

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

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun oleh :

A RAHMAN PRABOWO
NIM. 0510620002 - 62

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



LEMBAR PERSETUJUAN

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

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun oleh :

A RAHMAN PRABOWO
NIM. 0510620002 - 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 JARAK PAGAR**

**SKRIPSI
KONSENTRASI KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

Disusun oleh :

**A RAHMAN PRABOWO
NIM. 0510620002 - 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 saya ucapkan kehadirat ALLOH SWT atas segala limpahan kasihNya, sehingga skripsi ini 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, MT., 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. Kedua orang tua saya dan keluarga yang telah memberikan dukungan, nasehat dan doa yang sangat berarti sehingga skripsi ini dapat diselesaikan.
6. Rima Oktavia, yang telah banyak memberi banyak dukungan dan semangat untuk menyelesaikan skripsi ini.
7. Teman-teman satu tim Rudik, Bagus, Miko. Keluarga Gajayana 8, Nano, Radit, Hendra, Rizki, Ivan, Saldy, Yuanda, Dika serta teman-teman M'05 dan berbagai pihak yang belum disebutkan penulis yang telah banyak membantu dalam kegiatan seminar dan lain-lain.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis 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.

Malang, 10 September 2009

Penyusun

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2 Minyak Jarak (<i>Jathropa curcas L</i>).....	4
2.3 Energi Disosiasi.....	8
2.4 Gelombang Suara.....	9
2.5 Ultrasonik.....	12
2.6 Microexplosion.....	13
2.7 Pembakaran.....	15
2.8 Pembakaran pada <i>Droplet</i> Minyak Jarak Pagar.....	17
2.9 Karakteristik <i>Microexplosion</i> Pembakaran <i>Droplet</i>	21
2.10 Teori Kinetik Gas.....	23
2.11 Kerangka Pikir Teoritis.....	24
2.12 Hipotesa.....	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Metode Penelitian.....	25
3.2. Variabel Penelitian.....	25
3.3. Alat-alat Penelitian.....	25
3.4. Gambar Instalasi Penelitian.....	30
3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian.....	31

3.6. Diagram Alir Penelitian 34

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil 35

4.2. Pembahasan 35

4.2.1 Hubungan Antara Waktu Pembakaran Terhadap Temperatur
Pembakaran pada Beberapa Variasi Frekuensi Gelombang
Ultrasonik 36

4.2.2 Visualisasi Api *Droplet* Minyak Jarak Pagar Pada Beberapa
Variasi Frekuensi Gelombang Ultrasonik 38

4.2.3 Hubungan Tinggi Api dan Waktu Pembakaran Dengan Berbagai
Variasi Frekuensi Gelombang Ultrasonik 41

4.2.4 Hubungan Lebar Api dan Waktu Pembakaran Dengan Berbagai
Variasi Frekuensi Gelombang Ultrasonik 44

4.2.5 Hubungan Antara Probabilitas Terjadinya Microexplosion
Terhadap Frekuensi Gelombang Ultrasonik 46

4.2.6 Hubungan Antara *Ignition Temperature* Terhadap Frekuensi
Gelombang Ultrasonik 48

4.2.7 Hubungan Antara *Ignition Delay Time* Terhadap Frekuensi
Gelombang Ultrasonik 49

4.2.8 Hubungan Antara *Burning Rate* Terhadap Frekuensi Gelombang
Ultrasonik 51

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan 53

5.2 Saran 53

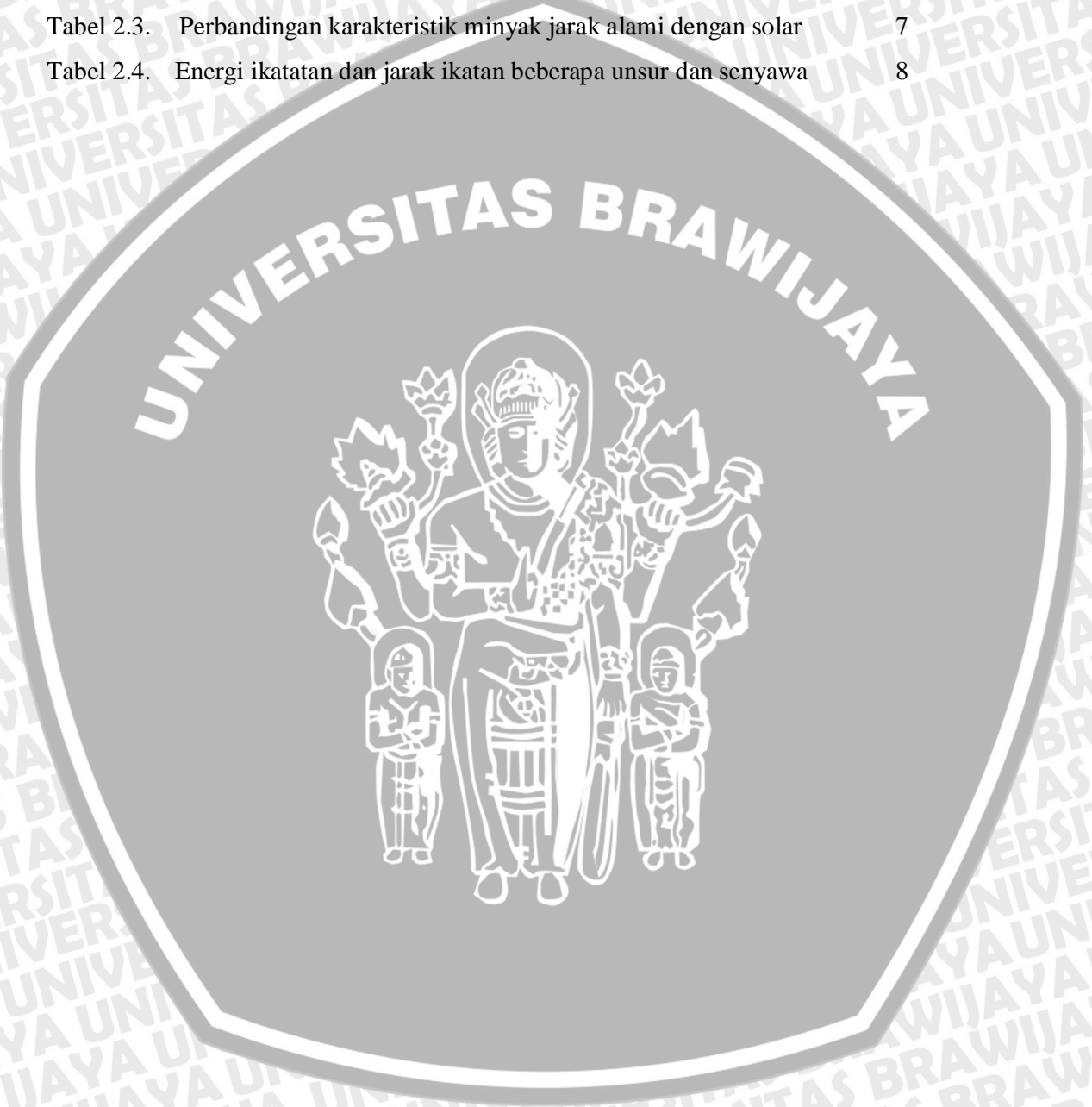
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Sifat Fisik Minyak Jarak Pagar	6
Tabel 2.2.	Analisa kimia minyak jarak (<i>jatropha curcas L</i>)	6
Tabel 2.3.	Perbandingan karakteristik minyak jarak alami dengan solar	7
Tabel 2.4.	Energi ikatan dan jarak ikatan beberapa unsur dan senyawa	8



DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Tanaman jarak pagar	4
Gambar 2.2.	Minyak Jarak Pagar	5
Gambar 2.3.	Rumus struktur kimia minyak jarak pagar (<i>Jatropha Curcas L</i>)	7
Gambar 2.4.	Gelombang Suara	9
Gambar 2.5.	Frekuensi	9
Gambar 2.6.	Amplitudo	10
Gambar 2.7.	Panjang Gelombang	10
Gambar 2.8.	Tingkatan frekuensi gelombang suara	13
Gambar 2.9.	Gambar komposisi cairan <i>droplet</i> dan perubahannya menjadi <i>oil membrane</i>	13
Gambar 2.10	Mekanisme terjadinya <i>microexplosion</i>	14
Gambar 2.11	Perbandingan Pembakaran Tanpa <i>Microexplosion</i> dan dengan <i>Microexplosion</i>	15
Gambar 2.12	Cara reaktan terbakar	16
Gambar 2.13	Pembakaran Difusi pada Minyak Jarak	17
Gambar 2.14	Proses pembakaran <i>droplet</i> pada bahan bakar cair	17
Gambar 2.15	Model nyala api <i>droplet</i>	18
Gambar 2.16	Skema pembakaran <i>droplet</i>	18
Gambar 2.17	Grafik Hubungan Temperatur Pembakaran Dengan Waktu Pembakaran	21
Gambar 2.18	Grafik Hubungan Temperatur Pembakaran Dengan Waktu Pembakaran	22
Gambar 3.1.	Alat pembentuk <i>droplet</i> minyak jarak pagar	26
Gambar 3.2.	Function Generator	28
Gambar 3.3.	Sound Level Meter	29
Gambar 3.4.	Speaker	29
Gambar 3.5.	Amplifier	29
Gambar 3.6.	Rangkaian Alat Uji Penelitian	30
Gambar 3.7.	Alat pembentuk <i>droplet</i> minyak jarak pagar	31

Gambar 3.8.	Layout program penelitian	33
Gambar 3.9	Ruang pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak pagar	33
Gambar 3.10	Diagram Alir penelitian	34
Gambar 4.1.	Grafik hubungan temperatur dan waktu pembakaran pada minyak jarak tanpa perlakuan dan dengan perlakuan	36
Gambar 4.2.	Visualisasi nyala api tanpa pemberian gelombang ultrasonik dan dengan berbagai pemberian gelombang ultrasonik.	40
Gambar 4.3.	Grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran pada minyak jarak tanpa perlakuan	41
Gambar 4.4.	Masing-masing grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran pada minyak jarak dengan perlakuan	42
Gambar 4.5.	Grafik hubungan lebar api dan waktu pembakaran pada minyak jarak tanpa perlakuan	44
Gambar 4.6.	Masing-masing grafik hubungan lebar api dan waktu pembakaran pada minyak jarak dengan perlakuan	45
Gambar 4.7.	Grafik hubungan probabilitas <i>microexplosion</i> antara terhadap frekuensi gelombang ultrasonik	46
Gambar 4.8.	Grafik hubungan antara <i>ignition temperature</i> terhadap frekuensi gelombang ultrasonik.	48
Gambar 4.9.	Grafik hubungan antara <i>ignition delay time</i> terhadap frekuensi gelombang ultrasonik.	49
Gambar 4.10.	Grafik hubungan antara <i>burnig rate</i> terhadap frekuensi gelombang ultrasonik	51

DAFTAR LAMPIRAN

- | No. | Judul |
|------------|--|
| Lampiran 1 | Data <i>Ignition Temperature</i> , <i>Ignition Delay Time</i> , dan <i>Burning Rate</i> |
| Lampiran 2 | Data persentase <i>microexplosion</i> |
| Lampiran 3 | Proses Ekstraksi Minyak Jarak Pagar |
| Lampiran 4 | Gambar Pengukuran diameter <i>droplet</i> |
| Lampiran 5 | Perangkat Penelitian |
| Lampiran 6 | Visualisasi nyala api tanpa pemberian frekuensi dan dengan berbagai pemberian frekuensi gelombang ultrasonik |
| Lampiran 7 | Gambar Nyala Api Droplet Minyak Jarak Pagar |

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan dan Singkatannya	Simbol
Amplitudo	Meter atau m	A
Berat Molekul	Kilogram per mol atau kg/mol	M
Daya	Watt atau W	P
Diameter	Meter atau m	d
Frekuensi	Hz atau Hertz	f
Intensitas gelombang	Watt per meter kuadrat atau W/m^2	I
Kecepatan Suara	Meter per sekon atau m/s	c
Luas permukaan	Meter kuadrat atau m^2	A
Massa	Kilogram atau Kg	m
Massa jenis	Kilogram per meter kubik atau kg/m^3	ρ
Panjang Gelombang	Meter atau m	λ
Panas	Joule atau J	Q
Temperatur	Derajat Celcius atau $^{\circ}C$	T
Waktu	Sekon atau s	t



RINGKASAN

A Rahman Prabowo, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Agustus 2009, *Pengaruh Variasi Frekuensi Gelombang Ultrasonik terhadap Karakteristik Microexplosion Pada Pembakaran Droplet Minyak Jarak Pagar*, Dosen Pembimbing : I.N.G.Wardana.

Dengan menipisnya cadangan bahan bakar fosil saat ini, muncul berbagai pemikiran untuk mengembangkan sumber energi alternatif. Salah satunya adalah pemanfaatan tanaman jarak pagar atau *jatropha curcas linneaus*. Tanaman yang dapat tumbuh di lahan kritis dan tidak membutuhkan banyak air serta pupuk ini ternyata sangat efektif jika buah atau bijinya dikembangkan menjadi biodiesel sebagai energi alternatif pengganti minyak diesel (solar), minyak bakar, bahkan minyak tanah (kerosin). Minyak jarak pagar memiliki sifat yang mendekati karakteristik dari bahan bakar cair khususnya minyak diesel. Hal ini mendorong para peneliti melakukan penelitian terhadap minyak jarak untuk menemukan bahan bakar alternatif sebagai pengganti minyak bumi dengan memberi gelombang ultrasonik pada proses pembakarannya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion* pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar.

Dalam penelitian ini metode yang digunakan adalah *true experimental research*, yaitu dengan membandingkan pembakaran antara minyak jarak pagar tanpa pemberian gelombang ultrasonik dan yang diberi gelombang ultrasonik. Penelitian ini menggunakan variabel bebas berupa variasi frekuensi gelombang ultrasonik dengan besaran 60 kHz, 100 kHz, 140 kHz, 180 kHz, dan 220 kHz. Variabel terikatnya adalah temperatur pembakaran, bentuk nyala api, dan probabilitas *microexplosion*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nyala api dengan gelombang ultrasonik lebih terang dibanding tanpa gelombang ultrasonik. Dari pengamatan terhadap nyala api pembakaran didapatkan bahwa semakin besar frekuensi, maka tinggi dan lebar nyala api cenderung akan semakin meningkat. Pemberian gelombang ultrasonik akan sedikit mempercepat waktu penyalaan (*ignition delay time*) dan menurunkan temperatur penyalaan (*ignition temperature*). Serta untuk probabilitas terjadinya *microexplosion* dengan gelombang ultrasonik akan cenderung meningkat

Kata Kunci : Minyak Jarak, Gelombang ultrasonik, karakteristik pembakaran, *microexplosion*

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Peradaban manusia yang terus berkembang serta kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi mengakibatkan kebutuhan akan sumber energi akan semakin meningkat. Permintaan akan energi yang terus bertambah tidak diiringi dengan penambahan sumber-sumber energi. Sumber energi 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 jarak pagar (*Jatropha Curcas Linn*).

Alasan pemilihan minyak jarak pagar dipakai sebagai bahan bakar alternatif adalah memiliki sifat-sifat yang sesuai untuk bahan bakar, bersifat dapat diperbaharui (renewable), tidak termasuk dalam minyak pangan, gas buang yang dihasilkan sangat ramah lingkungan, serta proses ekstraksi untuk menghasilkan minyaknya relatif mudah dan sederhana.

Gelombang ultrasonik adalah gelombang suara yang dapat digunakan untuk proses kimia dengan frekuensi di atas 20 kHz. Dengan adanya getaran dengan frekuensi yang tinggi dapat dimanfaatkan untuk mengganggu aliran fluida pada sistem pembakaran. Dengan terganggunya kestabilan aliran fluida akan membantu pembentukan turbulensi aliran fluida. Turbulensi sangat diperlukan pada pencampuran bahan bakar dengan udara dalam sistem pembakaran dimana turbulensi dapat dibangkitkan secara mekanik, namun cara ini membawa akibat terjadinya penurunan tekanan (*pressure drop*) yang merupakan kerugian energi.

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. Serta Ahmad Adib R.(2009) menyatakan bahwa *microexplosion* yang terjadi pada pembakaran *droplet* minyak jarak 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 *microexplosion* pada pembakaran minyak jarak yang dipengaruhi gelombang ultrasonik, dan juga bagaimana pengaruh variasi frekuensi gelombang ultrasonik dalam sistem pembakaran. Tentunya dengan harapan mampu meningkatkan efisiensi dari 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* pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar ?

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 jarak kasar CJO (*Crude Jatropha Curcas Oil*) tanpa melalui proses transesterifikasi atau katalisasi lebih lanjut.
2. Kondisi lingkungan dianggap tetap (*steady state*).
3. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi selama proses pembakaran.
4. tidak membahas konstruksi alat.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi frekuensi gelombang ultrasonik terhadap karakteristik *microexplosion* pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar.

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Mampu menerapkan teori-teori yang telah didapat selama perkuliahan terutama mengenai masalah pembakaran.
2. Memberikan masukan tentang penggunaan minyak jarak pagar sebagai bahan bakar alternatif yang dapat diperbaharui (renewable).
3. Dapat dijadikan referensi untuk pengembangan penelitian yang lebih lanjut tentang teknologi penyalaan pada proses pembakaran.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Purnomo (2006) telah melakukan studi tentang kebisingan (gelombang suara) yang sering dijumpai pada operasi suatu mesin pada penyalaan serta bentuk visual api saat penyalaan bahan bakar. Dari penelitian tersebut didapatkan dengan naiknya intensitas kebisingan pada rentang frekuensi tertentu akan mempercepat penyalaan bahan bakar.

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

2.2 Minyak Jarak Pagar (*Jathropa Curcas Linn*)

Minyak jarak merupakan salah satu pengembangan sumber bahan bakar alternatif yang bersifat dapat diperbaharui dan tidak berdampak buruk terhadap kelestarian lingkungan. Minyak jarak adalah minyak nabati yang diperoleh dari ekstraksi biji tanaman jarak. Tanaman jarak pagar merupakan jenis tanaman tahunan yang hidup di daerah tropis maupun subtropis.



Gambar 2.1 Tanaman jarak pagar

Sumber : www.wikipedia.org/Jatropha_curcas.htm

Panen tanaman jarak pagar dapat dilakukan ketika kulit buah sudah berwarna kuning. Buah jarak yang masih berkulit dijemur beberapa hari sehingga kulit akan keluar dari cangkangnya. Proses pembuatan minyak jarak pagar ini tergolong sangat sederhana. Daging buah dan biji tanaman jarak pagar dihancurkan dengan menggunakan mesin blender. Setelah itu, daging buah dan biji yang sudah dihancurkan di masukkan ke dalam mesin press hidrolik. Dengan melakukan penekanan dongkrak hidrolis, ampas diperas hingga menghasilkan minyak. Wujud dari bahan bakar minyak tanaman jarak pagar seperti minyak goreng, baunya tidak mencolok, kental dan licin seperti ditunjukkan gambar 2.2



minyak jarak murni

Gambar 2.2 Minyak Jarak Pagar

Sumber : Hambali, Erliza., Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel, Jakarta, Penebar Swadaya, 2007.

Ada beberapa hal yang melatarbelakangi mengapa minyak jarak (*Jathropa Curcas Linn*) digunakan sebagai bahan bakar alternatif, antara lain:

- Minyak jarak memiliki sifat fisika-kimia yang sesuai dengan minyak diesel.
- Tanaman jarak tidak termasuk minyak pangan.
- Minyak jarak bersifat dapat diperbaharui (*renewable*).
- Tanaman jarak pagar mudah ditemukan karena perkembangbiakannya mudah, tumbuh baik di tanah yang tidak begitu subur, sehingga berpotensi mengubah lahan kritis menjadi lahan yang produktif.

Minyak jarak merupakan minyak yang jika dilihat dari struktur molekulnya mengandung unsur oksigen yang cukup banyak sehingga memungkinkan dalam proses pembakaran yang terjadi akan menjadi lebih sempurna. Sehingga akibatnya gas-gas hasil pembakaran akan lebih ramah terhadap lingkungan. Akan tetapi, nilai kalor yang dimiliki minyak jarak lebih rendah jika dibandingkan dengan minyak diesel. Sehingga

tanpa modifikasi bahan bakar (transesterifikasi) atau mesin terlebih dahulu, minyak jarak tidak bisa langsung digunakan untuk menggantikan minyak diesel.

Sifat dan karakteristik minyak jarak (*Jatropha curcas L*) dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 2.1 Sifat Fisik Minyak Jarak Pagar

Sifat Fisik	Satuan	Nilai
Titik nyala (<i>Flash point</i>)	°C	236
Densitas pada 15° C (<i>Density at 15° C</i>)	g/cm ³	0,9177
Viskositas pada 30° C (<i>Viscosity at 30° C</i>)	mm ² /s	49,15
Residu karbon (<i>Carbon residue (on 10% distillation residue)</i>)	%(m/m)	0,34
Kadar abu sulfat (<i>Sulfated ash content</i>)	%(m/m)	0,007
Titik tuang (<i>Pour point</i>)	°C	-2,5
Kadar air (<i>Water content</i>)	Ppm	935
Kadar sulfur (<i>Sulfur content</i>)	Ppm	<1
Bilangan asam (<i>Acid value</i>)	mg KOH/g	4,75
Bilangan iod (<i>Iodine value</i>)	g iod/100 g minyak	96,5

Sumber : Hambali, Erliza., Jarak Pagar Tanaman Penghasil Biodiesel, Jakarta, Penebar Swadaya, 2007

Tabel 2.2 Analisa kimia dari minyak *Jatropha curcas L*.

ITEM	VALUE
Acid value	38.2
Saponification value	195.0
Iodine value	101.7
Viscosity (31°C) cp	40.4
Fatty acids composition	
Palmitic acid %	4.2
Stearic acid %	6.9
Oleic acid %	43.1
Linoleic acid %	34.3
Other acids %	1.4

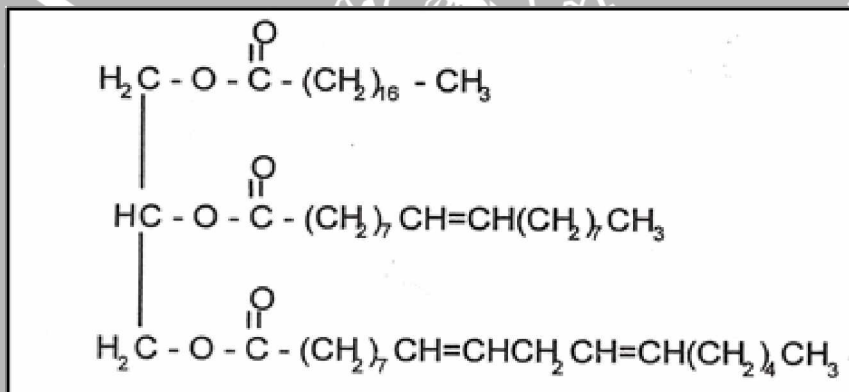
Sumber: www.svlele.com/jatrophaplant.htm

Tabel 2.3 Perbandingan karakteristik minyak jarak alami dengan solar

Parameter	Minyak Jarak	Solar
Densitas 15° (g/m ³)	0,92	0,85
Viscositas 30°C (cst)	52,6	3,6
Bilangan setana	51	48
Flash point (°C)	340	80
Nilai kalor (kcal/kg)	9,47	10,17
Karbon (C) per molekul	16 – 18	8 - 10

Sumber: Rama Prihandana, *Budidaya Jarak Pagar*(2006:57)

Adapun rumus struktur kimia minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) adalah:



Gambar 2.3 Rumus struktur kimia minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*)

Sumber : Bio-technology Research Center, ITB

Dari rumus struktur kimia minyak jarak (*Jatropha Curcas L*) pada gambar di atas terlihat bahwa terdapat rantai yang panjang. Rantai yang panjang tersebut menyebabkan atom-atom yang dimilikinya stabil, hal ini berarti minyak jarak akan lebih sulit untuk terbakar dan dibutuhkan energi yang besar untuk memutuskan rantai-rantai tersebut. Dalam struktur kimia minyak jarak tersebut terdapat juga ikatan ganda yang mempunyai energi disosiasi lebih besar daripada ikatan tunggal. Sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskan ikatan-ikatan atomnya.

2.3 Energi Disosiasi

Energi disosiasi ikatan didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan kimia suatu zat dalam fase gas. Satuan SI (standart 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 antar atom-atom, yaitu ikatan ganda dua yang ikatannya lebih kuat dibandingkan dengan ikatan tunggal dan ikatan ganda tiga yang ikatannya lebih kuat dibandingkan dengan ikatan ganda dua. Selain itu terdapat hubungan antara energi disosiasi ikatan dan jarak ikatan, yaitu jarak antara inti dari atom-atom yang berikatan. Dimana semakin pendek jarak ikatannya, semakin kuat suatu ikatan kimia tersebut. Adapun data dari energi ikatan dan jarak ikatan untuk sejumlah ikatan kimia ditunjukkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2.4 Energi ikatan dan jarak ikatan beberapa unsur dan senyawa

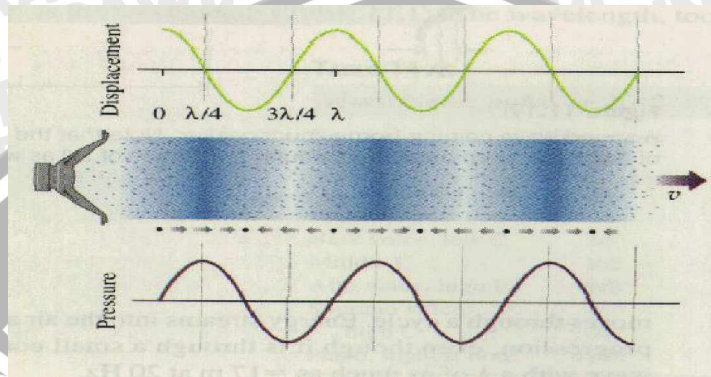
Ikatan	Energi ikatan, kJ/mol	Jarak ikatan		Ikatan	Energi ikatan kJ/mol	Jarak ikatan	
		Å	pm			Å	pm
H—H	435	0,74	74	C—O	360	1,43	143
H—C	414	1,10	110	C=O	736	1,23	123
H—N	389	1,00	100	C—Cl	326	1,77	177
H—O	464	0,97	97	N—N	163	1,45	145
H—F	565	1,01	101	N=N	418	1,23	123
H—Cl	431	1,36	136	N≡N	946	1,09	109
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: Petrucci, *Kimia Dasar*, (1996:293)

Dengan adanya ikatan yang panjang dan ikatan rangkap pada struktur kimia minyak jarak, diperlukan sejumlah energi dari luar yang dapat membantu energi panas untuk memutuskan ikatan-ikatan kimia tersebut, sehingga proses pembakaran terjadi lebih cepat. Dengan memberikan gelombang ultrasonik pada bahan bakar diharapkan dapat mempengaruhi ikatan kimia antar atom, sehingga ikatannya menjadi lemah.

2.4 Gelombang Suara

Gelombang suara merupakan sebuah gelombang longitudinal yang terjadi karena perapatan dan perengangan dalam medium gas, cair dan padat (Tipler, 1991:505). Gelombang itu dihasilkan ketika sebuah benda yang digetarkan akan menyebabkan gangguan kerapatan suatu medium.



Gambar 2.4 Gelombang Suara

Sumber : 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).



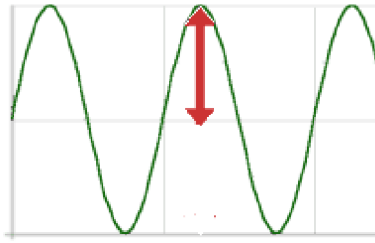
Gambar 2.5 Frekuensi

Sumber : www.mediacollage/sound_wave_properties

2. Amplitudo (A)

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

Amplitude

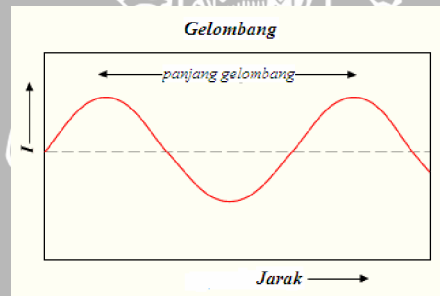


Gambar 2.6 Amplitudo

Sumber : www.mediacollage/sound_wave_properties

3. Panjang gelombang (λ)

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



Gambar 2.7 Panjang gelombang

Sumber : www.wikipedia.org/panjang_gelombang.jpg

4. Periode (P)

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

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 :

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

dimana:

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

E = Energi rata-rata (J)

t = Waktu (s)

A = Luas permukaan yang tegak lurus arah rambatan (m^2)

P = Daya rata-rata (Watt)

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 (ms^{-1})

γ = Rasio kapasitas panas

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

T = Temperatur medium (K)

M = Berat molekul (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:

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

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

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 (Wm^{-2})

λ = Panjang gelombang (m)

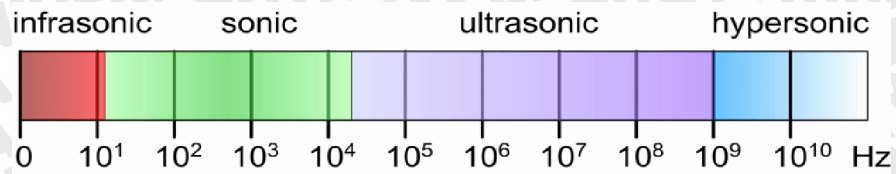
ρ = Massa jenis gas (kg m^{-3})

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.

2.5 Ultrasonik

Ultrasonik adalah suara atau getaran dengan frekuensi yang terlalu tinggi untuk bisa didengar oleh telinga manusia, yaitu di atas 20 kiloHertz (kHz), sedangkan suara yang dapat didengar oleh telinga manusia mempunyai rentang frekuensi antara 16 Hz sampai 18 kHz. Hanya beberapa hewan, seperti lumba-lumba menggunakan ultrasonik untuk komunikasi, sedangkan kelelawar menggunakannya 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 adalah tidak dapat didengar, dan mudah difokuskan. Tingkatan dari frekuensi gelombang suara dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



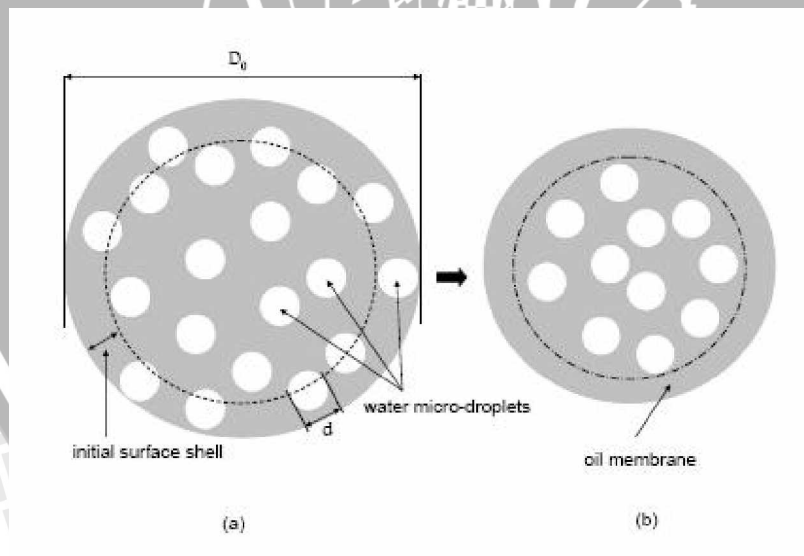
Gambar 2.8 Tingkatan frekuensi gelombang suara

Sumber : www.wikipedia.org/calculator-wavelength.htm

2.6 Microexplosion

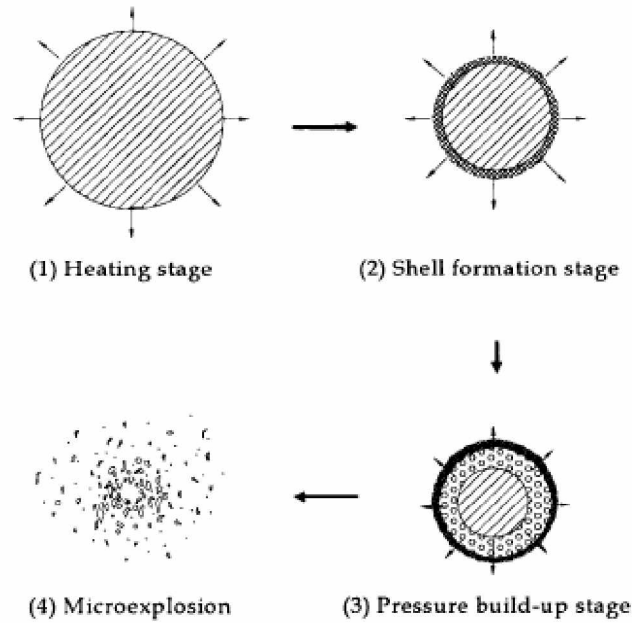
Microexplosion sering juga disebut sebagai *secondary evaporation* yang membantu mempercepat penguapan bahan bakar dan cukup kuat memecahkan *droplet* menjadi butiran-butiran kecil sehingga meningkatkan kualitas campuran bahan bakar dan udara. Dengan lebih sempurnanya pembakaran, maka emisi nitrogen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



Gambar 2.10 Mekanisme terjadinya *microexplosion*
 Sumber : www.elsevier.com

Proses terjadinya *microexplosion* memiliki 4 tahapan, yaitu :

1. *Heating stage* (tahap pemanasan)

Heating stage adalah proses pemanasan hingga *droplet* mendekati titik didih. Pada proses ini terjadi homogenisasi pada masing-masing komponen penyusun *droplet*. Komponen yang memiliki titik didih lebih tinggi bergerak menuju permukaan *droplet* dan yang memiliki titik didih rendah berkumpul di sekitar inti *droplet*.

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

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

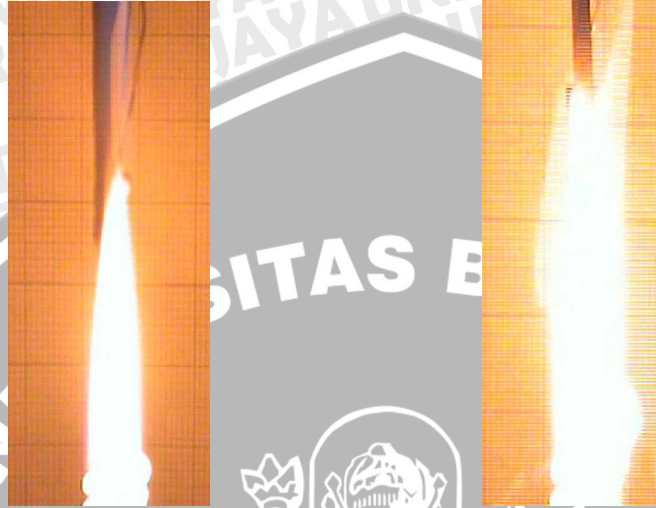
3. *Pressure build-up stage* (tahap meningkatnya tekanan)

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

4. *Microexplosion*

Tekanan yang diberikan pada lapisan permukaan semakin kuat hingga lapisan permukaan tidak mampu lagi menahan tekanan tersebut hingga terjadilah

microexplosion yang memecah *droplet* menjadi butiran-butiran kecil. Dengan ukuran butiran yang kecil maka laju penguapan semakin cepat. adapun perbedaan antara pembakaran tanpa *microexplosion* dan dengan *microexplosion* dapat dilihat pada gambar di bawah ini:

Tanpa *Microexplosion*Dengan *Microexplosion*

Gambar 2.11 Perbandingan Pembakaran Tanpa *Microexplosion* dan dengan *Microexplosion*

2.7 Pembakaran

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

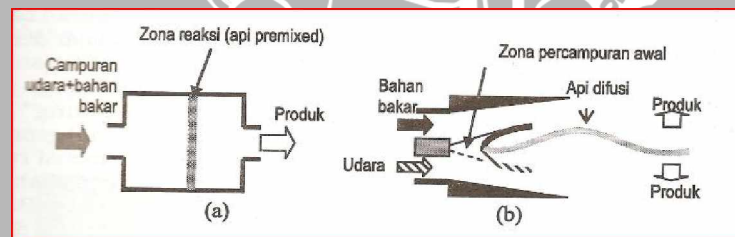
Pada proses pembakaran terdapat dua peristiwa utama yang terjadi, yaitu:

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

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

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

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



Gambar: 2.12 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).

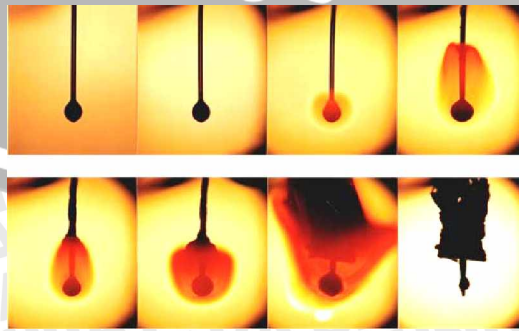
2.8 Pembakaran Droplet Minyak Jarak Pagar

Pembakaran yang baik untuk bahan bakar cair seperti minyak jarak akan terjadi apabila bahan bakar cair tersebut berupa tetesan atau butiran yang kecil. Dengan bentuk yang kecil ini, bahan bakar cair tersebut akan mudah menguap sebelum terbakar. Bahan bakar cair yang dimasukkan ke dalam ruang bakar berbentuk kabut yang terdiri dari banyak butir-butir cairan yang disebut *droplet*. Karakteristik pembakaran bahan bakar cair merupakan karakteristik pembakaran tiap-tiap *droplet*. Oleh karena itu karakteristik pembakaran minyak jarak dapat diketahui dengan melakukan penelitian pada satu buah *droplet*. Penelitian dengan mengamati *droplet* akan dapat menyederhanakan permasalahan dan dapat diterima sesuai dengan perlakuan secara teori. Contoh pembakaran difusi minyak jarak dapat dilihat pada gambar 2.13.



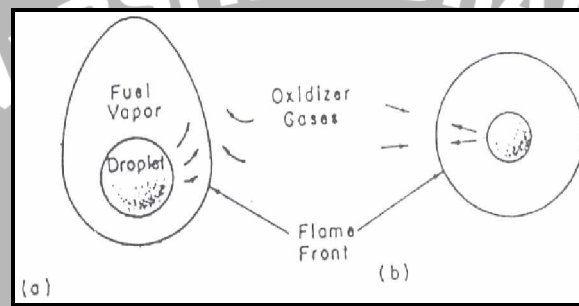
Gambar 2.13 Pembakaran Difusi pada Minyak Jarak
Sumber : <http://jatropa.org/lamps/binga-lamp-bagani-2.jpg>

Pembakaran *droplet* bahan bakar cair terjadi dengan proses oksidasi di atmosfer, dimana proses penguapan akan dimulai dari permukaan dan berdifusi ke permukaan nyala api (*flame front*). Dan oksigen akan bergerak dan berdifusi dari lingkungan sekeliling menuju ke permukaan nyala api. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.14 di bawah ini:



Gambar 2.14 Proses pembakaran *droplet* pada bahan bakar cair
Sumber : <http://www.nmri.go.jp/>

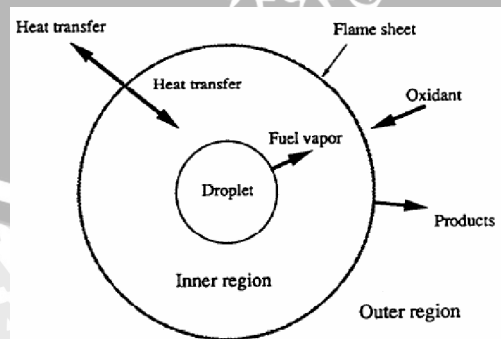
Proses pembakaran *droplet* minyak jarak pada udara atmosfer diawali dengan proses penguapan mulai dari permukaan cairan kemudian diikuti oleh proses difusi ke permukaan nyala api atau *flame front*, sementara oksigen bergerak dari lingkungan sekeliling ke permukaan nyala. Bentuk dari selimut nyala api yang dihasilkan bisa *spherical* atau *non-spherical* (gambar 2.15). Nyala api *non-spherical* lebih disebabkan oleh pergerakan relatif (*relative motion*) antara udara sekitar dengan *droplet* dan juga karena pengaruh proses konveksi. Bila ukuran *droplet* dibuat sangat kecil, *droplet* dapat ditahan dengan mudah oleh udara sekitar dan kecepatan relatif antara *droplet* dengan udara sekitar menjadi rendah sehingga nyala api yang dihasilkan akan mendekati *spherical*.



Gambar 2.15 Model nyala api *droplet*: (a) *non-spherical* (b) *spherical*
 Sumber : Kuo, *Principle of Combustion*, 1986: 371

Laju evaporasi dan pembakaran *droplet* secara umum ditentukan oleh laju perpindahan panas dari permukaan nyala (*flame front*) ke permukaan *droplet* bahan bakar. Dalam tinjauan mengenai nyala api difusi, proses kimia diasumsikan berjalan sangat cepat sehingga laju pembakaran *droplet* hanya ditentukan oleh transfer massa dan panas.

Pada gambar 2.16 ditunjukkan gambar skema pembakaran *droplet*.



Gambar 2.16 Skema pembakaran *droplet*
 Sumber : Jiann C Yang., 1993., *Heterogeneous Combustion.*, National Institute of Standards and Technology Maryland

Pada 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 dibawah ini:

$$Q = \Delta h_v + C_{liq}(T_s - T_0) \quad (\text{Kuo, 1986: 373}) \quad (2-8)$$

dimana :

Q = energi total penguapan (kJ/kg)

Δh_v = kalor laten (kJ/kg)

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

T_s = temperatur permukaan *droplet* (°C)

T_0 = temperatur awal *droplet* (°C)

Di dalam proses pembakaran *droplet* minyak jarak, energi panas dari luar digunakan untuk memutuskan ikatan molekul hidrokarbon yang terkandung dalam *droplet* minyak jarak tersebut. Sehingga akan mudah teroksidasi oleh udara (oksigen) dari luar. Temperatur yang tinggi akan menyebabkan transfer panas dari nyala api menuju permukaan *droplet* berlangsung semakin cepat sehingga laju penguapan (*evaporation*) dari *droplet* meningkat.

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 " d^2 " yang merupakan hukum evaporasi *droplet*. Secara eksperimental dituliskan sebagai berikut:

$$d^2 = d_0^2 - \beta_v \cdot t \quad (\text{Kuo, 1986: 372}) \quad (2-9)$$

maka:

$$\beta_v = \frac{d_0^2 - d^2}{t} \quad (\text{Kuo, 1986: 372}) \quad (2-10)$$

dimana:

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

d_0 = diameter awal *droplet* (mm)

β_v = koefisien evaporasi

t = waktu (detik)

Rumus-rumus diatas menyatakan bahwa perubahan diameter *droplet* akan semakin mengecil seiring dengan berjalannya waktu karena menguapnya sebagian massa *droplet* sebagai akibat terjadinya perpindahan panas yang merubah fase *droplet* dari cair menjadi uap yang terbakar.

- **Laju evaporasi bahan bakar**

Laju evaporasi bahan bakar merupakan pengembangan dari hukum " d^2 " dan persamaan kontinuitas yang dituliskan dalam persamaan berikut:

$$v_{FE} = \frac{2 D_s \ln(1+B)}{d_0} \quad (\text{Kuo,1986: 376}) \quad (2-11)$$

dimana :

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

D = difusivitas massa (m^2/s)

B = *transfer number*

d_0 = diameter *droplet* (mm)

- **Laju pembakaran massa**

Pada pembakaran *droplet* bahan bakar, ukuran *droplet* mengecil sejalan dengan penambahan 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)

ρ_L = massa jenis bahan bakar (kg/m^3)

d_0 = diameter awal *droplet* (mm)

Dari persamaan-persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan *droplet* bahan bakar akan semakin singkat, kemudian laju evaporasi serta laju pembakaran massa *droplet* semakin besar jika :

- Ø Difusivitas massa tinggi
- Ø Diameter awal *droplet* kecil, dan
- Ø *Transfer massa* bahan bakar besar

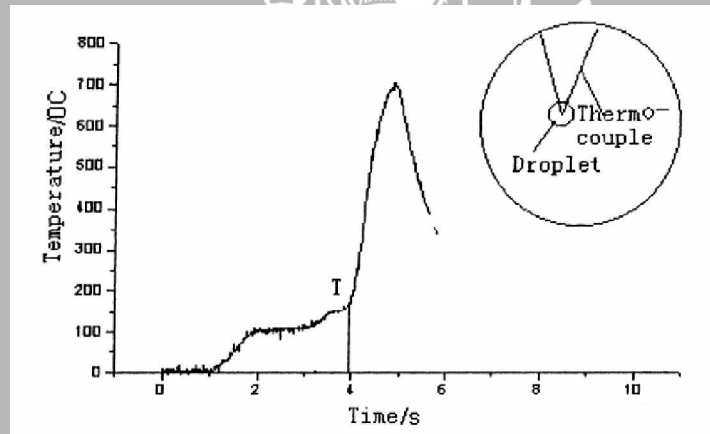
Pada proses pembakaran minyak jarak dibutuhkan energi panas dari luar untuk memutuskan ikatan-ikatan kimia antar atom pada minyak jarak. Dan dengan adanya gelombang ultrasonik akan memberikan energi tambahan untuk memutuskan ikatan-ikatan kimia, sehingga kecepatan penguapan minyak jarak akan meningkat. Apabila *droplet* semakin cepat menguap maka akan semakin mudah bereaksi dengan oksigen, dengan demikian proses pembakaran akan semakin baik.

2.9 Karakteristik *Microexplosion* Pembakaran *Droplet*

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

1. *Ignition Delay time*

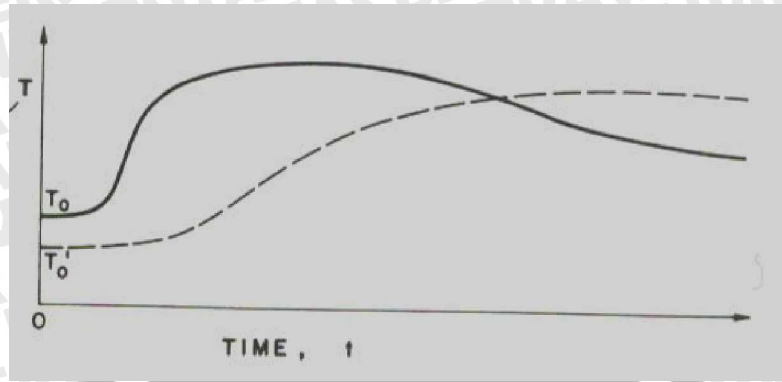
Pada penelitian ini yang dimaksud dengan *ignition delay time* adalah waktu yang diperlukan untuk memanaskan *droplet* sampai *droplet* mulai terbakar. (Wang, 2002:3). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.17



Gambar 2.17 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 2.18



Gambar 2.18 Grafik 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* (β_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. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.12.

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

2.10 Teori Kinetik Gas

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

Adapun rumus yang berkaitan dengan teori kinetika gas adalah :

$$\frac{3}{2} kT = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{Halliday 1988: 253}) \quad (2-13)$$

dimana:

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

v = kecepatan reaksi (m/s)

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

m = massa zat yang bereaksi (kg)

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

Dalam proses pembakaran *droplet* minyak jarak, 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.

2.11 Kerangka Pemikiran Teoritis

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 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 jarak tersebut sehingga semakin meningkatnya reaksi pembakaran *droplet* yang menyebabkan semakin besar peluang terjadinya *microexplosion*.

2.12 Hipotesa

Semakin besar frekuensi gelombang ultrasonik maka temperatur bahan bakar akan meningkat dan kecepatan pembakaran juga semakin tinggi selain itu juga akan melemahkan ikatan antar atom dari minyak jarak yang mengakibatkan semakin cepat reaksi kimia pembakaran sehingga semakin besar peluang terjadinya proses *microexplosion*.

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 terjadinya *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 jarak pagar yang diperoleh dari proses ekstraksi hidrolis biji jarak pagar .

2. Alat pembentuk *droplet* minyak jarak pagar

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



Gambar 3.1 Alat pembentuk *droplet* minyak jarak pagar

Alat ini terdiri dari :

- Alat pengatur volume *droplet*
 Spesifikasi : - Merk : Novo Nordisk
 - Buatan : Denmark
- Suntikan penampung biodiesel minyak jarak pagar
 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 Ω

7. *Thermocouple*.

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

Alat ini berfungsi untuk membaca perubahan temperatur pembakaran dari minyak jarak pagar 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*).

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*

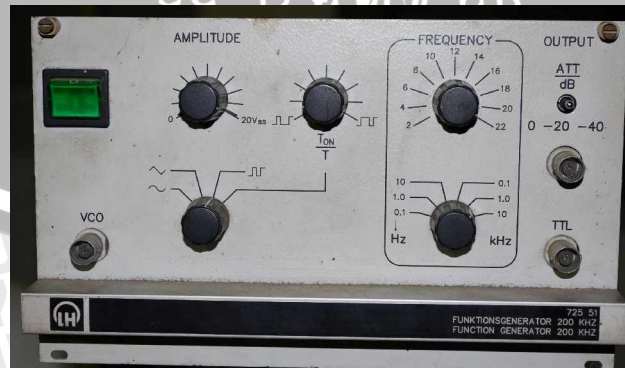
Digunakan untuk merekam proses terjadinya nyala api selama proses pembakaran berlangsung.

- 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 *Speaker*.

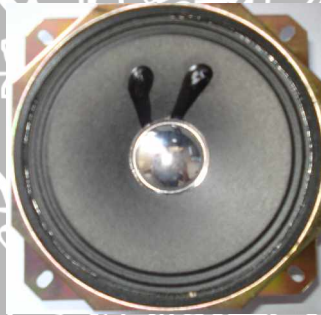
- Spesifikasi :
- Merk : REED
 - Type : ST8850
 - Jangkauan : 31,5 Hz sampai 8 kHz



Gambar 3.3 *Sound Level Meter*

14. *Speaker*

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



Gambar 3.4 *Speaker*

15. *Amplifier*

Digunakan untuk menguatkan gelombang suara.

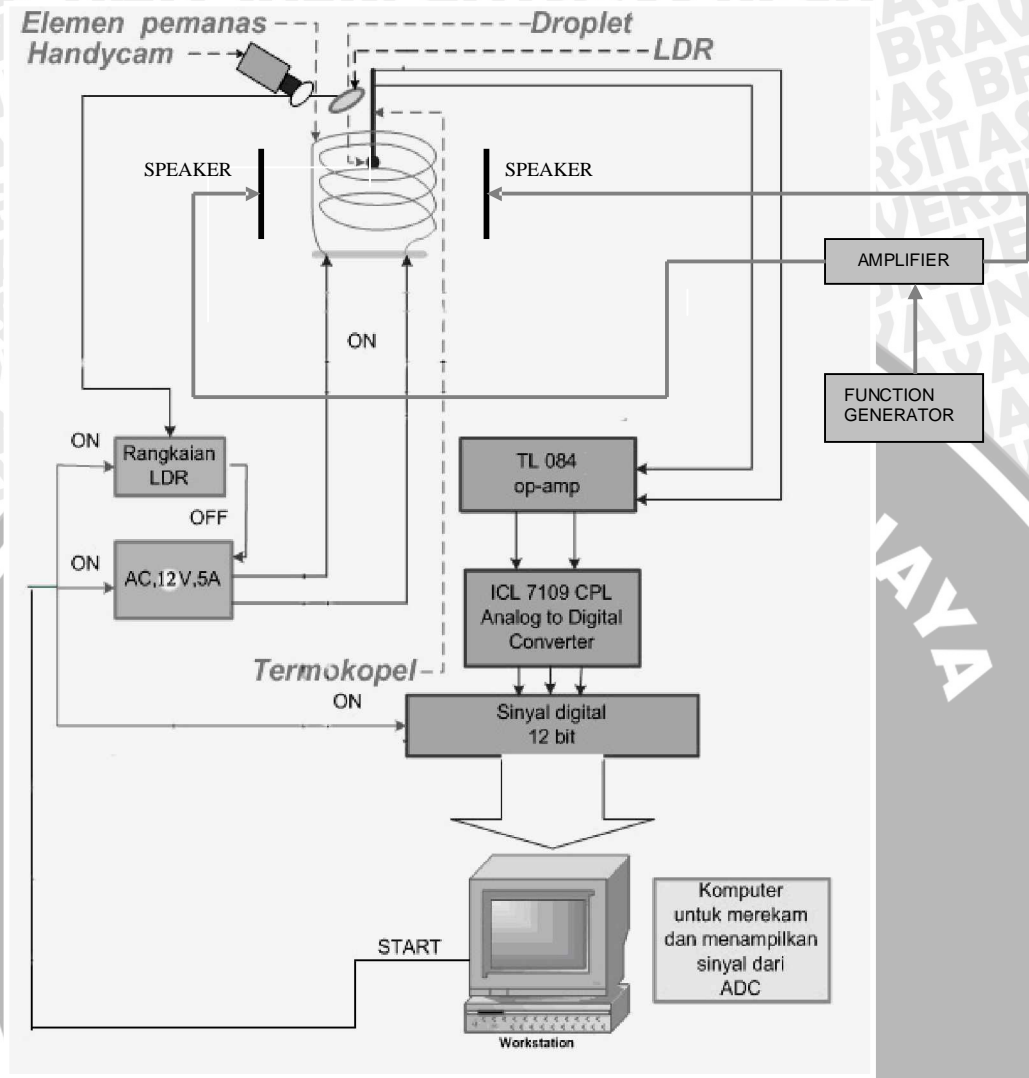
- Spesifikasi :
- Merk : AIVEN
 - Daya : 18 Watt



Gambar 3.5 *Amplifier*



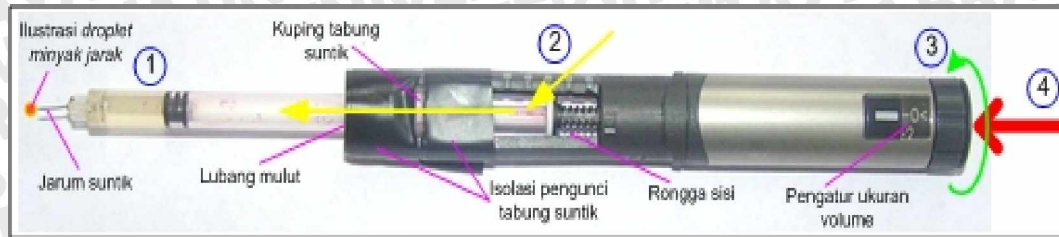
3.4. Gambar Instalasi Penelitian



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 jarak pagar

✓ Prosedur rangkaian menghasilkan gelombang ultrasonik

1. Pasang 2 *speaker* di dalam ruang bakar di antara ujung termokopel.
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.

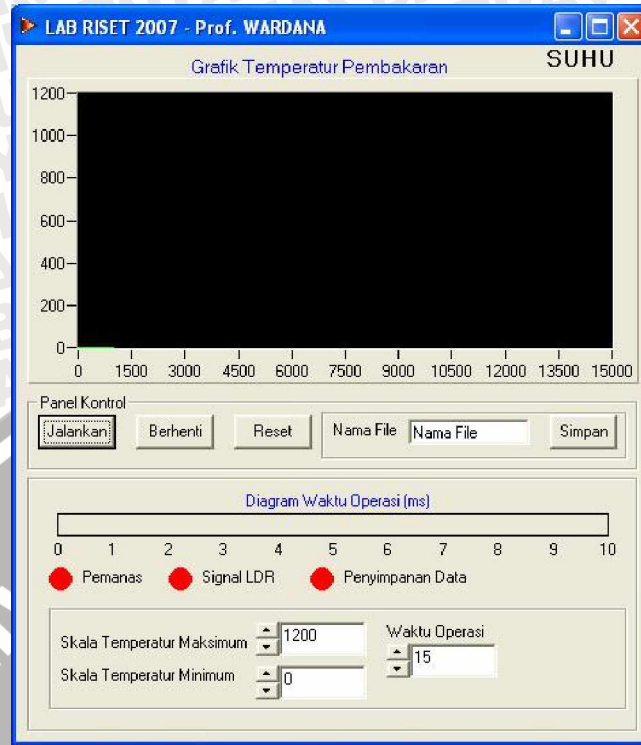
✓ Prosedur pembuatan *droplet* minyak jarak pagar

1. Minyak jarak pagar yang diperoleh dari proses ekstraksi hidrolis biji jarak pagar, dimasukkan kedalam tabung suntik sampai kurang lebih setengah dari panjang tabung suntik.
2. Tabung suntik yang berisi minyak jarak pagar 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 jarak pagar 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 jarak pagar yang berada dalam tabung suntik. Selanjutnya minyak jarak pagar akan keluar melalui jarum suntik dan

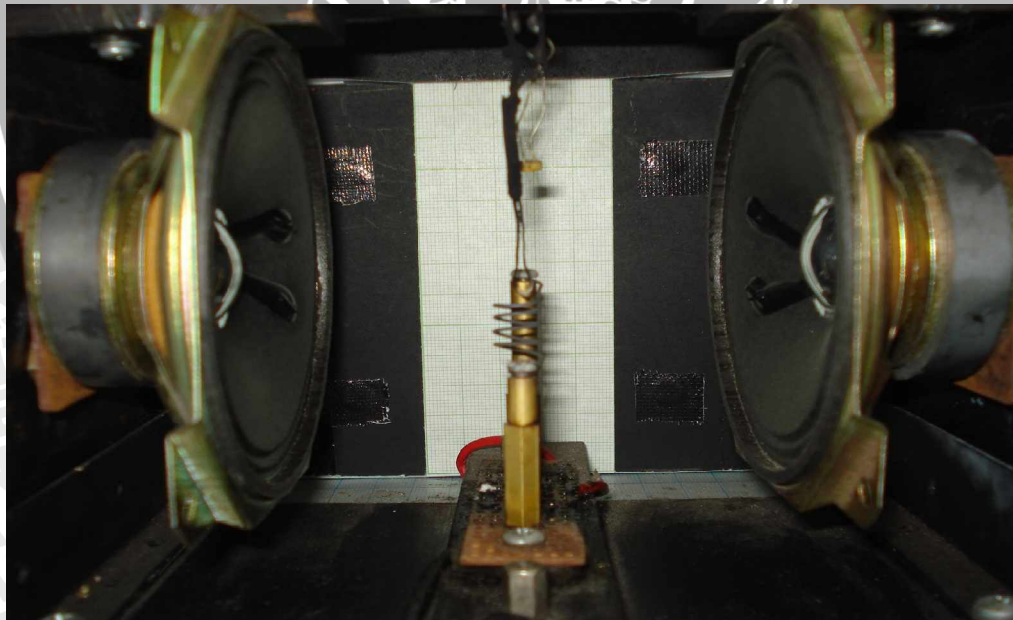
membentuk *droplet* diujung jarum suntik sesuai volume dengan diameter yang dikehendaki.

✓ Prosedur rangkaian pengambilan data

1. Setting semua peralatan penelitian sesuai dengan prosedur penelitian yang dilakukan.
2. Bahan bakar yang berupa *droplet* minyak jarak pagar 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.

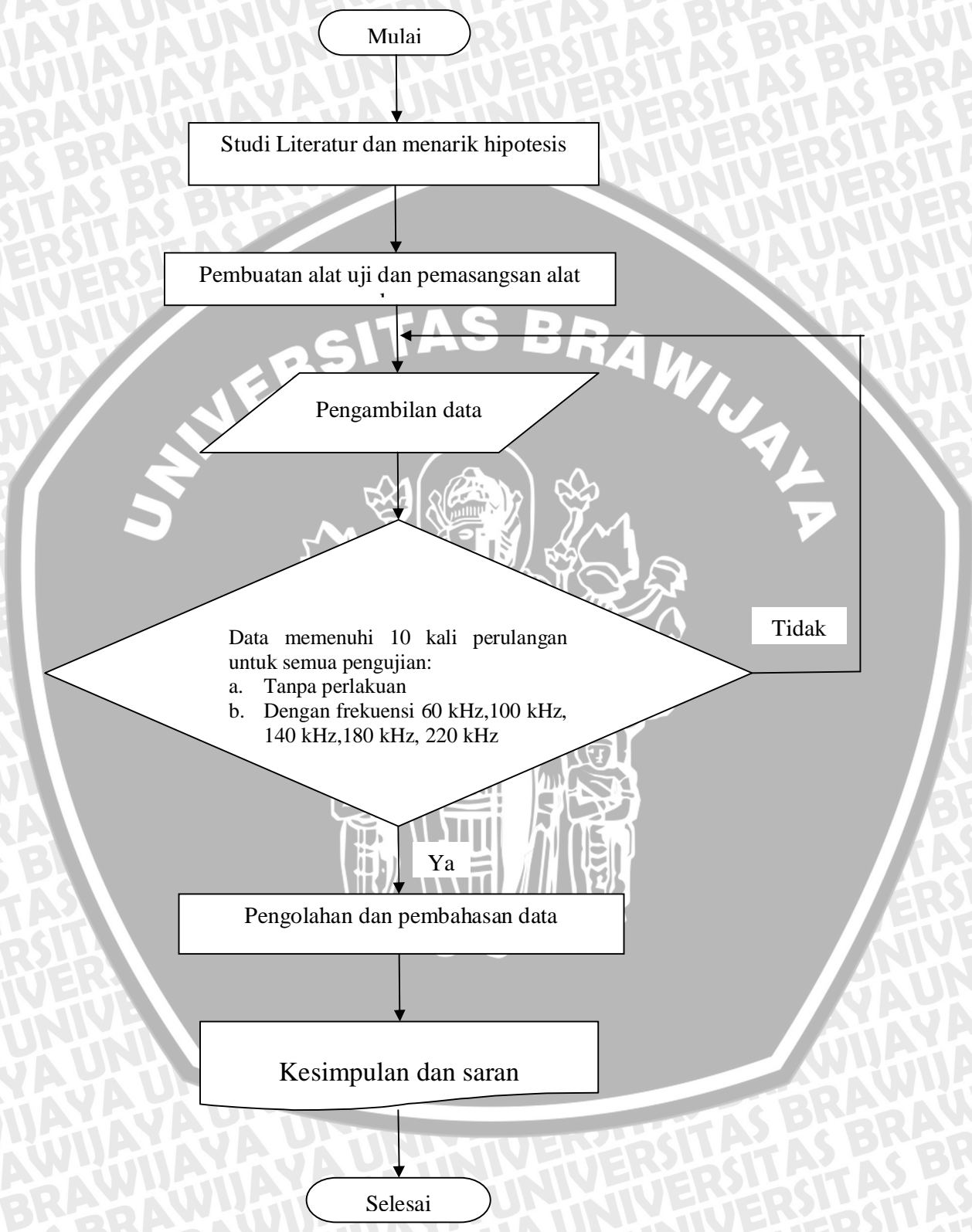


Gambar 3.8 Layout program penelitian



Gambar 3.9 Ruang pembakaran *droplet* minyak jarak pagar .

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.10 Diagram Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil

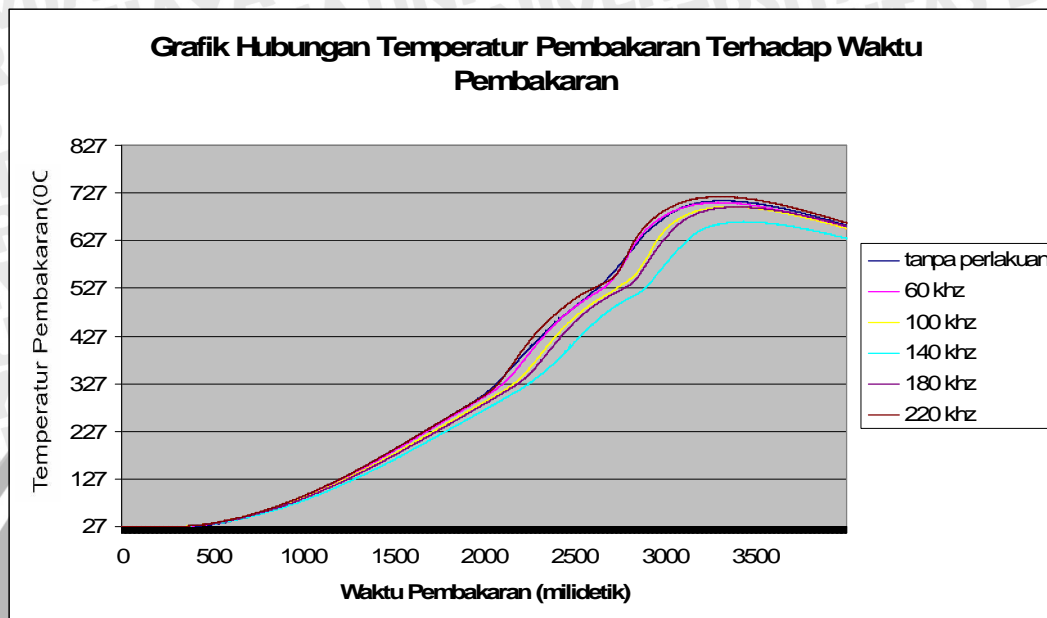
Hasil penelitian ini dikelompokkan yaitu:

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

4.2 Pembahasan

Pembahasan ini dilakukan untuk mengetahui pola kecenderungan dari data hasil penelitian yang dilakukan pada setiap pengambilan data pembakaran minyak jarak tanpa pemberian gelombang ultrasonik dan pembakaran minyak jarak dengan variasi frekuensi gelombang ultrasonik yang dapat dilihat pada lampiran 1.

4.2.1 Hubungan antara temperatur pembakaran terhadap waktu pembakaran pada berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik



Gambar 4.1 Grafik hubungan temperatur dan waktu pembakaran pada minyak jarak tanpa perlakuan dan dengan perlakuan

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa pembakaran *droplet* diawali dengan pemanasan awal yang ditandai dengan garis yang mendekati garis lurus yang bergerak naik ke atas. 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 jarak pagar, 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 tegangan kepada elemen pemanas.

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

Dari grafik di atas diperoleh nilai rata-rata *ignition delay time 1*: Tanpa perlakuan = 2031,8 milidetik; kemudian dengan perlakuan : 60 kHz = 2112,5 milidetik, 100 kHz = 2186,9 milidetik; 140 kHz = 2298,8 milidetik; 180 kHz = 2218,2 milideik; 220 kHz = 2026,2 milidetik

Sedangkan untuk *ignition delay time 2*: Tanpa perlakuan = 2671,6 milidetik; untuk perlakuan : 60 kHz = 2737,7 milidetik; 100 kHz = 2833,3 milidetik; 140 kHz = 2936,9 milidetik; 180 kHz = 2866,4 milidetik; 220 kHz = 2657 milidetik.

Dari grafik di atas juga diperoleh nilai rata-rata temperatur penyalaan (*ignition temperature*). Untuk *ignition temperature 1*: Tanpa perlakuan = 303,7 °C; 60 kHz = 300,6 °C; 100 kHz = 307,4 °C; 140 kHz = 319,1 °C; 180 kHz = 311 °C; dan 220 kHz = 291,7 °C. Sedangkan untuk *ignition temperature 2* : Tanpa perlakuan = 536,1 °C; 60 kHz = 530,36 °C; 100 kHz = 525,3 °C; 140 kHz = 515,4 °C; 180 kHz = 526,7 °C; dan 220 kHz = 530,7 °C.

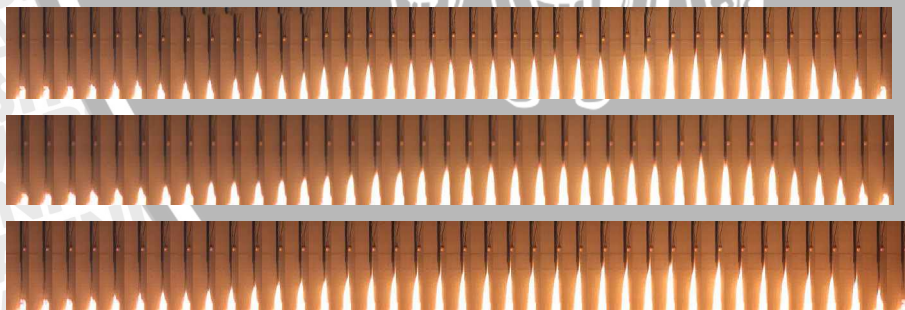
Dari grafik dan data diatas terlihat bahwa pemberian gelombang ultrasonik sedikit berpengaruh terhadap waktu penyalaan pada proses pembakaran. Meskipun pengaruh yang terlihat tidak terlalu besar, namun *droplet* minyak jarak pagar yang diberikan frekuensi gelombang ultrasonik tampak lebih cepat menyala. Selain itu pada temperatur penyalaan pembakaran, *droplet* minyak jarak pagar yang diberi pengaruh gelombang ultrasonik memiliki temperatur penyalaan (*flash point*) yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa perlakuan. Semakin besar frekuensi gelombang ultrasonik

maka akan semakin cepat *droplet* itu menyala. Hal ini sesuai dengan persamaan $v = f \lambda$ dan $f = \frac{\gamma RT}{\lambda^2 M}$ maka $E = \frac{1}{2} m v^2$ dimana semakin besar frekuensi yang diberikan maka kecepatan dan temperatur juga akan semakin besar. Frekuensi yang besar tersebut akan meningkatkan temperatur *droplet* yang mengakibatkan temperatur pembakaran sedikit lebih cepat. Selain itu semakin cepat gelombang ultrasonik akan mengakibatkan pergerakan elektron-elektron *droplet* mengalami percepatan akibatnya akan terjadi gesekan-gesekan antar partikel dalam *droplet*. Temperatur *droplet* yang meningkat tersebut menyebabkan *droplet* mengalami sedikit penguapan sehingga ikatan kimianya menjadi lemah bahkan terputus. Dengan demikian proses pembakaran *droplet* minyak jarak pagar akan semakin mudah dan energi aktivasi yang diperlukan relatif rendah. Selain itu waktu yang diperlukan untuk membakar *droplet* juga menjadi lebih singkat.

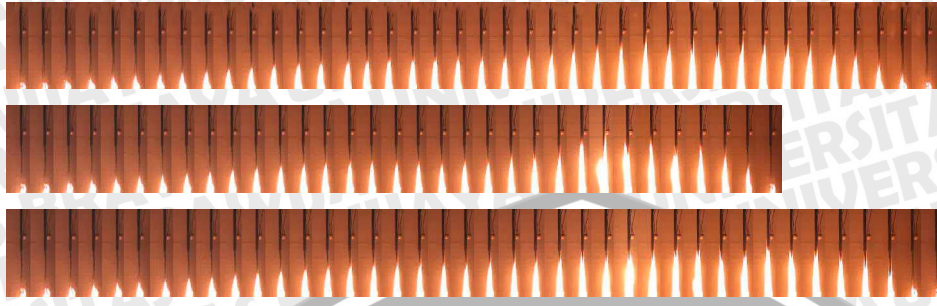
Dari grafik di atas dapat juga diamati karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak tanpa perlakuan dan dengan perlakuan. Terlihat *delay time*, *flash point*, dan *ignition temperature* pembakaran tidak berubah secara signifikan. Sehingga secara umum pemberian gelombang ultrasonik akan sedikit mempengaruhi karakteristik fundamental pembakaran tetapi pemberian gelombang ultrasonik ini sangat berpengaruh terhadap *microexplosion* yang terjadi.

4.2.2 Visualisasi api *droplet* minyak jarak pagar pada beberapa variasi frekuensi gelombang ultrasonik

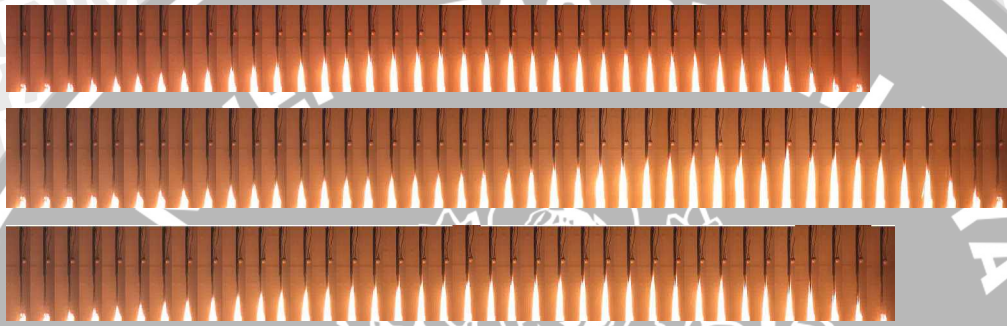
Tanpa Perlakuan



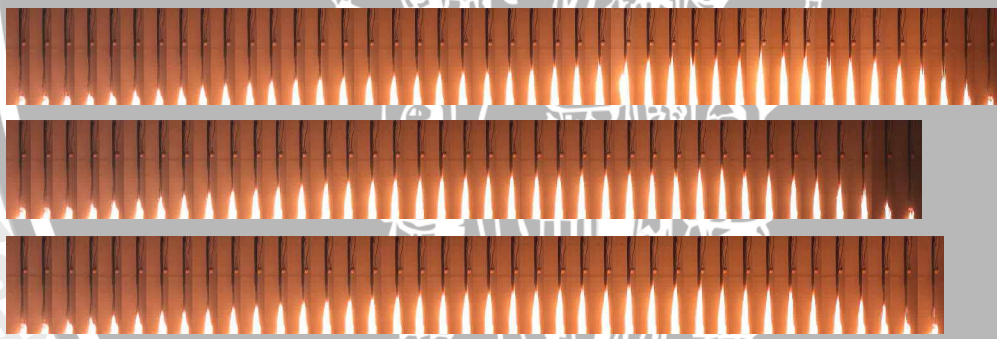
60 kHz



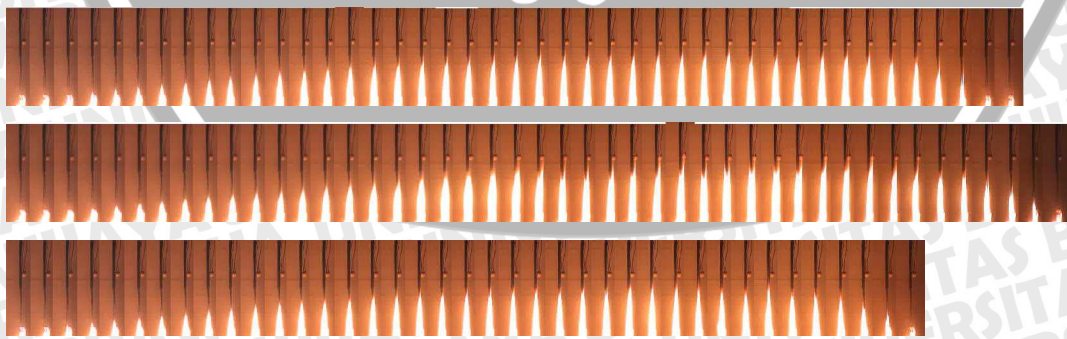
100 kHz



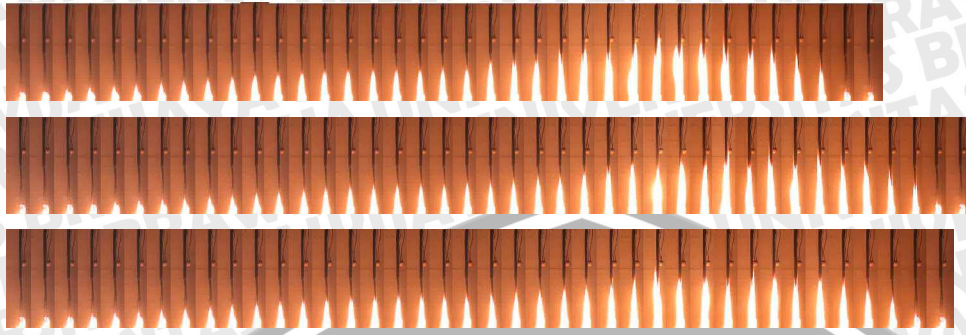
140 kHz



180 kHz



220 kHz



Gambar 4.2 Visualisasi nyala api tanpa pemberian gelombang ultrasonik dan dengan berbagai pemberian 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*. Gambar di atas diperoleh dengan cara mengubah video hasil pengamatan nyala api ke bentuk frame-frame gambar dengan menggunakan *software total video converter*. Kemudian frame-frame itu dipotong pada bagian apinya lalu digabungkan seperti gambar di atas dengan menggunakan *software adobe photoshop*.

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

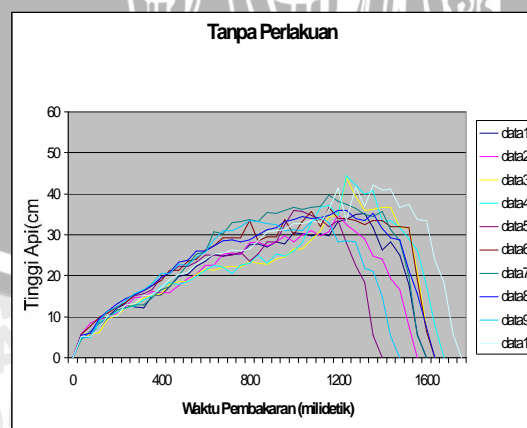
Dari gambar visualisasi api dengan perlakuan 220 kHz dapat dilihat bahwa frame yang dihasilkan lebih sedikit dari pada perlakuan lain dan terdapat juga adanya perubahan dimensi api secara mendadak. Hal ini dikarenakan pada saat pemanasan *droplet* terdapat banyak asam lemak yang menyusup ke dalam gliserol sehingga menghasilkan *microexplosion* yang besar dengan api yang tinggi. Dimana pada proses

ini gliserol terpecah menjadi butiran yang sangat kecil sehingga penguapan *droplet* akan semakin cepat.

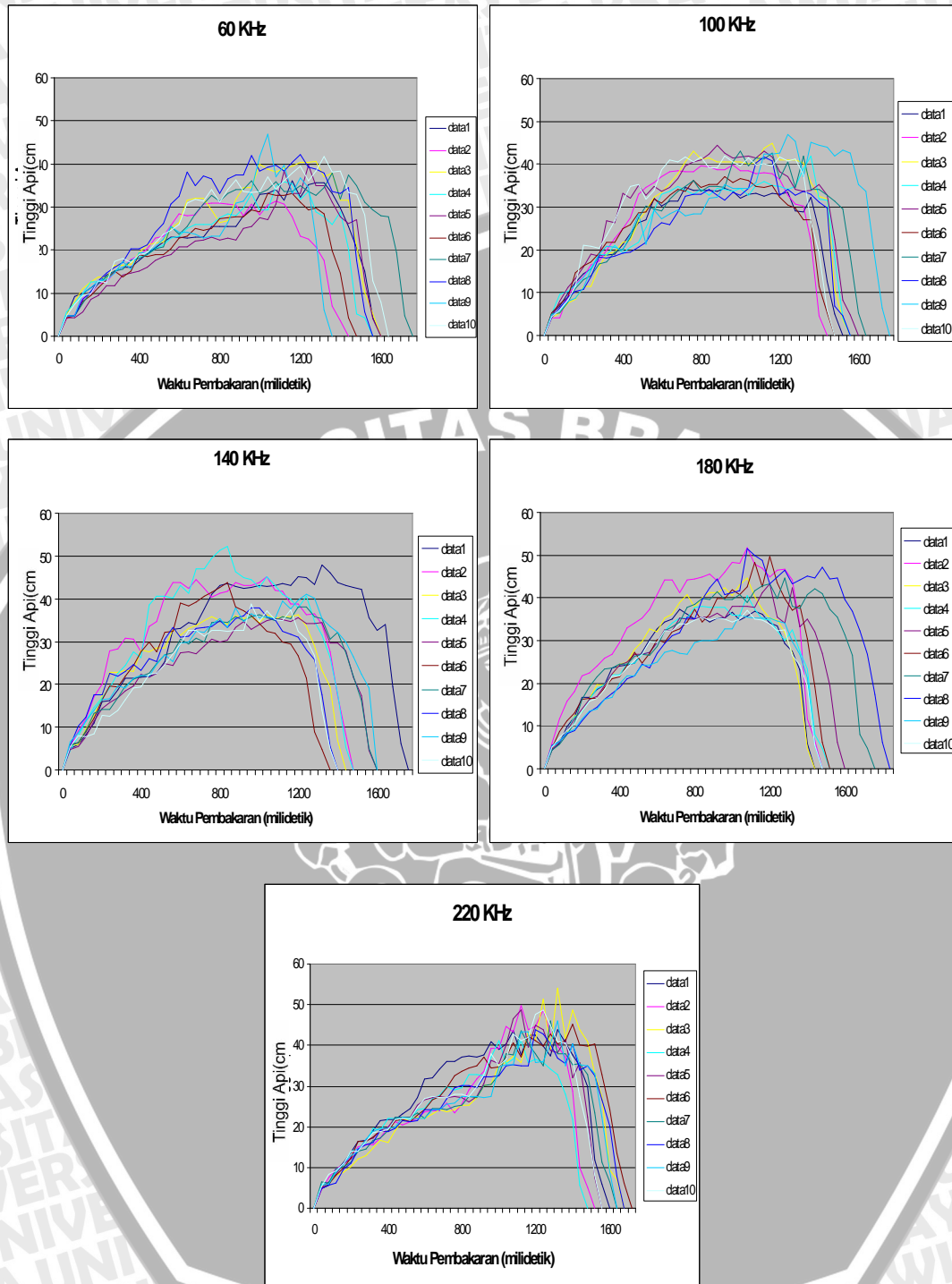
Peristiwa *microexplosion* ini terjadi karena sebagian asam lemak menyusup ke dalam gliserol pada saat minyak diberikan gelombang ultrasonik dimana makin besar frekuensi yang dihasilkan maka makin banyak jumlah asam lemak yang menyusup. Selain itu pada saat proses pemanasan beberapa asam lemak yang menguap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

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

4.2.3 Hubungan antara tinggi api terhadap waktu pembakaran dengan berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik



Gambar 4.3 Grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran pada minyak jarak tanpa perlakuan



Gambar 4.4 Masing-masing grafik hubungan tinggi api dan waktu pembakaran pada minyak jarak dengan perlakuan

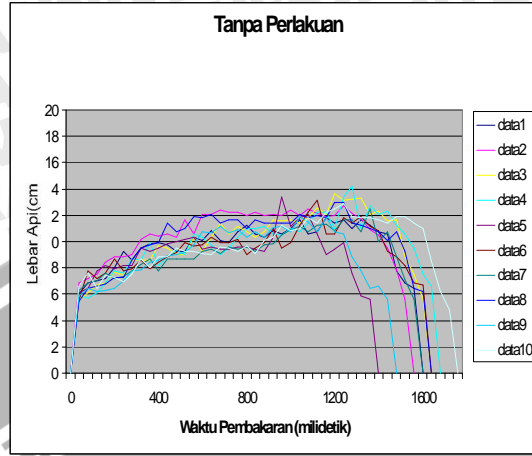
Dari grafik di atas terlihat bahwa tinggi api tanpa perlakuan lebih rendah bila dibandingkan dengan *droplet* dengan perlakuan. Perubahan tinggi api mencapai maksimum lebih cepat dan tidak mengalami perubahan tinggi. Dengan perlakuan

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

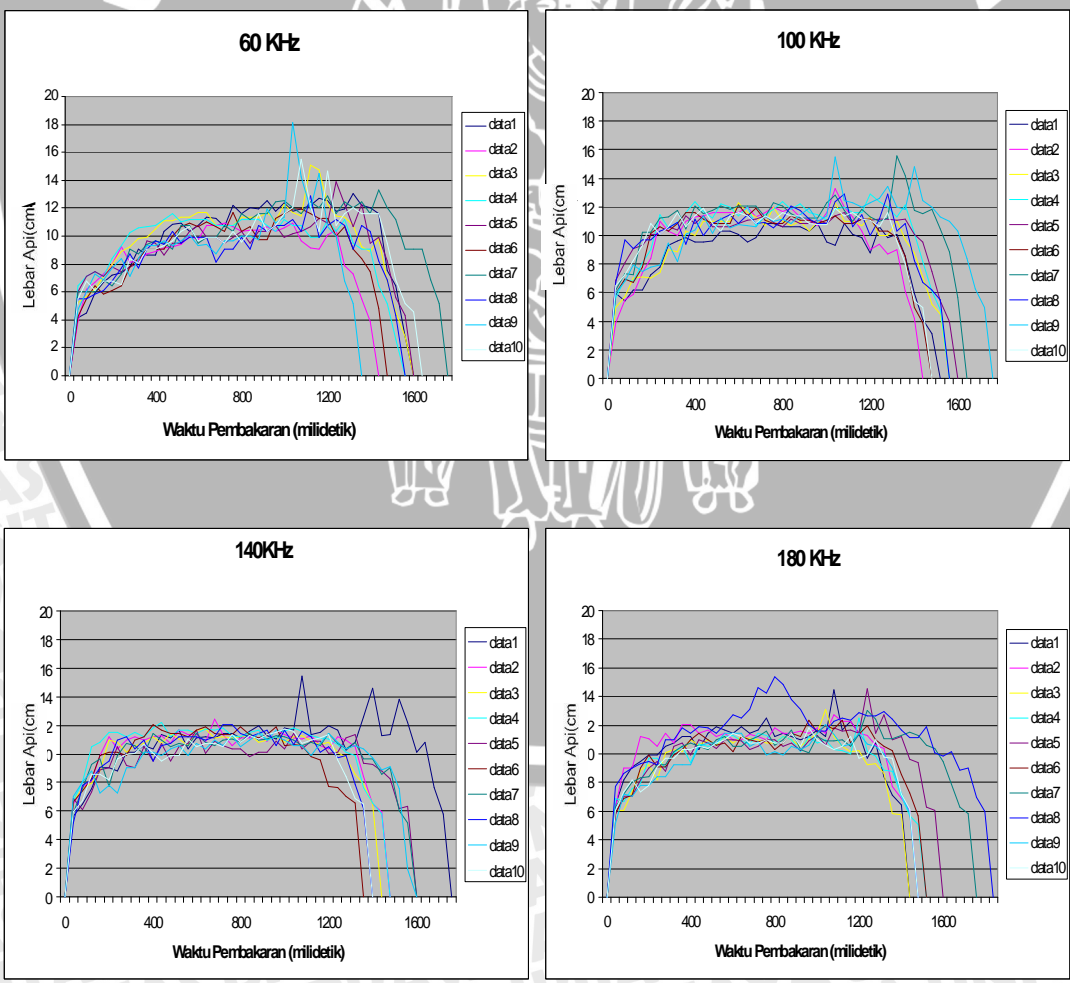
Dari grafik di atas dapat juga dilihat tinggi api tanpa perlakuan lebih tinggi diawal pembakaran dan juga lebih lambat mencapai tinggi maksimum. Hal ini menandai bahwa lapisan asam lemak yang mengelilingi gliserol cukup tebal dan juga beberapa gliserol yang terkandung memiliki ukuran butir yang sangat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

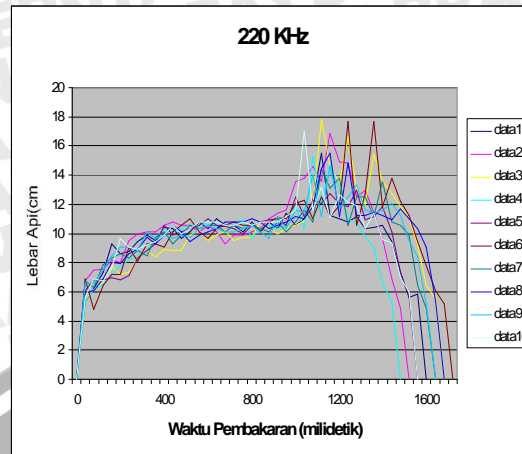
Jadi secara umum dapat diketahui bahwa pemberian gelombang ultrasonik mempengaruhi tinggi api yang dihasilkan terutama jika terjadi *microexplosion*, selain itu antara *droplet* yang terbakar tanpa perlakuan dengan yang mengalami perlakuan memiliki perbedaan waktu evolusi untuk mencapai tinggi maksimum. Dimana pembakaran tanpa perlakuan lebih cepat mencapai tinggi maksimumnya tetapi untuk tinggi maksimum yang dicapai, pembakaran dengan *microexplosion* jauh lebih tinggi.

4.2.4 Hubungan antara lebar api terhadap waktu pembakaran dengan berbagai variasi frekuensi gelombang ultrasonik



Gambar 4.5 grafik hubungan lebar api dan waktu pembakaran pada minyak jarak tanpa perlakuan





Gambar 4.6 Masing-masing grafik hubungan lebar api dan waktu pembakaran pada minyak jarak dengan perlakuan

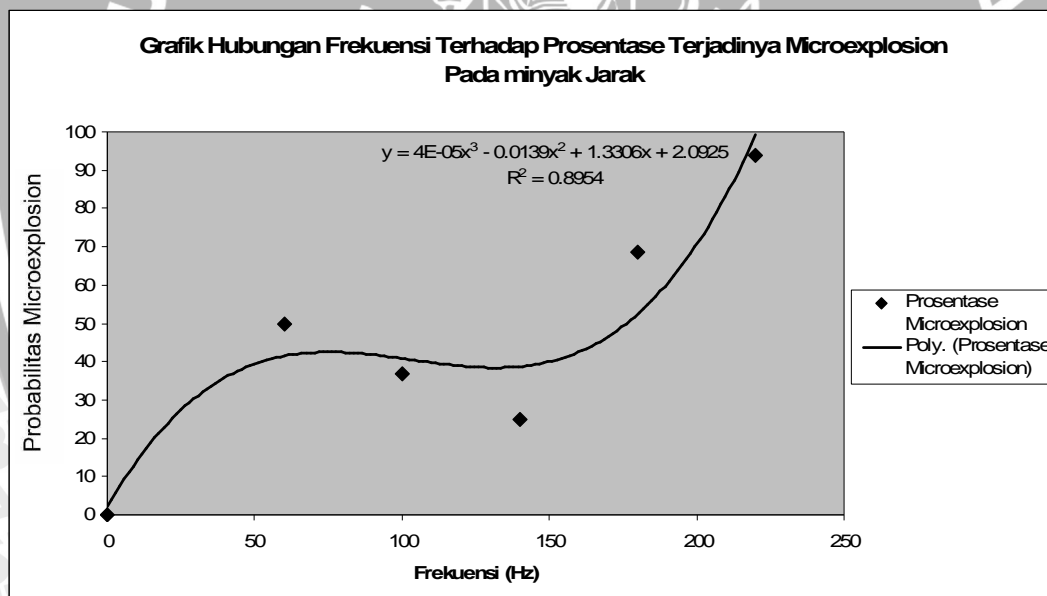
Dari grafik di atas terlihat bahwa lebar api tanpa perlakuan memiliki lebar yang rendah dan perubahan lebar api mencapai maksimum berjalan cepat daripada lebar api dengan perlakuan. Dimana terlihat perubahan lebar api mencapai lebar maksimum terjadi lebih lambat selain itu terjadi perubahan lebar secara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

Dari grafik di atas dapat juga dilihat lebar api tanpa perlakuan lebih lebar di awal pembakaran dan juga lebih cepat mencapai lebar maksimum. Hal ini menandai bahwa lapisan asam lemak yang mengelilingi gliserol cukup tebal dan juga beberapa gliserol yang terkandung memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga pada saat pembakaran asam lemak gliserol dengan ukuran sangat kecil ini ikut terbakar. Sedangkan untuk pembakaran *droplet* dengan perlakuan di awal 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 gelombang ultrasonik akan mempengaruhi lebar api yang dihasilkan karena dengan meningkatnya frekuensi yang diberikan akan meningkatkan persentase *microexplosion* yang terjadi. Dimana lebar api sangat dipengaruhi oleh *microexplosion* yang terjadi. Selain itu antara *droplet* yang terbakar tanpa perlakuan dengan yang mengalami perlakuan memiliki perbedaan waktu evolusi untuk mencapai lebar maksimum.

4.2.5 Hubungan antara probabilitas terjadinya *microexplosion* terhadap frekuensi 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 jarak maka probabilitas *microexplosion* yang terjadi cenderung semakin meningkat. Pada pengambilan 15 data pembakaran tanpa pemberian gelombang ultrasonik pada minyak jarak, *microexplosion* tidak terjadi sama sekali. Sedangkan pada frekuensi 60 kHz

terjadi 8 kali *microexplosion* dari pengambilan 16 data (50 %). Pada frekuensi 100 kHz dan 140 kHz *microexplosion* yang terjadi mengalami penurunan, yaitu hanya terjadi 7 kali dari 19 data (37%) dan 4 kali dari 16 data (25%). *Microexplosion* yang terjadi meningkat lagi pada frekuensi 180 kHz yaitu terjadi sebanyak 11 kali dari 16 kali pengambilan data (68,75%). Pada frekuensi 220 kHz *microexplosion* yang terjadi paling banyak yaitu terjadi sebanyak 16 kali dari 17 kali pengambilan data (94%). Dari grafik ini dapat disimpulkan bahwa dengan semakin besarnya frekuensi gelombang ultrasonik yang diberikan pada minyak jarak mengakibatkan semakin banyaknya *microexplosion* yang terjadi.

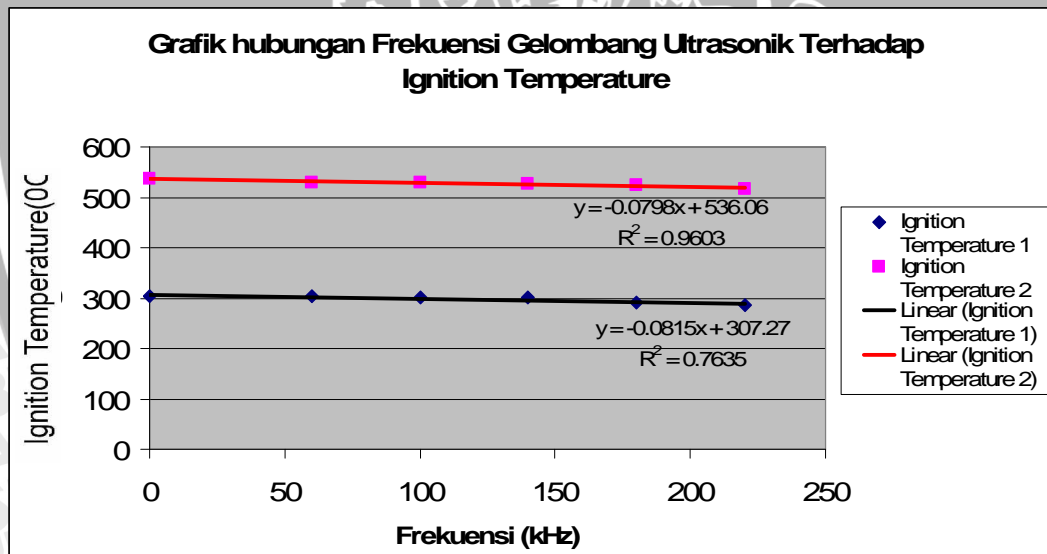
Microexplosion merupakan peristiwa yang terjadi karena perbedaan titik didih dari kedua komponen penyusun bahan bakar dalam hal ini adalah asam lemak dan gliserol dimana asam lemak memiliki titik didih yang lebih rendah sehingga lebih cepat menguap daripada gliserol yang memiliki titik didih yang lebih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

Dengan adanya pengaruh gelombang ultrasonik maka akan mengakibatkan asam lemak yang terkandung di dalam minyak jarak tertekan sehingga akan bercampur ataupun menyusup ke dalam gliserol karena gliserol memiliki viskositas yang lebih tinggi daripada asam lemak. Semakin besar frekuensi gelombang ultrasonik yang diberikan maka makin besar jumlah asam lemak yang menyusup dan terperangkap di dalam gliserol sehingga persentase terjadinya *microexplosion* meningkat. Tetapi pada grafik di atas dapat dilihat bahwa pada frekuensi 140 kHz persentase terjadinya *microexplosion* menurun. Hal ini karena gliserol mulai terpecah karena frekuensi gelombang ultrasonik itu memiliki frekuensi dan amplitudo yang mendekati frekuensi natural dari gliserol sehingga gliserol mengalami resonansi yang mengakibatkan gliserol terpecah menjadi ukuran lebih kecil. Hal ini mengakibatkan kandungan gliserol di dalam sebuah *droplet* akan berkurang selain itu jumlah asam lemak yang dapat terperangkap juga akan berkurang sehingga prosentase terjadinya *microexplosion* menjadi berkurang. Jadi pada frekuensi 140 kHz merupakan titik kritis dimana

persentase *microexplosion* menurun secara drastis. Untuk frekuensi 180 kHz dan 220 kHz kembali terjadi peningkatan persentase terjadinya *microexplosion* hal ini karena pada frekuensi tersebut gliserol juga terpecah tetapi karena frekuensi gelombang ultrasonik yang diterima tidak memiliki frekuensi dan amplitudo yang mendekati frekuensi natural dari gliserol maka gliserol tidak terpecah seperti pada frekuensi 140 kHz. Sehingga jumlah asam lemak yang terperangkap di dalam gliserol menjadi lebih banyak dan 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 *Ignition Temperature* terhadap frekuensi gelombang ultrasonik



Gambar 4.8 Grafik hubungan antara *ignition temperature* terhadap frekuensi gelombang ultrasonik.

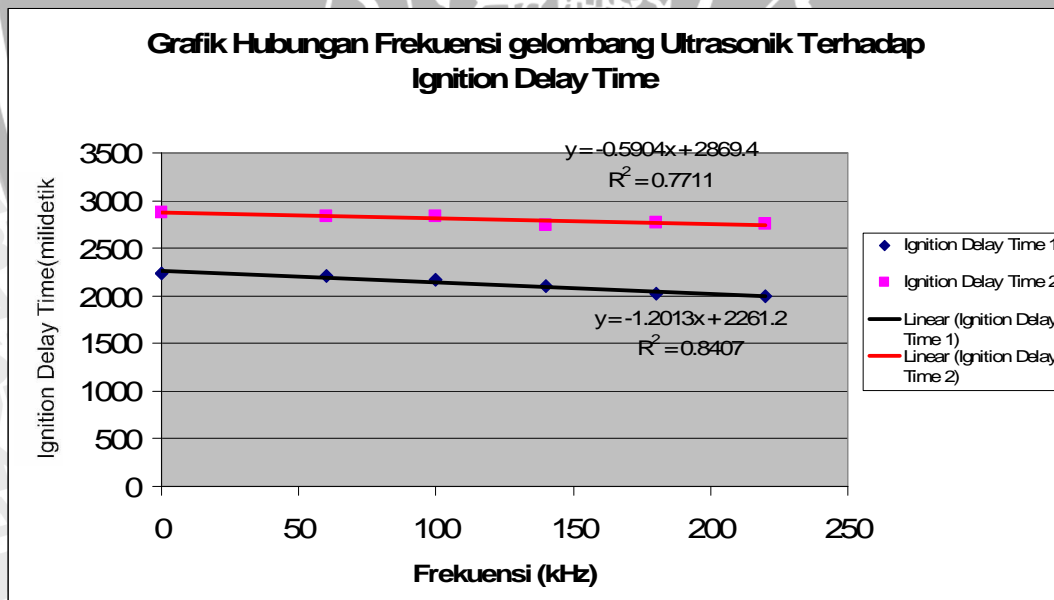
Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa temperatur penyalaan (*ignition temperature 1* dan *ignition temperature 2*) pada pembakaran *droplet* minyak jarak akan menurun seiring dengan bertambahnya frekuensi. Dengan demikian dengan penambahan frekuensi gelombang ultrasonik akan berpengaruh terhadap *Ignition Temperature*, hal ini sesuai dengan regresi dari grafik tersebut yang menunjukkan nilai

lebih besar dari 0,5 (50%). Adapun rata-rata dari *ignition temperature* adalah sebagai berikut : Untuk Tignition 1 : Tanpa perlakuan = 303,7 °C; 60 kHz = 302,6 °C; 100 kHz = 302,4 °C; 140 kHz = 301,1 °C; 180 kHz = 291,1 °C; dan 220 kHz = 285,7 °C. Sedangkan untuk Tignition 2 : Tanpa perlakuan = 536,1 °C; 60 kHz = 530,36 °C; 100 kHz = 528,3 °C; 140 kHz = 525,4 °C; 180 kHz = 523,7 °C; dan 220 kHz = 516,7 °C.

Penurunan dari *ignition temperature* terjadi karena dengan bertambahnya frekuensi gelombang ultrasonik yang diberikan pada *droplet* maka akan menaikkan temperatur dari *droplet* tersebut sehingga akan menurunkan temperatur penyalan *droplet* (*ignition temperature*). Hal ini sesuai dengan rumus $f = \frac{\gamma RT}{\lambda^2 M}$ dimana frekuensi berbanding lurus dengan temperatur.

Jadi secara umum dapat disimpulkan bahwa dengan adanya gelombang ultrasonik akan berpengaruh pada temperatur penyalan yaitu dengan bertambahnya frekuensi gelombang ultrasonik akan menaikkan temperatur *droplet* sehingga akan menurunkan temperatur proses penyalan *droplet* minyak jarak tersebut.

4.2.7 Hubungan antara *ignition delay time* terhadap frekuensi gelombang ultrasonik



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

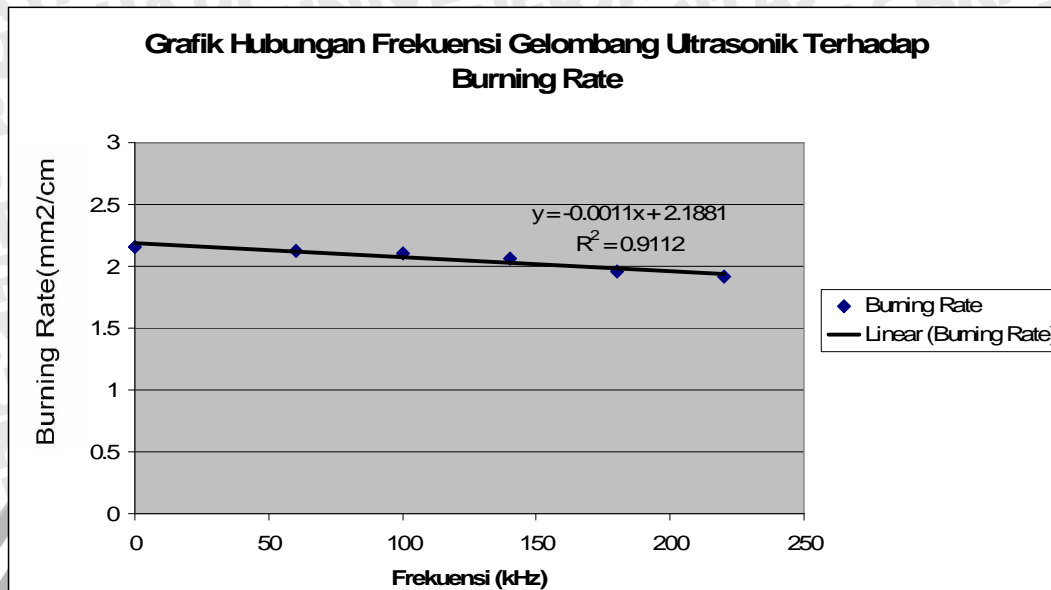
Dari grafik di atas terlihat bahwa *ignition delay time 1* dan *ignition delay time 2* akan menurun seiring dengan meningkatnya frekuensi gelombang ultrasonik yang

diberikan sebelum *droplet* dibakar. Dengan demikian dengan penambahan frekuensi gelombang ultrasonik akan berpengaruh terhadap *Ignition delay time*, hal ini sesuai dengan regresi dari grafik tersebut yang menunjukkan nilai lebih besar dari 0,5 (50%). Adapun nilai rata-rata *ignition delay time* tiap perlakuan adalah sebagai berikut: Tanpa perlakuan 1 = 2231,8 milidetik; tanpa perlakuan 2 = 2871,6 milidetik; kemudian 60 kHz 1 = 2212,5 milidetik, 60 kHz 2 = 2837,7 milidetik; 100 kHz 1 = 2169,9 milidetik, 100 kHz 2 = 2833,3 milidetik; 140 kHz 1 = 2098,8 milidetik, 140 kHz 2 = 2736,9 milidetik; 180 kHz 1 = 2018,2 milideik, 180 kHz 2 = 2766,4 milidetik; 220 kHz 1 = 1996,2 milidetik, 220 kHz 2 = 2757 milidetik.

Peningkatan *ignition delay time* terjadi karena meningkatnya frekuensi yang diberikan maka akan mengakibatkan asam lemak yang terkandung di dalam minyak jarak tertekan sehingga asam lemak tersebut menyusup ke dalam gliserol. Karena sebagian asam lemak yang biasanya berada pada lapisan luar mengelilingi gliserol telah menyusup dan terperangkap di dalam gliserol maka pada saat proses pemanasan awal yang menerima panas adalah asam lemak yang tersisa diluar lapisan gliserol. Karena menerima panas radiasi dari pemanas maka asam lemak mulai menguap dan sebagian menyusup kembali ke dalam gliserol sehingga jumlah asam lemak yang tersisa hanya sedikit oleh karena itu gliserol juga akan ikut menyerap panas radiasi dari pemanas sehingga diperlukan sedikit waktu tambahan untuk menguapkan *droplet*, setelah semua asam lemak dan sedikit gliserol telah menguap baru terjadi proses pembakaran.

Jadi secara umum dapat disimpulkan bahwa dengan adanya gelombang ultrasonik akan berpengaruh pada *ignition delay time* yaitu dengan bertambahnya frekuensi gelombang ultrasonik maka *ignition delay time* akan menurun karena dengan adanya gelombang ultrasonik akan menaikkan temperatur dari *droplet* minyak jarak sehingga diperlukan sedikit waktu tambahan untuk menguapkan *droplet*.

4.2.8 Hubungan antara *burning rate* terhadap frekuensi gelombang ultrasonik



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

Dari grafik di atas terlihat bahwa *burning rate* dari pembakaran *droplet* minyak jarak tanpa perlakuan dan *droplet* minyak jarak dengan pemberian gelombang ultrasonik. Dimana nilai rata-rata tiap perlakuan adalah sebagai berikut: Tanpa perlakuan = 2,158115 mm²/detik; 60 kHz = 2,126189 mm²/detik; 100 kHz = 2,107618 mm²/detik; 140 kHz = 2,063778 mm²/detik; 180 kHz = 1,965325 mm²/detik; 220 kHz = 1,920993 mm²/detik.

Dari grafik di atas terlihat bahwa *burning rate* semakin menurun seiring dengan peningkatan frekuensi yang diberikan. Dengan demikian dengan penambahan frekuensi gelombang ultrasonik akan berpengaruh terhadap *burning rate*, hal ini sesuai dengan regresi dari grafik tersebut yang menunjukkan nilai lebih besar dari 0,5 (50%). Menurut rumus *burning rate* yaitu $k = \frac{a^2}{t}$, *burning rate* dan waktu pembakaran berbanding terbalik, semakin lama waktu pembakaran, maka *burning ratenya* semakin rendah. *Burning rate* minyak jarak pagar tanpa perlakuan lebih rendah karena *microexplosion* yang terjadi kurang kuat sehingga membuat api bergoyang sehingga mengganggu pembakaran, sedangkan grafik *burning rate* pembakaran minyak jarak dengan perlakuan menunjukkan kecenderungan meningkat, hal ini menandakan bahwa pembakaran dengan perlakuan lebih stabil daripada tanpa perlakuan.

Jadi secara umum dapat disimpulkan bahwa dengan adanya gelombang ultrasonik akan berpengaruh pada *burning rate* minyak jarak pagar yaitu dengan bertambahnya frekuensi gelombang ultrasonik maka *burning rate* cenderung menurun. Hal ini menandakan bahwa pembakaran dengan pemberian gelombang ultrasonik lebih stabil daripada tanpa perlakuan.

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pengamatan dan analisis terhadap grafik hasil percobaan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- ✓ Nyala api difusi yang diberi gelombang ultrasonik lebih terang karena terdapat perbedaan panjang gelombang reaksi dari sebelum dan sesudah diberi perlakuan.
- ✓ Dari pengamatan terhadap nyala api dengan gelombang ultrasonik didapatkan bahwa semakin besar frekuensi maka tinggi dan lebar nyala api cenderung akan semakin meningkat karena semakin banyak *microexplosion* yang dihasilkan.
- ✓ Pemberian gelombang ultrasonik akan sedikit mempercepat waktu penyalaan (*ignition delay time*) dan penurunan temperatur penyalaan (*ignition temperature*)

karena temperatur droplet meningkat akibat panas dari gelombang ultrasonik tersebut.

- ✓ Probabilitas terjadinya *microexplosion* dengan gelombang ultrasonik cenderung meningkat. Hal ini dikarenakan terdapat sejumlah *fatty acid* yang terjebak di dalam *glicerol* dan menyebabkan terjadinya *microexplosion*.

5.2 Saran

1. Perlunya penelitian lebih lanjut terhadap campuran minyak jarak dengan bahan bakar lain.
2. Perlunya penelitian lebih lanjut dengan variasi frekuensi dan variasi diameter *speaker*.



DAFTAR PUSTAKA

Aigner, Manfred DLR. 2006. *Modeling Evaporation and Microexplosion of Water in Alkane Emulsion Droplets*. Germany; German Aerospace Center.

Ghassemi, Hojat , Seung Wong Baek & Qasim S.K. 2006. *Experimental Study on Microexplosive Burning of Binary Fuel Droplets*. Korea: Korea Advanced Institute of Science and Technology.

Kuo, Kenneth K. 1986. *Principles of Combustion*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Nur Alam Syah, Andi. 2006. *Biodiesel Jarak Pagar*; Jakarta : Agromedia Pustaka.

Purnomo, Dwi Adi. 2006. *Pengaruh Intensitas dan Frekuensi Kebisingan Terhadap Penyalaan Bahan Bakar*.

Tipler Paul A. 1991. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta : Erlangga.

Tj, Soetiari. 1990. Bahan Bakar dan Proses-proses Kimia Pembakaran. Malang :
Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

Turns, Stephen. 1996. *An Introduction to Combustion*. New York: McGraw-Hill, Inc.

Wardana, I.N.G. 1995. Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran. Malang : Jurusan
Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

www.biodiesel.org, 2005

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

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

www.elsevier.com, 2008

www.jatropha.org/lamps/binga-lamp-bagani-2.jpg

[www.mediacollage/sound wave properties](http://www.mediacollage/sound_wave_properties)

www.nmri.go.jp/

www.Svlele.com/jathrophaplant.htm

www.universe-review.ca/soundwave.jpg

www.wikimedia.org



LAMPIRAN

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 1. Data Ignition Temperature, Ignition Delay Time, dan Burning Rate

1. Tanpa Perlakuan

Data	Ignition Temp I (°C)	Ignition Temp II (°C)	Ignition Delay Time I (milidetik)	Ignition Delay Time II (milidetik)	Burning Rate (mm ² /detik)
1	296	543	2039	2750	1,945233
2	303	537	1956	2552	1,996424
3	300	532	1955	2560	1,896603
4	302	531	2019	2657	1,850344
5	297	539	1997	2639	2,231297
6	325	530	2033	2666	1,896603
7	308	518	2074	2643	1,996424
8	299	550	2088	2767	1,896603
9	297	539	2077	2765	2,107336
10	310	542	2080	2717	1,764281
Rata-rata	303,7	536,1	2031,8	2671,6	1,958115

2. 60 kHz

Data	Ignition Temp I (°C)	Ignition Temp II (°C)	Ignition Delay Time I (milidetik)	Ignition Delay Time II (milidetik)	Burning Rate (mm ² /detik)
1	321	538	2177	2760	1,896603
2	293	537	2128	2736	2,231297
3	312	519	2168	2740	1,945233
4	287	538	2051	2720	2,050381
5	300	537	2092	2737	1,945233
6	302	534	2138	2785	2,107336
7	292	525	2033	2684	1,764281
8	300	522	2059	2675	1,996424
9	292	515	2117	2765	2,298912
10	307	538	2162	2775	1,896603
Rata-rata	300,6	530,3	2112,5	2737,7	2,026189

3. 100 kHz

Data	Ignition Temp I (°C)	Ignition Temp II (°C)	Ignition Delay Time I (milidetik)	Ignition Delay Time II (milidetik)	Burning Rate (mm ² /detik)
1	326	526	2257	2879	2,050381
2	314	521	2194	2805	2,167546
3	308	529	2197	2835	2,050381
4	315	517	2233	2844	1,996424
5	301	525	2236	2836	1,996424
6	309	526	2189	2849	2,050381
7	300	530	2130	2887	1,896603
8	305	533	2158	2816	1,996424
9	280	528	2129	2872	1,764281
10	316	518	2146	2710	2,107336
Rata-rata	307,4	525,3	2186,9	2833,3	2,007618

4. 140 kHz

Data	Ignition Temp I (°C)	Ignition Temp II (°C)	Ignition Delay Time I (milidetik)	Ignition Delay Time II (milidetik)	Burning Rate (mm ² /detik)
1	336	509	2259	2705	1,764281
2	283	530	2198	2960	2,107336
3	311	517	2256	2906	2,167546
4	320	508	2302	3051	2,050381
5	333	517	2395	3015	1,945233
6	339	509	2363	3012	2,298912
7	325	509	2369	2943	1,945233
8	326	508	2329	2889	2,231297
9	318	528	2332	3020	1,945233
10	300	519	2185	2868	2,050381
Rata-rata	319,1	515,4	2298,8	2936,9	2,063778

5. 180 kHz

	Ignition	Ignition	Ignition	Ignition Delay	Burning
--	----------	----------	----------	----------------	---------



Data	Temp I (°C)	Temp II (°C)	Delay Time I (milidetik)	Time II (milidetik)	Rate (mm ² /detik)
1	326	531	2243	2828	2,167546
2	316	526	2178	2803	2,050381
3	310	536	2178	2852	2,167546
4	320	526	2271	2896	2,050381
5	320	520	2203	2918	1,945233
6	307	527	2192	2884	2,107336
7	293	525	2220	2894	1,764281
8	326	521	2270	2844	1,685869
9	324	531	2242	2849	2,107336
10	268	524	2184	2896	2,107336
Rata-rata	311	526,7	2218,2	2866,4	2,015325

6. 220 kHz

Data	Ignition Temp I (°C)	Ignition Temp II (°C)	Ignition Delay Time I (milidetik)	Ignition Delay Time II (milidetik)	Burning Rate (mm ² /detik)
1	297	517	2073	2716	1,945233
2	287	541	2051	2765	2,050381
3	300	543	2072	2730	1,850344
4	296	541	2054	2725	2,167546
5	296	547	2056	2744	1,996424
6	277	538	2025	2791	1,806288
7	301	544	2084	2780	1,896603
8	284	534	2051	2782	1,850344
9	295	541	2050	2740	1,850344
10	284	521	2046	2797	1,996424
Rata-rata	291,7	536,7	2026,2	2657	1,940993

Lampiran 2. Data persentase *microexplosion*

Data persentase *microexplosion*

Frekuensi Gelombang Ultrasonik (KHz)	Prosentase <i>Microexplosion</i> (%)
0	0
60	50
100	30
140	25
180	68,75
220	94



Lampiran 3. Proses Ekstraksi Minyak Jarak Pagar



Tanaman jarak pagar

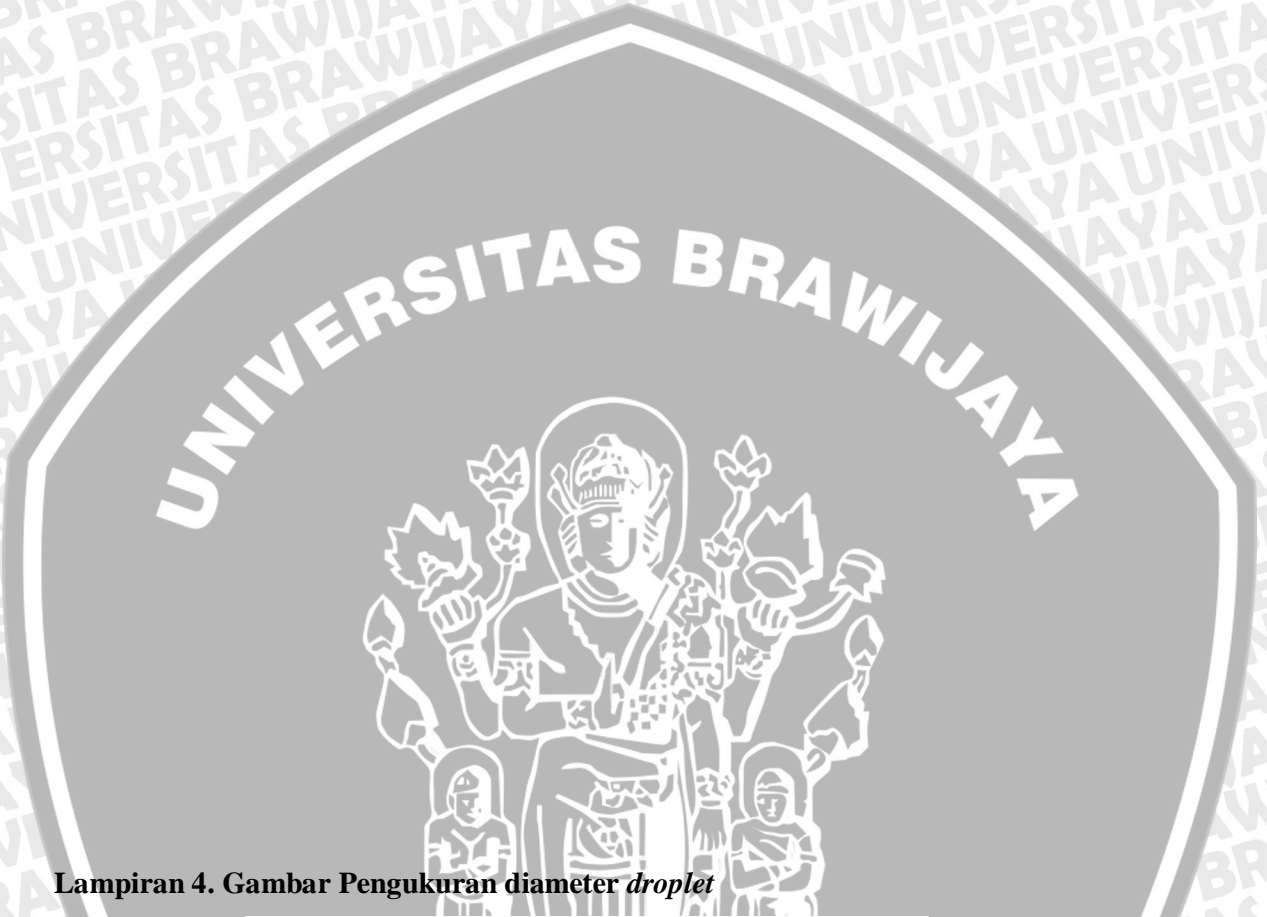


Biji jarak

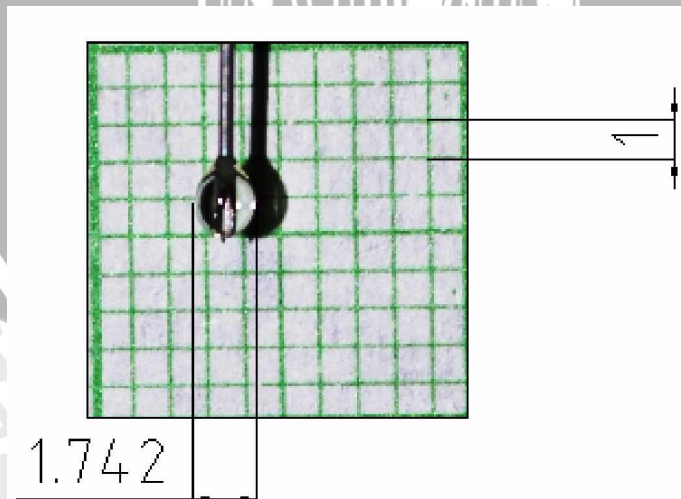


Biji jarak dihaluskan dengan





Lampiran 4. Gambar Pengukuran diameter *droplet*



Satuan : mm

Gambar ukuran diameter *droplet*



Lampiran 5. Perangkat Penelitian





Gambar alat kontrol dan LDR



Gambar perangkat ADC

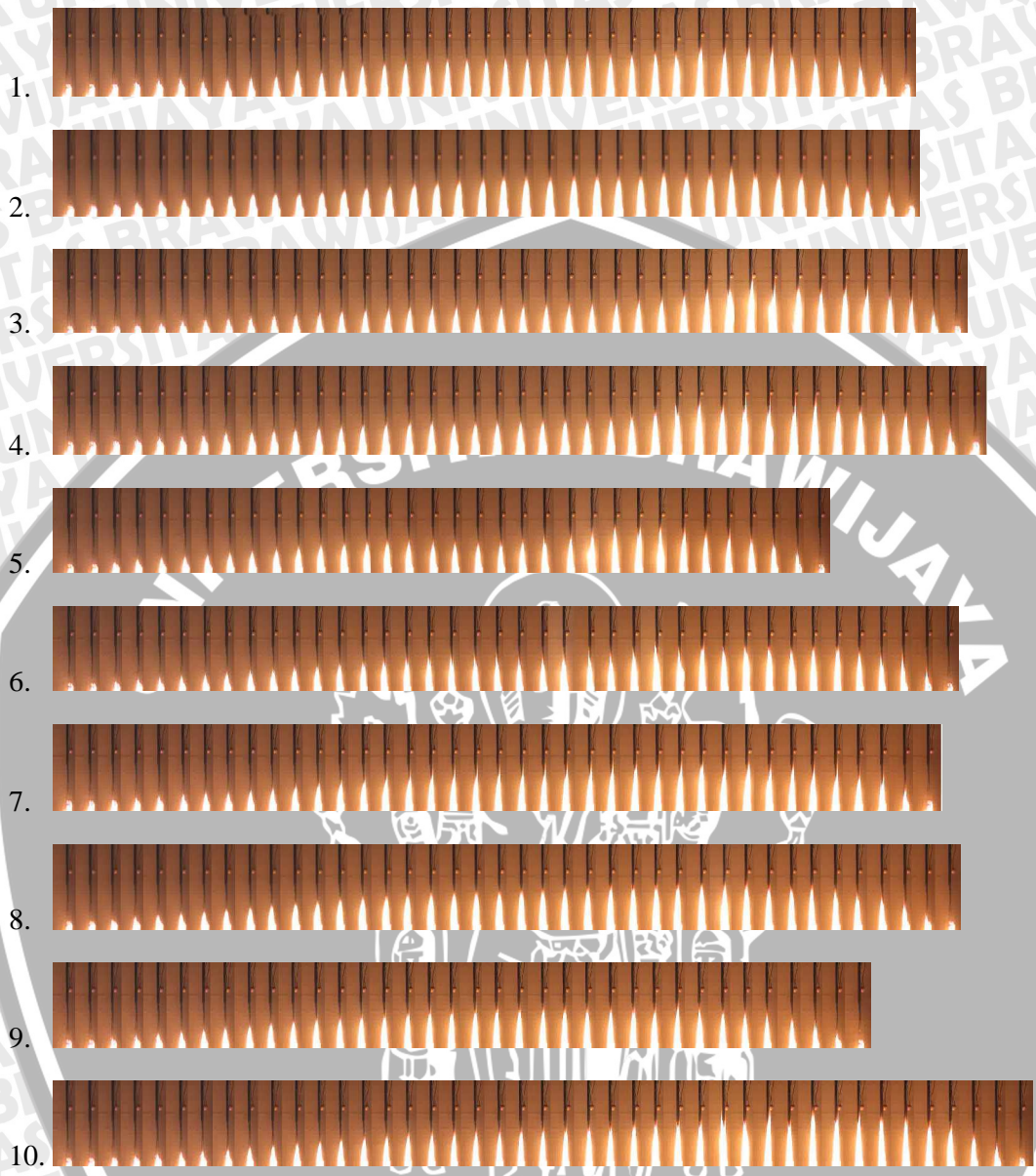


Gambar sumber elemen pemanas



Lampiran 6. Visualisasi nyala api tanpa pemberian frekuensi dan dengan berbagai pemberian frekuensi gelombang ultrasonik

Data tanpa perlakuan



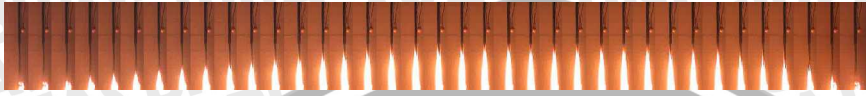
Dengan Perlakuan

1. 60 khz

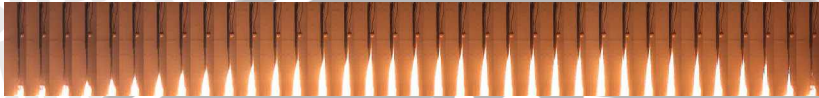


2. 100 khz

1.



2.



3.



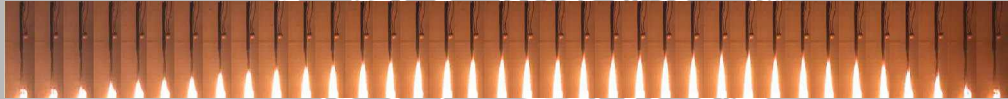
4.



5.



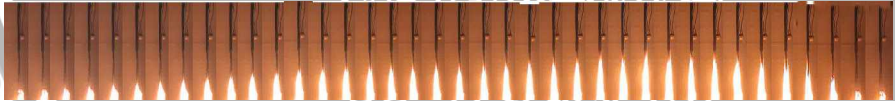
6.



7.



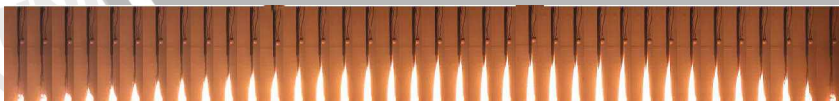
8.



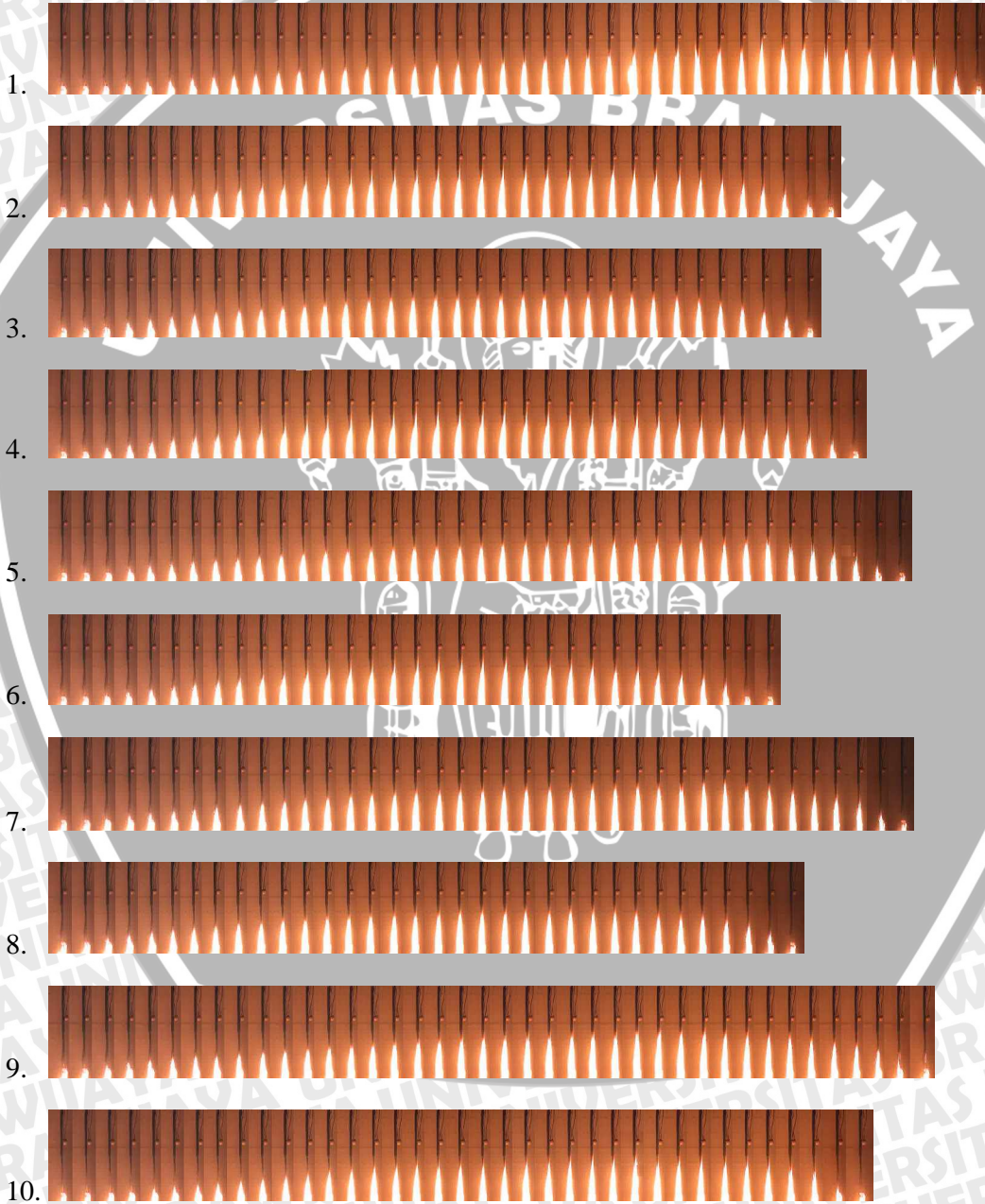
9.



10.

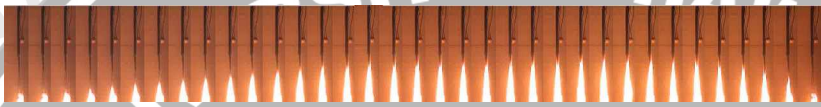


3. 140 khz



4. 180 khz

1.



2.



3.



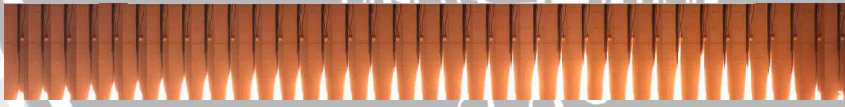
4.



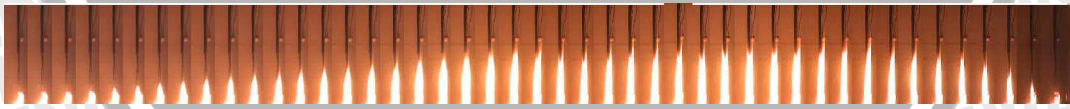
5.



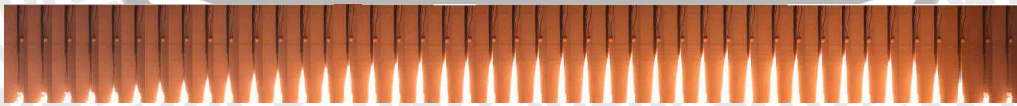
6.



7.



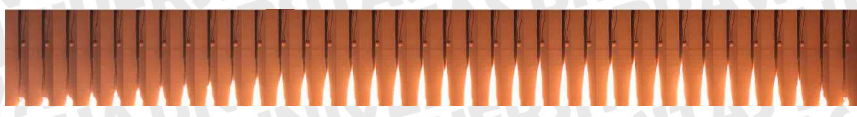
8.



9.



10.



5. 220 khz

1.



2.



3.



4.



5.



6.



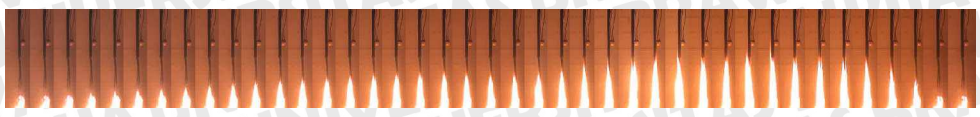
7.



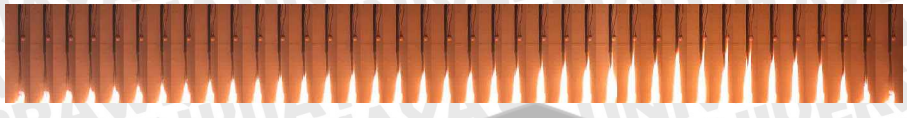
8.



9.



10.



Lampiran 7. Gambar Nyala Api Droplet Minyak Jarak Pagar

Tanpa *Microexplosion*



Dengan *Microexplosion*



