



**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* DAN MEDAN MAGNET  
TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN  
*DROPLET* BIODIESEL MINYAK SAWIT**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada  
program studi S-1 Teknik Mesin*

**SKRIPSI**

**Oleh**

**I Gede Made Dwi Bagus Inar Saputra**

**201910101098**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN  
TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
TEKNIK MESIN  
JEMBER  
2024**



**PENGARUH TEMPERATUR *PREHEATING* DAN MEDAN MAGNET  
TERHADAP KARAKTERISTIK PEMBAKARAN  
*DROPLET* BIODIESEL MINYAK SAWIT**

*diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan memperoleh gelar Sarjana pada  
program studi S-1 Teknik Mesin*

**SKRIPSI**

Oleh

**I Gede Made Dwi Bagus Inar Saputra**

**201910101098**

**KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN  
TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS JEMBER  
FAKULTAS TEKNIK  
TEKNIK MESIN  
JEMBER  
2024**

**HALAMAN PERSEMBAHAN**

Skripsi berjudul Pengaruh Temperatur *Preheating* dan Medan Magnet Terhadap Karakteristik Pembakaran *Droplet* Biodiesel Minyak Sawit dipersembahkan kepada:

1. Mama yang tiada henti memberikan kasih sayang dan dukungan, semoga persembahan ini menjadi bukti cinta dan terima kasih saya.
2. Ayah, pahlawan hidupku yang selalu memberikan inspirasi dan dorongan, skripsi ini saya dedikasikan sebagai penghargaan atas segala pengorbanan dan bimbingan yang telah diberikan.
3. Saudaraku, Mas Ari yang sekaligus teladan dalam setiap langkah hidup, semoga skripsi ini menjadi wujud rasa terima kasih atas dukungan tak terbatas dan inspirasi yang selalu diberikan.

**MOTTO**

*“When you stop learning, you stop growing”*

- Albert Einstein



**PERNYATAAN ORISINALITAS**

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : I Gede Made Dwi Bagus Inar Saputra

NIM : 201910101098

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi yang berjudul: *Pengaruh Temperatur Preheating dan Medan Magnet Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel Minyak Sawit* adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik apabila dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 25 Januari 2024

Yang menyatakan,

(I Gede Made Dwi Bagus Inar Saputra)

NIM. 201910101098

**HALAMAN PERSETUJUAN**

Skripsi berjudul *Pengaruh Temperatur Preheating dan Medan Magnet Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel Minyak Sawit* telah diuji dan disetujui oleh Fakultas Teknik Universitas Jember pada:

Hari : Kamis

Tanggal : 25 Januari 2024

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

**Pembimbing**

**Tanda Tangan**

1. Pembimbing Utama

Nama : Ir. Digdo Listyadi Setyawan, MSc., IPM (.....)

NIP : 196806171995011001

2. Pembimbing Anggota

Nama : Imam Sholahuddin, S.T., M.T. (.....)

NIP : 198110292008121003

**Penguji**

**Tanda Tangan**

1. Penguji Utama

Nama : Ir. Muhammad Trifiananto, S.T., M.T. (.....)

NIP : 199003242019031017

2. Penguji Anggota

Nama : Ir. Ahmad Syuhri, M.T. (.....)

NIP : 196701231997021001

## ABSTRAK

Penggunaan bahan bakar fosil di Indonesia menjadi permasalahan utama yang menuntut solusi berkelanjutan, terutama mengingat ketersediaan yang terbatas dan tingginya tingkat konsumsi. Biodiesel muncul sebagai alternatif yang menjanjikan, dihasilkan dari bahan baku terbarukan dan melalui proses pembuatan yang relatif sederhana. Minyak nabati, seperti minyak jarak, minyak bunga matahari, minyak biji nyamplung, dan khususnya minyak kelapa sawit, menjadi fokus penting di Indonesia, sebagai negara penghasil utama kelapa sawit di dunia. Meskipun biodiesel menawarkan potensi signifikan dalam mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, penelitian mengungkap beberapa kelemahan, seperti viskositas yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar diesel fosil. Untuk mengatasi tantangan ini, penelitian terfokus pada pengaruh variasi temperatur biodiesel berbahan minyak kelapa sawit dengan penambahan medan magnet terhadap karakteristik pembakaran *droplet*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan medan magnet pada berbagai temperatur yaitu 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, dan 70°C, terjadi penurunan nilai *burning time*, *ignition delay time*, dan tinggi api, sementara nilai temperatur api mengalami peningkatan. Penelitian ini mendorong pemahaman lebih mendalam tentang karakteristik pembakaran biodiesel, memberikan kontribusi pada potensi peningkatan efisiensi dan keberlanjutan penggunaan biodiesel di masa depan. Sebagai solusi alternatif yang berkelanjutan, biodiesel dari minyak kelapa sawit di Indonesia dapat menjadi langkah positif menuju peningkatan kemandirian energi dan pengurangan dampak lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan landasan untuk eksplorasi lebih lanjut dalam mengoptimalkan pemanfaatan biodiesel sebagai solusi energi yang ramah lingkungan.

Kata kunci: biodiesel, temperatur, medan magnet, dan pembakaran *droplet*



**ABSTRACT**

*The use of fossil fuels in Indonesia poses a significant challenge due to limited availability and high consumption rates. Biodiesel emerges as a promising alternative, derived from renewable raw materials and produced through a relatively straightforward process. Vegetable oils, such as castor oil, sunflower oil, pongamia oil, and notably, palm oil, take center stage in Indonesia as a leading producer of palm oil globally. Despite the substantial potential of biodiesel in reducing dependence on fossil fuels, research reveals some drawbacks, such as higher viscosity compared to fossil diesel. To address this challenge, the study focuses on the impact of varying temperatures of palm oil-based biodiesel with the addition of a magnetic field on the combustion characteristics of droplets. The findings indicate that with the addition of a magnetic field at different temperatures 30°C, 40°C, 50°C, 60°C, and 70°C, there is a decrease in burning time, ignition delay time, and flame height, while the flame temperature experiences an increase. This research contributes to a deeper understanding of biodiesel combustion characteristics, offering insights into potential enhancements in efficiency and sustainability for future biodiesel utilization. As a sustainable alternative, biodiesel from palm oil in Indonesia can serve as a positive step towards increased energy self-sufficiency and environmental impact reduction. Thus, this study provides a foundation for further exploration in optimizing biodiesel utilization as an environmentally friendly energy solution.*

*Keywords: biodiesel, temperature, magnetic field, and droplet combustion*



RINGKASAN

**Pengaruh Temperatur *Preheating* dan Medan Magnet Terhadap Karakteristik Pembakaran *Droplet* Biodiesel Minyak Sawit; I Gede Made Dwi Bagus Inar Saputra, 201910101098; Halaman; Jurusan Teknik Mesin Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Jember.**

Biodiesel, sebuah jenis bioenergi yang menggunakan bahan baku terbarukan, seperti minyak nabati atau lemak hewani, diakui sebagai opsi ramah lingkungan. Di Indonesia, masalah utama terkait keterbatasan dan tingginya kebutuhan bahan bakar fosil mendorong perhatian pada biodiesel sebagai solusi. Meskipun dibuat dari bahan baku terbarukan dengan proses yang relatif mudah, biodiesel memiliki beberapa kelemahan, terutama terkait viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional. Biodiesel, yang banyak dihasilkan dari kelapa sawit, menjadi pilihan dominan dalam industri ini karena produktivitasnya yang tinggi. Keuntungan lainnya melibatkan pengurangan emisi gas buang dan penggunaannya sebagai pengganti minyak diesel pada kendaraan bermotor. Namun, kelemahan utamanya melibatkan viskositas tinggi yang dapat memengaruhi pembakaran di mesin diesel.

Penelitian dalam bidang ini yaitu pengujian pembakaran droplet sebagai metode umum untuk mengidentifikasi karakteristik nyala api biodiesel. Berbagai penelitian, seperti preheating biodiesel, transesterifikasi kimia, dan penambahan medan magnet, dilakukan untuk menurunkan waktu penundaan pembakaran dan meningkatkan karakteristik pembakaran biodiesel. Penelitian terbaru fokus pada pengaruh variasi temperatur preheating dan medan magnet pada biodiesel berbahan dasar minyak kelapa sawit. Aspek-aspek yang menjadi fokus penelitian yaitu *ignition delay time*, *burning time*, tinggi dan temperatur nyala api.

Hipotesis pada penelitian ini yaitu peningkatan temperatur preheating memudahkan penguapan biodiesel pada uji pembakaran droplet, mempersingkat *ignition delay time*. Penambahan medan magnet diharapkan mempengaruhi penyebaran api melalui mobilitas elektron dalam molekul biodiesel, dengan hasil

karakteristik nyala api yang lebih baik, termasuk *ignition delay time* lebih singkat, *burning time* menurun, dan temperatur nyala api meningkat.

Penelitian ini menggunakan bahan biodiesel minyak kelapa sawit dengan variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini yaitu temperatur biodiesel 30°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C. Sedangkan variabel terikatnya yaitu temperatur nyala api, tinggi nyala api, *ignition delay time*, dan *burning time*.

Hasil dari pengujian pembakaran biodiesel yaitu temperatur nyala api pada proses pembakaran meningkat dengan ditambahkan medan magnet pada zona pembakaran, hal ini disebabkan karena adanya *spin* elektron. Tinggi nyala api yang lebih rendah dibandingkan dengan tanpa perlakuan medan magnet dikarenakan medan magnet menarik O<sub>2</sub> dan menyebabkan pembakaran menjadi lebih reaktif dan rendah. *Ignition delay time* lebih singkat pada biodiesel dengan temperatur yang lebih tinggi dan dengan penambahan medan magnet. *Burning time* menurun pada biodiesel dengan perlakuan medan magnet yang disebabkan karena melemahnya ikatan molekul dan mempercepat reaksi pembakaran.

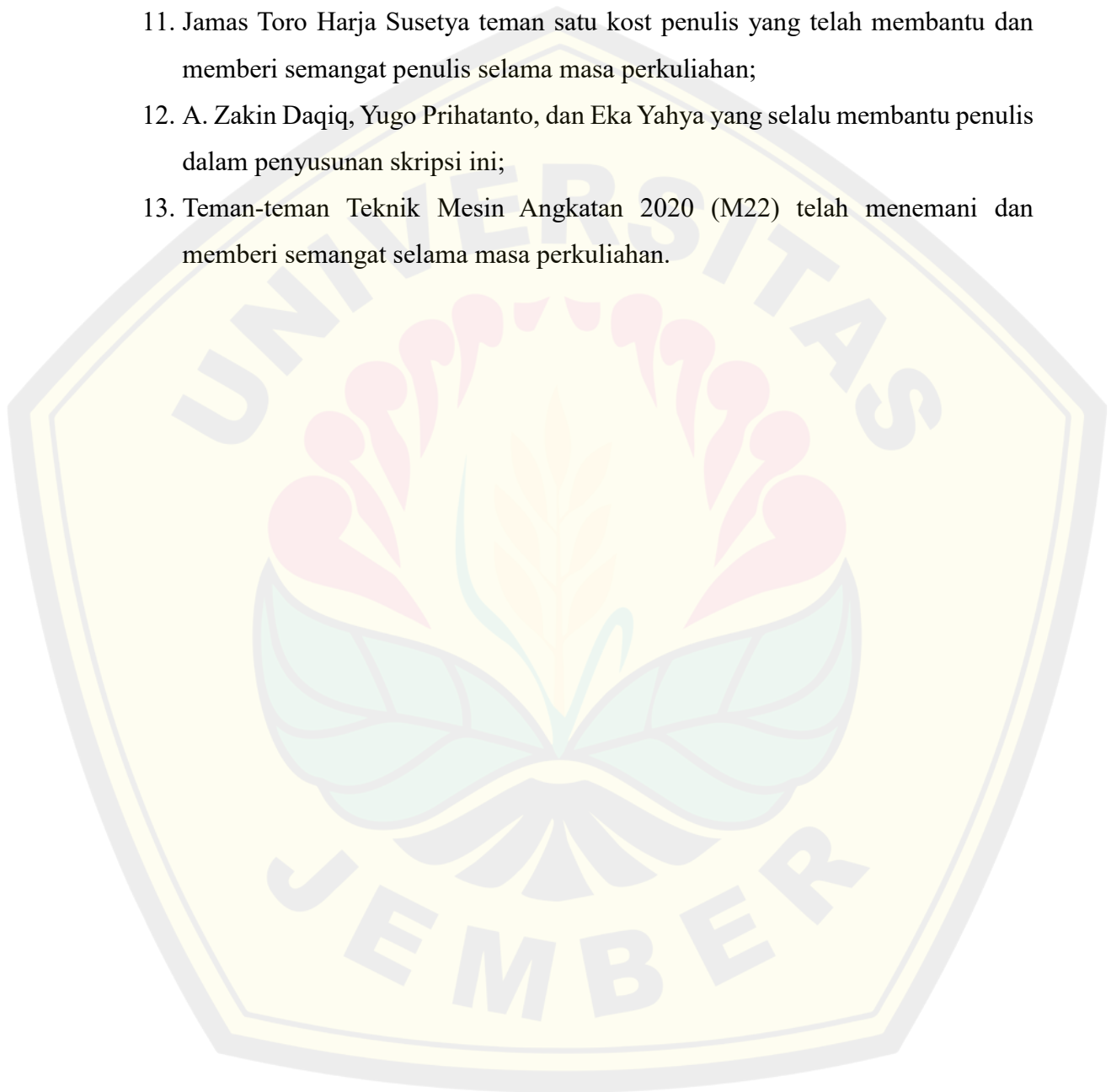
Penerapan medan magnet meningkatkan kualitas pembakaran dengan intensitas tumbukan molekul yang ditingkatkan. Medan magnet menarik molekul O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O melalui proses pembakaran droplet, menghasilkan reaksi yang lebih optimal dan memperbaiki kualitas pembakaran. *Preheating* juga memperlihatkan penyingkatan *ignition delay time*. Penelitian ini menunjukkan bahwa medan magnet meningkatkan temperatur nyala api, sementara *ignition delay time*, *burning time*, dan tinggi nyala api menurun dan lebih singkat.

## PRAKATA

Segala puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Kuasa, atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengaruh Temperatur *Preheating* dan Medan Magnet Terhadap Karakteristik Pembakaran *Droplet* Biodiesel Minyak Sawit”. Penyusunan skripsi ini sebagai syarat kelulusan pada program studi S-1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Penulis menyadari bahwa dalam pengerjaan skripsi ini tidak sedikit hambatan, tantangan dan kesulitan yang penulis hadapi, tetapi penulis beryukur dapat dilalui sehingga skripsi dapat terselesaikan. Maka dari itu, penulis mengucapkan terimakasih setulus tulusnya kepada:

1. Tuhan Yang Maha Kuasa, karena rahmat dan karunianya penulis dapat menuntaskan skripsi ini;
2. Ibunda Dwi Indah Sayekti yang telah melahirkan dan selalu memberikan kasih sayang kepada penulis;
3. Ayah I Wayan Arga Saputra yang selalu memberikan motivasi dan doa terbaik untuk penulis;
4. Bapak Dr. Ir. Triwahyu Hardianto S.T., M. T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember;
5. Bapak Dr. Ir. Salahuddin Junus S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin dan Ketua Prodi S1 Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember;
6. Bapak Ir. Digdo Listyadi Setyawan, MSc., IPM dan Bapak Imam Sholahuddin, S.T., M.T. selaku pembimbing I dan pembimbing II yang selalu memberikan petunjuk dan arahan serta meluangkan waktu pada penyusuna skripsi ini;
7. Bapak Ir. Muhammad Trifiananto, S.T., M.T., dan Bapak Ir. Ahmad Syuhri, M.T. selaku penguji I dan penguji II yang telah memberi saran serta masukan terhadap penyusunan skripsi ini;
8. Dosen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberi ilmu selama masa perkuliahan;

9. I Gede Putu Ari Wahyu Saputra saudara penulis yang banyak memberi motivasi serta mewarnai kehidupan penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu;
10. Putu Pradnya Paramita yang telah banyak membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini;
11. Jamas Toro Harja Susetya teman satu kost penulis yang telah membantu dan memberi semangat penulis selama masa perkuliahan;
12. A. Zakin Daqiq, Yugo Prihatanto, dan Eka Yahya yang selalu membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini;
13. Teman-teman Teknik Mesin Angkatan 2020 (M22) telah menemani dan memberi semangat selama masa perkuliahan.



**DAFTAR ISI**

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>ii</b>
<b>MOTTO .....</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN ORISINALITAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN .....</b>	<b>v</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>vi</b>
<b>RINGKASAN .....</b>	<b>viii</b>
<b>PRAKATA.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB 1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat .....	4
<b>BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>5</b>
2.1 Biodiesel.....	5
2.2 Pembakaran ( <i>Combustion</i> ).....	6
2.4 <i>Preheating</i> .....	10
2.5 Medan Magnet .....	10
<b>BAB 3. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>15</b>
3.1 Metode Penelitian.....	15
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian.....	15
3.2.1 Tempat Penelitian .....	15
3.2.2 Waktu Penelitian .....	15
3.3 Alat dan Bahan.....	14
3.3.1 Alat Pembuatan Biodiesel .....	14

3.3.2	Bahan Pembuatan Biodiesel .....	14
3.3.3	Alat Pengujian Pembakaran <i>Droplet</i> .....	14
3.3.4	Bahan Uji Pembakaran <i>Droplet</i> .....	15
3.4	Skema Alat Penelitian .....	15
3.5	Variabel Penelitian .....	16
3.6	Prosedur Pengambilan Data .....	16
3.7	Diagram Alir Penelitian .....	18
<b>BAB 4.</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>19</b>
4.1	Hasil Pengujian .....	19
4.2	Pembuatan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit .....	20
4.3	Temperatur Nyala Api .....	21
4.4	Tinggi Nyala Api .....	25
4.5	<i>Ignition Delay Time</i> .....	26
4.6	<i>Burning Time</i> .....	29
<b>BAB 5.</b>	<b>PENUTUP .....</b>	<b>32</b>
5.1	Kesimpulan .....	32
5.2	Saran .....	32
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>33</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>37</b>



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema pengujian pembakaran <i>droplet</i> .....	7
Gambar 2.2 Grafik pengaruh arah medan magnet terhadap waktu.....	8
Gambar 2.3 <i>Burning rate</i> dengan orientasi medan magnet tarik menarik .....	8
Gambar 2.4 Grafik arah medan magnet terhadap temperatur pembakaran .....	9
Gambar 2.5 Pengaruh arah medan magnet terhadap waktu dan tinggi api.....	9
Gambar 2.6 Sifat dari Kutub Medan Magnet.....	10
Gambar 2.7 Ilustrasi pergerakan O <sub>2</sub> dan H <sub>2</sub> O akibat pengaruh medan magnet.....	11
Gambar 3.1 Skema Alat Penelitian .....	15
Gambar 4. 1 <i>Droplet</i> biodiesel minyak kelapa sawit .....	19
Gambar 4.2 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 30°C .....	21
Gambar 4.3 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 40°C .....	22
Gambar 4.4 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 50°C .....	22
Gambar 4.5 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 60°C .....	23
Gambar 4.6 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 70°C .....	24
Gambar 4.7 Perbandingan batang tinggi api .....	25
Gambar 4.8 Perbandingan <i>ignition delay time</i> .....	27
Gambar 4.9 Perbandingan <i>ignition delay time</i> .....	28
Gambar 4.10 (a) <i>Burning time</i> tanpa magnet dengan temperatur 30°C; (b) <i>Burning time</i> dengan magnet temperatur 30°C .....	29
Gambar 4.11 Perbandingan <i>burning time</i> pada pembakaran <i>droplet</i> .....	30
Gambar 4.12 Temperatur maksimal pembakaran biodiesel.....	31



**DAFTAR TABEL**

Tabel 4. 1 Hasil pengambilan data .....	19
Tabel 4. 2 Data karakteristik biodiesel minyak sawit .....	20



## BAB 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Biodiesel adalah salah satu bioenergi yang mana bahan baku yang digunakan bersifat terbarukan. Biodiesel merupakan mono-alkil ester yang berasal dari asam lemak minyak nabati ataupun lemak hewani yang dapat dikatakan ramah lingkungan (Firda,2021). Penggunaan bahan bakar fosil menjadi masalah utama di Indonesia karena ketersediaannya yang terbatas dan tingkat kebutuhannya yang tinggi. Biodiesel merupakan solusi untuk dapat mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil karena terbuat dari bahan baku yang terbarukan dan proses pembuatannya yang relatif mudah. Salah satu bahan yang dapat digunakan pada pembuatan biodiesel yaitu minyak nabati seperti minyak jarak, minyak bunga matahari, minyak biji nyamplung dan minyak goreng kelapa sawit.

Indonesia sebagai negara penghasil kelapa sawit dapat memanfaatkan hasil bumi tersebut menjadi biodiesel. Minyak kelapa sawit adalah sumber bahan baku biodiesel yang mendominasi di seluruh dunia karena tingkat produktivitas yang tinggi (Latisya, 2022). Biodiesel memiliki beberapa keunggulan sebagai bahan bakar yang ramah lingkungan, tidak memiliki dampak negatif terhadap kesehatan, dan dapat digunakan sebagai pengganti minyak diesel pada kendaraan bermotor. Penggunaan biodiesel dapat mengurangi emisi gas buang jika dibandingkan dengan penggunaan minyak diesel konvensional. Biodiesel dapat digunakan baik dalam bentuk murni maupun dicampur dengan minyak diesel, terutama pada mesin jenis diesel. Pemanfaatan biodiesel bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Devita, 2015).

Di sisi lain, biodiesel juga memiliki beberapa kelemahan yang perlu diperhatikan. Minyak nabati yang digunakan sebagai bahan baku biodiesel memiliki viskositas atau tingkat kekentalan 20 kali lebih tinggi daripada bahan bakar diesel fosil. Kondisi ini dapat memengaruhi proses atomisasi bahan bakar dalam ruang bakar mesin diesel. Ketika atomisasi kurang efisien, hal ini dapat mengakibatkan penurunan daya atau tenaga mesin dan pembakaran yang tidak

sempurna, sehingga memengaruhi kinerja mesin secara keseluruhan (Bustaman, 2009).

Karakteristik pembakaran menjadi tolak ukur dalam penggunaan bahan bakar. Hal ini penting karena pembakaran memiliki potensi untuk memengaruhi kinerja mesin kendaraan dan mengurangi emisi gas buang (Jakfar dan Sudarmanta, 2015). Pembakaran adalah rangkaian reaksi kimia antara bahan bakar dan oksidan yang menghasilkan panas dan cahaya dalam bentuk nyala atau api (Ridhuan dan Suranto, 2016). Salah satu metode umum untuk menguji pembakaran adalah pembakaran *droplet*. Dengan pengujian ini, kita dapat mengidentifikasi karakteristik nyala api yang dihasilkan oleh material yang sedang diuji.

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk menurunkan *ignition delay time* dari biodiesel sebagai bahan bakar, termasuk dengan menggunakan proses preheating atau pemanasan biodiesel sebelum dilakukannya proses pengujian *droplet*, perlakuan kimia atau transesterifikasi, dan penambahan medan magnet pada pengujian *droplet*. Pada tahun 2010, Wardana melakukan penelitian mengenai pengujian *droplet* pada minyak jarak dengan variasi *oil temperature* dan diameter *droplet*, didapatkan bahwa semakin tinggi temperatur minyak mengakibatkan proses pembakaran minyak jarak lebih baik. Mursadin pada tahun 2022 melakukan penelitian mengenai perlakuan kimia transesterifikasi pada minyak kelapa sawit dan berhasil menurunkan viskositas minyak tersebut dari 39,60 menjadi 5,86 cSt yang mendekati viskositas bahan bakar solar yaitu 4,6 cSt. Sedangkan pada tahun 2023, Perdana dkk meneliti mengenai pengaruh arah dari medan magnet pada ruang bakar didapatkan hasil bahwa medan magnet dengan kutub tarik menarik dapat meningkatkan suplai oksigen, dan aliran bahan bakar molekuler ke dasar nyala api menjadi lebih reaktif sehingga menyebabkan temperatur meningkat, *ignition delay time* yang lebih singkat, dan menghasilkan tinggi nyala api yang lebih rendah.

Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh variasi temperatur *preheating* pada biodiesel berbahan minyak kelapa sawit terhadap karakteristik pembakaran *droplet*. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi dampak penambahan medan magnet terhadap penyebaran api melalui mobilitas elektron dalam molekul biodiesel serta melalui sifat paramagnetik O<sub>2</sub> dan sifat

diamagnetik H<sub>2</sub>O. Dengan demikian, diharapkan penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang proses pembakaran *droplet* biodiesel dalam kondisi variasi temperatur dan pengaruh medan magnet. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi biodiesel dengan karakteristik pembakaran yang lebih optimal, melibatkan aspek-aspek seperti *ignition delay time*, *burning time*, dan temperatur nyala api. Dengan pemahaman yang lebih baik terhadap faktor-faktor tersebut, diharapkan dapat memberikan pandangan yang lebih komprehensif terkait peningkatan efisiensi dan kinerja biodiesel sebagai bahan bakar alternatif.

### 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang diteliti pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana temperatur nyala api setelah diberi perlakuan terhadap variasi temperatur biodiesel dan medan magnet?
2. Bagaimana tinggi nyala api setelah diberi perlakuan terhadap variasi temperatur biodiesel dan medan magnet?
3. Bagaimana *ignition delay time* nyala api setelah diberi perlakuan terhadap variasi temperatur biodiesel dan medan magnet?
4. Bagaimana *burning time* nyala api setelah diberi perlakuan terhadap variasi temperatur biodiesel dan medan magnet?

### 1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang ada pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Temperatur ruangan dianggap sama pada 28°C.
2. Temperatur biodiesel yang dipanaskan dianggap sama mulai dari pemanasan hingga pengujian.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

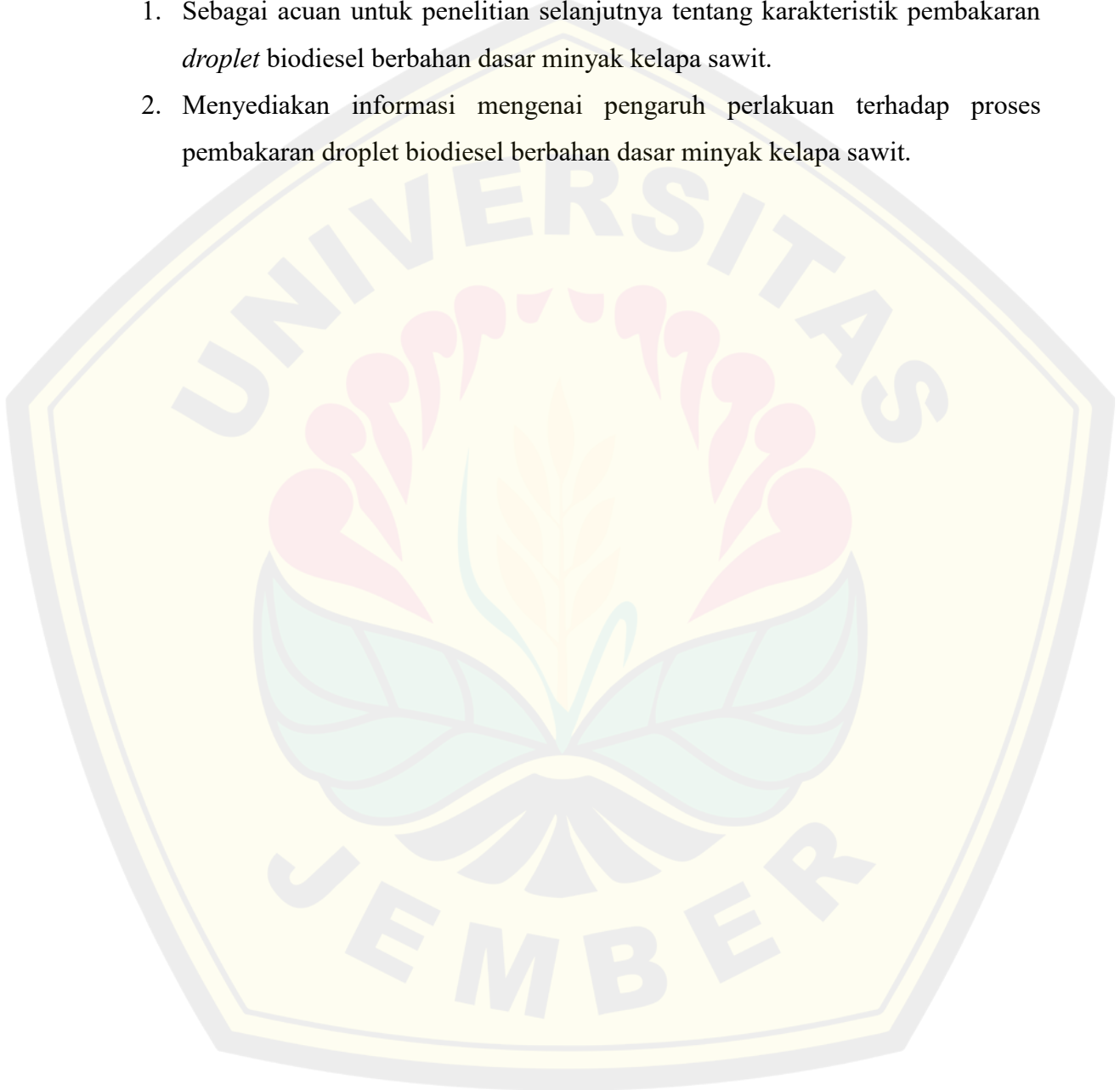
1. Mengetahui pengaruh dari variasi temperatur biodiesel dan medan magnet terhadap karakteristik pembakaran *droplet* pada biodiesel kelapa sawit.

2. Mengetahui variasi temperatur yang terbaik dalam pembakaran *droplet* biodiesel kelapa sawit.

### 1.5 Manfaat

Manfaat pada penelitian ini adalah:

1. Sebagai acuan untuk penelitian selanjutnya tentang karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel berbahan dasar minyak kelapa sawit.
2. Menyediakan informasi mengenai pengaruh perlakuan terhadap proses pembakaran *droplet* biodiesel berbahan dasar minyak kelapa sawit.



## BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar cair yang dapat digunakan pada mesin diesel standar dan berasal dari asam organik seperti minyak nabati atau lemak hewan. Biodiesel terdiri dari ester alkil rantai panjang dan biasanya dibuat dengan mereaksikan lipid dengan alkohol. Selama sintesis biodiesel, jumlah gliserol yang cukup besar dihasilkan. Glycerol adalah produk sampingan dalam produksi biodiesel dan tidak dapat langsung digunakan dalam aplikasi industri karena mengandung kotoran. Biodiesel dapat digunakan sendiri atau dicampur dengan petro-diesel dalam proporsi yang berbeda-beda (Hidalgo dan Fernandez, 2017). Biodiesel juga merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Kelebihan dari biodiesel dapat mengurangi emisi gas buang yang meliputi hidrokarbon (HC), sulfur oksida (SO), karbon monoksida (CO) dan juga partikel lainnya (Rejeki dan Henny, 2021).

Biodiesel memiliki sejumlah keunggulan sebagai bahan bakar alternatif. Pertama, biodiesel memiliki titik nyala yang tinggi, yaitu temperatur terendah di mana uap biodiesel dapat menyala, sehingga menjadikannya lebih aman dalam penyimpanan dan distribusi untuk menghindari risiko kebakaran. Kedua, biodiesel tidak mengandung sulfur dan benzene yang bersifat karsinogen, serta dapat mengalami peluruhan alami. Ketiga, biodiesel dapat meningkatkan pelumasan mesin lebih baik daripada solar, yang berpotensi memperpanjang umur pakai mesin. Keempat, biodiesel dapat dicampur dengan solar murni dalam berbagai proporsi tanpa memerlukan modifikasi mesin. Kelima, penggunaan biodiesel dalam campuran bahkan dalam konsentrasi sekecil 5-10% dapat mengurangi emisi asap hitam dari gas buang mesin diesel secara signifikan (Kementrian Negara Riset dan Teknologi 2006 dalam Bustaman, 2009).

Biodiesel telah menjadi pilihan utama sebagai sumber energi alternatif karena memiliki sifat-sifat yang sangat menguntungkan, seperti kemampuan terdegradasi secara alami (*biodegradable*), tidak beracun (*non-toxic*), dan menghasilkan emisi yang rendah. Sumber daya hayati yang sering digunakan sebagai bahan baku



biodiesel antara lain adalah kelapa (*Cocos nucifera*), sawit (*Elais guineensis*), jarak pagar (*Jatropha curcas*), mahua (*Madhuca indica*), biji kapuk (*Ceiba pentandra*), dan nyamplung (*Calophyllum inophyllum*) (Babazadeh, 2017).

## 2.2 Pembakaran (*Combustion*)

Pembakaran adalah rangkaian reaksi kimia yang terjadi dengan cepat pada temperatur tinggi, disertai oleh pelepasan panas yang signifikan. Proses pembakaran memiliki tujuan untuk mengubah energi kimia yang terdapat dalam bahan bakar menjadi energi panas (Glassman *et al.*, 2015). Suatu proses pembakaran memerlukan tiga unsur utama, yaitu bahan bakar (*fuel*), oksigen (*oxidizer*), dan panas (*heat*). Ketiga unsur penting ini dikenal sebagai segitiga api. Jika salah satu unsur ini hilang, maka proses pembakaran tidak dapat terjadi. Dalam proses pembakaran, pengamatan terhadap api dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas pembakaran. Aspek-aspek yang dapat diamati meliputi warna, sudut, tinggi, dan kecepatan rambat dari api tersebut (Ilminnafik dkk., 2011). Secara umum, terdapat dua jenis pembakaran, yaitu pembakaran premix dan pembakaran difusi.

### 2.2.1 Pembakaran Premix

Pembakaran premix adalah proses pembakaran di mana bahan bakar dan udara mencampur dalam ruang pencampuran dengan perbandingan tertentu sebelum dibakar di ujung burner. Campuran bahan bakar dan udara dalam pembakaran premix dapat memiliki komposisi kaya udara, stokiometri, atau kaya bahan bakar. Api dalam pembakaran premix akan menyebar menuju arah reaktan dengan kecepatan khusus. Jika kecepatan reaktan sama dengan kecepatan penyebaran api, maka api atau zona reaksi akan stasioner (Muhaya dkk., 2015).

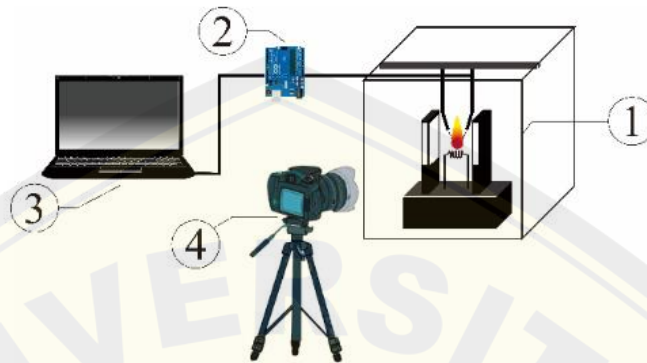
### 2.2.2 Pembakaran Difusi

Pembakaran difusi adalah jenis pembakaran yang terjadi ketika bahan bakar kontak langsung dengan udara di sekitarnya. Dalam pembakaran difusi, stabilitas api dipengaruhi oleh jumlah reaktan yang masuk, yang dapat menyebabkan fenomena *lift off* seperti api terangkat menjauh dari mulut *burner* dan *blow off* kondisi di mana api padam (Banjari dkk., 2015). Api difusi, atau sering disebut



sebagai api non-campuran, biasanya terjadi ketika bahan bakar dan pengoksidasi awalnya berada dalam kondisi terpisah.

### 2.3 Proses Pembakaran *Droplet*



Gambar 2. 1 Skema pengujian pembakaran *droplet*

(Sumber: Winarko dkk, 2022)

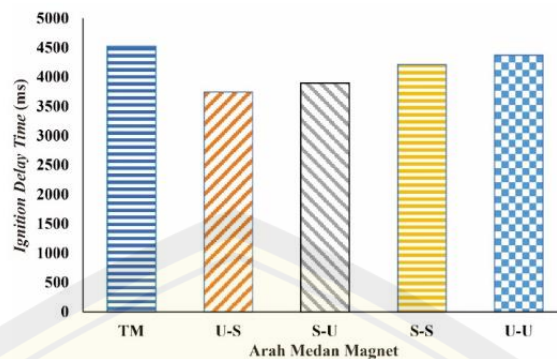
Keterangan:

1. Ruang bakar
2. *Data logger*
3. Laptop
4. Kamera

Pembakaran *droplet* ialah bagian dari pembakaran difusi karena pada proses pembakaran *droplet*, bahan bakar dimasukkan ke dalam ruang bakar dan secara alami bercampur dengan udara. Ketika tetesan dipanaskan dalam ruang bakar, ini mengakibatkan penguapan bahan bakar dan pencampurannya dengan oksidator (udara), bergerak menuju bagian depan api (*flame front*). Selanjutnya, api terbentuk dari permukaan tetesan, yang pada akhirnya akan mengalami proses pembakaran (Hakim, 2018).

#### 2.3.1 Karakteristik Pembakaran *Droplet*

Dalam konteks pentingnya mengamati karakteristik pembakaran, perlu ditekankan bahwa berbagai jenis bahan bakar menunjukkan perbedaan ciri khas dalam proses pembakarannya. Beberapa karakteristik pembakaran yang sering menjadi fokus penelitian meliputi:

a) *Ignition delay time*

Gambar 2. 2 Pengaruh arah medan magnet terhadap waktu

(Sumber: Winarko dkk, 2022)

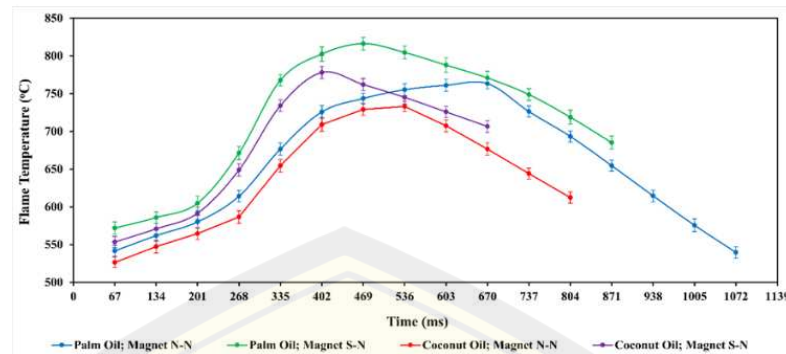
*Ignition delay time* adalah rentang waktu yang dibutuhkan sejak pemanas ditempatkan tepat di bawah tetes hingga terjadinya nyala api. Dalam konteks ini, waktu tunda pengapian juga mencerminkan periode yang diperlukan oleh suatu jenis bahan bakar sebelum dapat terbakar dan menghasilkan nyala api. Relevansi waktu tunda pengapian sangat mencolok dalam proses pembakaran, karena memengaruhi kinerja mesin dan emisi gas buangnya (Mursadin, 2022).

b) *Burning time*Gambar 2. 3 *Burning time* dengan orientasi medan magnet tarik menarik

(Sumber: Perdana dkk, 2023)

*Burning time* merujuk pada lama pembakaran yang terjadi pada setiap tetes bahan bakar, dimulai dari saat nyala api pertama muncul hingga sepenuhnya padam. *Droplet* yang memiliki diameter lebih besar akan memiliki massa yang lebih besar, sehingga memerlukan lebih banyak waktu untuk menjalani seluruh proses pembakaran (Mursadin, 2022).

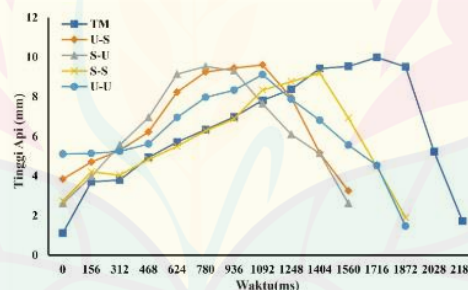
## c) Temperatur Pembakaran



Gambar 2. 4 Pengaruh arah medan magnet terhadap temperatur pembakaran  
(Sumber: Perdana dkk, 2023)

Temperatur pembakaran adalah temperatur maksimum yang terdeteksi di pusat *droplet* bahan bakar selama proses pembakaran. Temperatur pembakaran ini dipengaruhi oleh nilai kalor dari bahan bakar itu sendiri, yang merupakan jumlah energi panas yang dilepaskan oleh bahan bakar ketika unsur-unsur kimianya mengalami oksidasi (Pratama, 2017).

## d) Visualisasi Nyala Api



Gambar 2. 5 Pengaruh arah medan magnet terhadap waktu dan tinggi api  
(Sumber: Winarko dkk, 2022)

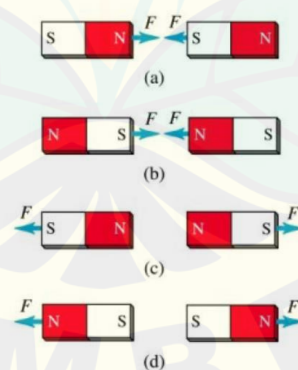
Dimensi api memegang peran yang penting dalam memberikan indikasi visual tentang laju reaksi pembakaran. Secara visual, kita dapat mengidentifikasi apakah reaksi pembakaran berjalan dengan cepat atau lambat berdasarkan ukuran dimensi api. Ketika reaksi pembakaran bahan bakar berlangsung dengan cepat, maka dimensi api cenderung lebih kecil. Sebaliknya, jika reaksi pembakaran berlangsung dengan lambat, maka api cenderung lebih besar dan lebih panjang. Fenomena ini terjadi karena semakin lama reaksi pembakaran berlangsung, semakin banyak

waktu yang diperlukan oleh bahan bakar untuk mengalami oksidasi dan terbakar sepenuhnya (Pratama, 2017).

## 2.4 Preheating

*Preheating* adalah suatu proses pemanasan awal suatu materi sebelum materi tersebut memasuki proses di alat berikutnya. *Preheating* memiliki beberapa fungsi yaitu mengurangi konsumsi energi dan mengurangi perbedaan temperatur yang tinggi, karena pemanasan yang berlebihan atau tidak merata. *Preheating* pada biodiesel adalah pemanasan biodiesel sebelum memasuki ruang bakar. Hal tersebut bertujuan guna menurunkan titik nyala agar pembakaran yang terjadi lebih baik daripada tidak adanya perlakuan *preheating* (Wardana, 2010). Selain itu, didapati juga dengan penurunan viskositas biodiesel yang memiliki dampak positif dalam membuat campuran udara dan bahan bakar lebih homogen saat diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Hal ini memungkinkan pembentukan butiran-butiran yang lebih halus dari bahan bakar, memudahkan pencampuran dengan udara di dalam ruang bakar. Selain itu, penurunan temperatur titik nyala dapat mengurangi waktu *ignition delay time* yang menandai pembakaran yang lebih baik.

## 2.5 Medan Magnet

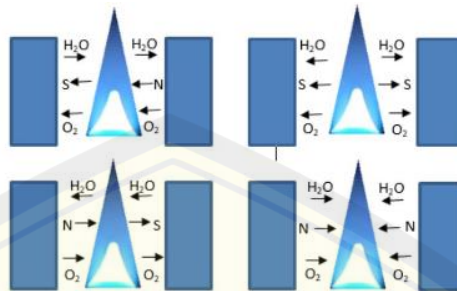


Gambar 2. 6 Sifat dari Kutub Medan Magnet

(Sumber: Yudi dan Zulkifli, 2019)

Medan magnet adalah wilayah sekitar suatu magnet yang memiliki gaya magnetik. Gaya magnet yang terjadi disebabkan oleh keberadaan dua kutub, yaitu kutub selatan (S) dan kutub utara (U). Ketika muatan bergerak atau arus listrik

mengalir, mereka dapat menciptakan medan magnet di sekitarnya (Yudi dan Zulkifli, 2019). Interaksi antara kutub yang berbeda dapat menghasilkan daya tarik dan tolakan, seperti yang diperlihatkan pada Gambar di bawah ini.



Gambar 2. 7 Ilustrasi pergerakan O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O akibat pengaruh medan magnet

(Sumber: Sugara dkk, 2023)

Medan magnet memainkan peran yang signifikan dalam meningkatkan campuran udara dengan bahan bakar yang dihasilkan, karena medan magnet dapat mempercepat pemutusan ikatan rantai karbon dalam bahan bakar akibat putaran elektron. Ketika kecepatan pembakaran dan arah medan magnet disesuaikan dengan baik, hal ini dapat menghasilkan reaksi pembakaran yang optimal (Perdana *et al.*, 2023). Medan magnet juga memengaruhi penyebaran panas dengan memanipulasi pergerakan elektron dalam molekul minyak nabati dan sifat paramagnetik O<sub>2</sub> serta sifat diamagnetik H<sub>2</sub>O, yang mengirimkan panas ke produk (Winarko *et al.*, 2022).

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Wardana (2010) melakukan pengujian eksperimental pada minyak jarak yang diberi perlakuan panas (*preheating*) dan memvariasikan diameter pada pembakaran *droplet* dan didapatkan hasil perlakuan *preheating* dapat menurunkan titik nyala dan menghasilkan proses pembakaran minyak jarak yang semakin meningkat.

Winarko, dkk (2022) melakukan pengujian eksperimental pada minyak nyamplung yang diberi medan magnet pada pembakaran *droplet* dan mendapatkan hasil bahwa medan magnet dengan orientasi tarik menarik berperan meningkatkan kualitas pembakaran seperti temperatur yang lebih tinggi dan waktu tunda nyala api yang pendek.



Perdana, dkk (2023) melakukan pengujian eksperimental pada minyak kelapa dan minyak sawit yang diberi medan magnet pada pembakaran *droplet* dan didapatkan hasil bahwa medan magnet dengan orientasi berbeda atau tarik menarik meningkatkan kualitas dari karakteristik nyala api seperti *ignition delay time* yang lebih pendek, temperatur nyala api yang lebih tinggi, dan tinggi api yang lebih rendah dikarenakan medan magnet yang tarik menarik dapat menarik O<sub>2</sub> dari udara sekitar sehingga mempercepat proses reaksi pembakaran.

Perdana, dkk (2023) melakukan pengujian eksperimental pada minyak kapuk dengan berbagai orientasi medan magnet pada pembakaran *premix* didapatkan hasil bahwa temperatur tertinggi dan tinggi nyala api terendah pada terjadi pada medan magnet dengan orientasi tarik menarik. Hal tersebut dikarenakan medan magnet berperan terhadap peningkatan campuran udara bahan, karena perputaran elektron dapat mempersingkat putusnya ikatan rantai karbon dan juga bahan bakar. Perpaduan antaran kecepatan dari pembakaran dan arah medan magnet akan menghasilkan reaksi pembakaran yang sempurna.

## 2.8 Hipotesis

Hipotesis pada penelitian ini adalah bahwa pengaruh variasi temperatur *preheating* yang semakin tinggi akan memiliki pengaruh lebih mudahnya proses penguapan dari bahan bakar biodiesel yang akan diuji pada proses pembakaran *droplet*, dan *preheating* diharapkan akan mempersingkat waktu *ignition delay time* dari biodiesel. Penambahan medan magnet dapat memengaruhi penyebaran api melalui mobilitas elektron dalam molekul biodiesel dan melalui sifat paramagnetik O<sub>2</sub> dan sifat diamagnetik H<sub>2</sub>O pada saat pengujian akan memiliki karakteristik nyala api yang lebih baik meliputi *ignition delay time* yang semakin singkat, *burning time* menurun, dan temperatur nyala api yang semakin meningkat.

### BAB 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Metode Penelitian

Metode Penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Dalam penelitian ini bahan bakar yang digunakan adalah biodiesel kelapa sawit. Penelitian ini terbagi menjadi dua tahap, yaitu pembuatan biodiesel dan pengujian karakteristik pembakaran *droplet*.

#### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

##### 3.2.1 Tempat Penelitian

###### a) Pembuatan Biodiesel

Pembuatan biodiesel dilakukan pada Laboratorium Thermal lantai 6 Gedung IsDB Fakultas Teknik, Universitas Jember dan Laboratorium Konversi Energi Gedung Teknologi Terapan Fakultas Teknik Universitas Jember

###### b) Pengujian Karakteristik Pembakaran

Pengujian karakteristik pembakaran dilakukan di pada Laboratorium Terpadu, Fakultas Teknik, Universitas Jember.

##### 3.2.2 Waktu Penelitian

Waktu penelitian dilakukan selama 4 bulan pada bulan September 2023 sampai dengan bulan Desember 2023.

Tabel 3.1 *Timeline* penelitian

No	Kegiatan	Waktu			
		September	Oktober	November	Desember
1	Studi Literatur				
2	Pembuatan Biodiesel				
3	Pengujian				



### 3.3 Alat dan Bahan

#### 3.3.1 Alat Pembuatan Biodiesel

Berikut merupakan alat yang digunakan dalam pembuatan biodiesel minyak sawit:

1. *Heater*
2. Gelas kimia
3. *Stopwatch*
4. *Thermometer*
5. *Magnetic stirrer Max Blend 5 lt*
6. Gelas ukur
7. Timbangan digital

#### 3.3.2 Bahan Pembuatan Biodiesel

Bahan yang digunakan dalam pembuatan biodiesel minyak sawit adalah sebagai berikut:

1. Minyak sawit
2. Kalium Hidroksida (KOH)
3. Metanol
4. Aquades

#### 3.3.3 Alat Penngujian Pembakaran *Droplet*

Alat yang digunakan dalam pengujian pembakaran *droplet* biodiesel minyak sawit adalah sebagai berikut:

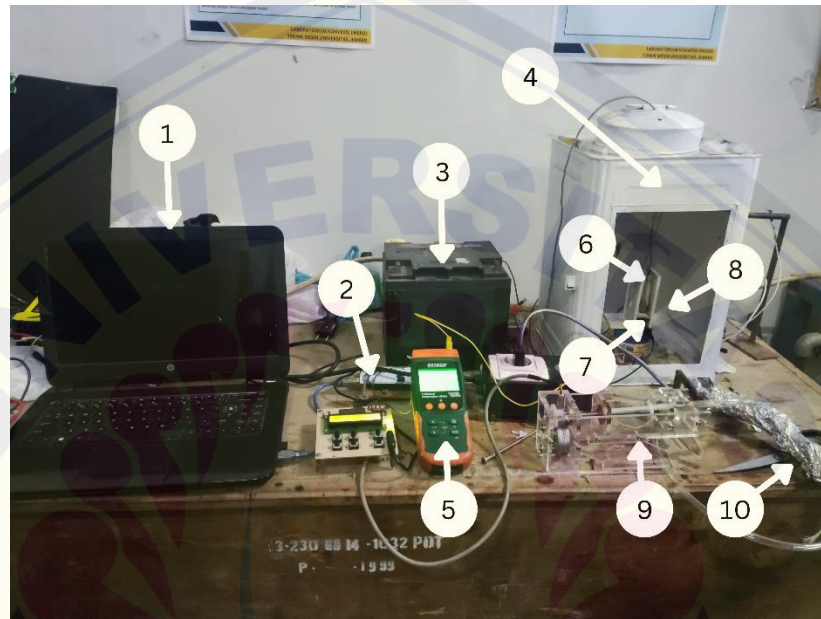
1. Laptop
2. *Thermocouple* tipe K berdiameter 1 mm
3. *Heater* (bahan kawat nikel 0,5 mm 12 lilitan)
4. Data logger (Arduino Mega: pencatat temperatur)
5. Kamera *handphone* (1080p 240fps)
6. Jarum suntik (diameter nozzle 0,25mm)
7. Magnet N52 40x25x10 mm dengan intensitas 435.2 mT
8. Aki 12V

### 3.3.4 Bahan Uji Pembakaran *Droplet*

Bahan yang digunakan dalam pengujian pembakaran *droplet* yaitu biodiesel minyak goreng kelapa sawit 100%.

### 3.4 Skema Alat Penelitian

Berikut merupakan skema alat penelitian yang digunakan pada penelitian ini



Gambar 3.1 Skema Alat Penelitian

Keterangan:

1. Laptop
2. Data logger (Arduino Mega)
3. Aki 12V
4. Ruang Uji Pembakaran
5. *Thermometer*
6. *Thermocouple K type*
7. *Heater Coil*
8. Magnet
9. *Syringe Pump*
10. *Heater Belt*

### 3.5 Variabel Penelitian

#### 3.5.1 Variabel Bebas

Variabel bebas merupakan variable yang ditentukan oleh peneliti sebelum melaksanakan penelitian. Variabel bebas pada penelitian ini adalah temperatur biodiesel sawit yaitu 30°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C.

#### 3.5.2 Variabel Terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tidak dapat ditentukan oleh peneliti, akan tetapi hasilnya bergantung pada variabel bebas. Penelitian ini memiliki variabel terikat sebagai berikut:

- a) Temperatur nyala api
- b) Tinggi nyala api
- c) *Ignition delay time*
- d) *Burning time*

### 3.6 Prosedur Pengambilan Data

Berikut merupakan proses pengujian *droplet* dengan variasi temperatur biodiesel dengan penambahan magnet:

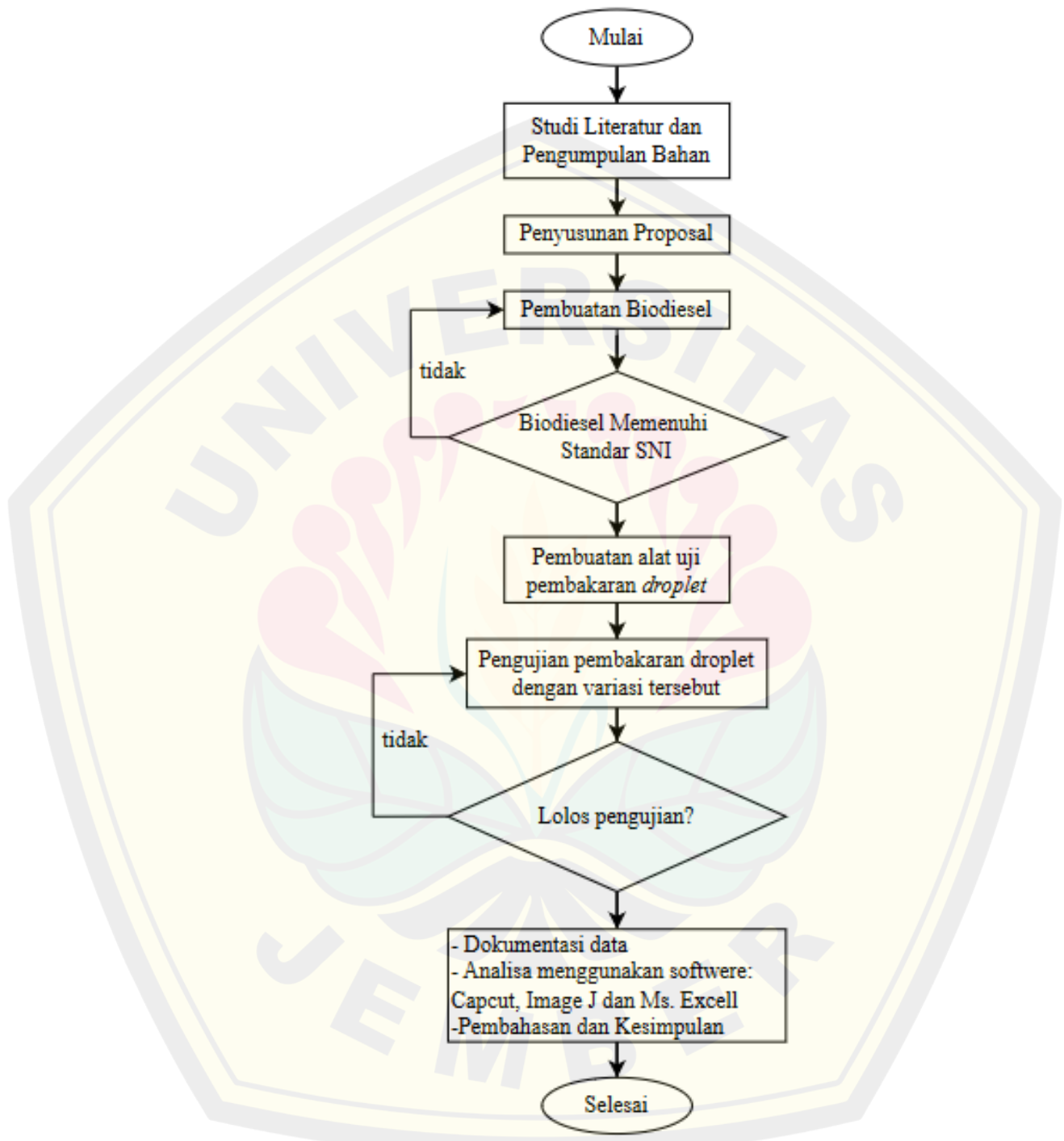
1. Siapkan dan pasang alat yang akan digunakan pada penelitian di ruang bakar *droplet*.
2. Atur variasi temperatur dari biodiesel yang akan diuji, mulai dari temperatur 30°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C.
3. Tempatkan kamera di depan ruang pembakaran *droplet* dan mengatur fokus kamera hingga ujung *thermocouple* terlihat dengan jelas di layar kamera.
4. Sambungkan *thermocouple* dengan data logger, dan sambungkan ke laptop.
5. Letakkan biodiesel yang telah diberi perlakuan temperatur sebanyak 1,25-1,3 ml di ujung *thermocouple* tipe K.
6. Ambil gambar mulai dari sebelum hingga sesudah melakukan pengujian pembakaran.
7. Matikan elemen pemanas seketika setelah api menyala, dan hentikan proses perekaman pada kamera ketika api padam.

8. Data yang tercatat dalam aplikasi di laptop atau komputer kemudian akan disimpan dalam format tabel dan grafik guna proses pengolahan data selanjutnya.
9. Untuk visualisasi proses api dari tahap awal hingga padam, gambar yang telah direkam oleh kamera akan diolah.
10. Proses ini akan diulang untuk setiap variasi pengujian yang dilakukan.



### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian pembakaran *droplet* adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

## BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Hasil Pengujian

Pengujian pembakaran *droplet* biodiesel minyak sawit dilakukan di Laboratorium Konversi Energi Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Jember. Gambar 4.1 merupakan gambar *droplet* yang diuji pada penelitian ini.



Gambar 4. 1 Droplet biodiesel minyak kelapa sawit

Didapati hasil pengujian dengan dan tanpa penggunaan medan magnet. Hasil dari penelitian ini mencakup data mengenai temperatur nyala api ( $^{\circ}\text{C}$ ), *ignition delay time* (ms), *burning time* (ms), dan visualisasi tinggi api (mm). Data hasil pengujian ini terdapat dalam Tabel 4.1 di bawah.

Tabel 4.1 Tabel pengambilan data

Perlakuan Medan Magnet	Variasi Temperatur ( $^{\circ}\text{C}$ )	Temperatur Nyala Api ( $^{\circ}\text{C}$ )	<i>Ignition Delay Time</i> (ms)	<i>Burning Time</i> (ms)	Tinggi Nyala Api (mm)
Tanpa medan magnet	30	463,62	4190,00	4710,00	87,74
	40	466,43	4180,00	4700,00	99,62
	50	472,87	4180,00	4725,00	84,92
	60	463,62	4160,00	4720,00	94,33
	70	472,50	4175,00	4730,00	88,17
Dengan medan magnet	30	533,81	3207,50	4085,00	70,29
	40	533,75	3180,00	4077,50	69,93
	50	533,50	3192,50	4087,50	72,34
	60	533,81	3157,50	4085,00	65,42
	70	536,06	3105,00	4090,00	71,43



#### 4.2 Pembuatan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit

Tahapan dalam membuat biodiesel minyak kelapa sawit adalah sebagai berikut:

##### a. Proses Transesterifikasi

Menurut standar yang tercantum dalam SNI 01-3741-2002, pemerintah mengizinkan kandungan FFA (*Free Fatty Acid*) dalam minyak sawit sebesar 3%. Oleh karena itu, dalam pembuatan minyak sawit, proses esterifikasi tidak diperlukan. Pada langkah transesterifikasi, minyak kelapa sawit akan ditambahkan katalis. Proses ini bertujuan mengubah lemak asam trigliserida menjadi bentuk ester. Transesterifikasi melibatkan penambahan katalis KOH dan metanol (dalam bentuk kalium methanolat). Campuran kalium methanolat dengan metil ester kemudian dicampur pada temperatur antara 55-85°C dengan pengadukan konstan pada kecepatan putar 100-250 rpm selama 50-120 menit.

##### b. Pemurnian

Proses pemurnian dimulai dengan penggunaan larutan air dan cuka atau asam asetat ( $C_2H_4O_2$ ) pada konsentrasi 25%, dalam rasio 1000:5. Larutan ini digunakan untuk mencuci biodiesel yang dihasilkan dari proses transesterifikasi. Setelah itu, biodiesel dipanaskan kembali pada temperatur 65 °C selama 30 menit untuk penghilangan kadar air.

##### c. Karakteristik Biodiesel Minyak Kelapa Sawit

Setelah biodiesel minyak kelapa sawit jadi, selanjutnya adalah proses pengujian karakteristik biodiesel yang meliputi nilai kalor, *flash point*, viskositas, dan densitas. Pengujian ini dilakukan di Universitas Brawijaya, Kota Malang. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah.

Tabel 4.2 Data karakteristik biodiesel minyak sawit

Parameter	ASTM Method	Nilai	Standar Nasional Indonesia
Nilai Kalor (kal/g)	D240	9515,49	8956,725 – 9601
Massa Jenis ( $Kg/m^3$ )	D1298	884	850-890
Viskositas 40°C (cSt)	D445	3,76	2,3-6,0
<i>Flash Point</i> (°C)	D93	122	≥100



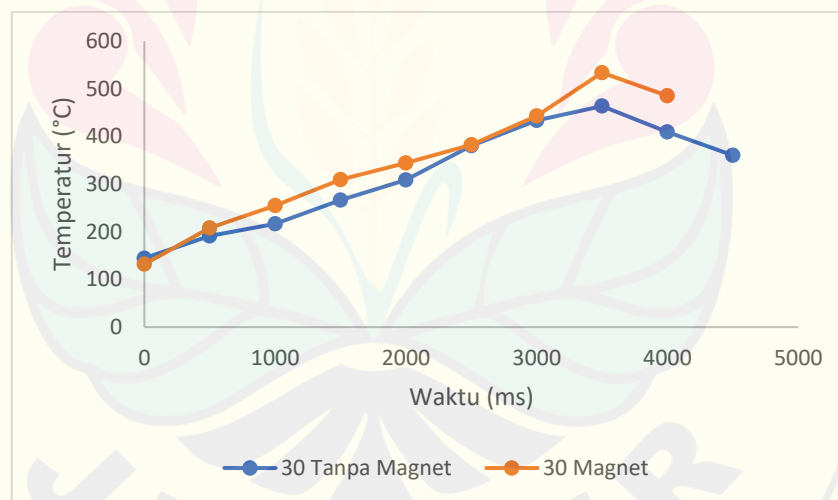
Tabel 4.3 Hasil uji karakteristik biodiesel minyak jelantah

Parameter	ASTM Method	Nilai
Nilai Kalor (kal/g)	D240	9461
Massa Jenis (Kg/m <sup>3</sup> )	D1298	863
Viskositas 40°C (cSt)	D445	5,79
Flash Point (°C)	D93	174

(sumber: Sakinah, 2022)

### 4.3 Temperatur Nyala Api

Temperatur nyala api adalah temperatur dimana api mulai menyala hingga api tersebut padam. Pada penelitian ini didapatkan beberapa perbandingan yang terletak pada beberapa gambar grafik di bawah, mulai dari Gambar 4.1 hingga Gambar 4.5.



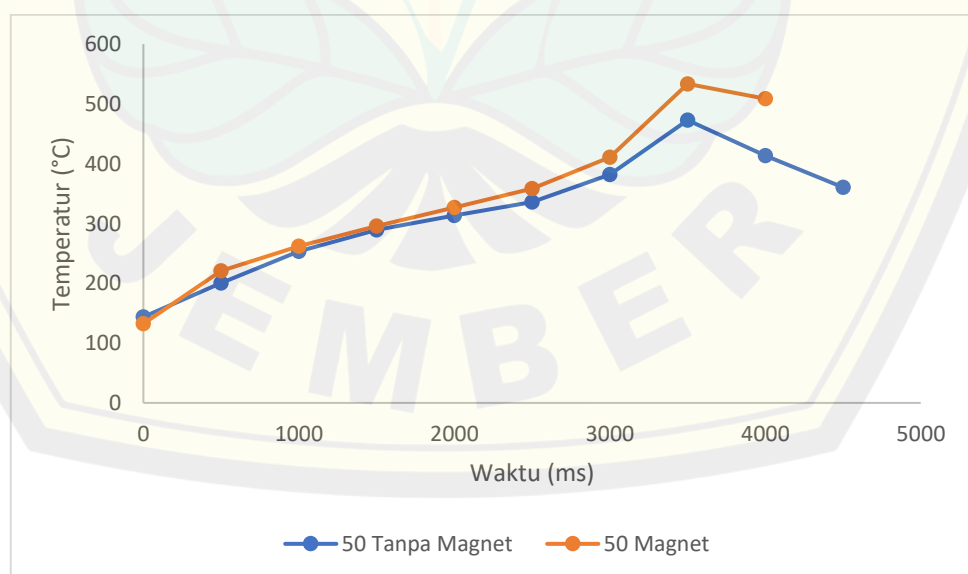
Gambar 4.2 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 30°C

Pada variasi temperatur biodiesel 30°C, dihasilkan temperatur nyala api maksimum pada biodiesel dengan penambahan medan magnet yaitu dengan rata-rata temperatur 533,81°C pada waktu 3500ms, sedangkan temperatur maksimum tanpa penggunaan magnet yaitu dengan rata-rata 463,62°C pada waktu 3500ms.



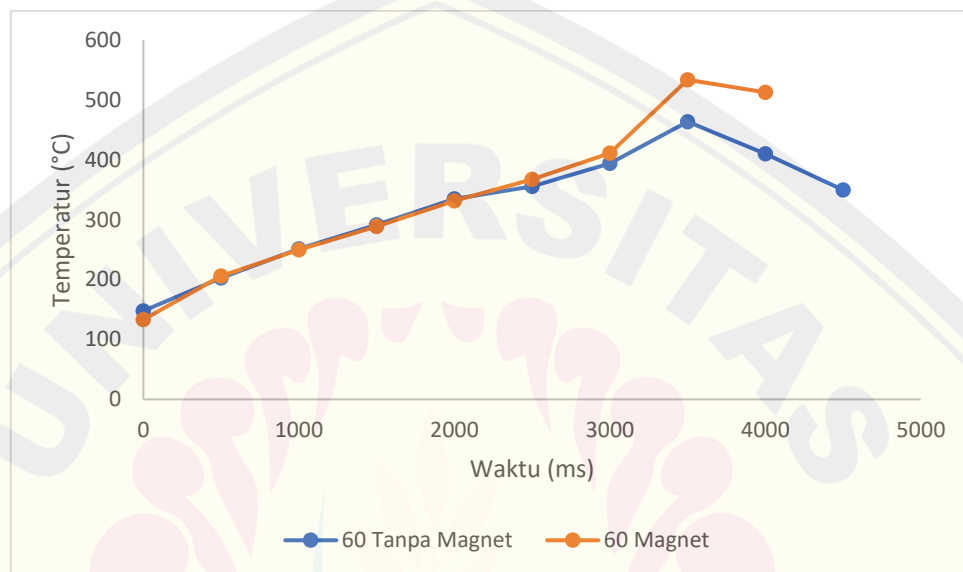
Gambar 4.3 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 40°C

Pada biodiesel bertemperatur 40°C, tercatat bahwa biodiesel yang ditambahkan medan magnet mencapai temperatur nyala api maksimum rata-rata sebesar 533,75°C dalam waktu 3000ms, sedangkan biodiesel tanpa penggunaan magnet mencapai temperatur maksimum rata-rata sebesar 466,4375°C dalam waktu 3500 ms.



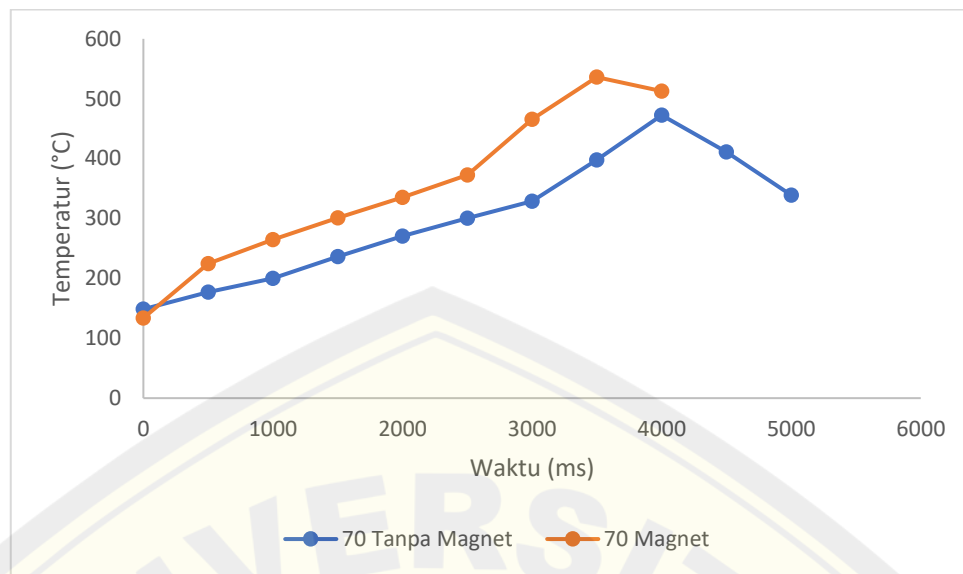
Gambar 4.4 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 50°C

Pada Gambar 4.3 temperatur 50°C, biodiesel yang dipengaruhi medan magnet menunjukkan peningkatan temperatur nyala api maksimum mencapai rata-rata 533,5°C dalam 3500ms. Sementara itu, biodiesel tanpa pengaruh medan magnet mencapai temperatur maksimum rata-rata 472,87°C dalam 3500ms.



Gambar 4.5 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 60°C

Pada temperatur 60°C, biodiesel yang terkena pengaruh medan magnet menunjukkan lonjakan temperatur nyala api maksimum, mencapai rata-rata 533,68°C dalam durasi 3500ms. Di sisi lain, biodiesel yang tidak terkena pengaruh medan magnet mencapai temperatur maksimum rata-rata 463,62°C dalam waktu yang sama 3500ms.



Gambar 4.6 Perbandingan temperatur nyala api pada temperatur 70°C

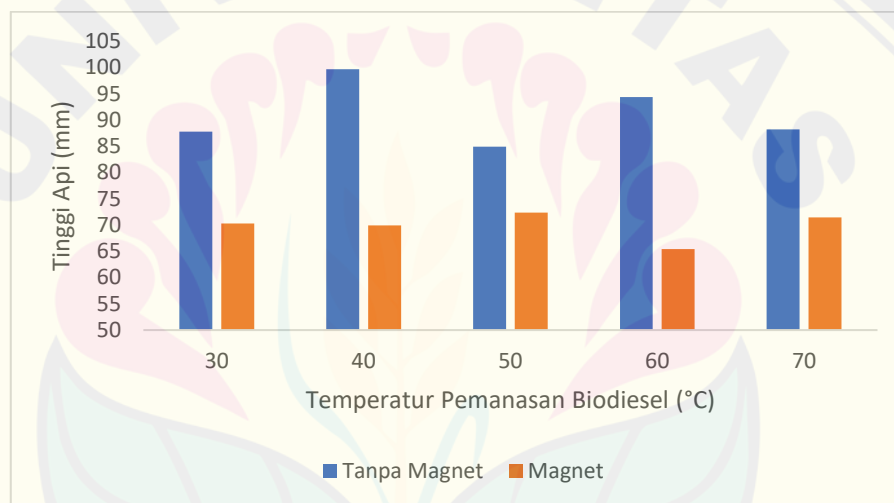
Pada temperatur 70°C, tercatat bahwa biodiesel yang terkena pengaruh medan magnet menunjukkan lonjakan temperatur nyala api puncak, dengan temperatur rata-rata mencapai 536,06°C dalam durasi 3500ms. Di sisi lain, biodiesel yang tidak terkena pengaruh medan magnet mencapai temperatur maksimum rata-rata 472,5°C dalam waktu 4000ms.

Terlihat pada semua grafik di atas pembakaran *droplet* yang diberikan perlakuan *preheating* tidak memiliki perbedaan dan pengaruh yang signifikan, hal ini dikarenakan sifat dari biodiesel yang masih sama dan hanya terdapat perbedaan pada viskositasnya saja (Wardana, 2010). Sedangkan penambahan medan magnet dapat menghasilkan temperatur maksimal yang lebih tinggi dibandingkan dengan yang tidak diberikan penambahan medan magnet. Penambahan perlakuan medan magnet dengan orientasi tarik-menarik pada proses pembakaran *droplet* menyebabkan peningkatan *spin* elektron dan *spin* hidrogen karena orientasi magnet global. Fenomena ini dipicu oleh pergeseran kutub utara medan magnet bumi yang dinamis akibat sifat dinamis medan magnet bumi itu sendiri (Perdana dkk, 2020). Pergeseran ini mengakibatkan ketidakstabilan medan magnet, menyebabkan perubahan *spin* elektron dan *spin* hidrogen dari *para* menjadi *orto*. Bentuk *orto* dari isomer hidrogen lebih optimal untuk pembakaran yang sempurna. Orientasi

keadaan *orto* dapat dicapai melalui pemberian medan magnet yang kuat pada bahan bakar (Ugare dkk, 2013). Perubahan dalam orientasi hidrokarbon (dari *para* ke *orto*) dan konfigurasi molekul hidrokarbon yang dipengaruhi oleh aliran medan magnet menghasilkan penurunan drastis dalam gaya antar molekul.

#### 4.4 Tinggi Nyala Api

Dalam menilai cepat atau lambatnya reaksi pembakaran, dimensi tinggi api memegang peran penting karena memberikan petunjuk visual yang jelas. Dari segi tampilan menentukan seberapa cepat atau lambatnya reaksi pembakaran dengan melihat ukuran tinggi api. Berikut merupakan tinggi api yang telah dihasilkan pada percobaan ini.



Gambar 4.7 Perbandingan batang tinggi api

Gambar 4.6 menunjukkan perbandingan antara tinggi nyala api dengan variasi temperatur pemanasan tanpa penambahan medan magnet dan dengan penambahan medan magnet. Biodiesel dengan perlakuan *preheating* dan tanpa perlakuan medan magnet memiliki tinggi nyala api yang lebih panjang dibandingkan dengan penambahan medan magnet, hal ini terjadi karena ledakan mikro yang terjadi pada biodiesel dengan penambahan medan magnet lebih sedikit dibandingkan dengan perlakuan serupa. Terlihat pada biodiesel dengan variasi temperatur 60°C dengan penambahan medan magnet memiliki tinggi api terendah yaitu 65,42 mm,

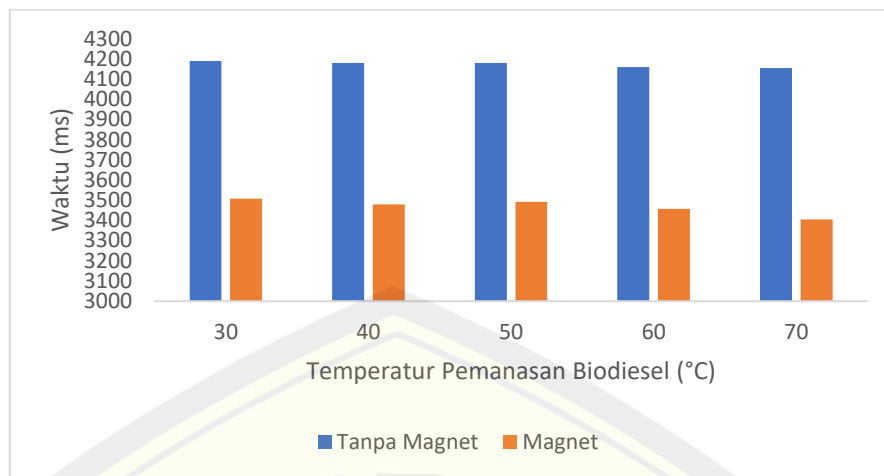
sedangkan untuk tinggi nyala api tertinggi yaitu pada biodiesel dengan variasi temperatur 40°C tanpa penambahan medan magnet dengan hasil 99,62 mm.

Dalam percobaan yang telah dilakukan, teramati bahwa warna api yang dihasilkan cenderung merah kekuningan pada berbagai tingkat temperatur preheating, baik dengan atau tanpa penambahan medan magnet. Warna tersebut mencerminkan kisaran suhu antara 400°C hingga 800°C. Kesamaan warna api pada setiap variasi temperatur menandakan bahwa sifat bahan pengujian yang sama dan tidak berubah. Selain warna api, Api yang tinggi menandakan bahwa proses pembakaran kurang sempurna karena sebagian bahan bakar masih tersisa dan tidak terbakar (Perdana et al., 2023). Saat medan magnet ditambahkan selama pembakaran, O<sub>2</sub> yang berada di sekitar *droplet* bergerak dari kutub utara ke kutub selatan di sekitar area pembakaran. Di samping itu, H<sub>2</sub>O di sekitar nyala api bergerak menjauh, mempercepat reaksi pembakaran dengan bahan bakar (Perdana et al., 2020). Medan magnet menarik oksigen, yang kemudian mengalir ke dasar nyala api dari kedua sisi. Aliran oksigen ini meningkatkan konsentrasi molekul oksigen dan bahan bakar di sekitar zona reaksi, menyebabkan pembakaran menjadi lebih reaktif dan singkat, yang berdampak pada tinggi nyala api.

#### **4.5 Ignition Delay Time**

*Ignition delay time* adalah waktu yang dihitung mulai dari heater ditempatkan tepat di bawah *droplet* sampai api mulai terbentuk. *Ignition delay time* mencerminkan durasi yang diperlukan oleh suatu bahan bakar untuk terbakar dan menghasilkan nyala api. Pengaruh dari *ignition delay time* sangat signifikan dalam siklus pembakaran yang memengaruhi kinerja mesin serta komposisi gas buangnya (Misbachudin, et al., 2017). Data *ignition delay time* dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah

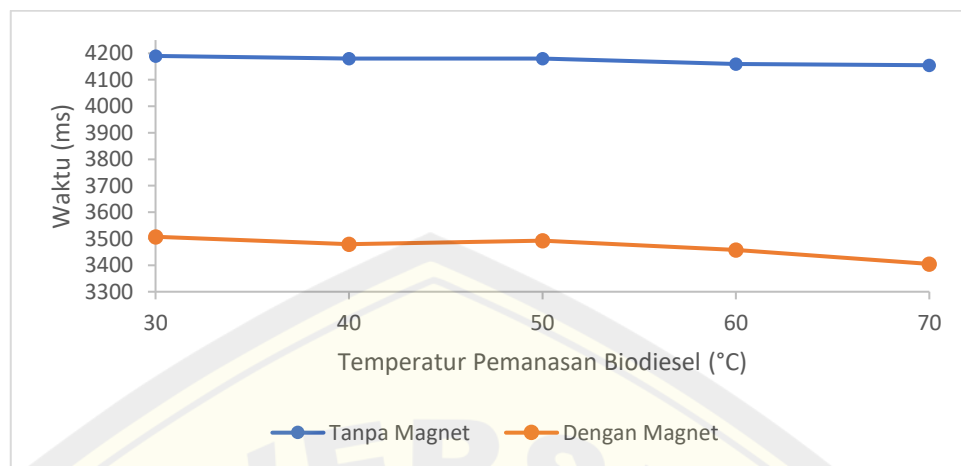




Gambar 4.8 Perbandingan *ignition delay time*

*Ignition delay time* yang dihasilkan pada pengujian bahan bakar biodiesel ini memiliki perbedaan yang cukup signifikan antara penggunaan magnet dan tanpa penggunaan magnet. Perbedaan terjauh yang dihasilkan yaitu pada temperatur 70 °C memiliki selisih waktu rata-rata adalah 750ms, sedangkan perbedaan waktu terdekat yang dihasilkan yaitu pada temperatur 30 °C dengan selisih waktu yaitu 682,5ms. Pada gambar 4.6 terlihat bahwa bahan bakar biodiesel yang telah mendapatkan perlakuan *preheating* yang ditambahkan dengan medan magnet memiliki nilai *ignition delay time* yang lebih rendah dibandingkan dengan komposisi yang tidak mengalami perlakuan tersebut. Ini disebabkan oleh temperatur biodiesel yang semakin mendekati dengan titik nyala yang mempercepat proses terbakarnya biodiesel. Sedangkan untuk penambahan medan magnet memiliki kemampuan dalam menarik O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O ke dalam wilayah pembakaran *droplet*, meningkatkan konsentrasi oksidator di area tersebut, sehingga mempercepat proses pembakaran.

Terdapat peningkatan dalam jumlah tumbukan antara partikel bahan bakar karena area pembakaran *droplet* dilintasi oleh O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O. Dampaknya adalah pelemahan ikatan molekul pada bahan bakar, yang berujung pada peningkatan jarak antar molekul. Lebarnya jarak ini memudahkan O<sub>2</sub> untuk masuk di antara molekul-molekul tersebut, mempercepat proses reaksi pembakaran antara O<sub>2</sub> dan bahan bakar (Perdana, 2023).



Gambar 4.9 Perbandingan *Ignition delay time*

Kemudian *ignition delay time* tersingkat penggunaan magnet yaitu pada temperatur 70°C dengan waktu rata-rata 3405ms, kemudian dilanjutkan dengan 60°C dengan waktu rata-rata 3457,5ms, lalu temperatur 40°C dengan waktu rata-rata 3480ms, dan dilanjutkan dengan temperatur 50°C dengan waktu rata-rata 3492,5ms, dan yang terakhir yaitu pada temperatur 30°C dengan waktu rata-rata 3507,5ms.

Sedangkan *ignition delay time* tersingkat tanpa penggunaan magnet yaitu pada temperatur 60°C dengan waktu rata-rata 4160ms, dilanjutkan temperatur 70°C dengan waktu rata-rata 4155ms, kemudian temperatur 50°C dan 40°C dengan hasil rata-rata waktu yang sama yaitu 4180ms, dan yang terakhir yaitu temperatur 30°C dengan waktu rata-rata yaitu 4190ms.

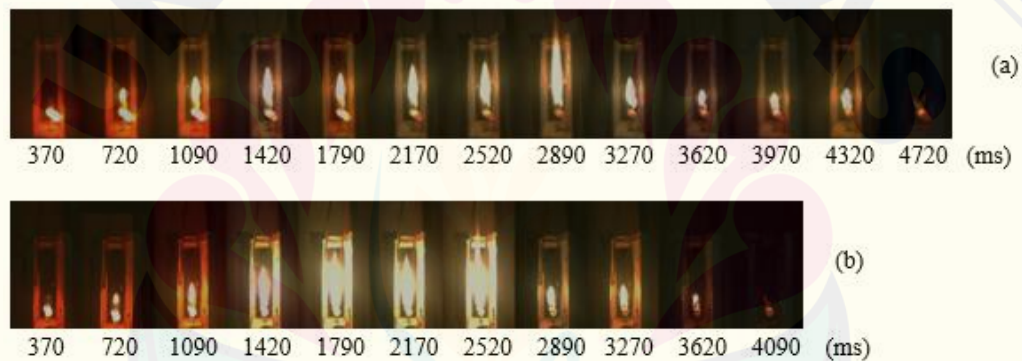
Selanjutnya, setelah dilakukan pengambilan dan pengolahan data, dapat dilihat pada Gambar 4.8 di atas dimana didapatkan hasil *ignition delay time* yang cenderung menurun tidak signifikan, akan tetapi terdapat titik dimana *ignition delay time* meningkat yaitu pada temperatur 50°C dengan penggunaan magnet. Hal ini disebabkan karena selisih antara satu varian temperatur dan varian lainnya yang berdekatan.

Pada Gambar 4.9 terlihat bahwa bahan bakar biodiesel yang mengalami perlakuan medan magnet dan peningkatan temperatur menunjukkan nilai *ignition delay time* yang lebih rendah jika dibandingkan dengan biodiesel yang tidak

mengalami perlakuan serupa. Penurunan nilai *ignition delay time* ini dapat diatribusikan kepada efek medan magnet yang menarik  $O_2$  dan  $H_2O$  ke dalam area pembakaran *droplet*. Hal ini meningkatkan kandungan oksidator di dalam area pembakaran, mempercepat proses pembakaran secara keseluruhan.

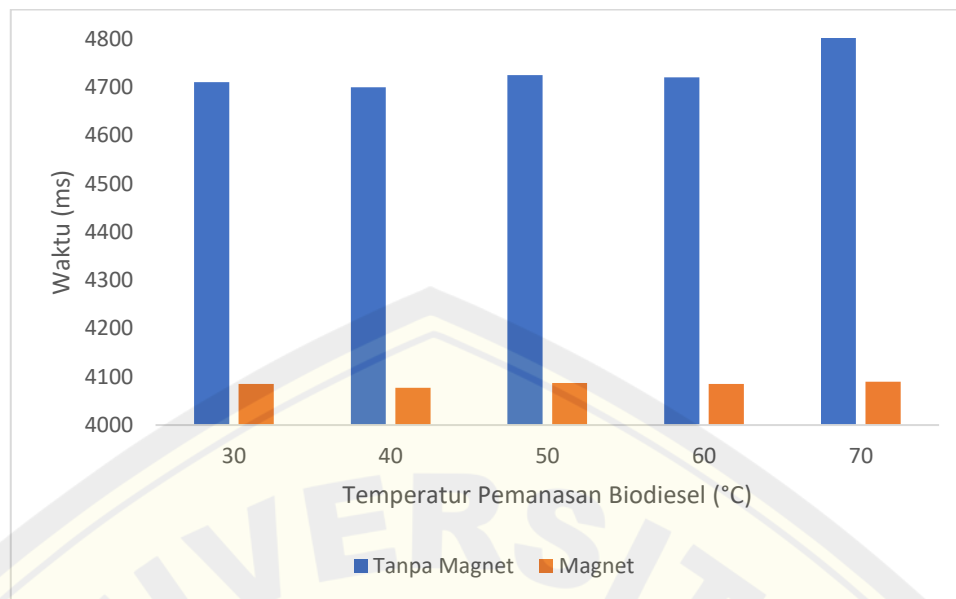
Lintasan area pembakaran *droplet* yang dilalui oleh  $O_2$  dan  $H_2O$  juga berdampak pada peningkatan tumbukan partikel bahan bakar. Akibatnya, ikatan molekul bahan bakar menjadi lebih lemah dan menyebabkan peningkatan jarak antar molekul. Peningkatan jarak antar molekul ini mempermudah penetrasi  $O_2$  di antara molekul-molekul tersebut, mengakselerasi reaksi pembakaran antara  $O_2$  dan bahan bakar secara signifikan (Perdana, 2023).

#### 4.6 Burning Time



Gambar 4.10 (a) Burning time tanpa magnet dengan temperatur 30°C; (b) Burning time dengan magnet temperatur 30°C

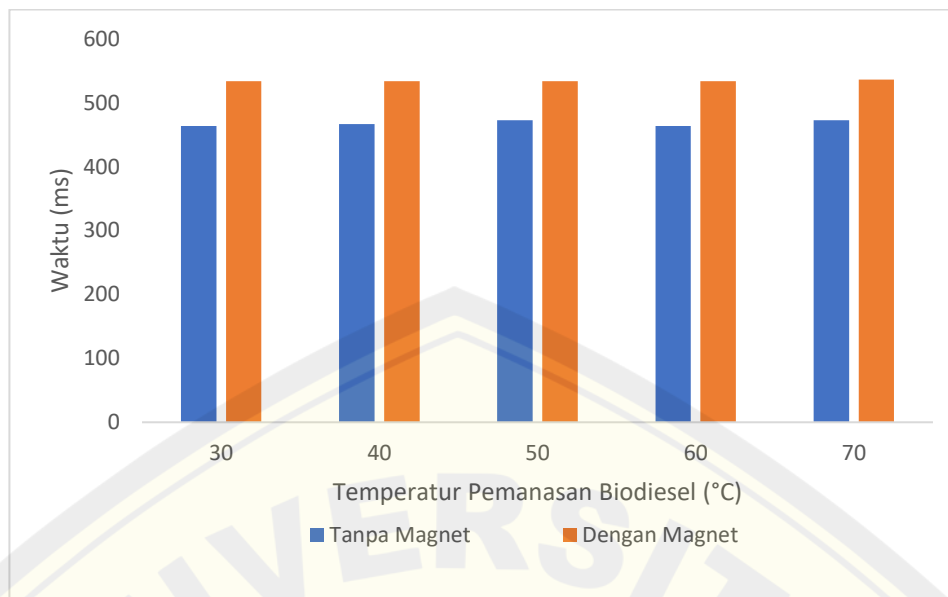
*Burning time* merujuk pada kecepatan pembakaran yang terjadi pada setiap tetes bahan bakar, pada pengujian ini didapati hasil yang dapat dilihat pada Gambar 4.10 dengan skala 1:6 di atas. Gambar 4.10 menunjukkan *burning time* yang diamati selama proses pembakaran *droplet*. Dalam pengujian biodiesel tersebut, terlihat bahwa yang mendapatkan perlakuan medan magnet memiliki *burning time* yang lebih singkat dibandingkan dengan komposisi yang tidak mendapatkan perlakuan serupa. Nilai *flash point* semakin tinggi maka nilai *ignition delay time* semakin meningkat hal ini akan berpengaruh terhadap lama penguapan. Semakin banyak bahan bakar yang menguap maka *burning time* akan semakin cepat (Perdana, dkk. 2020).



Gambar 4.11 Perbandingan *burning time* pada pembakaran *droplet*

Pada Gambar 4.11 terlihat bahwa pembakaran droplet yang mengalami *preheating* tidak menunjukkan perbedaan atau pengaruh yang signifikan. Kondisi ini dapat dijelaskan oleh kesamaan sifat biodiesel yang digunakan, dengan perbedaan yang hanya terlihat pada tingkat viskositasnya saja (Wardana. 2010). Lalu, *burning time* tersingkat yaitu pada pembakaran yang ditambahkan dengan penggunaan magnet pada temperatur 40°C dengan waktu rata-rata 4077,5ms, dilanjutkan dengan temperatur 30°C dan 60°C dengan waktu rata-rata 4085ms, kemudian pada temperatur 50°C waktu rata-rata 4087,5ms dan yang terakhir yaitu temperatur 70°C dengan waktu rata-rata 4090ms.

Sedangkan *burning time* tanpa penggunaan magnet tersingkat yaitu pada temperatur 40°C dengan waktu rata-rata 4700ms, dilanjutkan dengan 30°C dengan waktu rata-rata 4710ms, kemudian temperatur 60°C dengan waktu rata-rata 4720ms, lalu temperatur 50°C dengan waktu rata-rata 4725ms, dan yang terakhir yaitu 70°C dengan waktu rata-rata 4730ms.



Gambar 4.12 Temperatur Maksimal Pembakaran Biodiesel

Dapat dilihat pada Gambar 4.9 *ignition delay* pada biodiesel dengan penambahan magnet memiliki waktu yang lebih singkat daripada biodiesel tanpa penggunaan medan magnet. Selain *ignition delay time* yang lebih singkat, temperatur nyala api juga mengalami peningkatan dengan ditambahkan medan magnet. Hal tersebut memiliki kesinambungan sehingga *burning time* yang dihasilkan pada semua temperatur pemanasan mengalami penurunan atau lebih rendah yang signifikan daripada tanpa penggunaan magnet.

Gambar 4.12 memperlihatkan bahwa penambahan medan magnet memiliki pengaruh terhadap temperatur api yang semakin tinggi, hal ini disebabkan karena penambahan medan magnet dengan orientasi tarik-menarik pada proses pembakaran *droplet* menyebabkan peningkatan *spin* elektron dan *spin* hidrogen karena orientasi magnet global yang berubah dari *para* ke *ortho* (Perdana dkk, 2020). Meningkatnya temperatur yang cukup signifikan ini mengakibatkan pada saat proses pembakaran, bahan bakar yang dibakar menguap atau terbakar lebih cepat sehingga menghasilkan *burning time* yang lebih singkat pula.

Penambahan medan magnet dengan orientasi tarik-menarik, yang memiliki sifat *paramagnetic*, mengakibatkan pergerakan partikel mengikuti arah medan magnet. Sementara itu, partikel dengan sifat *diamagnetic* cenderung bergerak berlawanan arah medan magnet. partikel *paramagnetic* seperti  $O_2$  akan bergerak melintasi area

pembakaran *droplet* dari kutub utara ke kutub selatan, sementara partikel *diamagnetic* seperti H<sub>2</sub>O akan bergerak dari kutub selatan ke kutub utara, menyebabkan tumbukan antara partikel. Tumbukan antar partikel mengakibatkan melemahnya ikatan molekul, yang pada akhirnya proses reaksi bahan bakar akan menjadi lebih cepat dan baik (Perdana, 2022).





## BAB 5. PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Telah dilakukan studi mengenai karakteristik pembakaran *droplet* biodiesel dengan variasi temperatur 30°C, 40°C, 50°C, 60°C dan 70°C, dengan dan tanpa penambahan medan magnet. Didapatkan kesimpulan sebagai berikut

1. Penambahan medan magnet pada biodiesel minyak sawit menghasilkan temperatur api yang lebih tinggi daripada saat tidak menggunakan medan magnet.
2. *Ignition delay time* menunjukkan kecenderungan peningkatan ketika medan magnet diterapkan, akan tetapi pada temperatur yang berbeda penurunan yang terjadi tidak terlalu signifikan, hal ini terjadi karena rentang temperatur hingga *flash point* yang masih jauh.
3. *Burning time* juga lebih singkat pada biodiesel minyak sawit yang mendapat perlakuan medan magnet dibandingkan dengan yang tidak mendapat perlakuan serupa.
4. Tinggi nyala api dari biodiesel minyak sawit dengan medan magnet cenderung lebih rendah dibandingkan dengan yang tanpa perlakuan serupa.
5. Temperatur *preheating* terbaik pada pengujian pembakaran *droplet* biodiesel ini adalah pada temperatur 70°C yang memiliki *ignition delay time* yang lebih singkat, akan tetapi karakteristik pembakaran lainnya cenderung sama dengan temperatur lainnya.

### 5.2 Saran

Hasil penelitian menunjukkan perlunya pengembangan lebih lanjut agar biodiesel minyak sawit dapat menjadi alternatif pengganti minyak solar sebagai bahan bakar. Berikut beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat meneliti sampai rentang temperatur mendekati *flash point* agar dapat melihat perbedaan waktu pada *ignition delay time* yang signifikan

2. Pada proses pengujian pembakaran, dapat menggunakan jenis magnet yang bervariasi.
3. Penelitian selanjutnya diharapkan melakukan pengujian pada temperatur ruang yang tidak berubah-ubah agar pembacaan data dapat dilakukan dengan baik.



## DAFTAR PUSTAKA

- Babazadeh, R. 2017. Optimal design and planning of biodiesel supply chain considering non-edible feedstock. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 75 (November 2014), 1089–1100.
- Banjari, M., Yuliati, L. dan Sonief A. 2015. Karakteristik Pembakaran Difusi Campuran Biodiesel Minyak Jarak Pagar (*Jathropa Curcas L*) – Metanol/Etanol Pada Mini Glass Tube. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(1): 85-93.
- Devita, L. 2015. Biodiesel Sebagai Bioenergi Alternatif dan Prospektif. *Agrica Ekstensia*. 9(2). hal: 23-26
- Firda, D., Arfina., Mursidah., Syarifah., dan Prayoga. 2021. Optimasi Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Nabati Menggunakan Aspen Hysys
- Glassman, I., Yetter, R. A., & Glumac, N. G. 2015. Combustion.
- Hakim. 2018. Perbandingan Karakteristik Pembakaran Droplet Antara Minyak Jarak Dengan Penambahan Karbon Aktif dan Bioaditif Minyak Kayu Putih. Skripsi. Teknik Mesin. Universitas Brawijaya.
- Hidalgo, M. dan Fernandez E. P., 2017. Fermentation of Glycerol by a Newly Discovered Anaerobic Bacterium Adding Value to Biodiesel Production.
- Ilminnafik, N., Hamidi, N, dan Wardana, I. G. N. 2011. Behavior Of Flame Propagation In LPG Premixed Combustion With Carbon Dioxide Inhibitor. *International Journal of Academic Research*. 3(2): 705-708.
- Latsiya, S. 2022. Teknologi Proses Untuk Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Kelapa Sawit. *Warta PPKS*. 27(2): 78-91.
- Maulana, A., dan Mursadin, A. 2022. Uji Karakteristik Pembakaran Crude Palm Oil – Minyak Diesel Dengan Menggunakan Droplet. *Rotary*. 4(1): 63-75.
- Muhaya, S., Wardana dan Widhiyanuriyawan, D. 2015. Pembakaran Premixed Minyak Nabati pada Bunsen Burner Tipe Silinder. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 6(1): 45-49.
- Perdana, D., Asrori., Hanifudin, M., Dinata. 2023. Effect of Magnetic Field on the Flame Characteristics of Droplet Combustion of Coconut and Palm Oil.

*Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. 12(2): 326-337. DOI :  
<http://dx.doi.org/10.23960/jtep-1.v12i2.326-337>

Perdana, D., Setyawan, D. G., dan Choifin, M. 2023. Studi Eksperimental Karakteristik Nyala Api Pembakaran Premix Minyak Kapuk dengan Berbagai Orientasi Medan Magnet. *Scientific Journal Mechanical Engineering KINEMATIKA*. 8(1). Pp 63-73. DOI:10.20527/sjmekinematika.v8i1.249

PRATAMA. 2017. Pengaruh Penambahan Karbon Aktif Dengan Bioaditif Minyak Kayu Putih Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Kelapa Sawit. Skripsi. Teknik Mesin, Universitas Brawijaya

Rezeika, S. H. 2017. Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis NaOH Dengan Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi Dan Uji Performanya Dengan Mesin Diesel. Skripsi. Program Sarjana Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sakinah, Z. 2022. Karakteristik Biodiesel Berbahan Minyak Jelantah yang Dihasilkan Melalui Variasi Perbandingan Kadar Meranol dan Katalis. Skripsi. Program Studi Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.

Sasongko, M. N. 2018. Pengaruh Prosentase Minyak Goreng Bekas Terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Biodiesel. *Flywheel: Jurnal Teknik Mesin Untirta*. 6(2): 8-13.

Sugara, I. R., Ilminafik, N., Junus. S., dan Kustanto, M. N. 2023. Experimental Study on the Effect of Magnetic Fields on Combustion Characteristics of Biodiesel from Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*). *Journal UNIMA*. 6(1):122-132.

Wardana, I. G. N. 2010. Combustion characteristics of jatropha oil droplet at various oil temperatures. *Esevier. Fuel* 89. pp 659-664. doi:10.1016/j.fuel.2009.07.002

Winarko., Ilminafik., Kustanto dan Perdana. 2022. Pengaruh Orientasi Medan Magnet Terhadap Karakteristik Nyala Api Pembakaran Droplet

Calophyllum Inophyllum. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*. 10(3): 215-225.

doi: <https://doi.org/10.19028/jtep.010.3.215-225>

Yudi dan Zulkifli. 2019. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Menggunakan Solenoida Dengan Pemanfaatan Fluks Magnet. *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi): Jurnal Teknik Elektro*. 2(1). Hal: 9-13.



LAMPIRAN

