar 2.9 Distribusi temperatur pada penguapan *droplet*
 Sumber: Kenneth K. Kuo, *Principles of Combustion*, 1986: 377

Ada beberapa hal yang menjadi dasar pertimbangan yang digunakan dalam pembahasan mengenai pembakaran sebuah *droplet*, yaitu :

- a. Koefisien evaporasi
- b. Laju pembakaran massa
- c. Laju evaporasi bahan bakar

a. Koefisien evaporasi

Pada dasarnya koefisien evaporasi, didefinisikan berdasarkan hukum evaporasi yang secara eksperimental, dituliskan sebagai berikut :

$$d^2 = d_o^2 - \beta_v \cdot t \quad \text{(Kuo, 1986 : 372)} \quad (2-4)$$

maka :

$$\beta_v = \frac{d_o^2 - d^2}{t} \quad \text{(Kuo, 1986 : 372)} \quad (2-5)$$

dengan :

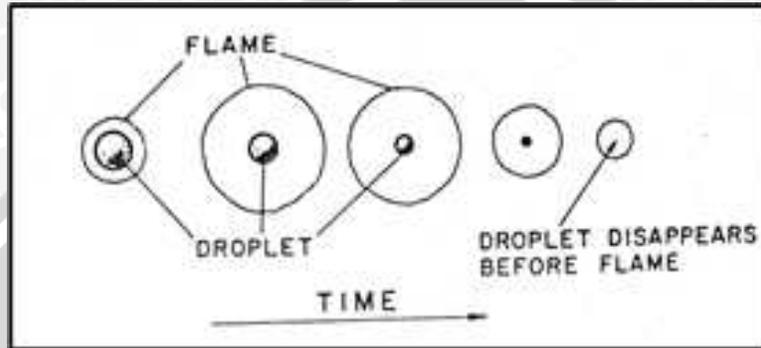
d = diameter *droplet* dalam waktu t (mm).

d_o = diameter awal *droplet* (mm).

β_v = koefisien evaporasi.

t = waktu (detik).

Pada rumusan di atas menyatakan bahwa perubahan diameter *droplet* akan semakin mengecil seiring dengan berjalannya waktu karena menguapnya sebagian massa *droplet* sebagai akibat terjadinya perpindahan panas yang merubah fase *droplet* dari cair menjadi uap yang terbakar.



Gambar 2.10 Perubahan bentuk *droplet*
Sumber: Kenneth K. Kuo, *Principles of Combustion*, 1986: 390

b. Laju evaporasi bahan bakar

Sedangkan laju evaporasi bahan bakar merupakan pengembangan dari persamaan laju pembakaran *droplet* yang dituliskan dalam persamaan berikut.

$$v_{FE} = \frac{2D \ln(1+B)}{d_0} \quad (\text{Kuo, 1986: 376}) \quad (2-6)$$

dengan :

v_{FE} = laju evaporasi bahan bakar (m/s)

D = difusivitas massa (m^2/s)

B = transfer number

d_0 = diameter *droplet* (mm)

c. Laju pembakaran massa

Pada pembakaran *droplet* bahan bakar, ukuran *droplet* mengecil sejalan dengan pertambahan waktu dan ini ditunjukkan dengan persamaan kekekalan massa yang meninggalkan *droplet*. Laju pembakaran massa *droplet* dirumuskan sebagai berikut :

$$v_{FM} = \frac{\dot{m}_F}{\pi \cdot d_0^2 \cdot \rho_L} \quad (\text{Kuo, 1986: 376}) \quad (2-7)$$

dengan :

v_{FM} = laju pembakaran massa (m/s)

\dot{m}_F = laju aliran massa bahan bakar (kg/s)

ρ_L = massa jenis bahan bakar (kg/m³)

d_0 = diameter *droplet* (mm)

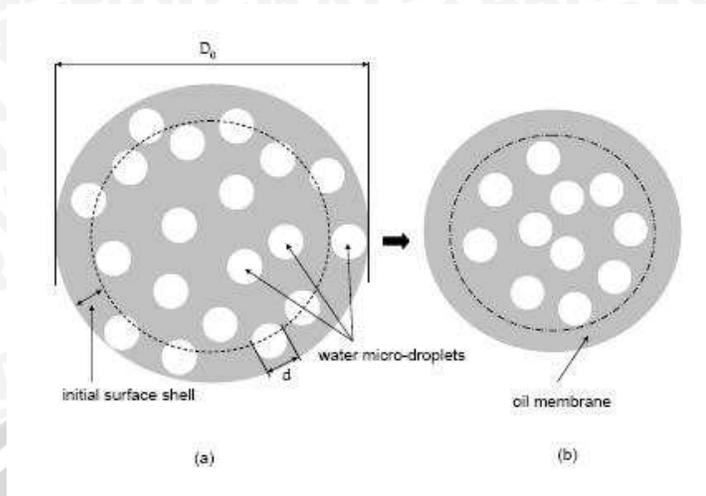
Dari persamaan (2-4), (2-5), (2-6), (2-7) dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan *droplet* bahan bakar akan semakin singkat, kemudian laju evaporasi dan laju pembakaran massa *droplet* semakin besar jika :

- difusivitas massa tinggi.
- transfer massa bahan bakar besar.
- diameter awal *droplet* kecil.

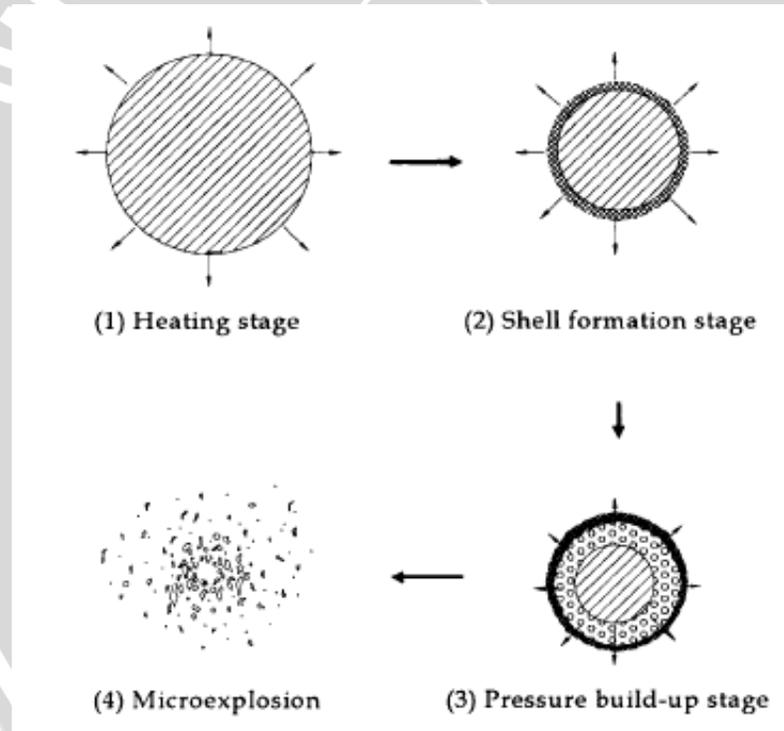
2.7 Mikroekspllosion

Microexplosion sering juga disebut sebagai *secondary evaporation* yang membantu mempercepat penguapan bahan bakar dan cukup kuat memecahkan *droplet* menjadi butiran-butiran kecil sehingga meningkatkan kualitas campuran bahan bakar dan udara. Dengan lebih sempurnanya pembakaran, maka emisi nitrogen oksida yang dihasilkan menjadi lebih rendah.

Microexplosion terjadi bila terdapat perbedaan titik didih kedua komponen penyusun bahan bakar. Dalam hal ini *Fatty acid* dan *glycerol*. *Fatty acid* memiliki titik didih lebih rendah sehingga lebih cepat menguap daripada *Glycerol* yang memiliki titik didih tinggi. *Fatty acid* yang terperangkap di dalam *Glycerol* menjadi gelembung bertekanan tinggi yang menyebabkan terjadinya *microexplosion*.



Gambar 2.11 Gambar komposisi cairan *droplet* dan berubahnya menjadi *oil membrane*
 Sumber : www.elsevier.com



Gambar 2.12 Mekanisme terjadinya *microexplosion*
 Sumber : www.elsevier.com

Proses terjadinya *microexplosion* memiliki 4 tahapan, yaitu :

1. *Heating stage* (tahap pemanasan)

Heating stage adalah proses pemanasan hingga *droplet* mendekati titik didih. Pada proses ini terjadi homogenisasi pada masing-masing komponen penyusun *droplet*.

Komponen yang memiliki titik didih lebih tinggi bergerak menuju permukaan *droplet* dan yang memiliki titik didih rendah berkumpul di sekitar inti *droplet*.

2. *Shell formation stage* (tahap pembentukan lapisan)

Komponen yang memiliki titik didih lebih tinggi memiliki viskositas yang lebih tinggi pula. Lapisan ini semakin kental hingga seolah-olah mengeras membentuk kulit.

3. *Pressure build-up stage* (tahap meningkatnya tekanan)

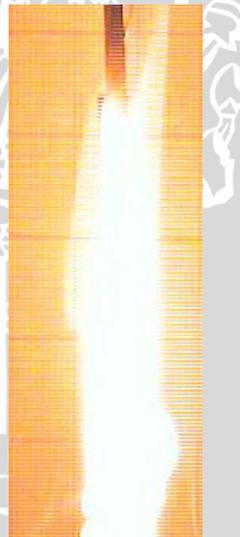
Bagian dalam *droplet* yang memiliki titik didih lebih rendah mendidih terlebih dahulu dan memberikan tekanan yang semakin kuat pada lapisan kulit *droplet* yang memiliki titik didih lebih rendah.

4. *Microexplosion*

Tekanan yang diberikan pada lapisan permukaan semakin kuat hingga lapisan permukaan tidak mampu lagi menahan tekanan tersebut hingga terjadilah *microexplosion* yang memecah *droplet* menjadi butiran-butiran kecil. Dengan ukuran butiran yang kecil maka laju penguapan semakin cepat.



Tanpa *Microexplosion*



Dengan *Microexplosion*

Gambar 2.13 Perbandingan Pembakaran Tanpa *Microexplosion* dan dengan *Microexplosion*

2.8 Teori Kinetik Gas

Dari sudut pandang atom, reaksi pembakaran merupakan proses tumbukan atom-atom. Tetapi setiap tumbukan atom tidak selalu menghasilkan reaksi. Kecepatan (energi kinetik) minimum dimana reaksi akan dapat berlangsung merupakan energi aktivasi dari atom atau molekul tersebut.

Adapun rumus yang berkaitan dengan teori kinetika gas adalah :

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{Halliday 1988: 253}) \quad (2-8)$$

keterangan:

T = temperatur pembakaran ($^{\circ}\text{K}$)

v = kecepatan reaksi (m/s)

k = konstanta Boltzmann = 1.380622×10^{-23} J/K

m = massa zat yang bereaksi (kg)

Dari persamaan diatas dapat dilihat bahwa kecepatan reaksi berbanding lurus dengan temperatur pembakaran. Sehingga dengan meningkatnya kecepatan reaksi atau kecepatan molekul-molekul yang mengalami tumbukan akan menyebabkan kenaikan temperatur pembakaran.

Dalam proses pembakaran *droplet* minyak kelapa, energi panas dari luar digunakan untuk memutuskan ikatan-ikatan molekul dari bahan bakar menjadi radikal bebas yang selalu bergerak dan saling bertumbukan. Pemberian energi panas akan meningkatkan energi kinetik radikal-radikal bebas. Jika radikal-radikal bebas tersebut diberi pengaruh energi panas yang lebih tinggi, maka pergerakan dari radikal-radikal bebas akan meningkat. Semakin meningkatnya pergerakan radikal-radikal bebas, maka tumbukan yang terjadi akan semakin cepat. Tumbukan yang semakin cepat dapat menyebabkan energi kinetik radikal-radikal bebas semakin besar. Sehingga reaksi kimia pembakaran berlangsung akan semakin cepat dan temperatur pembakaran yang dihasilkan semakin tinggi.

2.9 Kerangka pemikiran teoritis

Viskositas dari suatu fluida sangat dipengaruhi oleh temperturnya. Semakin tinggi temperatur fluida, viskositasnya akan semakin rendah. Viskositas bahan bakar berpengaruh

pada reaksi pembakaran, sehingga dengan memanaskan temperatur bahan bakar maka akan meningkatkan kecepatan reaksi pembakaran. Hal ini sesuai dengan rumus (2-2).

Minyak kelapa memiliki viskositas yang cukup tinggi dan memiliki nilai temperatur penyalaan (*flash point*) yang tinggi yaitu sekitar 300° C. Hal ini menyebabkan penyalaan bahan bakar minyak kelapa menjadi sulit. Dengan melihat persamaan (2-4), (2-5), (2-6) dan (2-7), dapat diketahui bahwa diameter *droplet* berpengaruh terhadap laju evaporasi (penguapan) dan laju pembakaran massa bahan bakar. Dimana semakin kecil diameter *droplet*, maka laju evaporasi dan laju pembakaran massa bahan bakar akan meningkat. Ini menunjukkan bahwa kecepatan reaksi pembakaran juga semakin meningkat. Dan dengan meningkatnya kecepatan reaksi pembakaran maka temperatur pembakaran akan semakin besar, sesuai dengan persamaan (2-8).

2.10 Hipotesa

Semakin meningkatnya temperatur awal *droplet* minyak kelapa maka viskositas akan menurun dan melemahkan ikatan antar atom serta menambah kecepatan reaksi pembakaran sehingga terjadi *microexplosion* lebih dini dan temperatur pembentuknya menjadi lebih rendah.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental (*true experimental research*). Jenis penelitian ini dapat dipakai untuk menguji suatu perlakuan atau desain baru dengan membandingkan satu atau lebih kelompok pengujian dengan perlakuan dan tanpa perlakuan.

3.2. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada tiga macam variabel yang akan digunakan yaitu

a. Variabel bebas

Variabel bebas adalah variabel yang besarnya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain, berfungsi sebagai sebab dalam penelitian. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah suhu pemanasan minyak kelapa yaitu 30⁰C, 40⁰C, 50⁰C, 60⁰C, 70⁰C.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung pada variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam pengujian ini, yaitu waktu dan temperatur terjadinya *microexplosion*.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah yang besarnya telah ditentukan selama penelitian dan bersifat konstan. Adapun yang termasuk dalam variabel terkontrol dalam penelitian ini, yaitu besarnya diameter *droplet* minyak kelapa sekitar 1.7512 mm dan 1.877 mm.

3.3. Alat-alat Penelitian

Peralatan-peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, spesifikasi dan cara kerjanya adalah sebagai berikut :

1. Botol Erlenmeyer

Spesifikasi: ukuran 300 ml

Digunakan untuk menampung minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*) yang diperoleh dari proses pemanasan air santan dan sudah melalui proses penyaringan.

2. Alat pembentuk *droplet* minyak kelapa

Alat ini digunakan untuk membentuk *droplet* minyak kelapa yang kemudian diletakkan pada ujung *thermocouple*. Alat ini terdiri dari :



Gambar 3.1 Alat pembentuk *droplet* minyak kelapa

Alat ini terdiri dari :

a. Alat pengatur volume *droplet*

Spesifikasi : - Merk : Novo Nordisk
- Buatan : Denmark

b. Suntikan penampung biodiesel minyak kelapa

Spesifikasi : - Merk : Terumo
- Diameter jarum : 0.4 mm
- Volume tabung : 1 cc
- Buatan : Jepang

3. Sumber tegangan.

Sumber tegangan yang digunakan AC 220 V.

4. *Stavolt*

Berfungsi sebagai penyetabil tegangan AC listrik yang berasal dari PLN. Hal ini dimaksudkan agar fluktuasi tegangan listrik tidak mempengaruhi kerja dari rangkaian peralatan yang digunakan.

5. *Power supply*

Berfungsi sebagai sumber untuk menghidupkan elemen pemanas (*heater*). Adapun power supply yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

a. Power supply bertegangan AC

Berfungsi sebagai sumber untuk menghidupkan elemen pemanas (*heater*).

Spesifikasi :

- Merk : ERA
- Buatan : Indonesia
- Arus : 7.853 Ampere
- Tegangan input : 220 Volt
- Tegangan output : 13.35 Volt

6. Elemen pemanas (*heater*)

Alat ini berfungsi sebagai sumber panas untuk memanaskan *droplet* sampai terbakar yang ditandai dengan terbentuknya api.

- Spesifikasi:
- bahan kawat nichrom
 - diameter 0.7 mm, panjang 10 cm

7. Termokopel.

Alat ini berfungsi untuk membaca perubahan temperatur dari minyak kelapa yang akan diuji.

- Spesifikasi:
- Jenis termokopel : Tipe K
 - Kemampuan pengukuran : -200 °C s/d 1260 °C

8. Perangkat Sensor

Digunakan untuk menerima dan mengolah sensor temperatur (termokopel) sehingga dapat dibaca lewat komputer, perangkat sensor ini terdiri dari:

a. *Power supply*

Keseluruhan peralatan menggunakan tegangan listrik AC. Sebelum digunakan, tegangan AC listrik yang berasal dari PLN distabilkan dengan menggunakan stavolt agar fluktuasi tegangan listrik tidak mempengaruhi kerja dari rangkaian peralatan yang digunakan.

b. Operator amplifier

Sinyal yang dihasilkan oleh sensor sangat kecil pulsanya sehingga membutuhkan rangkaian penguat.

c. ADC (*Analog to Digital Converter*)

ADC berfungsi untuk mengkonversikan sinyal tegangan dari sensor menjadi sinyal digital agar dibaca oleh komputer. Pada penelitian ini digunakan ADC.

9. Perangkat sistem control

Merupakan rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengontrol seluruh kerja dari alat penelitian. Perangkat ini meliputi :

a. Rangkaian LDR

Berfungsi sebagai sensor untuk mematikan panas dari elemen pemanas (*heater*) ketika terjadi nyala api.

b. *Timer*

Berfungsi sebagai alat pengatur waktu mulai operasi dari elemen pemanas (*heater*).

10. Komputer

Digunakan untuk mengontrol seluruh kerja dari alat penelitian, mengukur kerja dari ADC, menyimpan data yang terbaca oleh ADC, dan untuk mengolah data.

11. Handycam

Digunakan untuk merekam proses terjadinya nyala api selama proses pembakaran berlangsung.

Spesifikasi :

- Merk : SONY
- Model : DCR-PC10E
- Buatan : Jepang
- Optical zoom : 20 kali
- Digital zoom : 700 kali

12. Kamera digital

Digunakan untuk mengambil gambar berbagai peralatan yang ada dalam proses penelitian.

Spesifikasi :

- Merk : Kodak Eyeshare C190
- Buatan : Jepang
- Optical zoom : 5 kali
- Resolusi : 12 Megapixel

13. Seperangkat alat pemanas minyak kelapa

Digunakan untuk memanaskan minyak sesuai dengan suhu yang diinginkan sebelum minyak tersebut dibentuk *droplet* untuk kemudian dibakar. Seperangkat alat ini terdiri dari :

a. Becker Glass

Spesifikasi : 300 ml.

Berfungsi sebagai tempat penampungan minyak kelapa selama proses pemanasan.

b. Alat pembakar

Digunakan untuk memanaskan *becker glass* yang telah diisi minyak kelapa. Alat pembakar ini berupa sebotol spirtus.

c. Termometer.

Berfungsi untuk mengukur suhu minyak kelapa selama proses pemanasan.

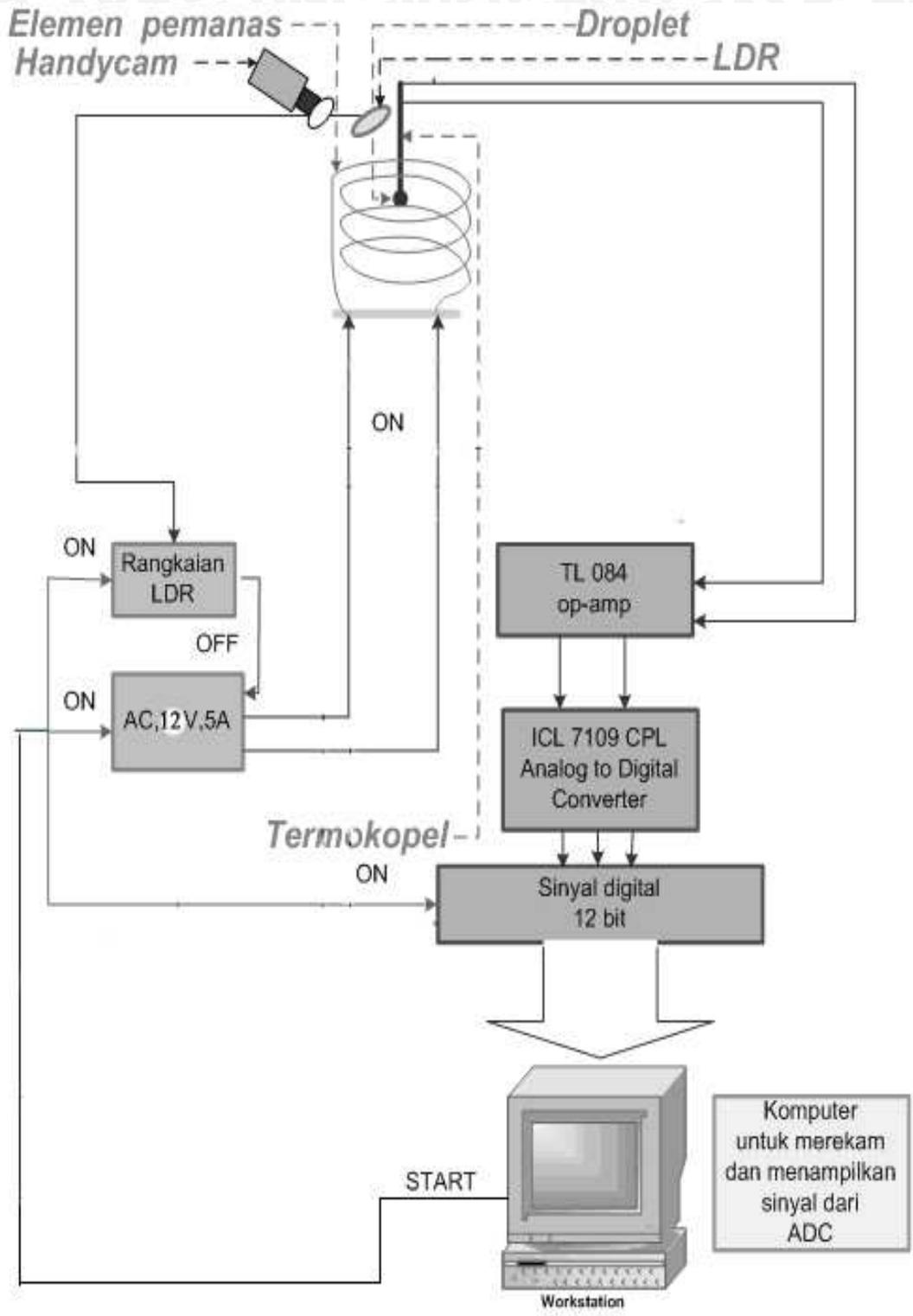
d. Penyangga

Berfungsi untuk menyangga *becker glass*.



Gambar 3.2 Seperangkat alat pemanas minyak kelapa

3.4. Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.3 Rangkaian alat uji penelitian

3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian

Prosedur dari pengambilan data ini meliputi hal-hal sebagai berikut :

A. Prosedur pemanasan minyak kelapa

1. Pasang seperangkat alat pemanas minyak kelapa yang terdiri dari botol spirtus dan *becker glass* dengan posisi botol spirtus sebagai pembakar berada di bawah *becker glass* yang ditempatkan pada sebuah penyangga.
2. Tuangkan air kedalam *becker glass* dengan volume setengah dari botol tersebut.
3. Masukkan minyak kelapa ke dalam pipet dengan volume lebih kurang sepertiga dari volume pipet.
4. Masukkan termometer ke dalam *becker glass* yang telah berisi air.
5. Bakar botol spirtus yang berada di bawah *becker glass* untuk memanaskan air di dalam *becker glass*.
6. Jika termometer di dalam *becker glass* sudah menunjukkan suhu yang diinginkan, masukkan minyak kelapa yang telah dimasukkan ke dalam pipet tadi.
7. Diamkan pipet tersebut selama lebih kurang 2 menit agar minyak di dalam pipet panas.

B. Prosedur pembuatan *droplet* minyak kelapa

1. Minyak kelapa yang diperoleh dari proses pemanasan air santan dimasukkan kedalam pipet sampai lebih kurang sepertiga dari volume pipet.
2. Pipet yang berisi minyak kelapa tersebut dimasukkan ke alat pengatur volume *droplet* dengan cara ujung jarum suntik dimasukkan terlebih dahulu melalui rongga sisi dan keluar melalui lubang mulut alat pengatur volume *droplet* sampai pipet berada tepat ditengah. Kemudian menguncinya dengan mengisolasi bagian kanan dan kiri kuping pipet agar selalu tepat ditengah dan tidak goyang.
3. Mengatur ukuran volume *droplet* minyak kelapa dengan cara memutar bagian kepala alat pengatur volume *droplet* tersebut sesuai dengan volume yang dikehendaki.
4. Menekan bagian kepala alat pengatur volume *droplet*, maka gaya dorong yang ditimbulkan akan mendorong minyak kelapa yang berada dalam pipet. Selanjutnya

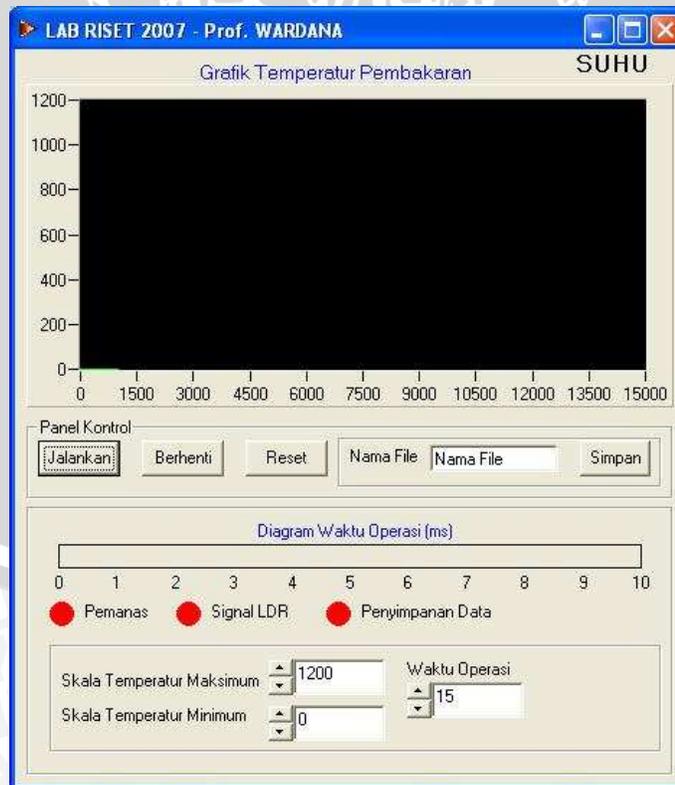
minyak kelapa akan keluar melalui jarum suntik dan membentuk *droplet* diujung pipet sesuai volume dengan diameter yang dikehendaki.



Gambar 3.4 Alat pembentuk droplet minyak kelapa

C. Prosedur rangkaian pengambilan data

1. Setting semua peralatan penelitian sesuai dengan prosedur penelitian yang dilakukan.
2. Bahan bakar yang berupa *droplet* minyak kelapa ditetaskan pada ujung alat sensor (*thermocouple*).
3. Semua peralatan penelitian dihidupkan.
4. Program komputer dibuka hingga muncul layout program.



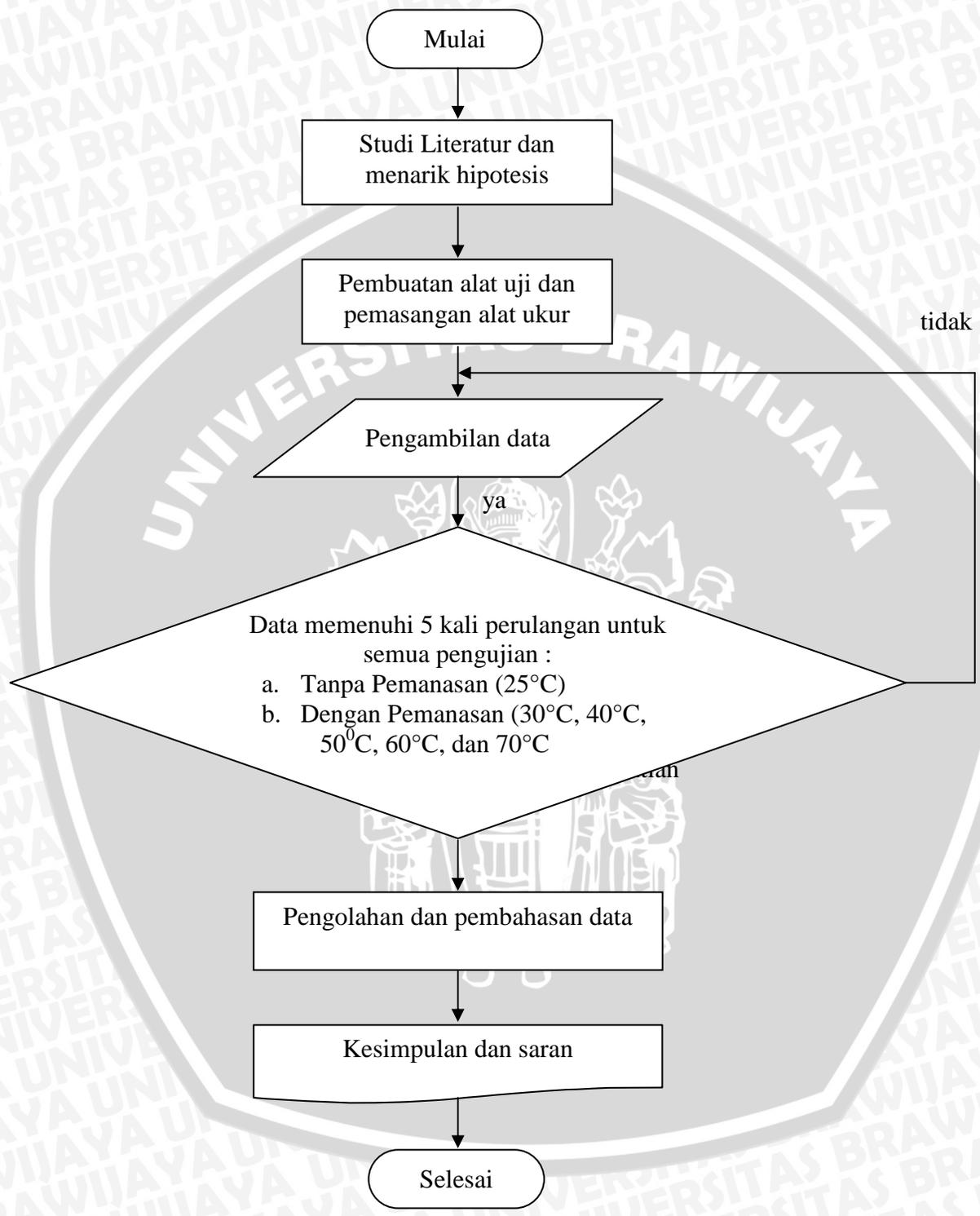
Gambar 3.5 Layout program penelitian

5. Isi nama file penelitian pada kolom nama file yang terdapat pada layout program.
6. Program komputer dijalankan untuk mehidupkan elemen pemanas.
7. Menghidupkan *handycam* pada kondisi *stanby*.
8. Melihat visualisasi terjadinya proses pembakaran dan merekamnya.
9. Setelah *droplet* terbakar, elemen pemanas dimatikan.
10. Data yang telah terbaca oleh komputer, disimpan dengan menekan tombol simpan untuk selanjutnya dilakukan proses pengolahan data.
11. Prosedur ini diulang untuk tiap-tiap variasi frekuensi dengan menekan tombol reset terlebih dahulu.



Gambar 3.6 Ruang pembakaran droplet minyak kelapa

3.6 Diagram alir penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

Hasil dari penelitian dikelompokkan yaitu :

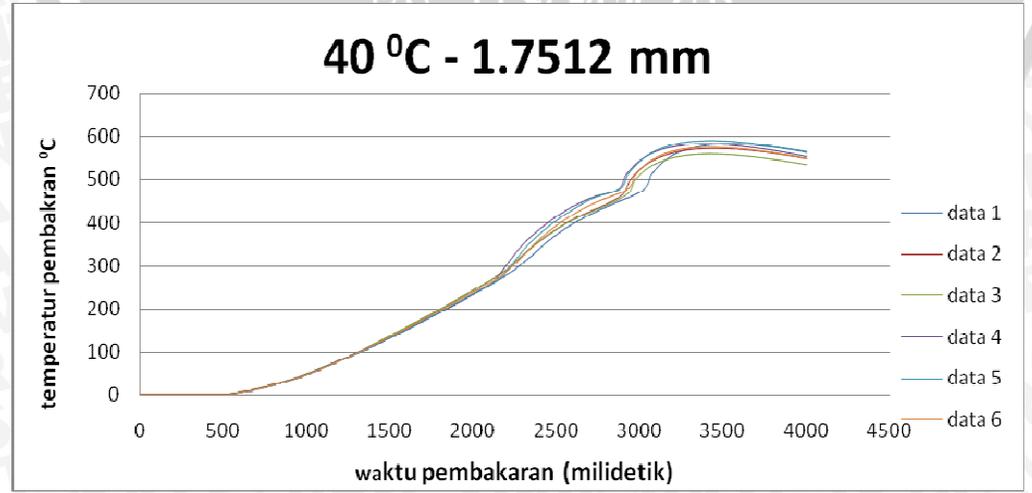
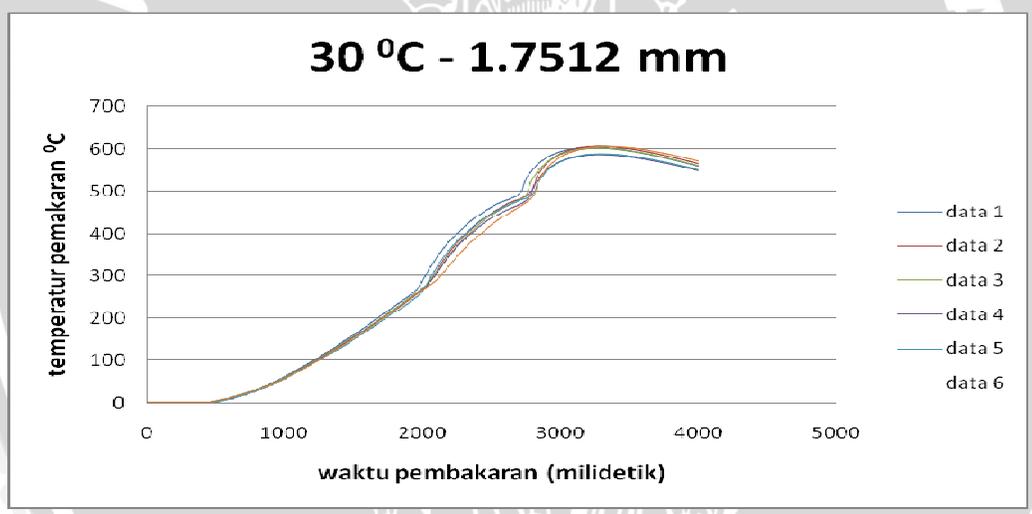
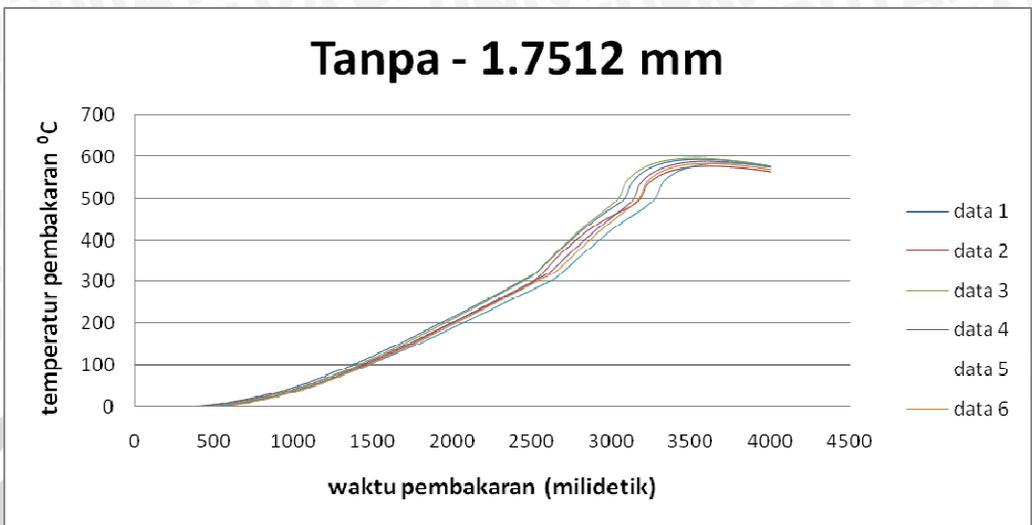
- ✓ Perubahan temperatur pembakaran terhadap waktu pembakaran pada berbagai variasi pemanasan awal *droplet*.
- ✓ Waktu terjadinya *microexplosion* pada berbagai variasi pemanasan awal *droplet* minyak kelapa.
- ✓ Temperatur terjadinya *microexplosion* pada berbagai variasi pemanasan awal *droplet* minyak kelapa.
- ✓ Perubahan visualisasi api pada berbagai variasi pemanasan awal *droplet*.
- ✓ Perubahan tinggi api terhadap waktu dan temperatur pembakaran pada berbagai variasi pemanasan awal *droplet* minyak kelapa.
- ✓ Perubahan lebar api terhadap waktu dan temperatur pembakaran pada berbagai variasi pemanasan awal *droplet* minyak kelapa.
- ✓ Probabilitas terjadinya *microexplosion*.

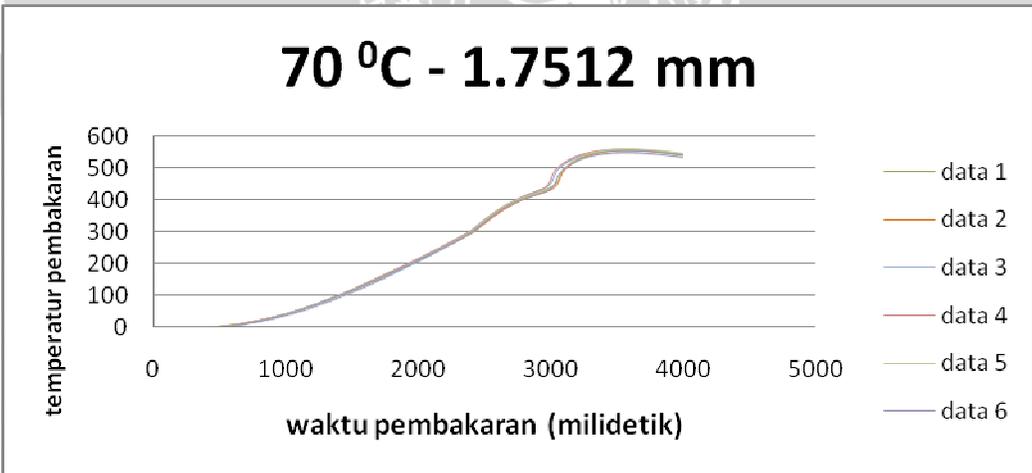
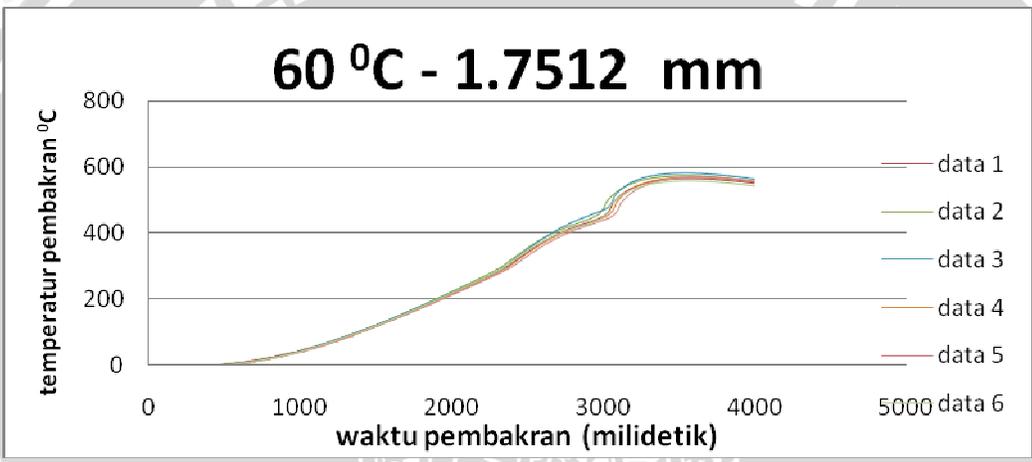
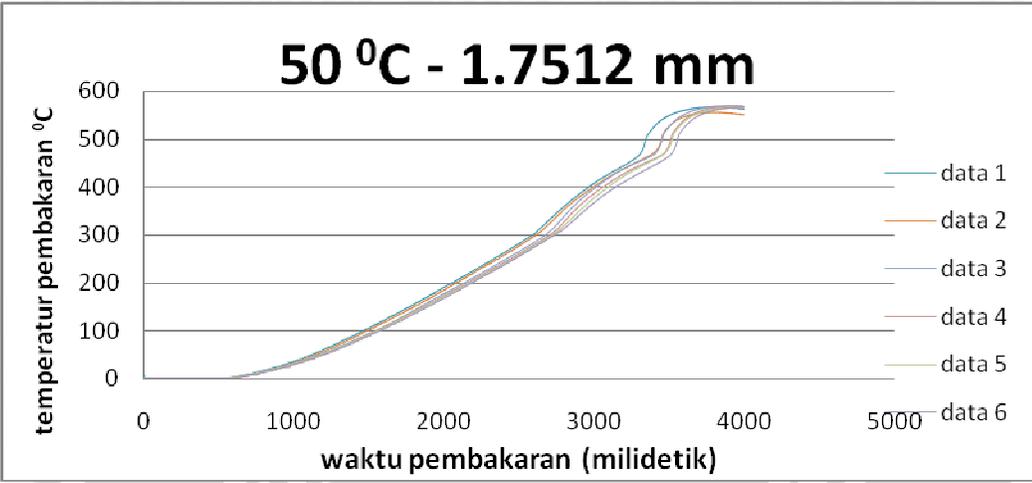
4.2 Pembahasan

Pembahasan ini dilakukan untuk mengetahui pola kecenderungan dari data hasil penelitian yang dilakukan pada setiap pengambilan data pembakaran *droplet* minyak kelapa tanpa pemanasan awal *droplet* dan pembakaran minyak kelapa dengan variasi pemanasan awal *droplet*.

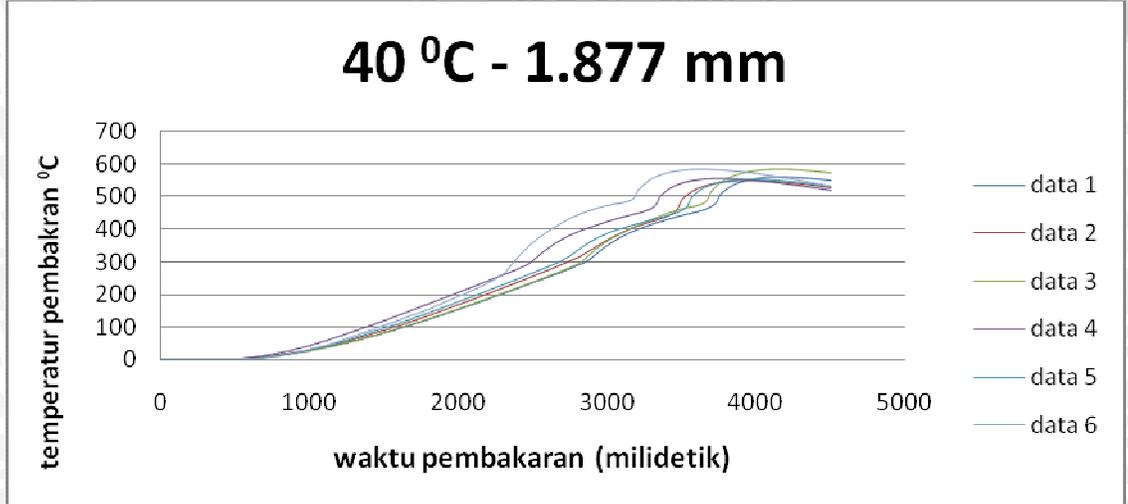
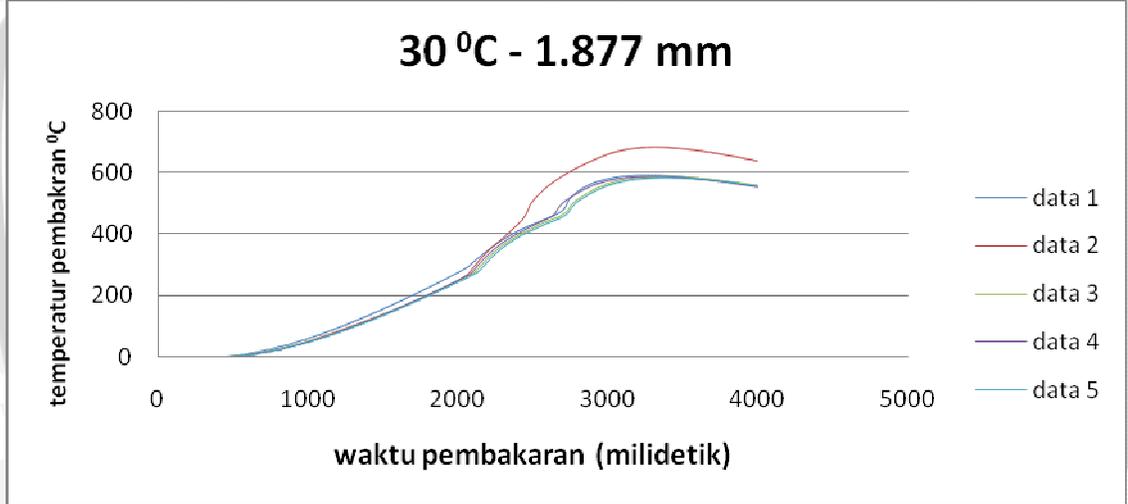
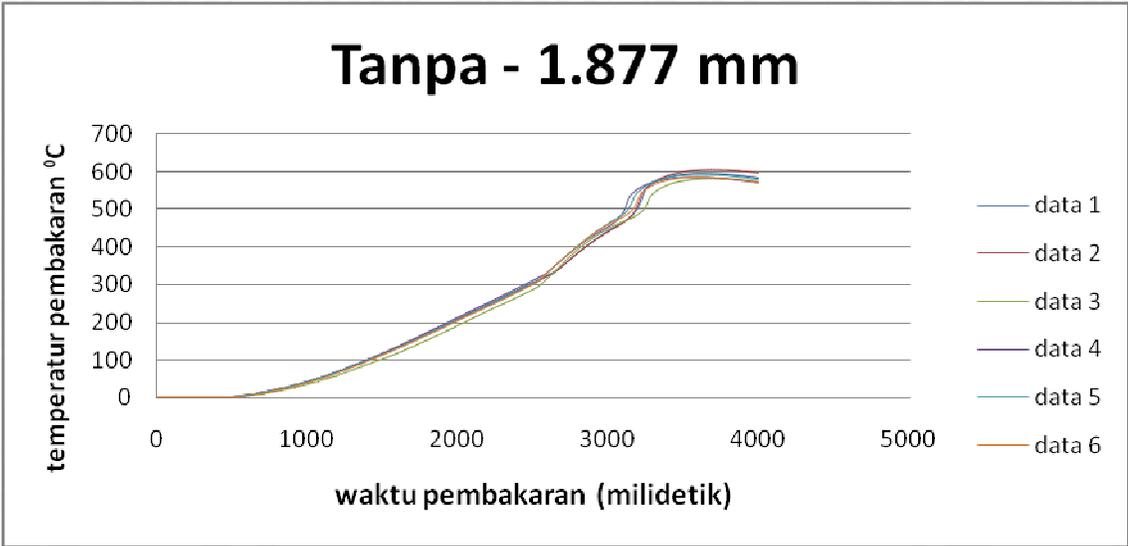
4.2.1 Hubungan antara waktu pembakaran dan temperatur pembakaran pada beberapa variasi pemanasan awal *droplet* minyak kelapa.

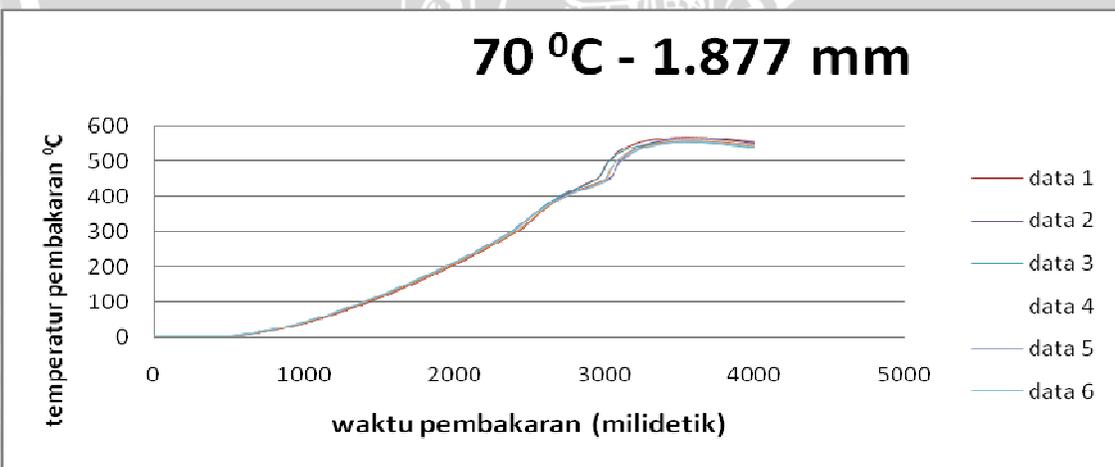
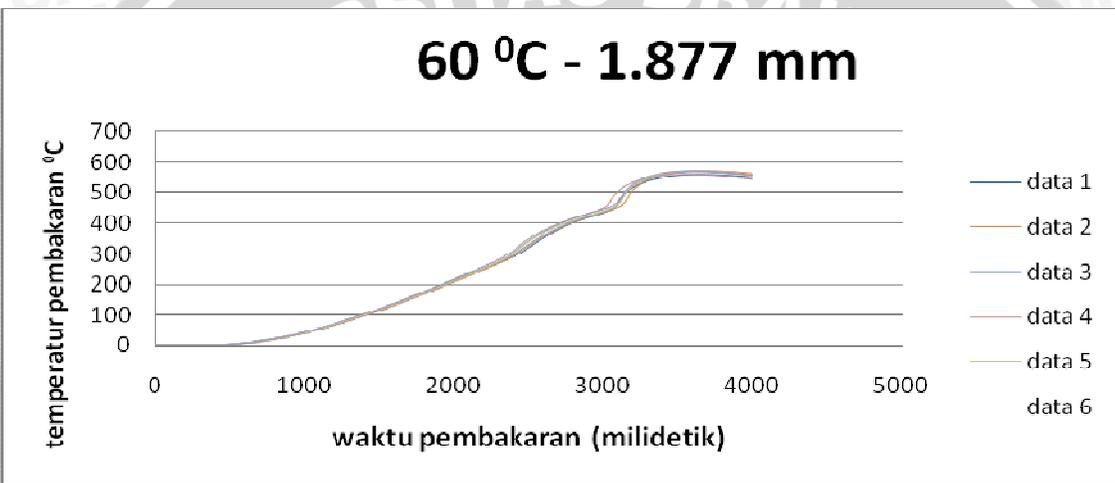
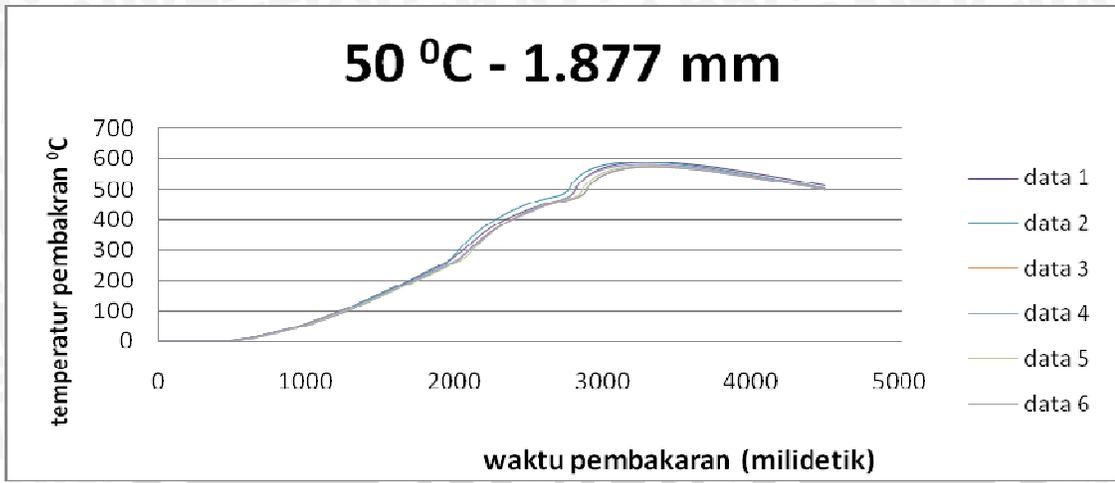
1.7512 mm





1.877 mm





Gambar 4.1 Grafik hubungan waktu pembakaran dan temperatur pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan awal

Dari grafik 4.1 diatas dapat dilihat bahwa pembakaran *droplet* diawali dengan pemanasan awal yang dimulai dari nol. Proses pemanasan awal atau *preheating* ini

menunjukkan bahwa pada rentang waktu tersebut panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas akan berpindah secara radiasi ke permukaan *droplet* kemudian dari permukaan *droplet* itu panas akan berpindah secara konduksi menuju titik pusat diameter dan berlangsung hingga temperatur terbaca oleh ujung termokopel.

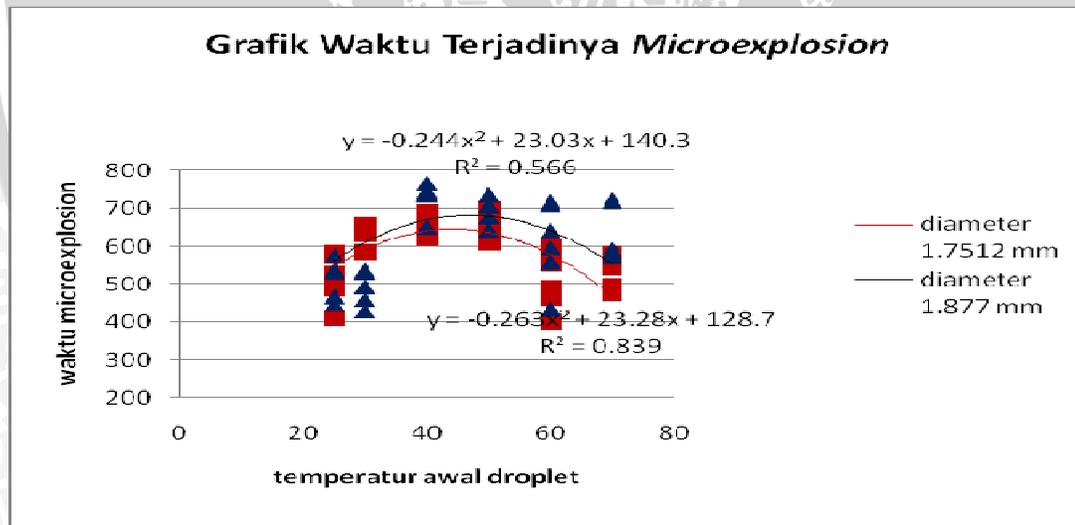
Setelah mengalami proses pemanasan awal maka pada temperatur tertentu, *droplet* akan mencapai titik penguapan dimana akan terjadi perubahan fase bahan bakar dari cair menjadi uap. Dimana pada proses penguapan panas yang diterima *droplet* digunakan untuk memanaskan sebagian massa dari *droplet* minyak kelapa, terutama pada permukaannya dari fase cair menjadi fase uap atau gas. Kemudian dilanjutkan dengan temperatur yang terus naik sampai mencapai titik nyala sehingga bahan bakar mulai terbakar yang ditunjukkan dengan adanya nyala api, mulai timbulnya nyala api dapat dilihat pada grafik yang ditandai oleh cekungan pertama yang menunjukkan LDR (Light Dependent Resistor) dalam keadaan menyala. LDR ini berfungsi untuk memutuskan sakelar yang menyalurkan arus listrik kepada elemen pemanas.

Proses pembakaran *droplet* minyak kelapa terjadi dua kali yang ditandai adanya dua kali kenaikan temperatur secara signifikan. Dimana pembakaran pertama merupakan pembakaran asam lemak dan yang kedua adalah pembakaran gliserol. Pembakaran gliserol ini akan menghasilkan temperatur yang tinggi dan juga nyala api yang besar sehingga dapat meningkatkan kualitas pembakaran. Selain itu gliserol juga memiliki peran yang sangat penting dalam terjadinya *microexplosion*. *Microexplosion* terjadi karena perbedaan titik didih antara asam lemak yang terperangkap di dalam gliserol. Dimana *microexplosion* ini mengakibatkan *droplet* terpecah menjadi butiran-butiran kecil sehingga membantu mempercepat penguapan dan pembakaran. Selain itu kualitas campuran bahan bakar dengan udara akan meningkat sehingga dapat terjadi pembakaran yang lebih sempurna.

Dari grafik dan data diatas terlihat bahwa pemanasan awal sedikit berpengaruh terhadap waktu penyalaan pada proses pembakaran. Meskipun pengaruh yang terlihat tidak terlalu besar, namun *droplet* minyak kelapa yang diberikan pemanasan awal tampak lebih cepat menyala. Selain itu pada temperatur penyalaan pembakaran, *droplet* minyak kelapa yang diberi pemanasan awal memiliki temperatur penyalaan (*flash point*) yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Semakin tinggi temperatur awal maka akan semakin

cepat *droplet* itu menyala. Hal ini sesuai dengan persamaan $\log \mu = \log A + \frac{B}{T} \log e$ maka $\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m v^2$ dimana semakin besar pemanasan awal yang diberikan maka viskositas (μ) akan semakin turun (encer), dengan menurunnya viskositas maka temperatur pembakaran (T) akan meningkat dan menyebabkan kecepatan pembakaran juga akan semakin meningkat. Selain itu semakin tinggi temperatur pemanasan awal akan mengakibatkan pergerakan elektron-elektron *droplet* mengalami percepatan akibatnya akan terjadi gesekan-gesekan antar partikel dalam *droplet*. Temperatur *droplet* yang meningkat tersebut menyebabkan *droplet* mengalami sedikit penguapan sehingga ikatan kimianya menjadi lemah bahkan terputus. Dengan demikian proses pembakaran *droplet* minyak kelapa akan semakin mudah dan energi aktivasi yang diperlukan relatif rendah. Selain itu waktu yang diperlukan untuk membakar *droplet* juga menjadi lebih singkat.

4.2.2 Hubungan antara temperatur awal *droplet* minyak kelapa terhadap waktu terjadinya *microexplosion*.



Gambar 4.2 Grafik hubungan temperatur awal *droplet* dan waktu terjadinya *microexplosion* dengan variasi ukuran *droplet*.

Dari gambar 4.2 diatas dapat dilihat bahwa kecenderungan waktu terjadinya *microexplosion* lebih cepat apabila diberi pemanasan awal. Hal ini disebabkan oleh semakin banyak asam lemak yang menyusup kedalam gliserol untuk melakukan

microexplosion. Karena dengan memanaskan *droplet* maka ikatan antar atom dari minyak kelapa akan melemah sehingga asam lemak hanya memerlukan energi yang sedikit untuk menyusup kedalam gliserol.

Pada diameter *droplet* yang lebih besar akan menyebabkan waktu terjadinya *microexplosion* lebih lambat. Hal ini disebabkan karena volume asam lemak lebih banyak dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyusup kedalam gliserol. Tetapi dengan memberikan pemanasan awal maka waktu yang dibutuhkan untuk menyusup kedalam gliserol semakin sedikit karena ikatan antar atom gliserol melemah dan memudahkan asam lemak untuk menyusup kedalam gliserol.

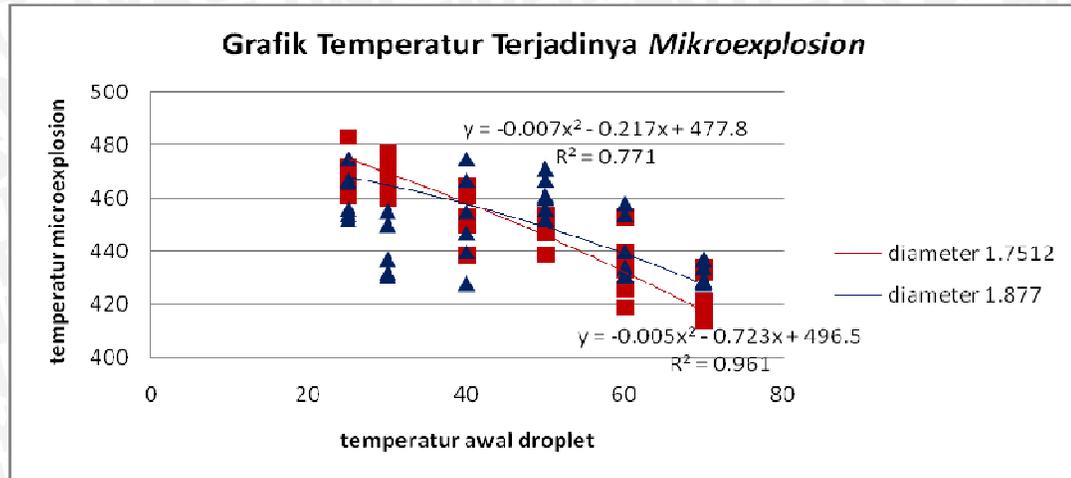
Microexplosion terjadi karena perbedaan titik didih antara asam lemak dan gliserol. Asam lemak yang menyusup kedalam gliserol dan titik didihnya lebih rendah akan mendidih lebih dulu sehingga memberikan tekanan pada gliserol.

Dari grafik dapat dilihat bahwa pada suhu setelah tanpa pemanasan awal (25°C) yaitu 30°C , 40°C , 50°C terjadi peningkatan waktu terjadinya *microexplosion*. Hal ini disebabkan ikatan antar atom minyak kelapa yang lemah. Sehingga asam lemak tidak membutuhkan energi yang besar untuk menyusup dan bercampur dengan gliserol. Tetapi terbakarnya asam lemak di dalam gliserol membutuhkan waktu yang lama untuk terjadi *microexplosion* karena pada suhu tersebut viskositas gliserol masih tinggi dan asam lemak membutuhkan energi yang lebih besar untuk menekan gliserol dan terjadi *microexplosion*. Pada suhu 60°C dan 70°C viskositas gliserol menurun dan memudahkan asam lemak menyusup untuk kemudian terbakar dalam waktu yang lebih cepat dan menekan gliserol sehingga terjadi *microexplosion*.

Pada pemanasan awal 50°C , waktu terjadinya *microexplosion* cenderung sama. Karena tekanan yang dihasilkan oleh perbedaan titik didih kedua zat penyusun cenderung stabil. Kestabilan ini didapatkan karena viskositas minyak kelapa diatas 50°C cenderung stabil sehingga waktu terjadinya *microexplosion* cenderung stabil pula.

Secara keseluruhan dengan memberikan pemanasan awal pada *droplet* maka waktu yang dibutuhkan akan lebih sedikit dan dengan semakin besar *droplet* minyak kelapa akan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk melakukan *microexplosion*.

4.2.3 Hubungan antara temperatur awal *droplet* minyak kelapa terhadap temperatur terjadinya *microexplosion*.



Gambar 4.3 Grafik hubungan temperatur awal *droplet* dan waktu terjadinya *microexplosion* dengan variasi ukuran *droplet*.

Dari gambar 4.3 diatas dapat dilihat bahwa kecenderungan temperatur terjadinya *microexplosion* lebih rendah apabila diberi pemanasan awal. Hal ini disebabkan karena semakin banyak *asam lemak* yang menyusup kedalam gliserol untuk melakukan *microexplosion*. Karena dengan memanaskan *droplet* maka ikatan antar atom akan melemah sehingga *asam lemak* hanya memerlukan sedikit energi untuk menyusup kedalam gliserol.

Pada diameter *droplet* yang lebih besar akan menyebabkan temperatur terjadinya *microexplosion* lebih tinggi. Hal ini disebabkan karena volume *asam lemak* lebih banyak dan membutuhkan waktu yang lebih lama untuk menyusup kedalam gliserol. Dengan semakin besarnya volume maka temperatur yang diperlukan untuk melakukan *microexplosion* akan semakin tinggi pula. Tetapi dengan memberikan pemanasan awal maka ikatan antar atom gliserol melemah dan memudahkan *asam lemak* untuk menyusup kedalam gliserol dan menurunkan temperatur untuk melakukan *microexplosion*.

Secara keseluruhan dengan memberikan pemanasan awal pada *droplet* maka temperatur yang dibutuhkan untuk melakukan *microexplosion* akan lebih rendah dan dengan semakin besar *droplet* minyak kelapa akan membutuhkan temperatur yang lebih tinggi untuk melakukan *microexplosion*.

4.2.4 Visualisasi api *droplet* minyak kelapa pada beberapa variasi pemanasan awal *droplet*.

Tanpa Perlakuan

1.7512 mm



1.877 mm



Pemanasan Awal 30°

1.7512 mm

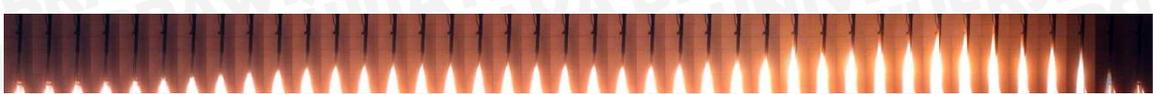


1.877 mm

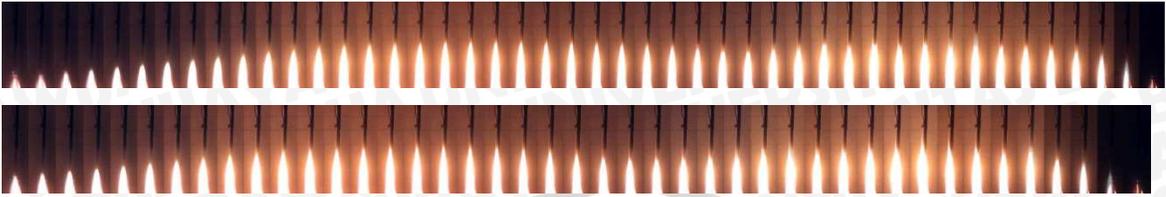


Pemanasan Awal 40°

1.7512 mm



1.877 mm

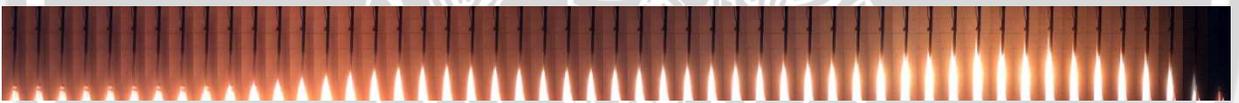


Pemanasan Awal 50°

1.7512 mm



1.877 mm



Pemanasan Awal 60°

1.7512 mm



1.877 mm



Pemanasan Awal 70⁰**1.7512 mm****1.877 mm**

Gambar 4.4 Visualisasi nyala api tanpa pemanasan awal dan dengan pemberian pemanasan awal *droplet* minyak kelapa.

Dari gambar 4.4 dapat dilihat visualisasi nyala api pembakaran *droplet* tanpa perlakuan dengan yang mengalami perlakuan, dimana pada pembakaran *droplet* dengan perlakuan mengalami peristiwa *microexplosion*.

Dari gambar di atas terlihat bahwa terdapat perbedaan warna api tanpa perlakuan dengan yang mengalami perlakuan, hal ini disebabkan adanya perbedaan dari panjang gelombang reaksi dari tanpa perlakuan dengan yang mengalami perlakuan. Dari gambar juga terlihat perubahan tinggi api pada pembakaran *droplet* tanpa perlakuan mengalami perubahan tinggi dan lebar api secara bertahap dan perlahan demikian pula dengan cahaya pembakaran yang dihasilkan tidak terang. Selain itu pembakaran dari gliserol tidak terlihat dengan jelas. Dimana pembakaran gliserol dapat dilihat dari perubahan tinggi api dan lebar api yang terjadi pada tahap kedua. Tahap pertama merupakan pembakaran dari asam lemak. Pembakaran gliserol tidak terlihat jelas dikarenakan kandungan gliserolnya rendah sehingga yang mendominasi pembakaran adalah asam lemak hal ini juga yang mengakibatkan perubahan tinggi dan lebar api terjadi secara lambat dan bertahap.

Dari gambar visualisasi api dengan pemanasan awal dapat dilihat adanya perubahan dimensi api secara mendadak. Hal ini dikarenakan pada saat pemanasan *droplet* terdapat banyak asam lemak yang menyusup ke dalam gliserol sehingga menghasilkan

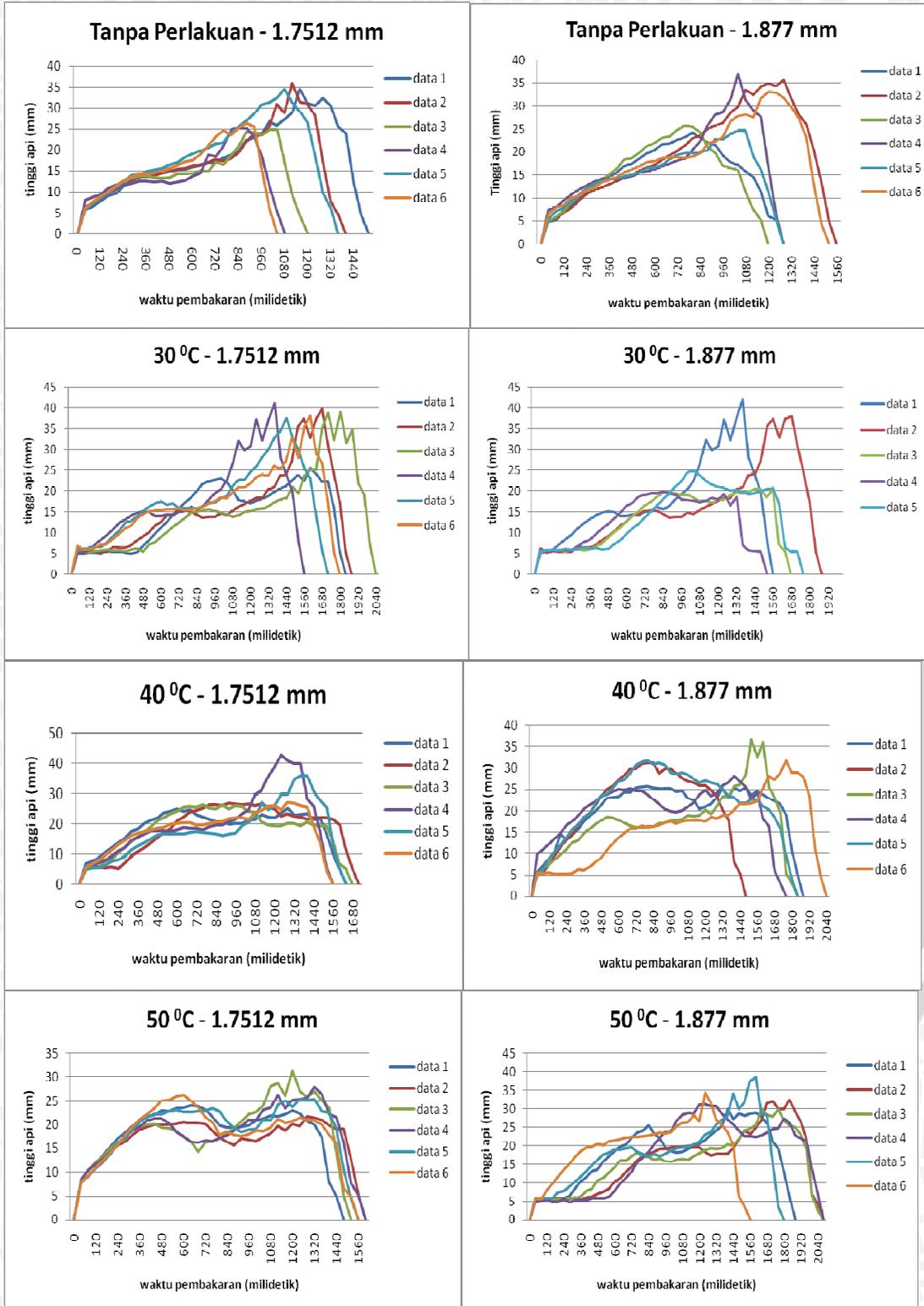
microexplosion yang besar dengan api yang tinggi. Dimana pada proses ini gliserol terpecah menjadi butiran yang sangat kecil sehingga penguapan *droplet* akan semakin cepat.

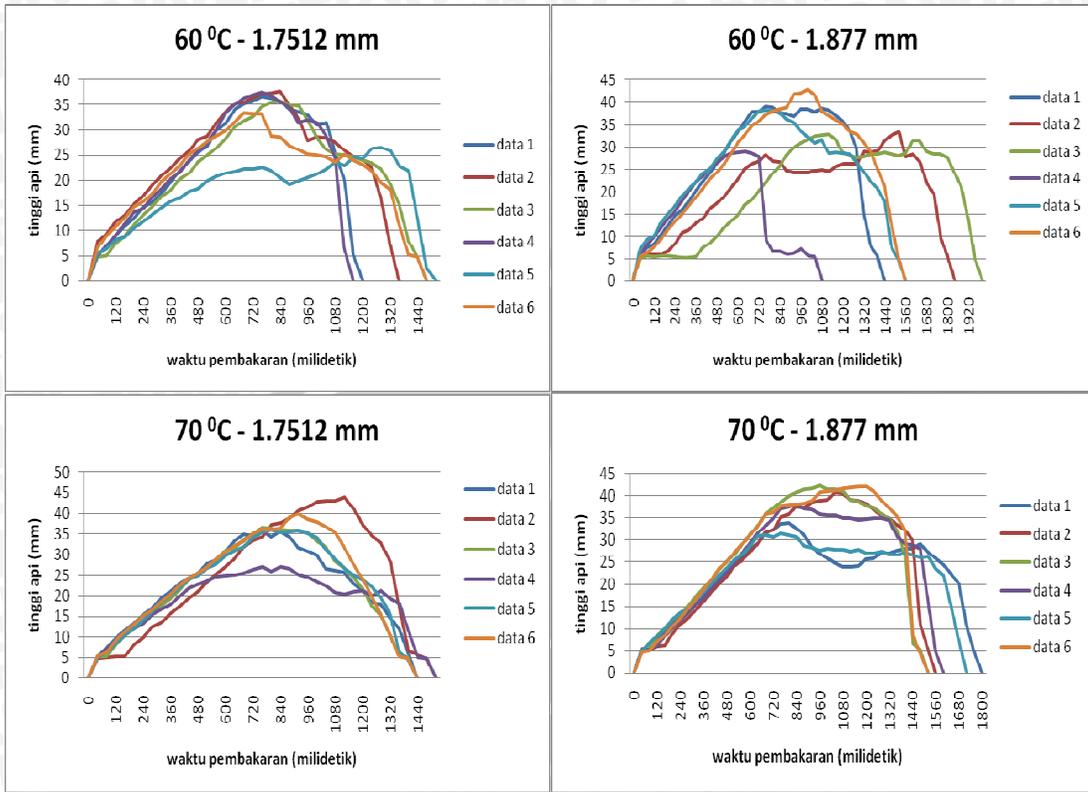
Peristiwa *microexplosion* ini terjadi karena sebagian asam lemak menyusup ke dalam gliserol pada saat minyak kelapa diberikan pemanasan awal dimana makin besar panas yang dihasilkan maka makin banyak jumlah asam lemak yang menyusup. Selain itu pada saat proses pemanasan beberapa asam lemak yang menguap juga menyusup kembali ke dalam gliserol sehingga dihasilkan *microexlosion* yang besar. Dimana pada peristiwa *microexplosion*, gliserol terpecah menjadi butiran-butiran yang lebih kecil sehingga proses pembakaran dapat berlangsung cepat karena proses difusi terjadi dengan mudah. Dimana jika proses difusi oksigen menuju ke inti *droplet* terjadi secara mudah maka akan menghasilkan campuran oksigen dengan udara yang seimbang sehingga terjadi pembakaran yang sempurna. Dimana pembakaran yang sempurna akan menghasilkan api dengan warna dan cahaya yang terang yang menandakan energi yang dihasilkan besar.

Dari visualisasi diatas juga dapat dilihat bahwa ukuran *droplet* juga berpengaruh terhadap tinggi dan lebar nyala api. Semakin besar *droplet* minyak kelapa maka akan terbentuk nyala api yang lebih terang dan membuat api lebih tinggi serta lebih lebar. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya asam lemak yang menyusup kedalam gliserol sehingga terjadi proses *microexplosion*.

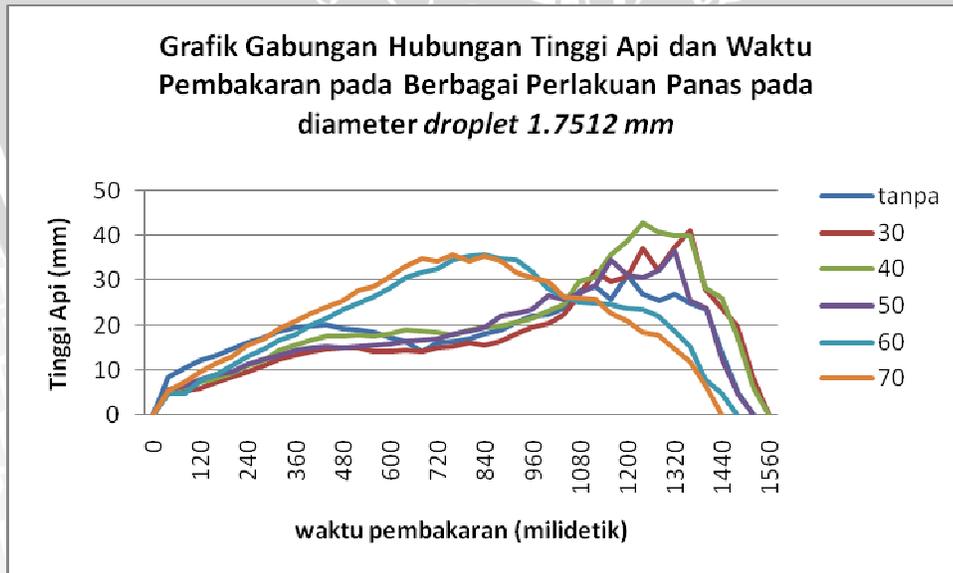
Jadi secara umum pemanasan awal akan menyebabkan perubahan tinggi dan lebar api lebih cepat dari yang tanpa perlakuan. Selain itu cahaya yang dihasilkan juga lebih terang yang menandakan energi yang dihasilkan lebih besar. Dan dengan semakin besarnya *droplet* juga mengakibatkan perubahan tinggi dan lebar api lebih cepat serta menghasilkan cahaya yang lebih terang pula yang mengakibatkan proses *microexplosion* lebih cepat terjadi pada temperatur rendah.

4.2.4 Hubungan antara tinggi api terhadap waktu pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan awal *droplet* minyak kelapa

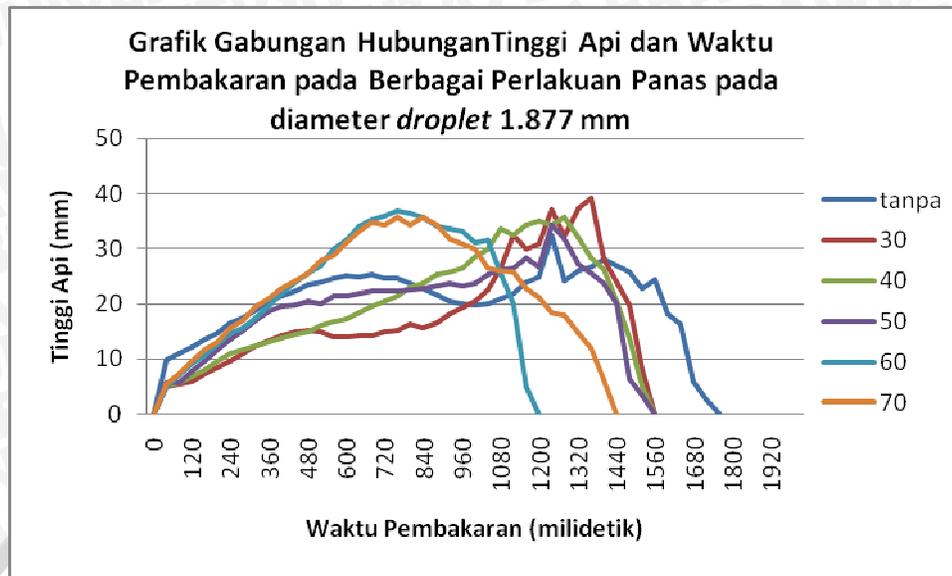




Gambar 4.5 Grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan *droplet* minyak kelapa



Gambar 4.6 Grafik gabungan hubungan tinggi api dan waktu pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal *droplet* dengan diameter 1.7512 mm



Gambar 4.7 Grafik gabungan hubungan tinggi api dan waktu pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal *droplet* dengan diameter 1.877 mm

Dari gambar 4.6 dan 4.7 diatas dapat dilihat bahwa tinggi api tanpa perlakuan lebih rendah bila dibandingkan dengan *droplet* dengan perlakuan. Perubahan tinggi api mencapai maksimum lebih cepat dan tidak mengalami perubahan tinggi. Dengan perlakuan terlihat perubahan tinggi api mencapai tinggi maksimum terjadi lebih lambat selain itu terjadi perubahan tinggi api secara signifikan pada grafik dengan perlakuan. Perubahan tinggi secara cepat terjadi karena sebagian besar *droplet* terdiri dari asam lemak sedangkan gliserolnya lebih sedikit dan beberapa menyebar sebagai butiran yang kecil sehingga pada proses pembakaran asam lemak gliserol dengan ukuran butir yang kecil juga ikut terbakar sehingga dihasilkan api yang tinggi. Jadi secara umum kandungan gliserol dengan perlakuan lebih banyak bila dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Dimana kandungan gliserol yang banyak akan meningkatkan persentase terjadinya *microexplosion*. *Microexplosion* terjadi karena adanya perbedaan titik didih antara asam lemak dengan gliserol, dimana asam lemak terperangkap di dalam gliserol. *Microexplosion* ini dapat memecah *droplet* menjadi butiran-butiran kecil sehingga akan mempercepat proses penguapan dan pembakaran yang akan menghasilkan api yang tinggi.

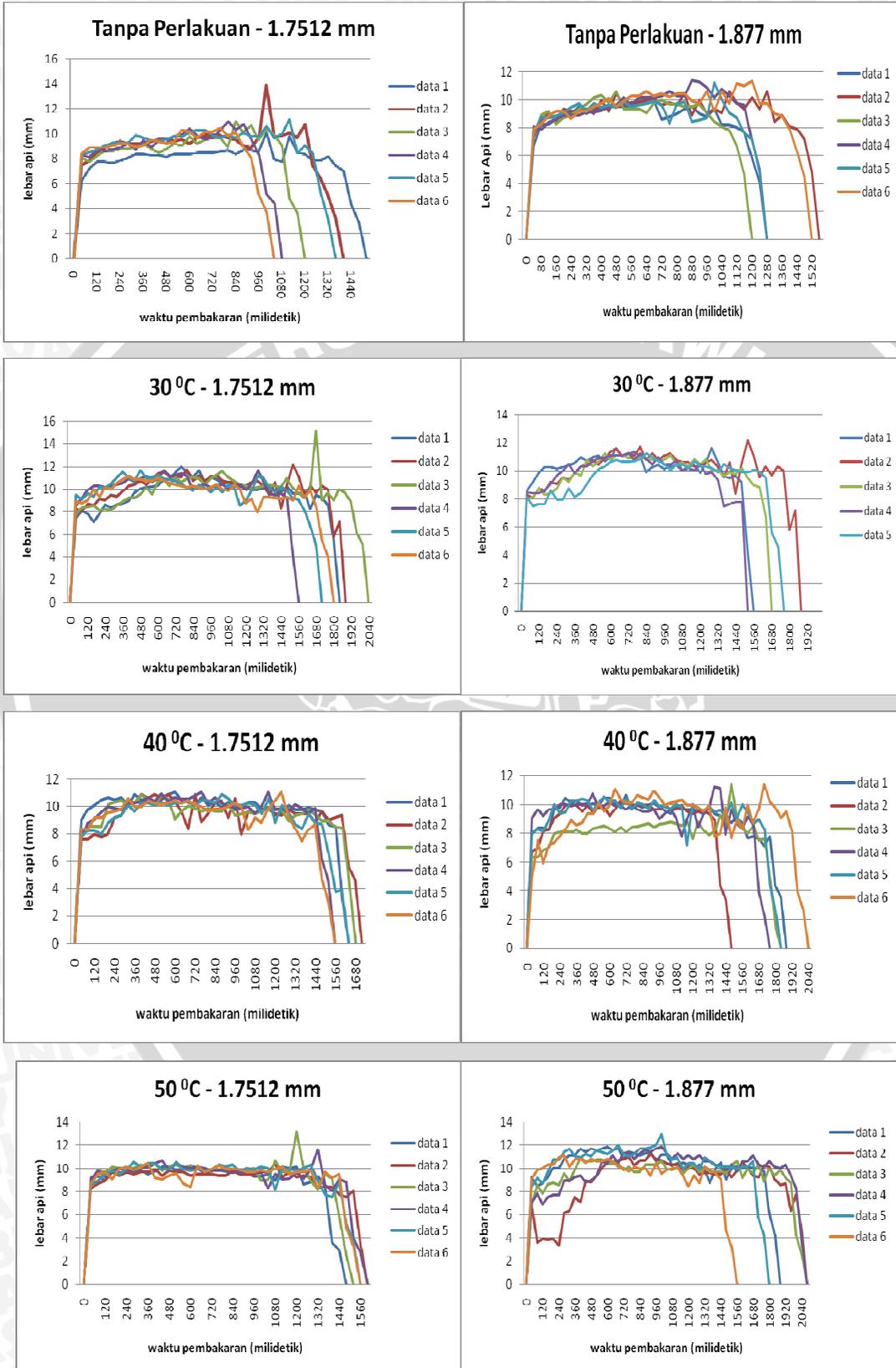
Dari grafik di atas dapat juga dilihat tinggi api tanpa perlakuan lebih tinggi diawal pembakaran dan juga lebih lambat mencapai tinggi maksimum. Hal ini menandai bahwa

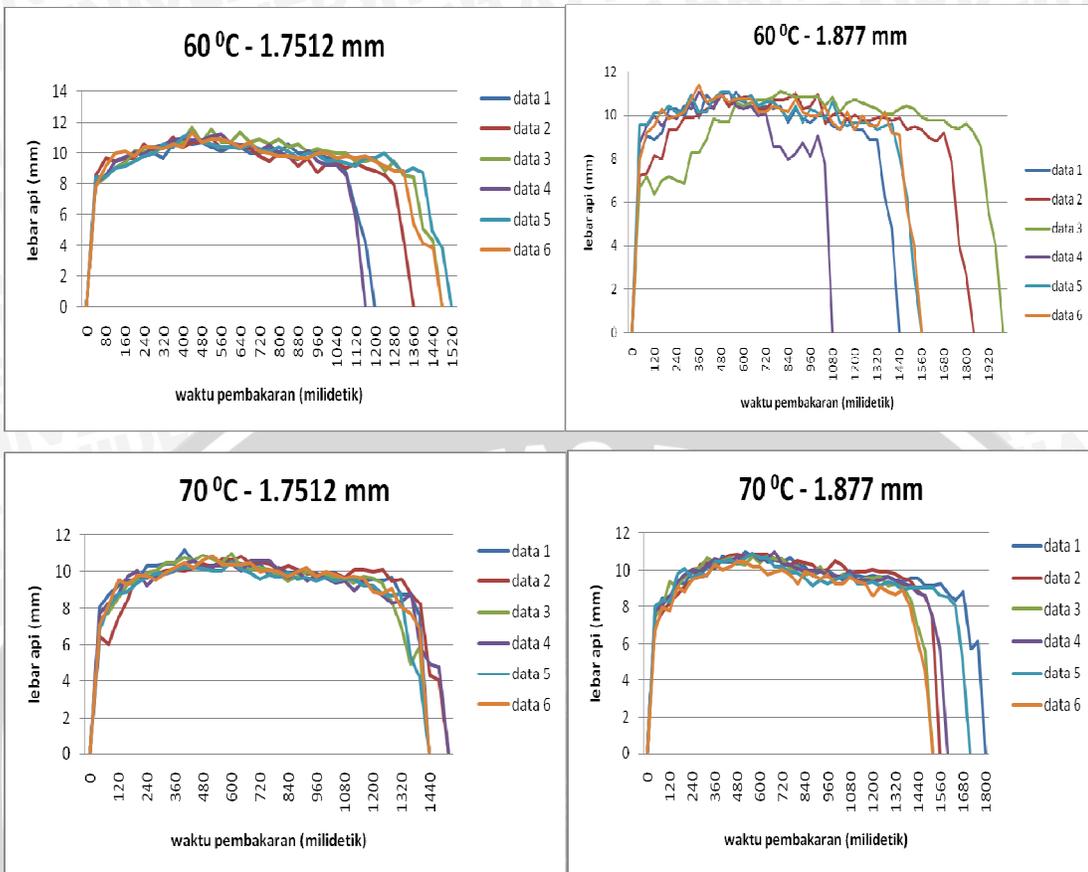
lapisan asam lemak yang mengelilingi gliserol cukup tebal dan juga beberapa gliserol yang terkandung memiliki ukuran butir yang sangat kecil sehingga pada saat proses pembakaran asam lemak dan gliserol dengan ukuran butir yang kecil juga ikut terbakar, tetapi lebih lama untuk mengalami proses pembakaran karena asam lemak dan gliserol yang mempunyai ukuran butir kecil mempunyai perbedaan titik didih yang cukup besar. Sedangkan untuk pembakaran *droplet* dengan perlakuan diawal pembakaran tinggi api naik secara bertahap dan diakhir pembakaran tinggi api meningkat secara signifikan, hal ini dikarenakan adanya *microexplosion* di akhir pembakarannya. Diawal pembakaran tinggi api tidak berubah dengan cepat karena jumlah asam lemak yang mengelilingi gliserol memiliki lapisan yang cukup tipis sehingga yang terbakar diawal pembakaran hanya sedikit asam lemak sedangkan gliserol baru terbakar setelah terjadi peristiwa *microexplosion*.

Dari grafik diatas juga dapat dilihat bahwa ukuran *droplet* juga berpengaruh terhadap tinggi nyala api. Semakin besar *droplet* minyak kelapa maka akan terbentuk api lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya asam lemak yang menyusup kedalam gliserol sehingga terjadi proses *microexplosion*.

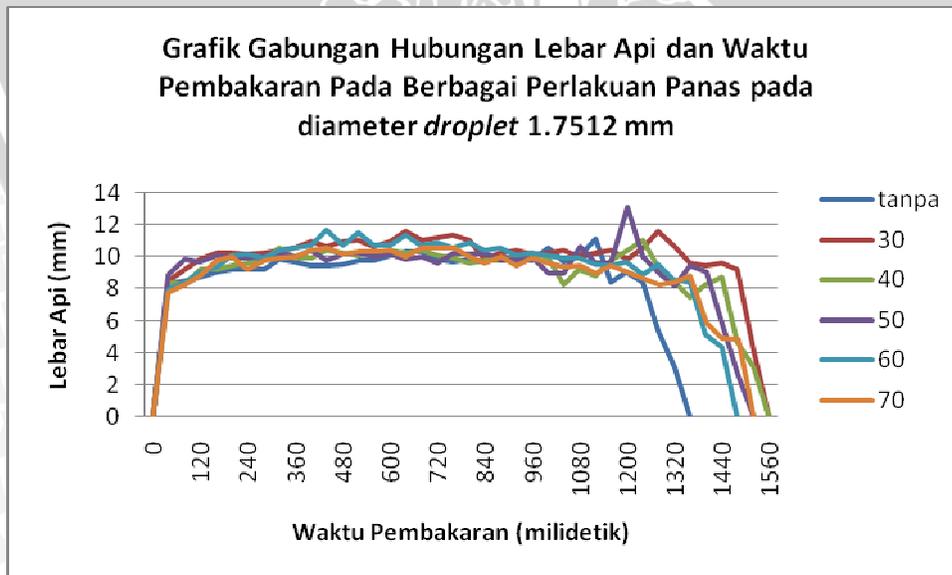
Jadi secara umum dapat diketahui bahwa pemanasan awal *droplet* minyak kelapa mempengaruhi tinggi api yang dihasilkan, selain itu antara *droplet* yang terbakar tanpa perlakuan dengan yang mengalami perlakuan memiliki perbedaan waktu evolusi untuk mencapai tinggi maksimum. Dimana pembakaran tanpa perlakuan lebih cepat mencapai tinggi maksimumnya tetapi untuk tinggi maksimum yang dicapai, pembakaran dengan *microexplosion* jauh lebih tinggi. Dan dengan semakin besarnya *droplet* maka tinggi nyala api juga semakin meningkat serta mengakibatkan proses *microexplosion* lebih cepat terjadi pada temperatur rendah.

4.2.5 Hubungan antara lebar api terhadap waktu pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan awal *droplet* minyak kelapa

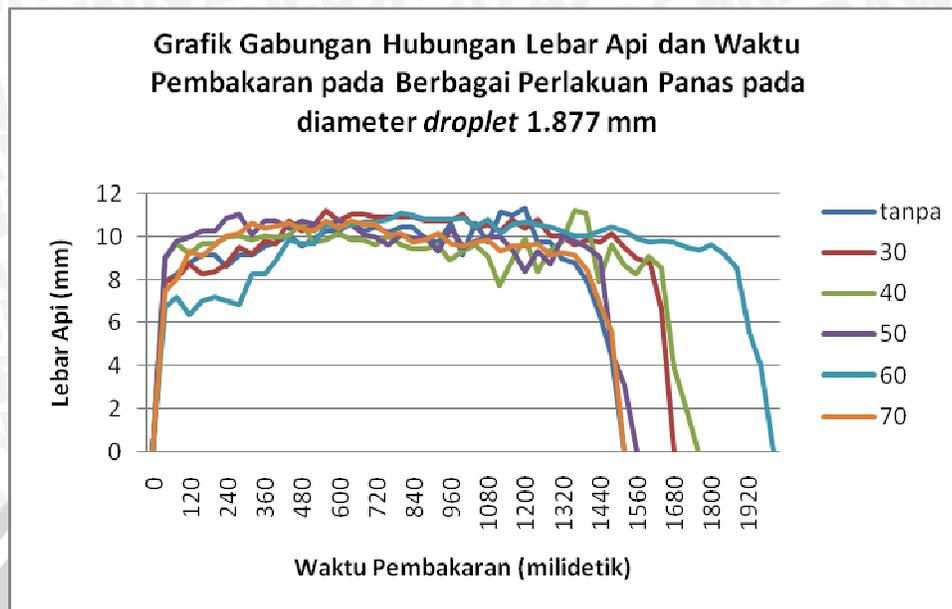




Gambar 4.8 Grafik hubungan lebar api dan waktu pembakaran dengan berbagai variasi pemanasan *droplet* minyak kelapa



Gambar 4.9 Grafik gabungan hubungan lebar api dan waktu pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal *droplet* dengan diameter 1.7512 mm



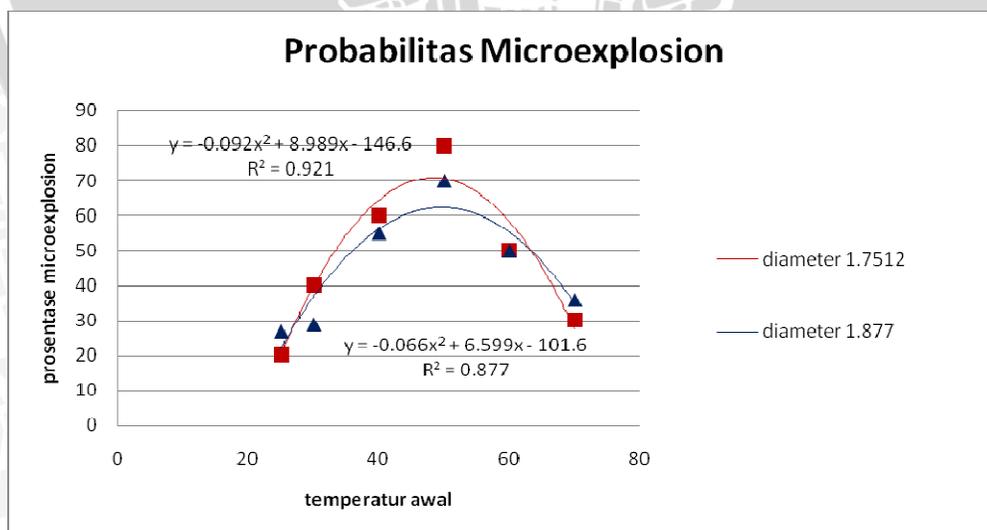
Gambar 4.10 Grafik gabungan hubungan lebar api dan waktu pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pemanasan awal dan tanpa pemanasan awal *droplet* dengan diameter 1.877 mm

Dari gambar 4.9 dan 4.10 di atas terlihat bahwa lebar api tanpa perlakuan memiliki lebar yang rendah dan perubahan lebar api mencapai maksimum berjalan cepat daripada lebar api dengan perlakuan. Dimana terlihat perubahan lebar api mencapai lebar maksimum terjadi lebih lambat selain itu terjadi perubahan lebar secara signifikan pada grafik dengan perlakuan. Perubahan lebar secara cepat terjadi karena sebagian besar *droplet* terdiri dari asam lemak sedangkan gliserolnya lebih sedikit dan beberapa gliserol yang dikandung memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga pada saat pembakaran asam lemak, gliserol dengan ukuran yang sangat kecil ikut terbakar sehingga dihasilkan perubahan lebar api yang berlangsung lebih cepat. Tetapi untuk *droplet* yang terbakar dengan perlakuan memiliki kandungan gliserol yang lebih banyak. Jadi secara umum kandungan gliserol dengan perlakuan lebih banyak bila dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Dimana kandungan gliserol yang banyak akan meningkatkan persentase terjadinya *microexplosion*. *Microexplosion* terjadi karena adanya perbedaan titik didih antara asam lemak dengan gliserol, dimana asam lemak terperangkap di dalam gliserol. *Microexplosion* ini dapat memecah *droplet* menjadi butiran-butiran kecil sehingga akan mempercepat proses penguapan dan pembakaran yang akan menghasilkan api yang lebar.

Dari grafik di atas dapat juga dilihat lebar api tanpa perlakuan lebih lebar diawal pembakaran dan juga lebih cepat mencapai lebar maksimum. Hal ini menandai bahwa lapisan asam lemak yang mengelilingi gliserol cukup tebal dan juga beberapa gliserol yang terkandung memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga pada saat pembakaran asam lemak gliserol dengan ukuran sangat kecil ini ikut terbakar. Sedangkan untuk pembakaran *droplet* dengan perlakuan diawal pembakaran lebar api naik secara bertahap dan diakhir pembakaran lebar api meningkat secara signifikan. Hal ini dikarenakan adanya *microexplosion* di akhir pembakarannya. Diawal pembakaran lebar api tidak berubah dengan cepat karena jumlah asam lemak yang mengelilingi gliserol memiliki lapisan yang cukup tipis sehingga yang terbakar diawal pembakaran hanya sedikit asam lemak.

Jadi secara umum pemanasan awal akan mempengaruhi lebar api yang dihasilkan karena dengan meningkatnya temperatur yang diberikan akan meningkatkan persentase *microexplosion* yang terjadi. Dimana lebar api sangat dipengaruhi oleh *microexplosion* yang terjadi. Selain itu antara *droplet* yang terbakar tanpa perlakuan dengan yang mengalami perlakuan memiliki perbedaan waktu evolusi untuk mencapai lebar maksimum. Dan dengan semakin besarnya *droplet* maka lebar nyala api juga semakin meningkat serta mengakibatkan proses *microexplosion* lebih cepat terjadi pada temperatur rendah.

4.2.7 Hubungan antara probabilitas *microexplosion* terhadap temperatur awal *droplet* minyak kelapa.



Gambar 4.11 Grafik hubungan pemanasan awal dan prosentase *microexplosion*

Dari grafik hubungan antara pemanasan awal terhadap probabilitas *microexplosion* dapat diketahui pengaruh pemanasan awal terhadap probabilitas *microexplosion*. Semakin tinggi temperatur pemanasan awal yang diberikan pada droplet minyak kelapa maka probabilitas *microexplosion* yang terjadi cenderung semakin menurun. Pada pengambilan 10 data pembakaran tanpa pemanasan awal pada diameter 1.7512 mm *droplet* minyak kelapa, *microexplosion* terjadi 2 kali (20%). Sedangkan pada pemanasan awal 30⁰C terjadi 4 kali *microexplosion* dari pengambilan 10 data (40 %). Pada pemanasan 40⁰C terjadi 6 kali *microexplosion* dari 10 pengambilan data (60%). Pada pemanasan 50⁰C terjadi 8 kali *microexplosion* dari 10 pengambilan data (80%). Pada pemanasan 60⁰C terjadi 4 kali *microexplosion* dari 10 pengambilan data (40%). Pada pemanasan 70⁰C hanya terjadi 3 kali *microexplosion* dari 10 pengambilan data (30%). Sedangkan pada pengambilan data dengan diameter *droplet* 1.877mm tanpa pemanasan awal terjadi 3 kali *microexplosion* dari 11 pengambilan data (27%). Pada pemanasan 30⁰C terjadi 5 kali *microexplosion* dari 17 pengambilan data (29%). Pada pemanasan 40⁰C terjadi 6 kali *microexplosion* dari 11 pengambilan data (55%). Pada pemanasan 50⁰C terjadi 7 kali *microexplosion* dari 10 pengambilan data (70%). Pada pemanasan 60⁰C terjadi 5 kali *microexplosion* dari 10 pengambilan data (50%). Pada pemanasan 70⁰C terjadi 4 kali *microexplosion* dari 11 pengambilan data (360%).

Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa dengan semakin tinggi temperatur awal yang diberikan pada *droplet* minyak kelapa maka probabilitas terjadinya *microexplosion* semakin sedikit.

Microexplosion merupakan peristiwa yang terjadi karena perbedaan titik didih dari kedua komponen penyusun bahan bakar dalam hal ini adalah asam lemak dan gliserol dimana asam lemak memiliki titik didih yang lebih rendah sehingga lebih cepat menguap daripada gliserol yang memiliki titik didih yang lebih tinggi. Jika asam lemak yang terperangkap didalam gliserol mengalami penguapan maka asam lemak tersebut akan menjadi gelembung bertekanan tinggi yang akan menekan gliserol sehingga gliserol akan pecah menjadi butiran-butiran kecil yang mudah menguap dan terbakar. Peristiwa pecahnya gliserol menjadi butiran-butiran kecil karena tekanan dari asam lemak yang mengalami penguapan disebut dengan peristiwa *microexplosion*. Dengan adanya *microexplosion* ini maka pembakaran akan menjadi lebih baik karena bahan bakar terbakar lebih sempurna.

Dengan adanya pemanasan awal *droplet* minyak kelapa maka akan mengakibatkan asam lemak yang terkandung di dalam minyak kelapa tertekan sehingga akan bercampur ataupun menyusup ke dalam gliserol karena gliserol memiliki viskositas yang lebih tinggi daripada asam lemak. Semakin tinggi temperatur pemanasan awal maka akan melemahkan ikatan antar atom dari minyak kelapa dan memudahkan terjadinya *microexplosion* sehingga probabilitas terjadinya *microexplosion* akan meningkat. Tetapi pada suhu 60°C dan 70°C terjadi penurunan probabilitas *microexplosion*. Hal ini disebabkan semakin tinggi pemanasan awal yang diberikan pada *droplet* minyak kelapa maka viskositasnya akan menurun sehingga ikatan antar atom asam lemak dan gliserol akan semakin melemah. Sehingga asam lemak yang menyusup dan terperangkap dalam gliserol akan semakin banyak karena menurunnya viskositas dari gliserol, asam lemak tidak membutuhkan energy yang besar untuk menyusup ke dalam gliserol. Gliserol yang ikatan antar atomnya melemah tadi tidak mampu untuk menekan asam lemak yang terperangkap tadi sehingga dengan tidak adanya tekanan maka tidak terjadi *microexplosion* dalam proses pembakaran karena titik didih antara gliserol dan asam lemak hampir sama.

Jadi secara umum dapat diketahui dengan adanya pemanasan awal *droplet* akan meningkatkan persentase terjadinya *microexplosion* pada suhu maksimal 50°C dimana dengan adanya *microexplosion* akan meningkatkan kualitas pembakaran karena gliserol pecah menjadi butiran-butiran kecil yang akan mempermudah proses penguapan dan pembakaran sehingga pembakaran yang terjadi akan menjadi lebih sempurna.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan di atas dapat diperoleh kesimpulan antara lain:

1. Pemberian temperatur awal pada *droplet* minyak kelapa sampai temperatur 50⁰C akan memperlambat terjadinya *microexplosion* tetapi pada pemberian diatas temperatur 50⁰C akan mempercepat terjadinya *microexplosion*.
2. Semakin tinggi temperatur pemanasan awal *droplet* maka temperatur terbentuknya *microexplosion* rendah. Hal ini disebabkan dengan pemanasan awal maka ikatan antar atom gliserol melemah dan memudahkan asam lemak untuk menyusup ke dalamnya dan menurunkan temperatur terjadinya *microexplosion*.
3. Diameter *droplet* berpengaruh terhadap waktu dan temperatur terjadinya *microexplosion*. Semakin besar diameter *droplet* maka waktu yang dibutuhkan untuk terjadinya *microexplosion* lebih lambat dan temperatur pembentuknya lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh volume asam lemak dan gliserol yang lebih banyak pada diameter *droplet* yang lebih besar.
4. Dari pengamatan terhadap nyala api pembakaran dengan pemanasan awal *droplet* didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur, maka tinggi dan lebar nyala api cenderung lebih meningkat hal ini dikarenakan semakin besar *microexplosion* yang dihasilkan. Tetapi pada temperatur diatas 50⁰C tinggi dan lebar api cenderung menurun karena probabilitas *microexplosion* berkurang.
5. Probabilitas *miceoexplosion* yang ditimbulkan dengan adanya pemanasan awal *droplet* minyak kelapa semakin meningkat sampai pada temperatur pemanasan 50⁰C . Tetapi pada temperatur diatas 50⁰C probabilitas *microexplosion* berkurang karena pada temperatur yang tinggi viskositas asam lemak dan gliserol hampir sama sehingga titik didihnya juga hampir sama.

5.2 Saran

1. Perlunya penelitian lebih lanjut menggunakan variasi minyak nabati lainnya.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut tentang karakteristik *microexplosion* dengan variasi lain pada suatu pembakaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Aigner, Manfred DLR. 2006. *Modeling Evaporation and Microexplosion of Water in Alkane Emulsion Droplets*. Germany: German Aerospace Center.
- Ghassemi, Hojat , Seung Wong Baek & Qasim S.K. 2006. *Experimental Study on Microexplosive Burning of Binary Fuel Droplets*. Korea: Korea Advanced Institute of Science and Technology.
- Kuo, Kenneth K. 1986. *Principles of Combustion*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Nur Alam Syah, Andi. 2006. *Biodiesel Jarak Pagar*; Jakarta : Agromedia Pustaka.
- Purnomo, Dwi Adi. 2006. *Pengaruh Intensitas dan Frekuensi Kebisingan Terhadap Penyalaan Bahan Bakar*.
- Tipler Paul A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta : Erlangga.
- Tj, Soetiari. 1990. *Bahan Bakar dan Proses-proses Kimia Pembakaran*. Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Turns, Stephen. 1996. *An Introduction to Combustion*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Wardana, I.N.G. 1995. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.
- Woodrof, J.G. 1978. *CoconutT : Production, Processing, Product*. Second ed. The AVI Publishing Company Inc. West Port. Connecticut. USA
- Halliday, David dan Resnick, Robert. 1988. *Fisika Jilid I dan II*, Jakarta : Erlangga.
- Benzon, J.A. and R.V. Jose. 1982. *Coconut, production and Utilization*. Philippine Coconut Font Inc. Amber Avenue. Metro manila
- Frederikse dan Lide. 1998. *Mahlbauer*. Jakarta
- Raffiq, H M. 2005. *Emissions Control for Direct Injection CI Engine using Preheated Coconut Oil Blended Diesel*. Hakeem College of Engineering. Vellore
- Ralph H, Petrucci. 1996. *Kimia Dasar*.
- Streeter, Victor L., E. Benjamin Wylie. 1991 : *Mekanika Fluida*, Edisi delapan, Tejemahan Arko Prijono, M. S. E. Erlangga. Jakarta.
- Fox, Robert W. 1985. *Introduction to Fluid Mechanics*.
- Wardana, I.N.G. 1995. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*.

Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Rosyadi, Ahmad Adib. 2009. *Pengaruh Microexplosion Terhadap Karakteristik Pembakaran Bahan Bakar Minyak Jarak Pagar (Jathropa Curcas L.) Pada Berbagai Diameter Droplet*. Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Azhar, Choirul 2008. *Pengaruh Variasi Viskositas Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Berdiameter Kecil Pada Minyak Jarak (Jatropha Curcas L.)*, Malang : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Choi, Dryer. 2001. *Science Support for Space-Based Droplet Combustion*. Journal Engineering

www.biodiesel.org, 2005

www.biology.clc.uc.edu/graphics/bio104/fatty%20acid.jpg

www.chem-is-try.org/?sect

www.elsevier.com, 2008

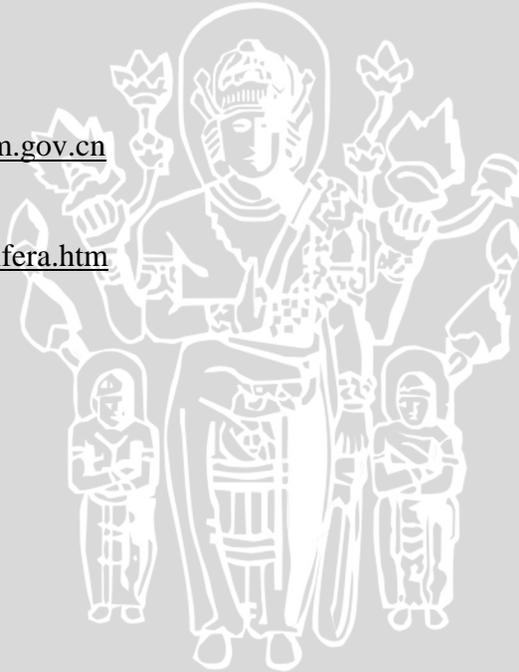
www.exporttochina.mofcom.gov.cn

www.nmri.go.jp/

www.Svlele.com/cocosnucifera.htm

www.wikimedia.org

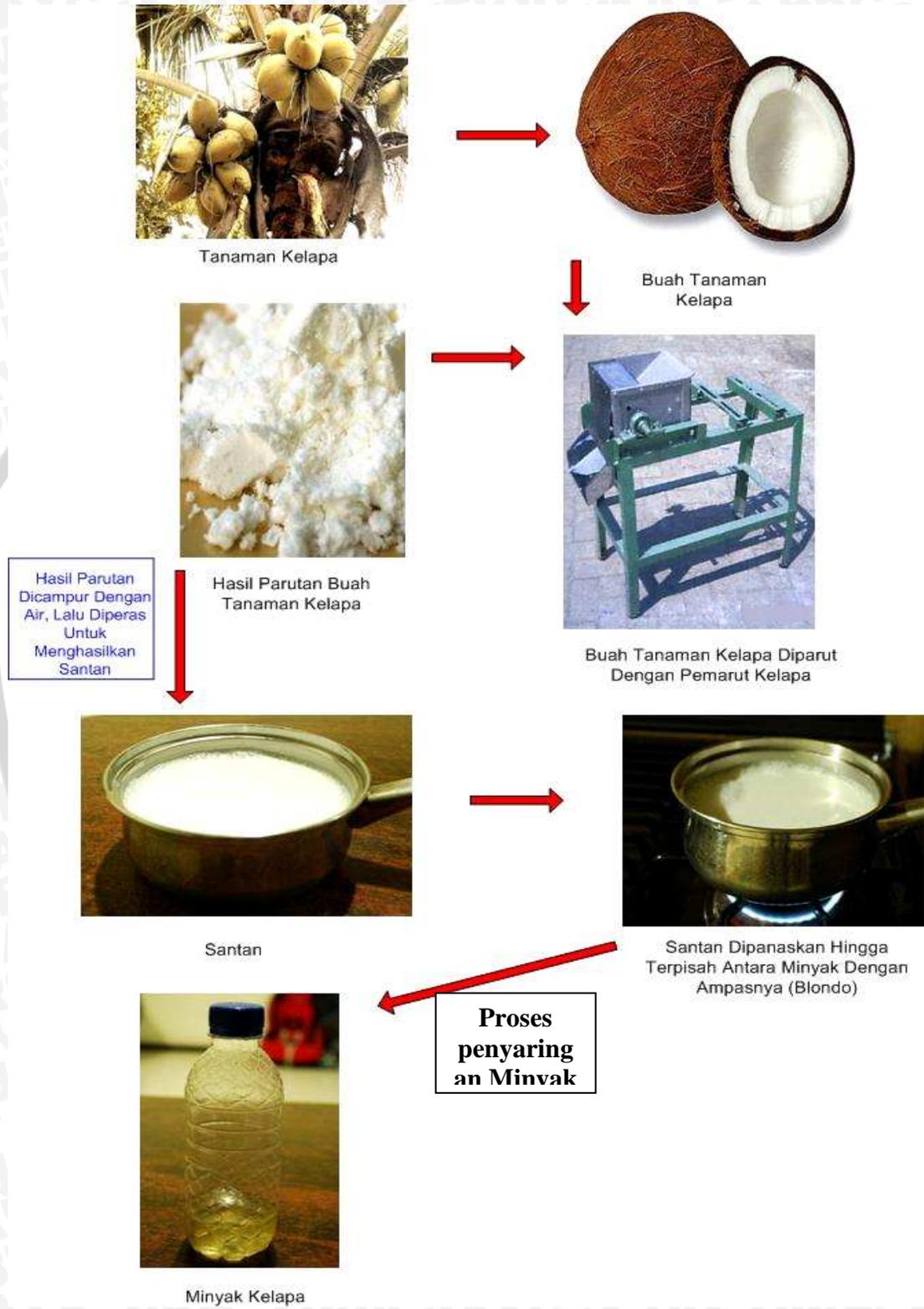
www.kompas.com





LAMPIRAN

Lampiran 1. Proses pembuatan minyak kelapa dengan cara pemanasan santan



Lampiran 2. Prosentase *microexplosion*

1.7512 mm

Temperatur awal	Probabilitas <i>microexplosion</i> (%)
25	20
30	40
40	60
50	80
60	50
70	30

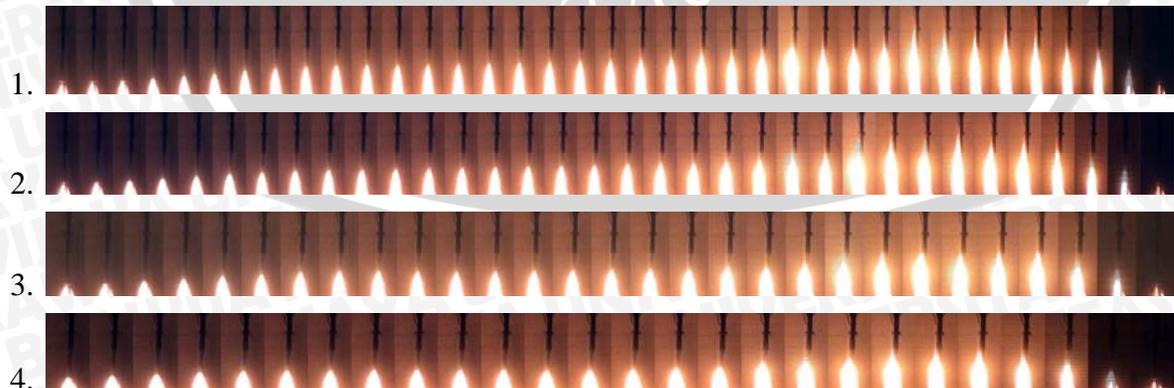
1.877 mm

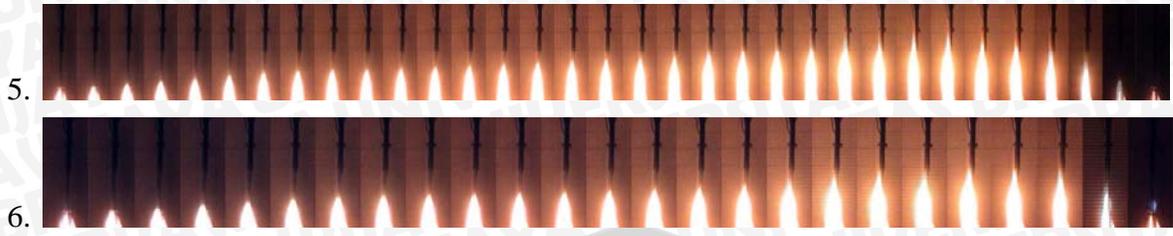
Temperatur awal	Probabilitas <i>microexplosion</i> (%)
25	27
30	29
40	55
50	70
60	50
70	36

Lampiran 3. Visualisasi nyala api tanpa temperature awal dan berbagai temperatur awal minyak kelapa.

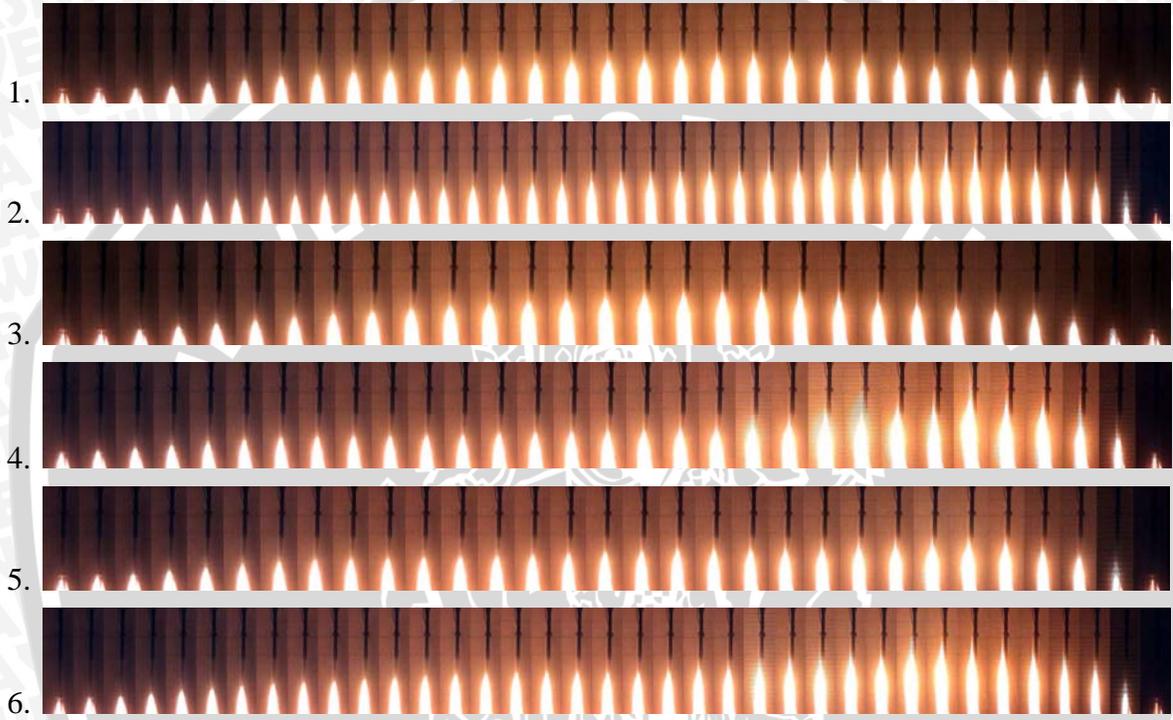
Data tanpa temperatur awal

1.7512 mm



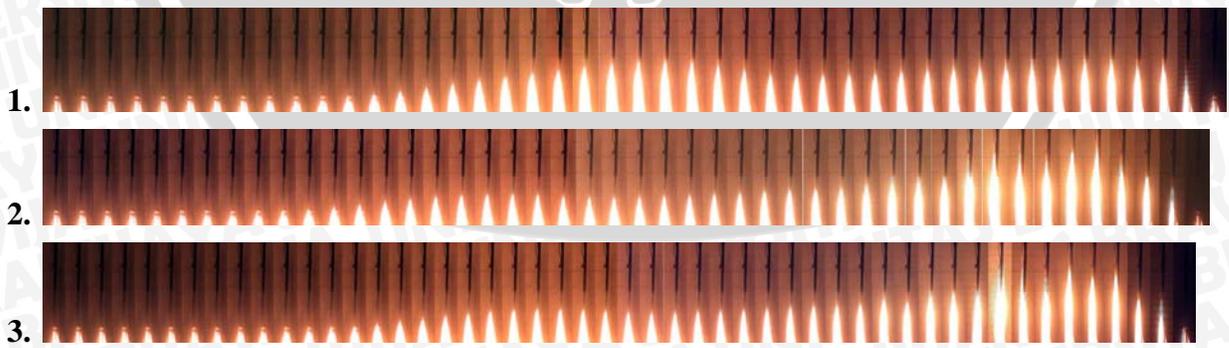


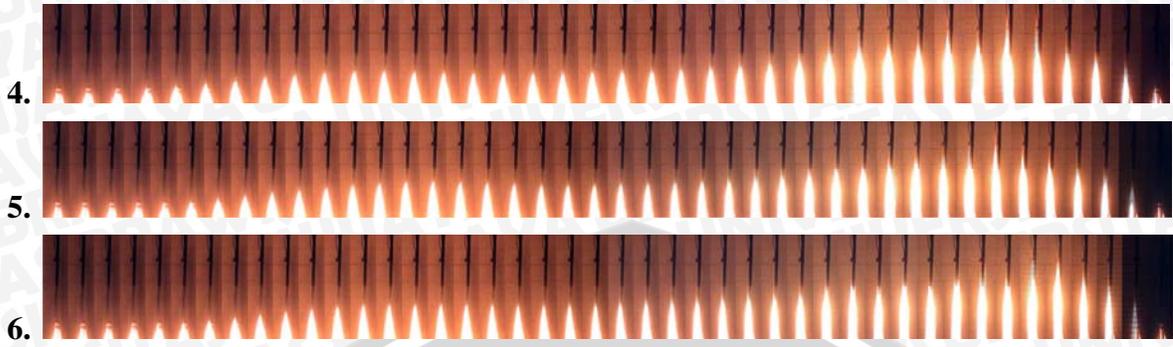
1.877 mm



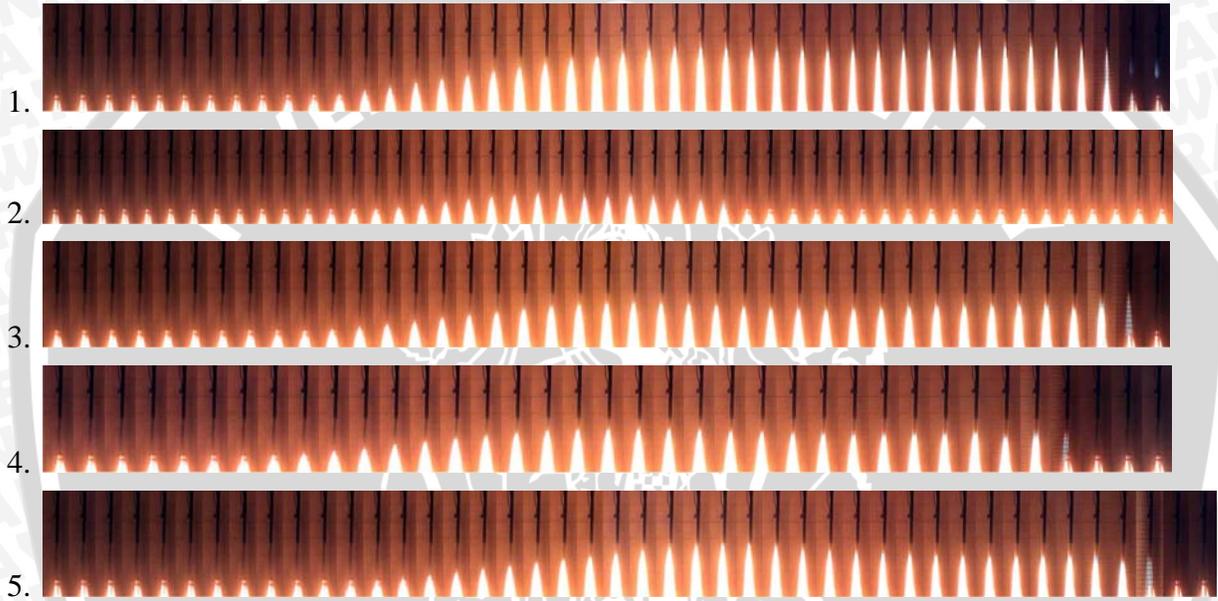
Data 30⁰

1.7512 mm



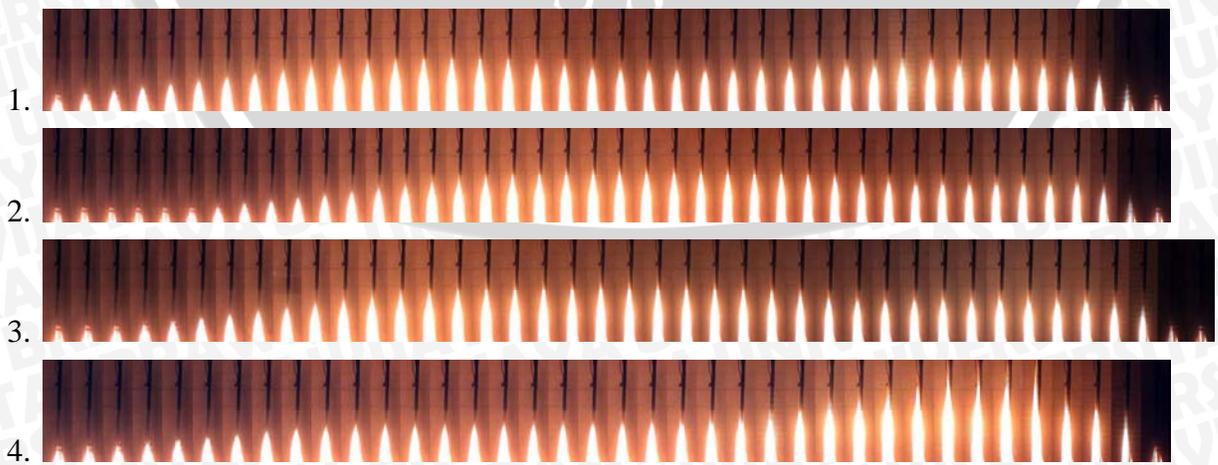


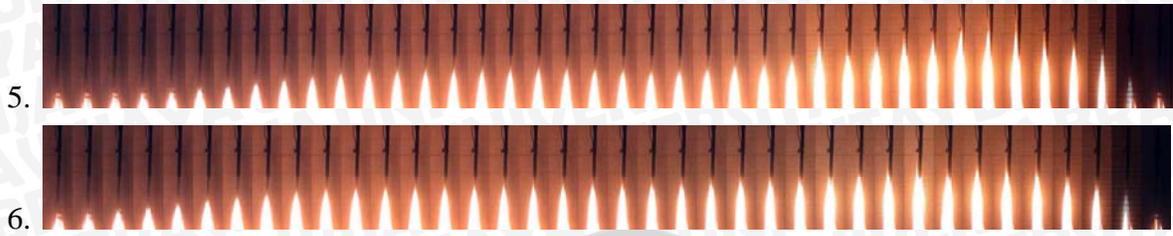
1.877 mm



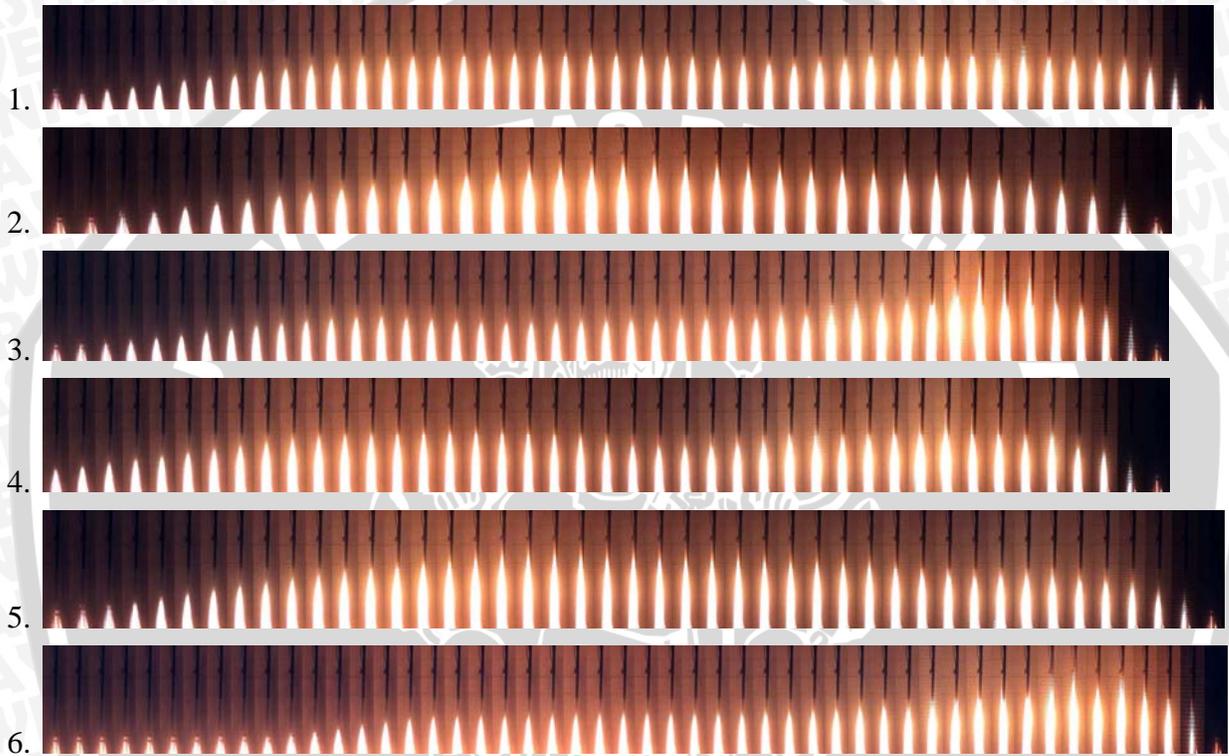
Data 40°

1.7512 mm



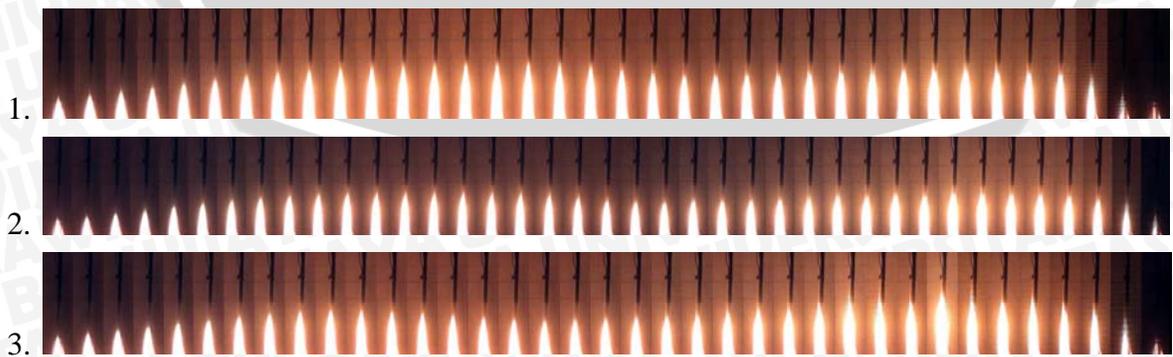


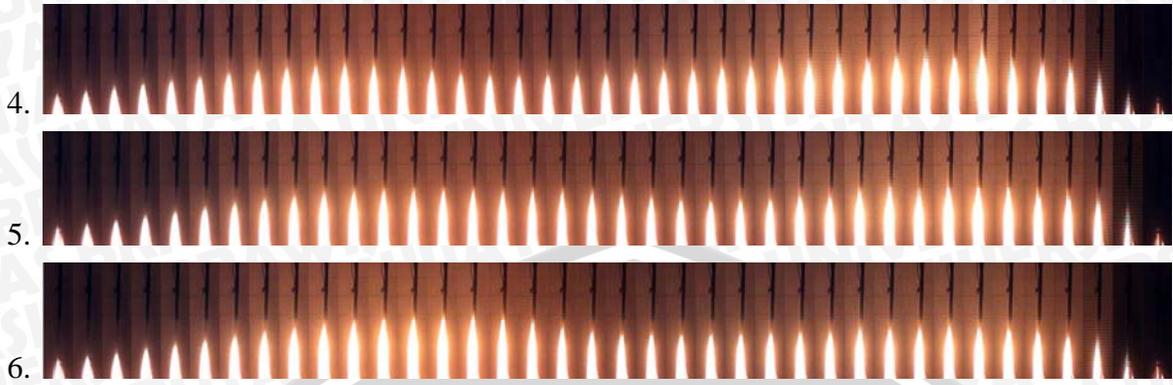
1.877 mm



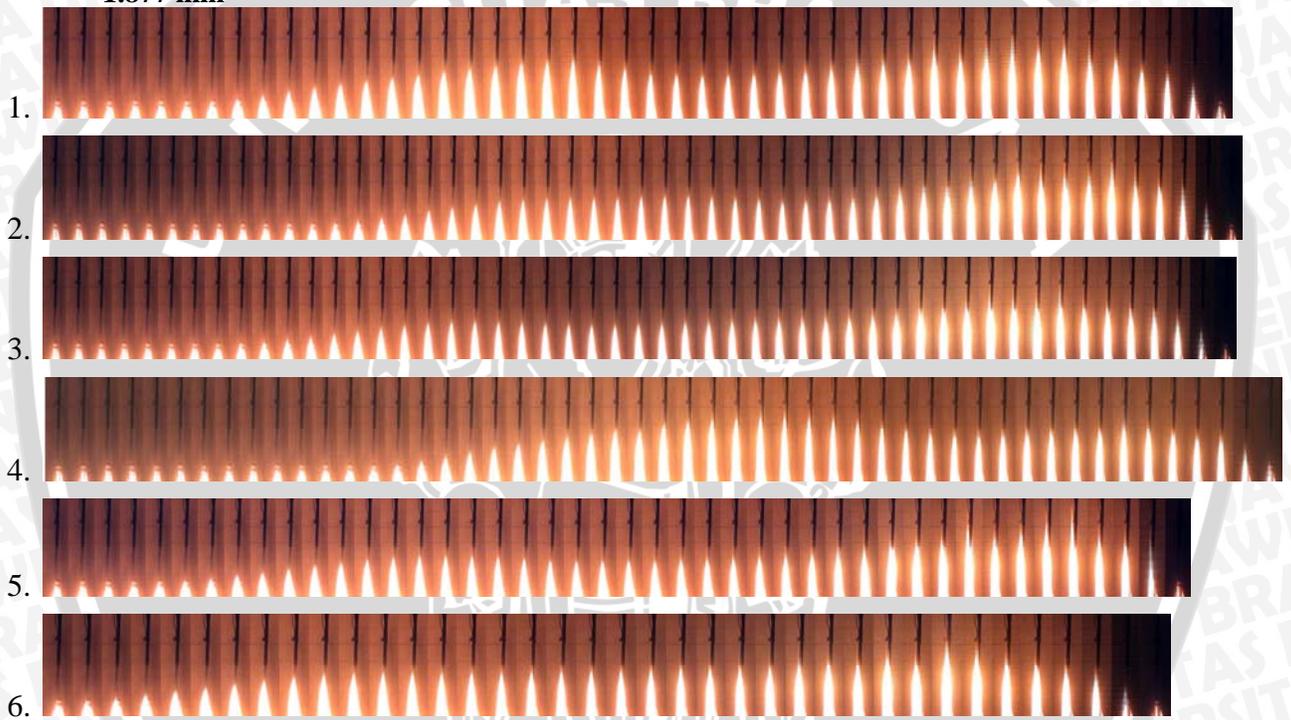
Data 50°

1.7512 mm



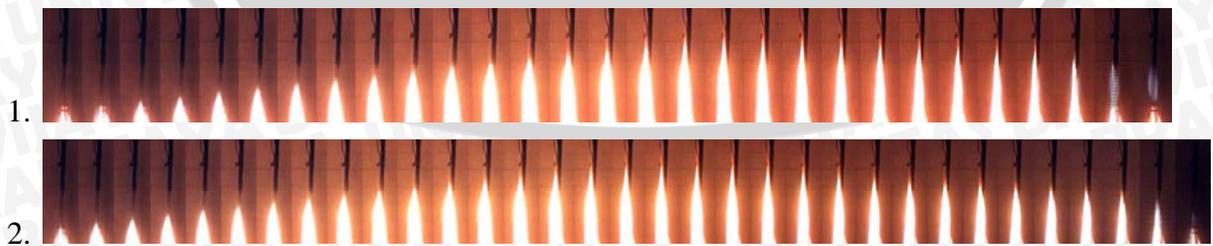


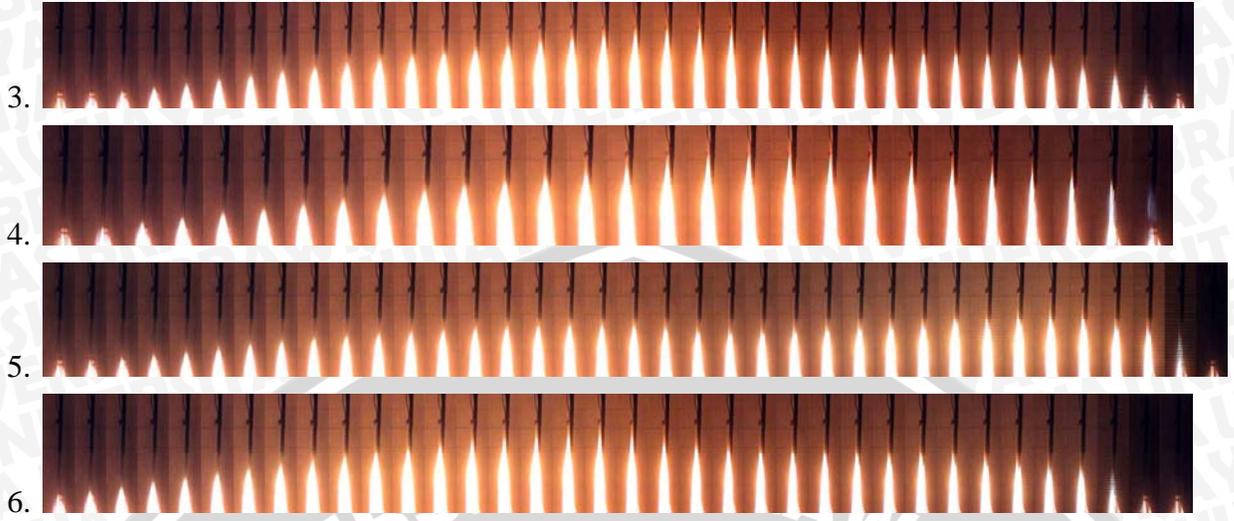
1.877 mm



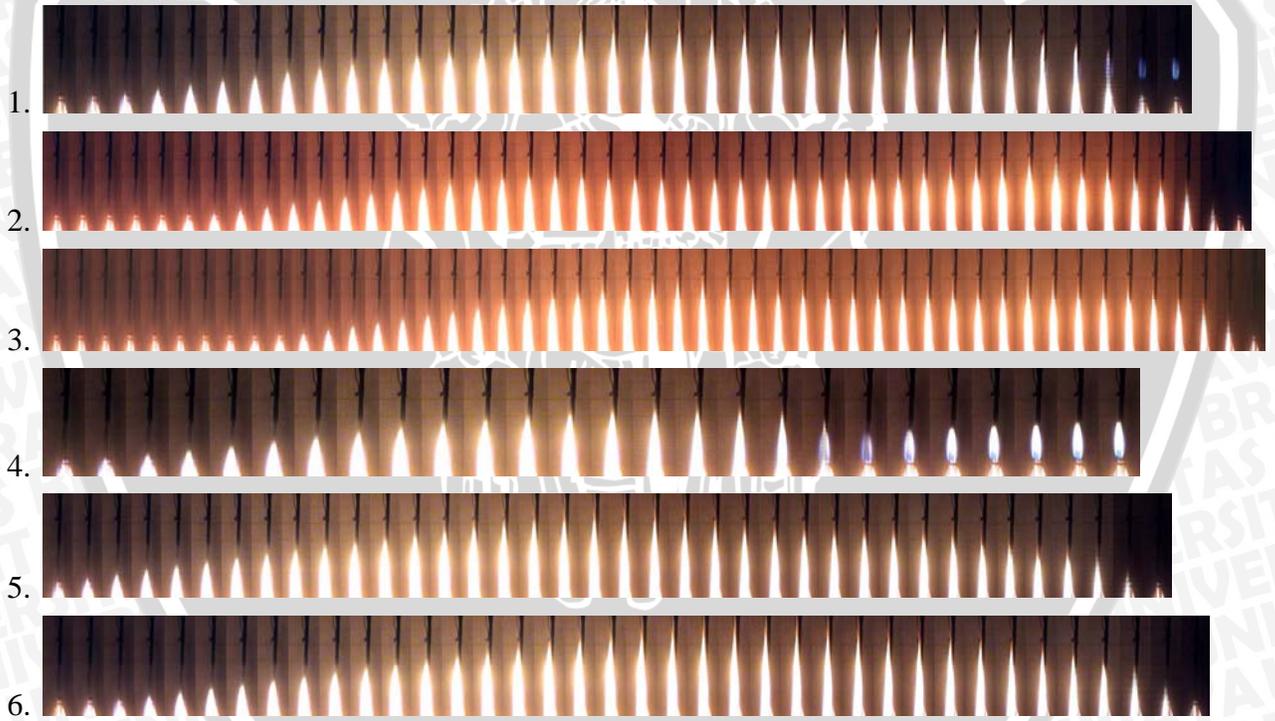
Data 60°

1.7512 mm



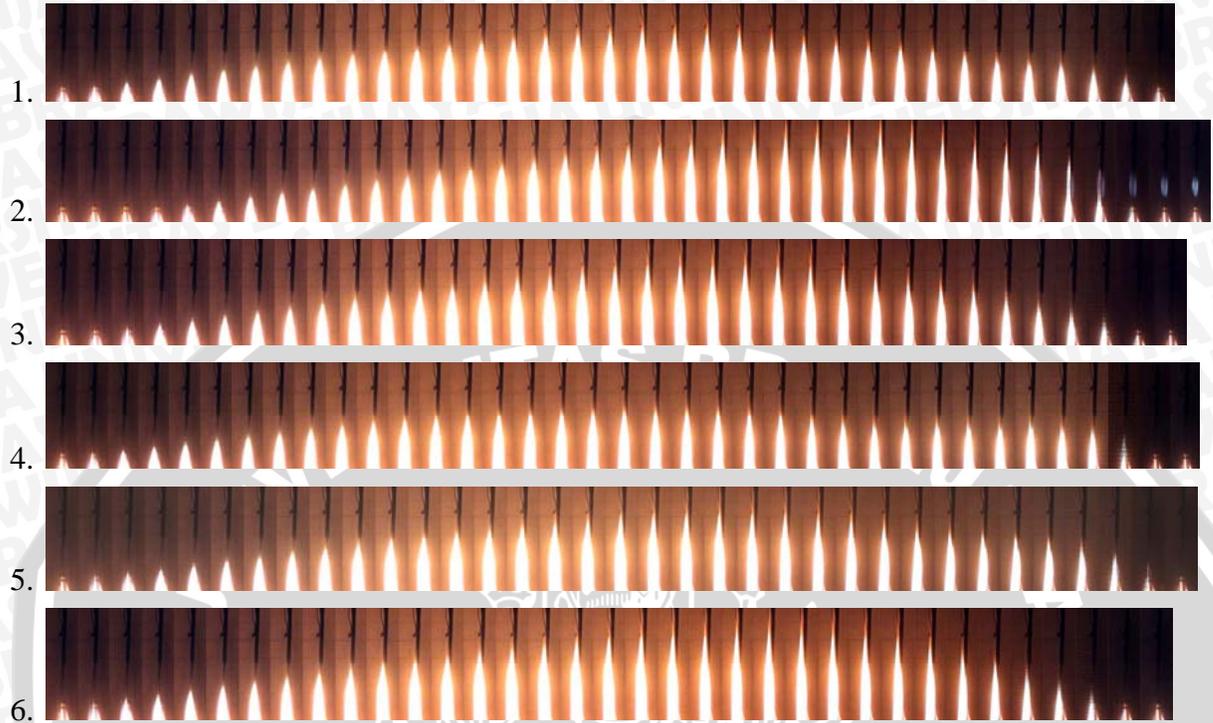


1.877 mm

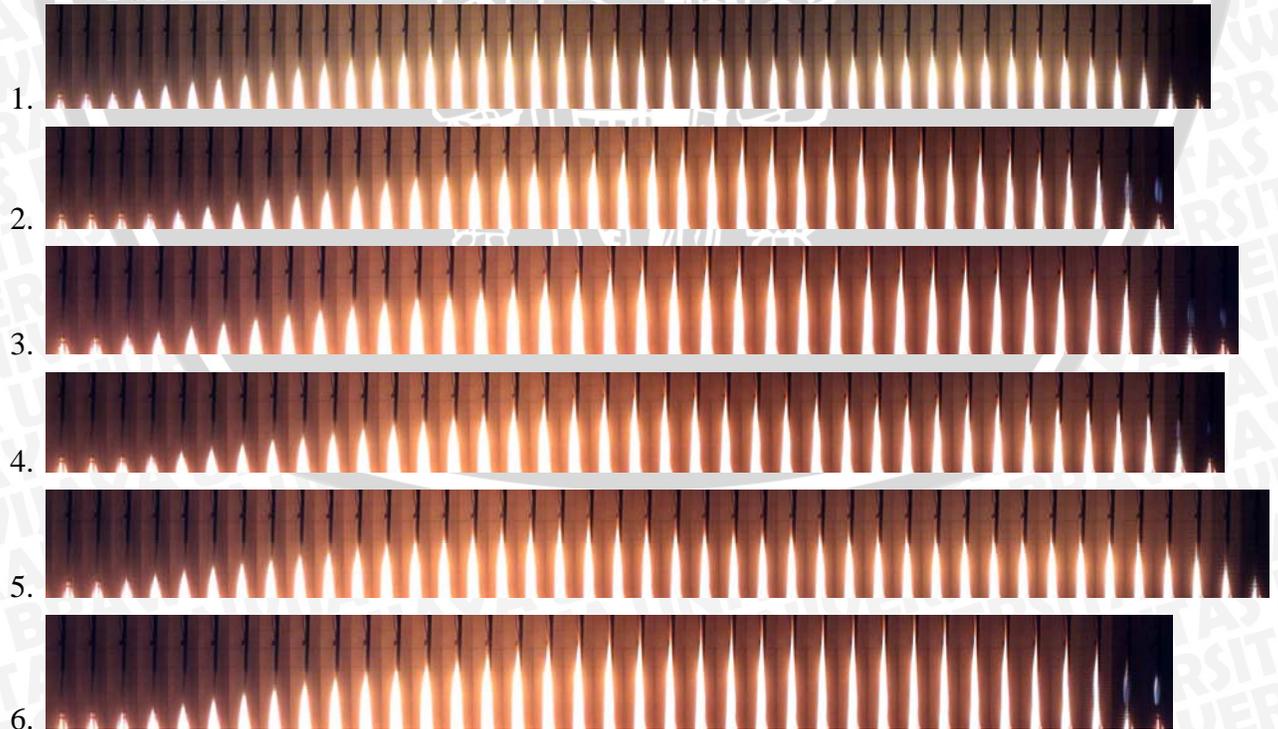


Data 70°

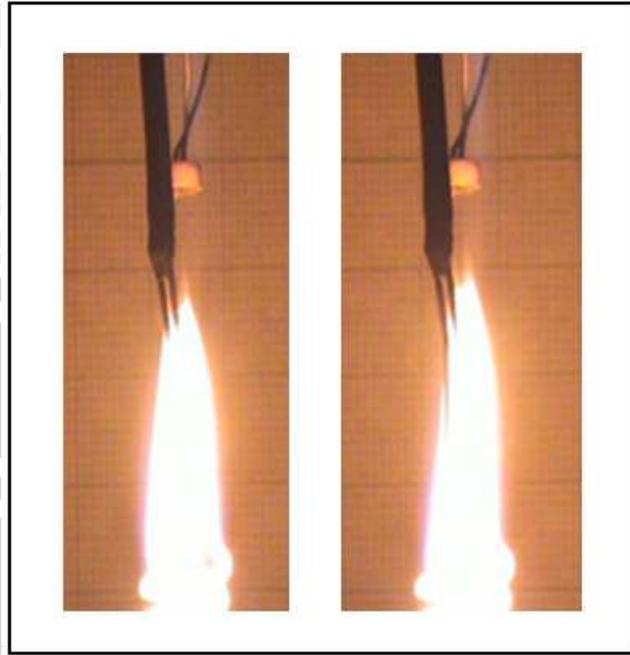
1.7512 mm



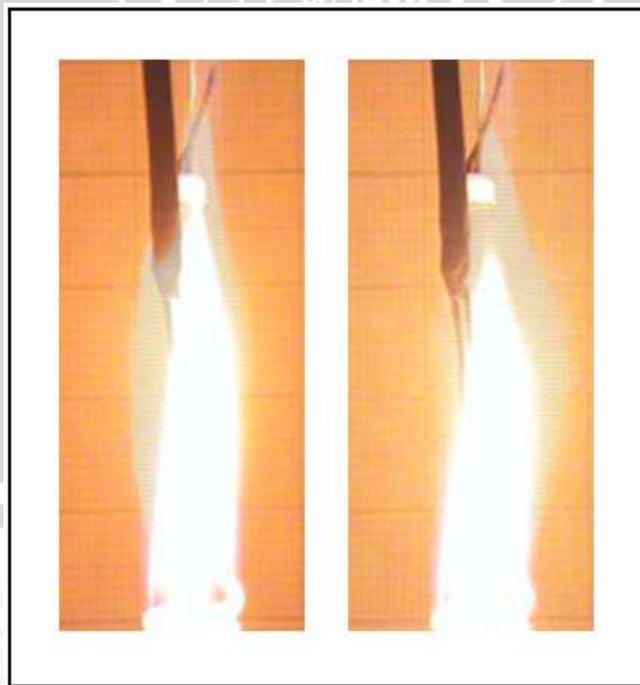
1.877 mm



Lampiran 4. Visualisasi api pembakaran tanpa *microexplosion* dan dengan *microexplosion*



Visualisasi api pembakaran tanpa *microexplosion*

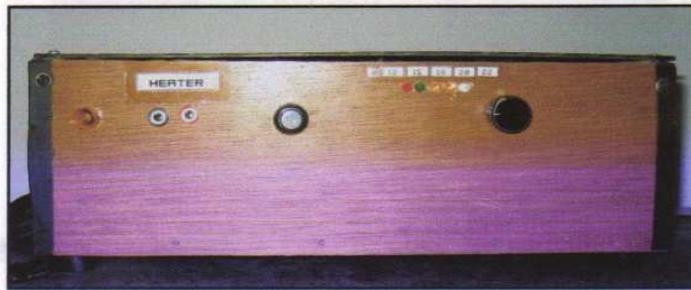


Visualisasi api pembakaran dengan *microexplosion*

Lampiran 5. Gambar alat penelitian



Gambar perangkat ADC



Gambar sumber elemen pemanas



Gambar alat kontrol dan LDR

Lampiran 6. Data waktu dan temperatur terjadinya *microexplosion*.

1.7512	25	30	40	50	60	70
	waktu	waktu	waktu	waktu	waktu	waktu
data 1	585	586	660	612	463	544
data 2	576	658	693	699	490	496
data 3	518	634	623	649	556	481
data 4	489	658	643	651	403	581
data 5	527	647	664	670	602	476
data 6	410	653	649	674	572	488

1.7512	25	30	40	50	60	70
	suhu	suhu	suhu	suhu	suhu	suhu
data 1	461	463	450	439	440	432
data 2	472	474	439	451	426	434
data 3	483	473	438	453	435	422
data 4	472	469	461	448	419	432
data 5	465	460	465	454	453	414
data 6	471	477	453	447	433	417

1.877	25	30	40	50	60	70
	waktu	waktu	waktu	waktu	waktu	waktu
data 1	469	531	769	708	558	723
data 2	577	429	652	709	711	579
data 3	448	536	742	737	716	573
data 4	533	461	737	643	433	593
data 5	467	495	739	678	641	719
data 6	539		747	645	596	586

5 klik	25	30	40	50	60	70
	waktu	waktu	waktu	waktu	waktu	waktu
data 1	475	455	455	461	431	429
data 2	466	431	428	471	458	434
data 3	452	450	467	460	454	428
data 4	467	432	447	452	431	429
data 5	454	437	440	467	440	437
data 6	456		475	456	434	429