

**PENGARUH VARIASI FREKUENSI GELOMBANG ULTRASONIK  
TERHADAP KARAKTERISTIK *MICROEXPLOSION* PADA  
PEMBAKARAN *DROPLET* MINYAK KELAPA**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**



Disusun oleh :

**RUDIK ISTANTO  
NIM. 0510620090 - 62**

**DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL  
UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG  
2009**



**LEMBAR PERSETUJUAN**

**PENGARUH VARIASI FREKUENSI GELOMBANG ULTRASONIK  
TERHADAP KARAKTERISTIK *MICROEXPLOSION* PADA PEMBAKARAN  
*DROPLET* MINYAK KELAPA**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

**RUDIK ISTANTO**  
NIM. 0510620090 - 62

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**DOSEN PEMBIMBING**

**Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.**  
NIP. 19590703 198303 1 002

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH VARIASI FREKUENSI GELOMBANG ULTRASONIK  
TERHADAP KARAKTERISTIK *MICROEXPLOSION* PADA PEMBAKARAN  
*DROPLET* MINYAK KELAPA**

**SKRIPSI  
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**RUDIK ISTANTO  
NIM. 0510620090 - 62**

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada  
Tanggal 10 September 2009

Skripsi 1

Skripsi 2

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.  
NIP. 19720903 199702 1 001

Prof. Ir. Sudjito, Ph.D.  
NIP. 19470330 198002 1 001

Komprehensif

Dr. Ir. Achmad As'ad Sonief, MT.  
NIP. 19591128 198710 1 001

Mengetahui  
Ketua Jurusan Teknik Mesin

Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT.  
NIP. 19720903 199702 1 001

## KATA PENGANTAR

Puji syukur *Alhamdulillah*, saya ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “*Pengaruh Variasi Frekuensi Gelombang Ultrasonik Terhadap karakteristik Microexplosion Pada Pembakaran Droplet Minyak Kelapa*” 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 Nyono dan ibu Marni selaku orang tua saya serta semua keluarga dirumah yang senantiasa memberikan dukungan dan doa demi kesuksesan anaknya.
6. Teman – teman seperjuangan, Bagus, Miko, Rahman dan teman – teman kos-kosan 62 B6 (Dwi cahyono, Ringga, Ricky, Firman, Panji, Yudha, Widodo, Julian) serta teman-teman angkatan 2005.
7. Semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, dan do’a dalam penyelesaian skripsi ini.

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, 7 oktober 2009

Penyusun

DAFTAR ISI

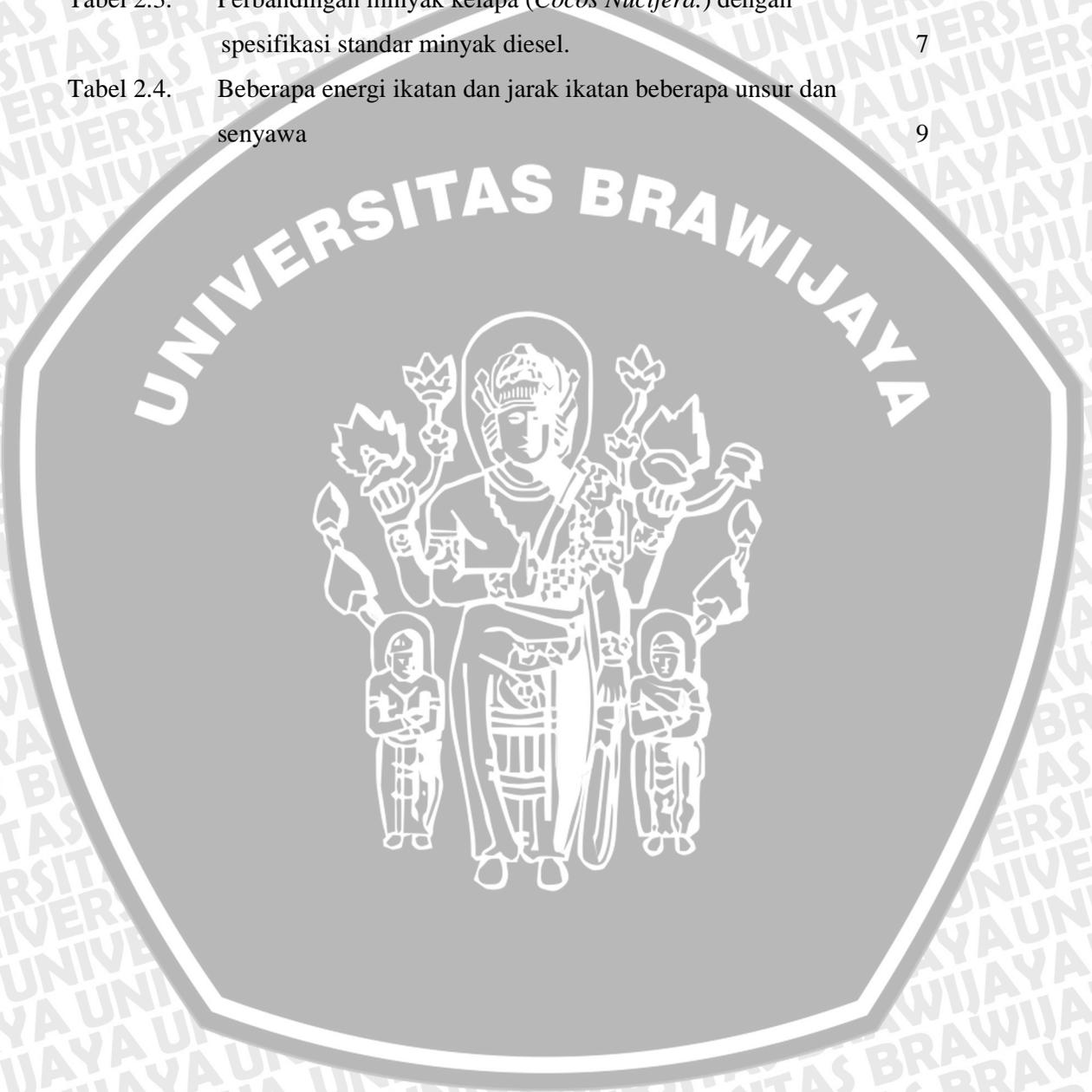
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vii
<b>DAFTAR SIMBOL</b> .....	viii
<b>RINGKASAN</b> .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah.....	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	2
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Minyak Kelapa ( <i>cocos nucifera</i> ).....	4
2.3. Gelombang Suara.....	9
2.4. Ultrasonik.....	14
2.5. Microexplosion.....	15
2.6. Pembakaran.....	17
2.7. Pembakaran <i>Droplet</i> Minyak Kelapa.....	19
2.8. Karakteristik <i>Microexplosion</i> Pembakaran <i>Droplet</i> .....	23
2.9. Teori Kinetik Gas.....	25
2.10. Kerangka Berfikir Teoritis.....	26
2.11. Hipotesa.....	27
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	28
3.1. Metode Penelitian.....	28
3.2. Variabel Penelitian.....	28
3.3. Alat-alat Penelitian.....	28
3.4. Gambar Instalasi Penelitian.....	33



3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian .....	34
3.6. Diagram Alir Penelitian .....	37
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1. Hasil Penelitian .....	38
4.2. Pembahasan .....	38
4.2.1. Hubungan antara waktu pembakaran dengan temperatur pembakaran pada minyak kelapa dengan pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik .....	39
4.2.2. Hubungan antara visualisasi api dengan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap <i>microexplosion</i> .....	41
4.2.3. Hubungan antara tinggi api terhadap waktu pembakaran tanpa perlakuan dan dengan berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik .....	44
4.2.4. Hubungan antara lebar api dengan waktu pembakaran tanpa perlakuan dan berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap terjadinya <i>microexplosion</i> .....	49
4.2.5. Hubungan antara probabilitas terjadinya <i>microexplosion</i> terhadap gelombang ultrasonik .....	53
4.2.6. Hubungan antara <i>ignation delay time</i> dengan frekuensi gelombang ultrasonik .....	55
4.2.7. Hubungan antara <i>T ignition</i> dengan frekuensi gelombang ultrasonik .....	56
4.2.8. Hubungan antara <i>burning rate</i> dengan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap terjadinya <i>microexplosion</i> .....	57
<b>BAB V PENUTUP .....</b>	<b>59</b>
5.1 Kesimpulan .....	59
5.2 Saran .....	59
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	
<b>LAMPIRAN</b>	

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Sifat fisik beberapa minyak nabati dan minyak fosil	6
Tabel 2.2.	Analisa kimia dari minyak kelapa ( <i>Cocos Nucifera.</i> )	7
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	9



## DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Tanaman kelapa	5
Gambar 2.2.	Minyak kelapa ( <i>cocos nucifera</i> ) dan rumus molekul minyak kelapa	8
Gambar 2.3.	Gelombang Suara	10
Gambar 2.4.	Frekuensi	10
Gambar 2.5.	Amplitudo	11
Gambar 2.6.	Panjang gelombang	11
Gambar 2.7.	Periode	12
Gambar 2.8.	Tingkatan frekuensi gelombang suara	14
Gambar 2.9.	Gambar komposisi cairan droplet dan perubahannya menjadi <i>oil membrane</i>	15
Gambar 2.10.	Mekanisme terjadinya <i>microexplosion</i>	16
Gambar 2.11.	(a) Peristiwa pembakaran tanpa <i>microexplosion</i> (b) Peristiwa pembakaran dengan adanya <i>microexplosion</i>	17
Gambar 2.12.	Cara reaktan terbakar. (a) pembakaran premix; (b) Pembakaran difusi	18
Gambar 2.13.	Model nyala api <i>droplet</i>	19
Gambar 2.14.	Proses pertukaran gas pada nyala api difusi	20
Gambar 2.15.	Perubahan parameter pada <i>double film model</i>	20
Gambar 2.16.	Distribusi temperatur pada penguapan <i>droplet</i>	21
Gambar 2.17.	Perubahan bentuk <i>droplet</i>	22
Gambar 2.18.	Grafik hubungan temperatur pembakaran dengan waktu pembakaran	24
Gambar 2.19.	Hubungan Temperatur Pembakaran Dengan Waktu Pembakaran	24
Gambar 3.1.	Alat pembentuk <i>droplet</i> minyak kelapa	29
Gambar 3.2.	Function Generator	31
Gambar 3.3.	Sound Level Meter	32
Gambar 3.4.	Speaker	32
Gambar 3.5.	Amplifier	32

Gambar 3.6.	Rangkaian Alat Uji Penelitian	33
Gambar 3.7.	Alat pembentuk <i>droplet</i> minyak kelapa	34
Gambar 3.8.	Layout program penelitian	36
Gambar 3.9.	Ruang pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa	36
Gambar 3.10.	Diagram Alir Penelitian	37
Gambar 4.1.	Masing-masing grafik hubungan temperatur dan waktu pembakaran pada minyak kelapa tanpa pengaruh frekuensi dan dengan pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik	39
Gambar 4.2.	Visualisasi nyala api tanpa pemberian frekuensi dan dengan berbagai pemberian frekuensi gelombang ultrasonik	43
Gambar 4.3.	Grafik hubungan antara tinggi api dengan waktu pembakaran tanpa perlakuan	44
Gambar 4.4.	Grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran pada minyak kelapa pada berbagai variasi gelombang ultrasonik	47
Gambar 4.5.	Gambar hubungan antara lebar api dengan waktu pembakaran tanpa perlakuan	49
Gambar 4.6.	Masing-masing grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran pada minyak kelapa pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik	51
Gambar 4.7.	Grafik hubungan probabilitas <i>microexplosion</i> antara terhadap frekuensi gelombang ultrasonik	53
Gambar 4.8.	Grafik hubungan antara <i>ignation delay time</i> terhadap frekuensi gelombang ultrasonik	55
Gambar 4.9.	Grafik hubungan antara <i>Temperature ignition</i> terhadap frekuensi gelombang ultrasonik	56
Gambar 4.10.	Grafik hubungan antara <i>burning rate</i> terhadap frekuensi gelombang ultrasonik	57

## DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1	Proses pembuatan minyak kelapa dengan cara pemanasan santan
Lampiran 2	Gambar pengukuran diameter <i>droplet</i> minyak kelapa
Lampiran 3	Visualisasi api pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa tanpa frekuensi dan dengan frekuensi gelombang ultrasonik.
Lampiran 4	Data rata-rata temperatur dan waktu penyalaan pertama dan kedua pada pembakaran <i>droplet</i> minyak kelapa tanpa pengaruh frekuensi dan dengan pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik
Lampiran 5	Visualisasi api pembakaran tanpa adanya <i>microexplosion</i> dan dengan adanya <i>microexplosion</i>
Lampiran 6	Data persentase <i>microexplosion</i>
Lampiran 7	Gambar alat-alat penelitian



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 $Kg/m^3$	$\rho$
Panjang	Meter atau m	$l$
Panjang gelombang	Meter atau m	$\lambda$
Panas	Joule atau J	$Q$
Temperatur	Derajat celsius atau °C	$T$
Waktu	Detik atau dtk	$t$



## RINGKASAN

RUDIK ISTANTO, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, juni 2009, *Pengaruh Variasi Frekuensi Gelombang Ultrasonik Terhadap Karakteristik Microexplosion Pada Pembakaran Droplet Minyak Kelapa*, 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 frekuensi gelombang ultrasonik pada minyak kelapa sebelum mengalami proses pembakaran. Dengan pemberian frekuensi gelombang ultrasonik 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 pengaruh variasi variasi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion* pada pembakaran *droplet* minyak kelapa.

Pada penelitian ini digunakan frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 60 KHz, 100 KHz, 140 KHz, 160 KHz, 180 KHz, dan 220 KHz. Ukuran *droplet* minyak kelapa yang digunakan sebesar 1,742 mm. Dari penelitian yang telah dilakukan diketahui bahwa pemberian frekuensi gelombang ultrasonik berpengaruh pada karakteristik pembakaran seperti *Ignition delay time*, *burning rate* dan temperatur pembakaran (*temperature ignition*) meskipun pengaruh yang diberikan tampak tidak begitu signifikan. Selain itu dengan memberikan pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik juga akan menyebabkan *fatty acid* mampu menyusup ke dalam gliserol untuk memicu terjadinya *microexplosion*. Akibatnya persentase terjadinya *microexplosion* meningkat sehingga akan mempengaruhi tinggi dan lebar api pembakaran, visualisasi nyala api pembakaran.

Kata kunci : Minyak kelapa, Gelombang Ultrasonik, Karakteristik Pembakaran, *microexplosion*

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Dengan semakin meningkatnya kebutuhan hidup yang diiringi dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi serta peningkatan harga Bahan Bakar Minyak (BBM). Ini membuat semakin berkurangnya sumber daya alam yang tidak terbaharui, maka perlu dicarikan suatu jalan alternatif guna mengganti sumber daya energi tersebut dengan sumber daya energi yang terbarukan. Sumber energi tak terbarukan yang banyak digunakan saat ini adalah bahan bakar yang berasal dari fosil (minyak bumi, gas alam dan batu bara).

Namun bahan bakar yang berasal dari fosil ini bersifat tidak dapat diperbaharui (*non-renewable*) sehingga keberadaannya akan semakin menipis seiring dengan berjalannya waktu sedangkan kebutuhan akan energi terus meningkat. Untuk itu, sangat diperlukan adanya suatu kegiatan konservasi (pencarian), konversi (perubahan), dan pengembangan (diversifikasi) sumber energi baru yang memiliki sifat dapat diperbaharui (*renewable*) yang tentunya sangat ramah lingkungan dan tidak menimbulkan pencemaran lingkungan. Banyak penelitian yang telah dilakukan untuk menemukan sumber-sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, contohnya biogas, biodiesel, solar cell dan lain-lain. Sedangkan dalam penelitian ini menggunakan salah satu jenis biodiesel yaitu minyak kelapa (*cocos nucifera l.*).

Minyak kelapa merupakan suatu sumber energi alternative dimana di Indonesia sangat besar untuk pembuatan biodiesel ataupun bahan baker minyak kelapa murni. Produksi minyak kelapa di Indonesia adalah kedua di dunia yaitu sebesar 30.7% (*oil world, 2000*). Hal ini merupakan suatu potensi yang sangat besar yang harus di kembangkan, disamping itu bila dibandingkan dengan sumber bahan bakar minyak nabati yang lain, rendemen minyak yang dihasilkan oleh kelapa relative tinggi. Di samping itu ekstraksi daging buah kelapa dapat menghasilkan rendemen minyak kelapa sebesar 60-70% dari isi berat kering. Hal ini dapat membantu untuk memenuhi permintaan bahan bakar yang saat ini makin tinggi.

Untuk dapat menggunakan minyak kelapa sebagai bahan bakar di dalam sistem pembakaran, maka perlu adanya suatu rekayasa dalam sistem pembakaran tersebut. Dari penelitian sebelumnya oleh Dwi Adi Purnomo (2006) tentang bagaimana pengaruh peningkatan intensitas dan frekuensi kebisingan terhadap penyalaan bahan bakar

disimpulkan bahwa naiknya intensitas kebisingan akan mempercepat penyalaan bahan bakar. Ahmad Adib Rosyadi (2009), mendapatkan bahwa *Microexplosion* yang terjadi pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar mempercepat waktu penyalaan (*ignition delay time*) karena terdapat jumlah *fatty acid* yang banyak sehingga *fatty acid* terbakar terlebih dahulu dan sebagian menyusup ke dalam *glicerol* untuk melakukan *microexplosion*.

Dari penelitian tersebut perlu dilakukan suatu penelitian lebih lanjut tentang bagaimana karakteristik sistem pembakaran yang menggunakan minyak kelapa sebagai bahan bakarnya dan juga bagaimana pengaruh variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion* pembakaran *droplet*. Tentunya dengan harapan mampu meningkatkan efisiensi dari pembakaran dan mencari sumber energi alternatif dalam pembakaran tersebut.

### 1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat ditarik suatu rumusan masalah yaitu bagaimana pengaruh variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion* pembakaran *droplet* minyak kelapa (*cocos nucifera l.*)?

### 1.3. Batasan Masalah

Agar pembahasan tidak meluas dan lebih terarah, maka dapat diambil batasan masalah yaitu sebagai berikut :

1. Bahan bakar yang digunakan adalah minyak kelapa murni
2. Besarnya diameter *droplet* sama untuk setiap pengujian sebesar 1,742 mm
3. Kondisi lingkungan selama penelitian dianggap konstan

### 1.4. Tujuan Penelitian

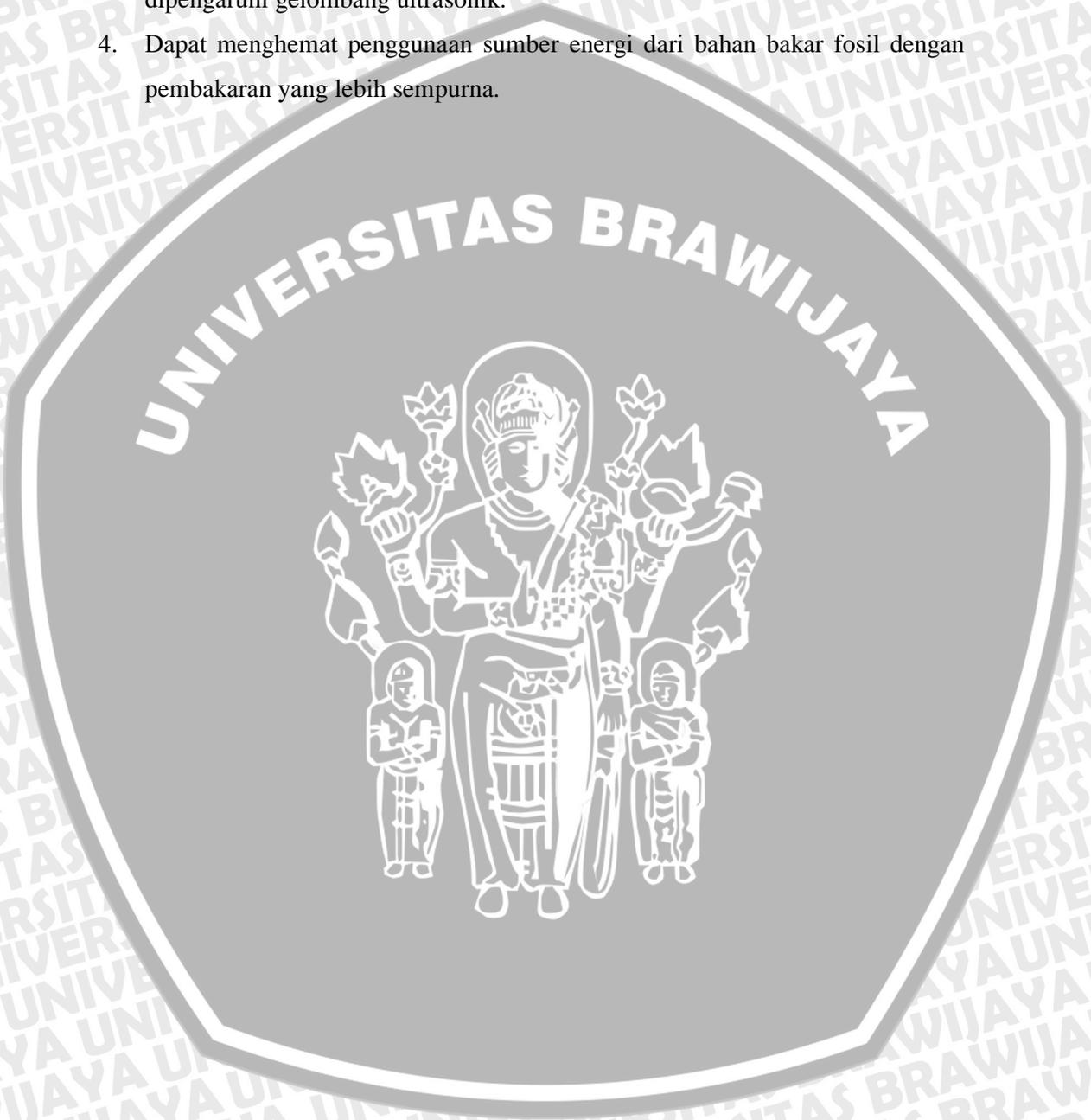
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi suara gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion* pembakaran *droplet* minyak kelapa (*cocos nucifera l.*).

### 1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Memberikan masukan tentang penggunaan minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui (*renewable*).

2. Mampu menerapkan ilmu yang didapat selama perkuliahan terutama mengenai masalah pembakaran.
3. Dapat dijadikan referensi untuk pengembangan penelitian yang lebih lanjut tentang teknologi pembakaran terutama pada proses pembakaran yang dipengaruhi gelombang ultrasonik.
4. Dapat menghemat penggunaan sumber energi dari bahan bakar fosil dengan pembakaran yang lebih sempurna.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Penelitian Sebelumnya

**Slanciaukas, Anupras dan Kalpokaite (2005)** telah melakukan studi mengenai pembakaran droplet bahan bakar minyak. Dalam penelitiannya pembakaran droplet dilakukan diatas permukaan yang panas. Dimana temperatur yang harus dibangkitkan oleh permukaan tersebut adalah antara 300-700<sup>0</sup>C. Panas akan merambat secara konduksi dan radiasi selanjutnya akan berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran droplet bahan bakar. Temperatur droplet dipengaruhi oleh jarak ujung droplet dengan permukaan panas serta ukuran droplet dari bahan bakar.

**Purnomo (2006)** telah melakukan penelitian tentang kebisingan (gelombang suara) pada penyalaan bahan bakar, bahwa intensitas kebisingan dengan variasi frekuensi pada penyalaan bahan bakar dapat mempercepat penyalaan pada semua massa alir.

**Prastowo (2007)** telah melakukan penelitian dengan menggunakan minyak nabati sebagai bahan bakar yang salah satunya adalah minyak kelapa (*cocos nucifera l*). Selain bahan baku yang mudah didapatkan, dari penelitian tersebut dapat diketahui bahwa minyak kelapa adalah salah satu minyak nabati yang mudah dalam proses pembuatannya. Mempunyai titik nyala dan viskositas yang rendah. Selain itu minyak kelapa juga mempunyai nilai kalor yang mendekati nilai kalor dari minyak solar.

#### 2.2. Minyak kelapa (*cocos nucifera*)

Tanaman kelapa (*cocos nucifera*) merupakan komoditas yang paling luas penyebarannya, karena disamping dilakukan oleh manusia juga tumbuh secara alamiah, sehingga ditemukan juga tumbuh dan berkembang ditempat-tempat yang tidak dihuni oleh manusia. Dimana buah kelapa terdiri dari 35% serabut, 12% tempurung, 28% daging, dan 21% air.

Pohon kelapa merupakan pohon yang paling banyak kegunaannya, karena hampir tiap bagian dari pohon tersebut dapat dimanfaatkan.



Gambar 2.1 Tanaman Kelapa (*Cocos Nucifera*.)

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

Minyak dari buah kelapa dapat digunakan sebagai bahan bakar cair alternatif. Buah dari pohon kelapa yang telah berumur sekitar 6 bulan sudah bisa diolah. Ditandai dengan warna tempurung yang lebih gelap. Semakin tua dari umur biji kelapa, yaitu sekitar 11-14 bulan semakin berkurang kandungan airnya, namun semakin meningkat kandungan lemak dalam dagingnya (Woodroof 1987)

Bahan baku pembuatan minyak kelapa berasal dari pengolahan daging buah kelapa. Setelah panen dilakukan pengupasan serabut dan tempurung kelapa. Setelah itu daging bisa diolah menjadi menjadi minyak kelapa. Dengan bahan baku 5 kg daging kelapa segar, akan dihasilkan sekitar 30-35% minyak kelapa atau sekitar 1,5-1,75 kg minyak kelapa. Minyak kelapa dapat dibuat dengan berbagai cara, salah satu caranya disebut cara tradisional yang relatif sederhana. Prosesnya adalah sebagai berikut:

- Kelapa yang sudah tua dikupas terlebih dahulu sabutnya
- Buah kelapa dibelah untuk diambil daging kelapanya saja, tanpa air kelapa
- Buah diparut terlebih dahulu
- Hasil parutan ditambahkan air dan diperas sehingga mengeluarkan santan
- Santan dipanaskan, untuk dilakukan pemisahan minyak dari santan. Proses pemanasan memerlukan waktu sekitar  $\pm$  2-3 jam ( dengan asumsi 5 kg daging kelapa)

- santan dipanaskan hingga airnya menguap dan tinggal padatan yang menggumpal. Gumpalan padatan ini disebut blondo (galendo)
- Minyak dipisahkan dari blondo dengan cara penyaringan. Blondo masih banyak mengandung minyak sehingga masih bisa diambil minyaknya dengan cara diperas.

Alasan minyak kelapa (*cocos nucifera*) dipilih sebagai bahan bakar alternatif karena:

1. Tanaman kelapa yang mudah tumbuh dan mudah dikembangkan sebagai bahan penghasil BBM alternatif.
2. Minyak kelapa merupakan sumber minyak terbarukan (*renewable fuels*)
3. Emisi yang dihasilkan lebih rendah dari bahan bakar minyak.
4. Secara agronomis tanaman kelapa bisa tumbuh di daerah terpencil yang sulit mendapatkan bahan bakar minyak

Sifat dan karakteristik minyak kelapa (*cocos nucifera*), dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.1. Sifat fisik beberapa minyak nabati dan minyak fosil

Jenis Minyak	Titik Bakar (0C)	Kekentalan (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /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
Rapeseed	317	97,7	98,6	174,7	40,56
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 MA<sup>1</sup>/<sub>4</sub>hlbauer et al. (1998).

Sifat dan karakteristik minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*), dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2. Analisa kimia dari minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*)

Property	Diesel	Coconut oil
Cal value kJ/kg	42500.00	37260.000
Specific gravity	0.83	0.918
Sulphur, wt, %	0.10	0.009
Cetane number	52.00	37.00
Cost (approx), Rs/kg	18.00	40.000
Kinematic viscosity, Cst 40°C	3.60	26.220

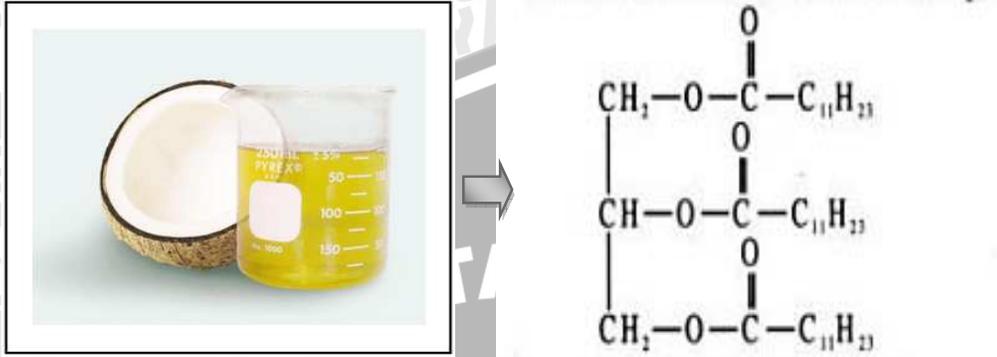
Sumber: [www.biodiesel.org](http://www.biodiesel.org), 2005

Tabel 2.3. Perbandingan minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*) dengan spesifikasi standar minyak diesel.

Komponen kimia	Jumlah , %
asam kaprilat	8,0
asam kaprat	7,0
asam laurat	48,0
asam miristat	17,5
asam palmitat	8,8
asam stearat	2,0
asam oleat	6,0
asam linoleat	2,5

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 Minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*) dan rumus struktur kimianya

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

Pada struktur kimia minyak kelapa yang ada di atas dapat dilihat bahwa rantainya memiliki ikatan panjang. Termasuk dalam susunan asam lemak rantai sedang (medium chain fatty acids) yang memiliki 8-16 atom karbon yang diikat oleh 1 atom hidrogen. 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.

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				

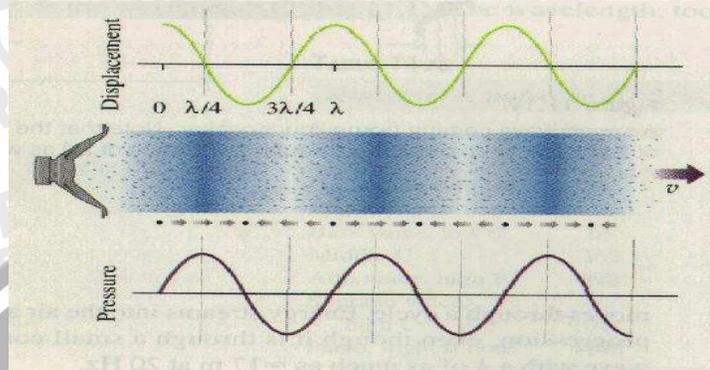
(Sumber: Ralph H. Petrucci, *Kimia Dasar*, 1996: 293.)

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 pengaruh variasi frekuensi terhadap pembakaran minyak kelapa, diharapkan dapat dicapai titik pembakaran awal (*flash point*) yang paling ideal, sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna dan reaksi kimia pembakaran akan semakin cepat sehingga peluang terjadinya *microexplosion* semakin besar.

### 2.3. Gelombang Suara

Gelombang suara merupakan sebuah gelombang longitudinal yang terjadi karena perapatan dan perengangan dalam medium gas, cair dan padat (Tipler, 1991:505). Bentuk ideal dari suatu gelombang akan mengikuti gerak sinusoidal. Selain radiasi elektromagnetik, dan mungkin radiasi gravitasional, yang bisa berjalan lewat

vakum, gelombang juga terdapat pada medium di mana gelombang tersebut dapat berjalan dan dapat memindahkan energi dari satu tempat kepada lain tanpa mengakibatkan partikel medium berpindah secara permanen.



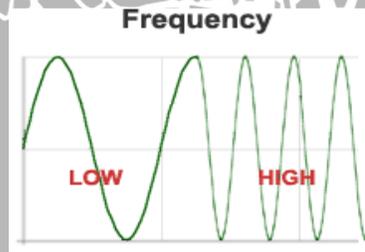
Gambar 2.3 Gelombang Suara

Sumber : [www.universe-review.ca/soundwave.jpg](http://www.universe-review.ca/soundwave.jpg)

Adapun hal-hal yang berhubungan dengan gelombang suara adalah:

1. Frekuensi (f)

Frekuensi adalah banyaknya getaran yang dilakukan oleh suatu benda dalam satu detik. Satuan dari frekuensi adalah Hertz (Hz).

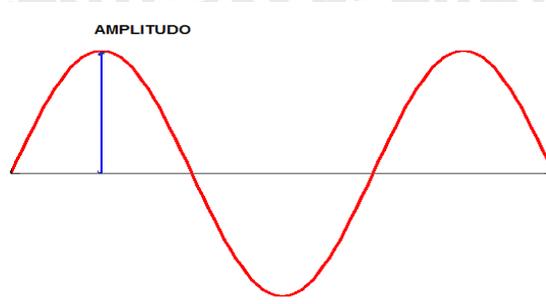


Gambar 2.4 Frekuensi

Sumber : [www.mediacollage/sound\\_wave\\_properties](http://www.mediacollage/sound_wave_properties)

2. Amplitudo (A)

Amplitudo dapat didefinisikan sebagai jarak terjauh (maksimum) dari garis kesetimbangan suatu gelombang sinusoida.

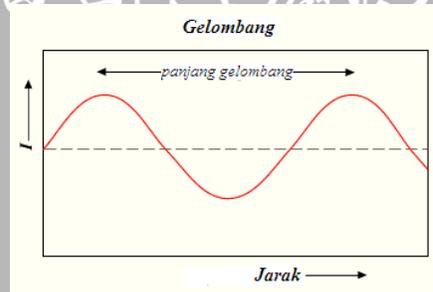


Gambar 2.5 Amplitudo

Sumber : [www.mediacollage/sound\\_wave\\_properties](http://www.mediacollage/sound_wave_properties)

### 3. Panjang gelombang ( $\lambda$ )

Panjang gelombang adalah jarak antara satuan yang berulang dari sebuah pola gelombang yang dinyatakan *lambda* ( $\lambda$ ). Dalam bentuk gelombang sinusoida, panjang gelombang dapat diartikan sebagai jarak antara 2 puncak



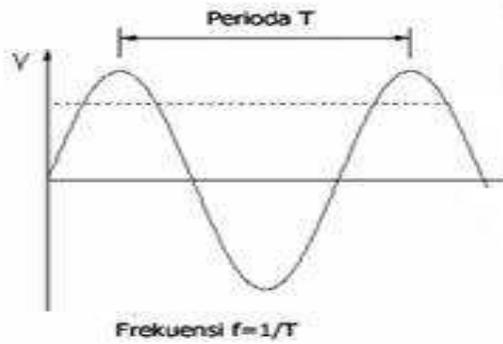
Gambar 2.6 Panjang gelombang

Sumber : [www.wikipedia.org/panjang\\_gelombang.jpg](http://www.wikipedia.org/panjang_gelombang.jpg)

### 4. Periode (P)

Periode adalah waktu yang dibutuhkan oleh benda untuk melakukan satu kali getaran .





Gambar 2.7. Periode gelombang

Sumber : Sumber : [www.wikipedia.org/periode.jpg](http://www.wikipedia.org/periode.jpg)

Jika suatu gelombang longitudinal bergerak di dalam suatu medium fluida, maka pada fluida akan timbul daerah-daerah yang mengalami pemampatan di daerah rapatan dan daerah-daerah yang mengalami ekspansi di daerah regangan. Besarnya energi yang merambat ditunjukkan dengan nilai intensitasnya. Intensitas gelombang menunjukkan jumlah rata-rata energi yang dibawa per satuan waktu oleh gelombang per satuan luas permukaan yang tegak lurus pada arah rambatan. Intensitas gelombang menunjukkan besarnya daya rata-rata per satuan luas yang dirumuskan :

$$I = \frac{W/t}{A} = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (\text{Tipler, 1991:513}) \quad (2-1)$$

dimana:

$I$  = Intensitas gelombang ( $\text{Wm}^{-2}$ )

$W$  = Energi rata-rata (J)

$t$  = Waktu (s)

$A$  = Luas permukaan yang tegak lurus arah rambatan ( $\text{m}^2$ )

$P$  = Daya rata-rata (W)

$R$  = Jarak rambatan terhadap sumber bunyi (m)

Kecepatan bunyi merupakan laju perambatan gelombang bunyi yang dinyatakan dalam rumusan :

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}} \quad (\text{Sears Zemansky, 1962;500}) \quad (2-2)$$

Dengan:

$c$  = kecepatan suara pada medium gas ( $\text{ms}^{-1}$ )

$\gamma$  = Rasio kapasitas panas

$R$  = Konstanta gas ( $8,31 \times 10^3 \text{ J Kg mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ )

$T$  = Temperatur medium (K)

$M$  = Berat molekul ( $\text{kg mol}^{-1}$ )

Persamaan kecepatan suara pada medium gas dapat dituliskan

$$c = f \lambda \quad (\text{Surya, 1998:138}) \quad (2-3)$$

Sehingga didapatkan hubungan frekuensi dengan temperatur:

$$f^2 \lambda^2 = \frac{\gamma RT}{M} \quad (2-4)$$

$$f = \frac{\gamma RT}{\lambda^2 M} \quad (2-5)$$

Sedangkan dari hubungan frekuensi bunyi dan intensitas suara

$$I = 2 \pi \rho c f^2 Y^2 \quad (\text{Surya 1998:144}) \quad (2-6)$$

Dari substitusi persamaan (2-6) dengan persamaan (2-5) didapatkan hubungan antara intensitas bunyi dengan temperatur:

$$I = 2\pi\rho c \frac{\gamma RT}{\lambda^2 M} Y^2 \quad (2-7)$$

Dengan:

$f$  = Frekuensi (Hz)

$I$  = Intensitas bunyi ( $\text{Wm}^{-2}$ )

$\lambda$  = Panjang gelombang (m)

$\rho$  = Massa jenis gas ( $\text{kg m}^{-3}$ )

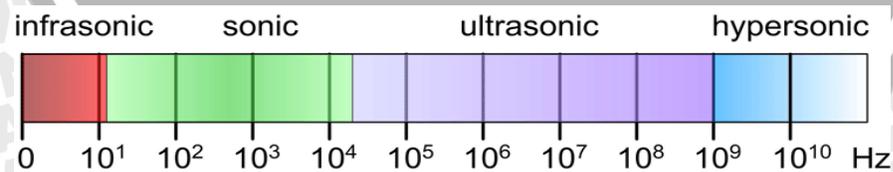
$Y$  = Amplitudo (m)

Dari persamaan-persamaan di atas didapatkan bahwa kenaikan frekuensi dan intensitas suara sebanding dengan kenaikan temperatur suatu medium, maka dari hubungan tersebut dapat diketahui bahwa kenaikan frekuensi akan meningkatkan temperatur, dan peningkatan temperatur akan mempercepat pembakaran *droplet* bahan bakar.

#### 2.4. Ultrasonik

Ultrasonik adalah suara atau getaran dengan frekuensi yang terlalu tinggi untuk bisa didengar oleh telinga manusia, yaitu di atas 20 kiloHertz (kHz). Hanya beberapa hewan, seperti lumba-lumba menggunakannya untuk komunikasi, sedangkan kelelawar menggunakan gelombang ultrasonik untuk navigasi. Dalam hal ini, gelombang ultrasonik merupakan gelombang ultra di atas frekuensi gelombang suara. Gelombang ultrasonik dapat merambat dalam medium padat, cair dan gas. Reflektivitas dari gelombang ultrasonik ini di permukaan cairan hampir sama dengan permukaan padat, tapi pada tekstil dan busa, maka jenis gelombang ini akan diserap. Kelebihan gelombang ultrasonik yang tidak dapat didengar, bersifat langsung dan mudah difokuskan. Jarak suatu benda yang memanfaatkan delay gelombang pantul dan gelombang datang seperti pada sistem radar dan deteksi gerakan oleh sensor pada robot atau hewan.

Tingkatan dari frekuensi gelombang suara dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



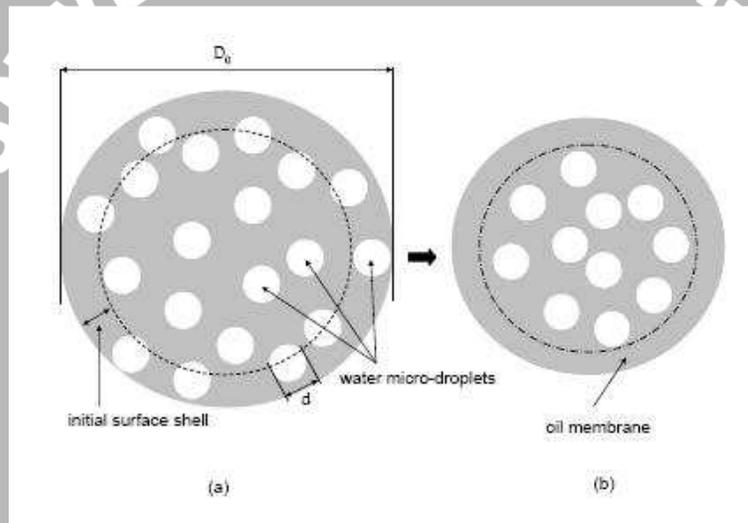
Gambar 2.8 Tingkatan frekuensi gelombang suara

Sumber : [www.wikipedia.org/calculator-wavelength.htm](http://www.wikipedia.org/calculator-wavelength.htm)

## 2.5. Microexplosion

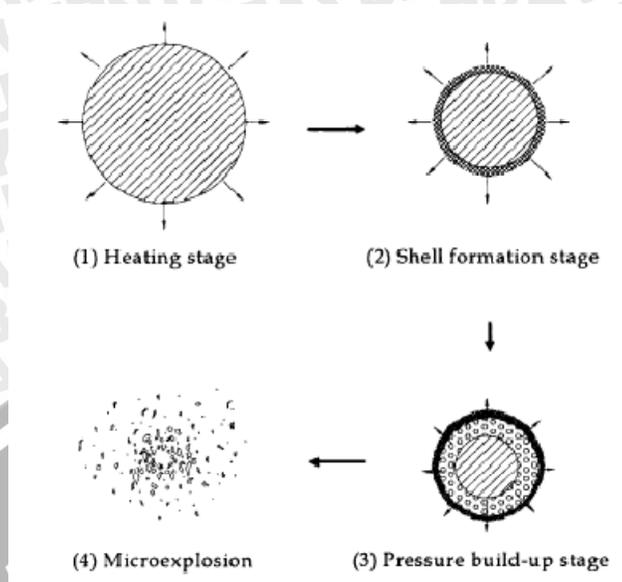
*Microexplosion* sering juga disebut sebagai *secondary evaporation* yang membantu mempercepat penguapan bahan bakar dan cukup kuat memecahkan *droplet* menjadi butiran-butiran kecil sehingga meningkatkan kualitas campuran bahan bakar dan udara. Dengan lebih sempurnanya pembakaran, maka emisi nitrogen 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 2.9 Gambar komposisi cairan droplet dan perubahannya menjadi *oil membrane*

Sumber : [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)



Gambar 2.10 Mekanisme terjadinya *microexplosion*

Sumber : [www.elsevier.com](http://www.elsevier.com)

Proses terjadinya *microexplosion* memiliki 3-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.

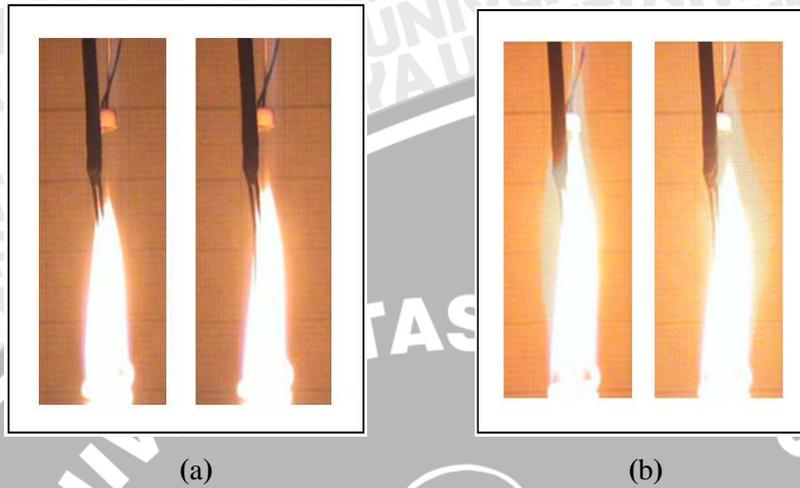
3. *Pressure build-up stage* (tahap meningkatnya tekanan)

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.

Adapun perbedaan antara pembakaran yang mengalami peristiwa *microexplosion* dengan yang tidak mengalami *microexplosion* adalah pada gambar berikut.



Gambar 2.11. (a) Peristiwa pembakaran tanpa *microexplosion* (b) Peristiwa pembakaran dengan adanya *microexplosion*

## 2.6. 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:

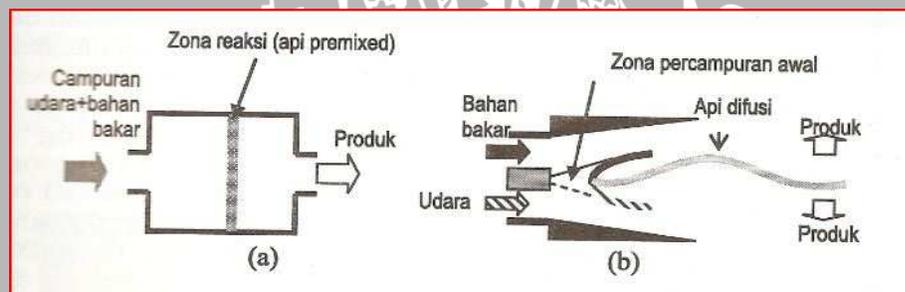
1. Komposisi spesies campuran berubah terhadap waktu dan perubahan ini disebabkan oleh proses pada tingkat molekuler.
2. Ikatan-ikatan molekul yang lemah terlepas, kemudian digantikan oleh ikatan yang lebih kuat. Kelebihan energi ikat akan dilepas kedalam sistem yang biasanya menyebabkan kenaikan temperatur.

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 (Wardhana, 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: 2.12 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.

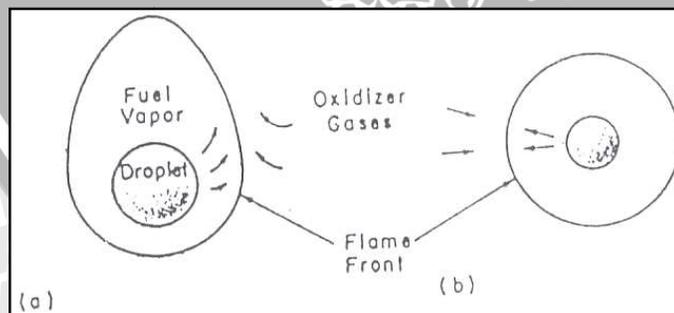
Jika salah satu syarat ini tidak dipenuhi maka tidak akan terjadi pembakaran sempurna. (Soetiari Tj,1990:35).

## 2.7. Pembakaran Droplet Minyak kelapa

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.

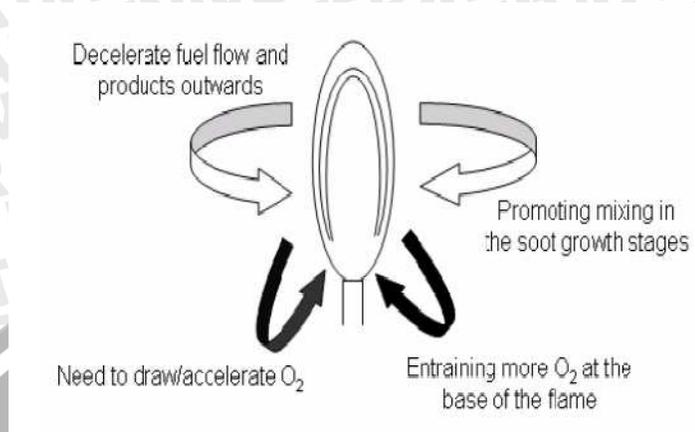
Percobaan yang paling ideal pada pembakaran adalah dengan menggunakan *droplet* pada keadaan *steady*. Pada pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan proses oksidasi di atmosfer, dimana proses penguapan akan dimulai dari permukaan cairan kemudian berdifusi ke permukaan nyala api (*flame front*). Sementara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

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 2.13 Model nyala api *droplet*

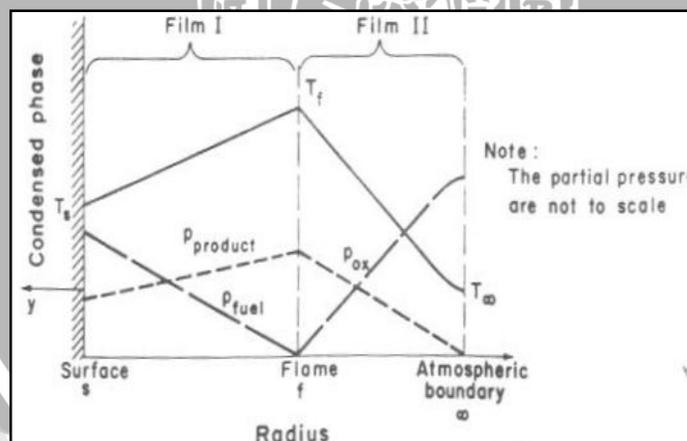
Sumber: Kenneth J. Kuo, *Principle of combustion*, 1986: 371.



Gambar 2.14 Proses pertukaran gas pada nyala api difusi

Sumber : Swaminathan., *Effects of magnetic field on micro flames*, 2005:57

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 dimana pada daerah ini 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 2.15 Perubahan parameter pada *double film model*

Sumber: Kenneth J. Kuo, *Principle of combustion*, 1986: 371

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:

$$Q = \Delta h_v + C_{liq} (T_s - T_0) \quad (\text{Kuo, 1986: 373}) \quad (2.8)$$

dimana :

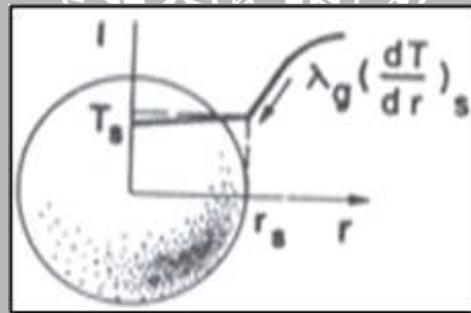
$Q$  = energi total penguapan (kJ/kg)

$\Delta h_v$  = 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 2.16 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 :

- Koefisien evaporasi

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

$$d^2 = d_o^2 - \beta_v \cdot t \quad (\text{Kuo, 1986 : 372}) \quad (2.9)$$

maka :

$$\beta_v = \frac{d_o^2 - d^2}{t} \quad (\text{Kuo, 1986 : 372}) \quad (2.10)$$

dimana :

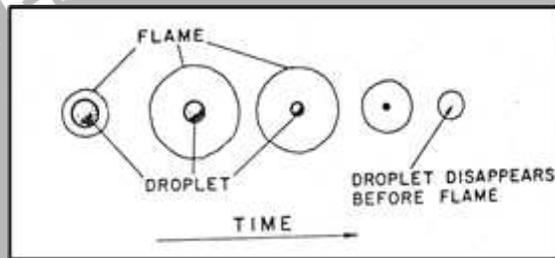
$d$  = diameter *droplet* dalam waktu  $t$  (mm).

$d_o$  = diameter awal *droplet* (mm).

$\beta_v$  = 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* minyak kelapa sebagai akibat terjadinya perpindahan panas yang merubah fase *droplet* dari cair menjadi uap yang terbakar.



Gambar 2.17 Perubahan bentuk *droplet*

Sumber: Kenneth K. Kuo, *Principles of Combustion*, 1986: 390

➤ Laju evaporasi bahan bakar

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

$$v_{FE} = \frac{2D \ln(1+B)}{d_0} \quad (\text{Kuo, 1986: 376}) \quad (2.11)$$

dimana :

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

$D$  = difusivitas massa ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

$B$  = transfer number

$d_0$  = diameter *droplet* (mm)

➤ 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 :

$$v_{FM} = \frac{\dot{m}_F}{\pi \cdot d_0^2 \cdot \rho_L} \quad (\text{Kuo, 1986: 376}) \quad (2.12)$$

dimana :

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

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

$\rho_L$  = massa jenis bahan bakar (kg/m<sup>3</sup>)

$d_0$  = diameter *droplet* (mm)

Dari persamaan (2.9), (2.10), (2.11), (2.12) 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 :

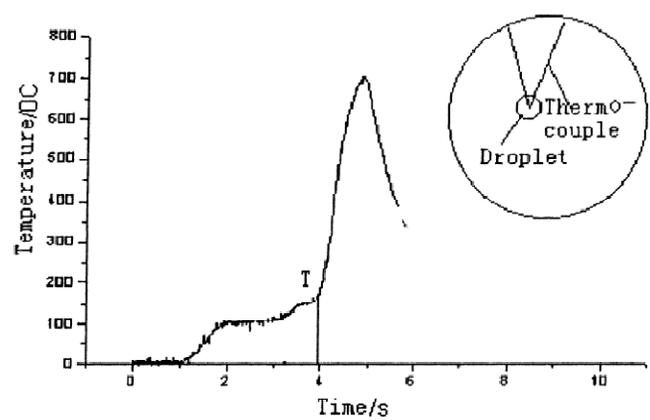
- difusivitas massa tinggi
- *transfer massa* bahan bakar besar, dan
- diameter awal *droplet* kecil.

## 2.8. Karakteristik *Microexplosion* Pembakaran *Droplet*

Pada penelitian ini ada beberapa karakteristk *microexplosion* pembakaran *droplet* yang diteliti, adapun karakteristik tersebut adalah sebagai berikut:

### 1. *Ignition Delay time*

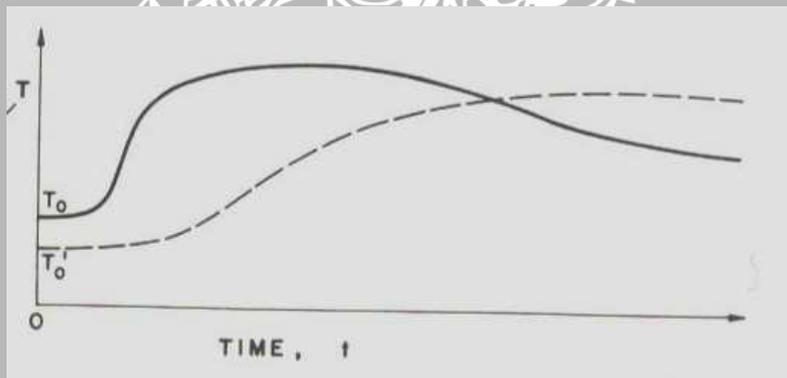
Pada penelitian ini yang di maksud dengan *ignition delay time* adalah waktu yang diperlukan untuk memanaskan *droplet* sampai *droplet* mulai terbakar. (Wang : 2002). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.18



Gambar 2.18 Grafik Hubungan Temperatur Pembakaran Dengan Waktu Pembakaran  
 Sumber : Lipo Wang. 2002. *A Unified Mode For Microexplosion of Emulsified Droplet of oil and Water*. Tsinghua Beijing University

2. Ignition Temperature

*Ignition Temperature* merupakan rata-rata temperature dari panas yang hilang pada proses konduksi sama dengan rata-rata panas yang dihasilkan oleh reaksi kimia pembakaran (Vant hoff :1986:737). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.19



Gambar 2.19 Hubungan Temperatur Pembakaran Dengan Waktu Pembakaran  
 Sumber : Kuo, *Principle of Combustion*, 1986: 737

3. Burning rate

*Burning rate* adalah kecepatan pembakaran untuk membakar sebuah *droplet* dengan diameter tertentu, *burning rate* biasa dinyatakan dalam koefisien *evaporasi* ( $\beta_v$ ) yang dinyatakan dalam persamaan 2- 10. Dimana untuk  $d_0$  adalah diameter awal *droplet* sebelum dibakar dan  $d$  merupakan diameter akhir *droplet*, untuk penelitian ini nilai  $d$  adalah nol karena *droplet* terbakar habis. Sedangkan  $t$  adalah waktu yang diperlukan untuk membakar habis sebuah *droplet*.

#### 4. Temperatur maksimum pembakaran

Temperatur maksimum pembakaran merupakan temperatur tertinggi yang dicapai dalam proses pembakaran sebuah *droplet*, temperatur maksimum ini dapat diketahui dari grafik hubungan temperatur pembakaran dengan waktu pembakaran.

#### 5. Visualisasi nyala api

Untuk visualisasi nyala api meliputi tiga karakter yaitu tinggi api, lebar api serta warna nyala api. Untuk tinggi dan lebar api mewakili seberapa cepat *droplet* mengalami penguapan, jika penguapan lebih cepat daripada pembakaran maka api yang dihasilkan tinggi dan tidak terlalu lebar, sedangkan jika pembakaran lebih cepat daripada penguapan maka api yang dihasilkan pendek dan lebar. Untuk warna nyala api menandakan energi yang dihasilkan dalam proses pembakaran, dimana jika nyala api berwarna terang maka pembakaran tersebut menghasilkan energi yang lebih besar bila dibandingkan dengan api yang berwarna lebih redup.

#### 6. Probabilitas *microexplosion*

Probabilitas *microexplosion* merupakan peluang atau kemungkinan terjadinya *microexplosion*. Dimana dalam menentukan seberapa besar terjadinya *microexplosion* dapat dihitung dengan rumus yaitu :

$$p = \frac{n(A)}{n(S)} \quad (2-13)$$

dimana :

P = Probabilitas *microexplosion*

n (A) = Banyaknya *microexplosion* yang terjadi

n (S) = Banyaknya pengambilan data

### 2.9. 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 aktifasi dari atom atau molekul tersebut.

Adapun rumus yang berkaitan dengan teori kinetika gas adalah :

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{Halliday 1988: 253}) \quad (2-14)$$

dimana:

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

$v$  = kecepatan reaksi (m/s)

$k$  = konstanta Boltzmann =  $1.380622 \times 10^{-23}$  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.

### 2.10. Kerangka Pemikiran Teoritis

Minyak kelapa memiliki viskositas yang cukup tinggi dan memiliki nilai temperatur penyalaan (*flash point*) yang tinggi yaitu sekitar  $270-300^{\circ}$  C. Hal ini menyebabkan penyalaan bahan bakar minyak kelapa menjadi sulit. Dengan melihat persamaan (2-4) dan (2-5) dapat diketahui bahwa dengan meningkatnya frekuensi dari gelombang ultrasonik maka akan meningkatkan temperatur bahan bakar. Dengan meningkatnya temperatur maka akan mempercepat terjadinya pembakaran.

Dari persamaan (2-3) dapat diketahui juga bahwa dengan semakin besarnya frekuensi dari gelombang ultrasonik akan menyebabkan semakin meningkatnya kecepatan dari gelombang tersebut, sehingga akan meningkatkan energi aktivasi pada pembakaran. Sesuai dengan rumus :

$$E = \frac{1}{2} m v^2 \quad (2-14)$$

Dimana:

$$E = \text{energi aktivasi} \left( \frac{\text{kgm}^2}{\text{s}^2} \right)$$

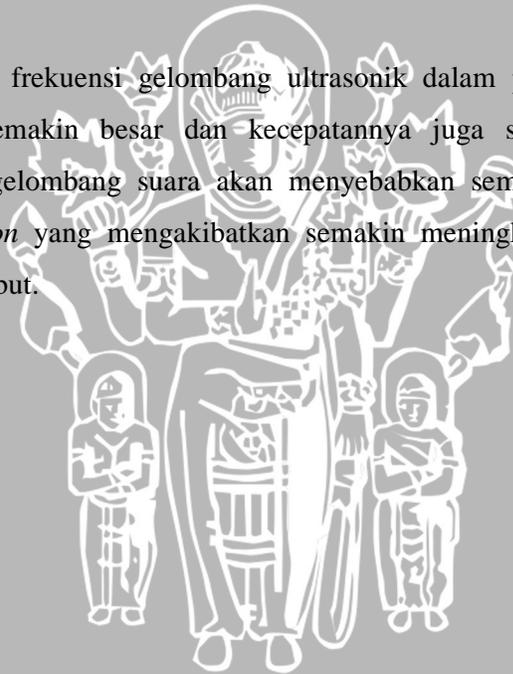
$v$  = kecepatan gelombang suara (m/s)

$m$  = massa zat yang bereaksi (kg)

Dengan meningkatnya energi aktivasi maka akan berpengaruh terhadap reaksi kimia yaitu melemahnya ikatan antar atom dari minyak kelapa tersebut sehingga semakin meningkatnya reaksi pembakaran droplet yang menyebabkan semakin besar peluang terjadinya *microexplosion*.

### 2.11. Hipotesa

Semakin besar frekuensi gelombang ultrasonik dalam pembakaran *droplet* maka temperaturnya semakin besar dan kecepatannya juga semakin meningkat, sehingga penambahan gelombang suara akan menyebabkan semakin besar peluang terjadinya *microexplosion* yang mengakibatkan semakin meningkatnya reaksi kimia proses pembakaran tersebut.



## 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 dua macam variabel yang digunakan, yaitu:

#### a. Variabel bebas

Variabel bebas ialah variabel yang besarnya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain, berfungsi sebagai sebab dalam penelitian. Adapun variabel bebas dalam penelitian ini adalah frekuensi gelombang ultrasonik yaitu 60 kHz, 100 kHz, 140 kHz, 180 kHz, 220 kHz.

#### b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Variabel terikat dalam pengujian ini, yaitu temperatur pembakaran, bentuk nyala api, probabilitas *microexplosion*, *ignition temperature*, *ignition delay time* dan *burning rate*.

### 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 yang diperoleh dari proses ekstraksi hidrolis biji kelapa.

#### 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 :

- Alat pengatur volume *droplet*  
 Spesifikasi : - Merk : Novo Nordisk  
 - Buatan : Denmark
- 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 :

- Power supply bertegangan AC

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

Spesifikasi :

- Merk : ERA
- Buatan : Indonesia
- Arus : 5 Ampere
- Tegangan input : 220 Volt
- Tegangan output : 15 Volt

#### 6. Elemen pemanas

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
  - tahanan 2,41  $\Omega$

#### 7. *Thermocouple*.

- Spesifikasi: - *thermocouple* type K
- kemampuan pengukuran 95 °C s/d 1260 °C

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

#### 8. Perangkat Sensor

Digunakan untuk menerima dan mengolah sensor temperatur (*thermocouple*) 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 kontrol

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*), seluruh operasi medan magnet.

10. Komputer

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

- Processor : Intel(R) Pentium IV(R) CPU 2.0 GHz
- Memory : 1024 MB RAM
- VGA : HIS ATI Radeon 9250 AGP 8X 256 MB

11. *Handycam*

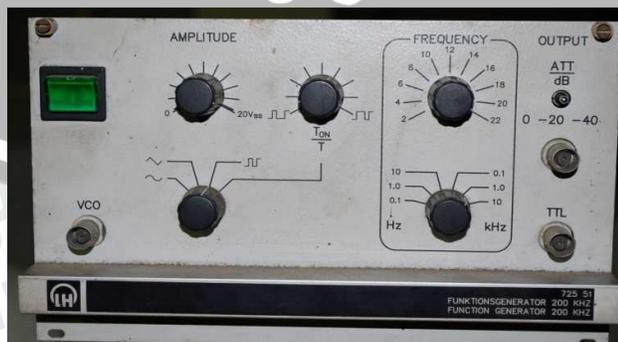
Digunakan untuk merekam proses terjadinya nyala api selama proses pembakaran berlangsung.

- Spesifikasi :
- Merk : SONY
  - Buatan : Jepang
  - Optical zoom : 100 kali
  - Optical zoom : 3 kali

12. Function Generator

Digunakan untuk membangkitkan sinyal suara .

- Spesifikasi :
- Merk : LH
  - Jangkauan : 0 – 220 kHz



Gambar 3.2 Function Generator

13. Sound Level Meter

Digunakan untuk mengukur intensitas suara yang keluar dari *loud Speaker*.

- Spesifikasi :
- Merk : REED
  - Type : ST8850
  - Jangkauan : 31,5 Hz sampai 8 kHz



Gambar 3.3 Sound Level Meter

14. Speaker

- Spesifikasi :
- Merk : ACR model C810
  - Diameter : 4 inch
  - Daya max : 3 Watt



Gambar 3.4 Speaker

15. Amplifier

Digunakan untuk menguatkan gelombang suara.

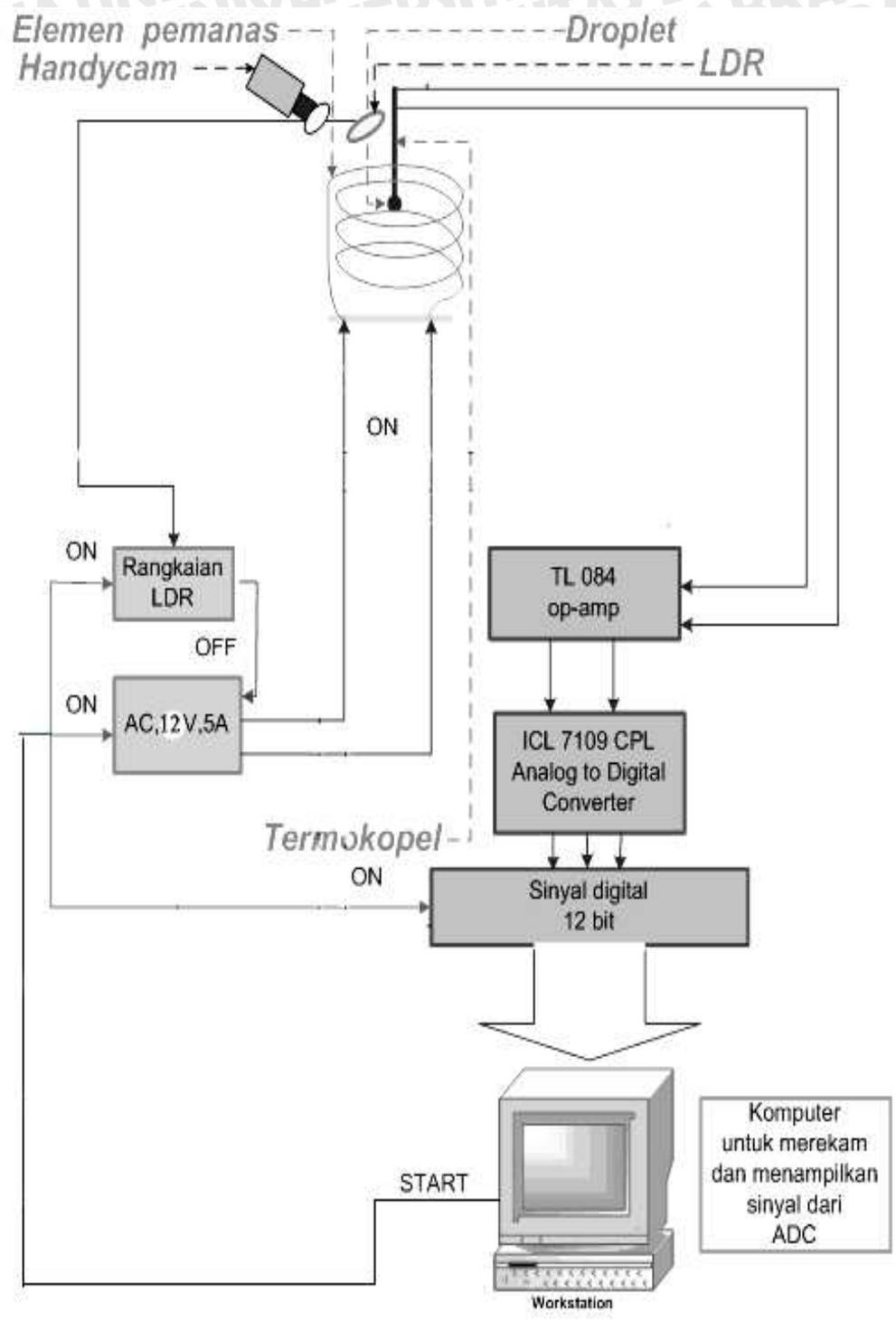
- Spesifikasi :
- Merk : AIVEN
  - Daya : 18 Watt



Gambar 3.5 Amplifier



### 3.4. Gambar Instalasi Penelitian



Gambar 3.6 Rangkaian Alat Uji Penelitian

### 3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian

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



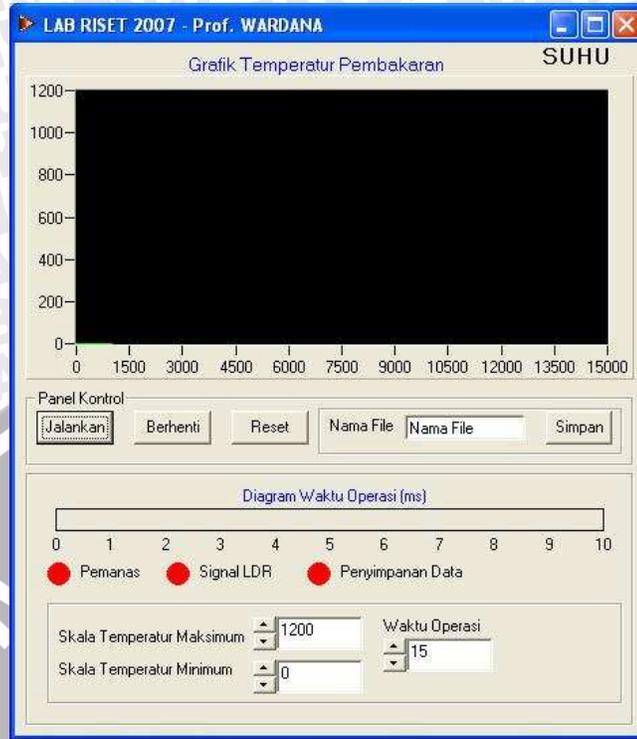
Gambar 3.7 Alat pembentuk *droplet* minyak kelapa

- ❖ Prosedur rangkaian menghasilkan gelombang ultrasonik
  1. Pasang 2 *speaker* di dalam ruang bakar di antara tempat penetesan *droplet*.
  2. Hubungkan *speaker* dengan *amplifier* dan *function generator*.
  3. Mulai menghidupkan *Function Generator* dan *Amplifier* sehingga *speaker* mengeluarkan gelombang ultrasonik.
  4. Atur besarnya frekuensi pada *Function Generator* sesuai dengan variasi pengujian.
  5. Atur besarnya intensitas suara sekaligus membacanya dengan *sound level meter* hingga didapat intensitas dengan besar yang telah ditentukan.
- ❖ Prosedur pembuatan *droplet* minyak kelapa
  1. Minyak kelapa dimasukkan kedalam tabung suntik sampai kurang lebih setengah dari panjang tabung suntik.
  2. Tabung suntik 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 tabung suntik berada tepat ditengah. Kemudian menguncinya dengan mengisolasi bagian kanan dan kiri kuping tabung suntik 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 yaitu sekitar 1 mm.
  4. Menekan bagian kepala alat pengatur volume *droplet*, maka gaya dorong yang ditimbulkan akan mendorong minyak kelapa yang berada dalam tabung suntik.

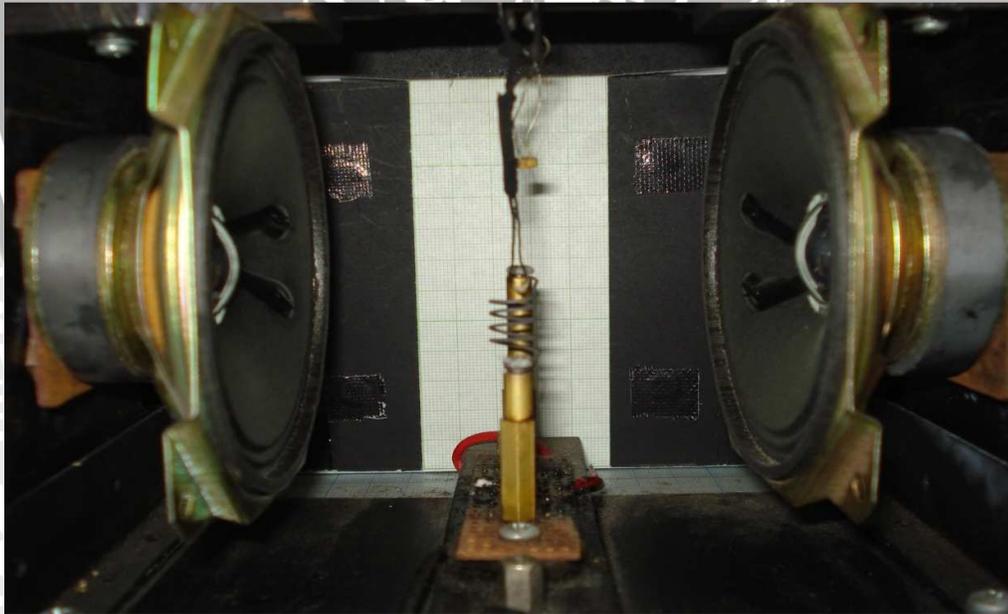
Selanjutnya minyak kelapa akan keluar melalui jarum suntik dan membentuk *droplet* diujung jarum suntik sesuai volume dengan diameter yang dikehendaki.

❖ Prosedur rangkaian pengambilan data

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

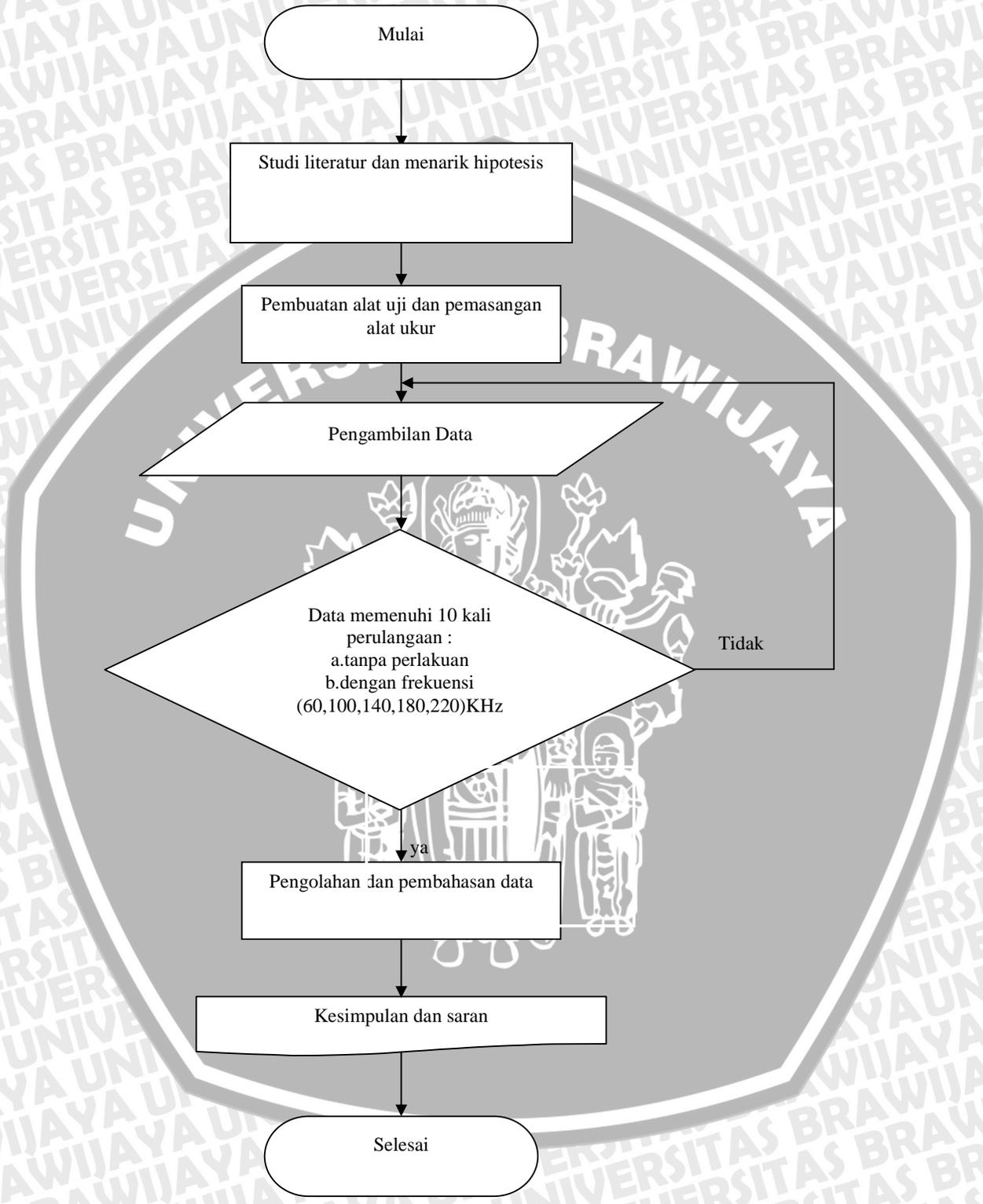


Gambar 3.8 Layout program penelitian



Gambar 3.9 Ruang pembakaran *droplet* minyak kelapa .

### 3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Penelitian

Dari penelitian yang telah dilakukan menghasilkan beberapa macam kelompok karakteristik pembakaran minyak kelapa terhadap *microexplosion* yaitu:

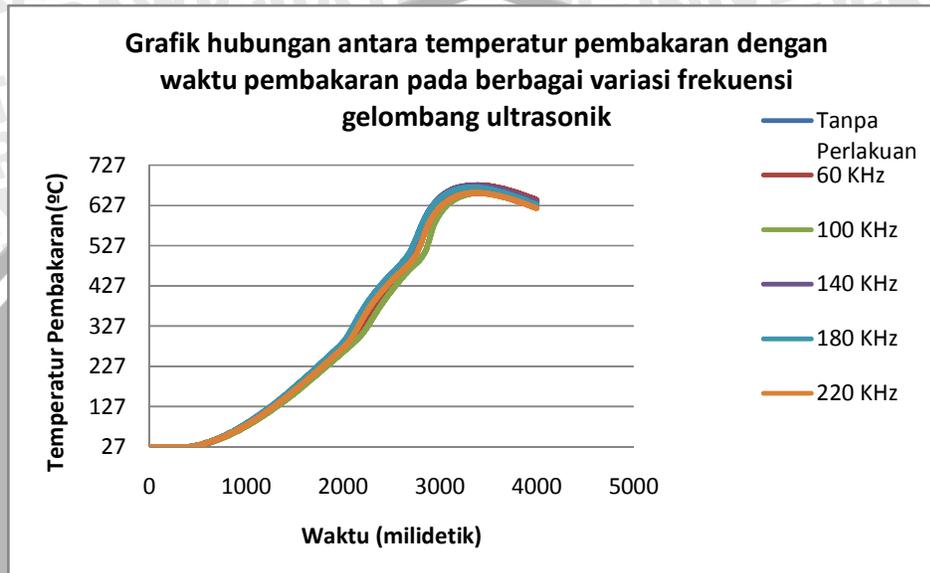
- Perubahan temperatur pembakaran terhadap waktu pembakaran pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik.
- Perubahan visualisasi api pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion*.
- Perubahan tinggi api terhadap waktu pembakaran dengan berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion*.
- Perubahan lebar api terhadap waktu pembakaran dengan berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion*.
- Probabilitas terjadinya *microexplosion* terhadap frekuensi gelombang ultrasonik.
- Perubahan *Ignition delay time* pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik
- Perubahan *Temperature Ignition* pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik
- Perubahan *Burning rate* pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion*.

#### 4.2 Pembahasan

Pembahasan ini dilakukan untuk mengetahui pola kecenderungan dari data hasil penelitian yang dilakukan pada setiap pengambilan data pembakaran minyak kelapa tanpa pemberian gelombang ultrasonik dan pembakaran minyak kelapa dengan variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion*.

#### 4.2.1 Hubungan antara temperatur pembakaran dengan waktu pembakaran pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion*

Tanpa perlakuan tanpa adanya *microexplosion* dan dipengaruhi oleh gelombang ultrasonik dengan adanya *microexplosion*



Gambar 4.1. Grafik gabungan hubungan temperatur dan waktu pembakaran pada minyak kelapa tanpa pengaruh frekuensi dan dengan pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik.

Dari grafik dapat dilihat bahwa pembakaran *droplet* diawali dengan pemanasan awal yang ditandai dengan garis yang mendekati garis lurus yang bergerak naik keatas. 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 dengan garis vertikal yang menunjukkan LDR (Light Dependent Resistor) dalam keadaan menyala. LDR ini berfungsi untuk memutuskan sakelar yang menyalurkan frekuensi 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 didalam gliserol. Dimana *microexplosion* ini mengakibatkan *droplet* pecah 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 lampiran 4 diperoleh data-data adalah sebagai berikut:

Adapun nilai rata-rata *ignition delay time 1* dan *ignition delay time 2* tiap perlakuan adalah sebagai berikut: Tanpa perlakuan = 2111,3 milidetik dan 2768,8 milidetik; perlakuan 60 KHz = 2111,2 milidetik dan 2752,5 milidetik; 100 KHz = 2156,9 milidetik dan 2817,6 milidetik; 140 KHz = 2028,2 milidetik dan 2692,2 milidetik; 180 KHz = 1997,6 milidetik dan 2666 milidetik ; 220 KHz = 2037,5 milidetik dan 2719,2 milidetik.

Dari lampiran 4 dapat dilihat juga temperatur titik nyala 1 (*flash point*) dan *temperature ignition 2* minyak kelapa Adapun nilai rata-rata tiap perlakuan adalah sebagai berikut: Tanpa perlakuan = 275°C dan 485,1°C; perlakuan 60 KHz = 273°C dan 474,3°C; perlakuan 100 KHz = 272,3°C dan 474,1°C; perlakuan 140 KHz = 259,8°C dan 472,2°C; perlakuan 180 KHz = 261°C dan 467,8°C ; perlakuan 220 KHz = 258°C dan 463,1°C.

Dari data diatas terlihat bahwa pemberian frekuensi gelombang ultrasonik pada bahan bakar minyak kelapa sedikit berpengaruh terhadap waktu penyalaan *droplet* minyak kelapa saat mengalami proses pembakaran. Walaupun pengaruh yang terlihat tidak begitu besar, namun minyak kelapa yang diberi frekuensi gelombang ultrasonik tampak lebih cepat menyala. Hal yang serupa juga dapat kita lihat pada temperatur penyalaan pembakaran, dimana *droplet* minyak kelapa yang tidak diberi pengaruh frekuensi memiliki temperatur penyalaan (*flash point*) yang lebih tinggi jika

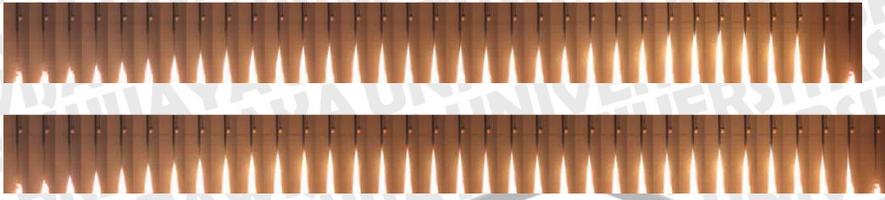
dibandingkan dengan *droplet* minyak kelapa yang diberi pengaruh frekuensi. Semakin besar pengaruh frekuensi yang diberikan maka *droplet* minyak kelapa maka akan semakin cepat pula *droplet* tersebut menyala. Hal ini terjadi karena pada minyak kelapa yang diberi pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik, akan mempengaruhi karakteristik dari *droplet* yang terpengaruh oleh kecepatan yang ditimbulkan oleh gelombang tersebut sesuai persamaan  $v=f\lambda$  dan  $f = \frac{\gamma RT}{\lambda^2 M}$  maka  $E = \frac{1}{2} m v^2$ . Semakin besar frekuensi yang diberikan maka pengaruh kecepatan dan temperatur juga akan semakin besar. Frekuensi yang besar tersebut akan meningkatkan temperatur *droplet* yang mengakibatkan temperatur dari pembakaran sedikit lebih cepat. Kecepatan gelombang ultrasonik yang timbul juga akan mengakibatkan pergerakan elektron-elektron dalam minyak mengalami percepatan sehingga akan terjadi gesekan-gesekan antar partikel dalam minyak. Temperatur yang meningkat tersebut menyebabkan minyak mengalami sedikit penguapan sehingga ikatan kimianya menjadi lemah dan bahkan terputus. Dengan demikian proses pembakaran minyak kelapa akan semakin mudah dan memerlukan energi aktivasi yang relatif rendah. Selain itu waktu yang diperlukan untuk membakar minyak kelapa tersebut juga menjadi lebih singkat.

Dari grafik diatas dapat juga diamati karakteristik pembakaran *droplet* minyak kelapa tanpa perlakuan dengan tanpa *microexplosion* dan dengan pengaruh frekuensi dengan *microexplosion*. Terlihat bahwa *delay time*, *flash point*, dan  $T_{ignition 2}$  pembakaran sedikit berubah meskipun tidak signifikan. Hal ini secara umum pemberian frekuensi gelombang ultrasonik hanya sedikit mempengaruhi karakteristik pembakaran akan tetapi pemberian frekuensi ini sangat berpengaruh terhadap *microexplosion* yang terjadi.

#### 4.2.2 Hubungan antara visualisasi api dengan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap *microexplosion*

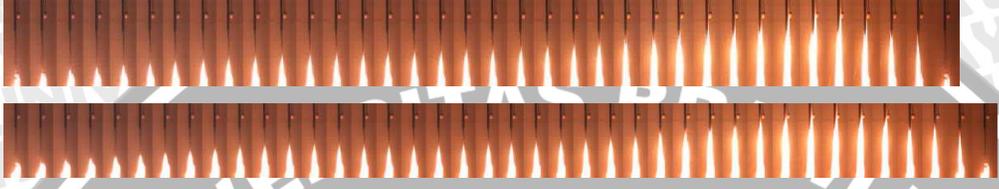
Dari hasil penelitian diperoleh gambar setelah mengalami beberapa proses perlakuan yaitu dengan pengambilan gambar menggunakan video yang kemudian di tampilkan dalam bentuk gambar dengan video converter dan disusun dalam bentuk gambar seperti dibawah ini dengan adobe photoshop.

Tanpa perlakuan tanpa adanya *microexplosion*

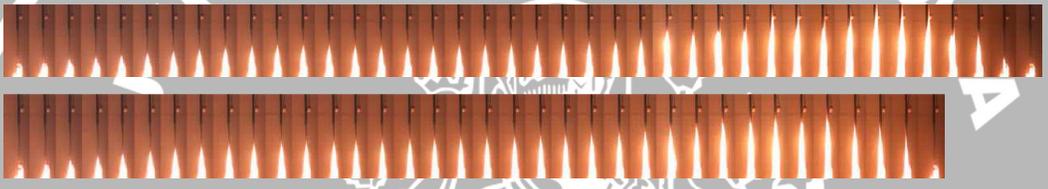


Dengan pengaruh frekuensi dengan adanya *microexplosion*

60 KHz



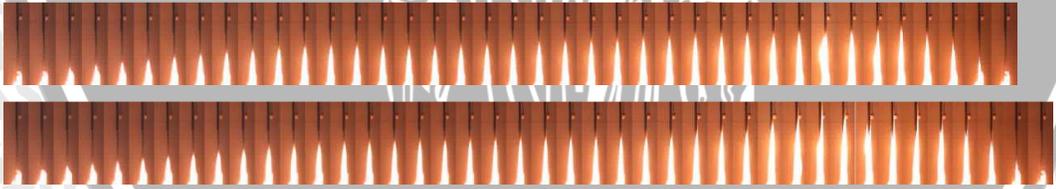
100 KHz



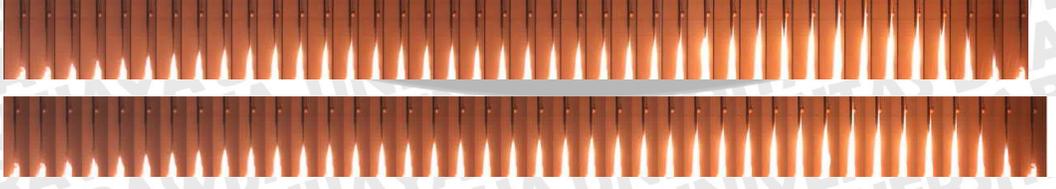
140 KHz



180 KHz



220 KHz



Gambar 4.2 Visualisasi nyala api tanpa pemberian frekuensi dan dengan berbagai pemberian frekuensi gelombang ultrasonik.



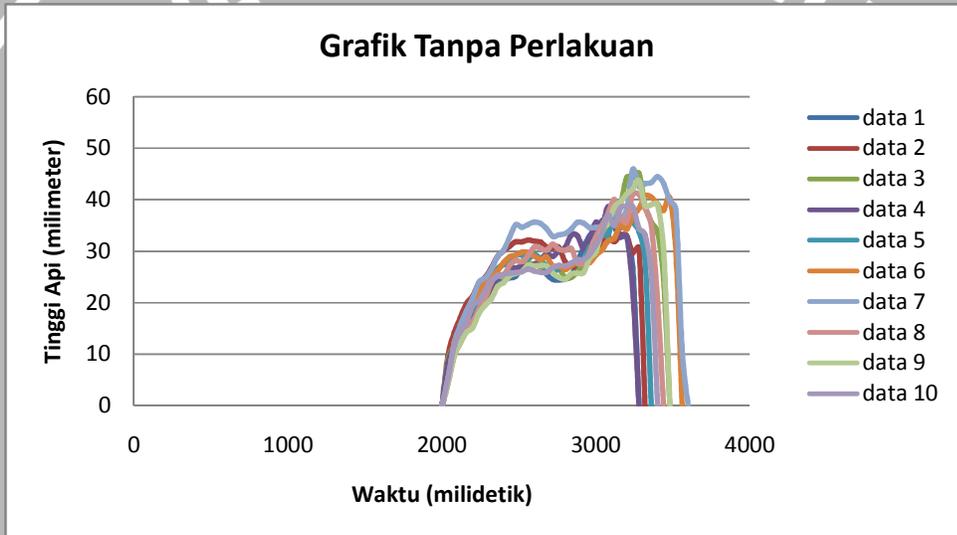
Dari gambar 4.2 dapat dilihat visualisasi nyala api pembakaran *droplet* tanpa perlakuan dengan yang mengalami perlakuan, dimana pada pembakaran *droplet* dengan perlakuan mengalami peristiwa *microexplosion*. Dari gambar terlihat bahwa perubahan tinggi api pada pembakaran *droplet* tanpa perlakuan mengalami perubahan tinggi dan lebar api secara bertahap dan perlahan demikian pula dengan cahaya pembakaran yang dihasilkan cukup 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. Sedangkan untuk visualisasi dengan perlakuan dengan *microexplosion* terlihat bahwa perubahan tinggi dan lebar api lebih cepat dimana dan cahaya yang dihasilkan lebih terang dari cahaya pembakaran *droplet* tanpa perlakuan. Perubahan tinggi dan lebar api lebih cepat terjadi karena gliserol yang dikandung berupa butiran-butiran dengan ukuran yang kecil sehingga pada saat asam lemak terbakar gliserol dengan butiran kecil tersebut ikut terbakar juga. Tetapi gliserol dengan ukuran yang lebih besar tetap terbakar pada tahap kedua begitu juga dengan cahaya yang dihasilkan lebih terang dimana pada pembakaran gliserol akan menghasilkan energi yang lebih besar. Dimana kita tahu bahwa makin besar energi yang dihasilkan maka api yang dihasilkan akan memiliki warna dan cahaya yang lebih terang. Untuk pembakaran *droplet* dengan perlakuan yang mengalami *microexplosion* terlihat bahwa perubahan tinggi dan lebar api berjalan secara bertahap dimana diakhir proses pembakaran terjadi peristiwa *microexplosion* yang menghasilkan api yang tinggi dan lebar serta cahaya yang dihasilkan juga sangat terang. Peristiwa *microexplosion* ini terjadi karena sebagian asam lemak menyusup kedalam gliserol pada saat minyak diberikan frekuensi dimana makin besar energi yang dihasilkan maka makin banyak jumlah asam lemak yang menyusup. Selain itu pada saat proses pemanasan beberapa asam lemak yang menguap juga menyusup kembali kedalam gliserol sehingga dihasilkan *microexplosion* 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 cahaya yang terang yang menandakan energi yang dihasilkan besar.

Jadi secara umum pemberian frekuensi akan meningkatkan karakteristik pembakaran dilihat dari visualisasi pembakaran *droplet*, dimana pembakaran *droplet* yang mengalami perlakuan akan menghasilkan perubahan tinggi dan lebar api daripada yang tanpa perlakuan. Selain itu cahaya yang dihasilkan juga lebih terang yang menandakan energi yang dihasilkan lebih besar.

**4.2.3 Hubungan antara tinggi api terhadap waktu pembakaran tanpa perlakuan dan dengan berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik**

Tanpa perlakuan tanpa adanya *microexplosion*

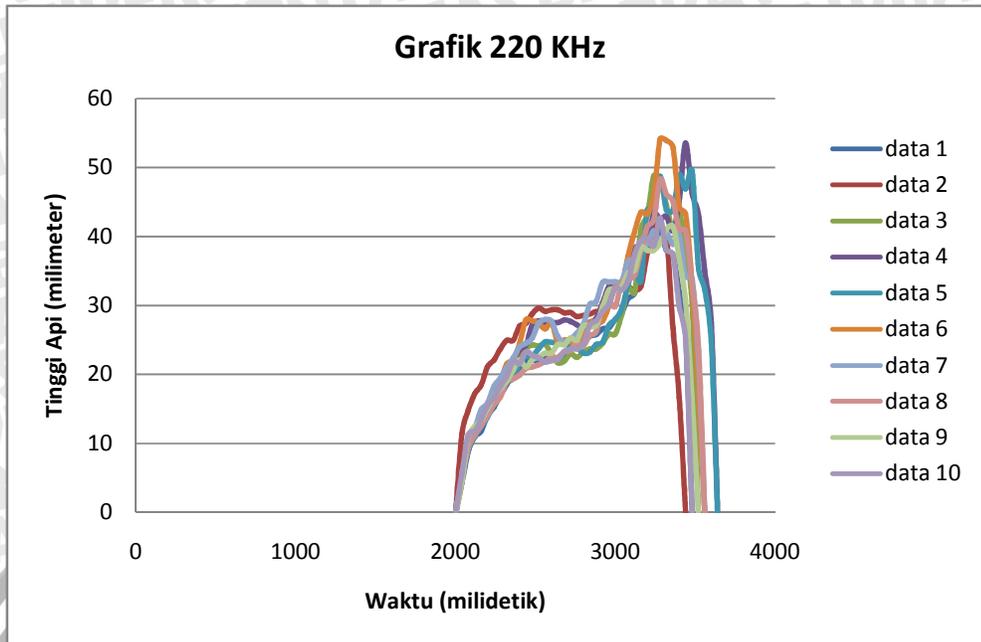


Gambar 4.3 Grafik hubungan antara tinggi api dengan waktu pembakaran tanpa perlakuan

Dengan perlakuan yang dipengaruhi oleh Gelombang Ultrasonik dengan adanya *microexplosion*







Gambar 4.4 Grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran pada minyak kelapa pada berbagai variasi gelombang ultrasonik .

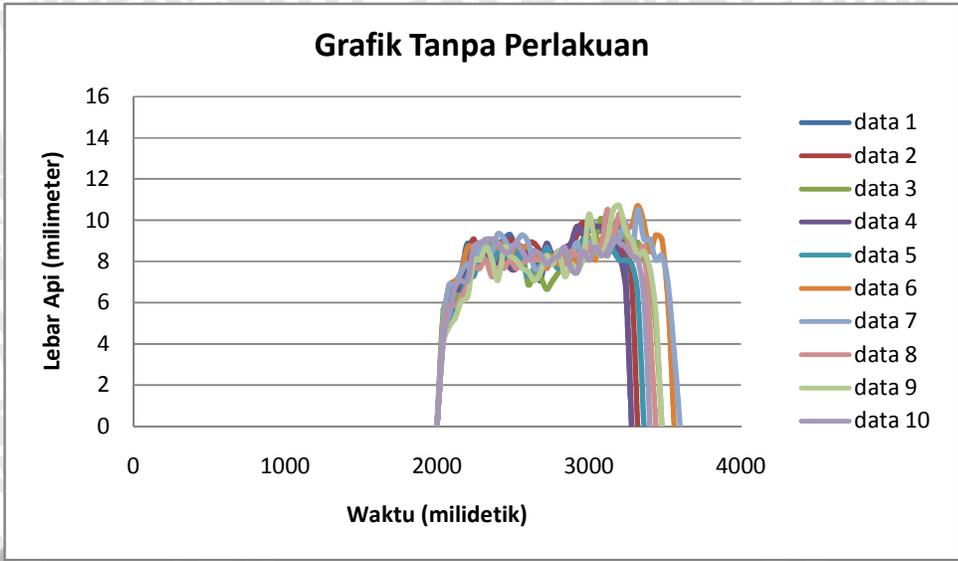
Pada gambar 4.3 dan 4.4 diatas dapat kita lihat bahwa grafik hubungan antara waktu pembakaran dengan tinggi api pada pembakaran *droplet* minyak kelapa yang tidak diberi pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik memiliki tinggi api yang cenderung tidak konstan (tidak seragam). Rata-rata tinggi api maksimal yang dihasilkan adalah sekitar 40.5992 mm dan sama sekali tidak terjadi adanya *microexplosion*. Hal ini sangat berbeda dengan tinggi api pembakaran yang dicapai pada proses pembakaran *droplet* minyak kelapa yang sebelumnya diberi pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik. Tahapan proses pembakaran *droplet* juga nampak terlihat jelas pada pembakaran *droplet* yang sebelumnya diberi pengaruh frekuensi. Tahapan proses pembakaran nampak terlihat jelas terutama pada saat terjadi *microexplosion*. Tinggi api yang maksimal dapat kita lihat pada pemberian frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 140 KHz. Rata-rata tinggi api maksimum yang dicapai adalah sekitar 49.6088 mm. Pada pemberian frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 140 KHz ini *microexplosion* terjadi 87%. Dari 15 kali proses pengambilan data yang dilakukan terjadi *microexplosion* sebanyak 13 kali. Adanya *microexplosion* ini ditandai dengan perubahan tinggi api yang sangat signifikan pada tahap pembakaran gliserol. Pada pemberian pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 60 KHz, 100 KHz, 180 KHz dan 220 KHz menghasilkan pengaruh yang bervariasi terhadap tinggi api pembakaran. Tahapan pembakaran *droplet*

juga terlihat jelas yaitu antara tahapan pembakaran *fatty acid* serta tahapan pembakaran gliserol. *Fatty acid* yang memiliki titik didih yang berbeda dengan gliserol, menguap terlebih dahulu sehingga lebih cepat terbakar yang kemudian diikuti terbakarnya gliserol. Sehingga terlihat adanya 2 kali kenaikan tinggi api. Pada grafik tinggi api dengan pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik 60 KHz, 100 KHz, 140 KHz, 180 KHz dan 220 KHz, terlihat perbedaan yang sangat jelas antara pembakaran *droplet* yang disertai fenomena *microexplosion* dengan yang tanpa pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik yang tidak disertai *microexplosion*. Pada pembakaran *droplet* yang disertai dengan adanya *microexplosion* dapat terlihat jelas antara tahapan pembakaran *fatty acid* serta tahapan pembakaran gliserol, sedangkan pada pembakaran *droplet* yang tidak disertai dengan fenomena *microexplosion* tahapan pembakaran baik *fatty acid* maupun gliserol tidak terlihat begitu jelas.

Pada grafik terlihat dengan jelas adanya perbedaan antara masing-masing pembakaran dari *droplet* minyak kelapa tanpa diberi pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik dengan pembakaran dari *droplet* minyak kelapa yang diberi pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik. Pada grafik diatas juga terlihat perbedaan yang jelas antara pembakaran *droplet* minyak kelapa yang disertai adanya *microexplosion* dengan yang tidak ada *microexplosion*. Pada grafik tanpa perlakuan tinggi api maksimumnya berada dibawah tinggi api *droplet* minyak kelapa yang diberi perlakuan dan sama sekali tidak terdapat *microexplosion*.

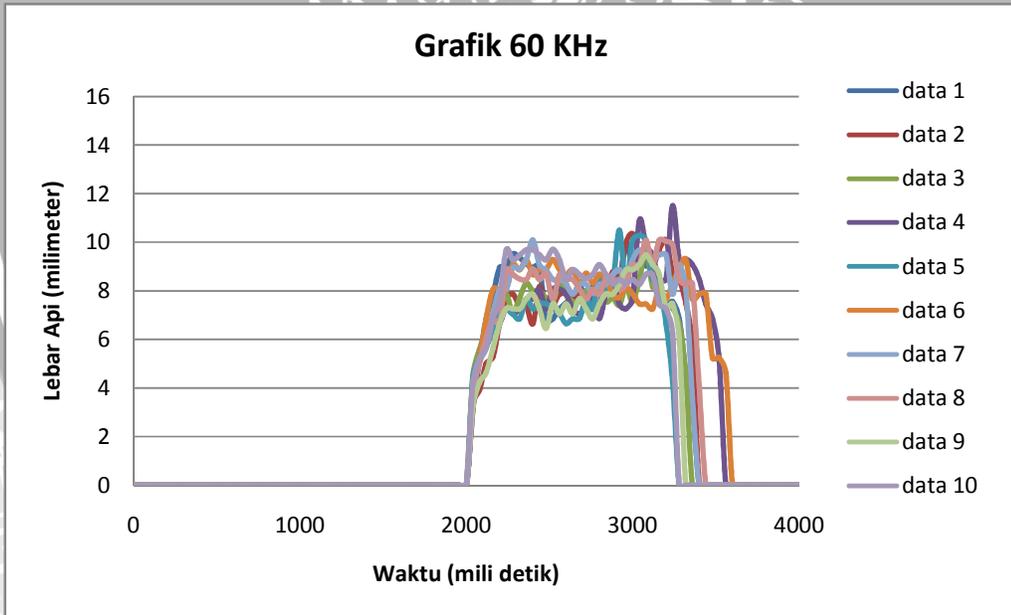
#### **4.2.4 Hubungan antara lebar api dengan waktu pembakaran tanpa perlakuan dan berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap terjadinya *microexplosion***

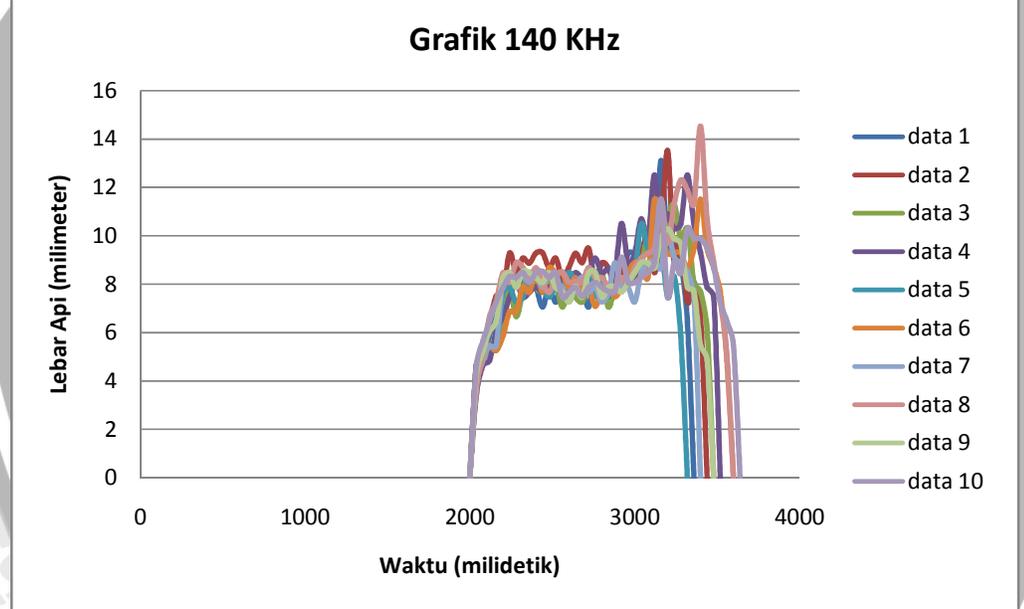
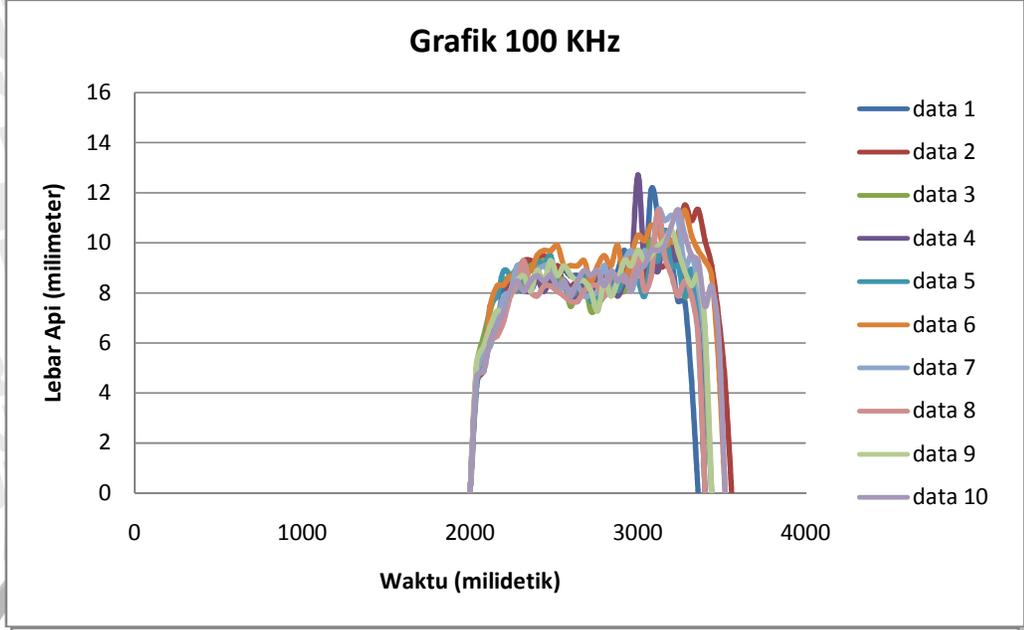
Tanpa perlakuan tanpa adanya *microexplosion*

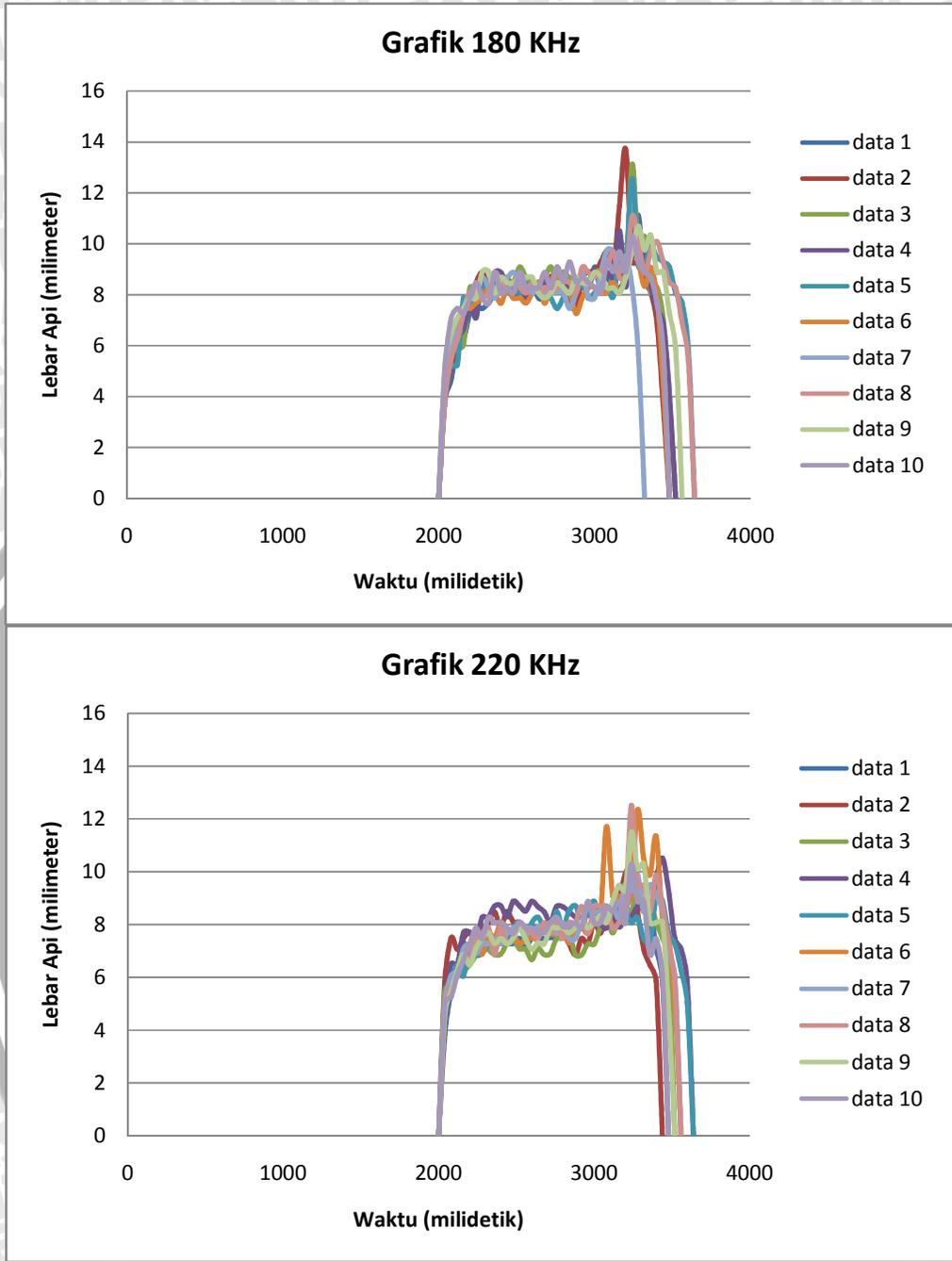


Gambar 4.5 Gambar hubungan antara lebar api dengan waktu pembakaran tanpa perlakuan

Dengan perlakuan yang dipengaruhi oleh Gelombang Ultrasonik dengan adanya *microexplosion*







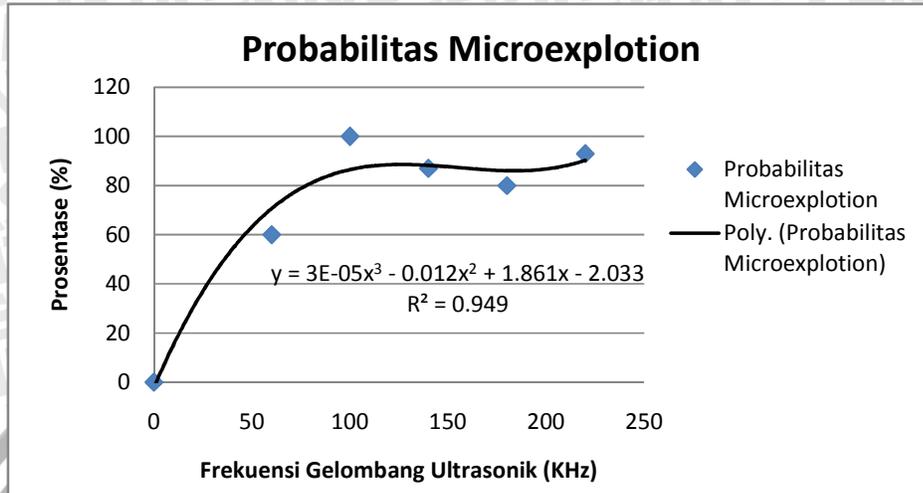
Gambar 4.6 Masing-masing grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran pada minyak kelapa pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik.

Dari grafik diatas terlihat bahwa lebar api tanpa perlakuan memiliki lebar yang paling rendah dan perubahan lebar api mencapai maksimum berjalan cepat daripada grafik 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 *microexplosion*. 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 *microexplosion* 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 didalam gliserol. *Microexplosion* ini dapat memecah *droplet* menjadi butiran-butiran kecil sehingga akan mempercepat proses penguapan dan pembakaran yang akan menghasilkan api yang tinggi dan lebar.

Dari grafik diatas dapat juga dilihat perbedaan lebar api tanpa *microexplosion* dengan yang mengalami *microexplosion*. Lebar api tanpa *microexplosion* 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 yaag terkandung memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga pada saat pembakaran asam lemak gliserol dengan ukuran sangat kecil ini ikut terbakar. Sedangkan untuk pembakaran *droplet* yang disertai dengan *microexplosion* 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 pemberian frekuensi gelombang ultrasonik mempengaruhi lebar api yang dihasilkan karena dengan meningkatnya frekuensi yang diberikan akan meningkatkan persentase *microexplosion* yang terjadi. Dimana tinggi dan lebar api sangat dipengaruhi oleh *microexplosion* yang terjadi. Selain itu antara *droplet* yang terbakar tanpa *microexplosion* dengan yang mengalami *microexplosion* memiliki perbedaan waktu evolusi untuk mencapai lebar maksimum.

4.2.5 Hubungan antara probabilitas terjadinya *microexplosion* terhadap gelombang ultrasonik



Gambar 4.7 Grafik hubungan probabilitas *microexplosion* antara terhadap frekuensi gelombang ultrasonik

Dari grafik hubungan antara frekuensi terhadap probabilitas *microexplosion* dapat diketahui pengaruh variasi frekuensi terhadap probabilitas *microexplosion*. Semakin besar frekuensi gelombang ultrasonik yang diberikan pada minyak kelapa maka probabilitas *microexplosion* yang terjadi cenderung semakin meningkat. Pada pengambilan 15 data pembakaran tanpa pemberian frekuensi pada minyak kelapa, *microexplosion* tidak terjadi sama sekali. Sedangkan pada frekuensi 60 KHz terjadi 9 kali *microexplosion* dari pengambilan 15 data (60 %). Pada frekuensi 100 KHz *microexplosion* yang terjadi meningkat paling banyak, yaitu terjadi 15 kali (100%). *Microexplosion* yang terjadi menurun pada frekuensi 140 KHz yaitu terjadi sebanyak 13 kali dari 15 kali pengambilan data (87%). Pada frekuensi 180 KHz *microexplosion* yang terjadi menurun lagi, yaitu hanya terjadi 12 kali dari 15 kali pengambilan data (80%). Sedangkan pada frekuensi 220 KHz *microexplosion* terjadi meningkat lagi yaitu terjadi sebanyak 14 kali dari 15 kali pengambilan data (93%). Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa dengan semakin besarnya frekuensi gelombang ultrasonik yang diberikan pada minyak kelapa mengakibatkan semakin banyaknya *microexplosion* yang terjadi. Hal ini dikarenakan minyak kelapa yang diberikan frekuensi gelombang ultrasonik akan menerima energi sebesar  $E = \frac{1}{2} m v^2$  dimana E tergantung dari frekuensi yang diberikan dimana makin tinggi frekuensi yang diberikan maka v semakin

besar, karena  $v$  berbanding lurus dengan  $f$  sesuai dengan persamaan  $v = f \lambda$  sehingga dengan semakin besar  $v$  maka  $E$  yang timbul akan semakin besar.

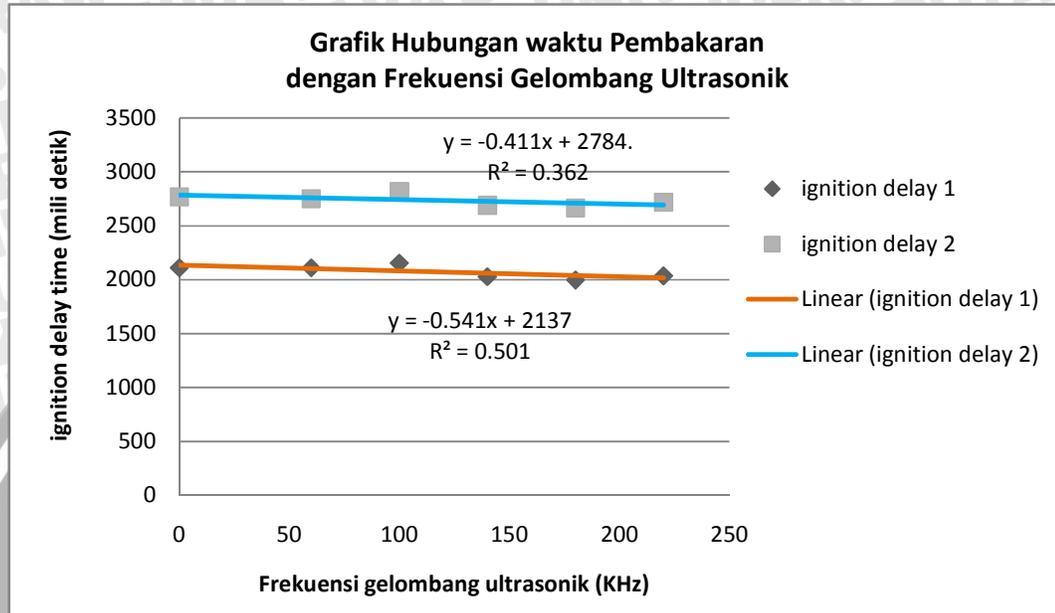
*Microexplosion* merupakan peristiwa yang terjadi karena perbedaan titik didih dari kedua komponen penyusun bahan bakar dalam hal ini adalah asam lemak dan gliserol dimana asam lemak memiliki titik didih yang lebih rendah sehingga lebih cepat menguap daripada gliserol yang memiliki titik didih yang lebih 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.

Karena frekuensi gelombang ultrasonik yang diberikan maka energi yang diterima oleh minyak kelapa juga berbanding lurus sesuai dengan perubahan dari kecepatan gelombang tersebut. Dengan adanya kecepatan yang semakin meningkat maka akan mengakibatkan asam lemak yang terkandung didalam minyak kelapa tertekan sehingga akan bercampur ataupun menyusup kedalam gliserol. Semakin besar kecepatan yang diberikan maka jumlah asam lemak yang menyusup dan terperangkap didalam gliserol makin besar, sehingga persentase terjadinya *microexplosion* meningkat. Tetapi pada grafik diatas dapat dilihat bahwa pemberian frekuensi gelombang ultrasonik sebesar 180 KHz persentase terjadinya *microexplosion* menurun. Hal ini karena gliserol oleh frekuensi gelombang ultrasonik diacak menjadi lebih encer sehingga *fatty acid* yang terjebak lebih sedikit sehingga prosentase terjadinya *microexplosion* menurun. Untuk frekuensi gelombang ultrasonik 220 KHz kembali terjadi peningkatan persentase terjadinya *microexplosion* hal ini karena pada frekuensi gelombang ultrasonik 220 KHz gliserol juga diacak menjadi encer tetapi karena kecepatan yang diterima lebih tinggi maka gliserol tidak terlalu encer seperti pada frekuensi 180 KHz. Sehingga jumlah asam lemak yang terperangkap didalam gliserol menjadi lebih banyak sehingga mengakibatkan persentase *microexplosion* meningkat.

Jadi secara umum dapat diketahui dengan adanya peningkatan frekuensi gelombang ultrasonik akan meningkatkan persentase terjadinya *microexplosion* 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.

#### 4.2.6 Hubungan antara *ignation delay time* dengan frekuensi gelombang ultrasonik



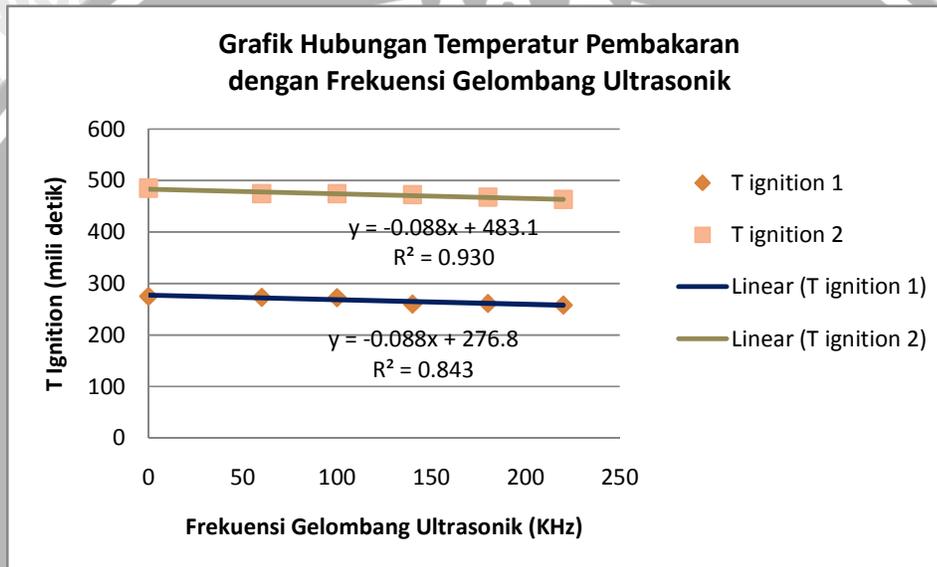
Gambar 4.8 Grafik hubungan antara *ignation delay time* terhadap frekuensi gelombang ultrasonik.

Dari grafik hubungan antara *ignation delay time* dengan frekuensi gelombang ultrasonik di atas terlihat bahwa semakin besar frekuensi gelombang ultrasonic yang diberikan, maka *ignation delay time*-nya cenderung konstan. Dengan demikian penambahan frekuensi gelombang ultrasonic tidak begitu berpengaruh terhadap *ignation delay time*, hal ini dapat dilihat dari nilai regresi dari grafik tersebut di atas yang memiliki nilai kurang dari dari 0.5 (50%). Adapun dari data nilai rata-rata *ignition delay time* 1 dan *ignition delay time* 2 tiap perlakuan adalah sebagai berikut: Tanpa perlakuan = 2111.3 milidetik dan 2768.8 mili detik; perlakuan 60 KHz = 2111.2 milidetik dan 2752.5 milidetik; 100 KHz = 2156.9 milidetik dan 2817.6 milidetik; 140 KHz = 2028.2 milidetik dan 2692.2 milidetik; 180 KHz = 1997.6 milidetik dan 2666 milidetik ; 220 KHz = 2037.5 milidetik dan 2719.2 milidetik.

Dari data tersebut juga terlihat sedikit adanya perbedaan diantara kelima (5) perlakuan yang dikenakan pada *droplet* minyak kelapa. *Ignition delay time* yang dicapai pada proses pembakaran *droplet* minyak kelapa yang diberi pengaruh frekuensi rata-rata

hampir sama dengan *Ignition delay time* yang dicapai pada proses pembakaran *droplet* minyak kelapa tanpa pengaruh frekuensi. Dari hasil pengambilan data pembakaran *droplet* minyak kelapa dengan pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik 180 KHz didapatkan waktu rata-rata penyalaan *droplet* adalah 1.9976 detik. Hal ini lebih rendah dari pada penyalaan tanpa pengaruh gelombang ultrasonik yaitu sebesar 2.1112 detik. Jadi dengan pemberian frekuensi gelombang ultrasonik hanya sedikit mempengaruhi waktu terjadinya proses pembakaran.

#### 4.2.7 Hubungan antara *T ignition* dengan frekuensi gelombang ultrasonik

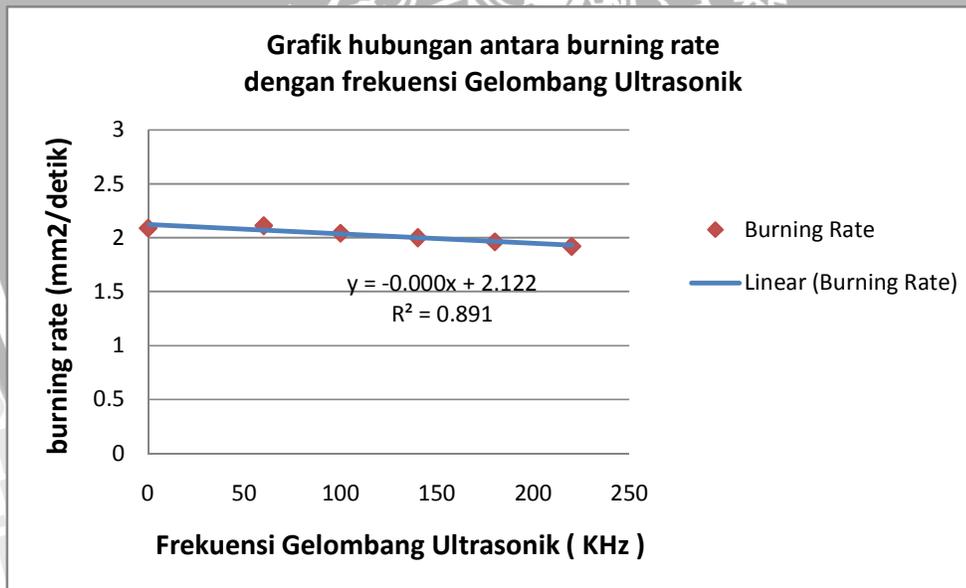


Gambar 4.9 Grafik hubungan antara *Temperature ignition* terhadap frekuensi gelombang ultrasonik.

Dari grafik hubungan antara *Temperature ignition* dengan frekuensi gelombang ultrasonik di atas terlihat bahwa semakin besar frekuensi gelombang ultrasonic yang diberikan, maka *temperature ignition*-nya cenderung menurun. Dengan demikian penambahan frekuensi gelombang ultrasonic berpengaruh terhadap *temperature ignition*, hal ini sesuai dengan nilai regresi dari grafik tersebut di atas yang memiliki nilai lebih besar dari 0.5 (50%). Adapun dari data nilai rata-rata *temperature ignition* 1 dan *temperature ignition* 2 tiap perlakuan adalah sebagai berikut: Tanpa perlakuan = 275°C dan 485.1°C; perlakuan 60 KHz = 273°C dan 474.3°C; perlakuan 100 KHz = 272.3°C dan 474.1°C; perlakuan 140 KHz = 259.8°C dan 472.2°C; perlakuan 180 KHz = 261°C dan 467.8°C ; perlakuan 220 KHz = 258°C dan 463.1°C.

Dari data tersebut juga dapat terlihat bahwa frekuensi gelombang ultrasonik berpengaruh terhadap temperatur pembakaran minyak kelapa. Semakin besar frekuensi yang diberikan maka temperatur pembakaran semakin besar yang menyebabkan pembakarannya semakin cepat. Hal ini sesuai dengan persamaan  $f = \frac{\lambda RT}{\lambda^2 M}$ , bahwa dengan semakin besarnya temperatur yang ditimbulkan oleh frekuensi gelombang ultrasonik maka *droplet* akan mendapatkan panas tambahan dari gelombang tersebut sehingga *droplet* terbakar lebih cepat. Dimana berbeda dengan temperatur yang tidak dipengaruhi oleh frekuensi gelombang ultrasonik tidak mendapat tambahan temperatur sebelum pembakaran terjadi. Yaitu temperatur yang tidak dipengaruhi frekuensi sebesar 275°C sedang setelah dipengaruhi frekuensi 220 KHz temperaturnya menurun sampai 258 °C. Jadi dengan pemberian frekuensi gelombang ultrasonik akan menurunkan temperatur pembakaran sehingga *droplet* menjadi terbakar lebih cepat.

#### 4.2.8 Hubungan antara *burning rate* dengan frekuensi gelombang ultrasonik terhadap terjadinya *microexplosion*

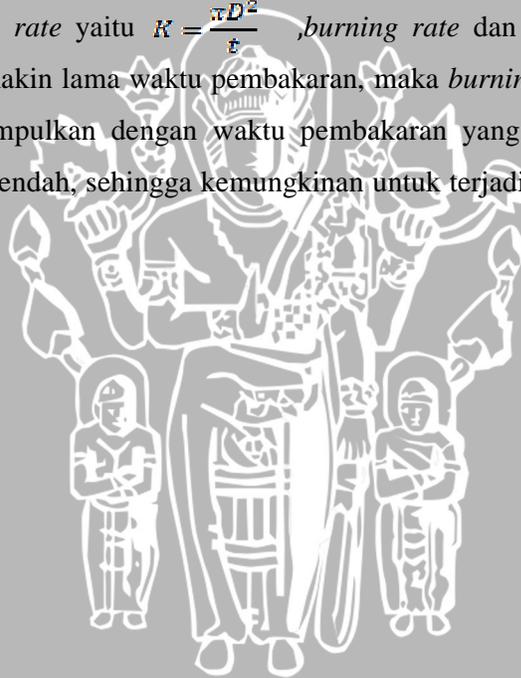


Gambar 4.10 Grafik hubungan antara *burning rate* terhadap frekuensi gelombang ultrasonik

Dari grafik hubungan antara *burning rate* dengan frekuensi gelombang ultrasonik di atas terlihat bahwa semakin besar frekuensi gelombang ultrasonik yang diberikan, maka *burning rate* yang dihasilkan cenderung menurun. Dengan demikian penambahan frekuensi gelombang ultrasonik berpengaruh terhadap *burning rate*, hal ini

sesuai dengan nilai regresi dari grafik tersebut di atas yang memiliki nilai lebih besar dari 0.5 (50%). Adapun dari data nilai rata-rata *burning rate* tiap perlakuan adalah sebagai berikut: Tanpa perlakuan = 2.089418 mm<sup>2</sup>/detik; perlakuan 60 KHz = 2.1116 mm<sup>2</sup>/detik; perlakuan 100 KHz = 2.042777 mm<sup>2</sup>/detik; perlakuan 140 KHz = 2.000162 mm<sup>2</sup>/detik; perlakuan 180 KHz = 1.96116 mm<sup>2</sup>/detik; perlakuan 220 KHz = 1.918982 mm<sup>2</sup>/detik.

Dari data tersebut juga dapat terlihat bahwa frekuensi gelombang ultrasonik berpengaruh terhadap *burning rate*. Selain itu *burning rate* pada proses pembakaran *droplet* minyak kelapa tanpa *microexplosion* tanpa pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik memiliki *burning rate* yang tinggi yaitu 2.089418 mm<sup>2</sup>/s dibandingkan dengan *burning rate* dengan adanya *microexplosion* dan adanya pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik yaitu pada frekuensi 220 KHz sebesar 1.918982 mm<sup>2</sup>/detik. Menurut rumus *burning rate* yaitu  $K = \frac{\pi D^2}{t}$ , *burning rate* dan waktu pembakaran berbanding terbalik, semakin lama waktu pembakaran, maka *burning rate*-nya semakin rendah. Jadi dapat disimpulkan dengan waktu pembakaran yang berlangsung lama, maka *burning rate*-nya rendah, sehingga kemungkinan untuk terjadinya *microexplosion* sangat besar.



## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan di atas dapat diperoleh kesimpulan antara lain:

- Nyala api pembakaran difusi dengan Frekuensi Gelombang Ultrasonik lebih terang karena panjang dari gelombang reaksi berbeda antara sebelum dan setelah perlakuan.
- Pemberian frekuensi pada pembakaran *droplet* minyak kelapa sedikit mempercepat waktu penyalaan (*ignition delay time*) dan penurunan temperatur penyalaan ( $T_{ignition}$ ) karena temperatur *droplet*-nya lebih meningkat akibat tambahan panas yang dihasilkan oleh frekuensi gelombang ultrasonik tersebut.
- Dari pengamatan terhadap nyala api pembakaran dengan frekuensi gelombang ultrasonik didapatkan bahwa semakin tinggi frekuensi, maka tinggi dan lebar nyala api cenderung lebih meningkat hal ini dikarenakan semakin besar *microexplosion* yang dihasilkan.
- *Burning rate* pada pembakaran dengan frekuensi gelombang ultrasonik lebih rendah karena pada saat pembakaran *droplet* timbul *microexplosion*, sehingga pembakarannya berlangsung lama yang mengakibatkan *burning rate*-nya rendah.
- Probabilitas *micoexplosion* yang ditimbulkan dengan adanya pengaruh frekuensi gelombang ultrasonik semakin meningkat karena *fatty acid* yang terjebak dalam gliserol semakin banyak sehingga *microexplosion* yang ditimbulkan semakin besar.

#### 5.2 Saran

1. Perlunya penelitian lebih lanjut menggunakan variasi frekuensi gelombang ultrasonik yang lebih besar ataupun diameter speaker yang lebih besar.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut tentang karakteristik dari *microexplosion* pada suatu pembakaran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Benzon, J.A. and R.V. Jose. 1982. *Coconut, production and Utilization*. Philippine Coconut Font Inc. Amber Avenue. Metro manila
- Halliday, David dan Resnick, Robert. 1988. *Fisika Jilid I dan II*, Jakarta : Erlangga.
- Hendartomo, Tomi. 2006. *Pemanfaatan Minyak Dari Tumbuhan Untuk Pembuatan Biodiesel*. Universitas Gajahmada. Yogyakarta.
- Kuo, Kenneth K. 1986. *Principles of Combustion*. New Jersey : John Wiley & Sons, Inc.
- Ralph H, Petrucci. 1996. *Kimia Dasar*.
- Raffiq, H M. 2005. *Emissions Control for Direct Injection CI Engine using Preheated Coconut Oil Blended Diesel*. Hakeem College of Engineering. Vellore
- 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.
- Wijayanti, Widya. 2003. *Bahan Bakar dan Teknik 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
- Zemansky, Sears. 1986. *Fisika untuk Universitas Jilid 2*. Bandung : Binacipta.
- [www.biodiesel.org](http://www.biodiesel.org), 2005
- [www.biology.clc.uc.edu/graphics/bio104/fatty%20acid.jpg](http://www.biology.clc.uc.edu/graphics/bio104/fatty%20acid.jpg)
- [www.tn85.blogsome.com/2005/07/01/pembuatan-minyak-kelapa/trackback/](http://www.tn85.blogsome.com/2005/07/01/pembuatan-minyak-kelapa/trackback/)
- [www.wikipedia.org/calculator-wavelength.htm](http://www.wikipedia.org/calculator-wavelength.htm)
- [www.physics.udel.edu/images/shift.gif](http://www.physics.udel.edu/images/shift.gif)
- [www.wikipedia.org/panjang\\_gelombang.jpg](http://www.wikipedia.org/panjang_gelombang.jpg)
- [www.mediacollage/sound\\_wave\\_properties](http://www.mediacollage/sound_wave_properties)
- [www.universe-review.ca/soundwave.jpg](http://www.universe-review.ca/soundwave.jpg)

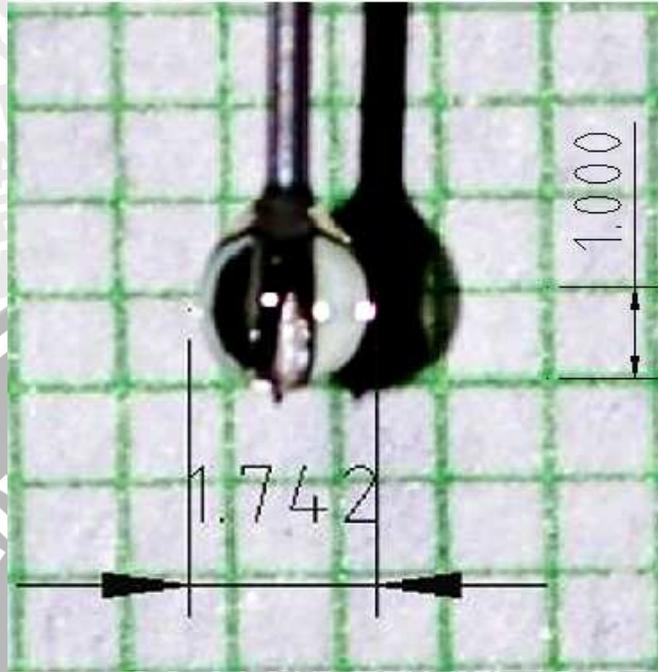


**LAMPIRAN**

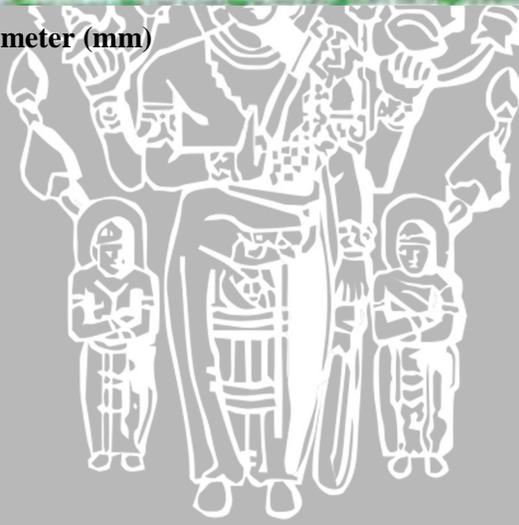
### Lampiran 1. Proses pembuatan minyak kelapa dengan cara pemanasan santan



Lampiran 2. Gambar pengukuran diameter *droplet* minyak kelapa



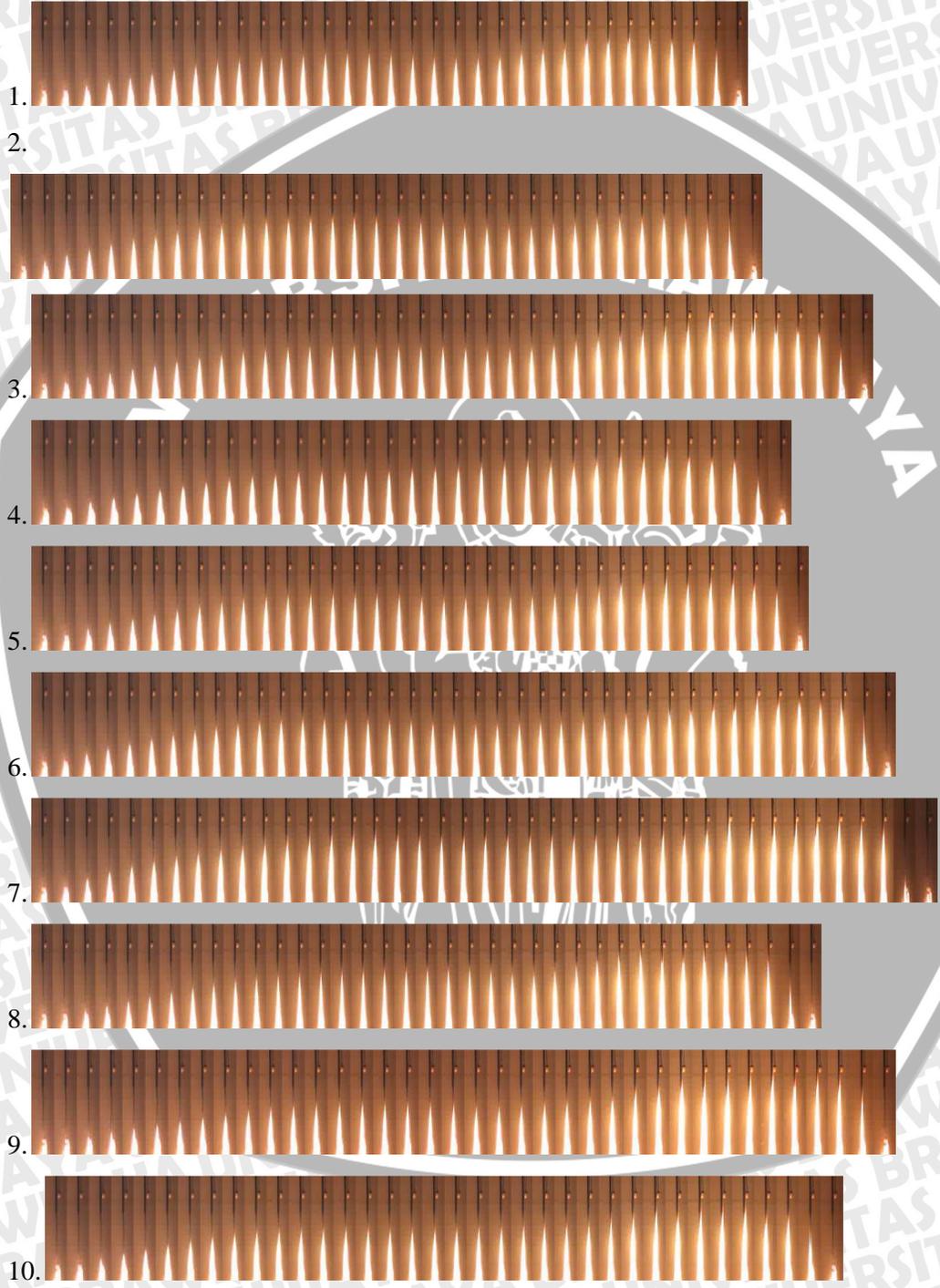
Ket : satuan dalam milimeter (mm)



Lampiran 3. Visualisasi nyala api tanpa pemberian frekuensi dan dengan berbagai pemberian frekuensi gelombang ultrasonik

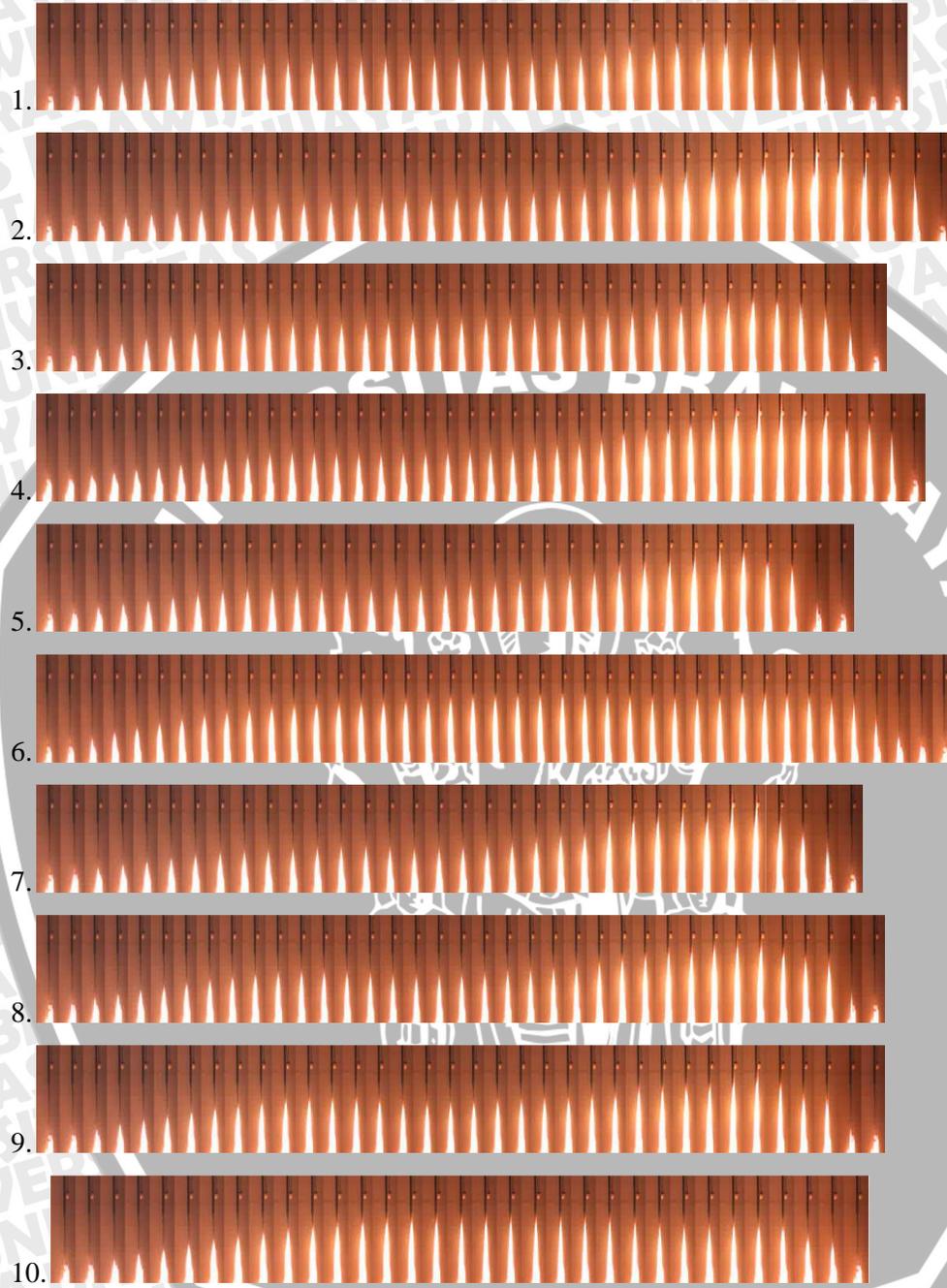
Data tanpa perlakuan

Data 1-10



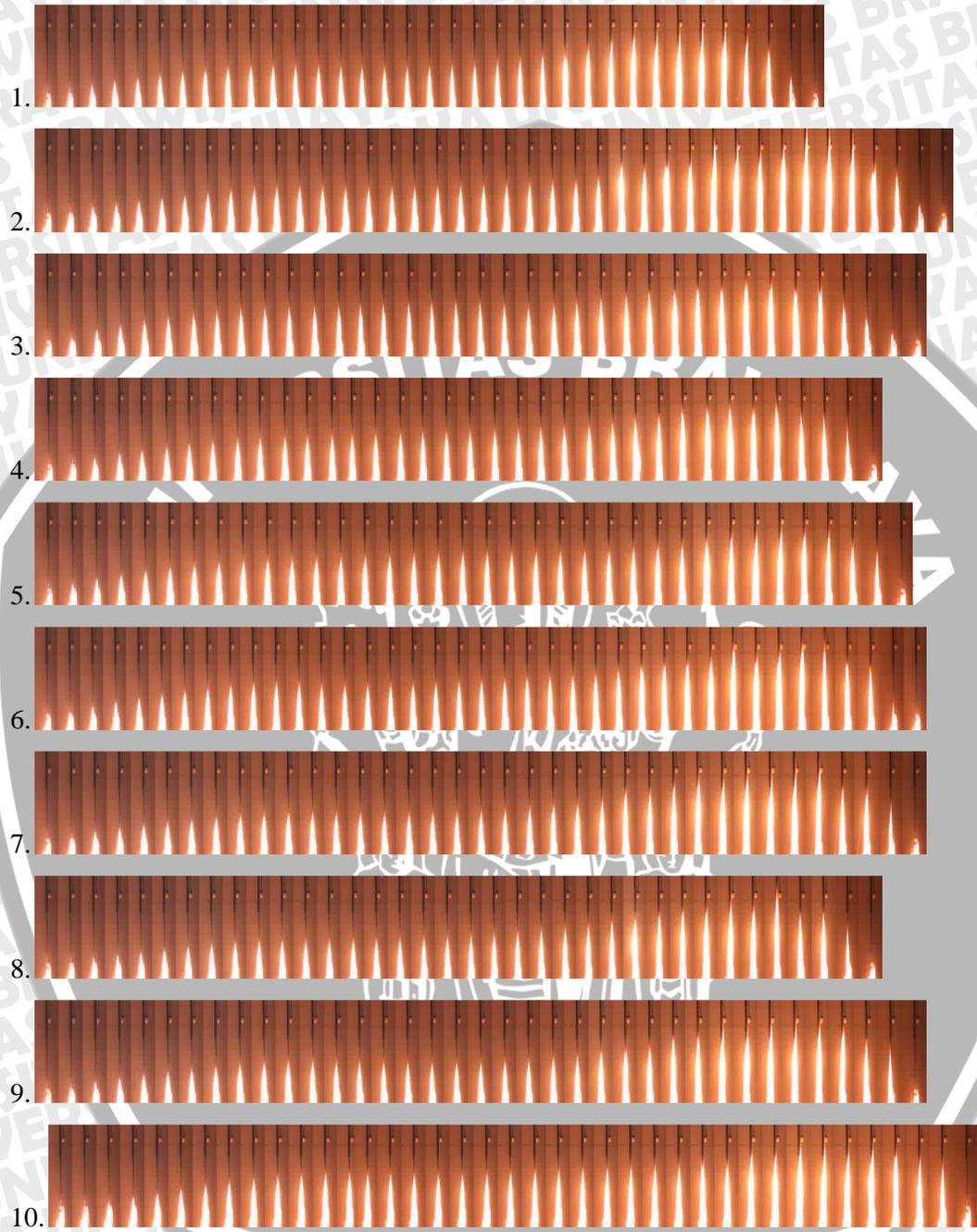
Data 60 KHz

Data 1-10



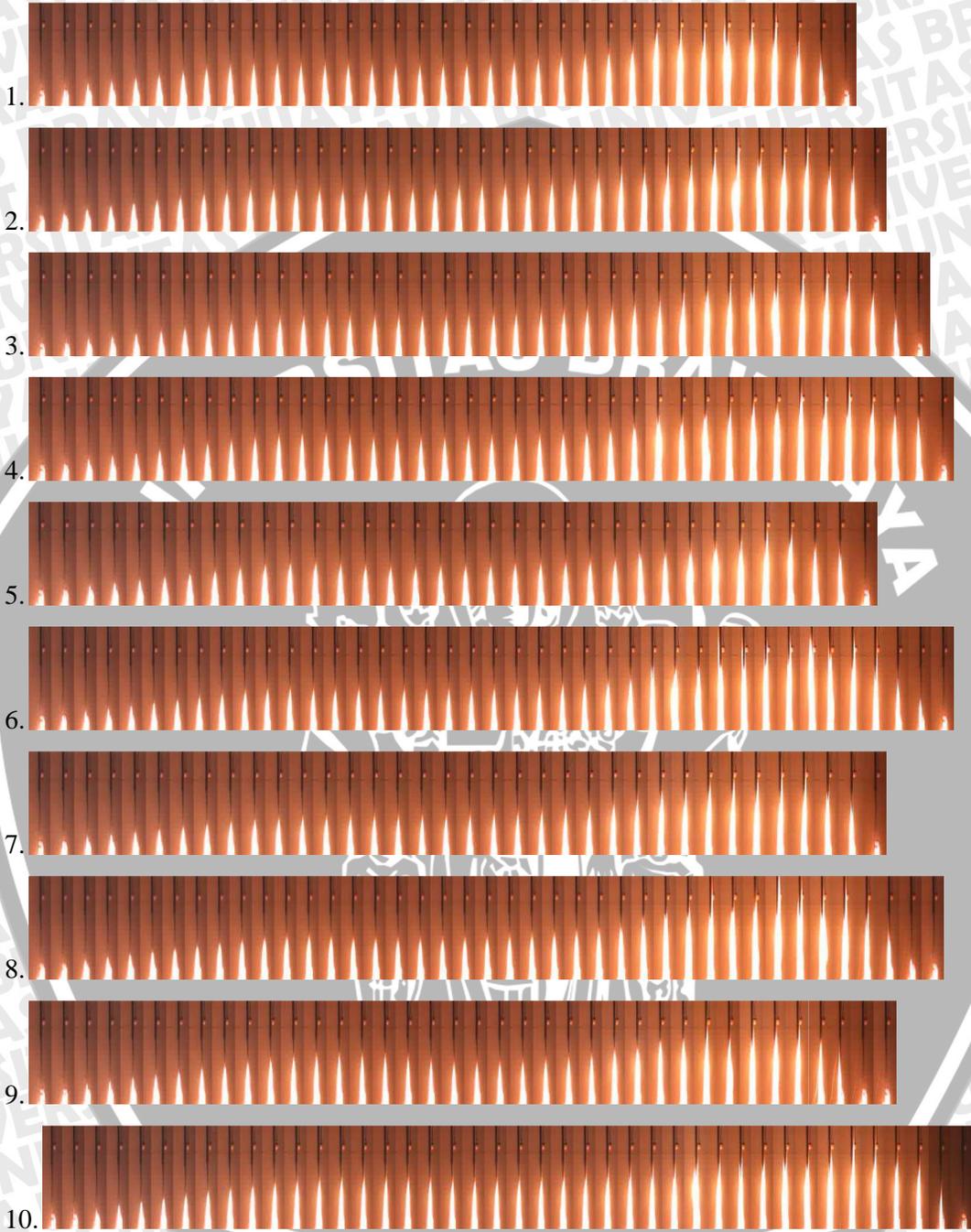
Data 100 KHz

Data 1-10



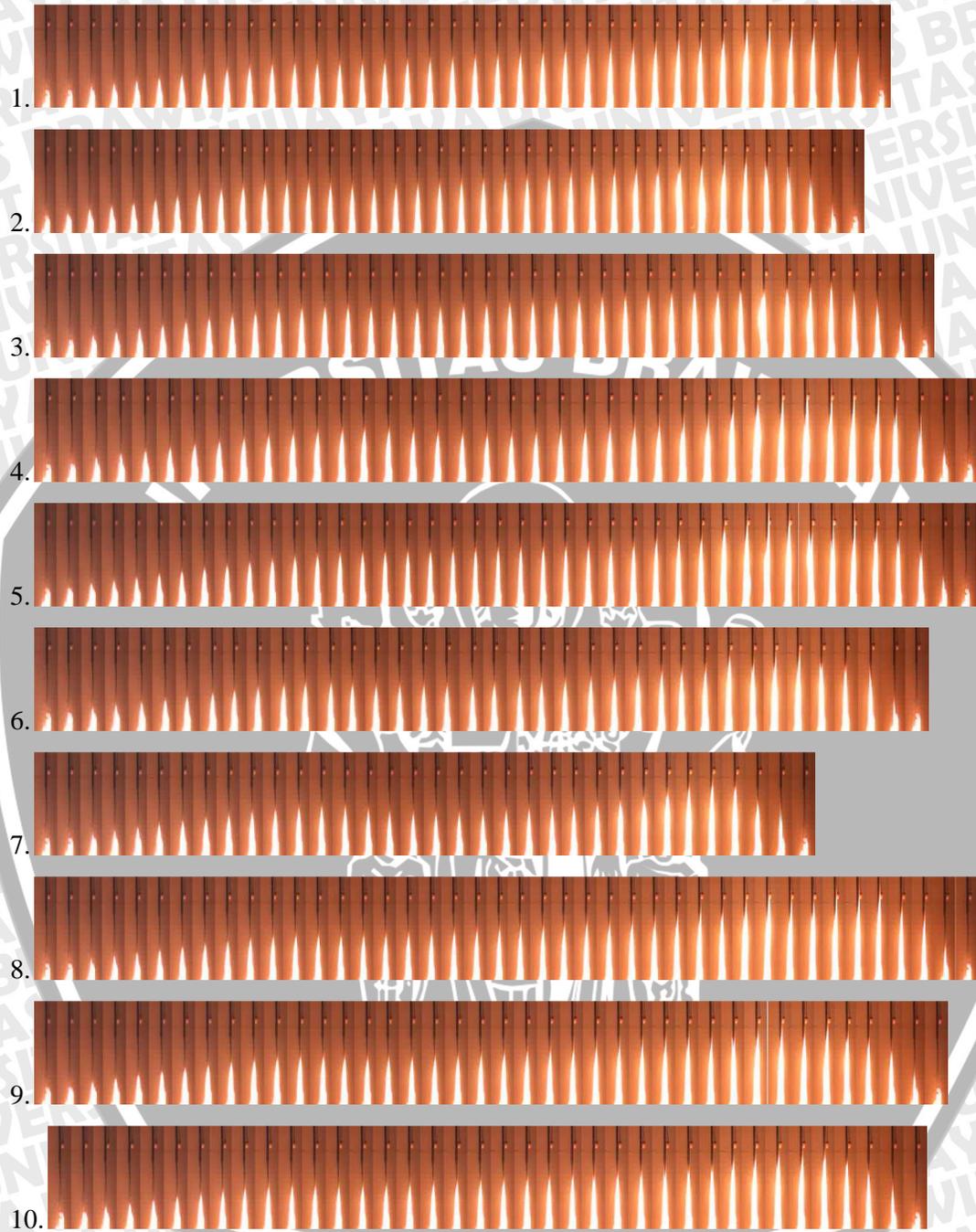
Data 140 KHz

Data 1-10



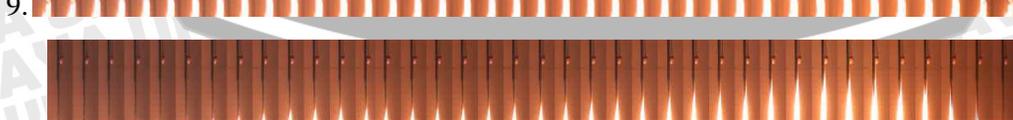
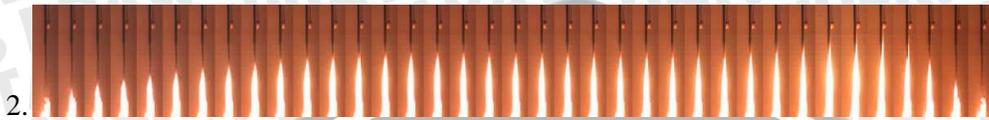
Data 180 KHz

Data 1-10



Data 220 KHz

Data 1-10



Lampiran 4. Data rata-rata temperatur dan waktu penyalan pertama dan kedua pada pembakaran *droplet* minyak kelapa tanpa pengaruh frekuensi dan dengan pengaruh frekuensi gelombang ultrasonic

Tanpa perlakuan

Data	T ignition 1(flash point)(°C)	Ignition delay time 1 (milidetik)	T ignition 2 (°C)	Ignition delay time 2 (milidetik)
1	274	2070	493	2666
2	286	2195	477	2833
3	267	2158	482	2830
4	280	2063	488	2646
5	278	2131	483	2784
6	278	2185	486	2893
7	278	2199	488	2950
8	271	2047	488	2710
9	262	1986	482	2643
10	276	2079	484	2733
<b>Rata-rata</b>	<b>275</b>	<b>2111.3</b>	<b>485.1</b>	<b>2768.8</b>

Pengaruh frekuensi 60 KHz

Data	T ignition 1(flash point)(°C)	Ignition delay time 1 (milidetik)	T ignition 2 (°C)	Ignition delay time 2 (milidetik)
1	277	2158	472	2767
2	273	2149	476	2780
3	283	2131	485	2787
4	252	2126	482	2831
5	272	2037	476	2648
6	276	2109	461	2787
7	277	2135	483	2810
8	275	2142	473	2772
9	270	2125	472	2716
10	276	2000	463	2627
<b>Rata-rata</b>	<b>273.1</b>	<b>2111.2</b>	<b>474.3</b>	<b>2752.5</b>

### Pengaruh frekuensi 100 KHz

Data	T ignition 1 (flash point)(°C)	Ignition delay time 1 (milidetik)	T ignition 2 (°C)	Ignition delay time 2 (milidetik)
1	281	2211	474	2830
2	266	2190	466	2802
3	280	2204	471	2813
4	277	2149	480	2824
5	275	2147	479	2852
6	274	2128	479	2815
7	272	2188	472	2846
8	265	2096	478	2772
9	268	2171	469	2829
10	265	2085	473	2793
Rata-rata	272.3	2156.9	474.1	2817.6

### Pengaruh frekuensi 140 KHz

Data	T ignition 1 (flash point)(°C)	Ignition delay time 1 (milidetik)	T ignition 2 (°C)	Ignition delay time 2 (milidetik)
1	271	2081	472	2683
2	257	2075	471	2747
3	254	1954	480	2647
4	260	2022	476	2713
5	267	1969	481	2579
6	251	2021	465	2667
7	259	1999	478	2668
8	257	2030	468	2667
9	262	2002	464	2662
10	260	2129	467	2889
Rata-rata	259.8	2028.2	472.2	2692.2

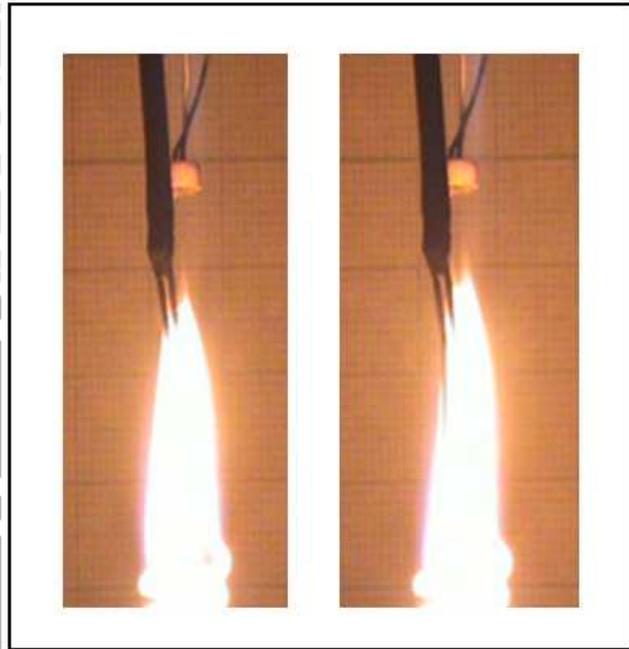
### Pengaruh frekuensi 180 KHz

Data	T ignition 1 (flash point)(°C)	Ignition delay time 1 (milidetik)	T ignition 2 (°C)	Ignition delay time 2 (milidetik)
1	264	1998	469	2639
2	262	1978	466	2635
3	262	2018	463	2698
4	262	2009	463	2665
5	245	1990	457	2690
6	264	1959	472	2603
7	274	1977	482	2563
8	253	2043	468	2782
9	262	2014	471	2722
10	262	1990	467	2663
<b>Rata-rata</b>	261	1997.6	467.8	2666

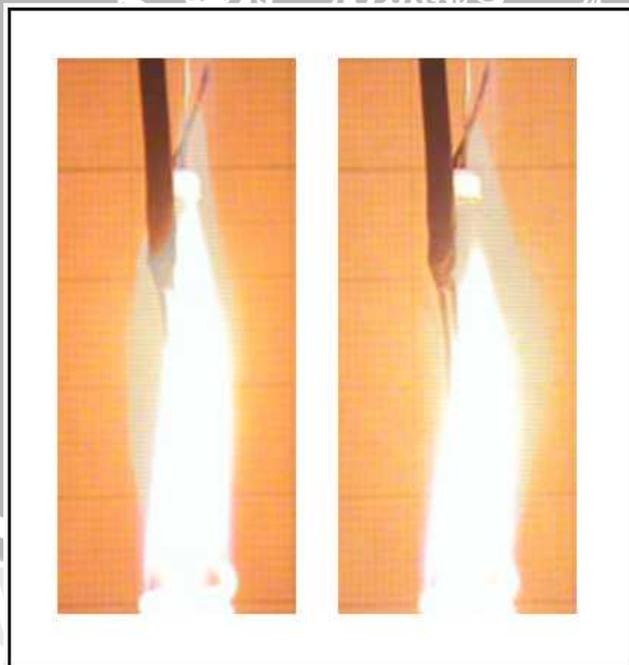
### Pengaruh frekuensi 220 KHz

Data	T ignition 1 (flash point)(°C)	Ignition delay time 1 (milidetik)	T ignition 2 (°C)	Ignition delay time 2 (milidetik)
1	261	1980	466	2615
2	273	2051	455	2679
3	258	2044	465	2705
4	245	2026	465	2786
5	249	2000	462	2702
6	251	2010	462	2706
7	265	2056	462	2759
8	253	2075	463	2776
9	261	2043	466	2727
10	264	2090	465	2737
<b>Rata-rata</b>	258	2037.5	463.1	2719.2

Lampiran 5. Visualisasi api pembakaran tanpa *microexplosion* dan dengan *microexplosion*



Visualisasi api pembakaran tanpa *microexplosion*

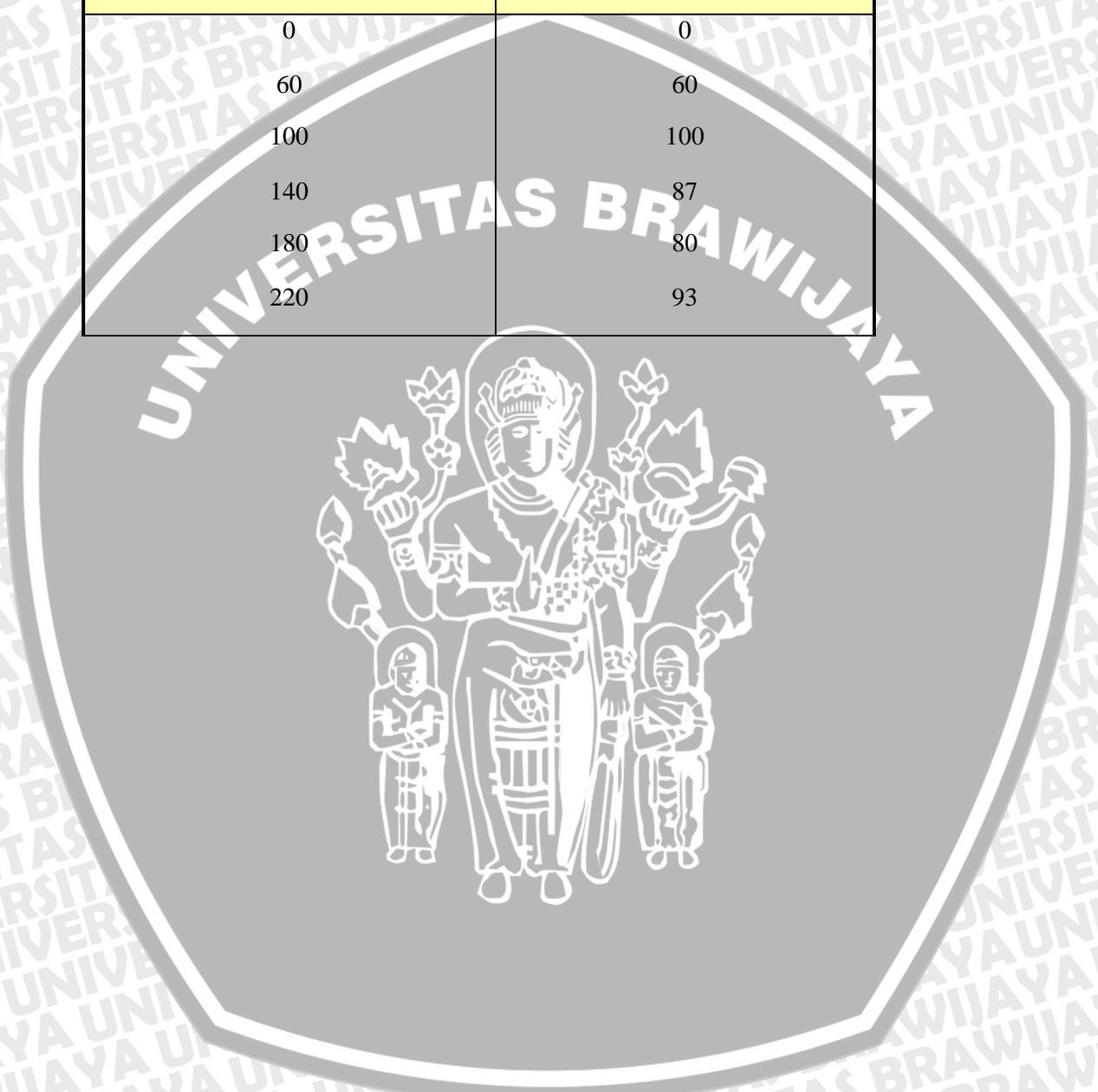


Visualisasi api pembakaran dengan *microexplosion*

Lampiran 6. Data persentase *microexplosion*

Data persentase *microexplosion*

Frekuensi Gelombang Ultrasonik (KHz)	Prosentase <i>Microexplosion</i> (%)
0	0
60	60
100	100
140	87
180	80
220	93



Lampiran 7. Gambar alat penelitian



Gambar perangkat ADC



Gambar sumber elemen pemanas



Gambar alat kontrol dan LDR

