

**PENGARUH DAYA ELEMEN PEMANAS (*HEATER*) TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN MINYAK JARAK PAGAR
(*JATHROPA CURCS L*) DALAM MEDAN MAGNET STATIS**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi
Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

YUDISTIRA ARI NUGRAHA
NIM. 0210620134-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2007

**PENGARUH DAYA ELEMEN PEMANAS (*HEATER*) TERHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN MINYAK JARAK PAGAR
(*JATHROPA CURCS L*) DALAM MEDAN MAGNET STATIS**

SKRIPSI

Konsentrasi Konversi Energi
Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



Disusun Oleh :

YUDISTIRA ARI NUGRAHA

NIM. 0210620134

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

DOSEN PEMBIMBING I

DOSEN PEMBIMBING II

Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.
NIP. 131 286 308

Agung Sugeng W, S.T., M.T.
NIP. 132 206 469



**PENGARUH DAYA ELEMEN PEMANAS (*HEATER*) TEHADAP
KARAKTERISTIK PEMBAKARAN MINYAK JARAK PAGAR
(*JATHROPA CURCS L*) DALAM MEDAN MAGNET STATIS**

Disusun Oleh :

YUDISTIRA ARI NUGRAHA
NIM. 0210620134-62

Skripsi ini telah diuji dan dinyatakan lulus pada
tanggal 17 Januari 2007

DOSEN PENGUJI

SKRIPSI I

Ir. I Made Gunadiarta, MT.
NIP. 130 604 495

SKRIPSI II

Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc.
NIP. 131 411 121

KOMPREHENSIF

Ir. Pratikto, M.MT.
NIP. 130 928 864

Mengetahui
Ketua Jurusan Mesin

Ir. Bambang Indrayadi, MT.
NIP. 131 653 469

Thanks to :

To my parents – Mr. and Mrs. Siswanto – for their love and guidance

To my sister and brother – Mila and Bagja – for their love, understanding and encouragement

To my Ph.D., final project advisor at Brawijaya University –

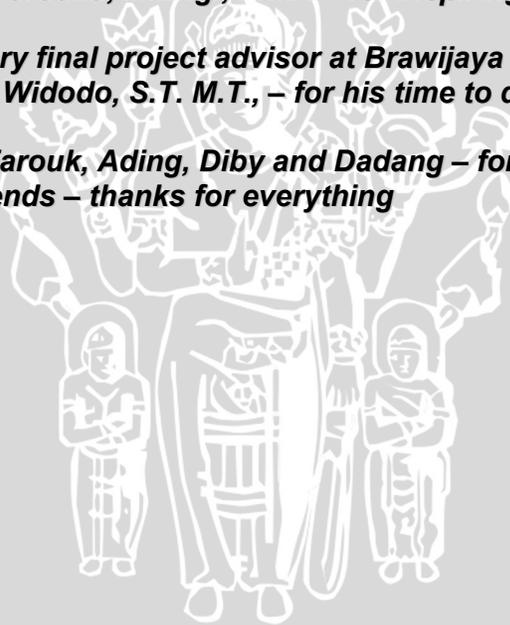
Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D. – for inspiring my interest in Combustion

To my secondary final project advisor at Brawijaya University –

Agung Sugeng Widodo, S.T. M.T., – for his time to discuss the final project

To my team – Farouk, Ading, Diby and Dadang – for our teamwork

To all of my friends – thanks for everything



KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah saya ucapkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “**Pengaruh Daya Elemen Pemanas (*Heater*) Terhadap Karakteristik Pembakaran Minyak Jarak Pagar (*Jathropa Curcs L*) Dalam Medan Magnet Statis**” dapat terselesaikan.

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

1. Bapak Ir. Bambang Indrayadi, M.T., selaku Ketua Jurusan Mesin.
2. Bapak Ir. Djoko Sutikno, M.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin.
3. Bapak Dr. Ir. Rudy Soenoko, M.Eng.Sc, selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi Jurusan Mesin.
4. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran dalam menyusun skripsi ini.
5. Bapak Agung Sugeng W., S.T. M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak meluangkan waktunya untuk berdiskusi dalam penyusunan skripsi ini.
6. Seluruh Staf Pengajar Jurusan Teknik Mesin yang saya hormati.
7. Seluruh Staf Administrasi Jurusan Teknik Mesin serta Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
8. Semua pihak yang telah memberikan dorongan, semangat, dan do'a dalam penyelesaian skripsi ini.

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

Malang, Januari 2007

Penyusun

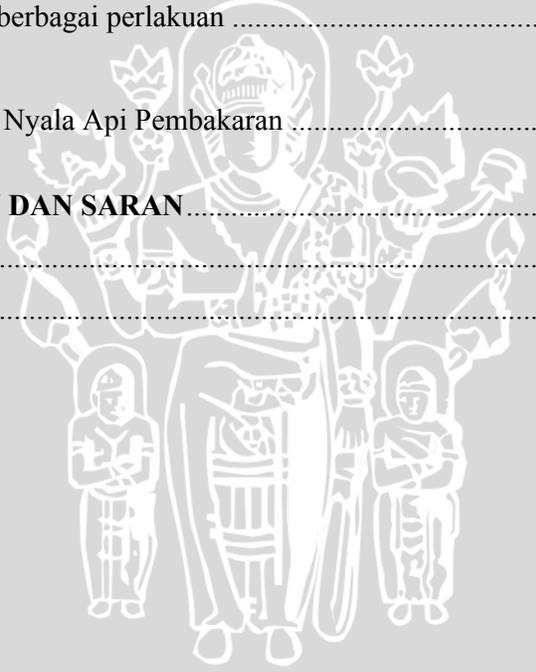
DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK	v
DAFTAR LAMPIRAN	vii
DAFTAR SIMBOL	viii
RINGKASAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Batasan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Penelitian Sebelumnya.....	4
2.2. Minyak Jarak Pagar (<i>Jathropa Curcus L</i>).....	5
2.3. Pembakaran pada <i>Droplet</i>	8
2.4. Teori Kinetik Gas.....	13
2.5. Medan Magnet pada Pembakaran.....	14
2.6. Elemen Pemanas	18
2.7. Hipotesis	18
BAB III METODE PENELITIAN	19
3.1. Metode Penelitian	19
3.2. Variabel Penelitian.....	19
3.3. Peralatan yang Digunakan	20
3.4. Gambar Instalasi Penelitian	25
3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian.....	26
3.6. Diagram Alir Penelitian	29

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1. Data Hasil Penelitian	30
4.2. Analisa Grafik	30
4.2.1. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt tanpa medan magnet	30
4.2.2. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt dengan dan tanpa medan magnet	31
4.2.3. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 93,75 watt dengan dan tanpa medan magnet	34
4.2.4. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 135 watt dengan dan tanpa medan magnet	37
4.2.5. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan berbagai perlakuan	39
4.3. Visualisasi Nyala Api Pembakaran	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	49
5.1 Kesimpulan	49
5.2 Saran	49

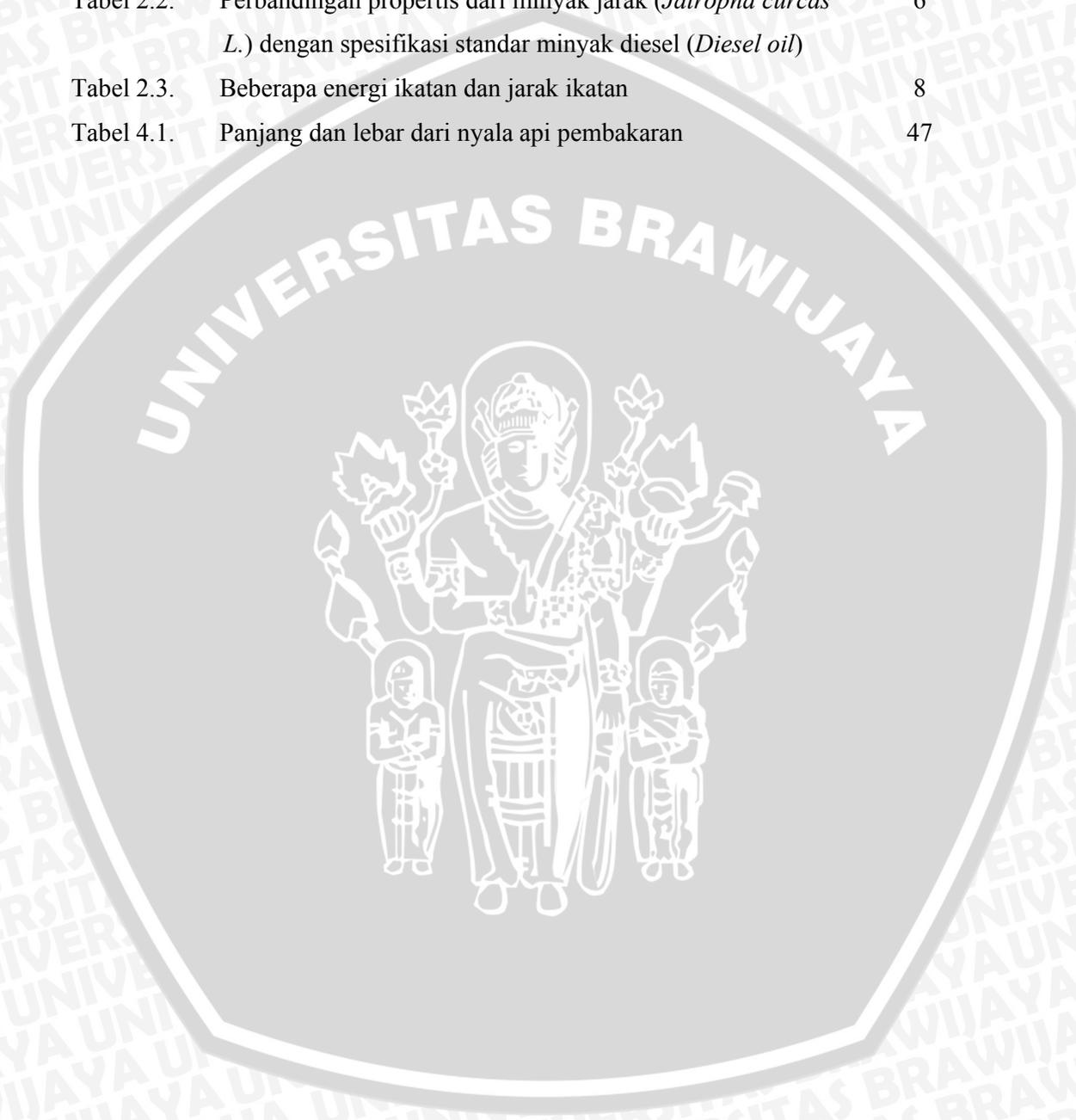
DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Analisa kimia dari minyak jarak (<i>Jatropha curcas L.</i>)	6
Tabel 2.2.	Perbandingan propertis dari minyak jarak (<i>Jatropha curcas L.</i>) dengan spesifikasi standar minyak diesel (<i>Diesel oil</i>)	6
Tabel 2.3.	Beberapa energi ikatan dan jarak ikatan	8
Tabel 4.1.	Panjang dan lebar dari nyala api pembakaran	47



DAFTAR GAMBAR DAN GRAFIK

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Struktur kimia biji minyak jarak pagar	7
Gambar 2.2.	Model nyala api <i>droplet</i>	9
Gambar 2.3.	Perubahan parameter pada <i>double film model</i>	10
Gambar 2.4.	Distribusi temperatur pada penguapan <i>droplet</i>	11
Gambar 2.5.	Muatan q_0 yang ditembakkan dari titik asal dengan kecepatan v	14
Gambar 2.6.	Inti atom berspin	15
Gambar 2.7.	Perilaku zat paramagnetik dan diamagnetik dalam medan magnet	16
Gambar 2.8.	Medan magnet pada magnet solenoida	17
Gambar 3.1.	Teslameter	23
Gambar 3.2.	Pengukuran kuat medan magnet	24
Gambar 3.3.	Rangkaian Alat Uji Penelitian	25
Gambar 3.4.	Alat pembentuk <i>droplet</i> minyak jarak pagar	26
Gambar 3.5.	Ruang pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak pagar	27
Gambar 3.6.	Layout program penelitian	27
Gambar 3.7.	Diagram Alir Penelitian	29
Gambar 4.1.	Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt tanpa medan magnet	30
Gambar 4.2.	Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt dengan dan tanpa medan magnet	31
Gambar 4.3.	Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 93,75 watt dengan dan tanpa medan magnet	34
Gambar 4.4.	Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 135 watt dengan dan tanpa medan magnet	37
Gambar 4.5.	Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap	39

temperatur dengan berbagai perlakuan

Gambar 4.6.	Visualisasi nyala api pembakaran pada daya 60 watt	43
Gambar 4.7.	Visualisasi nyala api pembakaran pada daya 93,75 watt	44
Gambar 4.8.	Visualisasi nyala api pembakaran pada daya 135 watt	45
Gambar 4.9.	Nyala api pembakaran	46



DAFTAR LAMPIRAN

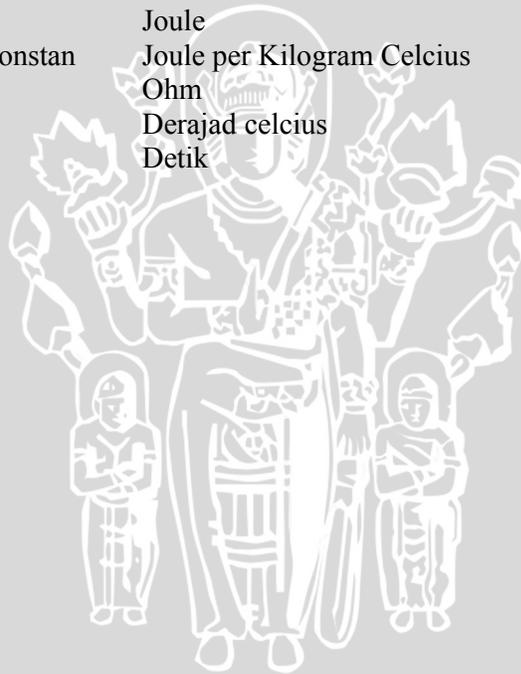
No.	Judul
Lampiran 1	Alat-alat yang digunakan untuk penelitian
Lampiran 2	Proses pengukuran kuat medan magnet
Lampiran 3	Proses pembuatan minyak dari tanaman jarak pagar
Lampiran 4	Grafik ilustrasi pembakaran <i>droplet</i> minyak jarak pagar
Lampiran 5	Data pengujian berbagai perlakuan
Lampiran 6	Hasil pengujian kuat medan magnet

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



DAFTAR SIMBOL

Besaran dasar	Satuan	Simbol
Arus	Ampere	A
Daya	Watt	W
Fluks magnet	Weber	Wb
Gaya	Newton	N
Kecepatan	Meter per detik	m/s
Kuat medan magnet	Tesla	T
Masa	Kilogram	kg
Masa jenis	Kilogram per meter kubik	kg/m ³
Muatan listrik	Coulomb	C
Panjang	Meter	m
Potensial listrik	Volt	V
Panas	Joule	J
Panas spesifik-tekanan konstan	Joule per Kilogram Celcius	C _p
Resistansi listrik	Ohm	Ω
Suhu Celcius	Derajat celcius	°C
Waktu	Detik	detik



RINGKASAN

YUDISTIRA ARI NUGRAHA, Jurusan Mesin, Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Januari 2007, *Pengaruh Daya Elemen Pemanas (Heater) Terhadap Karakteristik Pembakaran Minyak Jarak Pagar (Jathropa Curcs L) Dalam Medan Magnet Statis*, Dosen Pembimbing : Prof. Ir. ING Wardana, M.Eng., Ph.D. dan Agung Sugeng W., ST., MT.

Kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat. Untuk mengatasi hal tersebut diperlukan suatu upaya untuk mengganti, menemukan dan mengembangkan sumber energi baru, salah satunya dengan menggunakan bahan bakar alternatif dari tumbuh-tumbuhan dalam hal ini minyak jarak pagar (*Jathropa Curcs L*). Minyak jarak pagar (*Jathropa Curcs L*) memiliki sifat yang mendekati karakteristik dari bahan bakar cair khususnya minyak diesel. Pada minyak jarak pagar (*Jathropa Curcs L*) terdapat banyak kandungan oksigen, sehingga pembakarannya menjadi lebih sempurna yang mengakibatkan gas buangnya menjadi tidak berbahaya dan lebih bersih, namun nilai kalor yang dimilikinya lebih rendah dari bahan bakar solar. Penambahan suatu medan magnet pada penelitian ini diharapkan proses pembakaran minyak jarak pagar (*Jathropa Curcs L*) akan mampu mempercepat reaksi kimia proses pembakaran karena medan magnet berpengaruh terhadap perilaku hidrokarbon sebagai penyusun utama bahan bakar dan juga oksigen yang bertindak sebagai oksidator.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh daya elemen pemanas pada pembakaran menggunakan medan magnet terhadap karakteristik pembakaran *droplet* bahan bakar minyak jarak pagar (*Jathropa Curcs L*).

Metode yang dilakukan pada penelitian ini yaitu dengan pengamatan langsung. Data temperatur hasil pembakaran diperoleh dari sensor *thermocouples* yang kemudian dikuatkan oleh *Operational Amplifier*. Data yang diperoleh selanjutnya diubah dari data analog ke data digital dengan menggunakan *Analog to Digital Converter*, sehingga bisa terekam oleh komputer. Pengukuran dilakukan dengan memvariasikan daya elemen pemanas (*heater*) sebesar 60 watt, 93,75 watt dan 135 watt.

Hasil penelitian menunjukkan waktu pembakaran untuk daya elemen pemanas 60 watt, 93,75 watt dan 135 watt dengan menggunakan medan magnet adalah 6164 milidetik, 4533 milidetik dan 3649 milidetik, sehingga penurunan kecepatan pembakaran dengan menggunakan daya elemen pemanas 93,75 watt sebesar 27,19% dan untuk daya 135 watt sebesar 40,30%. Sedangkan untuk daya elemen pemanas 60 watt, 93,75 watt dan 135 watt tanpa medan magnet adalah 6368 milidetik, 4506 milidetik dan 3756 milidetik, sehingga penurunan kecepatan pembakaran dengan menggunakan daya elemen pemanas 93,75 watt sebesar 22,9% dan untuk daya 135 watt sebesar 40,8%. Panjang nyala api yang dihasilkan untuk daya elemen pemanas 60 watt, 93,75 watt dan 135 watt dengan menggunakan medan magnet adalah 92 mm, 85 mm dan 80 mm sedangkan untuk tanpa medan magnet adalah 95 mm, 90 mm dan 85 mm.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan teknologi, kebutuhan manusia akan energi semakin meningkat. Seperti yang telah diketahui sebagian besar pemenuhan energi tersebut berasal dari bahan bakar fosil yang ketersediaannya tidak dapat diperbarui dan keberadaannya semakin menipis. Kondisi ini mendorong kita untuk mengganti, menemukan dan mengembangkan sumber energi baru.

Berbagai upaya telah dilakukan oleh para peneliti untuk mencari alternatif pengganti bahan bakar minyak tersebut, salah satunya dengan menggunakan bahan bakar alternatif dari tumbuh-tumbuhan dalam hal ini minyak jarak pagar. 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. Bahan bakar alternatif harus bersifat *renewable* dan ramah lingkungan. Sedangkan tanaman jarak pagar mudah dibudidayakan dengan demikian tanaman jarak pagar mudah diperbaharui sehingga bersifat *renewable*. Pada minyak jarak terdapat banyak kandungan oksigen sehingga pembakaran pun akan lebih mendekati sempurna, gas buangnya tidak berbahaya dan lebih bersih. Namun, nilai kalor yang dimilikinya lebih rendah dari solar. Sementara solar tidak memiliki oksigen sehingga proses pembakaran tidak sempurna, buangan mengandung karbon monoksida yang berbahaya, tetapi nilai kalorinya tinggi.

Banyak penelitian dilakukan untuk meningkatkan kualitas pembakaran, yang mengakibatkan kenaikan unjuk kerja dari proses pembakaran, baik itu dari segi efisiensi maupun produk pembakaran. Salah satunya dilakukan oleh I Nyoman Hari Wirakusuma (1996), dengan memberikan pengaruh medan magnet pada proses pembakaran, dari penelitian tersebut didapatkan adanya pengaruh medan magnet terhadap karakteristik pembakaran bahan bakar gasohol. Dimana penambahan medan magnet tersebut dapat meningkatkan kecepatan pembakaran dan mengurangi terjadinya fluktuasi temperatur pada proses pembakaran bahan bakar gasohol. Sedangkan Dhidhik Krido Laksono (2006) mendapatkan adanya pengaruh penambahan medan magnet pada pembakaran bahan bakar dengan menggunakan *porous medium*. Dimana semakin besar kuat medan magnet yang diberikan mengakibatkan temperatur pembakaran *premixed* pada *porous*

medium meningkat. Sedangkan Sumathi Swaminathan (2005) mengemukakan bahwa terjadi interaksi antara medan magnet dengan nyala difusi laminar. Dimana dalam studi beliau pengaruh dari gradien medan magnet pada nyala laminar C_3H_8 atau udara ditetapkan dengan melakukan penyelidikan berdasarkan beberapa parameter, yaitu perubahan struktur nyala dan variasi distribusi temperatur pada nyala api.

Berdasarkan penelitian tersebut, maka perlu dilakukan suatu pengembangan obyek penelitian yang meluas, yaitu pemberian daya elemen pemanas yang bervariasi pada pembakaran bahan bakar minyak jarak dengan menggunakan medan magnet. Dengan pemberian daya elemen pemanas yang bervariasi pada pembakaran bahan bakar minyak jarak menggunakan medan magnet diharapkan akan mempengaruhi struktur ikatan antar atom bahan bakar sehingga akan berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dapat dibuat rumusan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana pengaruh besar daya elemen pemanas (*heater*) terhadap karakteristik pembakaran minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) dalam medan magnet statis.

1.3 Batasan Masalah

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

1. Bahan bakar yang digunakan adalah minyak jarak pagar yang diperoleh dari proses pemerasan biji jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) tanpa melalui proses transesterifikasi atau katalisasi lebih lanjut.
2. Pengambilan data dilakukan pada kondisi lingkungan yang dianggap tetap.
3. Perhitungan konstruksi alat diabaikan.
4. Tidak membahas reaksi kimia yang terjadi selama proses pembakaran.
5. Tidak menghitung besarnya perpindahan panas yang terjadi.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui besar daya elemen pemanas pada pembakaran menggunakan medan magnet yang dapat memberikan pengaruh yang terbaik terhadap karakteristik pembakaran *droplet* bahan bakar minyak jarak pagar.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Mampu menerapkan teori-teori yang telah didapat selama perkuliahan terutama mengenai masalah pembakaran.
2. Dapat meningkatkan pengetahuan tentang pengaruh penambahan medan magnet terhadap hasil pembakaran bahan bakar minyak jarak.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh **Wirakusuma, I Nyoman Hari (1996)**, didapatkan bahwa dengan memberikan pengaruh medan magnet pada proses pembakaran, maka medan magnet tersebut akan mempengaruhi terhadap karakteristik pembakaran bahan bakar gasohol. Dimana penambahan medan magnet tersebut dapat meningkatkan kecepatan pembakaran dan mengurangi terjadinya fluktuasi temperatur pada proses pembakaran.

Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh **Swaminathan, Sumathi (2005)**, di dapatkan adanya interaksi antara medan magnet dengan nyala difusi laminar. Dalam penelitian ini, pengaruh gradien medan magnet pada sifat nyala laminar C_3H_8 atau udara ditetapkan dengan melakukan pengamatan terhadap beberapa parameter, yaitu perubahan pada struktur nyala dan variasi distribusi temperatur pada nyala api.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh **Laksono, Dhidhik Krido (2006)**, didapatkan hasil bahwa dengan penambahan medan magnet pada bahan bakar dapat meningkatkan temperatur pembakaran *premixed* dengan menggunakan *porous medium*. Semakin besar kuat medan magnet yang diberikan mengakibatkan temperatur pembakaran juga akan semakin meningkat.

Dari penelitian-penelitian di atas dapat diambil kesimpulan bahwa pada proses pembakaran dengan menggunakan medan magnet akan memberikan pengaruh terhadap kecepatan pembakaran dengan disertai semakin meningkatnya temperatur pada proses pembakaran. Hal ini dikarenakan medan magnet memberi pengaruh terhadap proses reaksi pembakaran yaitu dimana ikatan molekul hidrokarbon pada bahan bakar akan semakin merenggang dan terlepas dari ikatan molekul hidrokarbon tersebut. Dengan lepasnya ikatan molekul hidrokarbon ini akan mengakibatkan timbulnya radikal bebas yaitu atom yang tidak stabil dan bergerak paling aktif dalam proses reaksi. Dengan semakin banyaknya ikatan molekul hidrokarbon yang tidak stabil maka reaksi kimia pembakaran akan semakin cepat menyebabkan pembakaran semakin lebih sempurna yang mengakibatkan naiknya temperatur pembakaran.

2.2. Minyak Jarak Pagar (*Jathropa Curcs L*)

Tanaman jarak pagar (*Jathropa Curcs L*) termasuk dalam famili *Euphorbiaceae*, merupakan jenis tanaman tahunan yang hidup di daerah tropis maupun subtropis. Minyak jarak merupakan jenis minyak yang berasal dari pengolahan tanaman jarak pagar. Panen tanaman jarak pagar dapat dilakukan ketika kulit buah sudah berwarna kuning. Buah jarak pagar yang masih berkulit dijemur dalam beberapa hari sehingga kulit akan keluar dari cangkangnya. Proses ekstraksi minyak jarak pagar tergolong mudah. Daging buah tanaman jarak pagar dihancurkan dengan menggunakan mesin blender. Setelah itu, daging buah dan biji yang sudah dihancurkan dimasukkan ke dalam mesin tempa minyak. Dengan melakukan penekanan dongkrak hidrolis, ampas diperas hingga menghasilkan minyak. Wujud bahan bakar minyak dari biji jarak pagar ini ialah seperti minyak goreng, kental, licin, dan baunya tidak mencolok.

Minyak jarak pagar (*Jatropha curcas*) dipilih sebagai bahan bakar karena (a) sifat fisika-kimianya sesuai dengan sifat bahan baku untuk memproduksi bahan bakar, (b) minyak jarak tidak termasuk minyak pangan, (c) tanaman jarak dapat tumbuh baik di lahan kering/kritis sehingga berpotensi mengubah lahan kritis menjadi lahan yang produktif.

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. Bahan bakar alternatif harus bersifat *renewable* dan ramah lingkungan. Tanaman jarak pagar mudah dibudidayakan dengan demikian tanaman jarak pagar mudah diperbaharui sehingga bersifat *renewable*.

Pada minyak jarak pagar jika dilihat dari struktur molekulnya terdapat banyak kandungan oksigen sehingga proses pembakaran yang terjadi diharapkan menjadi lebih sempurna, gas-gas hasil pembakaran tidak berbahaya dan lebih bersih. Namun, nilai kalor yang dimilikinya lebih rendah jika dibandingkan dengan minyak diesel. Sementara minyak diesel tidak memiliki oksigen sehingga proses pembakarannya tidak sempurna, gas buangnya mengandung karbon monoksida yang berbahaya, tetapi nilai kalorinya tinggi.

Pada penelitian ini digunakan minyak jarak mentah (*raw jatropha oil*) yang berasal dari ekstrak biji tanaman jarak pagar tanpa melalui katalisasi dan esterifikasi lebih lanjut.

Sifat dan karakteristik minyak jarak dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1. Analisa kimia dari minyak *Jatropha curcas L*

ITEM	VALUE
Acid value	38,2
Saponification value	195,0
Iodine value	101,7
Fatty acids composition	
Palmitic acid %	4,2
Stearic acid %	6,9
Oleic acid %	43,1
Linoleic acid %	34,3
Other acids %	1,4

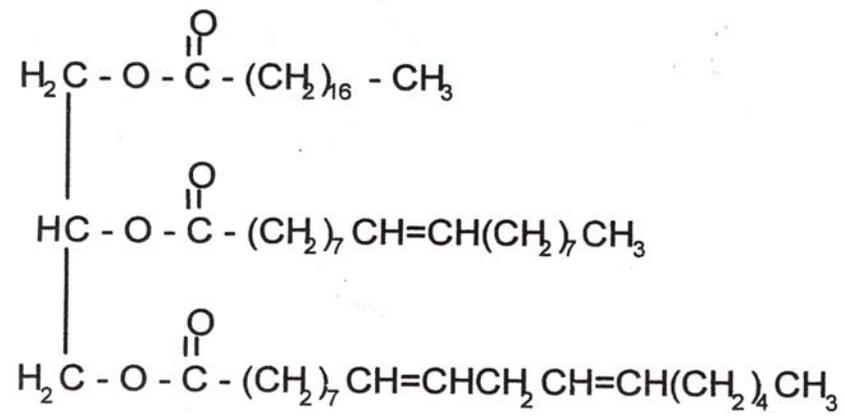
Sumber: www.Svlele.com/jatrophaplant.htm

Tabel 2.2. Perbandingan properties dari minyak *Jatropha curcas L* dengan spesifikasi standart minyak diesel

Specification	Standard specification of <i>Jatropha curcas</i> oil	Standard specification of Diesel oil
Specific gravity	0,9186 g/cm ³	0,82/0,84 g/cm ³
Flash point	240°C	50°C
Carbon residue	0,64 % mass	0,15 % mass or less
Cetane value	51,0	> 50,0
Distillation point	295°C	350°C
Kinematics Viscosity	50,73 cSt	> 2,7 cSt
Sulpher %	0,13 % mass	1,2 % mass or less
Calorific value	9.470 kcal/kg	10.170 kcal/kg

Sumber: www.Svlele.com/jatrophaplant.htm

Rumus struktur dari biji minyak jarak pagar (*Jatropha curcas L seed oil*) adalah:



Gambar 2.1.
 Struktur kimia minyak jarak pagar
 Sumber : Bio-tecnology research center ITB, 2005

Pada struktur dari biji minyak jarak pagar dapat dilihat bahwa rantainya memiliki ikatan panjang. Karena memiliki ikatan panjang menyebabkan atom-atom dari minyak jarak menjadi stabil, sehingga minyak jarak akan lebih sulit terbakar dan butuh energi yang besar untuk melepaskan ikatan-ikatan atom dari minyak jarak tersebut. Dalam struktur kimia tersebut juga terdapat ikatan ganda yang mempunyai energi disosiasi lebih besar daripada ikatan tunggal, sehingga dibutuhkan energi yang lebih besar untuk memutuskannya. Energi disosiasi ikatan didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan kimia suatu zat dalam fase gas. Satuan SI (standar internasional) untuk energi ikatan adalah kilojoule per mole ikatan (kJ/mol). Dengan demikian kekuatan suatu ikatan kimia ditentukan oleh energi ikatan yang besarnya tergantung pada sifat ikatan antara atom-atom, yaitu ikatan ganda dua lebih kuat dibandingkan ikatan tunggal dan ikatan ganda tiga lebih kuat dibandingkan ikatan ganda dua. Disamping itu, terdapat hubungan antara energi disosiasi ikatan dan jarak ikatan, yaitu jarak antara inti dari atom-atom yang berikatan. Semakin kuat suatu ikatan kimia, semakin pendek jarak ikatannya. Di bawah ini ditunjukkan data energi ikatan dan jarak ikatan untuk sejumlah ikatan kimia.

Tabel 2.3. Beberapa energi ikatan dan jarak ikatan

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

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

Dengan adanya rantai yang panjang dan ikatan rangkap pada struktur kimia minyak jarak diperlukan sejumlah energi dari luar yang dapat membantu energi panas untuk pemutusan ikatan-ikatan kimia tersebut, sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih cepat. Medan magnet yang ditambahkan pada proses pembakaran bahan bakar akan mempengaruhi jalannya proses pembakaran. Semakin kuat medan magnet yang diberikan, maka gaya tolak menolak antara atom hidrogen dalam bahan bakar akan semakin besar. Sehingga ikatan antara atom hidrogen dan karbon akan semakin renggang. Akibatnya, ikatan senyawa bahan bakar menjadi tidak stabil. Dengan semakin banyaknya ikatan senyawa yang tidak stabil maka reaksi kimia pembakaran akan semakin cepat menyebabkan pembakaran semakin lebih sempurna yang mengakibatkan naiknya temperatur pembakaran.

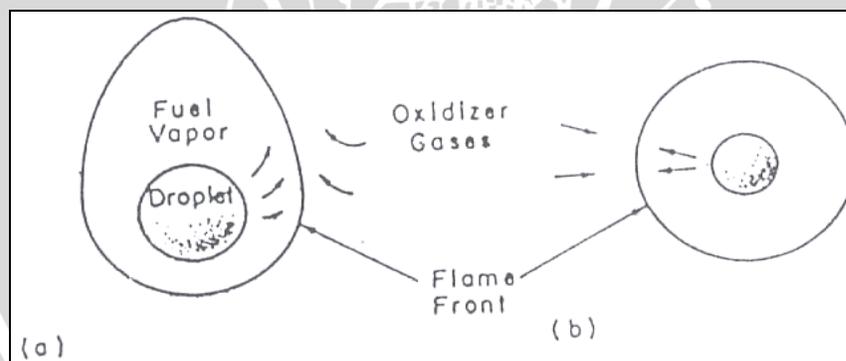
2.3. Pembakaran pada *Droplet*

Pada bahan bakar cair dalam hal ini minyak jarak, pembakaran yang baik akan terjadi apabila minyak jarak tersebut berupa tetesan atau butiran yang kecil dimana dengan bentuk yang kecil ini, minyak jarak akan mudah menguap sebelum terbakar. Pemasukan minyak jarak ke dalam ruang bakar akan berbentuk kabut yang terdiri dari banyak butir-butir yang disebut *droplet*. Karakteristik pembakaran minyak jarak pagar merupakan karakteristik pembakaran tiap-tiap *droplet*. Dengan demikian karakteristik

pembakaran bahan bakar tersebut dapat diteliti dengan mengamati satu buah *droplet*. Pemakaian *droplet* pada penelitian ini akan dapat menyederhanakan permasalahan dan dapat diterima sesuai dengan perlakuan secara teori.

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

Bentuk dari nyala api bisa berupa *spherical* (bulat) atau *non-spherical* (tidak bulat) bergantung dari lingkungan sekitarnya dan juga bergantung dari ukuran *droplet*. Bentuk nyala api *non-spherical* dapat disebabkan karena kecepatan relatif antara udara sekeliling dengan *droplet* juga oleh efek konveksi alami atau gravitasi. Jika ukuran *droplet* dibuat kecil, maka *droplet* akan ditahan oleh gas sekelilingnya, dan kecepatan relatif antara gas dengan *droplet* menjadi sangat kecil. Hal ini menyebabkan nyala api dari *droplet* dapat mendekati *spherical*. Dalam penelitian ini *droplet* dibuat kecil, sekitar 1 mm, sehingga bentuk nyala api dapat mendekati *spherical*.

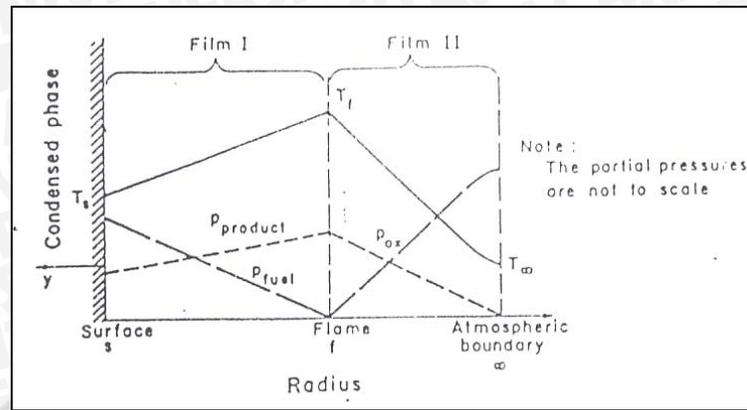


Gambar 2.2.

Model nyala api *droplet*

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

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



Gambar 2.3.

Perubahan parameter pada *double film model*

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

Di dalam proses pembakaran *droplet* minyak jarak, energi panas dari luar digunakan untuk meregangkan dan memutuskan ikatan hidrokarbon minyak jarak. Dengan penambahan medan magnet maka ada energi tambahan yang membantu untuk mempercepat pemutusan ikatan tersebut sehingga mempercepat proses perubahan fase dari cair ke gas. Akibatnya proses pembakaran menjadi semakin cepat.

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

$$Q = \Delta h_v + C_{liq}(T_s - T_0) \quad (\text{Kuo, 1986: 373})(2.1)$$

Dimana :

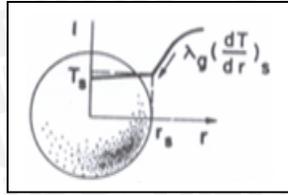
Q = energi total penguapan (kJ/kg)

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)



Gambar 2.4.

Distribusi temperatur pada penguapan *droplet*

Sumber: Kenneth K. Kuo, *Principles of Combustion*, 1986: 377

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

- Koefisien evaporasi
- Laju pembakaran massa
- Laju evaporasi bahan bakar

Koefisien evaporasi

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

$$d^2 = d_o^2 - \beta_v \cdot t \quad (\text{Kuo, 1986 : 372})(2.2)$$

Maka :

$$\beta_v = \frac{d_o^2 - d^2}{t} \quad (\text{Kuo, 1986 : 372})(2.3)$$

Dimana :

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

d_o = diameter awal *droplet* (mm).

β_v = koefisien evaporasi.

t = waktu (detik).

Laju evaporasi bahan bakar

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

$$v_{FE} = \frac{2D \ln(1+B)}{d_0} \quad (\text{Kuo, 1986: 376}) \quad (2.4)$$

Dimana :

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

D = difusivitas massa (m²/s)

B = *transfer number*

d_0 = diameter *droplet* (mm)

Laju pembakaran massa

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

$$v_{FM} = \frac{\dot{m}_F}{\pi \cdot d_0^2 \cdot \rho_L} \quad (\text{Kuo, 1986: 376}) \quad (2.5)$$

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/m³)

d_0 = diameter *droplet* (mm)

Persamaan menunjukkan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menguapkan *droplet* bahan bakar akan semakin singkat, kemudian laju evaporasi dan laju pembakaran massa *droplet* semakin besar jika :

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

Penambahan suatu medan magnet pada proses pembakaran *droplet* bahan bakar cair akan mampu mempercepat reaksi kimia proses pembakaran *droplet* bahan bakar cair diluar dari ketiga hal diatas. Hal ini disebabkan karena medan magnet berpengaruh terhadap perilaku hidrokarbon sebagai penyusun utama bahan bakar dan juga oksigen yang bertindak sebagai oksidator.

Ikatan antara hidrogen dan karbon dalam bahan bakar akan mengalami gangguan yang bersifat memperlemah ikatan kedua unsur tersebut karena adanya pengaruh medan magnet, sehingga proses pemutusan ikatan yang terjadi pada proses pembakaran akan menjadi lebih mudah yang tentunya akan mempercepat terjadinya reaksi pembakaran. Selain itu, dengan adanya medan magnet maka oksigen yang bersifat paramagnetik akan tertarik ke arah medan magnet yang berarti aliran udara dalam hal ini oksigen yang mengalir ke nyala api akan semakin banyak sehingga pembakaran menjadi lebih sempurna.

2.4. Teori Kinetik Gas

Dari sudut pandang atom, reaksi pembakaran merupakan 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.

$$\frac{3}{2} k T = \frac{1}{2} m \bar{v}^2 \quad (\text{David Halliday, 1985 : 253})(2.6)$$

Dimana :

T = temperatur pembakaran (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 dalam hal ini temperatur pembakaran.

Didalam proses pembakaran bahan bakar dalam hal ini proses pembakaran *droplet* minyak jarak pagar dalam pengaruh medan magnet, energi panas dari luar digunakan untuk memutuskan ikatan-ikatan hidrokarbon dalam bahan bakar menjadi radikal-radikal bebas. Apabila radikal-radikal tersebut mendapat gaya dorong dari medan magnet yang bekerja, maka kecepatan gerak atom atau molekul-molekul radikal tersebut akan bertambah. Hal ini berarti tumbukan yang terjadi antar atom atau molekul-molekul zat yang bereaksi akan semakin cepat yang tentunya akan menyebabkan terjadinya kenaikan temperatur pembakaran seiring dengan meningkatnya kecepatan reaksi pembakaran.

2.5. Medan Magnet pada Pembakaran

Medan magnet dapat didefinisikan sebagai area di sekitar sebuah magnet atau sebuah penghantar yang dialiri arus listrik sehingga mampu menimbulkan efek magnetik. Sedangkan vektor medan magnet dinamakan induksi magnet (*magnetic induction*) yang dapat dinyatakan dengan garis-garis induksi (*line of induction*) yang identik dengan bila kita menyatakan medan listrik dengan garis gaya listrik (GGL). Jika medan magnet muncul pada suatu ruang, artinya ada perubahan energi dari volume ruang tersebut dan timbul gradien energi yang menghasilkan gaya yang dapat dideteksi dengan adanya percepatan pada muatan listrik yang bergerak di dalamnya.

Jika sebuah muatan q ditempatkan dalam keadaan diam di dalam suatu medan magnet, maka tidak ada gaya yang bekerja pada muatan q tersebut. Namun, jika kita menempatkan muatan q dengan kecepatan v melalui suatu titik dalam medan magnet, maka muatan tersebut akan didorong oleh suatu gaya magnet yang besarnya :

$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \theta \quad (\text{David Halliday, 1988:253})(2.7)$$

Dimana:

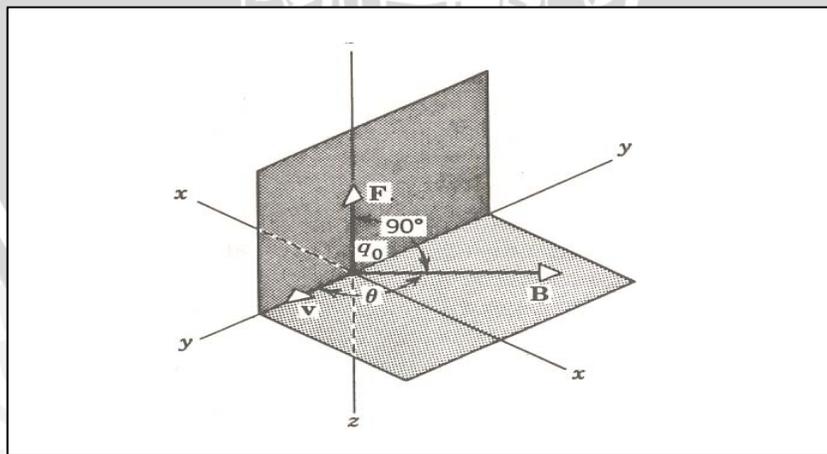
F = gaya magnet (N)

v = kecepatan muatan (m/s)

q = muatan listrik (C)

B = induksi medan magnet (T)

θ = sudut antara induksi dan arah muatan ($^{\circ}$)



Gambar 2.5.

Muatan q yang ditembakkan dari titik asal dengan kecepatan v

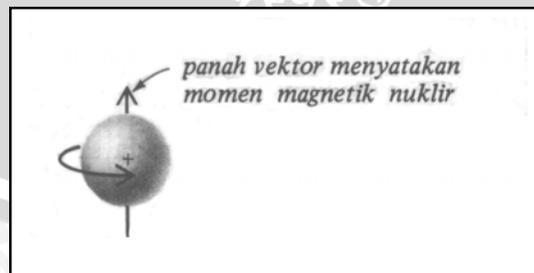
Sumber: David Halliday, *Fisika jilid 2*, 1988, 254

Dari persamaan di atas, menunjukkan besar gaya pada partikel yang bermuatan q yang bergerak dengan kecepatan v pada kuat medan magnet B . Dalam hal ini θ adalah sudut antara v dan B . gaya yang paling besar terjadi ketika partikel bergerak tegak lurus terhadap B , dimana nilai θ sama dengan 90° . Dari rumusan di atas jelas terlihat pengaruh medan magnet terhadap atom-atom yang bergerak dalam suatu ruang.

Atas dasar perilaku dalam medan magnet, suatu zat dapat diklasifikasikan menjadi tiga, yaitu feromagnetisme, diamagnetisme, dan paramagnetisme.

Feromagnetisme hanya diperlihatkan oleh logam besi dan beberapa zat lain yang ditarik oleh medan magnet ribuan kali lebih besar dibandingkan zat yang paramagnetik.

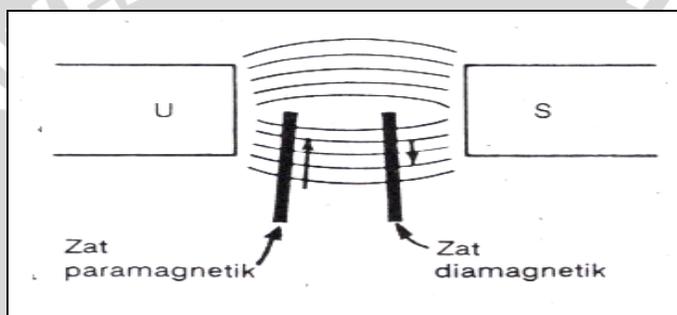
Suatu zat disebut memiliki sifat diamagnetik apabila atom zat tersebut memiliki jumlah elektron valensi yang lengkap, yang artinya mengandung satu atau beberapa elektron berpasangan yang apabila ditempatkan pada medan magnetik yang berada diantara dua kutub alami atau elektromagnetik akan mengalami tolakan atau didorong keluar medan magnet. Hal ini disebabkan oleh elektron mengorbit atom suatu zat sambil berputar (*spinning*) mengelilingi porosnya. Jika elektron-elektron yang berputar tersebut mengorbit sendirian, pergerakan muatan ini akan menimbulkan medan magnet. Akan tetapi, dua elektron yang berpasangan, memiliki arah putaran atau *spin* yang berlawanan sehingga medan magnet yang ditimbulkan oleh elektron yang satu ditiadakan oleh elektron yang lain. Sehingga apabila semua elektron dari atom suatu zat adalah elektron yang berpasangan (*paired electron*), maka medan magnet yang ditimbulkan oleh arah gerak berlawanan dari elektron-elektron berpasangan tersebut akan saling meniadakan yang berarti zat tersebut tidak memiliki medan magnet. Jika zat atau materi tersebut ditempatkan didalam medan magnet maka zat tersebut akan ditolak. Zat yang bersifat diamagnetik antara lain air, CO_2 , nitrogen dan hidrokarbon.



Gambar 2.6.
Inti atom berspin

Sumber : Fesseden, RJ, 1997: 328

Sedangkan suatu zat disebut memiliki sifat paramagnetik apabila zat tersebut atomnya mengandung satu atau beberapa elektron tidak berpasangan (*unpaired electron*) dengan kuatnya ditarik oleh medan magnet. Atom-atom suatu zat bertindak sebagai magnet permanen yang kecil. Jika zat atau materi yang mengandung atom-atom dengan elektron yang tidak berpasangan ditempatkan didalam suatu medan magnet dalam hal ini medan magnet luar (*external magnetic field*) maka medan yang dihasilkan oleh atom zat tersebut akan bergabung (*align*) dengan medan magnet yang bekerja pada zat tersebut. Sehingga, apabila pada zat tersebut bekerja medan magnet luar (*external magnetic field*) maka zat tersebut akan ditarik oleh medan magnet tersebut. Oksigen, aluminium dan natrium merupakan zat yang memiliki sifat paramagnetik.



Gambar 2.7.

Perilaku zat diamagnetik dan paramagnetik dalam medan magnet

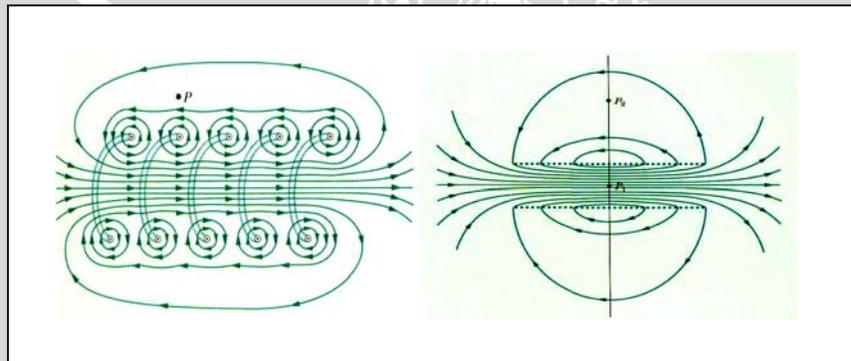
Sumber : Audrey L, *Ikatan Kimia*, 1991 :122

Pada proses pembakaran minyak jarak pagar dengan menggunakan medan magnet, maka akan terjadi interaksi antara medan magnet dengan hidrokarbon yang terkandung dalam minyak jarak pagar dan dengan oksigen yang terdapat di atmosfer. Bila molekul hidrokarbon ditaruh dalam medan magnet akan bersifat diamagnetik yaitu atom-atom yang terkandung di dalam minyak jarak pagar akan mengalami penolakan oleh medan magnet. Sedangkan di dalam proses pembakaran sendiri terdapat suatu proses pemutusan ikatan senyawa hidrokarbon menjadi ikatan-ikatan radikal. Dengan adanya medan magnet ikatan-ikatan radikal tersebut menjadi lebih tidak stabil dan mengalami pertambahan gerak karena mendapat sejumlah gaya dorong, sehingga tumbukan antar atom yang semakin meningkat menyebabkan proses pembakaran yang terjadi lebih cepat. Oksigen akan bergerak secara difusi menuju nyala api dari udara sekitarnya. Penggunaan medan magnet di dalam pembakaran difusi menyebabkan semakin meningkatnya laju aliran oksigen dalam udara menuju nyala api, sehingga

pembakaran yang terjadi lebih sempurna. Hal ini dikarenakan oksigen bersifat paramagnetik yang akan tertarik menuju medan magnet.

Penambahan medan magnet dalam minyak jarak pagar mengakibatkan melemahnya ikatan-ikatan atom dalam hidrokarbon akan mempermudah terjadinya radikal-radikal bebas. Semakin banyak radikal-radikal bebas yang terbentuk, maka reaksi kimia antar bahan bakar dan udara semakin cepat. Akibatnya pembakaran akan menjadi lebih sempurna.

Medan magnet dapat ditimbulkan dengan arus listrik, salah satunya adalah dengan menggunakan medan magnet selenoida. Selenoida dapat dibuat dengan melilitkan kawat di sekeliling permukaan suatu silinder (logam induk). Jarak antar lilitan biasanya rapat dan lebih dari satu lapisan. Garis-garis medan magnet pada solenoida atau kumparan saling sejajar satu dengan yang lainnya yang dinamakan medan magnet homogen.



Gambar 2.8.
Medan magnet pada magnet solenoid
Sumber: David Halliday, *Fisika Jilid II*, 1988, 867

Berdasarkan hukum ampere dapat dicari bahwa dengan jumlah lilitan N , besarnya arus dinotasikan dengan i dan panjang solenoid l maka medan magnetnya adalah :

$$B = \frac{\mu_0 \times N \times i}{l} \quad (\text{Zears Zemanski, 1962) (2.8)}$$

Dimana:

B = medan magnet induksi solenoida (Tesla = $1 \text{ NA}^{-1}\text{m}^{-1}$)

$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb A}^{-1} \text{ m}^{-1}$

N = jumlah lilitan

i = besar arus yang dialirkan (Ampere)

l = panjang solenoida (m)

2.6 Elemen Pemanas

Elemen pemanas adalah suatu alat yang mengkonversikan energi listrik menjadi energi panas. Temperatur maksimum permukaan pada elemen pemanas didapat ketika elemen material dasar mulai berubah fase atau ketika reaksi dari elemen material dengan proses pembakaran udara sangat cepat. Elemen pemanas mentransfer panas secara konveksi dan radiasi pada pembakaran atau muatan, temperatur permukaan elemen pemanas selalu lebih besar dibandingkan temperatur pembakaran. Perbedaan temperatur didapat dari beberapa derajat hingga ratusan derajat, tergantung dari daya pembakaran yang diperlukan dan bentuk elemen pemanas. Berdasarkan bahan materialnya, elemen pemanas dibedakan menjadi :

1. Elemen metal : Nikel–Kromium (Ni-Cr) dan Besi –Kromium-Aluminium (Fe-Cr- Al)
2. Elemen Silikon Karbida : Silikon Karbida (SiC)
3. Elemen Molibdenum Disilikat : Molibdenum Disilikat (MoSi₂)

Daya elemen pemanas V yang mencatu arus I melalui resistor (hambatan) R dinyatakan oleh :

$$P = VI \quad (\text{Zears Zemanski, 1962}) \quad (2.9a)$$

Dimana:

P = daya elemen pemanas (watt)

V = tegangan (volt)

I = arus listrik (ampere)

Arus listrik I yang mengalir melalui resistor R akan menyebabkan daya yang dikirim elemen pemanas hilang dalam bentuk panas pada resistor R . Daya yang hilang ini dirumuskan oleh :

$$P = I^2R \quad (\text{Zears Zemanski, 1962}) \quad (2.9b)$$

Atau

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (\text{Zears Zemanski, 1962}) \quad (2.9c)$$

2.7. Hipotesis

Dengan semakin besar daya elemen pemanas pada pembakaran menggunakan medan magnet, sehingga terjadi kenaikan temperatur maka perubahan *droplet* dari fase cair menjadi gas akan semakin cepat. Akibatnya waktu pembakaran semakin singkat.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

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

3.2. Variabel Penelitian

Dalam penelitian ini ada tiga macam variabel yang digunakan, yaitu :

a. Variabel bebas

Variabel bebas ialah variabel yang besarnya ditentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain, berfungsi sebagai sebab dalam penelitian. Adapun yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini, yaitu besar daya elemen pemanas. Variasi daya yang digunakan dalam penelitian ini adalah : 60 watt; 93,75 watt; dan 135 watt.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Adapun dalam pengujian ini, yaitu waktu pembakaran dan bentuk nyala api.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang nilainya tetap dan ditentukan sebelum penelitian. Adapun variabel terkontrol dalam penelitian ini adalah :

- Besarnya diameter *droplet* sama untuk setiap pengujian sekitar 1 mm.
- Jarak antara kedua solenoida medan magnet adalah 30 mm.
- Besarnya diameter *droplet* sama untuk setiap pengujian.
- Solenoida dililitkan sepanjang logam induk sebagai sumber medan magnet.
- Besarnya kuat medan magnet yang digunakan adalah 2,3 mT

3.3. Peralatan yang Digunakan

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

1. Botol Elemeyer

Spesifikasi: ukuran 300 ml

Digunakan untuk menampung minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) yang diperoleh dari proses ekstraksi hidrolis biji jarak pagar (*Jatropha Curcas L*).

1. Alat pembentuk *droplet* minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*)

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

- Alat pengatur volume *droplet* minyak jarak

Spesifikasi : - Merk : Novo Nordisk
- Buatan : Denmark

- Suntikan penampung minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*)

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

2. 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*) dan medan magnet. *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 : 12 Volt, 15 Volt dan 18 Volt

- *Power supply* bertegangan DC

Berfungsi sebagai sumber untuk menghidupkan medan magnet.

Spesifikasi : - Merk : ERA
 - Buatan : Indonesia
 - Arus : 5 Ampere
 - Tegangan input : 220 Volt
 - Tegangan output : 45 Volt

6. Elemen pemanas (*Heater*)

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

Spesifikasi: - bahan kawat nichrom
 - diameter 0.4 mm
 - panjang 30 cm

Variasi besar daya pada elemen pemanas :

Tegangan	Hambatan	Besar Daya
(V)	Ω	Watt
12	2,4	60
15	2,4	93,75
18	2,4	135

7. Solenoida

Solenoida ini digunakan untuk mengaktifkan medan magnet pada saat proses pembakaran berlangsung. Medan magnet diaktifkan dengan mengalirkan arus pada solenoid tersebut.

Spesifikasi: - diameter kawat 0,3 mm
 - panjang lilitan 12 mm

8. Termokopel

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

Spesifikasi: - termokopel jenis K
 - kemampuan pengukuran -270 °C s/d 1370 °C

9. Perangkat Sensor

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

a. *Power supply*

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

b. *Operational 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 12 bit.

10. 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. *Relay*

Berfungsi sebagai alat pengatur waktu mulai operasi dari elemen pemanas (*heater*), dan seluruh operasi medan magnet.

11. Komputer

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

12. *Handycam*

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

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

13. Kamera digital

Digunakan untuk memfoto berbagai peralatan yang ada dalam proses penelitian.

- Spesifikasi :
- Merk : Olympus
 - Buatan : Jepang
 - Optical zoom : 10 kali

14. Tesla meter

Alat ini berfungsi untuk mengukur besar kuat medan magnet solenoida.

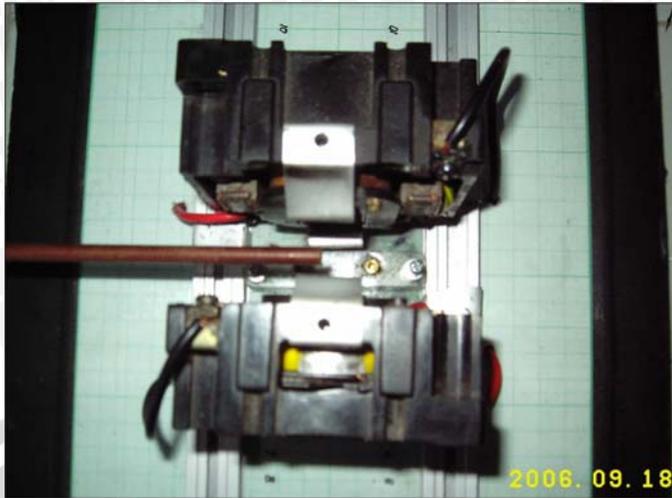
- Spesifikasi :
- Merk : PHVWE
 - Buatan : Jerman
 - Skala ukur : 0-2000 mT



Gambar 3.1.
Teslameter

Pengukuran terhadap kuat medan magnet di sekitar *droplet*:

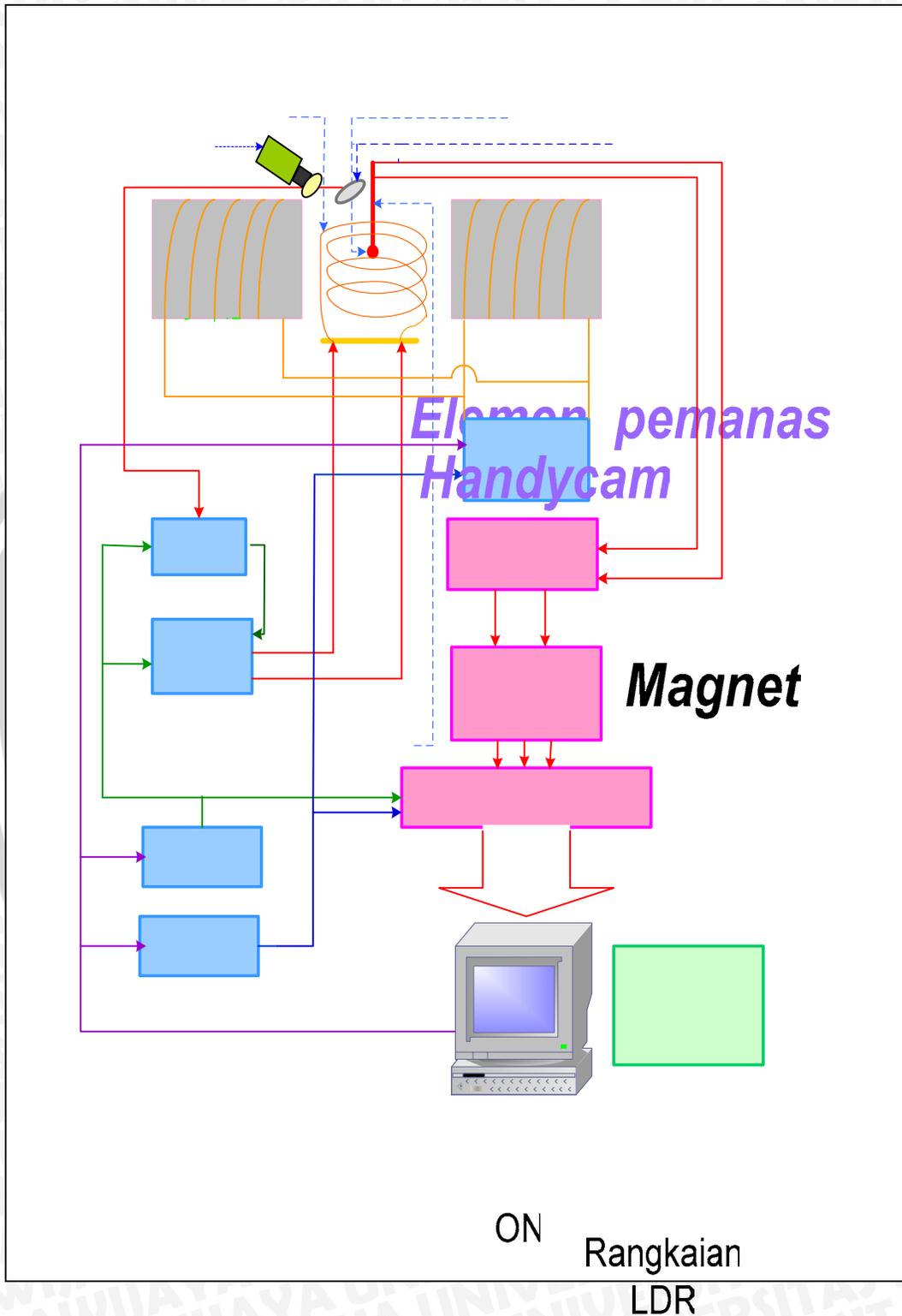
TEGANGAN (V)	MEDAN MAGNET	KUAT MEDAN MAGNET (mT)
25	di tengah 2 solenoida	1,225
32	di tengah 2 solenoida	1,575
40	di tengah 2 solenoida	1,975
45	di tengah 2 solenoida	2,300



Gambar 3.2.
Pengukuran kuat medan magnet



3.4. Gambar Instalasi Penelitian



Gambar 3.3. Rangkaian Alat Uji Penelitian AC, 12V, 15V, 18V, 2,4 ohm

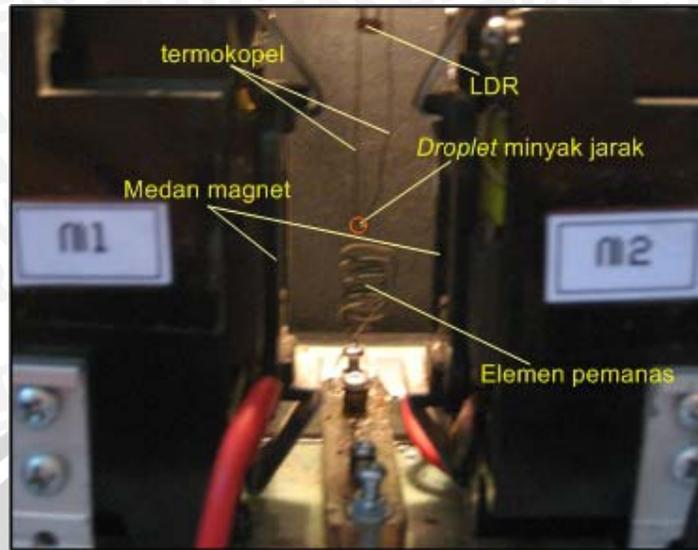
3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian

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



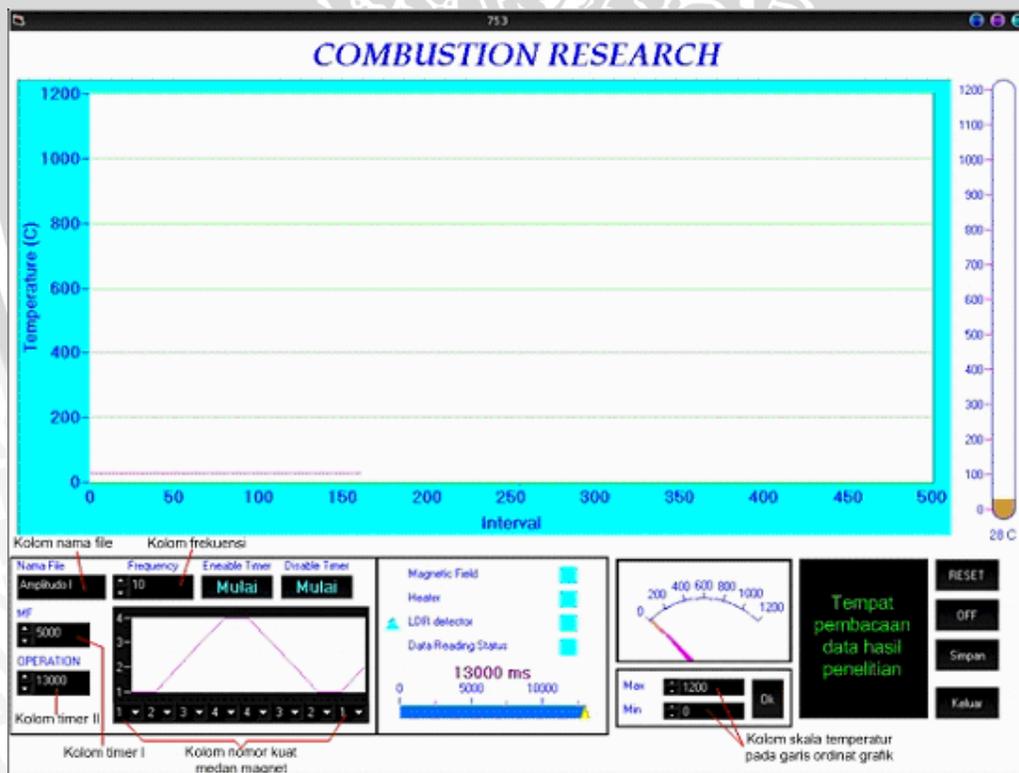
Gambar 3.4.
Alat pembentuk *droplet* minyak jarak pagar

- Prosedur pembuatan *droplet* minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*)
 - a. Minyak jarak pagar yang diperoleh dari proses ekstraksi hidrolis biji jarak pagar, dimasukkan ke dalam tabung suntik sampai kurang lebih setengah dari panjang tabung suntik.
 - b. Tabung suntik yang berisi minyak jarak tersebut dimasukkan ke alat pembentuk *droplet* minyak jarak pagar dengan cara, ujung jarum suntik dimasukkan terlebih dahulu melalui rongga bagian sisi dan keluar melalui lubang bagian bawah alat pembentuk *droplet* minyak jarak pagar sampai tabung suntik berada tepat ditengah. Kemudian menguncinya dengan mengisolasi bagian atas kuping tabung suntik agar selalu tepat ditengah dan tidak goyang.
 - c. Mengatur ukuran volume *droplet* minyak jarak pagar dengan cara memutar bagian kepala alat pembentuk *droplet* minyak jarak pagar sesuai dengan volume *droplet* minyak jarak pagar yang kita inginkan.
 - d. Menekan bagian kepala alat pembentuk volume *droplet* minyak jarak pagar, maka gaya dorong yang ditimbulkan akan mendorong minyak jarak yang berada dalam tabung suntik. Selanjutnya minyak jarak akan keluar melalui jarum suntik dan membentuk *droplet* minyak jarak pagar diujung jarum suntik sesuai volume dan 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 (termokopel).



Gambar 3.5. Ruang pembakaran *droplet* minyak jarak pagar

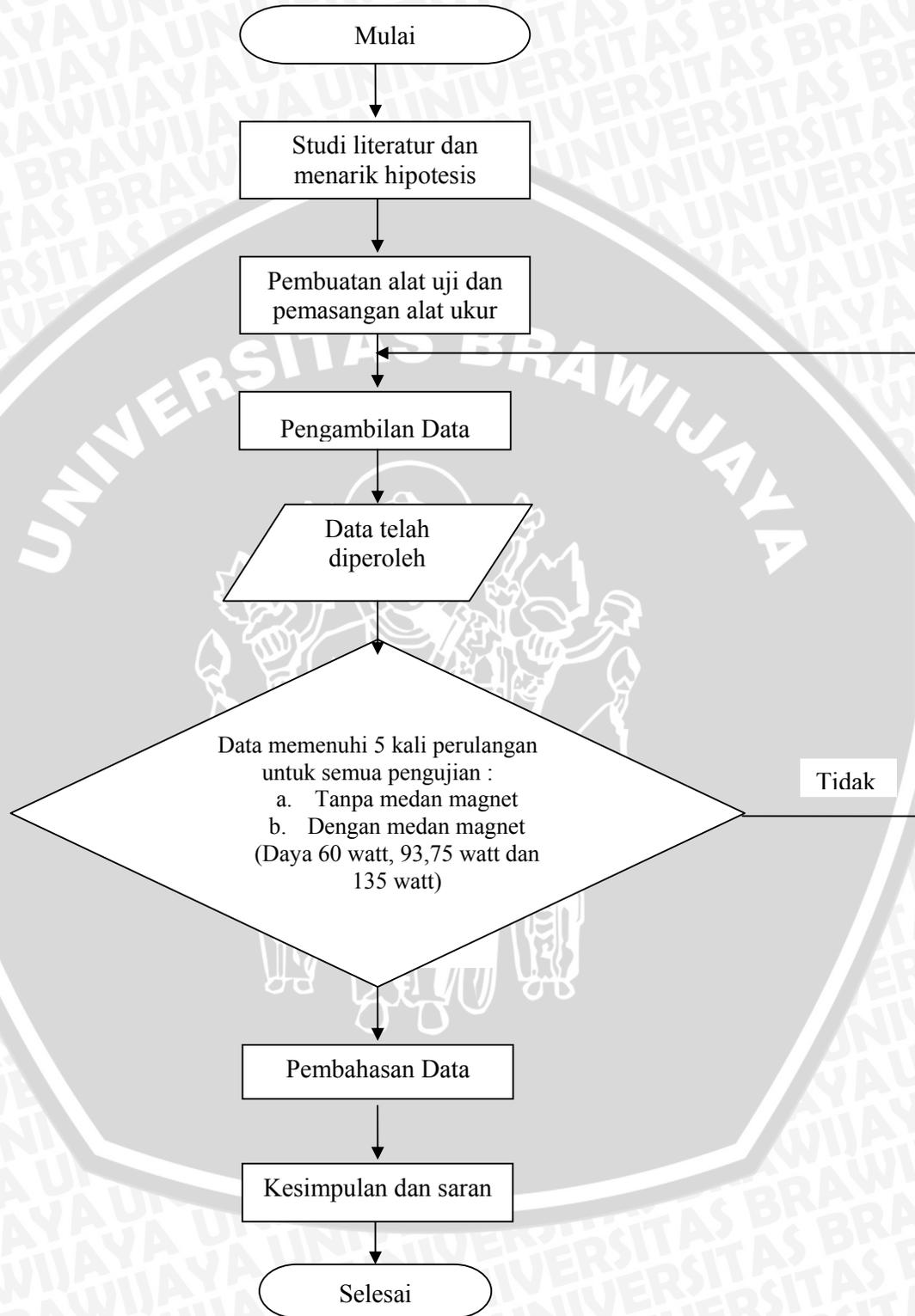
3. Semua peralatan penelitian dihidupkan.
4. Program komputer dibuka .



Gambar 3.6. Layout program penelitian

5. Isi nama file penelitian pada kolom nama file yang terdapat pada layout program.
6. *Setting timer*, dengan timer I disetting 5000 milidetik dan timer II disetting 13000 milidetik.
7. Setting skala temperatur pembacaan pada garis ordinat grafik, dengan nilai maksimum 1200°C dan nilai minimum 0°C. Kemudian tekan tombol OK.
8. Menghidupkan handycam pada kondisi *stanby*
9. Tekan tombol mulai (*enable timer*) bersamaan dengan tombol perekam pada *handycam*, maka medan magnet akan bekerja dan *handycam* akan mulai merekam. Setelah 5000 milidetik, maka timer 1 akan menghidupkan elemen pemanas serta mulai pembacaan ADC. Setelah terbentuk nyala api, maka sensor LDR akan mematikan elemen pemanas energi panas yang berupa radiasi thermal tidak membantu proses pembakaran. Setelah 13000 milidetik, maka timer 2 akan menghentikan semua operasi dan diikuti dengan menghentikan perekaman pada *handycam*.
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 pengujian dengan menekan tombol reset terlebih dahulu.
12. Semua data visualisasi proses pembakaran ditransfer ke komputer.
13. Demikian langkah-langkah penelitian yang dilakukan hingga didapatkan data-data yang diinginkan.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.7.
Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

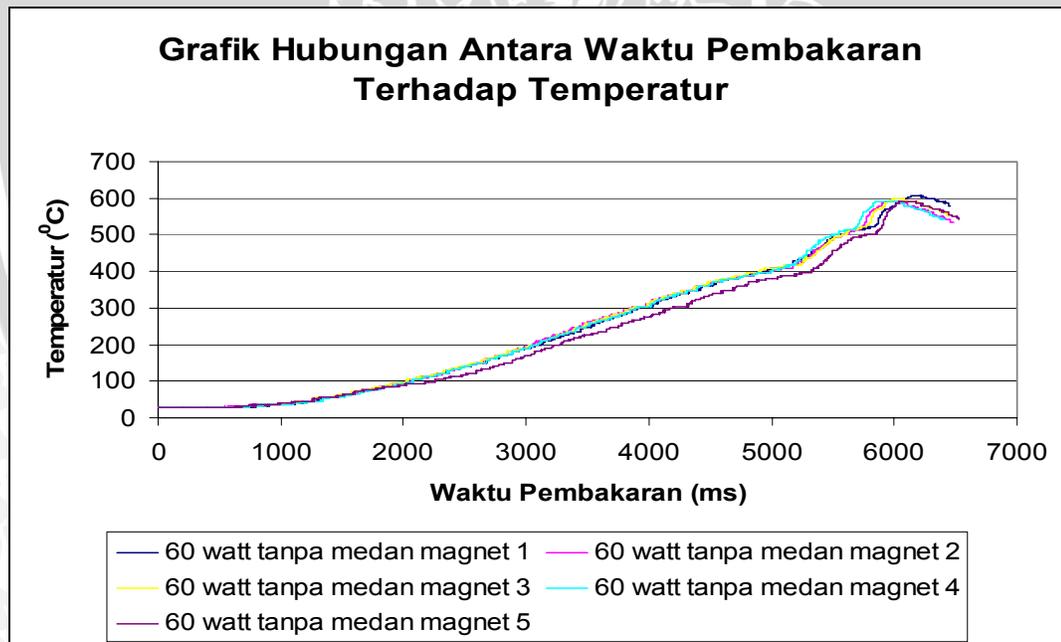
4.1. Data Hasil Penelitian

Dari hasil penelitian yang dilakukan pada setiap *droplet* minyak jarak pagar, diperoleh data-data berupa grafik hubungan antara temperatur (sumbu Y) dengan waktu pembakaran (sumbu X), dengan perlakuan :

- Tanpa dikenai medan magnet.
- Besar daya 60 watt dengan dan tanpa medan magnet
- Besar daya 93,75 watt dengan dan tanpa medan magnet
- Besar daya 135 watt dengan dan tanpa medan magnet

4.2 Analisa Grafik

4.2.1. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt tanpa medan magnet



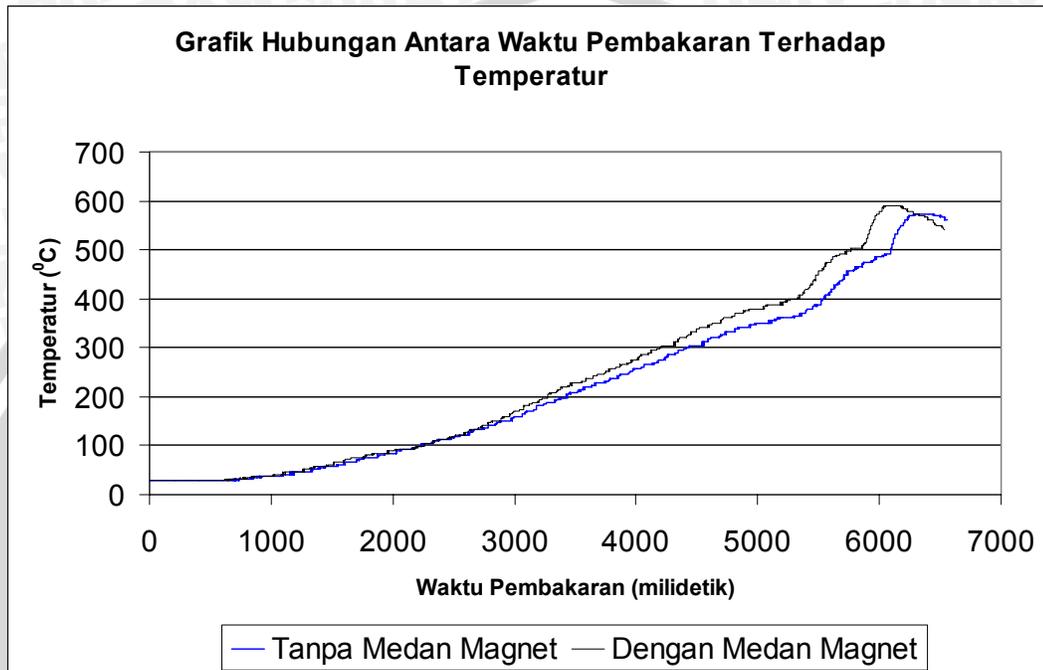
Gambar 4.1.

Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt tanpa medan magnet

Sebelum membahas hasil penelitian terlebih dahulu disajikan reliabilitas data hasil penelitian seperti gambar 4.1. Dari gambar 4.1. terlihat bahwa pengulangan pengukuran sebanyak lima kali menghasilkan grafik yang hampir berhimpit satu sama

lainnya. Ini menunjukkan bahwa tingkat validitas data cukup tinggi. Dengan kata lain data yang diperoleh adalah *valid* dan *reliable*.

4.2.2. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt dengan dan tanpa medan magnet



Gambar 4.2.

Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt dengan dan tanpa medan magnet

Pada grafik hubungan antara pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 60 watt dengan dan tanpa medan magnet, didapatkan bahwa pada waktu pembakaran mulai dari 0 sampai 634 milidetik grafik berupa garis lurus. Pada kondisi ini termokopel membaca temperatur *droplet* tanpa ada pengaruh dari elemen pemanas. Pada saat waktu pembakaran 634 sampai dengan 4233 milidetik dengan menggunakan medan magnet, kecenderungan hubungan antara waktu pembakaran dengan temperatur berupa garis yang mempunyai gradien kecil, dan pada proses pembakaran *droplet* tanpa menggunakan medan magnet menunjukkan hal yang relatif sama yaitu pada selang waktu 634 sampai dengan 4478 milidetik. Garis tersebut menunjukkan bahwa terjadinya kenaikan temperatur seiring dengan bertambahnya waktu pembakaran. Hal ini merupakan garis dimana pada rentang waktu tersebut terjadi proses pemanasan awal (*preheating*) dari *droplet* minyak jarak. Proses pemanasan awal atau *preheating* ini

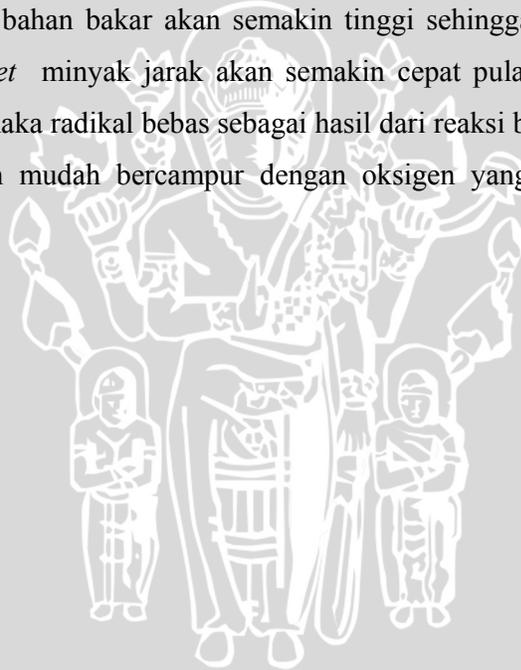
menunjukkan bahwa dalam rentang waktu tersebut panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas akan berpindah secara radiasi menuju permukaan *droplet* dan berpindah secara konduksi dari permukaan *droplet* menuju inti *droplet* perpindahan panas berlangsung sampai temperatur terbaca oleh ujung dari termokopel. Besar kecilnya intensitas perpindahan panas radiasi tergantung pada besarnya daya yang diberikan oleh sumber kepada elemen pemanas. Panas yang diterima oleh *droplet* pada bagian ini hanya digunakan untuk meningkatkan temperatur *droplet*.

Selanjutnya, untuk waktu pembakaran antara 4466 milidetik, sampai dengan 4553 milidetik, grafik berupa garis mendatar dan berikutnya akan meningkat. Garis yang mendatar tersebut merupakan garis yang menandakan terjadinya proses penguapan (*evaporation*) pada *droplet*. Pada proses penguapan atau evaporasi, panas yang diterima oleh *droplet* akan digunakan untuk merubah sebagian fase dari *droplet* terutama pada permukaannya dari fase cair menuju uap. Panas yang digunakan untuk merubah fase dinamakan kalor laten yang ditandai dengan temperatur yang konstan.

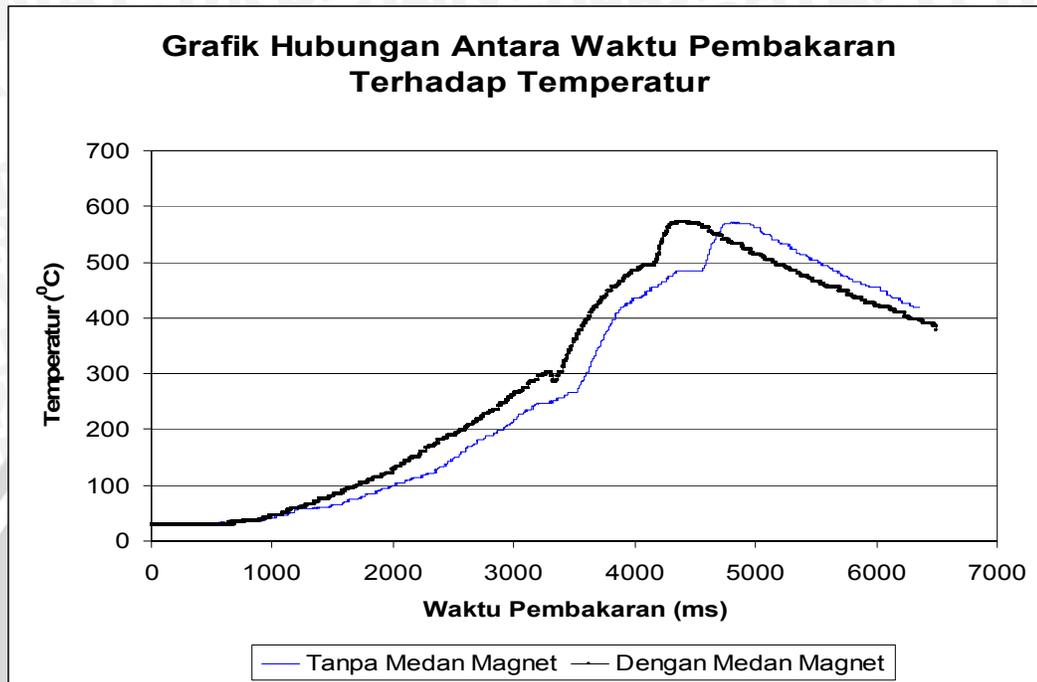
Dari grafik terlihat temperatur penguapan dari *droplet* minyak jarak sebesar 303°C. Minyak jarak merupakan minyak yang tersusun atas trigliserida yang apabila dilakukan proses pemisahan secara kimia akan menghasilkan metil ester asam lemak dan gliserol. Pada penguapan temperatur 303°C yang mengalami penguapan adalah metil ester. Selanjutnya grafik akan meningkat sampai temperatur 485 °C, peristiwa ini diakibatkan timbulnya nyala api pada *droplet*. Nyala api akan timbul disebabkan temperatur *droplet* sudah memenuhi titik nyalanya (*flash point*). Dari grafik di atas besarnya titik nyala (*flash point*) dari *droplet* minyak jarak sekitar 312 °C. Setelah nyala api terbentuk, panas dari nyala api akan bergerak menuju permukaan *droplet* secara konveksi, peristiwa ini disebut perambatan api. Terjadinya perambatan api disebabkan adanya gradien temperatur antara nyala api dengan permukaan *droplet*. Perpindahan panas konveksi tersebut akan diteruskan dengan perpindahan konduksi pada *droplet* dan akan berlangsung secara terus menerus. Perpindahan panas secara terus-menerus tersebut akan menyebabkan pengurangan jumlah masa dari *droplet* akibat dari perubahan sebagian fase *droplet* dari cair menuju uap. Hal ini dinyatakan di dalam persamaan hukum d^2 (*d²-law*), $d_t = d_0 - \beta t$. Disamping untuk proses penguapan, panas dari nyala api juga digunakan untuk memanaskan uap menjadi uap panas lanjut. Selanjutnya, grafik akan berupa garis mendatar lagi pada temperatur 503 °C dalam beberapa milidetik. Hal ini disebabkan oleh proses penguapan dari gliserol minyak jarak. Setelah mengalami perubahan fase secara menyeluruh menjadi gas, temperatur

pembakaran akan meningkat mencapai temperatur 589 °C yang merupakan temperatur tertinggi pembakaran *droplet* dengan medan magnet. Setelah mencapai temperatur puncak, grafik mempunyai kecenderungan turun yang disebabkan oleh konsentrasi *droplet* yang habis, sehingga termokopel membaca temperatur udara disekitar *droplet*.

Pada gambar 4.2 diatas juga dapat dilihat adanya perbedaan antara grafik proses pembakaran *droplet* dalam pengaruh medan magnet dengan grafik tanpa adanya pengaruh medan magnet. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa waktu yang diperlukan untuk menaikkan suhu pada saat pemanasan awal atau *preheating*, penguapan serta proses penyalaan bahan bakar lebih cepat bila dibandingkan dengan yang tanpa pengaruh medan magnet. Selain itu temperatur maksimum pembakaran yang dicapai dengan pengaruh medan magnet juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang tanpa medan magnet. Hal ini terjadi karena dengan adanya medan magnet maka tingkat diffusivitas dari bahan bakar akan semakin tinggi sehingga proses penguapan serta pembakaran *droplet* minyak jarak akan semakin cepat pula. Selain itu dengan adanya medan magnet maka radikal bebas sebagai hasil dari reaksi berantai pembakaran bahan bakar akan lebih mudah bercampur dengan oksigen yang bertindak sebagai oksidator.



4.2.3 Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 93,75 watt dengan dan tanpa medan magnet



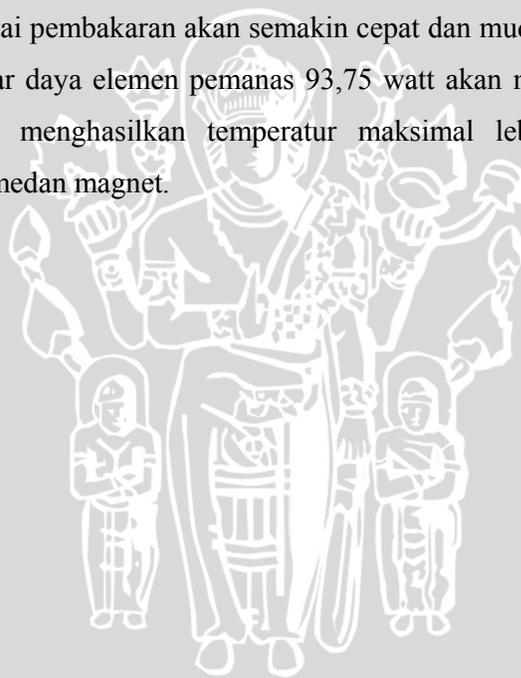
Gambar 4.3.

Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 93,75 watt dengan dan tanpa medan magnet

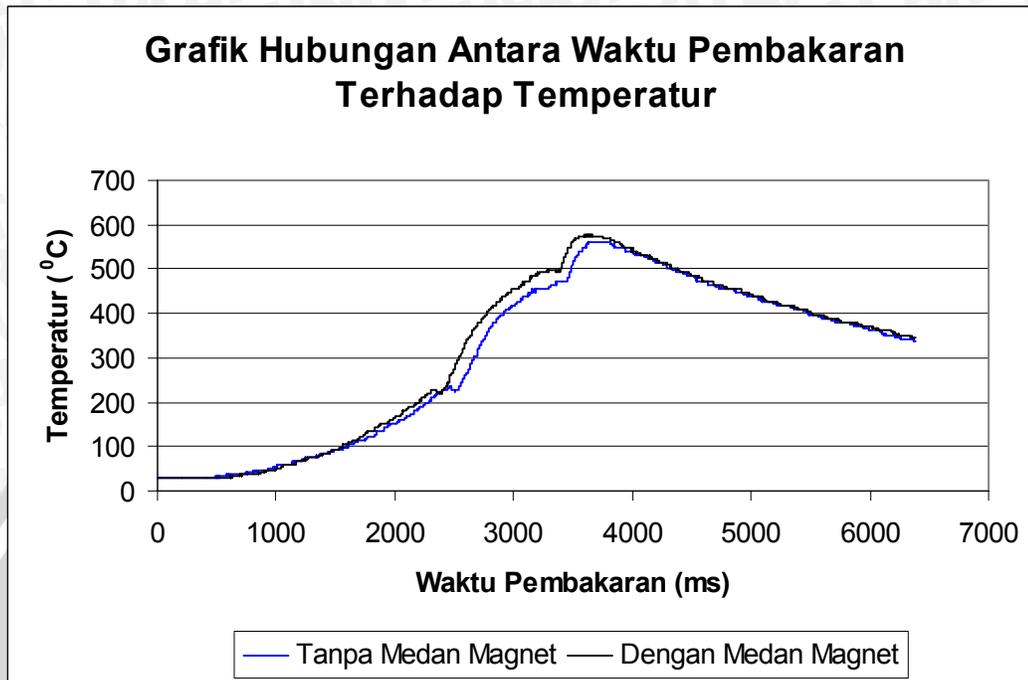
Pada gambar 4.3. yang menyatakan grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 93,75 watt dengan dan tanpa medan magnet. Pada grafik tersebut jika dibandingkan dengan grafik sebelumnya, pada grafik ini garis yang menunjukkan terjadinya proses pemanasan awal (*preheating*) yaitu yang ditandai dengan adanya kenaikan temperatur, lebih pendek jika dibandingkan dengan garis yang menunjukkan proses yang sama pada grafik sebelumnya. Dari kecenderungan tersebut dapat diketahui bahwa selang waktu yang diperlukan oleh *droplet* minyak jarak dengan besar daya 93,75 watt baik dengan maupun tanpa medan magnet pada proses pemanasan awal bahan bakar lebih singkat atau lebih cepat jika dibandingkan dengan besar daya 60 watt. Proses pemanasan awal tersebut terjadi pada waktu dari 578 sampai dengan 3313 milidetik. Dalam peristiwa tersebut menunjukkan panas yang dihasilkan oleh elemen pemanas akan diekspansikan ke daerah sekitarnya yang lebih dingin. Dalam hal ini, panas akan berpindahkan secara radiasi dari elemen pemanas menuju permukaan *droplet* dan berpindah secara konduksi menuju inti *droplet* sehingga dapat

terbaca oleh ujung termokopel. Panas yang diterima *droplet* hanya digunakan untuk meningkatkan temperaturnya saja. Kemudian untuk waktu pembakaran sekitar 3313 milidetik (pada grafik dengan menggunakan medan magnet) terjadi ketidakstabilan kenaikan temperatur pada saat setelah penguapan. Hal ini terjadi karena adanya gelombang kejut saat penyalaan. Saat terjadi penyalaan temperatur permukaan *droplet* hampir naik tiba-tiba menjadi sekitar 295 °C yang tidak terdeteksi oleh termokopel karena berada di permukaan *droplet*. Gelombang kejut ini yang menggetarkan *droplet* sehingga terjadi fluktuasi temperatur. Dengan pemberian medan magnet waktu yang dibutuhkan untuk mencapai proses penguapan lebih cepat daripada tanpa adanya pengaruh medan magnet. Selain itu temperatur pembakaran yang dicapai dengan pengaruh medan magnet juga lebih tinggi bila dibandingkan dengan yang tanpa medan magnet. Panas akan dipindahkan dari elemen pemanas menuju permukaan *droplet* secara radiasi dan berlangsung secara terus-menerus, apabila temperatur pada permukaan *droplet* sudah memenuhi temperatur penguapannya, maka panas akan digunakan untuk merubah sebagian fase *droplet* dari kondisi cair menuju uap. Panas yang digunakan untuk merubah fase *droplet* tersebut dinamakan panas laten. Peristiwa penguapan ditandai dengan temperatur konstan pada 303 °C untuk interval waktu 3313 sampai 3376 milidetik untuk grafik dengan menggunakan medan magnet dan 266 °C untuk interval waktu 3493 sampai 3547 milidetik untuk grafik tanpa menggunakan medan magnet. Apabila temperatur gas telah mencapai temperatur nyalanya (*flash point*) dan udara cukup tersedia maka akan terjadi pembakaran *droplet* secara difusi. Nyala api akan terbentuk dalam pembakaran tersebut. *Flash point* secara sederhana didefinisikan sebagai temperatur terendah bahan bakar dapat menyala akibat pengaruh temperatur lingkungan sekitar. Dari grafik tersebut dapat diketahui titik nyala dari minyak jarak sekitar 303 °C dengan menggunakan medan magnet dan 266 °C untuk grafik tanpa menggunakan medan magnet. Adanya gradien temperatur antara nyala api dengan permukaan *droplet* menyebabkan terjadinya perambatan api yang akan berlangsung sampai masa *droplet* habis. Selanjutnya grafik akan mengalami kenaikan temperatur. Hal ini disebabkan timbulnya nyala api akibat reaksi kimia antara *droplet* minyak jarak dengan oksigen yang bersifat eksoterm, yaitu reaksi yang disertai pelepasan panas pada sistem. Setelah mencapai temperatur maksimal pada temperatur 572 °C dengan menggunakan medan magnet dan 570 °C tanpa menggunakan medan magnet, grafik menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya waktu.

Dari gambar 4.3 juga dapat dilihat adanya perbedaan antara grafik proses pembakaran dalam pengaruh medan magnet dengan yang tanpa medan magnet. Pada awal proses pemanasan bahan bakar (*preheating*), antara *droplet* bahan bakar dengan medan magnet dan tanpa medan magnet, selang waktu proses pemanasan awal tersebut hampir sama. Namun, pada saat temperatur telah mencapai temperatur penguapan dapat dilihat bahwa waktu yang diperlukan oleh bahan bakar untuk mencapai temperatur penguapan dalam pengaruh medan magnet lebih singkat jika dibandingkan dengan yang tanpa medan magnet. Begitu juga halnya waktu yang diperlukan untuk mencapai titik nyala dan waktu yang diperlukan untuk mencapai temperatur maksimum pembakaran bahan bakar. Hal ini terjadi karena dengan adanya pengaruh medan magnet, maka seperti penjelasan pada grafik sebelumnya, tingkat diffusivitas dari bahan bakar akan semakin tinggi dan juga dengan adanya medan magnet, radikal bebas yang dihasilkan oleh proses reaksi berantai pembakaran akan semakin cepat dan mudah bereaksi dengan oksigen. Pemberian besar daya elemen pemanas 93,75 watt akan menyebabkan waktu yang diperlukan untuk menghasilkan temperatur maksimal lebih cepat daripada pembakaran tanpa kuat medan magnet.



4.2.4. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 135 watt dengan dan tanpa medan magnet



Gambar 4.4.

Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 135 watt dengan dan tanpa medan magnet

Seperti pada grafik-grafik sebelumnya, kecenderungan grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan besar daya 135 watt dengan dan tanpa medan magnet ini juga hampir sama dengan grafik proses pembakaran *droplet* minyak jarak dengan besar daya 60 watt dan 93,75 watt. Perbedaan utama yang bisa dilihat adalah lamanya waktu yang diperlukan mulai dari proses pemanasan awal sampai *droplet* benar-benar habis terbakar. Jika dibandingkan dengan grafik-grafik sebelumnya, maka pada grafik pembakaran *droplet* dengan besar daya 135 watt, waktu yang dibutuhkan selama proses pemanasan awal, penguapan serta penyalaan bahan bakar lebih cepat. Semakin besar daya elemen pemanas maka waktu yang diperlukan untuk menguapkan atau membakar *droplet* tersebut akan semakin cepat. Hal ini dikarenakan energi kinetik dari atom-atom minyak jarak semakin besar. Akibatnya frekuensi tumbukan yang dihasilkan oleh atom-atom minyak jarak dengan udara semakin besar sehingga kecepatan pembakaran semakin tinggi.

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada selang waktu antara 552 sampai dengan 2348 milidetik, kecenderungan hubungan antara waktu pembakaran dengan

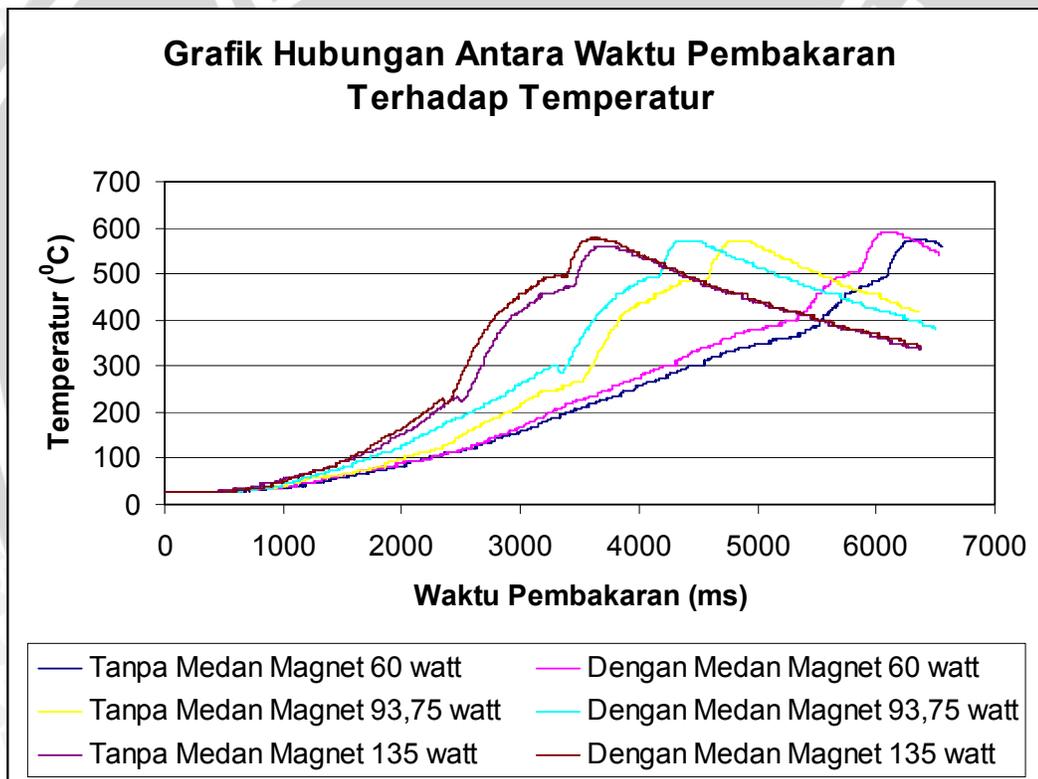
temperatur ditunjukkan dengan garis yang mendekati linear. Artinya, pada awal proses pembakaran bertambahnya waktu pembakaran akan diikuti dengan kenaikan temperatur. Seperti penjelasan pada grafik-grafik sebelumnya proses pada selang waktu tersebut merupakan proses pemanasan awal bahan bakar sampai temperatur mencapai titik dimana bahan bakar mulai mengalami penguapan atau mengalami perubahan fase dari cair ke uap. Kemudian setelah mencapai titik penguapan, yaitu pada selang waktu antara 2348 sampai dengan 2441 milidetik grafik cenderung berupa garis mendatar dengan temperatur sekitar 228 °C. Temperatur tersebut merupakan temperatur penguapan dari *droplet* minyak jarak. Beberapa milidetik setelah proses penguapan berlangsung yaitu pada temperatur 232 °C grafik mulai mengalami peningkatan atau mengalami kenaikan temperatur yang signifikan. Kenaikan temperatur yang cukup signifikan ini menandakan timbulnya nyala api atau dengan kata lain proses pembakaran *droplet* minyak jarak ini telah mencapai titik nyala (*flash point*) dari bahan bakar. Dari grafik diatas besarnya titik nyala dari *droplet* minyak jarak adalah sekitar 232 °C.

Setelah mencapai titik nyala bahan bakar, temperatur terus mengalami peningkatan sampai pada suhu sekitar 509 °C (untuk proses pembakaran dalam pengaruh medan magnet), yaitu dalam rentang waktu 3411 milidetik, Kemudian setelah itu temperatur kembali mengalami peningkatan sampai temperatur maksimum sebesar 577 °C untuk proses pembakaran *droplet* minyak jarak dalam pengaruh medan magnet dan 570 °C untuk yang tanpa medan magnet. Kenaikan temperatur terjadi karena adanya proses pembakaran bahan bakar yang telah sepenuhnya berada dalam fase gas. Setelah mencapai titik maksimum pembakaran grafik mulai mengalami penurunan. Hal ini terjadi karena massa bahan bakar telah habis terbakar begitu juga konsentrasi bahan bakar dalam bentuk gas telah berkurang.

Dari gambar 4.4 dapat kita lihat bahwa antara proses pembakaran *droplet* minyak jarak dalam pengaruh medan magnet dengan yang tanpa medan magnet terdapat beberapa perbedaan yang mendasar, yaitu yang terkait dengan waktu pembakaran dan juga temperatur maksimum yang dicapai. Dalam rentang waktu terjadinya proses pemanasan awal (*preheating*) dari bahan bakar, pada grafik dapat dilihat bahwa lama waktu yang diperlukan selama proses *preheating* bahan bakar dalam pengaruh medan magnet lebih singkat jika dibandingkan dengan proses pembakaran tanpa medan magnet. Begitu juga sebaliknya yang terjadi pada saat bahan bakar mengalami proses penguapan serta penyalaan bahan bakar. Walaupun titik penguapan serta penyalaannya

hampir sama, akan tetapi waktu yang diperlukan untuk masing-masing proses tersebut lebih singkat jika diberi pengaruh medan magnet. Hal ini terjadi karena dengan adanya medan magnet maka radikal-radikal bebas sebagai produk dari proses reaksi berantai pembakaran yang sangat reaktif akan mendapatkan sejumlah gaya dorong dari medan magnet yang bekerja. Dengan adanya gaya dorong ini maka tumbukan antar molekul radikal bebas dengan molekul oksigen akan semakin cepat yang berarti kecepatan pembakaran akan meningkat pula. Dengan kecepatan reaksi yang semakin meningkat maka temperatur pembakaran akan meningkat pula.

4.2.5. Grafik Hubungan Antara Waktu Pembakaran Terhadap Temperatur dengan Berbagai Perlakuan



Gambar 4.5. Grafik hubungan antara waktu pembakaran terhadap temperatur dengan berbagai perlakuan

Pada grafik dengan berbagai variasi daya elemen pemanas tanpa medan magnet maupun dengan medan magnet seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5. dapat diketahui bahwa semakin besar daya elemen pemanas, maka akan semakin singkat waktu yang dibutuhkan oleh bahan bakar selama melalui tiga proses utama dalam

proses pembakaran bahan bakar, yaitu proses pemanasan awal atau *preheating*, kemudian proses penguapan atau evaporasi serta proses penyalaan bahan bakar atau *ignition*. Pada proses pemanasan awal atau *preheating* terjadi transfer panas dari elemen pemanas menuju permukaan *droplet* minyak jarak secara radiasi kemudian perpindahan panas secara konduksi dari permukaan *droplet* ke titik pusat diameternya. Setelah mengalami pemanasan awal maka pada temperatur tertentu bahan bakar mencapai titik penguapan atau *boiling point* dimana pada titik ini dimulai proses perubahan fase bahan bakar dari fase cair ke uap yang dalam grafik pada gambar 4.5 ditunjukkan dengan garis mendatar pada masing-masing grafik pada berbagai variasi daya elemen pemanas. Dari grafik gabungan pada gambar 4.5 atau dari tabel data penelitian pada lampiran diketahui bahwa titik penguapan atau *boiling point* dari minyak jarak pada berbagai variasi daya elemen pemanas baik itu dengan maupun tanpa medan magnet memiliki waktu pembakaran yang berbeda. Semakin besar daya elemen pemanas maka waktu yang diperlukan untuk menguapkan atau membakar *droplet* tersebut akan semakin cepat. Hal ini dikarenakan energi kinetik dari atom-atom minyak jarak semakin besar. Akibatnya frekuensi tumbukan yang dihasilkan oleh atom-atom minyak jarak dengan udara semakin besar sehingga kecepatan pembakaran semakin tinggi. Pada pembakaran minyak jarak dalam pengaruh medan magnet ini, proses penguapan berlangsung sangat cepat yaitu hanya dalam selang waktu beberapa milidetik, dan setelah itu terjadi kenaikan temperatur yang cukup signifikan yang menandakan bahwa temperatur telah mencapai titik nyala. Titik nyala (*ignition point*) dari proses pembakaran *droplet* minyak jarak ini sekitar 312 °C pada daya 60 watt, 303 °C pada daya 93,75 watt dan 229 °C pada daya 135 watt.

Setelah mencapai titik atau temperatur nyala dari bahan bakar dalam hal ini minyak jarak maka temperatur pembakaran akan terus mengalami peningkatan seiring dengan proses pembakaran serta penguapan yang berlangsung secara terus menerus. Sampai pada titik tertentu seperti kita lihat pada gambar 4.5 setelah kenaikan temperatur terutama pada grafik proses pembakaran *droplet* dengan daya 60 watt, 93,75 watt dan 135 watt terdapat kecenderungan grafik berupa garis mendatar yang menandakan temperatur bergerak konstan. Fenomena ini terjadi karena pada kondisi tersebut bahan bakar sedang mengalami perubahan fase dari uap ke gas. Dan setelah itu temperatur kembali bergerak naik secara signifikan sebagai akibat proses pembakaran gas bahan bakar yang terus berlangsung sampai temperatur maksimum pembakaran yaitu sekitar 589 °C. Dari grafik gabungan diatas, untuk daya 135 watt proses perubahan fase bahan

bakar dari uap ke gas berlangsung sangat cepat sehingga dari proses penyalaan bahan bakar setelah proses penguapan, grafik berupa garis yang mendekati linier dan juga mendekati bentuk garis vertikal. Hal ini terjadi karena daya elemen pemanas yang besar sehingga cepat mengalami proses perubahan fase baik itu dari cair ke uap maupun dari uap ke gas.

Dari grafik gabungan pada gambar 4.5 tersebut dapat diketahui kecenderungan bahwa semakin besar daya elemen pemanas maka kecepatan pembakaran atau waktu yang diperlukan selama berlangsungnya proses pemanasan awal, penguapan, serta penyalaan *droplet* bahan bakar akan semakin singkat. Ditambah lagi dengan adanya pengaruh medan magnet maka waktu penguapan serta pembakaran akan menjadi semakin cepat seperti yang telah dijelaskan pada subbab sebelumnya

Dari grafik pada gambar sebelumnya dapat dilihat suatu perbedaan yang mendasar antara grafik proses pembakaran *droplet* minyak jarak dalam pengaruh medan magnet dengan proses pembakaran tanpa pengaruh medan magnet. Perbedaan itu terutama terletak pada lama waktu yang diperlukan oleh bahan bakar selama berlangsungnya proses pemanasan awal (*preheating*), proses penguapan (*evaporation*), serta proses penyalaan (*ignition*) sampai bahan bakar mencapai temperatur maksimum pembakarannya. Seperti kita ketahui dari grafik pada gambar 4.2, 4.3 dan 4.4 waktu yang diperlukan oleh bahan bakar selama melalui tiga proses tersebut lebih singkat jika diberi medan magnet. Hal ini terjadi karena dengan pemberian medan magnet maka pemutusan ikatan-ikatan hidrokarbon dari bahan bakar akan lebih mudah karena sifatnya yang diamagnetik terhadap medan magnet. Selain itu pemberian medan magnet selama proses pembakaran berlangsung akan menyebabkan kecepatan radikal-radikal bebas sebagai produk dari proses reaksi berantai pembakaran akan semakin meningkat karena mendapat gaya dorong dari medan magnet yang bekerja sebesar $F = B \times q \times v \sin \theta$. Hal ini akan menyebabkan reaksi radikal bebas dengan oksigen dalam reaksi berantai pembakaran akan menjadi semakin cepat.

Selain itu, seperti kita ketahui bahwa proses pembakaran dalam sudut pandang atom atau molekul merupakan proses tumbukan atom-atom atau molekul zat yang bereaksi. Sehingga dengan pemberian medan magnet pada proses pembakaran dalam hal ini proses pembakaran *droplet* minyak jarak maka atom-atom atau molekul yang mengalami tumbukan tersebut akan mendapat gaya dorong sehingga atom atau molekul tersebut akan mengalami percepatan. Dengan bertambahnya kecepatan tumbukan atom-atom ini maka kecepatan pembakaran akan semakin meningkat pula. Sedangkan sesuai

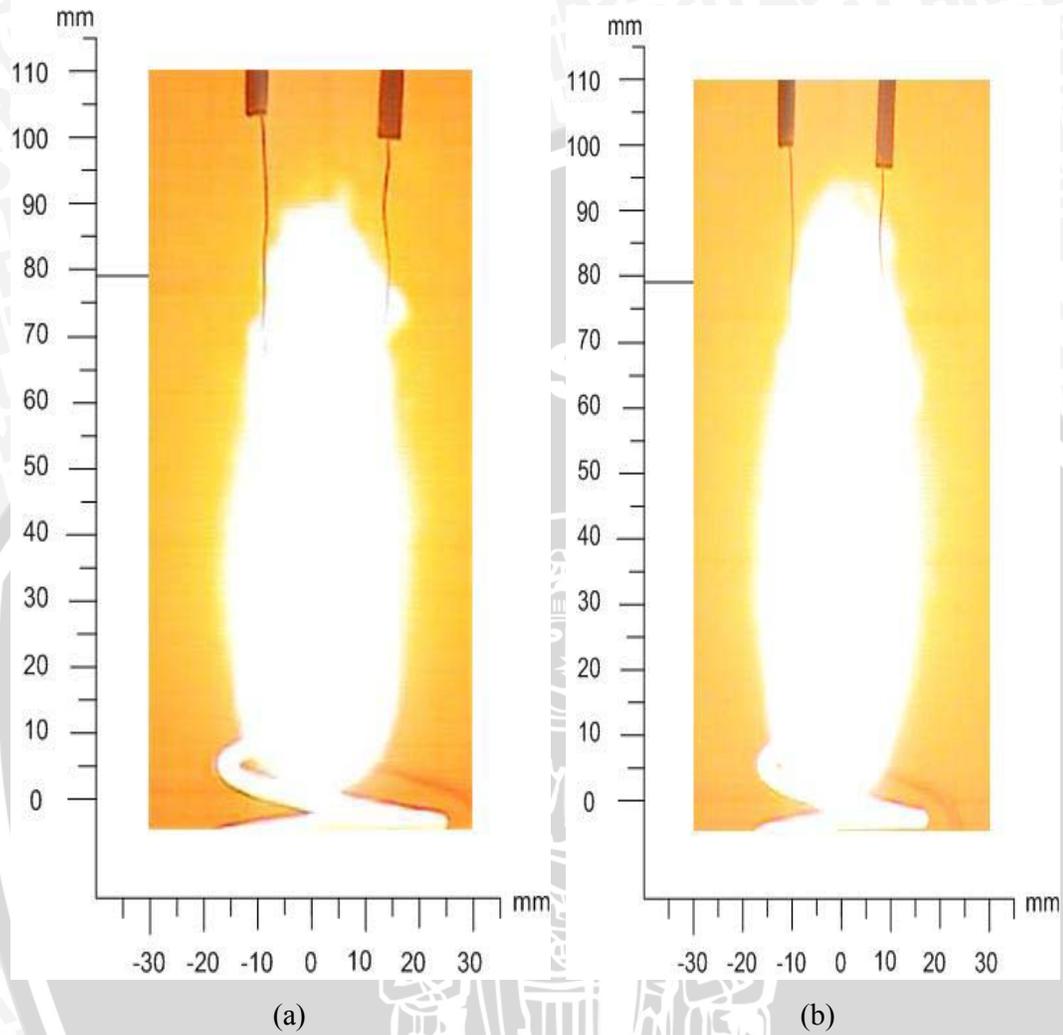
dengan persamaan momentum $(3/2)mv^2 = (1/2)kT$, maka dengan semakin meningkatnya kecepatan pembakaran, temperatur pembakaran juga akan semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat pada masing-masing grafik pada gambar 4.2, 4.3, dan 4.4, yaitu temperatur maksimum pembakaran yang dicapai dengan adanya pengaruh medan magnet lebih tinggi jika dibandingkan dengan proses pembakaran tanpa medan magnet.

Didalam proses pembakaran terdapat tiga komponen yang penting agar terjadi proses penyalaan (*ignition*), yaitu bahan bakar, udara dan energi panas. Pemberian medan magnet pada proses pembakaran difusi *droplet* minyak jarak akan berpengaruh terhadap senyawa hidrokarbon yang terdapat dalam bahan bakar serta udara dalam hal ini oksigen sebagai oksidator yang berada disekitar *droplet*.

Hidrokarbon sendiri seperti yang telah dijelaskan dalam landasan teori merupakan zat yang dapat dipengaruhi oleh medan magnet karena bersifat diamagnetik. Sifat diamagnetik mempunyai respon tolak terhadap medan magnet yang bekerja pada zat tersebut. Pada penelitian ini sebelum proses pembakaran berlangsung, *droplet* bahan bakar telah diberi pengaruh medan magnet. Pemberian medan magnet ini bertujuan untuk mempengaruhi ikatan daripada hidrokarbon sebagai penyusun utama bahan bakar. Sehingga akibat dari sifat hidrokarbon yang diamagnetik, maka medan magnet yang diberikan akan sedikit memperlemah ikatan antar unsur dalam senyawa hidrokarbon tersebut yang tentunya akan berakibat pada semakin singkatnya waktu yang diperlukan untuk merubah bahan bakar dari fase cair ke fase uap dan dari fase uap ke gas.

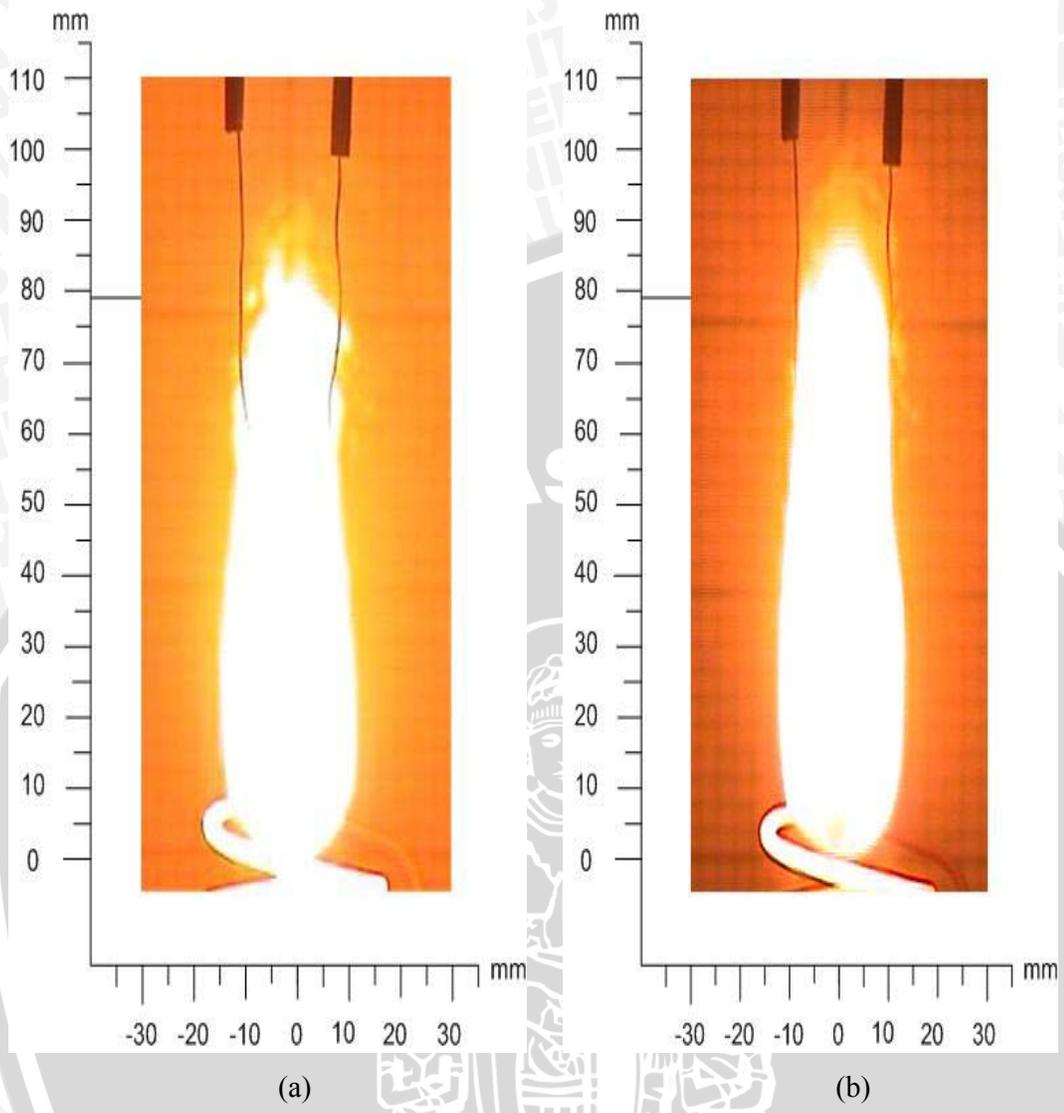


4.3 Visualisasi Nyala Api Pembakaran

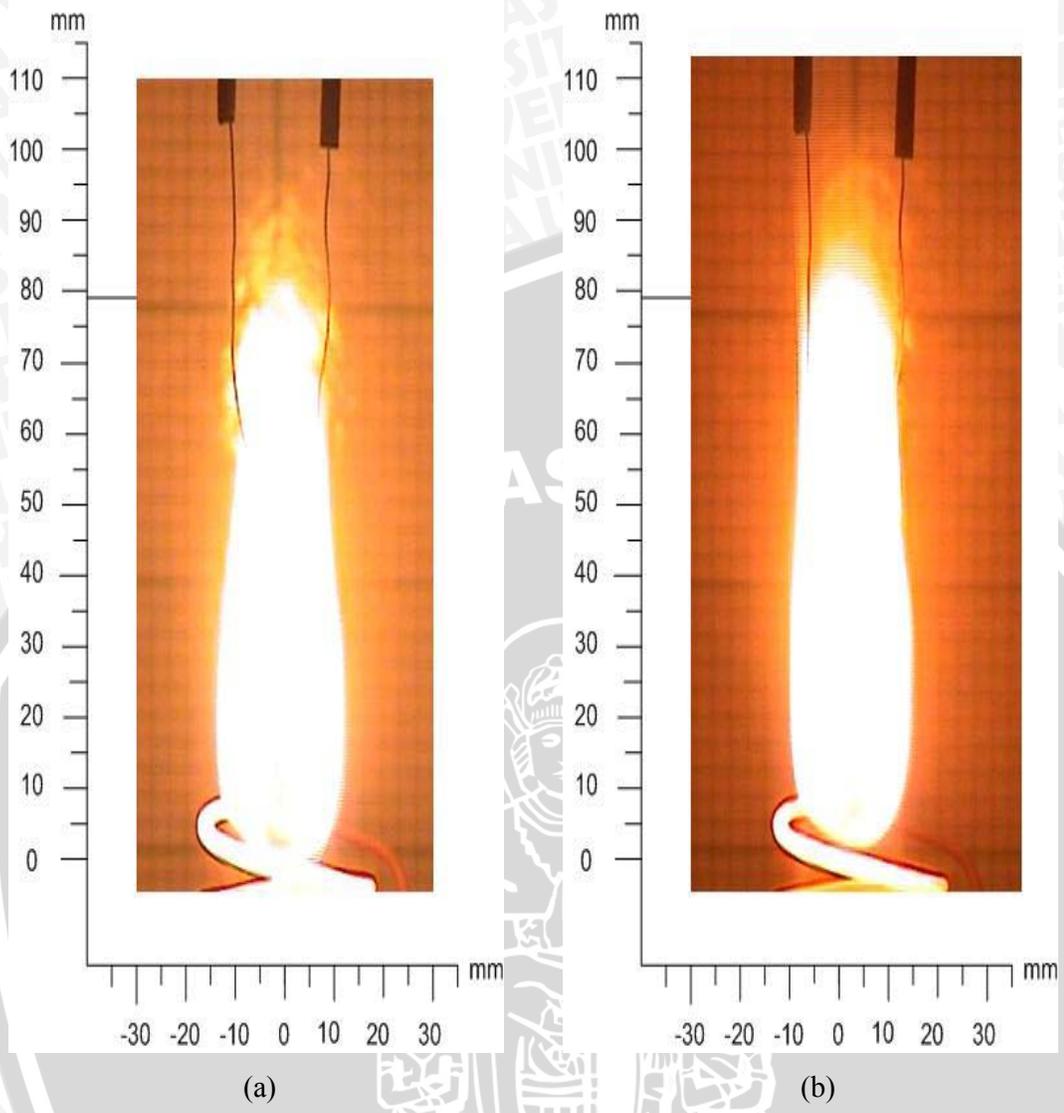


Gambar 4.6. Visualisasi nyala api pembakaran pada daya 60 watt

- a. Dengan medan magnet
- b. Tanpa medan magnet



Gambar 4.7. Visualisasi nyala api pembakaran pada daya 93,75 watt
a. Dengan medan magnet
b. Tanpa medan magnet

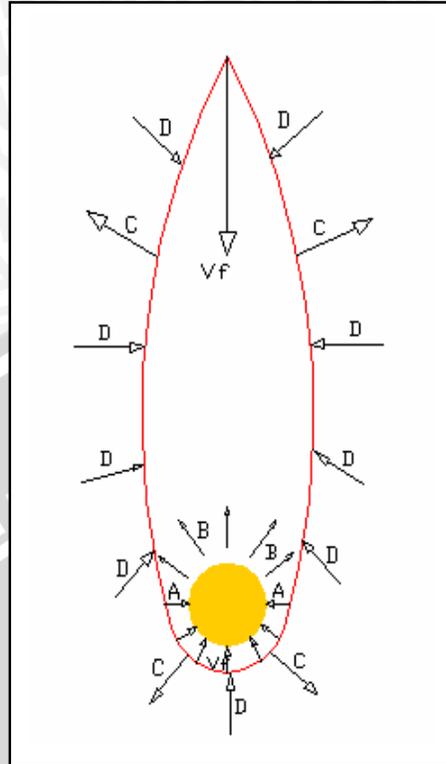


Gambar 4.8. Visualisasi nyala api pembakaran pada daya 135 watt
 a. Dengan medan magnet
 b. Tanpa medan magnet

Dari gambar 4.8., 4.9. dan 4.10. dapat dibuat dalam bentuk tabel besarnya panjang serta lebar masing-masing nyala api adalah sebagai berikut :

	Besar Daya					
	60 watt		93,75 watt		135 watt	
Ukuran	TMM	DMM	TMM	DMM	TMM	DMM
Panjang	95	92	90	85	85	80
Lebar	34	36	25	28	25	27

Tabel 4.1.
 Tabel panjang dan lebar dari nyala api pembakaran



Gambar 4.9.
Nyala api pembakaran

Keterangan gambar :

- A. Arah perambatan panas
- B. Arah pergerakan uap bahan bakar
- C. Arah pergerakan produk pembakaran
- D. Arah pergerakan udara pembakaran

Pada gambar 4.11 dapat kita lihat bahwa setelah terjadi proses penguapan yang kemudian diikuti oleh proses penyalaan bahan bakar, uap bahan bakar akan bergerak meninggalkan *droplet* menuju daerah nyala atau *flame region*. Pada daerah nyala ini akan terjadi proses pembakaran atau reaksi kimia antara uap bahan bakar dengan udara dalam hal ini oksigen sebagai oksidator yang berasal dari udara sekitarnya. Proses ini berlangsung secara terus-menerus, dimana setelah terbentuk nyala api yang berarti reaksi kimia pembakaran telah berlangsung, panas akan terus merambat (*flame propagation*) dari daerah nyala menuju permukaan *droplet* bahan bakar yang masih tersisa. Begitu seterusnya sampai bahan bakar benar-benar habis terbakar.

Nyala api pembakaran *droplet* yang merupakan pembakaran difusi dimana bahan bakar dan udara tidak mengalami percampuran terlebih dahulu seperti yang diilustrasikan pada gambar 4.10. Pada pembakaran *droplet* bahan bakar, panjang pendek nyala api sangat dipengaruhi oleh kecepatan pembakaran *droplet* bahan bakar. Sedangkan kecepatan pembakaran sendiri dipengaruhi oleh beberapa hal, salah satunya yaitu besar daya elemen pemanas. Seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya, semakin besar daya elemen pemanas maka pembakaran akan berlangsung semakin cepat. Oleh karena itu dengan meningkatnya kecepatan pembakaran maka vektor kecepatan V_f api keatas dan kebawah akan semakin panjang sehingga bagian samping *droplet* akan terdesak keluar dan hal ini menyebabkan api memendek serta agak melebar di sekitar *droplet* atau dengan kata lain semakin panjang vektor kecepatan api keatas maka api akan semakin cepat bergerak kearah *droplet*. Dan karena adanya *bouyancy force* atau gaya apung maka semua gas bahan bakar akan keatas sehingga api dari atas akan bergerak semakin cepat. Selain itu, karena gas tidak ke samping, maka gerak api dari samping akan lemah sehingga terdesak keluar karena kalah kuat dari api yang dari atas. Jadilah api memendek dan menggelembung ke samping.

Dari gambar 4.8. yang merupakan visualisasi nyala api pada besar daya 60 watt dengan dan tanpa medan magnet dapat kita lihat adanya perbedaan dari segi panjang serta lebar nyala api pembakaran *droplet* minyak jarak. Pada tabel 4.1 dapat diketahui bahwa nyala api untuk besar daya 60 watt dengan medan magnet lebih pendek tetapi lebih lebar jika dibandingkan dengan yang tanpa medan magnet. Begitu juga dengan nyala api *droplet* dengan besar daya 93,75 watt dan 135 watt. Dari ketiga variasi daya elemen pemanas dapat dilihat kecenderungan bahwa nyala api proses pembakaran *droplet* minyak jarak dalam pengaruh medan magnet lebih pendek namun lebih lebar jika dibandingkan dengan yang tanpa medan. Fenomena ini disebabkan karena pemberian medan magnet akan menyebabkan jumlah udara dalam hal ini oksigen yang dibutuhkan didalam reaksi pembakaran akan bertambah sebagai efek dari sifat paramagnetik oksigen. Sedangkan dilain pihak produk pembakaran akan dikeluarkan dari zona reaksi karena sifatnya yang diamagnetik. Hal ini menyebabkan temperatur pembakaran akan semakin meningkat dan nyala api yang dihasilkan akan semakin pendek.

Dilihat dari sudut pandang pengaruh besar kecil daya terhadap nyala api, dari tabel 4.1 untuk nyala api yang diberi medan magnet diketahui bahwa semakin kecil daya elemen pemanas maka nyala api akan semakin panjang serta tipis. Hal ini sesuai

dengan penjelasan sebelumnya bahwa dengan semakin besar daya elemen pemanas maka kecepatan pembakaran bahan bakar akan semakin tinggi sehingga vektor kecepatan api kebawah dan keatas akan semakin panjang. Hal ini akan menyebabkan bagian samping *droplet* akan terdesak keluar sehingga api memendek dan agak melebar disekitar *droplet*.

Dari tabel 4.1 tersebut dapat diketahui bahwa *droplet* dengan daya elemen pemanas terkecil yaitu 60 watt memiliki nyala api yang paling panjang. Kemudian seiring dengan bertambahnya besar daya elemen pemanas yang berarti kecepatan pembakaran semakin bertambah maka nyala api pembakarannya akan semakin pendek. Dari tabel tersebut diketahui bahwa *droplet* dengan daya 60 watt adalah *droplet* dengan nyala api yang paling panjang.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Besar daya elemen pemanas pada pembakaran difusi *droplet* minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) akan berpengaruh terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*). Semakin besar daya elemen pemanas yang diberikan pada pembakaran *droplet* minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) akan menyebabkan waktu pembakaran yang dihasilkan lebih singkat. Waktu pembakaran untuk daya elemen pemanas 60 watt, 93,75 watt dan 135 watt dengan menggunakan medan magnet adalah 6164 milidetik, 4533 milidetik dan 3649 milidetik, sehingga penurunan kecepatan pembakaran dengan menggunakan daya elemen pemanas 93,75 watt sebesar 27,19% dan untuk daya 135 watt sebesar 40,30%. Sedangkan untuk daya elemen pemanas 60 watt, 93,75 watt dan 135 watt tanpa medan magnet adalah 6368 milidetik, 4506 milidetik dan 3756 milidetik, sehingga penurunan kecepatan pembakaran dengan menggunakan daya elemen pemanas 93,75 watt sebesar 22,9% dan untuk daya 135 watt sebesar 40,8%. Panjang nyala api yang dihasilkan untuk daya elemen pemanas 60 watt, 93,75 watt dan 135 watt dengan menggunakan medan magnet adalah 92 mm, 85 mm dan 80 mm sedangkan untuk tanpa medan magnet adalah 95 mm, 90 mm dan 85 mm.

5.2 Saran

1. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pembakaran difusi minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) dengan memperhitungkan kecepatan aliran minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*).
2. Perlunya penelitian lebih lanjut terhadap campuran minyak jarak pagar (*Jatropha Curcas L*) dengan bahan bakar konvensional.
3. Diharapkan pada penelitian selanjutnya kuat medan magnet yang digunakan berkisar antara 1 sampai dengan 5 Tesla.



