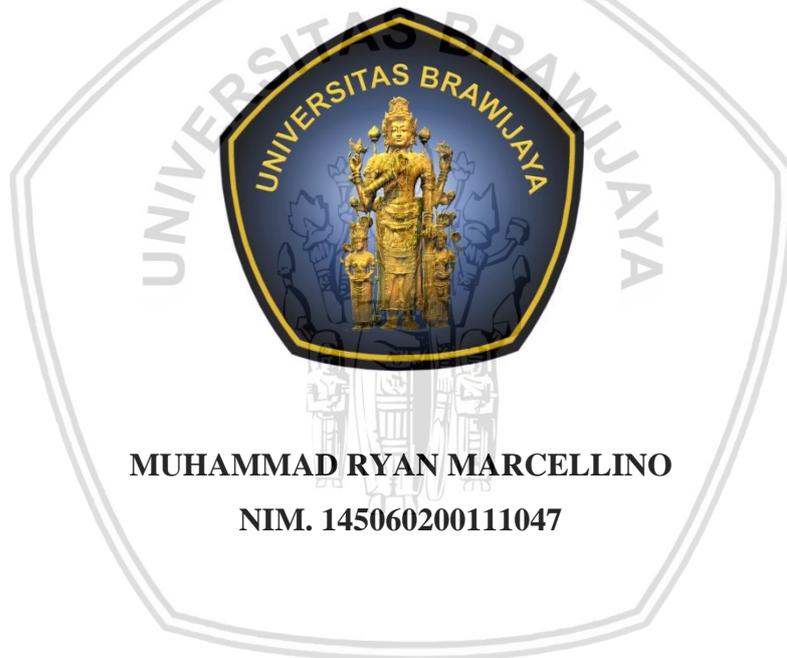


**PENGARUH PENAMBAHAN KARBON AKTIF DAN ANTIOKSIDAN  
GLYCINE MAX TERHADAP KECEPATAN API PEMBAKARAN  
PREMIXED MINYAK BIJI BUNGA MATAHARI**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD RYAN MARCELLINO**

**NIM. 145060200111047**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA**

**FAKULTAS TEKNIK**

**MALANG**

**2018**

**LEMBAR PENGESAHAN**

**PENGARUH PENAMBAHAN KARBON AKTIF DAN ANTIOKSIDAN  
GLYCINE MAX TERHADAP KECEPATAN API PEMBAKARAN  
PREMIXED MINYAK BIJI BUNGA MATAHARI**

**SKRIPSI**

**TEKNIK MESIN KONSENTRASI TEKNIK KONVERSI ENERGI**

Diajukan untuk memenuhi persyaratan  
memperoleh gelar Sarjana Teknik



**MUHAMMAD RYAN MARCELLINO**

**NIM. 145060200111047**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 28 November 2018

**Dosen Pembimbing I**

**Dosen Pembimbing II**

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

**Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.**  
NIP. 19890102 201504 2 002

**Mengetahui,  
Ketua Program Studi S1**



**Dr. Eng. Mega Nur Sasongko, ST., MT.**  
NIP. 19740930 200012 1 001



**JUDUL SKRIPSI:**

Pengaruh Penambahan Karbon Aktif dan Antioksidan *Glycine Max* terhadap Kecepatan Api Pembakaran *Premixed* Minyak Biji Bunga Matahari

Nama Mahasiswa : Muhammad Ryan Marcellino  
NIM : 145060200111047  
Program Studi : Teknik Mesin  
Minat : Teknik Konversi Energi

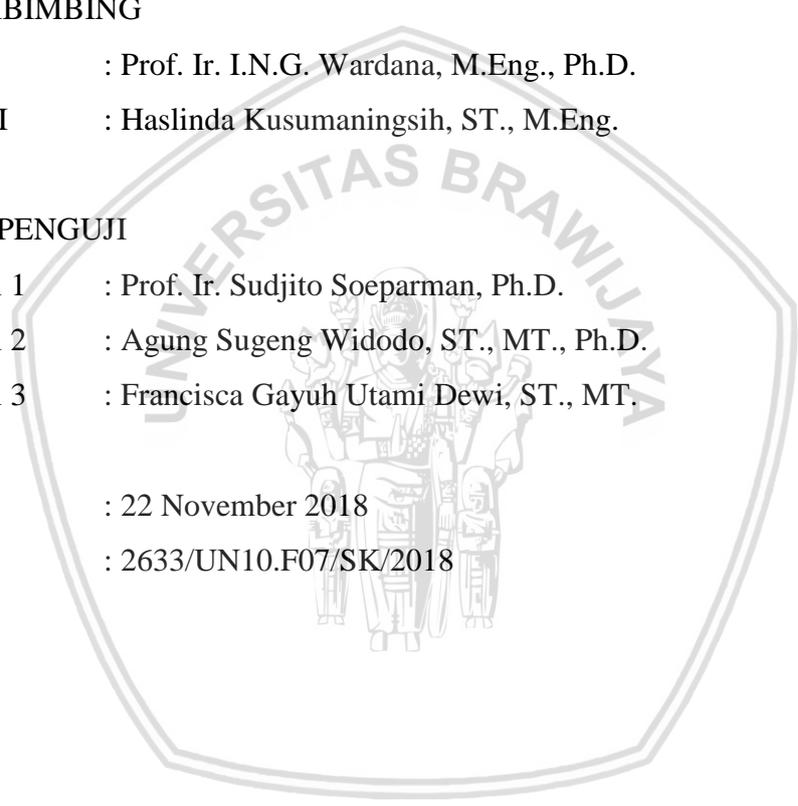
**KOMISI PEMBIMBING**

Pembimbing I : Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D.  
Pembimbing II : Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng.

**TIM DOSEN PENGUJI**

Dosen Penguji 1 : Prof. Ir. Sudjito Soeparman, Ph.D.  
Dosen Penguji 2 : Agung Sugeng Widodo, ST., MT., Ph.D.  
Dosen Penguji 3 : Francisca Gayuh Utami Dewi, ST., MT.

Tanggal Ujian : 22 November 2018  
SK Penguji : 2633/UN10.F07/SK/2018



## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, Pasal 25 ayat 2 dan Pasal 70).

Malang, 28 November 2018

Mahasiswa



Muhammad Ryan Marcellino

NIM. 145060200111047

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji syukur kehadirat Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang sudah melimpahkan rahmat dan hidayahNya sehingga penulis mampu menyelesaikan skripsi ini. Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyusunan skripsi ini serta men-*support* penulis selama menjalani dunia perkuliahan, diantaranya yaitu:

1. Ibunda Istianah dan Ayahanda Indro Hariyanto yang telah memberikan doa dan dukungan yang tak terhingga bagi penulis.
2. Bapak Ir. Djarot B. Darmadi, MT., Ph.D., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Teguh Dwi Widodo, ST., M.Eng, Ph.D., selaku Sekretaris Jurusan Teknik Mesin Universitas Brawijaya Malang.
4. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng., Ph.D., selaku Dosen Pembimbing I yang sudah banyak memberikan banyak ilmu, arahan, dan masukan selama penulisan skripsi ini.
5. Ibu Haslinda Kusumaningsih, ST., M.Eng., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan, saran, dan ilmu selama penulisan skripsi ini.
6. Teman-teman seperjuangan skripsi yaitu Bekti, Robby, dan Pradana yang sudah berjuang hingga akhir.
7. Para penghuni kontrakan KBMJ (Surya, Lawdy, Gassa, Ismawan, Piti, dan Ikmal) yang sudah menemani dari awal menjalani hidup sebagai mahasiswa.
8. Teman-teman Al-Ka'fruit yang sudah memberikan banyak pengalaman dan kenangan selama ini.
9. Teman-teman Sayana Squad yang sudah banyak memberi motivasi, dukungan serta menjadi teman dalam bertukar pikiran baik dalam bermain futsal maupun game PUBG.
10. Arek-arek Mesin 2014 (MAF14) yang saya banggakan.
11. Seluruh elemen Laboratorium Motor Bakar yang sudah banyak membantu dalam penelitian.
12. Pejuang kompre bareng (Gede, Alif, dan Djamborong) yang selalu bersama-sama sampai akhir.
13. Mbak Us yang telah banyak membantu dalam merapikan penulisan skripsi.
14. Anak-anak Bonlap 2014 yang sudah lama bersama dan merantau dari Bekasi.
15. Semua pihak yang ikut membantu terselesaikannya skripsi ini yang tidak bisa penulis sebutkan satu persatu.



## DAFTAR ISI

<b>KATA PENGANTAR</b> .....	i
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ii
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	iv
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	v
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	vi
<b>RINGKASAN</b> .....	vii
<b>SUMMARY</b> .....	viii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian .....	2
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	5
2.1 Penelitian Sebelumnya .....	5
2.2 Minyak Nabati .....	5
2.3 Minyak Biji Bunga Matahari .....	7
2.4 Pembakaran .....	8
2.5 Pembakaran <i>Premixed</i> .....	9
2.6 Rasio Udara dan Bahan Bakar .....	9
2.7 <i>Equivalence Ratio</i> .....	10
2.8 Kecepatan Api Pembakaran <i>Premixed</i> .....	11
2.9 Katalis .....	13
2.9.1 Karbon Aktif .....	13
2.9.2 Antioksidan Kedelai .....	15
2.10 Konsep Penelitian .....	17
2.10.1 Karbon Aktif dan Minyak Biji Bunga Matahari .....	17
2.10.2 Antioksidan Kedelai dan Minyak Biji Bunga Matahari .....	18
2.11 Hipotesis .....	20
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	21
3.1 Metode Penelitian .....	21
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian .....	21

3.3 Variabel Penelitian .....	21
3.4 Alat dan Bahan Penelitian .....	22
3.5 Skema Instalasi Penelitian.....	24
3.6 Prosedur Pengambilan Data Penelitian .....	24
3.7 Diagram Alir Penelitian .....	27

## **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1 Hasil Peneitian .....	29
4.2 Visualisasi Api .....	29
4.3 Analisis Data .....	31
4.3.1 Perhitungan AFR Stoikiometri.....	31
4.3.2 Contoh Perhitungan Massa Alir Uap Minyak Biji Bunga Matahari .....	32
4.3.3 Contoh Perhitungan AFR Aktual .....	33
4.3.4 Contoh Perhitungan <i>Equivalence Ratio</i> .....	33
4.3.5 Contoh Perhitungan Kecepatan Alir Reaktan .....	34
4.3.6 Contoh Perhitungan Kecepatan Api.....	34
4.4 Grafik dan Pembahasan.....	35
4.4.1 Grafik Pengaruh <i>Equivalence Ratio</i> terhadap Kecepatan Api <i>Premixed</i>	35

## **BAB V PENUTUP** .....

5.1 Kesimpulan .....	39
5.2 Saran.....	39

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komposisi Asam Lemak Minyak Biji Bunga Matahari .....	7
Tabel 2.2	Sifat Fisik Minyak Biji Bunga Matahari .....	8
Tabel 2.3	Massa Molar Unsur.....	10
Tabel 4.1	Data Hasil Minyak Biji Bunga Matahari Tanpa Tambahan .....	30
Tabel 4.2	Data Hasil Minyak Biji Bunga Matahari + 0,05 gram Karbon Aktif .....	31
Tabel 4.3	Data Hasil Minyak Biji Bunga Matahari + 0,05 gram Antioksidan Kedelai....	31
Tabel 4.4	Data Hasil Minyak Biji Bunga Matahari + 0,05 gram Karbon Aktif + 0,05 gram Antioksidan Kedelai .....	31



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Susunan ikatan molekul trigliserida .....	6
Gambar 2.2	Ilustrasi proses pembakaran .....	8
Gambar 2.3	Struktur api <i>premixed</i> (a) di dalam tabung pembakaran (b) pada <i>nozzle</i> bunsen .....	11
Gambar 2.4	Penentuan sudut $\theta$ .....	12
Gambar 2.5	Skema ilustrasi struktur karbon aktif .....	14
Gambar 2.6	Struktur karbon aktif dalam tiga dimensi .....	14
Gambar 2.7	Struktur molekul genistein pada kedelai .....	16
Gambar 2.8	Ilustrasi medan magnet dari karbon aktif .....	17
Gambar 2.9	Ilustrasi penarikan asam lemak oleh karbon aktif .....	18
Gambar 2.10	Ilustrasi bentuk medan magnet genistein .....	19
Gambar 2.11	Ilustrasi terbentuknya ikatan hidrogen asam linoleat dengan genistein .....	20
Gambar 3.1	(a) Tabung <i>premixed</i> dan <i>burner</i> (b) Dimensi tabung <i>premixed</i> dan <i>burner</i>	23
Gambar 3.2	Skema instalasi penelitian .....	24
Gambar 3.3	Diagram alir penelitian .....	27
Gambar 4.1	(a) Visualisasi api minyak tanpa tambahan (b) Visualisasi api minyak + 0,05 gram karbon aktif (c) Visualisasi api minyak + 0,05 gram antioksidan kedelai (d) Visualisasi api minyak + 0,05 gram karbon aktif + 0,05 gram antioksidan kedelai .....	30
Gambar 4.2	Contoh perhitungan kecepatan api <i>premixed</i> .....	34
Gambar 4.3	Grafik pengaruh <i>equivalence ratio</i> terhadap kecepatan api <i>premixed</i> .....	35

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran 1 Visualisasi Api dan Sudut yang Terbentuk
- Lampiran 2 Hasil Perhitungan Minyak Biji Bunga Matahari tanpa Tambahan
- Lampiran 3 Hasil Perhitungan Minyak Biji Bunga Matahari dengan Tambahan 0,05 gram Karbon Aktif
- Lampiran 4 Hasil Perhitungan Minyak Biji Bunga Matahari dengan Tambahan 0,05 gram Antioksidan Kedelai
- Lampiran 5 Hasil Perhitungan Minyak Biji Bunga Matahari dengan Tambahan 0,05 gram Karbon Aktif dan 0,05 gram Antioksidan Kedelai
- Lampiran 6 Gambar *Grinder* dan *Mesh* untuk Membuat Karbon Aktif dan Antioksidan Kedelai Menjadi Halus



## RINGKASAN

**Muhammad Ryan Marcellino**, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, November 2018, *Pengaruh Penambahan Karbon Aktif dan Antioksidan Glycine Max terhadap Kecepatan Api Pembakaran Premixed Minyak Biji Bunga Matahari*, Dosen Pembimbing: I.N.G. Wardana dan Haslinda Kusumaningsih.

Minyak biji bunga matahari merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat digunakan sebagai bahan bakar pada kendaraan bermotor. Minyak nabati ini juga memiliki kandungan asam lemak tak jenuh yang lebih tinggi dibandingkan dengan kandungan asam lemak jenuhnya. Namun minyak biji bunga matahari mempunyai nilai titik nyala api yang tinggi sehingga sulit untuk terbakar. Oleh karena itu, minyak ini memerlukan penambahan katalis berupa karbon aktif dan antioksidan kedelai guna mempercepat reaksi pembakaran. Karbon aktif dan antioksidan kedelai memiliki senyawa cincin heksagonal karbon pada molekul strukturnya. Karena mempunyai senyawa cincin heksagonal, karbon aktif dan antioksidan kedelai dapat menghasilkan medan magnet sehingga mengakibatkan ikatan antar atom pada asam lemak menjadi semakin lemah. Karbon aktif juga mempunyai struktur berlubang yang mampu menarik molekul-molekul asam lemak sehingga asam lemak menjadi terputus dan bermuatan. Di sisi lain, antioksidan kedelai mampu menghasilkan interaksi spin hidrogen sehingga atom hidrogen pada asam lemak menjadi tidak statis. Hal-hal tersebut dapat meningkatkan kecepatan pembakaran pada minyak ini.

Pada penelitian ini menggunakan metode pembakaran *premixed* dimana bahan bakar dan udara dicampur terlebih dahulu di ruang pencampur sebelum dibakar. Minyak biji bunga matahari tanpa tambahan apapun, minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif, minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai, serta minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai digunakan sebagai variasi dalam penelitian.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan karbon aktif dan antioksidan kedelai pada minyak biji bunga matahari mampu mempercepat reaksi pembakaran yang ditunjukkan dengan meningkatnya kecepatan api pembakaran *premixed*. Nilai maksimal kecepatan api pembakaran *premixed* dapat diurutkan dari yang paling tinggi ke paling rendah yaitu minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai sebesar 77,52 cm/s, diikuti dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif sebesar 69,43 cm/s, lalu dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai sebesar 66,70 cm/s, dan terakhir tanpa tambahan apa pun sebesar 61,17 cm/s.

**Kata Kunci:** antioksidan kedelai, karbon aktif, kecepatan api pembakaran premixed, minyak biji bunga matahari.



## SUMMARY

**Muhammad Ryan Marcellino**, Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, November 2018, *Effect of Addition Activated Carbon and Glycine Max Antioxidant on Flame Velocity of Premixed Combustion of Sunflower Seed Oil*, Academic Supervisor: I.N.G. Wardana and Haslinda Kusumaningsih.

Sunflower seed oil is an alternative energy source that can be used as fuel for motor vehicle. This vegetable oil also has higher unsaturated fatty acids content than saturated fatty acids ones. However sunflower seed oil has high flash point so that it is difficult to be burned. Therefore the oil need activated carbon and soybean antioxidant in order to increase rate of combustion reaction as catalyst. Activated carbon and soybean antioxidant have carbon hexagonal ring compound in its molecule structures. Because they have hexagonal ring compound, activated carbon and soybean antioxidant can produce magnetic field so that atomic bonds in fatty acid become weaker. Activated carbon also has porous structure that can pull fatty acid molecules so that fatty acid become broken off and charged. In the other hand, soybean antioxidant is able to produce hydrogen spin interaction so that hydrogen atom in fatty acid become non static. These things can increase rate of combustion in the oil.

This research uses premixed combustion method which fuel and air are mixed firstly in the mixing chamber before they are burned. The original sunflower seed oil, the oil with 0,05 gram activated carbon, the oil with 0,05 gram soybean antioxidant, and the oil with 0,05 gram activated carbon and 0,05 gram soybean antioxidant are used as variations.

The result of this research shows that addition of activated carbon and soybean antioxidant in sunflower seed oil can increase rate of combustion which is referred to increase flame velocity of premixed combustion. Maximum value of flame velocity of premixed combustion can be arranged from the highest to the lowest that sunflower seed oil with addition of 0,05 gram activated carbon and 0,05 gram soybean antioxidant is 77,52 cm/s, then with addition of 0,05 gram activated carbon is 69,43 cm/s, then with addition of 0,05 gram soybean antioxidant is 66,70 cm/s and last without addition of anything is 61,17 cm/s.

**Keywords:** activated carbon, flame velocity of premixed combustion, soybean antioxidant, sunflower seed oil

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Persoalan tentang permintaan dan ketersediaan energi masih berlanjut bagi bangsa Indonesia hingga masa kini. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (2017), jumlah kendaraan bermotor mengalami peningkatan dari tahun 2011 hingga 2016 senilai 4,3 juta kendaraan. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor tersebut tentu diiringi dengan kenaikan permintaan akan bahan bakar. Bahan bakar yang digunakan pada kendaraan bermotor sekarang ini umumnya berupa bahan bakar minyak bumi yang bersumber dari *fossil*. Bahan bakar *fossil* ini berkarakteristik tidak bisa diperbaharui (*non-renewable*) sehingga membutuhkan waktu ribuan sampai jutaan tahun untuk mendapatkannya kembali.

Berdasarkan Dewan Energi Nasional (2016), minyak bumi merupakan sumber energi yang paling banyak digunakan sebanyak 88 juta TOE (*Tonne Oil Equivalent*) atau 41,0% dari total konsumsi energi Indonesia, diikuti batubara 69 juta TOE atau 32,3%, dan gas bumi 42 juta TOE atau 19,7%. Namun dalam jumlah pasokannya, cadangan minyak bumi Indonesia mengalami penurunan 2,3% di sepanjang tahun 2014 dibandingkan dengan tahun 2013. Kemudian berlanjut selama tahun 2015, Dewan Energi Nasional (2017) memaparkan bahwa cadangan minyak bumi mengalami penurunan 1,2% jika dibandingkan dengan tahun 2014. Jika kondisi ini berlangsung secara terus-menerus, maka dalam beberapa tahun mendatang Indonesia dapat mengalami krisis kebutuhan energi.

Minyak nabati merupakan sumber energi alternatif yang mampu digunakan sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Minyak nabati merupakan minyak yang diekstrak dari suatu bagian tumbuhan. Beberapa tumbuhan mampu untuk menghasilkan minyak nabati sehingga berpotensi untuk menggantikan minyak bumi sebagai bahan bakar kendaraan bermotor. Dibandingkan dengan minyak bumi, minyak nabati (*vegetable oil*) ialah sumber energi yang berkarakteristik bisa diperbaharui (*renewable*) sehingga mampu ada atau tumbuh kembali dalam waktu yang terjangkau. Salah satu minyak nabati yang dapat digunakan sebagai pengganti bahan bakar minyak bumi yaitu minyak biji bunga matahari.

Minyak biji bunga matahari merupakan salah satu minyak nabati dengan produksi terbesar di dunia sehingga minyak ini memiliki ketersediaan yang melimpah. Selain itu, minyak biji bunga matahari memiliki komposisi *unsaturated fatty acid* berupa *linoleic acid* (asam linoleat) yang lebih banyak daripada komposisi *saturated fatty acid*. Dengan tingginya

kandungan asam lemak tak jenuh (*unsaturated fatty acid*) pada minyak biji bunga matahari, maka semakin banyak ikatan ganda pada asam lemaknya dan juga titik lelehnya relatif lebih rendah daripada minyak nabati dengan kandungan asam lemak jenuh yang tinggi.

Akan tetapi, minyak biji bunga matahari masih mempunyai kekurangan dalam proses pembakarannya dimana minyak ini memiliki nilai titik nyala yang tinggi. Oleh karena itu, minyak biji bunga matahari tidak langsung dipakai untuk bahan bakar sehingga diperlukan penyesuaian dengan penambahan bahan lain yang berguna sebagai katalis sehingga mempercepat reaksi pembakaran pada minyak biji bunga matahari. Pada penelitian ini, minyak biji bunga matahari ditambahkan dengan karbon aktif dan antioksidan kedelai yang berperan sebagai katalis.

Penambahan karbon aktif pada bahan bakar minyak jarak dapat meningkatkan kecepatan api pembakaran *premixed* (Tsaqif, 2017). Sedangkan penambahan antioksidan pada minyak jarak menjadikan minyak tersebut lebih reaktif sehingga mampu meningkatkan panjang radius *viscous finger* dan luas daerah reaksi dalam *hele shaw cell* (Purwa, 2017).

Berdasarkan hal tersebut maka dibutuhkan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh penambahan katalis berupa karbon aktif dan antioksidan kedelai pada minyak biji bunga matahari sehingga mampu mempercepat reaksi pembakarannya dengan metode pembakaran *premixed*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka rumusan masalah pada penelitian ini yakni bagaimana pengaruh penambahan karbon aktif dan antioksidan *Glycine max* (kedelai) terhadap kecepatan api pembakaran *premixed* minyak biji bunga matahari.

## 1.3 Batasan Masalah

1. Tekanan udara pada ruangan dianggap 1 atm.
2. Temperatur ruangan sebesar 27°C.
3. Reaksi pembakaran yang terjadi pada kondisi adiabatik.
4. Karbon aktif yang digunakan berasal dari batok kelapa.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini yakni untuk mengetahui pengaruh penambahan karbon aktif dan antioksidan *Glycine max* (kedelai) terhadap kecepatan api pembakaran *premixed* minyak biji bunga matahari.

### 1.5 Manfaat Penelitian

1. Memberikan referensi baru untuk penelitian selanjutnya mengenai kecepatan api pembakaran *premixed* pada minyak biji bunga matahari dengan tambahan karbon aktif dan antioksidan *Glycine max* (kedelai).
2. Memberikan wawasan tambahan dalam disiplin ilmu *Energy Conversion*.
3. Dapat dijadikan rujukan untuk penelitian selanjutnya dengan metode yang berbeda.





## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Sebelumnya

Tsaqif (2017) melakukan penelitian tentang penambahan kadar karbon aktif terhadap kecepatan api pembakaran *premixed* dengan bahan bakar minyak jarak. Dari penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan karbon aktif pada pembakaran *premixed* minyak jarak mampu meningkatkan kecepatan api pembakaran *premixed*. Semakin banyak karbon aktif yang ditambahkan, maka semakin meningkat pula kecepatan api *premixed* pada pembakaran *premixed*. Urutan kecepatan api *premixed* paling tinggi ke paling rendah berturut-turut terjadi pada penambahan karbon aktif sebesar 0,03 gram, penambahan karbon aktif sebesar 0,02 gram, penambahan karbon aktif sebesar 0,01 gram, dan tanpa penambahan karbon aktif.

Purwa (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan antioksidan terhadap *interfacial instability* minyak jarak pada medan magnet dalam *hele shaw cell*. Dari penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan antioksidan pada minyak jarak mampu meningkatkan panjang radius *viscous finger* dan keliling bidang kontak akibat dari tegangan permukaan yang terjadi semakin meningkat.

Priatna (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh karbon aktif terhadap karakteristik pembakaran *droplet* minyak kelapa sawit. Dari penelitian tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa penambahan karbon aktif batok kelapa pada minyak kelapa sawit dapat meningkatkan nilai *burning rate* dan mempercepat reaksi pembakaran, tetapi menurunkan nilai *ignition delay* dan dimensi api.

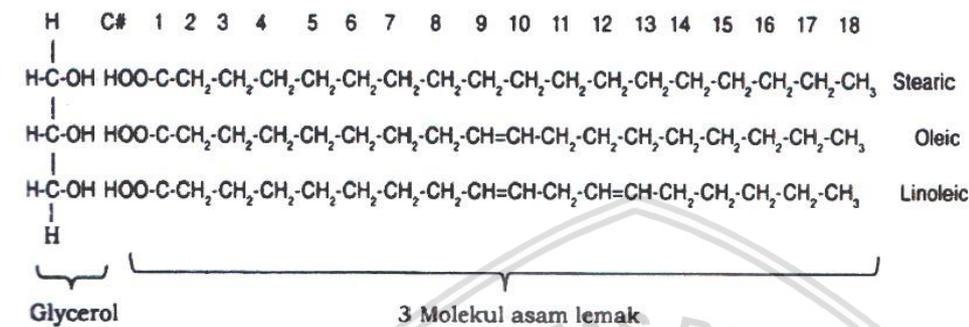
### 2.2 Minyak Nabati

Minyak nabati merupakan minyak yang diperoleh dari suatu bagian pada tumbuhan melalui proses ekstraksi. Hal ini dikarenakan tumbuhan menyimpan energinya dalam bentuk minyak dan lemak. Kebanyakan minyak nabati diperoleh dari biji-bijian tumbuhan. Secara umum minyak nabati dipakai untuk sabun, produk kecantikan, lilin, serta dapat digunakan sebagai bahan bakar.

Minyak nabati tersusun dari molekul-molekul trigliserida yang terdiri dari gliserol yakni alkohol dengan rantai 3 karbon sebagai rantai utama dan 3 cabang asam lemak dengan rantai

18 karbon atau 16 karbon. Asam lemak merupakan rantai hidrokarbon lurus dan panjang yang berisi 12 sampai 24 atom karbon (Wardana, 2008).

Molekul-molekul trigliserida kebanyakan mengandung atom-atom karbon dan hidrogen dengan hanya 6 atom oksigen per molekul. Ini berarti lemak dan minyak nabati adalah mirip dengan hidrokarbon dalam petroleum, yakni mereka adalah bahan bakar yang bagus. Fungsi biologis utama dari trigliserida adalah sebagai bahan bakar (Wardana, 2008).



Gambar 2.1 Susunan ikatan molekul trigliserida  
Sumber: Wardana (2008:38)

Gambar 2.1 menunjukkan struktur ikatan molekul trigliserida dimana terdapat gliserol sebagai rantai utama yang memiliki 3 asam lemak sebagai cabang-cabangnya. Ketiga asam lemak tersebut mempunyai nama yang berbeda tergantung dari struktur dari rantai karbonnya. Asam stearat merupakan asam lemak jenuh karena ikatan tunggal terdapat pada seluruh ikatan rantainya. Asam oleat merupakan asam lemak tak jenuh mono karena terdapat satu ikatan ganda dari seluruh ikatan rantainya. Sedangkan asam linoleat merupakan asam lemak tak jenuh poli karena terdapat dua ikatan ganda dari seluruh ikatan rantainya.

Keberadaan ikatan ganda pada struktur asam lemak, mengacu kepada asam lemak tidak jenuh, menghadirkan adanya belokan (*kink*) ke dalam molekul dan mencegah asam lemak berdempetan satu sama lain dalam lipid. Pengaruh ini pada pengepakan (*packing*) asam lemak menyebabkan asam lemak tak jenuh memiliki titik leleh (*melting point*) yang lebih rendah dibandingkan dengan asam lemak jenuh (asam lemak tanpa ikatan ganda). Semakin banyak adanya ikatan ganda, maka semakin rendah pula titik lelehnya. Pengenaan ikatan ganda ke dalam asam lemak yang mengandung 18 karbon membuktikan ini, dimana asam lemak jenuh berjenis asam stearat memiliki titik leleh sebesar 65°C, asam lemak tak jenuh mono berjenis asam oleat memiliki titik leleh sebesar 13°C, dan asam lemak tak jenuh duo berjenis asam linoleat memiliki titik leleh sebesar 5°C. Hasilnya, asam lemak tak jenuh poli lebih cair (*more fluid*) pada temperatur ruangan daripada asam lemak tak jenuh mono dan asam lemak jenuh (Ratledge dan Kristiansen).

### 2.3 Minyak Biji Bunga Matahari

Bunga matahari (*Helianthus Annuus*) merupakan salah satu dari famili *compositae*. Nama latin *helianthus* dinamakan dari bahasa Yunani dimana *helios* berarti matahari dan *anthos* berarti bunga. Ada 37 spesies dari bunga matahari. Sekitar 17 spesies dibudidayakan dengan tujuan sebagai tanaman hias. Tanaman ini terdiri atas 34 kromosom somatik (Salunkhe *et al*, 1992).

Buah dari tumbuhan bunga matahari, yang biasa diketahui sebagai biji, merupakan suatu buah yang kecil, kering, dan berbiji satu yang tertutup. Biji ini memiliki bentuk bujur dan datar dimana terpotong pada bagian atasnya dan berbentuk seperti berlian pada bagian bawahnya. Warna dari biji ditentukan dengan adanya pigmen-pigmen pada lapisan penutup biji. Tiap lapisan penutup biji dapat berkembang pigmen-pigmennya secara independen. Lapisan paling luar (*epidermis*) dapat berupa tanpa pigmen, penuh pigmen, coklat gelap, ataupun hitam. Lapisan kedua (*corky*) dapat berupa ketiadaannya pigmen ataupun mengandung antosianin sehingga kuat untuk menutupi pigmen-pigmen pada lapisan lain. Lapisan ketiga (*innermost*) dapat berwarna hitam ataupun tidak berpigmen.

Kandungan minyak pada biji bunga matahari tergantung atas bagian pada kulit biji (*hull*) pada bijinya. Tumbuhan yang memiliki kandungan kulit biji yang rendah (20%-25%) menghasilkan minyak lebih banyak (57%-67%) daripada kandungan kulit biji yang tinggi (Flick, 1980). Di sisi lain, semakin kecil kepala bunga pada bunga matahari (< 20 cm diameter) mampu memuat biji-biji sampai 40% lebih banyak minyak daripada kepala bunga yang lebih besar (30 cm).

Minyak biji bunga matahari terdiri atas komposisi asam lemak berupa asam palmitat, asam stearat, asam oleat, dan asam linoleat. Minyak ini mengandung banyak asam lemak tak jenuh daripada minyak nabati lain seperti kedelai, kacang, dan biji kapas. Minyak biji bunga matahari dicirikan dengan tingginya konsentrasi pada asam linoleat (60%-70%) lalu diikuti dengan asam oleat (Earle *et al*, 1968). Komposisi asam lemak pada minyak biji bunga matahari dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1

Komposisi Asam Lemak Minyak Biji Bunga Matahari

Asam Lemak	Persentase
Asam Palmitat	6,70%
Asam Stearat	3,70%
Asam Oleat	19%
Asam Linoleat	69,90%
Asam Linolenat	0,70%

Sumber: Wardana (2008)

Selain itu, minyak biji bunga matahari juga mempunyai sifat fisik tertentu. Sifat fisik ini berguna ketika minyak nabati ini dipakai dalam proses pembakaran. Tabel 2.2 berikut menyajikan tentang sifat fisik dari biji bunga matahari.

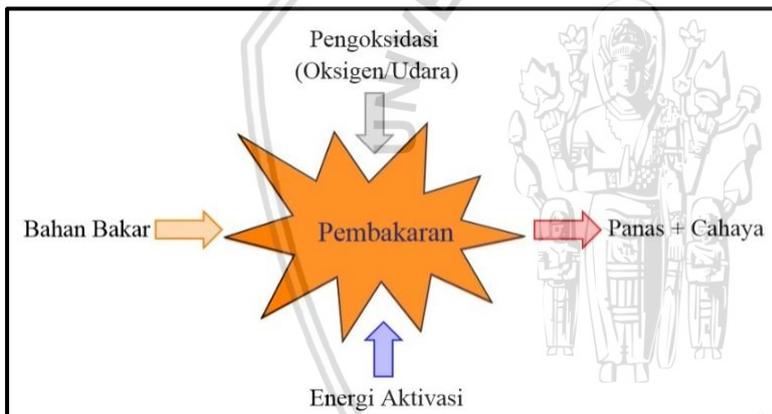
Tabel 2.2  
Sifat Fisik Minyak Biji Bunga Matahari

Sifat fisik	Nilai
Viscosity (cm <sup>2</sup> /s)	0,339
Heating value (kJ/kg)	39.575
Density (kg/m <sup>3</sup> )	916,1
Flash Point (°C)	274

Sumber: Li *et al* (2018)

## 2.4 Pembakaran

Pembakaran adalah reaksi kimia antara bahan bakar dan pengoksidasi (oksigen atau udara) yang menghasilkan panas dan cahaya. Proses pembakaran biasa berlangsung apabila terdapat bahan bakar, pengoksidasi (oksigen atau udara), dan energi aktivasi (panas) (Wardana, 2008).



Gambar 2.2 Ilustrasi proses pembakaran

Sumber: Wardana (2008:3)

Energi aktivasi ialah energi atau panas yang digunakan supaya molekul-molekul bahan bakar menjadi aktif. Molekul-molekul aktif tersebut merupakan molekul-molekul yang bermuatan. Molekul-molekul bermuatan ini memiliki sifat yang sangat reaktif akibat muatannya tidak stabil. Pada proses pembakaran, molekul-molekul dibuat menjadi bermuatan dengan cara diambil elektron valensinya ataupun dengan diputus ikatan rantainya.

Molekul-molekul yang diputus ikatan rantainya sehingga menjadi bermuatan disebut dengan radikal bebas. Radikal bebas apabila menghantam (menumbuk) molekul lainnya dapat menyebabkan jarak ikatan antar molekul tersebut merenggang dan mengkerut secara periodik. Dengan tambahan sedikit energi dari luar pada saat jarak ikatan dalam keadaan

merenggang dapat menyebabkan atom-atom dalam molekul terputus dan bermuatan. Jadi, radikal bebas sangat berperan dalam membantu proses reaksi di dalam pembakaran.

Secara umum, pembakaran dapat dibagi menjadi 2 kategori yaitu pembakaran *premixed* dan pembakaran difusi. Pembakaran *premixed* adalah pembakaran yang terjadi apabila bahan bakar dan udara bercampur terlebih dahulu sebelum masuk zona reaksi. Sedangkan pembakaran difusi adalah pembakaran yang terjadi apabila bahan bakar dan udara bercampur dalam zona reaksi. Pada penelitian ini, proses pembakaran yang dipakai yaitu pembakaran *premixed*.

## 2.5 Pembakaran *Premixed*

Pembakaran *premixed* adalah suatu proses pembakaran yang terjadi karena adanya pencampuran antara bahan bakar dan udara secara mekanis di ruang pencampur (*mixing chamber*) sebelum reaktan (bahan bakar dan udara) di bakar. Api pembakaran *premixed* berbentuk lembar datar tipis dan merambat tegak lurus menuju arah reaktan. Adapun api kerucut bagian luar adalah bahan bakar yang belum terbakar habis sehingga bercampur dengan udara sekitar (difusi). Pada pembakaran *premixed* memiliki dua jenis perilaku reaktan saat melintasi zona reaksi:

Pertama, pembakaran *premixed* turbulen. Pembakaran ini bergantung pada kandungan atau jenis properti yang terkandung pada gas yang digunakan untuk mengetahui kecepatan pembakarannya. Bentuk api *premixed* tergantung pada jenis alirannya, dalam hal ini terdapat struktur api yang bisa terjadi yaitu api laminar dengan gumpalan api dalam vorteks dan reaksinya menyebar, aliran turbulen dapat meningkatkan rambatan api yang terjadi pada pembakaran.

Kedua, pembakaran api *premixed* laminar. Pembakaran ini memiliki bentuk api yang khas yaitu berbentuk api bunsen dan api yang merambat dalam tabung. Proses pencampuran dan penghantaran panas pada bahan bakar dan udara berlangsung secara molekuler. Api *premixed* laminar biasa terdapat pada api bunsen yaitu api berbentuk kerucut dengan dinding kerucut yang merupakan permukaan dari api *premixed* dengan api yang berbentuk lembar datar tipis yang terjadi di dalam tabung.

## 2.6 Rasio Udara dan Bahan Bakar

Salah satu parameter penting lainnya dalam proses pembakaran ialah rasio udara dan bahan bakar (*air/fuel ratio*, disingkat *AFR*).

$$(AFR)_{\text{stokio}} = \left( \frac{N_{\text{udara}}}{N_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stokio}} \quad (2-1)$$

Sumber: Wardana (2008)

$$(AFR)_{\text{stokio}} = \left( \frac{M_{\text{udara}}}{M_{\text{bahan bakar}}} \right)_{\text{stokio}} \quad (2-2)$$

Sumber: Wardana (2008)

Dimana:

N = Jumlah mol

M = Massa molekul

Metode lain yang dapat dilakukan dalam menghitung perbandingan udara dan bahan bakar dalam reaksi pembakaran yaitu dengan menggunakan massa molar langsung. Amedeo avogadro, ilmuwan kimia, menjelaskan bahwa setiap satu gram zat apa pun yang mengandung  $6,022 \times 10^{23}$  sma (satuan massa atom) yang dimana bilangan  $6,022 \times 10^{23}$  sma merupakan bilangan avogadro. Satu mol yang terdapat pada suatu zat mempunyai jumlah yang massanya sama dengan massa molekul atau massa atom dari zat tersebut yang dinyatakan dalam kilogram atau gram.

Pada suatu reaksi pembakaran yang terjadi antara bahan bakar hidrokarbon dengan pengoksida udara, terdapat atom-atom atau molekul-molekul yang terlibat dalam reaksi pembakaran. Atom-atom atau molekul-molekul tersebut yakni karbon (C), Hidrogen (H), Oksigen (O<sub>2</sub>), dan Nitrogen (N<sub>2</sub>). Massa molar dari atom-atom atau molekul-molekul tersebut dapat diketahui melalui Tabel 2.3.

Tabel 2.3  
Massa Molar Unsur

Atom/molekul	Massa molekul (sma)	Massa molar (g)
C	12,01	12,01
H	1,01	1,01
O <sub>2</sub>	32	32
N <sub>2</sub>	28,02	28,02

Sumber: Wardana (2008:59)

## 2.7 Equivalence Ratio

*Equivalence ratio* ( $\Phi$ ) adalah perbandingan antara rasio campuran bahan bakar dan udara stoikiometri ( $(AFR)_{\text{stoikio}}$ ) dengan rasio campuran bahan bakar dan udara yang terjadi secara aktual ( $(AFR)_{\text{aktual}}$ ). *Equivalence ratio* juga merupakan bilangan tak berdimensi dimana rasio campuran bahan bakar dan udara dinyatakan dalam bentuk massa atau jumlah mol. Persamaan *equivalence ratio* dapat dijabarkan sebagai berikut.

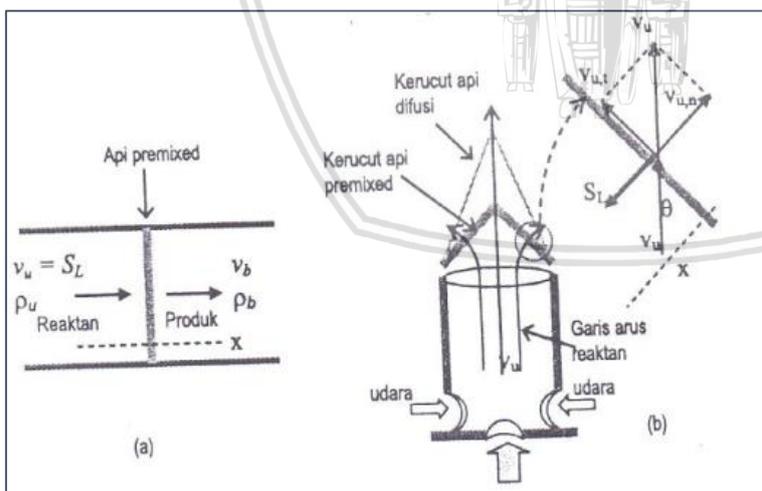
$$\Phi = \frac{(AFR)_{\text{stokio}}}{(AFR)_{\text{aktual}}} \quad (2-3)$$

Sumber: Wardana (2008)

Rasio ini dipakai untuk mengidentifikasi secara kuantitatif apakah campuran bahan bakar dan udara tersebut merupakan campuran kaya, stoikiometri, ataupun miskin. Apabila nilai  $\Phi$  lebih besar daripada 1, maka campuran bahan bakar tersebut kaya dimana reaktan pada campuran mempunyai kelebihan bahan bakar. Apabila nilai  $\Phi$  sama dengan 1, maka campuran bahan bakar tersebut stoikiometri dimana jumlah udara mencukupi (proporsional) untuk bereaksi dengan bahan bakar. Apabila nilai  $\Phi$  lebih kecil daripada 1, maka campuran bahan bakar tersebut miskin dimana reaktan pada campuran mempunyai kekurangan bahan bakar.

## 2.8 Kecepatan Api Pembakaran *Premixed*

Vektor kecepatan pembakaran api *premixed* ( $S_L$ ) merupakan kecepatan sebuah laminar gelombang pembakaran merambat dibandingkan dengan campuran gas yang terbakar. Pada Gambar 2.3 menunjukkan (a)  $S_L$  sejajar dengan vektor kecepatan reaktan ( $v_u$ ) dan vektor kecepatan produk ( $v_b$ ). Karena fluida mempunyai sifat yang mengalir dari kerapatan tinggi ke kerapatan yang lebih rendah, maka garis reaktan akan berbelok di dekat api dan mengalir tegak lurus dengan permukaan api. Fenomena ini terjadi disebabkan adanya perubahan massa jenis reaktan yang menurun sekitar 10 kali akibat kenaikan temperatur api sekitar 3.000 K. Oleh karenanya, komponen vektor kecepatan reaktan ( $v_u$ ) pada api adalah seperti Gambar 2.3 (b).



Gambar 2.3 Struktur api *premixed*: (a) di dalam tabung pembakaran (b) pada *nozzle* bunsen  
Sumber: Wardana (2008:152)

Pada api bunsen dalam kondisi stasioner, kecepatan api bernilai sama dengan komponen normal kecepatan reaktan sehingga rumus kecepatan api *premixed* menjadi:

$$S_L = v_u \sin\theta \quad (2-4)$$

Sumber: Wardana (2008)

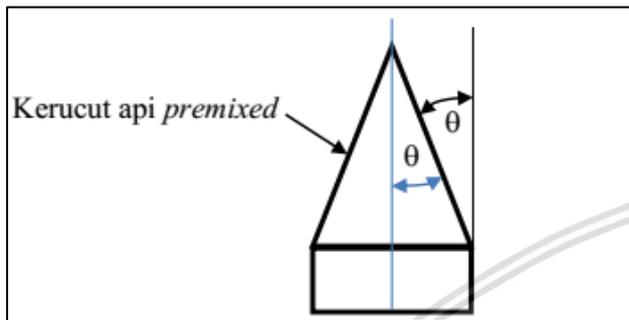
Dimana:

$v_L$  = Kecepatan api *premixed* (cm/s)

$v_u$  = Kecepatan reaktan (cm/s)

$\theta$  = Sudut antara api dan sumbu *nozzle*

Sudut  $\theta$  adalah sudut kemiringan dari kerucut terhadap garis arus reaktan (garis lurus vertikal). Gambar 2.4 menunjukkan cara menentukan sudut  $\theta$ .



Gambar 2.4 Penentuan sudut  $\theta$

Kecepatan dari reaktan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$v_u = \frac{Q_{bb} + Q_{udara}}{A} \quad (2-5)$$

Sumber: Tsaqif (2008)

Dimana:

$\dot{Q}_{bb}$  = Debit bahan bakar ( $m^3$ /menit)

$Q_{udara}$  = Debit udara ( $m^3$ /menit)

$A$  = Luas penampang *nozzle* ( $m^2$ )

Untuk mendapatkan nilai dari debit bahan bakar, maka persamaan yang digunakan yakni:

$$Q_{bb} = \frac{\dot{m}_{uap}}{\rho_{uap}} \quad (2-6)$$

Sumber: Tsaqif (2008)

Dimana:

$\dot{m}_{uap}$  = Massa alir uap minyak (kg/menit)

$\rho_{uap}$  = Densitas uap minyak ( $kg/m^3$ )

Pada rumus di atas, dapat dilihat bahwa hal-hal yang mempengaruhi nilai kecepatan pembakaran yaitu:

1. Kecepatan reaktan

Kecepatan reaktan merupakan kecepatan gas reaktan (bahan bakar dan pengoksidasi) menuju zona reaksi.

## 2. Sudut api

Sudut api yang mempengaruhi kecepatan pembakaran api *premixed* adalah kerucut pada sebelah dalam dengan posisi yang terdekat dengan mulut *nozzle*.

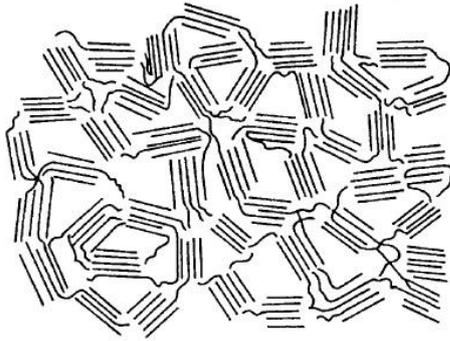
## 2.9 Katalis

Katalis merupakan sebuah zat yang mempercepat laju reaksi kimia, tetapi tidak dikonsumsi dalam reaksi dan tidak mempengaruhi kesetimbangannya. Katalis mempercepat laju reaksi disebabkan karena kemampuannya mengadakan interaksi paling sedikit satu molekul reaktan untuk menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif. Interaksi ini akan dapat meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan dan meningkatkan konsentrasi akibat lokalisasi reaktan sehingga meningkatkan jumlah tumbukan dan membuka alur reaksi dengan energi aktivasi yang lebih rendah (Gates, 1992). Katalis juga berfungsi untuk merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul sehingga ikatan atomnya akan putus atau meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi pecah dan bermuatan (Wardana, 2008).

Katalis dapat dibedakan menjadi 2 macam berdasarkan pada wujud dari katalis tersebut yaitu katalis homogen dan heterogen. Katalis homogen adalah katalis yang mempunyai wujud yang sama dengan zat pereaksi dan bercampur secara homogen. Di sisi lain, katalis heterogen adalah katalis yang mempunyai wujud yang berbeda dengan zat pereaksi dan tidak dapat bercampur secara homogen. Pada penelitian ini, katalis yang digunakan adalah katalis heterogen dimana reaktan berupa minyak biji bunga matahari yang berwujud cair dan katalis berupa karbon aktif dan antioksidan kedelai yang berwujud padat.

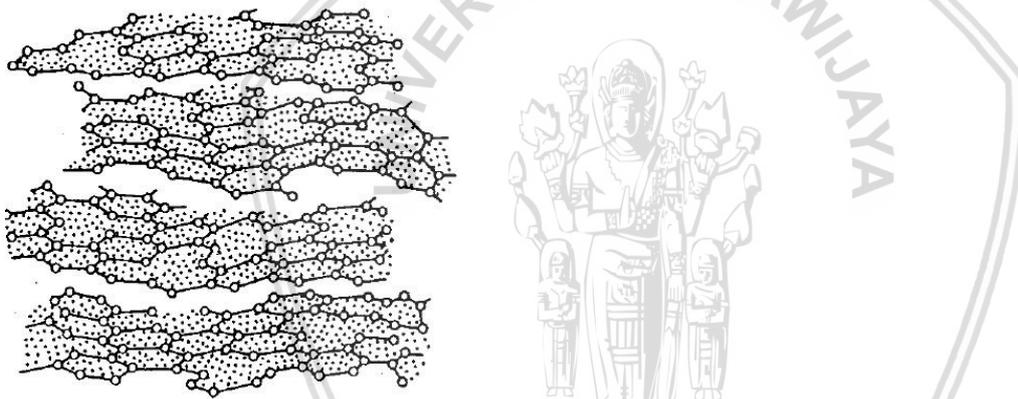
### 2.9.1 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan adsorben yang kuat karena karbon aktif memiliki kemampuan yang baik untuk mengadsorpsi berbagai substansi baik cairan maupun gas. Karbon aktif terdiri atas karbon (87%-97%) dan juga mengandung elemen seperti hidrogen, oksigen, sulfur, dan nitrogen. Terdapat pula berbagai senyawa lain baik berasal dari bahan mentah yang digunakan ataupun dihasilkan selama produksi karbon aktifnya. Volume pori pada karbon aktif biasanya lebih besar dari  $0,2 \text{ cm}^3/\text{g}$ ; bahkan terkadang melebihi  $1,0 \text{ cm}^3/\text{g}$ . Luas permukaan spesifik bagian dalam (*the inner specific surface area*) umumnya lebih besar dari  $400 \text{ m}^2/\text{g}$  tapi dalam banyak contoh lebih besar dari  $1000 \text{ m}^2/\text{g}$  (Sudibandriyo, 2003).



Gambar 2.5 Skema ilustrasi struktur karbon aktif  
Sumber: Sudibandriyo (2003:26)

Karbon aktif tersusun atas lapisan dari cincin heksagonal karbon yang mempunyai kesamaan dengan grafit. Perbedaan antara grafit dengan karbon aktif terletak pada orientasi pada masing-masing lapisan. Jarak antara lapisan pada karbon aktif berkisar 0,34-0,35 nm dibandingkan dengan grafit sebesar 0,335 nm. Angka lapisan di karbon aktif juga lebih terbatas dibandingkan dengan lapisan pada grafit.



Gambar 2.6 Struktur karbon aktif dalam tiga dimensi  
Sumber: Sudibandriyo (2003:27)

Sifat utama dalam memproduksi karbon aktif tergantung dalam jenis dan sifat-sifat (*properties*) pada material atau bahan mentah yang digunakan. Material mentah yang paling penting adalah kayu (*serbuk gergaji*), arang (*charcoal*), tanah gambut (*peat*), kokas gambut (*peat coke*), dan batu bara (*coals*). Batok kelapa (*coconut shells*) juga digunakan untuk menghasilkan luas permukaan yang lebih tinggi pada karbon aktif. Akan tetapi, antrasit (*hard coal*) masih merupakan material mentah yang memiliki potensi paling besar saat ini. Sekitar 60% produksi karbon aktif di Amerika Serikat berasal dari antrasit (*hard coal*) (Sudibandriyo, 2003).

Langkah-langkah yang sangat penting dalam memproduksi karbon aktif meliputi:

1. Oksidasi

Oksidasi biasanya dilakukan pada temperatur sekitar 150°C-350°C dengan melewati suatu gas pengoksidasi, dimana kandungan oksigen bervariasi dalam batas luas (1%-50%) tergantung tipe karbon aktif yang digunakan.

2. Karbonisasi

Proses karbonisasi dilakukan pada temperatur 500°C-800°C. Granula memperoleh kekuatan mekanik pada proses ini dan karena evolusi dari zat volatil, material menjadi lebih kaya akan karbon dan struktur lubang awal menjadi berkembang.

3. Aktivasi

Perlakuan umum untuk mengaktivasi karbon terdiri dari perlakuan dengan gas pengoksidasi (uap, karbon dioksida, oksigen) pada temperatur tinggi (900°C-1000°C). Pada proses aktivasi, karbon bereaksi dengan agen pengoksidasi dan menghasilkan karbon dioksida berdifusi dari permukaan karbon. Karbon tak berbentuk (*the amorphous carbon*) menghalangi lubang bereaksi di langkah oksidasi awal dan menghasilkan lubang yang tertutup menjadi terbuka dan lubang yang baru terbentuk (Sudibandriyo, 2003).

### 2.9.2 Antioksidan Kedelai

Menurut Kochhar dan Rosseli (1990), antioksidan secara umum merupakan senyawa yang mampu menunda, memperlambat dan mencegah proses oksidasi pada lipid. Gunstone (2013) menjelaskan antioksidan pada dasarnya digunakan sebagai penghambat perkembangan ketengikan (*rancidity*) sehingga memperpanjang masa kadaluarsa dari bahan yang ditambahkan antioksidan tersebut. Sedangkan menurut Musarofah dan Pipih (2015), antioksidan adalah senyawa yang mampu menangkal atau memperlambat proses oksidasi. Antioksidan bekerja dengan cara mendonorkan elektronnya pada senyawa yang bersifat oksidan, yaitu dengan cara pengikatan oksigen dan pelepasan hidrogen. Secara umum, antioksidan digunakan untuk menangkal radikal bebas yang merugikan kesehatan tubuh.

Sayuti dan Yenrina (2015) membagi antioksidan berdasarkan mekanisme kerja dan fungsinya, yaitu antioksidan primer dan antioksidan sekunder. Antioksidan primer bekerja dengan cara mencegah pembentukan senyawa radikal yang baru, dimana antioksidan mengubah radikal bebas yang ada menjadi molekul yang berkurang pengaruh negatifnya sebelum senyawa radikal bebas itu bereaksi. Antioksidan primer menjalankan suatu mekanisme pemutusan rantai pada reaksi radikal dengan cara memberi atom hidrogen secara

cepat pada suatu lipid yang radikal tersebut sehingga *product* yang dihasilkan lebih stabil dari *product* sebelumnya. Sedangkan antioksidan sekunder bekerja dengan cara mengkelat logam yang berguna sebagai prooksidan, mengambil radikal dan mencegah terjadinya reaksi yang berantai. Antioksidan sekunder berperan sebagai pengikat ion-ion logam, penangkap oksigen, pengurai hidroperoksida menjadi senyawa nonradikal, penyerap radiasi UV dan deaktivasi singlet oksigen.

Antioksidan secara alami terkandung dalam buah-buahan, sayur-sayuran, dan tumbuhan berkayu. Metabolit sekunder pada tumbuhan biasanya berupa senyawa fenolik atau polifenolik yang dapat berupa golongan flavonoid, turunan asam sinamat, kumarin, tokoferol, dan asam-asam organik polifungsional. Beberapa contoh sayuran dan buah-buahan yang mengandung antioksidan yaitu cengkih, kacang tanah, brokoli, nanas, dan kedelai.

Kedelai termasuk famili kacang-kacangan yang memiliki klasifikasi sebagai berikut.

Ordo : *Polypetales*

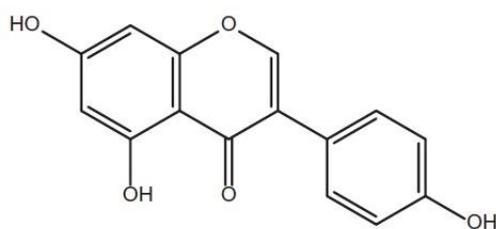
Famili : *Leguminosae*

Sub-famili : *Papilionoideae*

Genus : *Glycine*

Spesies : *Glycine max*

Menurut Sayuti dan Yenrina (2015), kedelai dikenal sebagai sumber utama protein nabati yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai industri pangan. Kedelai mengandung senyawa vitamin C, vitamin A, provitamin A, vitamin E, dan senyawa antioksidan flavonoid golongan isoflavon. Isoflavon berpotensi sebagai pelindung dan pencegah penyakit-penyakit kardiovaskular, kanker dan osteoporosis. Swanson (2016) menyebutkan bahwa pada isoflavon, konsumsi tertinggi termasuk daidzein dan genistein yang terdapat pada kedelai dan dikonsumsi berupa produk semacam tahu dan susu kedelai. Kandungan isoflavon pada kedelai yang terbanyak ada pada genistein. Isoflavon merupakan suatu jenis flavonoid yang berfungsi melindungi tubuh dari zat beracun. Hal tersebut dikarenakan flavonoid berupa isoflavon dalam kedelai mempunyai sifat antioksidan.



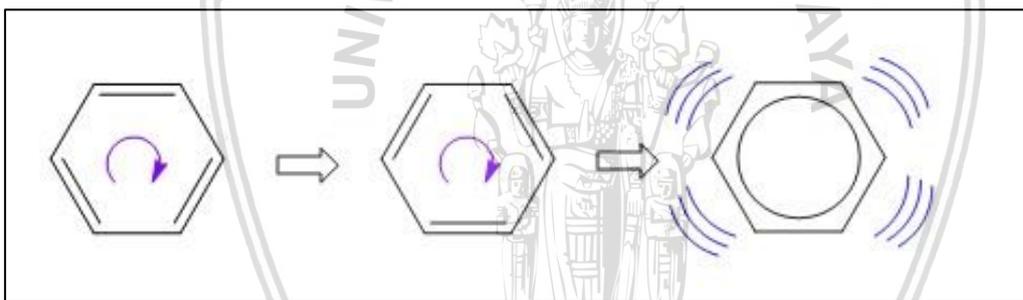
Gambar 2.7 Struktur molekul genistein pada kedelai  
Sumber: Swason (2016:4)

## 2.10 Konsep Penelitian

### 2.10.1 Karbon Aktif dan Minyak Biji Bunga Matahari

Karbon aktif merupakan senyawa yang secara garis besar tersusun atas unsur karbon yang memiliki struktur yang sama dengan grafit. Karbon aktif ini memiliki struktur molekul berbentuk heksagonal dan mempunyai ikatan rangkap dan tunggal pada struktur molekulnya. Ikatan rangkap dan ikatan tunggal pada senyawa cincin heksagonal ini terpisah secara berselang-seling.

Ikatan rangkap pada senyawa cincin heksagonal tersebut mampu untuk berpindah secara terus-menerus. Ikatan rangkap tersebut bergerak secara terus-menerus di sepanjang heksagonalnya. Pergerakan dari ikatan rangkap yang terjadi secara kontinyu tersebut akan menghasilkan suatu lompatan-lompatan elektron. Lompatan elektron yang terjadi secara berkelanjutan akan menyebabkan timbulnya suatu resonansi. Resonansi yang dihasilkan senyawa cincin heksagonal akan menghasilkan adanya medan magnet dari karbon aktif. Medan magnet yang dihasilkan oleh karbon aktif mampu menghasilkan suatu gaya tarik menarik seperti yang terdapat pada Gambar 2.8.

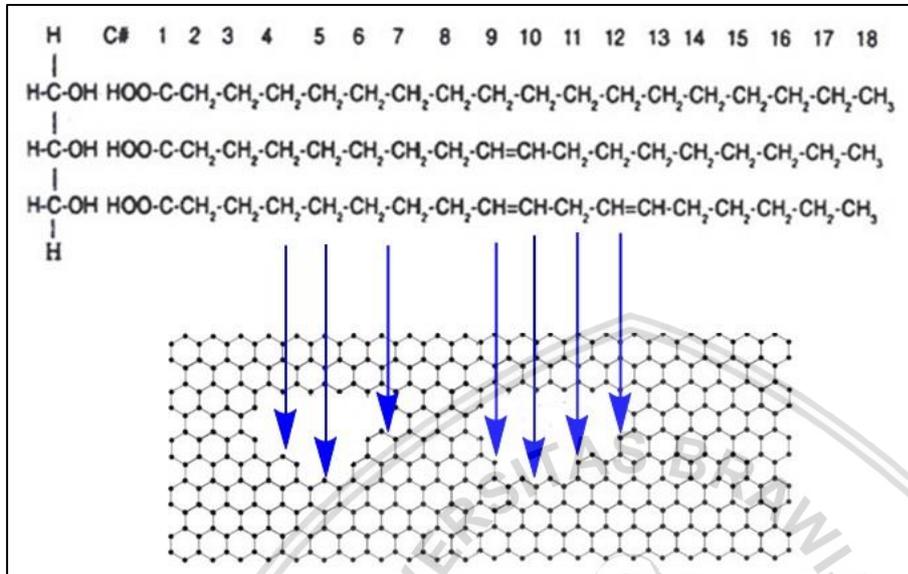


Gambar 2.8 Ilustrasi medan magnet dari karbon aktif

Asam lemak pada minyak biji bunga matahari akan bereaksi dengan medan magnet yang dihasilkan oleh karbon aktif. Pada saat terjadi reaksi, medan magnet yang terdapat pada karbon aktif mampu untuk menarik elektron-elektron pada asam lemak. Penarikan elektron pada asam lemak tersebut akan mengakibatkan elektron menjadi menjauh dari pusatnya dan mengubah bentuk orbitnya. Perubahan orbit elektron pada asam lemak akan berubah dari berbentuk bulat menjadi berbentuk *ellips* atau lonjong sehingga orbit elektron pada asam lemak akan semakin menjauh dari atomnya. Hal itu menyebabkan penarikan elektron pada asam lemak menjadi lebih mudah dan melemahkan ikatan antar atomnya.

Karbon aktif memiliki struktur lubang (*porous structure*) pada bentuknya. Struktur lubang tersebut dihasilkan dari proses aktivasi pada saat proses pembuatannya. Pada ujung struktur yang berlubang tersebut, terdapat atom karbon yang kekurangan elektron valensi. Karena kekurangan elektron, maka atom karbon tersebut akan cenderung untuk menarik

atom lain sehingga atom karbon pada karbon aktif akan menjadi lebih stabil. Hal tersebut akan menyebabkan struktur berlubang tersebut menjadi memiliki gaya tarik menarik dengan atom lain dan menyebabkan struktur berlubang mampu untuk mengadsorpsi atom lain seperti pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Ilustrasi penarikan asam lemak oleh karbon aktif

Asam lemak pada minyak biji bunga matahari memiliki molekul-molekul hidrokarbon pada kandungannya. Ketika bereaksi dengan karbon aktif, maka molekul-molekul hidrokarbon tersebut akan tertarik menuju struktur berlubang tersebut sehingga karbon aktif menjadi stabil. Molekul-molekul asam lemak kemudian menjadi terputus dan kehilangan elektron-elektronnya sehingga menyebabkan asam lemak menjadi bermuatan. Asam lemak yang bermuatan tersebut akan lebih mudah untuk bereaksi dengan atom atau molekul lain sehingga mempercepat reaksi tumbukan antar molekul yang terjadi.

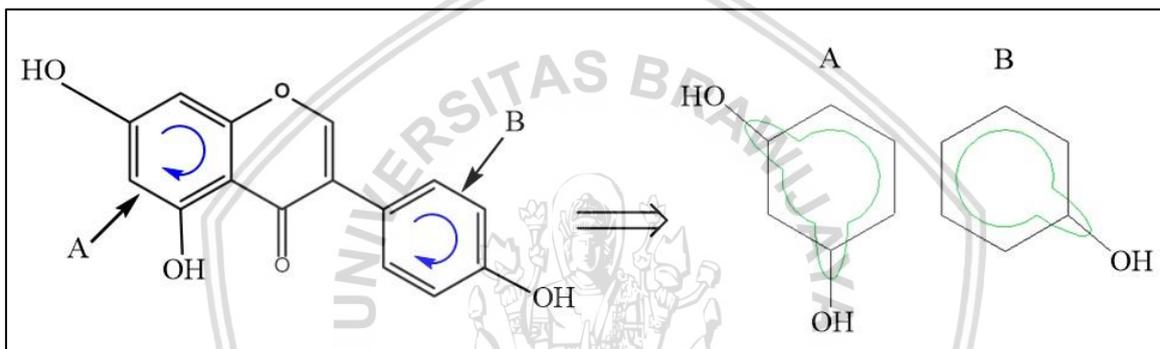
### 2.10.2 Antioksidan Kedelai dan Minyak Biji Bunga Matahari

Kedelai merupakan antioksidan yang berupa biji-bijian yang memiliki kandungan isoflavon pada biji tersebut. Isoflavon yang terdapat pada kedelai berupa genistein. Genistein ini mempunyai rumus molekul  $C_{15}H_{10}O_5$  dan memiliki senyawa cincin heksagonal pada molekulnya. Senyawa cincin heksagonal tersebut mampu menghasilkan suatu medan magnet.

Proses terdapatnya medan magnet disebabkan oleh pergerakan ikatan-ikatan karbon pada senyawa heksagonal tersebut. Senyawa cincin heksagonal terdiri atas ikatan rangkap dan ikatan tunggal. Ikatan rangkap tersebut bergerak secara terus-menerus menuju ikatan tunggal di sepanjang heksagonalnya tersebut. Pergerakan ikatan rangkap yang secara terus-

menerus tersebut akan menghasilkan adanya lompatan-lompatan elektron dari senyawa siklik tersebut sehingga menimbulkan adanya resonansi. Akibat timbulnya resonansi, maka senyawa cincin heksagonal pada genistein mampu menghasilkan medan magnet.

Senyawa cincin heksagonal yang terdapat pada genistein mempunyai rantai ikatan pada sisinya yaitu ikatan dengan OH. Adanya rantai ikatan pada sisi tersebut, resonansi terjadi tidak hanya di sepanjang cincin heksagonalnya saja tetapi juga bertambah ke ikatan pada sisi. Hal tersebut disebabkan karena rantai ikatan pada sisi OH, atom oksigen memiliki 6 elektron valensi dimana satu elektron berikatan dengan atom hidrogen sedangkan satunya lagi berikatan dengan cincin sehingga terdapat 4 elektron yang bebas pada atom oksigen tersebut yang menjadikan adanya resonansi tambahan sampai keluar keluar cincin heksagonal menuju ikatan OH seperti pada Gambar 2.10.

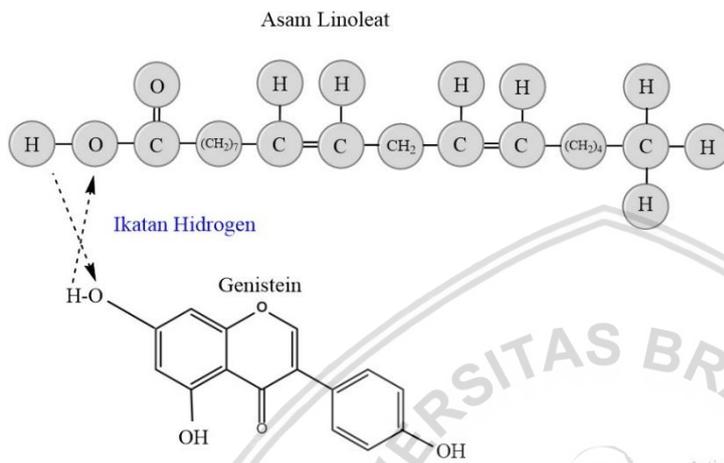


Gambar 2.10 Ilustrasi bentuk medan magnet genistein

Asam lemak pada minyak biji bunga matahari akan bereaksi dengan medan magnet yang dihasilkan genistein. Reaksi tersebut akan menjadikan genistein mampu untuk menarik elektron-elektron pada asam lemak. Penarikan tersebut mengakibatkan lintasan elektron pada asam lemak memiliki jarak yang tidak tetap terhadap inti atomnya dan menjauhi dari orbit semulanya. Perubahan orbit elektron pada asam lemak akan berubah dari berbentuk bulat menjadi elips. Hal tersebut akan mengakibatkan elektron asam lemak akan semakin menjauhi dari atomnya sehingga penarikan elektron menjadi lebih mudah dan ikatan molekulnya menjadi semakin lemah. Namun, jarak lintasan resonansi yang terdapat pada genistein lebih besar dari karbon aktif karena lintasannya tidak hanya pada cincin heksagonalnya saja melainkan melebar ke rantai ikatan sisi yaitu OH. Jarak lintasan yang bertambah besar mengakibatkan nilai medan magnet yang dihasilkan genistein lebih lemah dibandingkan dengan medan magnet karbon aktif.

Genistein mempunyai kesamaan dengan molekul-molekul asam lemak pada minyak biji bunga matahari pada penyusun unsurnya dimana terdapat atom karbon, hidrogen, dan oksigen. Karbon memiliki nomor atom senilai 6, hidrogen memiliki nomor atom senilai 1,

dan oksigen memiliki nomor atom senilai 8. Jumlah inti atom pada genistein dan asam lemak yang berbeda mengakibatkan terdapat perbedaan pada nilai keelektronegatifan. Asam linoleat sebagai penyusun terbesar asam lemak pada minyak biji bunga matahari mempunyai nilai keelektronegatifan yang lebih besar daripada genistein sehingga menyebabkan terbentuknya suatu ikatan hidrogen pada atom O dan H terluar yang terdapat pada genistein dengan asam linoleat seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Ilustrasi terbentuknya ikatan hidrogen asam linoleat dengan genistein

Pembentukan ikatan hidrogen yang terjadi antara asam linoleat dengan genistein mengakibatkan adanya gaya tarik-menarik. Ikatan hidrogen tersebut timbul karena jumlah proton dari atom O yang lebih tinggi daripada atom H dan nilai keelektronegatifan asam linoleat yang lebih tinggi dari genistein sehingga mengakibatkan atom O pada asam linoleat akan menarik atom H dari genistein. Kemudian atom O pada genistein akan kekurangan elektron sehingga menarik atom H yang ada pada asam linoleat. Hal ini terjadi secara terus menerus sehingga membentuk suatu *spin* pada ikatan hidrogen. Dengan adanya *spin* hidrogen, maka hidrogen pada asam lemak menjadi tidak statis dan mudah keluar dari tempat asalnya sehingga hidrogen pada asam lemak menjadi lebih mudah terputus.

## 2.11 Hipotesis

Berdasarkan konsep penelitian diatas, dapat diambil suatu hipotesis penelitian yaitu penambahan karbon aktif dan antioksidan *Glycine max* (kedelai) pada minyak biji bunga matahari dapat menyebabkan kecepatan api pembakaran *premixed* menjadi lebih meningkat. Senyawa cincin heksagonal yang terdapat pada karbon aktif dan antioksidan *Glycine max* (kedelai) mampu menghasilkan medan magnet yang dapat melemahkan ikatan asam lemak pada minyak biji bunga matahari sehingga minyak menjadi lebih reaktif.

## BAB III METODE PENELITIAN

### 3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini memakai metode penelitian eksperimental atau *experimental research method*. Metode ini dijalankan dengan cara mengamati objek yang diteliti secara langsung guna mendapatkan data penelitian. Kemudian data hasil penelitian tersebut dibandingkan dan diambil kesimpulannya.

### 3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Jurusan Mesin Fakultas Teknik Universitas Brawijaya Malang pada bulan April 2018 sampai Juli 2018.

### 3.3 Variabel Penelitian

#### 1. Variabel Bebas

Variabel bebas ialah variabel stimulus atau input. Variabel ini sudah ditentukan oleh peneliti untuk menentukan hubungannya dengan fenomena yang diobservasi. Variabel bebas yang dipakai di penelitian ini yakni:

##### a. Minyak biji bunga matahari 100 gram:

- 1) Tanpa tambahan
- 2) Dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif
- 3) Dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai
- 4) Dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai

##### b. Debit udara yang diberikan sebesar 3; 3,5; 4; 4,5 dan 5 liter/menit

#### 2. Variabel Terikat

Variabel terikat ialah variabel respon atau output. Variabel ini nilainya akan berubah akibat adanya variasi dari variabel bebas. Variabel terikat yang terdapat dalam penelitian ini yakni kecepatan api pembakaran *premixed*.

#### 3. Variabel Terkontrol

Variabel terkontrol ialah variabel yang dikendalikan atau dinetralkan (*neutralized*) serta sifatnya tetap (*constant*). Variabel terkontrolnya yaitu:

- a. *Burner* dengan diameter 8 mm
- b. LPG dengan debit 1,5 liter/menit

### 3.4 Alat dan Bahan Penelitian

1. *Liquified Petroleum Gas* atau LPG

LPG berfungsi sebagai *fuel* bagi kompor gas dan berguna untuk menguapkan *sunflower seed oil* pada tabung *erlenmeyer*.

2. Selang

Selang digunakan sebagai media alir fluida gas yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu udara dari kompresor dan gas LPG.

3. *Flowmeter* LPG dan Udara

Pada penelitian ini digunakan 2 *flowmeter* yang masing-masing digunakan untuk mengatur debit aliran udara dengan ketelitian 0,5 liter per menit dan debit aliran gas LPG dengan ketelitian dan 0,5 liter per menit.

4. Kompor Gas

Kompor digunakan untuk memanaskan minyak biji bunga matahari.

5. Timbangan Elektrik

Timbangan elektrik digunakan untuk mengukur massa minyak biji bunga matahari beserta *erlenmeyer*.

6. Suntikan

Suntikan digunakan untuk mengambil uap minyak biji bunga matahari untuk menghitung massa jenis uap bahan bakar minyak biji bunga matahari. Kapasitas suntikan yang digunakan sebesar 20 ml.

7. Kompresor Udara

Kompresor udara digunakan untuk mengalirkan udara untuk konsumsi pembakaran *premixed*.

Spesifikasi:

- *Tank Capacity* : 6 liter
- *Power* : ¾ HP
- *Maximum Cylinder Pressure* : 8 bar
- *Speed* : 2850 rpm

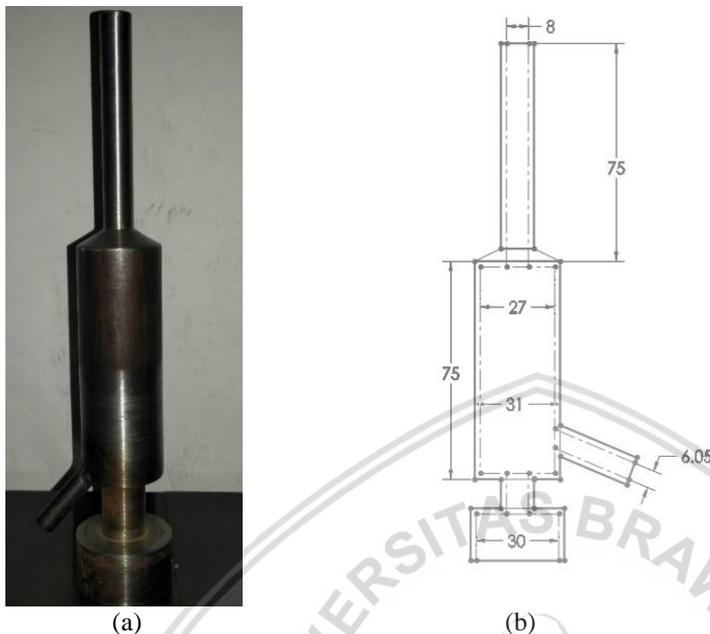
8. *Erlenmeyer*

*Erlenmeyer* digunakan sebagai tempat bahan bakar minyak biji bunga matahari yang akan dipanaskan sehingga menghasilkan uap bahan bakar. *Erlenmeyer* yang digunakan pada penelitian ini mempunyai kapasitas maksimal 250 ml.

### 9. *Burner dan Tabung Premixed*

Tabung *premixed* dan *burner* digabung menjadi satu rangkaian alat seperti pada Gambar

3.1. *Circular tube burner* ialah jenis *burner* yang dipakai di penelitian ini.



Gambar 3.1 (a) Tabung *premixed* dan *burner* (b) Dimensi tabung *premixed* dan *burner*

Keterangan:

<i>Material</i>	: Besi
<i>Inner diameter of burner</i>	: 8 milimeter
<i>Height of burner</i>	: 75 milimeter
<i>Height of premixed cylinder</i>	: 75 milimeter
<i>Inner diameter of premixed cylinder</i>	: 27 milimeter
<i>Inner diameter of premixed valve</i>	: 30 milimeter
<i>Air duct diameter</i>	: 6,05 milimeter

### 10. Kamera

Kamera digunakan untuk mengambil visualisasi api pada *burner*.

### 11. Minyak Biji Bunga Matahari

*Sunflower seed oil* atau minyak biji bunga matahari merupakan *fuel* (bahan bakar) yang akan diteliti.

### 12. Karbon Aktif

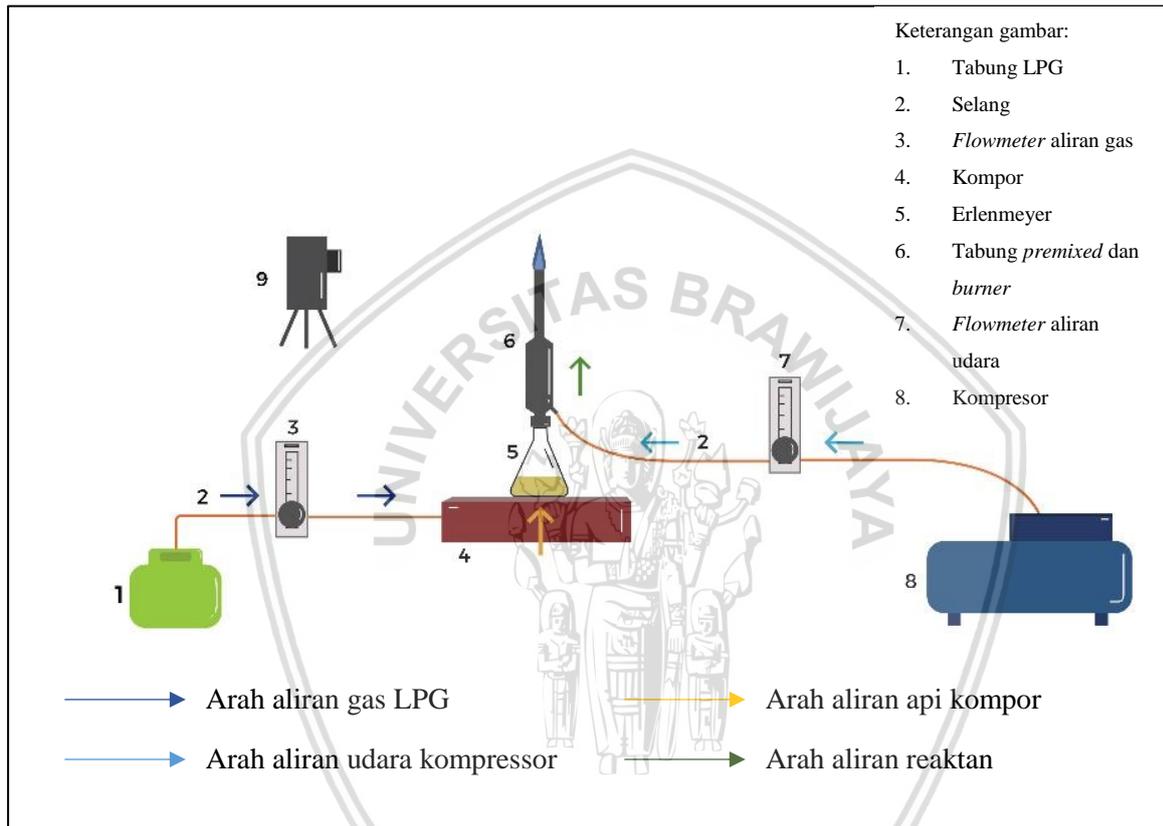
Karbon aktif digunakan sebagai senyawa tambahan untuk perlakuan terhadap minyak biji bunga matahari yang diuji. Dalam penelitian ini karbon aktif berperan sebagai katalis.

### 13. Antioksidan Kedelai

Kedelai merupakan salah satu jenis antioksidan yang berfungsi sebagai katalis. Senyawa cincin heksagonal dalam kedelai akan menghasilkan medan magnet lemah yang mampu mengganggu kestabilan asam lemak sehingga mampu mempercepat aktivasi molekul.

### 3.5 Skema Instalasi Penelitian

Skema instalasi penelitian pada penelitian ini terdapat pada Gambar 3.2 sebagai berikut.



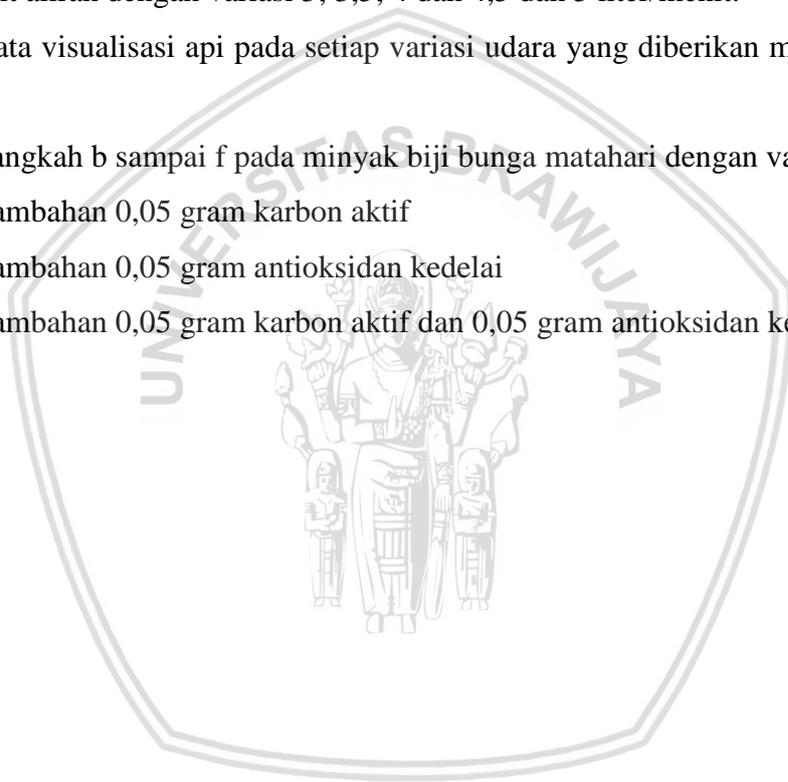
Gambar 3.2 Skema instalasi penelitian

### 3.6 Prosedur Pengambilan Data

1. Prosedur pengambilan data penelitian massa jenis uap minyak biji bunga matahari
  - a. Siapkan *erlenmeyer*, *flowmeter* gas *Liquid Petroleum Gas* (LPG), suntikan, tabung *premixed* beserta *burner*, kompor gas, dan timbangan elektrik.
  - b. Timbang massa suntikan tanpa uap minyak biji bunga matahari menggunakan timbangan elektrik. Lalu catat hasil timbangan dari setiap suntikan.
  - c. Tuangkan minyak biji bunga matahari ke dalam tabung *erlenmeyer* sebanyak 100 gram, setelah itu dipanaskan minyak tersebut menggunakan kompor dengan mengatur debit aliran gas pada 1,5 liter per menit menggunakan *flowmeter* yang telah terpasang pada selang LPG.

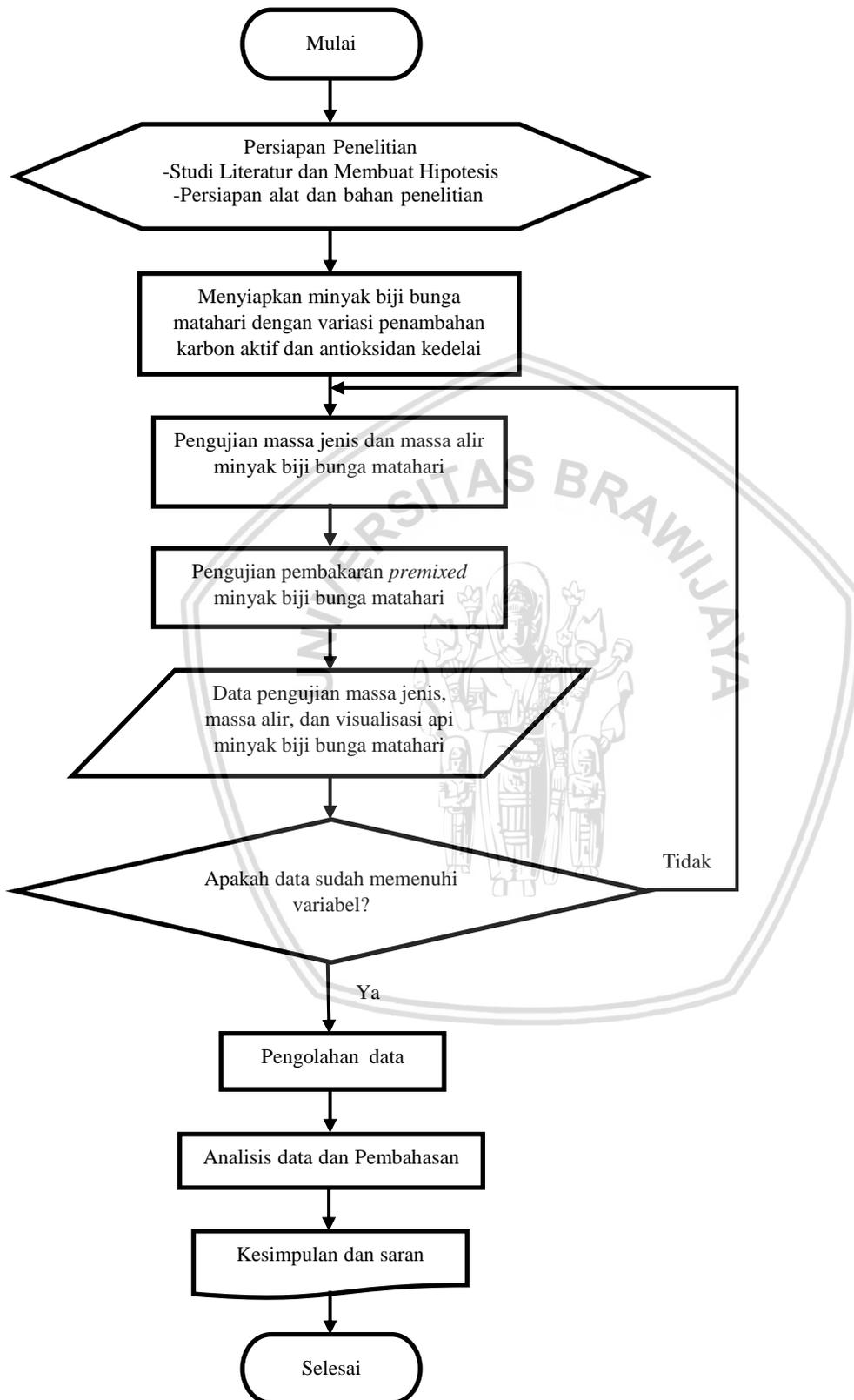
- d. Ambil uap minyak biji bunga matahari dengan suntikan sebanyak 10 ml lalu ukur massa suntikan tersebut dengan timbangan dan catat hasilnya..
  - e. Ulangi langkah d hingga 10 kali.
  - f. Kurangi hasil data langkah d dengan hasil data langkah b pada suntikan.
  - g. Hitung rata-rata hasil data langkah f dari setiap suntikan.
  - h. Lakukan langkah b sampai g pada minyak yang ditambahkan karbon aktif dan antioksidan kedelai pada minyak biji bunga matahari dengan variasi:
    - Penambahan 0,05 gram karbon aktif
    - Penambahan 0,05 gram antioksidan kedelai
    - Penambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai.
2. Prosedur pengambilan data penelitian massa alir uap minyak
- a. Siapkan *erlenmeyer*, *flowmeter* gas LPG, tabung *premixed* beserta *burner*, kompor gas, dan timbangan elektrik.
  - b. Timbang berat *erlenmeyer* tanpa minyak biji bunga matahari dengan timbangan elektrik kemudian catat hasil berat *erlenmeyer*.
  - c. Taruh *erlenmeyer* pada timbangan kemudian tekan tombol *zero* pada timbangan lalu tuangkan minyak biji bunga matahari ke dalam *erlenmeyer* yang masih berada diatas timbangan elektrik sebanyak 100 gram.
  - d. Tambah hasil data langkah b dengan berat minyak biji bunga matahari pada volume 100 gram.
  - e. Panaskan *erlenmeyer* yang telah dipasang dengan tabung *premixed* beserta *burner*.
  - f. Tunggu minyak mulai menguap dilihat dari keluarnya uap pada ujung *burner*.
  - g. Mulai perhitungan waktu dengan stopwatch setelah langkah f terpenuhi, kemudian setelah 10 menit matikan kompor dan tutup ujung *burner*, tunggu sampai temperatur normal.
  - h. Timbang *erlenmeyer* yang telah dipanaskan dan sudah ditunggu sampai temperatur normal menggunakan timbangan elektrik.
  - i. Hitung massa minyak biji bunga matahari dengan cara mengurangi data hasil langkah h dengan data hasil langkah d.
  - j. Hitung massa alir dengan membagi hasil data langkah i dengan waktu 10 menit.
  - k. Lakukan langkah c sampai j pada minyak biji bunga matahari dengan variasi:
    - Penambahan 0,05 gram karbon aktif
    - Penambahan 0,05 gram antioksidan kedelai
    - Penambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai.

3. Prosedur pengambilan data penelitian visualisasi api
  - a. Siapkan *erlenmeyer*, kompresor udara, *flowmeter* udara dan LPG, timbangan elektrik, kompor gas, tabung *premixed* beserta *burner*, dan kamera.
  - b. Tuang minyak biji bunga matahari sebanyak 100 gram ke *erlenmeyer*, kemudian pasang alat sesuai Gambar 3.2.
  - c. Panaskan *erlenmeyer* dan mengatur debit LPG konstan pada 1,5 liter/menit menggunakan *flowmeter* LPG.
  - d. Tunggu minyak mulai menguap dilihat dari keluarnya uap pada ujung *burner*. Setelah itu menyalakan api dengan menggunakan pemantik pada *burner*.
  - e. Atur debit aliran dengan variasi 3; 3,5; 4 dan 4,5 dan 5 liter/menit.
  - f. Ambil data visualisasi api pada setiap variasi udara yang diberikan menggunakan kamera.
  - g. Ulangi langkah b sampai f pada minyak biji bunga matahari dengan variasi:
    - Penambahan 0,05 gram karbon aktif
    - Penambahan 0,05 gram antioksidan kedelai
    - Penambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai



### 3.7 Diagram Alir Penelitian

Gambar 3.3 berikut merupakan diagram alir pada penelitian ini.



Gambar 3.3 Diagram alir penelitian



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

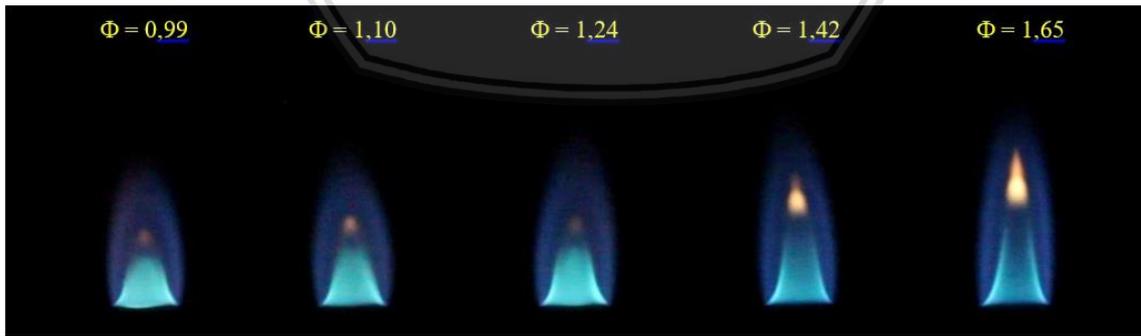
### 4.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan penelitian yang sudah dilakukan, diperoleh data-data berupa massa jenis uap, massa alir uap, dan visualisasi api pembakaran *premixed* pada minyak biji bunga matahari tanpa tambahan, minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif, minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai, serta minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai. Selanjutnya, dilakukan pengolahan data guna menghitung nilai *equivalence ratio* dan kecepatan api pembakaran *premixed* ( $S_L$ ) sesuai dengan rumus (terlampir).

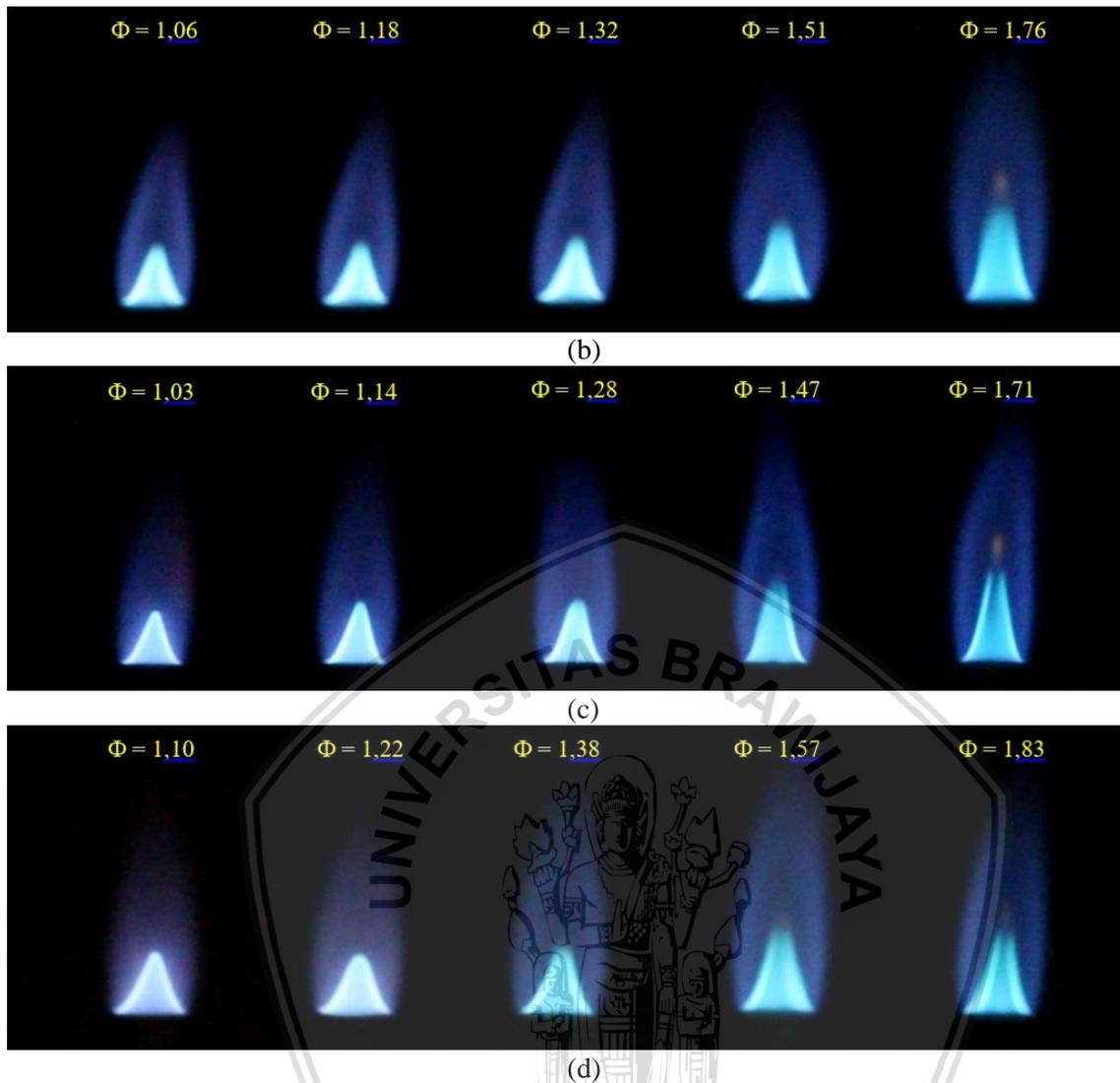
Seusai pengolahan data dikerjakan, selanjutnya didapatkan data berupa suatu grafik hubungan antara *equivalence ratio* dengan kecepatan api pembakaran *premixed* minyak biji bunga matahari pada seluruh variasi.

### 4.2 Visualisasi Api

Berikut ini merupakan visualisasi api dan tabel data dari hasil penelitian yang sudah dilakukan pada minyak biji bunga matahari tanpa tambahan, dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif, dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai, serta dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai.



(a)



Gambar 4.1 (a) Visualisasi api minyak tanpa tambahan (b) Visualisasi api minyak + 0,05 gram karbon aktif (c) Visualisasi api minyak + 0,05 gram antioksidan kedelai (d) Visualisasi api minyak + 0,05 gram karbon aktif + 0,05 gram antioksidan kedelai

Tabel 4.1  
Data Hasil Minyak Biji Bunga Matahari Tanpa Tambahan

AFR Stc	AFR Aktual	$\phi$	Sudut Api	$v_u$ (cm/s)	$S_L$ (cm/s)
	12,90	0,99	21	170,69	61,17
	11,61	1,10	19	154,10	50,17
12,7935	10,32	1,24	17	137,52	40,21
	9,03	1,42	14	120,93	29,26
	7,74	1,65	10	104,34	18,12

Tabel 4.2  
Data Hasil Minyak Biji Bunga Matahari + 0,05 gram Karbon Aktif

AFR Stc	AFR Aktual	$\phi$	Sudut Api	$v_u$ (cm/s)	$S_L$ (cm/s)
	12,10	1,06	24	170,71	69,43
	10,89	1,18	23	154,12	57,74
12,7935	9,68	1,32	20	137,54	47,04
	8,47	1,51	17	120,95	35,36
	7,26	1,76	13	104,36	23,48

Tabel 4.3  
Data Hasil Minyak Biji Bunga Matahari + 0,05 gram Antioksidan Kedelai

AFR Stc	AFR Aktual	$\phi$	Sudut Api	$v_u$ (cm/s)	$S_L$ (cm/s)
	12,47	1,03	23	170,71	66,70
	11,23	1,14	20	154,12	52,71
12,7935	9,98	1,28	18	137,53	42,50
	8,73	1,47	15	120,94	31,30
	7,48	1,71	11	104,36	19,91

Tabel 4.4  
Data Hasil Minyak Biji Bunga Matahari + 0,05 gram Karbon Aktif + 0,05 gram Antioksidan Kedelai

AFR Stc	AFR Aktual	$\phi$	Sudut Api	$v_u$ (cm/s)	$S_L$ (cm/s)
	11,63	1,10	27	170,76	77,52
	10,47	1,22	25	154,17	65,16
12,7935	9,30	1,38	21	137,59	49,31
	8,14	1,57	19	121,00	39,39
	6,98	1,83	14	104,41	25,26

### 4.3 Analisis Data

#### 4.3.1 Perhitungan AFR Stoikiometri

1. Reaksi pembakaran stoikiometri pada minyak biji bunga matahari sebagai berikut:



Pada persamaan (4-1) didapatkan hasil reaksi kimia pembakaran stokiometri pada minyak biji bunga matahari berdasarkan data lampiran, maka dengan reaksi tersebut dapat ditentukan harga massa udara dan nilai AFR stoikiometri.

2. Perhitungan AFR stoikiometri pada pembakaran minyak biji bunga matahari:

a. Massa udara

$$M \text{ udara} = 9,31925 (M_r \text{ O}_2 + 3,76 M_r \text{ N}_2)$$

$$M \text{ udara} = 9,31925 [(16 \times 2) + 3,76 \times (14 \times 2)]$$

$$M \text{ udara} = 1.279,35 \text{ gram} \quad (4-2)$$

b. AFR stoikiometri

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left( \frac{M \text{ udara}}{M \text{ bahan bakar}} \right)_{\text{stoic}}$$

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = \left( \frac{1.279,35 \text{ gram}}{100 \text{ gram}} \right)_{\text{stoic}}$$

$$(\text{AFR})_{\text{stoic}} = 12,7935 \quad (4-3)$$

Dimana massa udara yang diperoleh adalah massa udara ideal yang dibutuhkan pada pembakaran teoritis. Perhitungan AFR teoritis dilakukan dengan membagi massa udara pembakaran stoikiometri sebesar 1.279,35 gram dengan massa bahan bakar yang digunakan yakni senilai 100 gram sehingga didapatkan nilai AFR stoikiometri pada persamaan (4-3) sebesar 12,7935.

#### 4.3.2 Contoh Perhitungan Massa Alir Uap Minyak Biji Bunga Matahari

Diketahui:

Massa *erlenmeyer* dengan minyak sebelum penguapan ( $m_1$ ) = 171,87 gram

Massa *erlenmeyer* dengan minyak setelah penguapan ( $m_2$ ) = 166,71 gram

Waktu penguapan ( $t$ ) adalah 10 menit

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \frac{(m_1 - m_2)}{t}$$

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \frac{(171,87 \text{ gram} - 166,71 \text{ gram})}{10 \text{ menit}}$$

$$\dot{m}_{\text{bb}} = \frac{(5,16 \text{ gram})}{10 \text{ menit}}$$

$$\dot{m}_{\text{bb}} = 0,516 \text{ gram} / \text{menit}$$

$$\dot{m}_{\text{bb}} = 0,000516 \text{ kilogram} / \text{menit} \quad (4-4)$$

Contoh perhitungan massa alir minyak diatas digunakan data dari variasi minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai yang dilakukan dengan membagi selisih massa minyak biji bunga matahari sebelum dan sesudah penguapan dengan lama waktu penguapan. Pada perhitungan tersebut diperoleh

nilai massa alir minyak biji bunga matahari tanpa tambahan sebesar 0,516 gram/menit atau 0,000516 kilogram/menit.

#### 4.3.3 Contoh Perhitungan AFR Aktual

Diketahui:

$$\dot{m}_{bb} = 0,000516 \text{ kg/menit}$$

$$\rho_{udara} = 1,2 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{udara} = 4 \text{ liter/menit} = 0,004 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$AFR_{aktual} = \frac{Q_{udara} \times \rho_{udara}}{\dot{m}_{bb}}$$

$$AFR_{aktual} = \frac{0,004 \text{ m}^3/\text{menit} \times 1,2 \text{ kg/m}^3}{0,000516 \text{ kg/menit}}$$

$$AFR_{aktual} = 9,30 \quad (4-5)$$

Massa alir bahan bakar ( $\dot{m}_{bb}$ ) didapatkan melalui pengujian massa alir minyak biji bunga matahari yang hasilnya dapat dilihat pada lampiran. Contoh perhitungan diatas memakai data pada variasi minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai dengan menggunakan debit udara sebesar 4 liter/menit sehingga diperoleh nilai AFR aktual sebesar 9,30.

#### 4.3.4 Contoh Perhitungan *Equivalence Ratio*

Diketahui:

$$(AFR)_{stoic} = 12,7935$$

$$(AFR)_{aktual} = 9,30$$

$$\phi = \frac{AFR_{stoic}}{AFR_{aktual}}$$

$$\phi = \frac{12,7935}{9,30}$$

$$\phi = 1,38 \quad (4-6)$$

Perhitungan *equivalence ratio* dilakukan dengan memakai perbandingan antara nilai AFR stoikimetri dengan nilai AFR aktual. Berdasarkan perhitungan nilai *equivalence ratio* yang diperoleh sebesar ( $\phi = 1,38$ ).

### 4.3.5 Contoh Perhitungan Kecepatan Alir Reaktan

Diketahui:

$$\dot{m}_{bb} = 0,000516 \text{ kg/menit}$$

$$\rho_{uap} = 3,5 \text{ kg/m}^3$$

$$Q_{udara} = 4 \text{ liter/menit} = 0,004 \text{ m}^3/\text{menit}$$

$$A = 0,00005024 \text{ m}^2$$

$$v_u = \frac{Q_{udara} + Q_{bahan \text{ bakar}}}{A}$$

$$v_u = \frac{Q_{udara} + (\dot{m}_{bb} \div \rho_{uap})}{A}$$

$$v_u = \frac{0,004 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} + (0,000516 \frac{\text{kg}}{\text{menit}} \div 3,5 \text{ kg/m}^3)}{0,00005024 \text{ m}^2}$$

$$v_u = 82,55 \text{ meter/menit}$$

$$v_u = 137,59 \text{ cm/s} \quad (4-7)$$

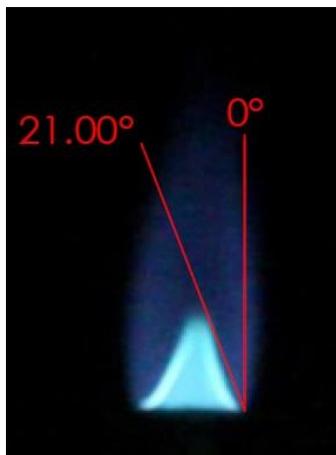
Contoh perhitungan dilakukan dengan memakai data pada variasi minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai dengan menggunakan debit udara sebesar 4 liter/menit. Nilai kecepatan reaktan yang diperoleh sebesar 137,59 cm/detik.

### 4.3.6 Contoh Perhitungan Kecepatan Api

Diketahui:

$$v_u = 137,59 \text{ cm/s}$$

$$\theta = 21^\circ \quad (4-8)$$



Gambar 4.2 Contoh perhitungan kecepatan api *premixed*

$$S_L = v_u \cdot \sin \theta$$

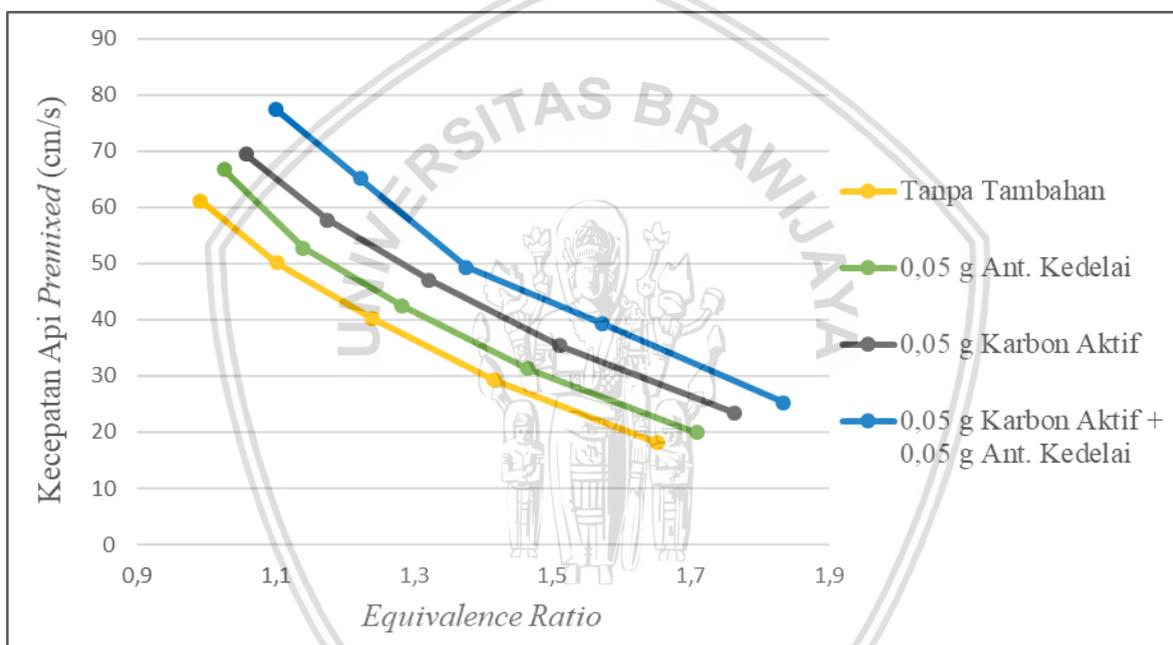
$$S_L = 137,59 \frac{\text{cm}}{\text{s}} \cdot \sin 21^\circ$$

$$S_L = 49,31 \text{ cm/s} \quad (4-9)$$

Contoh perhitungan kecepatan api  $S_L$  dilakukan menggunakan data variasi minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai pada *equivalence ratio* ( $\phi = 1,38$ ). Besar nilai kecepatan api yang diperoleh berdasarkan perhitungan diatas adalah  $S_L = 49,31 \text{ cm/s}$ .

#### 4.4 Grafik dan Pembahasan

##### 4.4.1 Grafik Pengaruh *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Api *Premixed*



Gambar 4.3 Grafik pengaruh *equivalence ratio* terhadap kecepatan api *premixed*

Gambar 4.3 merupakan grafik pengaruh *equivalence ratio* terhadap kecepatan api pembakaran *premixed* minyak biji bunga matahari dengan variasi minyak biji bunga matahari tanpa tambahan, minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif, minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai, serta minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa semua variasi mempunyai kesamaan *trend* yaitu semakin meningkatnya nilai *equivalence ratio* maka nilai kecepatan api *premixed* menjadi semakin menurun. Nilai maksimal kecepatan api pembakaran *premixed* dapat diurutkan dari yang paling tinggi ke paling rendah yaitu minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai sebesar

77,52 cm/s, diikuti dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif sebesar 69,43 cm/s, lalu dengan tambahan antioksidan kedelai sebesar 66,70 cm/s, dan terakhir tanpa tambahan sebesar 61,17 cm/s.

Kecepatan api *premixed* terlihat semakin menurun dengan meningkatnya nilai *equivalence ratio*. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya nilai *equivalence ratio* maka akan menghasilkan campuran kaya (*rich*) pada bahan bakar dimana massa alir bahan bakar lebih banyak dari massa alir udara. Nilai kecepatan api yang menurun tersebut juga terjadi akibat nilai massa alir udara yang masuk ke *mixing chamber* semakin sedikit meski massa alir bahan bakarnya tetap. Nilai debit udara berbanding terbalik dengan *equivalence ratio* tetapi berbanding lurus dengan kecepatan api *premixed*. Jadi, semakin meningkatnya nilai *equivalence ratio* maka debit udara yang digunakan semakin kecil sehingga nilai kecepatan apinya semakin berkurang.

Dari Gambar 4.3 juga dapat diamati tentang pengaruh penambahan karbon aktif pada minyak biji bunga matahari terhadap kecepatan api *premixed*. Nilai kecepatan api *premixed* pada minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif lebih tinggi dari nilai kecepatan api *premixed* minyak biji bunga matahari tanpa ada tambahan. Nilai dari kecepatan api *premixed* paling tinggi dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif ialah 69,43 cm/s dan yang paling rendah ialah 23,48 cm/s. Sedangkan nilai kecepatan api *premixed* paling tinggi tanpa ada tambahan ialah 61,17 cm/s dan yang paling rendah ialah 18,12 cm/s.

Penambahan karbon aktif berpengaruh terhadap kecepatan api *premixed* pada minyak biji bunga matahari. Hal ini disebabkan karena karbon aktif memiliki senyawa cincin heksagonal pada struktur molekulnya. Ikatan ganda pada cincin heksagonal tersebut mampu bergerak di sepanjang bidang heksagonalnya sehingga menimbulkan suatu resonansi seperti pada Gambar 2.8. Resonansi tersebut mampu menghasilkan suatu medan magnet.

Medan magnet yang dihasilkan karbon aktif mampu menarik elektron-elektron yang terdapat pada asam lemak. Penarikan tersebut mengakibatkan lintasan elektron pada asam lemak menjadi semakin menjauhi orbit awalnya. Hal tersebut akan membuat elektron asam lemak lebih mudah diambil dan ikatan antar atomnya menjadi lemah.

Kemudian terdapat interaksi lain antara asam lemak dengan karbon aktif. Karbon aktif memiliki struktur berlubang (*porous structure*) pada bentuknya. Pada ujung struktur berlubang terdapat atom karbon yang kekurangan elektron valensi. Hal tersebut mengakibatkan atom karbon tersebut cenderung menarik atom lain sehingga atom karbon pada karbon aktif menjadi lebih stabil.

Struktur berlubang tersebut akan menarik molekul-molekul hidrokarbon pada asam lemak seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 sehingga menyebabkan atom-atom karbon dan hidrogen teradsorpsi pada karbon aktif dan menyebabkan karbon aktif menjadi stabil. Selanjutnya, molekul-molekul asam lemak menjadi terputus-putus dan kehilangan elektron-elektronnya sehingga menyebabkan asam lemak menjadi bermuatan. Asam lemak yang bermuatan dan sudah terputus ikatan-ikatannya tersebut lebih mudah bereaksi sehingga mempercepat reaksi tumbukan antar molekul.

Dari Gambar 4.3 dapat dilihat juga bahwa minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai mampu meningkatkan kecepatan api *premixed* pada minyak biji bunga matahari. Nilai kecepatan api *premixed* minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai lebih tinggi daripada minyak biji bunga matahari tanpa ada tambahan meskipun lebih rendah daripada minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif. Nilai dari kecepatan api *premixed* paling tinggi dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai ialah 66,70 dan yang paling rendah ialah 19,91 cm/s.

Penambahan antioksidan kedelai memiliki pengaruh terhadap kecepatan api *premixed* pada minyak biji bunga matahari. Hal ini disebabkan karena antioksidan kedelai memiliki kandungan genistein dimana genistein tersebut mempunyai senyawa cincin heksagonal pada struktur molekulnya. Ikatan ganda pada cincin heksagonal tersebut mampu bergerak di sepanjang bidang heksagonalnya sehingga menimbulkan suatu resonansi. Resonansi yang ditimbulkan genistein mampu menghasilkan suatu medan magnet seperti pada Gambar 2.10.

Namun medan magnet yang dihasilkan genistein berbeda dengan medan magnet yang dihasilkan karbon aktif. Senyawa cincin heksagonal pada genistein memiliki rantai ikatan tambahan pada sisinya dengan OH. Dengan adanya rantai ikatan pada sisi menyebabkan resonansi tidak hanya di sepanjang struktur heksagonalnya saja melainkan juga bertambah ke ikatan pada sisi. Hal itu dikarenakan rantai ikatan pada sisi OH, oksigen memiliki 6 elektron valensi dimana satu elektron berikatan dengan atom hidrogen sedangkan satunya lagi berikatan dengan cincin sehingga terdapat 4 elektron yang bebas pada atom oksigen tersebut yang menjadikan adanya resonansi tambahan sampai keluar cincin heksagonal.

Medan magnet yang dihasilkan genistein akan mampu menarik elektron-elektron pada asam lemak. Penarikan tersebut mengakibatkan lintasan elektron pada asam lemak menjadi semakin menjauhi orbit awalnya. Hal tersebut akan membuat elektron asam lemak lebih mudah diambil dan ikatan antar atomnya menjadi melemah. Akan tetapi jarak lintasan

resonansi yang lebih besar daripada karbon aktif akan menyebabkan medan magnet yang dihasilkan genistein lebih lemah daripada karbon aktif.

Selain itu, interaksi genistein dengan asam lemak juga menghasilkan ikatan hidrogen. Hal ini dikarenakan genistein dan asam linoleat sebagai komposisi utama pada minyak biji bunga matahari memiliki penyusun yang sama berupa karbon, oksigen, dan hidrogen. Namun jumlah proton pada asam linoleat yang lebih tinggi dari genistein akan menyebabkan nilai keelektronegatifan asam linoleat lebih tinggi dari genistein. Akibatnya, atom O pada asam linoleat akan menarik atom H pada genistein. Selanjutnya, atom O pada genistein yang kekurangan elektron akan menarik atom H pada asam linoleat. Hal ini terjadi secara terus-menerus sehingga terbentuk spin hidrogen seperti pada Gambar 2.11. Dengan itu, hidrogen pada asam lemak menjadi tidak statis sehingga menjadi lebih mudah putus dari ikatan molekul asam lemak dan menjadikan asam lemak lebih mudah untuk bermuatan.

Dari Gambar 4.3 juga diketahui pengaruh penambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai terhadap kecepatan api *premixed* minyak biji bunga matahari. Penambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram mampu meningkatkan nilai kecepatan api *premixed* minyak biji bunga matahari dibandingkan dengan variasi-variasi lain. Nilai kecepatan api *premixed* paling tinggi dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai ialah 77,52 cm/s dan paling rendah ialah 25,26 cm/s.

Kecepatan api *premixed* minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai lebih tinggi daripada kecepatan api *premixed* pada variasi-variasi lain. Hal tersebut disebabkan elektron-elektron pada asam lemak akan semakin lebih menjauhi dari orbitnya dan ikatan antar atom pada asam lemak menjadi semakin renggang akibat adanya pengaruh medan magnet yang dihasilkan oleh cincin heksagonal baik pada karbon aktif maupun pada genistein pada antioksidan kedelai. Kemudian struktur asam lemak pada minyak akan juga menjadi terputus putus dan menjadi bermuatan yang disebabkan oleh gaya tarik dari struktur berlubang (*porous structure*) pada karbon aktif yang kekurangan elektron sehingga membuat karbon aktif menjadi stabil. Selanjutnya terdapat pula ikatan hidrogen antara asam linoleat dengan genistein sehingga menyebabkan *spin* hidrogen pada asam lemak tersebut dimana hidrogen menjadi tidak statis pada asam lemak dan membuat mudah terputus dari ikatan asam lemak tersebut. Hal-hal tersebut akan membuat tumbukan antar atom asam lemak menjadi lebih banyak dan menyebabkan kecepatan pembakarannya meningkat.

## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan atas hasil dan analisis penelitian tentang pengaruh penambahan karbon aktif dan antioksidan *Glycine max* (kedelai) terhadap kecepatan api pembakaran *premixed* minyak biji bunga matahari dapat diambil suatu kesimpulan bahwa penambahan karbon aktif dan antioksidan kedelai dapat meningkatkan kecepatan api pembakaran *premixed*. Nilai maksimal kecepatan api pembakaran *premixed* dapat diurutkan dari yang paling tinggi ke paling rendah yaitu minyak biji bunga matahari dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif dan 0,05 gram antioksidan kedelai sebesar 77,52 cm/s, diikuti dengan tambahan 0,05 gram karbon aktif sebesar 69,43 cm/s, lalu dengan tambahan 0,05 gram antioksidan kedelai sebesar 66,70 cm/s, dan terakhir tanpa tambahan sebesar 61,17 cm/s.

### 5.2 Saran

1. Pada penelitian selanjutnya, karbon aktif yang digunakan diharapkan berbahan lain seperti sekam padi dan batubara.
2. Pada penelitian selanjutnya, minyak nabati yang digunakan bisa memakai minyak nabati dengan jenis yang lain.
3. Penelitian tentang penambahan karbon aktif dan antioksidan kedelai diharapkan dapat dilanjutkan dengan metode pembakaran difusi.

## DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2017. *Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis, 1949-2016*. Jakarta: BPS. <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/1133>. (diakses 3 Agustus 2018).
- Dewan Energi Nasional. 2016. *Outlook Energi Indonesia 2015*. Jakarta: DEN.
- Dewan Energi Nasional. 2017. *Outlook Energi Indonesia 2016*. Jakarta: DEN.
- Gates, Bruce C. 1992. *Catalytic Chemistry*. New York: John Wiley & Sons.
- Gunstone, Frank D. 2013. *Edible Oil Processing*. Chichester: John Wiley & Sons.
- Latifah, Musarofah & Pipih. 2015. *Tumbuhan Antioksidan*. Bandung: Bandung Remaja Rosdakarya.
- Li, C., Luo, W., Xiao, Z., Yang, L., Zhang, A. & Lv, P. 2018. *Bioenergy: Principles and Technologies*. Guangzhou: Science Press.
- Priatna, Byan Arga. 2017. Pengaruh Karbon Aktif terhadap Karakteristik Pembakaran Droplet Minyak Kelapa Sawit. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Purwa, M. Lukman T.D. 2017. Pengaruh Penambahan Antioksidan terhadap Interfacial Instability Minyak Jarak pada Medan Magnet dalam Hele Shaw Cell. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Ratledge, Colin & Kristiansen, Bjørn. 2001. *Basic Biotechnology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Salunkhe, D.K., Adsule, R.N. & Chavan, J.K. 1992. *World Oilseeds*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Sayuti, Kesuma & Yenrina, Rina. 2015. *Antioksidan Alami dan Sintetik*. Padang: Andalas University Press.
- Sudibandriyo, Mahmud. 2003. A Generalized Ono-Kondo Lattice Model for High Pressure Adsorption on Carbon Adsorbents. *Ph. Dissertation*. Oklahoma: Oklahoma State University.
- Swanson, Hollie. 2016. *Flavonoids, Inflammation and Cancer*. Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.
- Tsaqif, Syihabun. 2017. Penambahan Kadar Karbon Aktif terhadap Kecepatan Api Pembakaran Premixed dengan Bahan Bakar Minyak Jarak. *Skripsi*. Tidak Dipublikasikan. Malang: Universitas Brawijaya.
- Wardana, I.N.G. 2008. *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran*. Malang: PT. DANAR WIJAYA-Brawijaya University Press.