

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan peradaban manusia tidak lepas dari perkembangan teknologi yang semakin maju dan canggih. Perkembangan teknologi maju diikuti dengan kebutuhan energi yang tinggi, salah satunya adalah minyak bumi. Kebutuhan akan minyak bumi tiap harinya terus meningkat. Keadaan seperti ini akan terus berlanjut dan bisa diperkirakan minyak bumi akan langka dan semakin mahal hal ini dikarenakan minyak bumi termasuk sumber energi yang tidak dapat diperbaharui. Kondisi ini menuntut dikembangkannya sumber energi terbarukan yang murah dan mudah didapat. Salah satu pengganti sumber energi minyak bumi adalah minyak nabati. Minyak nabati didapat dari ekstrak tumbuh-tumbuhan. Yang termasuk minyak nabati salah satunya minyak biji kapuk.

Minyak biji kapuk diperoleh dari ekstrak biji tanaman kapuk (*Ceiba pentandra*). Di dalam minyak biji kapuk, terdapat gliserol dan beberapa rangkaian trigliserida asam lemak. Asam lemak adalah rantai hidrokarbon lurus dan panjang yang berisi 8 hingga 24 rantai karbon, dimana salah satu ujungnya adalah COOH atau asam *Carbocyclic*. Menurut Susilowati (2006), asam lemak dalam minyak biji kapuk termasuk asam lemak tidak jenuh sekitar 71,95%, lebih banyak daripada minyak kelapa. Hal ini membuat minyak biji kapuk tidak baik digunakan untuk minyak makanan karena mudah tengik. Dengan Adanya asam lemak dan gliserol, minyak biji kapuk berpotensi digunakan dalam pembakaran. Kapuk merupakan salah satu tanaman yang berpotensi menghasilkan minyak di Indonesia. Setiap buah kapuk terdapat sekitar 26% biji. Biji kapuk mengandung sekitar 18-25% minyak. Setiap tahun rata – rata di Indonesia tersedia biji kapuk sebanyak 114.400 ton sehingga bisa menghasilkan sekitar 251.200 ton minyak biji kapuk setiap tahunnya. Sehingga minyak biji kapuk di Indonesia berpotensi sebagai pengganti minyak bumi untuk mengurangi impor minyak diesel yang semakin meningkat tiap tahun (Balitro,2003). Dalam penelitian yang dilakukan oleh Asnawati (2014) pembuatan biodiesel dengan minyak biji kapuk melalui reaksi

transesterifikasi enzimatis diperoleh rendemen biodiesel 24 ml dari 25 ml minyak biji kapuk atau sekitar 96%.

Dalam pembakaran terdapat beberapa metode salah satunya adalah metode *premixed*. Pembakaran dengan metode *premixed* lebih menguntungkan dari metode konvensional karena dapat mengurangi emisi dari nitrogen oksida (NO_x) dari hasil pembakarannya. Suatu pembakaran memerlukan pengontrolan dalam prosesnya. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi energi, peningkatan nilai ekonomis. Penggunaan magnet merupakan salah satu metode yang cukup menjanjikan. Elektron dalam molekul dipengaruhi oleh medan magnet sehingga meninggalkan inti atom dan mengorbit di medan magnet (Wardana, 2008).

Berkenaan dengan penelitian sebelumnya, menurut Harendra (2014), yang meneliti tentang medan magnet mempengaruhi kecepatan pembakaran api *premixed* minyak jagung. Pada penelitiannya menghasilkan kecepatan pembakaran semakin turun pada campuran miskin sedangkan kecepatan pembakaran semakin meningkat pada campuran kaya. Dan menurut Santoso (2011), biji kapuk harganya murah, mudah diperoleh dan mengandung 40% berat minyak sehingga biji kapuk sangat berpotensi digunakan sebagai bahan pembuatan biodiesel. Dan untuk menabuh khasanah ilmu pengetahuan beberapa hal tersebut menjadi acuan dasar untuk melakukan penelitian tentang pengaruh medan magnet terhadap kecepatan pembakaran *premixed* minyak biji kapuk.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah diuraikan dapat ditarik rumusan masalah sebagai berikut : bagaimana pengaruh medan magnet terhadap kecepatan pembakaran *premix* campuran udara dan uap minyak biji kapuk ?

1.3 Batasan Masalah

Berikut batasan masalah yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah :

1. Temperatur pada uap minyak biji kapuk konstan ($160\text{ }^{\circ}\text{C}$)
2. Massa jenis udara yang digunakan pada kondisi 1 atm suhu $28\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Debit aliran LPG dijaga dan panas api dianggap tidak ke lingkungan sehingga massa alir bahan bakar konstan.

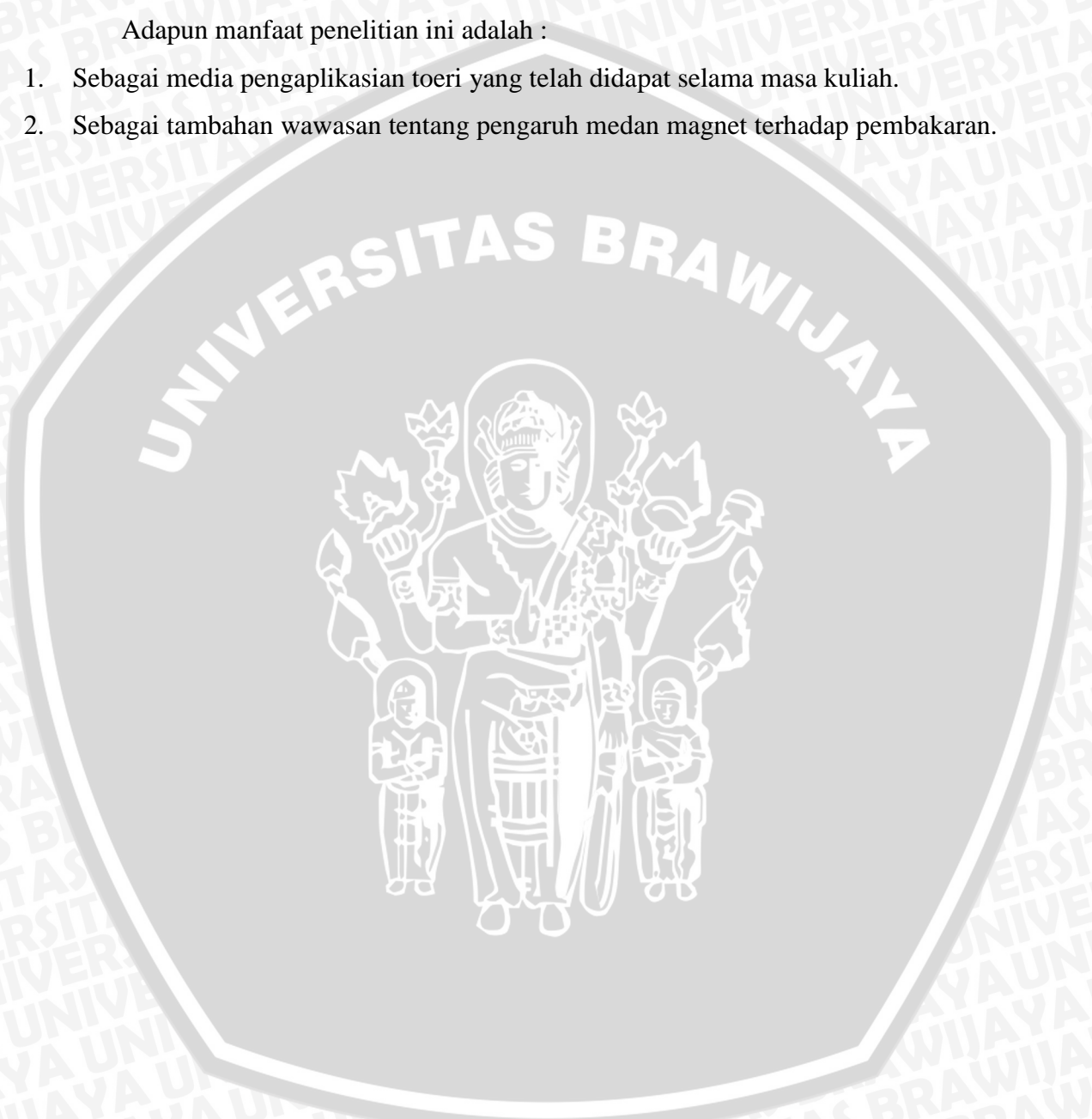
1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh medan magnet terhadap kecepatan pembakaran *premix* campuran udara dan uap minyak biji kapuk.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini adalah :

1. Sebagai media pengaplikasian teori yang telah didapat selama masa kuliah.
2. Sebagai tambahan wawasan tentang pengaruh medan magnet terhadap pembakaran.





BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Sebelumnya

Pada penelitian sebelumnya, menurut Ferdi (2012), menghasilkan kesimpulan bahwa medan magnet dapat mempengaruhi bahan bakar sehingga menghasilkan resonansi partikel-partikel bahan bakar untuk memperoleh efisiensi pembakaran yang lebih baik.

Menurut Swiminathan (2005), penelitiannya menghasilkan kesimpulan bahwa aplikasi medan magnet dapat mempengaruhi struktur api, panjang api juga berkurang seiring berkurangnya gradien medan magnet secara visual. Pada kondisi yang sama temperatur nyala api meningkat. Aplikasi dari gradien magnet mengindikasikan bahwa medan magnet dapat menginduksi oksigen dan juga dapat dijadikan sebagai kontrol pembakaran.

Menurut Seno (2010), penelitiannya menghasilkan minyak biodiesel diperoleh dari minyak kapuk yang direaksikan dengan methanol serta katalis NaOH. Keberhasilan pembuatan biodiesel dipengaruhi oleh putaran pengadukan, temperatur pemanasan dan kadar katalis serta kandungan air ketika pembuatan sodium metoksid. Konversi biodiesel kapuk akan optimum pada komposisi 80% minyak kapuk, 20% methanol dan 2 gram NaOH tiap 100 ml methanol. Dan karakteristik bahan bakar biodiesel kapuk randu relatif berbeda dengan solar terutama pada kekentalan. Biodiesel kapuk berpotensi menjadi bahan bakar mesin diesel dengan memperbaiki kualitas kekentalan.

Dan menurut Harendra (2014), meneliti penggunaan minyak jagung sebagai bahan bakarnya. Dengan bervariasi medan magnet sebesar 0 mT (tanpa medan magnet); 30,1 mT; 10,4 mT; 29,8 mT. Dari hasil penelitian diketahui bahwa medan magnet dapat mempengaruhi kecepatan pembakaran api *premixed* minyak jagung pada campuran miskin bahan bakar, dimana kecepatan pembakaran lebih kecil daripada tanpa pengaruh medan magnet. Sedangkan pada campuran kaya bahan bakar, dimana kecepatan pembakaran lebih besar daripada tanpa pengaruh medan magnet.

2.2 Pembakaran

Menurut Wardana (2008), Pembakaran adalah proses lepasnya ikatan-ikatan kimia lemah bahan bakar akibat pemberian energi tertentu dari luar menjadi atom-atom yang bermuatan dan aktif kemudian bereaksi dengan oksigen membentuk molekul-molekul yang kuat yang mampu menghasilkan cahaya dan panas dalam jumlah yang besar. Menurut Turns pembakaran merupakan reaksi kimia oksigen yang sangat cepat antara oksigen dan bahan bakar yang dapat terbakar dengan bantuan energi dari luar (energi aktivasi) disertai dengan timbulnya cahaya (*flame*) dan menghasilkan kalor (Turns, 1996:12). Seperti terlihat pada gambar 2.1, ada tiga komponen yang diperlukan dalam pembakaran yaitu :

1. Bahan bakar
2. Oksigen
3. Panas (energi aktivasi)



Gambar 2.1 Proses Pembakaran
Sumber : Wardana (2008:3)

Pada saat pembakaran terdapat dua peristiwa utama yang terjadi :

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

Berdasarkan pada peristiwa di atas, ada dua hal yang sangat penting yang harus dipenuhi agar proses pembakaran bisa berlangsung, yaitu : kesetimbangan massa yang

disebut stoikiometri dan kesetimbangan energi yang diterapkan ketika proses pembakaran berlangsung diturunkan dari prinsip-prinsip termokimia (Wardana, 2008:55)

Berdasarkan cara reaktan (bahan bakar dan udara) terbakar di zona reaksi, pembakaran dibedakan menjadi dua jenis yaitu :

1. Pembakaran difusi, dimana bahan bakar dan udara (reaktan) tidak bercampur sebelum terbakar.
2. Pembakaran *premixed*, dimana bahan bakar dan udara (reaktan) sudah bercampur terlebih dahulu sebelum masuk zona reaksi.

2.3 Pembakaran *Premixed Laminer*

Pembakaran pada umumnya ditentukan oleh tiga karakter, yaitu pertama ditentukan cara reaktan terbakar di dalam zona reaksi, kedua ditentukan oleh perilaku aliran aerodinamika dan ketiga ditentukan oleh keadaan fisik awal dari bahan bakar, apakah terbentuk padat, cair atau gas. Untuk karakter pertama jika reaktan (bahan bakar dan udara) bercampur sebelum masuk ke zona reaksi maka pembakarannya disebut pembakaran *premixed*. Sedangkan apabila reaktan tidak bercampur sebelum terbakar maka pembakarannya termasuk pembakaran difusi karena pencampuran bahan bakar dan udara yang berlangsung di zona reaksi adalah akibat difusi molekul (Wardana, 2008:149).

Yang kedua ditentukan oleh perilaku aerodinamika reaktan saat melintasi zona reaksi berupa aliran laminar atau aliran turbulen. Pada pembakaran laminar semua proses pencampuran serta penjalaran reaktan maupun panas terjadi secara molekuler. Sedangkan pada pembakaran turbulen semua proses baik proses pencampuran dan proses penjalaran dibantu oleh gerakan akibat pusaran-pusaran aliran turbulen.

Yang ketiga ditentukan oleh bagaimana keadaan fisik awal bahan bakar, berupa gas, cair atau padat. Untuk bentuk pembakaran partikel padat biasanya terjadi pada pembakaran batu bara di udara. Untuk pembakaran cair terjadi pada motor bensin, diesel, dan sebagainya. Dan untuk pembakaran gas terjadi seperti pada pembakaran gas LPG.

Dalam pembakaran *premixed* terdapat dua zona gelombang yaitu

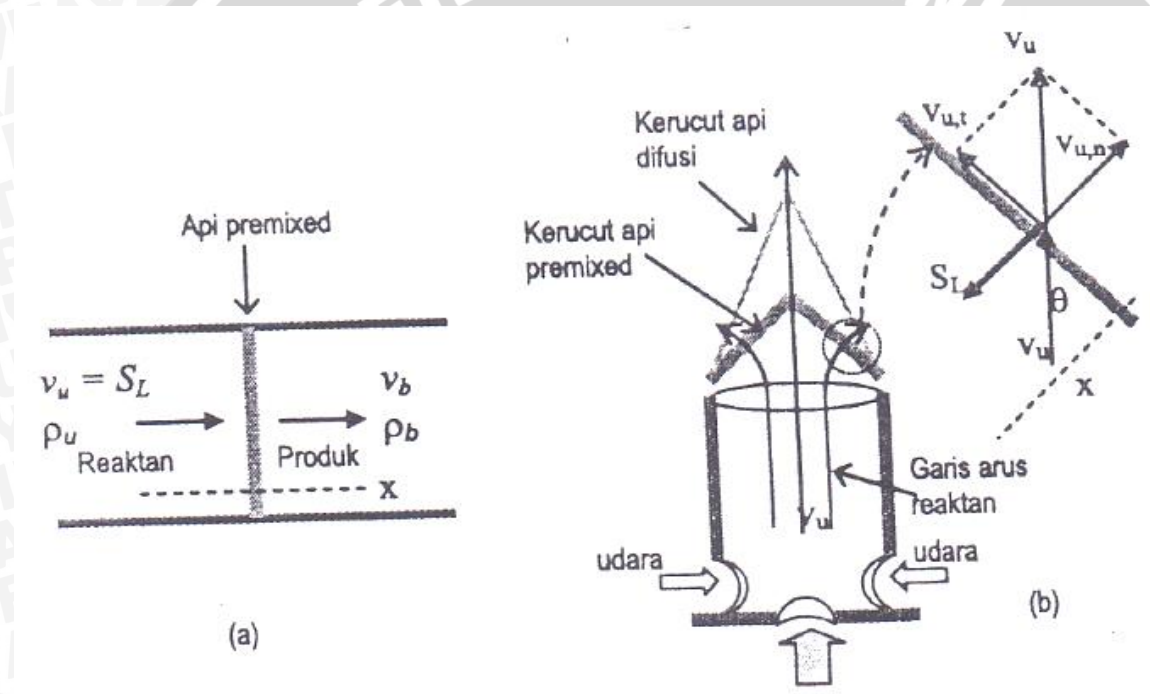
1. Zona pemanasan awal (*preheat zone*) daerah dimana sedikit panas dan masih banyak bahan bakar yang belum terbakar (*unburn fuel*)

2. Zona reaksi (*reaction zone*) daerah dimana sebagian besar energi kimia dilepaskan.

2.4 Api

Jika dilihat dari metode pencampuran bahan bakar dengan udara, api dapat digolongkan kedalam dua jenis yaitu api premix dan api difusi. Api premixed adalah api yang terbentuk dimana bahan bakar dan udara bercampur sebelum terjadinya proses pembakaran. Sedangkan api difusi adalah api yang terbentuk dimana bahan bakar dan udara bercampur ketika terjadi proses pembakaran.

Bentuk yang paling khas dari api *premixed laminar* adalah bunsen dan api merambat di dalam tabung pembakar. Berikut adalah gambar yang menjelaskan tentang struktur api *premixed* :



Gambar 2.2 Struktur Api *Premixed*
Sumber : Wardana (2008:152)

Vektor kecepatan rambatan api *premixed* (S_L) adalah kecepatan dimana sebuah laminer gelombang pembakaran merambat dibandingkan dengan campuran gas yang tidak terbakar di depan itu. S_L di dalam tabung (gambar 2.2) sejajar dengan vektor kecepatan reaktan (v_u) dan vektor kecepatan produk (v_b). Pada api *premixed* bunsen, garis arus reaktan membelok di dekat api akibat perubahan densitas gas dan mengalir ke luar tegak lurus dengan permukaan api. Densitas gas reaktan menurun sekitar 10 kali akibat suhu api yang mencapai sekitar 3000 K. Karena sifat fluida yang cenderung mengalir ke kerapatan lebih rendah maka gas berbelok menuju api secara tegak lurus.

Dengan demikian maka penguraian komponen vektor gas reaktan (v_u) pada api adalah seperti pada gambar 2.2 (b)

Untuk api yang stasioner pada api bunsen, kecepatan api sama dengan komponen kecepatan gas reaktan pada tiap lokasi dengan demikian

$$S_L = v_u \sin\theta \quad (2-1)$$

Sumber : Wardana (2008:154)

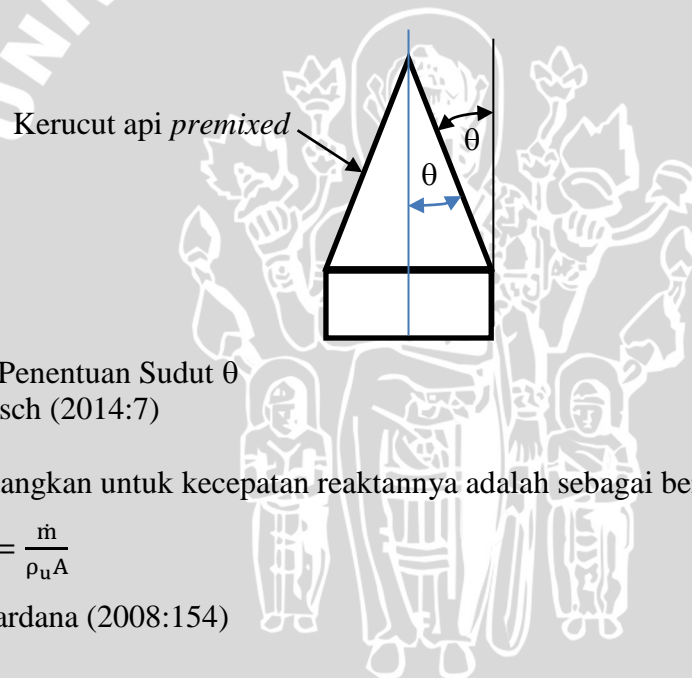
Dimana :

S_L = kecepatan api *premixed* (cm/s)

V_u = kecepatan reaktan (cm/s)

θ = sudut antara api dengan sumbu nosel

Sudut θ didapatkan dari garis arus reaktan (garis lurus vertikal) dengan garis kemiringan api. Berikut gambar cara penentuan sudut θ :



Gambar 2.3 Penentuan Sudut θ

Sumber : Pitsch (2014:7)

Sedangkan untuk kecepatan reaktannya adalah sebagai berikut

$$v_u = \frac{\dot{m}}{\rho_u A} \quad (2-2)$$

Sumber : Wardana (2008:154)

Dimana :

\dot{m} = massa aliran reaktan (g/s)

ρ_u = densitas reaktan (g/cm³)

A = luas penampang lintang nosel (cm²)

Selain cara di atas ada cara lain untuk menghitung kecepatan api *premixed* adalah dengan melakukan eksperimen pembakaran reaktan menggunakan hukum kekekalan massa yang dilakukan dalam tabung. Dari hukum kekekalan massa diketahui massa alir reaktan sama dengan massa alir produk dan besarnya tetap.

$$\dot{m} = \dot{m} = \text{tetap} \quad (2-3)$$

$$\rho_u A v_u = \rho_b A v_b$$

Sumber : Wardana (2008:154)

Dimana

$$\rho_b = \text{densitas produk (g/cm}^3\text{)}$$

$$v_b = \text{kecepatan produk (cm/s)}$$

Karena luas penampang tabung sama sebesar A maka

$$v_u = v_b \left(\frac{\rho_b}{\rho_u} \right) \quad (2-4)$$

Sumber : Wardana (2008:154)

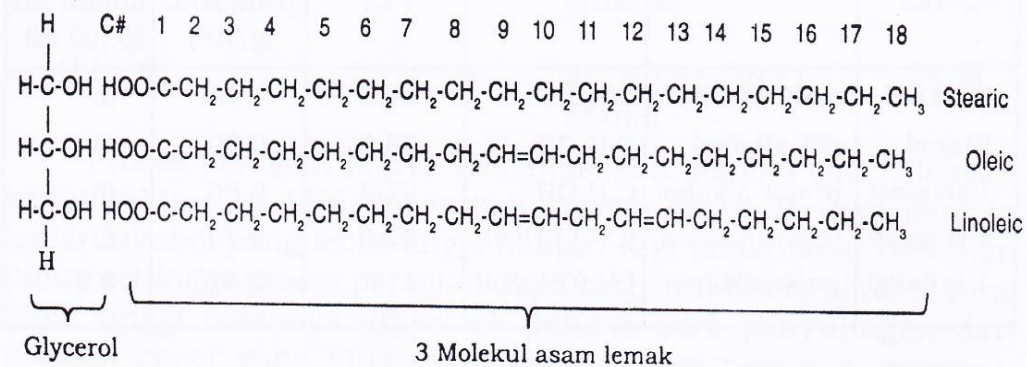
Jika api *premixed* di dalam tabung stasioner (diam), itu berarti bahwa kecepatan api laminar sama dengan kecepatan reaktan, $S_L = v_u$ maka

$$S_L = v_b \left(\frac{\rho_b}{\rho_u} \right) \quad (2-5)$$

Sumber : Wardana (2008:153)

2.4 Bahan Bakar Nabati

Bahan bakar nabati tersusun dari molekul-molekul *triglyceride* yang terdiri dari *glycerol* yakni alkohol dengan rantai 3 karbon sebagai tulang punggung (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. Salah satu ujung molekul asam lemak berisi kelompok asam *carboxylic* (COOH). Dari kelompok sama *carbocyclic* ini bisa dihitung jumlah atom karbon. Ujung molekul lainnya adalah *methyl* atau omega. (Wardana, 2008:38). Seperti gambar 2.4



Gambar 2.4 susunan ikatan molekul *trygliceride*

Sumber : Wardana, (2008:38)

Asam lemak dari minyak nabati termasuk asam lemak tak jenuh. Biasanya terdapat satu atau lebih ikatan rangkap diantara atom karbonnya. Tetapi asam lemak pada minyak sawit termasuk asam lemak jenuh. Kandungan senyawa asam lemak tak jenuh meningkatkan performansi biodiesel pada temperatur rendah karena senyawa ini memiliki titik leleh (*melting point*) yang lebih rendah (Knothe, 2005).

Sifat fisik untuk beberapa jenis minyak nabati ditampilkan pada tabel 2.1. Nampak bahwa berbagai jenis minyak nabati hampir memiliki sifat fisik yang sama. Hanya minyak sawit memiliki titik alir (leleh) yang relatif tinggi yakni sekitar 12^o C. Artinya hanya cocok digunakan untuk bahan bakar di daerah tropis. Sifat fisik beberapa jenis minyak nabati dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.1 Sifat Fisik Beberapa Jenis Minyak Nabati

Sifat Fisik	Minyak biji lobak	Minyak bunga matahari	Minyak kedelai	Minyak sawit
Densitas (gr/ml)	0,871	0,873	0,870	0,842
Viscositas (Pa.s)	4,43	4,30	4,12	5,15
Titik nyala (°C)	178	182	18	179
Titik alir (°C)	-13	-5	-2	12
Titik kabut (°C)	-4	1	1	18

Sumber : Wardana (2008:42)

2.5 Minyak Biji Kapuk

Biji kapuk berasal dari tanaman randu yang banyak tersebar di daerah di Indonesia. Tetapi selama ini kebanyakan masyarakat hanya memanfaatkan batang pohon randu digunakan kerajinan dan buahnya, kapuk yang digunakan untuk bantal ataupun kasur. Pohon randu umumnya tumbuh hingga setinggi sekitar 60-70 m dan biasanya diameter batangnya mencapai 3 m. Pohon ini banyak ditemukan di Asia, terutama di Indonesia di pulau Jawa, Malaysia, dan Filipina. Di Asia kapuk banyak dibudidayakan. Di Indonesia tanaman ini dikembangkan oleh rakyat, perkebunan swasta dan perkebunan pemerintah (BUMN). Areal seluruhnya saat ini mencapai 250.500 hektar dengan produksi serat kapuk mencapai 84.700 per kg (Rina, 2014). Selain batang pohon dan serat kapuk ternyata biji kapuk dapat digunakan sebagai minyak nabati.

Minyak biji kapuk adalah minyak hasil dari ekstrak biji kapuk. Minyak biji kapuk mengandung asam lemak tak jenuh sekitar 71,95% lebih tinggi dibandingkan dengan minyak kelapa. Hal ini menyebabkan minyak biji kapuk mudah tengik, sehingga

kurang baik untuk dikembangkan sebagai minyak makanan. Namun minyak biji kapuk berpotensi untuk dijadikan substitusi minyak diesel. Dengan melihat kandungan minyak biji kapuk tersebut, maka minyak biji kapuk tersebut dapat diambil sebagai bahan untuk pembuatan metil ester yang merupakan bahan yang sangat potensial sebagai pengganti bahan bakar diesel, melalui reaksi transesterifikasi (Susilowati, 2006).

Biji kapuk sangat berpotensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel karena kandungan biji kapuk memiliki minyak sebesar 25,67% sampai 43,64%, mudah didapat, dan harganya relatif murah. Kandungan utama yang konsentrasinya cukup besar adalah kandungan protein dan *gossypol* (pigmen warna biji kapuk). Minyak yang didapat dari biji kapuk ini memiliki kandungan protein 36 hingga 44 persen. Minyak biji kapuk randu (*Ceiba pentandra*) merupakan salah satu jenis minyak nabati. Minyak nabati tersusun dari unsur-unsur C, H, O. Minyak biji kapuk randu merupakan campuran *triesther* gliserol dan asam lemak, yang secara umum disebut trigliserol. Asam lemak gliseridnya memiliki 15-20% asam lemak jenuh dan 80-85% asam lemak tak jenuh (Murni, 2012). Adanya asam lemak dan gliserol ini akan mempengaruhi karakteristik api dan proses reaksi pembakaran minyak kapuk.



Tabel 2.2 Komposisi Minyak Biji Kapuk

No.	Persen	Jenis Asam Lemak	Rumus Kimia	Mr	Mol
1	0,176	Asam 9-heksadekanoat	$C_{16}H_{30}O_2$	254	0,0000069
2	25	Asam palmitat	$C_{16}H_{32}O_2$	256	0,0009674
3	0,377	Asam 9,12-linoleat	$C_{17}H_{32}O_2$	268	0,0000141
4	0,556	Asam 2-heksil siklopropanoktanoat	$C_{15}H_{26}O_2$	238	0,0000234
5	0,611	Asam dekstro kamforat	$C_{10}H_{16}O_4$	200	0,0000306
6	35	Asam 8,11-oktadekadienoat	$C_{18}H_{32}O_2$	280	0,0012538
7	26	Asam eleidat	$C_{18}H_{34}O_2$	282	0,0009116
8	0,649	Asam stearat	$C_{18}H_{36}O_2$	284	0,0000229
9	1,584	Asam malvalat	$C_{18}H_{34}O_2$	282	0,0000562
10	2,078	Asam 2-oktil siklopropanoktanoat	$C_{17}H_{30}O_2$	266	0,0000781
11	0,334	Asam 2-oktilsiklopropena-1-oktanoat	$C_{17}H_{29}O_2$	265	0,0000126
12	0,805	Asam arakhidat	$C_{20}H_{40}O_2$	312	0,0000258
13	0,529	Asam dokosanoat	$C_{22}H_{44}O_2$	340	0,0000156
14	0,168	Asam tetrakosanoat	$C_{24}H_{48}O_2$	368	0,0000046

Sumber : Musa (2014)

2.6 Rasio Udara Bahan Bakar (AFR)

Rasio udara/bahan bakar atau *air/fuel ratio* (AFR) adalah perbandingan udara dan bahan bakar dalam proses pembakaran dan merupakan parameter yang penting dalam pembakaran. Memiliki persamaan dimana N adalah jumlah mol sedangkan M adalah massa molekul. Hal ini sesuai dengan rumus berikut :

$$(AFR)_{stoic} = \left(\frac{N_{udara}}{N_{bahan\ bakar}} \right)_{stoic} \quad (2-6)$$

$$(AFR)_{stoic} = \left(\frac{M_{udara}}{M_{bahan\ bakar}} \right)_{stoic} \quad (2-7)$$

Sumber : Wardana (2008:58)

Dimana :

N = jumlah mol

M = jumlah massa

Penggunaan massa molar langsung merupakan cara lain dalam menghitung perbandingan udara dan bahan bakar dalam reaksi pembakaran. Menurut Avogadro, setiap satu gram zat apa saja mengandung $6,022 \times 10^{23}$ sma (satuan massa atom). Angka $6,022 \times 10^{23}$ dikatakan bilangan Avogadro. Ia mengungkapkan bahwa volume gas yang sama punya jumlah molekul yang sama dan biasanya dinyatakan dalam gram ataupun kilogram.

Atom-atom yang biasanya terlihat dalam pembakaran bahan bakar hidrokarbon dan udara adalah atom C, H, O₂, dan N₂. Massa molarnya dapat diketahui dari tabel berkala unsur sebagai berikut :

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 ₂	32	32
N ₂	28,02	28,02

Sumber : Wardana (2008:59)

2.7 Equivalence ratio

Equivalence ratio merupakan perbandingan antara rasio campuran bahan bakar dan udara stoikiometri dengan rasio campuran bahan bakar dan udara aktual. Dan dirumuskan sebagai berikut :

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stokio}}{(AFR)_{aktual}} \quad (2-8)$$

Sumber : Wardana (2008:59)

Biasanya *Equivalence ratio* digunakan untuk menentukan campuran udara-bahan bakar termasuk campuran kaya, miskin atau stokiometri.

- $\Phi > 1$ termasuk campuran kaya, terdapat kelebihan bahan bakar.
- $\Phi = 1$ termasuk campuran bahan udara-bahan bakar adalah stoikiometrik (pembakaran sempurna).
- $\Phi < 1$ termasuk campuran miskin, dimana kekurangan bahan bakar.

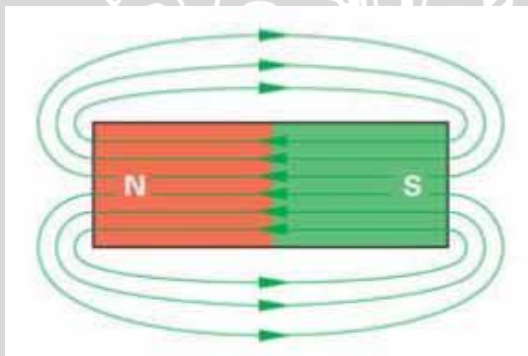
Equivalence ratio sangat berpengaruh terhadap kecepatan rambat api. Kecepatan rambat api tercepat terjadi pada $\Phi = 1$. Pada campuran miskin ($\Phi < 1$) dan campuran kaya ($\Phi > 1$) kecepatan rambat api lebih rendah.

Dalam penelitian kali ini untuk perhitungan *equivalence ratio* dari pembakaran minyak biji kapuk menggunakan bukaan udara 1,5 l/min; 2 l/min; 2,5 l/m; 3 l/min; 3,5 l/m.

2.8 Medan Magnet

Studi tentang magnet berkembang sejak pengamatan bahwa batu-batu tertentu (magnetit) dapat menarik potongan besi kecil-kecil. Fenomena ini berasal dari daerah Asia Kecil dimana batu-batu itu ditemukan yaitu Magnesia yang menjadi asal kata magnet. Dalam kehidupan sehari-hari magnet digunakan sebagai bel listrik, telepon, dinamo, kompas yang semuanya menggunakan magnet sebagai bahannya.

Medan magnet merupakan daerah disekitar magnet yang masih merasakan adanya gaya magnet. Jika suatu ruangan yang kosong kemudian diletakkan sebuah magnet maka perubahan yang terjadi dalam ruangan yaitu setiap titik dalam ruangan memiliki medan magnet. Kuat medan magnet tergantung dari jarak yang diberikan bila jarak semakin jauh dari sumber maka kuat medan magnet akan melemah. Medan magnet yang paling kuat berada pada ujung-ujung kutub magnet. Hal ini dikarenakan garis gaya medan magnet membentuk lintasan tertutup dari kutub utara ke kutub selatan sehingga ketika garis gaya medan magnet berada berkumpul di kutub selatan membuat medan magnet di kutub selatan kuat begitu juga di kutub utara.



Gambar 2.5 Garis Gaya Medan Magnet
Sumber : Sudiby (2008: 204)

Sifat yang dipengaruhi oleh adanya medan magnet yang diakibatkan oleh adanya elektron yang tidak berpasangan disebut paramagnetik. Dan beberapa contoh yang bersifat paramagnetik adalah aluminium, platina, oksigen, sulfur tembaga.

Magnet neodymium merupakan magnet tetap yang paling kuat. Magnet neodymium (juga dikenal sebagai NdFeB, NIB atau magnet Neo) merupakan sejenis magnet tanah jarang, terbuat dari campuran logam neodymium. Tetragonal $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$

memiliki struktur kristal yang sangat tinggi uniaksial anisotropi magnetocrystalline (HA ~ 7 teslas). Senyawa ini memberikan potensi untuk memiliki koersivitas yaitu ketahanan mengalami kerusakan magnetik (Sutomo, 2012).



Gambar 2.6 Magnet Neodymium
Sumber : dokumentasi pribadi

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hidayatulloh (2015), “pengaruh medan magnet terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang pada motor diesel dengan menggunakan bahan bakar biodiesel” didapat kesimpulan bahwa konsumsi bahan bakar mengalami penurunan saat menggunakan magnet permanen pada putaran 800 rpm sebesar 185 ml berbeda dengan tanpa magnet dengan konsumsi bahan bakar tertinggi pada putaran 800 rpm adalah 210 ml.

2.9 Hipotesis

Semakin kuat medan magnet maka sudut θ (sudut antara api dengan sumbu nosel) pada campuran kaya akan semakin besar sehingga kecepatan pembakaran api *premixed* semakin tinggi. Medan magnet juga menarik oksigen (O_2) pada campuran miskin sehingga semakin kuat medan magnet membuat sudut θ semakin kecil dan kecepatan pembakaran api *premixed* semakin kecil.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen nyata yaitu dengan melakukan pengamatan secara langsung untuk memperoleh data sebab akibat melalui eksperimen guna mendapatkan data empiris yang secara langsung digunakan ke obyek yang akan diteliti. Dengan cara ini akan diuji pengaruh gradient medan magnet terhadap kecepatan pembakaran api *premix* minyak biji kapuk.

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental dalam sebuah peralatan yang ditunjukkan secara skematis yang ditunjukkan pada gambar 3.1. Uap minyak di campur dengan udara dari kompresor dalam tabung *premix*. Campuran tersebut akan mengalir ke nosel untuk dinyalakan dan membentuk api dengan pengaruh medan magnet yang berasal dari magnet terdapat pada sisi nosel.

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Motor Bakar Teknik Mesin Universitas Brawijaya, pada bulan Agustus 2015 sampai September 2015.

3.2 Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga macam, diantaranya adalah:

1. Variabel Bebas

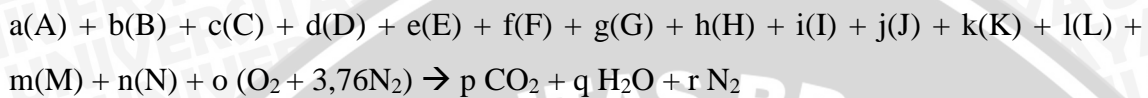
Variabel bebas pada penelitian ini adalah variasi kekuatan medan magnet dan AFR (*Air Fuel Ratio*).

- Kekuatan medan magnet (gambar 3.6) :
 - Tanpa medan magnet 0 mT
 - Pada titik A 30,1 mT
 - Pada titik B 1,2 mT
 - Pada titik C 38,3 mT
- Variasi AFR yang digunakan:
 - (*Equivalence ratio* = 1,379)

- (Equivalence ratio = 0,92)
- (Equivalence ratio = 0,69)
- (Equivalence ratio = 0,552)
- (Equivalence ratio = 0,46)

Contoh perhitungan penentuan variasi AFR

Perhitungan stoikometri untuk minyak biji kapuk dengan asumsi pembakaran 100 gram bahan bakar:



a(A)	= 0,0000069 C ₁₆ H ₃₀ O ₂	= Asam 9-heksadekanoat
b(B)	= 0,0009674 C ₁₆ H ₃₂ O ₂	= Asam palmitat
c(C)	= 0,0000141 C ₁₇ H ₃₂ O ₂	= Asam 9,12-linoleat
d(D)	= 0,0000234 C ₁₅ H ₂₆ O ₂	= Asam 2-heksil siklopropanoktanoat
e(E)	= 0,0000306 C ₁₀ H ₁₆ O ₄	= Asam dekstro kamforat
f(F)	= 0,0012538 C ₁₈ H ₃₂ O ₂	= Asam 8,11-oktadekadienoat
g(G)	= 0,0009116 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	= Asam eleidat
h(H)	= 0,0000229 C ₁₈ H ₃₆ O ₂	= Asam stearat
i(I)	= 0,0000562 C ₁₈ H ₃₄ O ₂	= Asam malvalat
j(J)	= 0,0000781 C ₁₇ H ₃₀ O ₂	= Asam 2-oktil siklopropanoktanoat
k(K)	= 0,0000126 C ₁₇ H ₂₉ O ₂	= Asam 2-oktilsiklopropena-1-oktanoat
l(L)	= 0,0000258 C ₂₀ H ₄₀ O ₂	= Asam arakhidat
m(M)	= 0,0000156 C ₂₂ H ₄₄ O ₂	= Asam dokosanoat
n(N)	= 0,0000046 C ₂₄ H ₄₈ O ₂	= Asam tetrakosanoat
o	= 8,412187	= koefisien mol udara
p	= 5,965927	= koefisien mol CO ₂
q	= 5,586454	= koefisien mol H ₂ O
r	= 31,62982	= koefisien mol N ₂
massa udara	= 8,412187 (Mr O ₂ + 3,76 N ₂)	
	= 8,412187 (16 x 2 + 3,76 x 14 x 2)	
	= 1154,825 gram	
Massa bahan bakar	= 100 gram	

Jadi AFR stoikiometri minyak biji kapuk = $\left(\frac{1154,825}{100}\right) = 11.5483 \frac{\text{gram udara}}{\text{gram b.bakar}}$

Sedangkan untuk perhitungan AFR aktual pembakaran minyak biji kapuk menggunakan bukaan udara 1,5 l/min; 2 l/min; 2,5 l/m; 3 l/min; 3,5 l/m; adalah sebagai berikut.

Contoh perhitungan untuk bukaan 1,5 l/m :

$$AFR = \frac{Q_{\text{udara}} \times \rho_{\text{udara}}}{\dot{m}_{\text{b.bakar}}}$$

Q_{udara} = Debit aliran udara (liter/menit)

ρ_{udara} = Massa jenis udara pada 28⁰ C dan 1 atm = 1,172 kg/m³

$\dot{m}_{\text{b.bakar}}$ = Massa alir bahan bakar (kg/menit) 0.00014

$$AFR_{\text{aktual}} = \frac{1,5 \frac{\text{liter}}{\text{menit}} \times 1,172 \text{ kg/m}^3}{0,00014 \text{ kg/menit}}$$

$$= \frac{1,5 \times 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} \times 1,172 \text{ kg/m}^3}{0,00014 \text{ kg/menit}} = 12.55714 \frac{\text{kg udara}}{\text{kg b.bakar}}$$

Contoh perhitungan *equivalence ratio* pada bukaan 1,5 l/min :

$$\begin{aligned} \Phi &= \frac{(AFR)_{\text{stokio}}}{(AFR)_{\text{aktual}}} \\ &= \frac{11.5483}{12.55714} \\ &= 0.92 \end{aligned}$$

Tabel 3.1 Bukaan udara, AFR dan *Equivalence ratio*

No	Bukaan Udara (liter/min)	AFR aktual	AFR Stoikiometri	<i>Equivalence ratio</i> (Φ)
1	1	8.371	11,548	1,379
2	1,5	12.557		0,92
3	2	16.743		0,69
4	2,5	20.929		0,552
5	3	25.114		0,46

2. Variabel Terkontrol

Dalam penelitian ini variabel yang dijaga tetap adalah dimensi *burner*, debit LPG ke kompor, dan Debit minyak biji kapuk.

3. Variabel Terikat

Variabel

I terikat pada penelitian ini adalah kecepatan pembakaran.

3.3 Skema Penelitian Secara Umum

- Penelitian tentang api *premixed* dari bahan bakar uap minyak biji kapuk yang dipengaruhi oleh medan magnet dengan alat utamanya *burner*, tabung *premixed*, *holder* dan magnet, kamera, *flowmeter* dan kompresor udara.
- Gas LPG diatur debit alirannya menggunakan *flowmeter* LPG, lalu dialirkan ke kompor gas. Api dari kompor gas tersebut digunakan untuk memanaskan ketel berisi minyak biji kapuk.
- Ketel, dan *burner* dan tabung *premixed* dirangkai menjadi satu untuk mengalirkan uap minyak biji kapuk ke ujung *burner*. Ketel yang dipanaskan oleh kompor gas akan menguapkan minyak biji kapuk. Uap minyak biji kapuk tersebut akan mengalir ke atas menuju tabung *premixed* untuk selanjutnya dicampur dengan udara dari kompresor.
- Udara untuk campuran bahan bakar disini diperoleh dari kompresor udara lalu debit alirannya diatur oleh *flowmeter* udara untuk memperoleh AFR yang berbeda-beda.
- Magnet disini diletakkan di sisi kiri dan kanan dari *burner*, dengan kata lain *burner* diapit oleh kedua magnet. Peletakan magnet akan berbeda sebanyak 3 titik untuk aplikasi kuat medan magnet yang berbeda-beda. Titik pertama adalah letak *burner* sedikit di bawah ujung atas magnet, titik kedua adalah letak *burner* di tengah kedua magnet, dan titik ketiga adalah letak *burner* sedikit di atas ujung bawah magnet.
- Kamera diletakkan di depan *burner* untuk mendapatkan gambar yang akan diolah sebagai data. Untuk pengambilan data dilakukan pengambilan data selama 10 detik. Setelah diperoleh data berupa file video diubah menjadi gambar dengan format jpeg sebanyak 100 gambar. Dari gambar tersebut diambil 5

secara acak sebagai data untuk diolah menggunakan *coreldraw x5*. Visualisasi gambar api tersebut diukur sudut apinya.

3.4 Peralatan Penelitian

1. Erlenmeyer

Alat ini digunakan sebagai tempat memanaskan bahan bakar minyak biji kapuk sampai mencapai fase uap (Gambar 3.2).

Bahan : Kaca Pyrex

Volume Maksimum : 500 ml



Gambar 3.1 Erlenmeyer
Sumber: Dokumen Pribadi

2. Burner dan Tabung Premix

Jenis *burner* yang digunakan pada penelitian ini adalah *circular tube burner* yang menjadi satu dengan tabung pencampur bahan bakar dan udara (Gambar 3.3).

Bahan : Besi dan kuningan

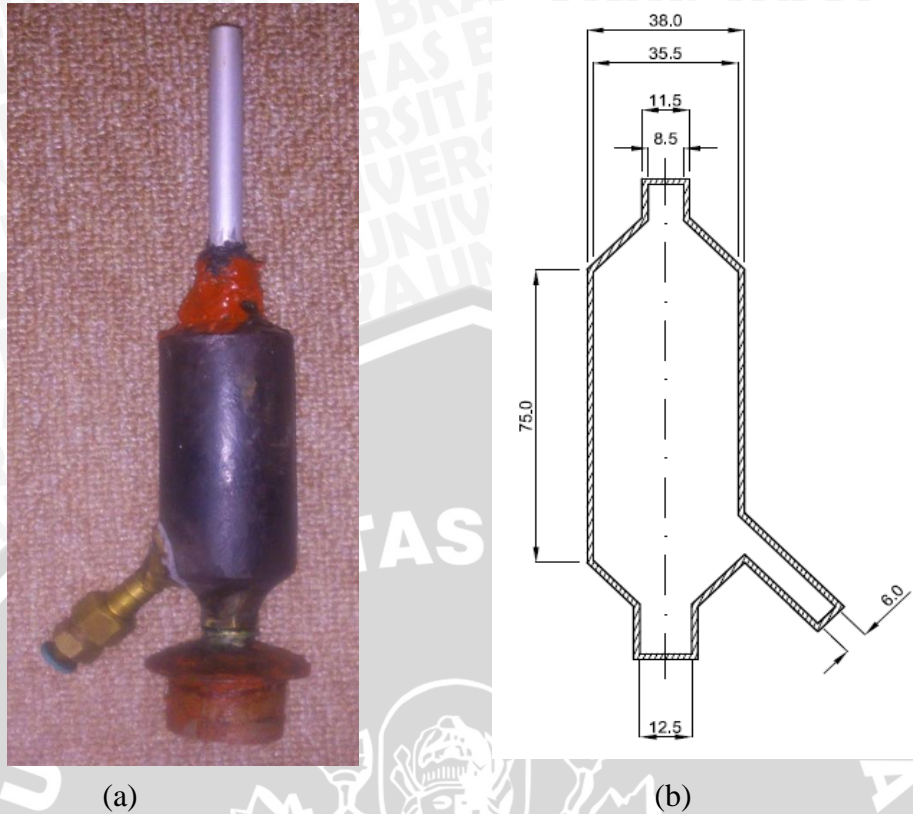
Diameter luar *burner* : 11,5 mm

Diameter dalam *burner* : 8,5 mm

Diameter luar tabung *premixed* : 35,5 mm

Diameter dalam tabung *premixed* : 75 mm

Tebal : 1,75 mm



Gambar 3.2 (a) Tabung *Premix* dan *Burner* (b) Ukuran Tabung *Premix* dan *Burner*
 Sumber : Dokumen Pribadi

3. Minyak biji kapuk

Minyak biji kapuk digunakan sebagai bahan bakar yang akan diteliti. Minyak biji kapuk ini didapat dari usaha kapuk di Pasuruan.

4. LPG (*Liquified Petroleum Gas*)

LPG digunakan sebagai bahan bakar kompor mawar untuk memanaskan minyak biji kapuk.

5. *Flow meter* LPG dan Udara

Alat ini digunakan untuk mengukur dan mengontrol debit alir dari LPG ke kompor dan debit udara yang masuk ke dalam tabung *premix* dengan ketelitian 0,1 ml dan 0,5 ml.

6. Kompor Gas

Kompor ini digunakan untuk menghasilkan uap panas dari minyak biji kapuk.

7. Kompresor Udara

Alat ini digunakan untuk suplai udara yang diperlukan dalam pembakaran.

Spesifikasi kompresor sebagai berikut :

Model : IMOLA 125

Power : 1 HP
Tank : 25 Liter
Air displacement : 145 liter/min

8. Selang

Selang ini digunakan untuk mengalirkan gas LPG ke kompor, selain itu digunakan untuk mengalirkan suplai udara ke *flowmeter* lalu ke dalam tabung *premix*. Dengan diameter 4x6 mm (Gambar 3.4).



Gambar 3.3 Selang

Sumber : Dokumen Pribadi

11. Timbangan Elektrik

Timbangan ini digunakan untuk mengukur perubahan berat minyak biji kapuk di Erlenmeyer saat pemanasan dengan ketelitian 0,01 gram.

12. *Holder* magnet

Alat ini digunakan untuk menahan magnet pada saat pengambilan data.

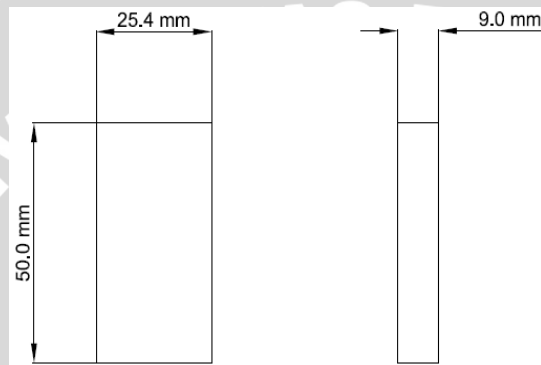
13. Magnet balok

Digunakan untuk menghasilkan medan magnet sebagai variabel bebas.

Dimensi dari magnet ini adalah 50mm X 25,4 mm X 9 mm (Gambar 3.5).



(a)



(b)

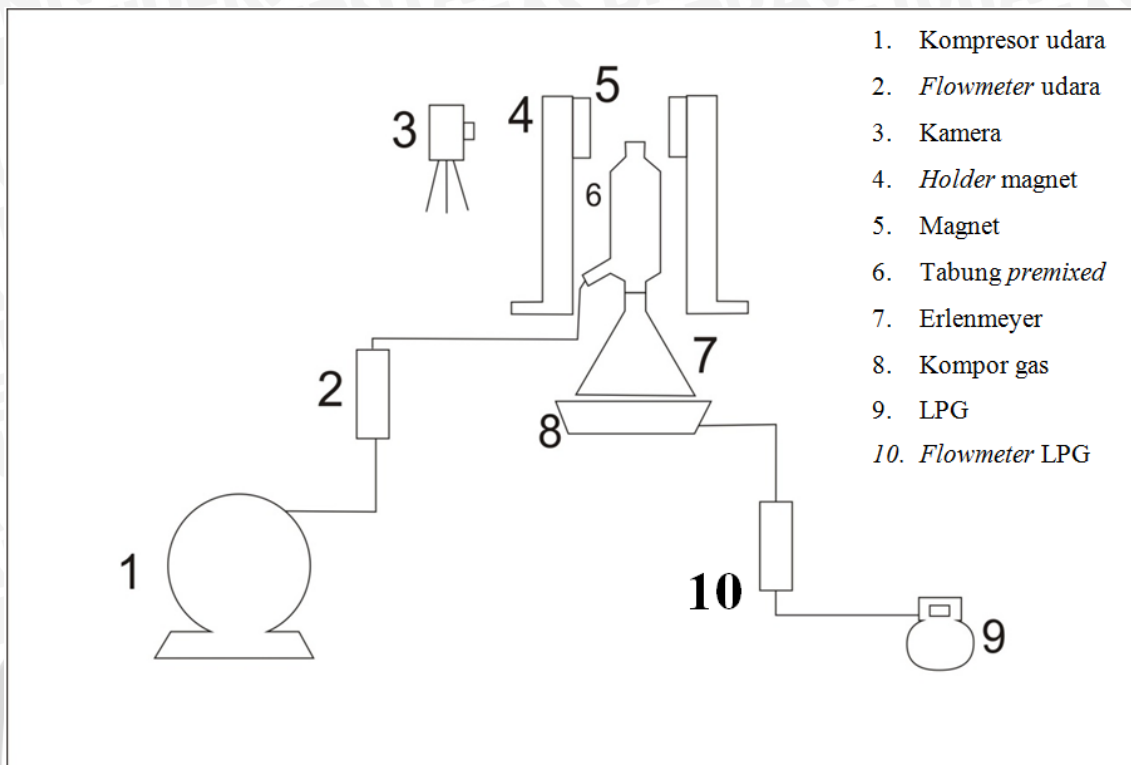
Gambar 3.4 (A) Magnet Blok (B) Ukuran Magnet
Sumber : Dokumen Pribadi

14. Kamera

Digunakan untuk pengambilan data yang berupa gambar dimensi api dengan spesifikasi 30 fps.

3.5 Prosedur Penelitian

Sebelum melakukan penelitian dalam mencari data berupa dimensi api, perlu dilakukan penelitian densitas dari uap minyak biji kapuk dan massa alir uap minyak biji kapuk.



Gambar 3.5 Skema Penelitian

A. Prosedur menentukan massa jenis uap minyak biji kapuk (sesuai gambar 3.5).

1. Menyiapkan Erlenmeyer (7), minyak biji kapuk, suntikan, kompor gas (8) dan timbangan elektrik.
2. Menimbang berat suntikan tanpa minyak biji kapuk dengan timbangan elektrik.
3. Catat hasil dari berat suntikan.
4. Menuangkan minyak biji kapuk kedalam Erlenmeyer (7) sebanyak 200 ml, lalu dipanaskan dengan kompor gas (8).
5. mengatur debit aliran gas LPG (9) dengan *flowmeter* (10).
6. Mengambil uap minyak biji kapuk sebanyak 15 ml dan 20 ml.
7. Menimbang suntikan yang berisi uap minyak biji kapuk dan catat hasilnya.
8. Mengurangi data pada langkah 7 dengan data pada langkah 3 lalu dibagi dengan volume pengambilan data pada suntikan (15 ml dan 20 ml)
9. Mengulang langkah 6,7, dan 8 sebanyak 10 kali pada tiap volume.
10. Menghitung rata-rata hasil pada langkah 8 pada tiap volume (15 ml dan 20 ml)
11. Menghitung hasil rata-rata pada langkah 10.

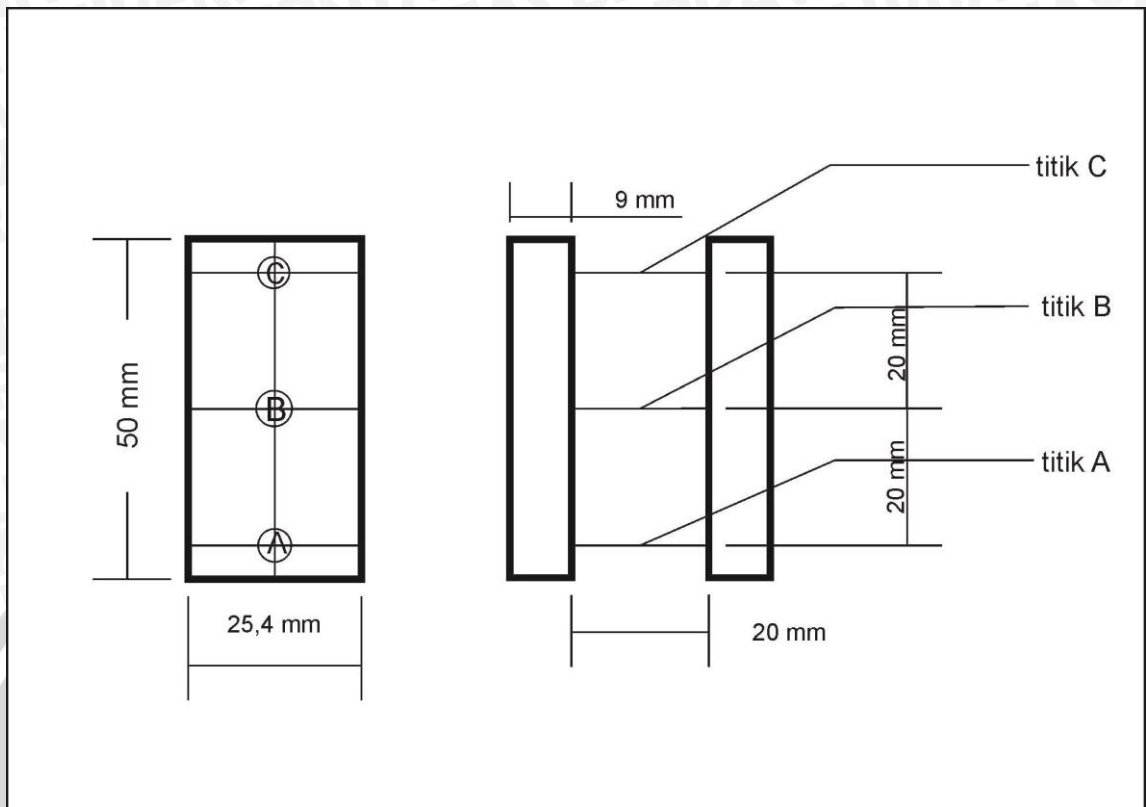
B. Prosedur menentukan massa alir uap minyak biji kapuk

1. Menyiapkan erlenmeyer (7), kompor gas (8), *stopwatch* dan timbangan elektrik.
2. Menimbang berat erlenmeyer (7) tanpa minyak biji kapuk dengan timbangan elektrik.
3. Catat hasil dari berat erlenmeyer (7).
4. Menuangkan minyak biji kapuk ke dalam erlenmeyer (7) sebanyak 200 ml, dan menimbang berat erlenmeyer (7) dengan minyak biji kapuk, lalu panaskan dengan kompor gas (8).
5. Menunggu minyak biji kapuk tersebut menguap.
6. Mengukur lama waktu penguapan menggunakan *stopwatch* selama 20 menit.
7. Menunggu minyak biji kapuk dingin.
8. Menimbang kembali berat erlenmeyer (7) dan minyak biji kapuk setelah diuapkan. Catat hasilnya.
9. Menghitung massa minyak biji kapuk dengan mengurangi langkah 8 dan langkah langkah 4. Kemudian kurangi dengan langkah 2.
10. Menghitung massa alir per-menit uap minyak biji kapuk dengan membagi langkah 9 dengan waktu yang diperlukan untuk menguap.

C. Prosedur pengambilan data

1. Menyiapkan Erlenmeyer (7), kompor gas (8), kompresor udara (1), *flowmeter* (2;10), timbangan elektrik, tabung *premix* dan *burner* (6), kamera (3), *holder magnet* (4), dan magnet (5).
2. Menyusun instalasi sesuai pada gambar 3.1 .
3. Menuangkan minyak biji kapuk ke dalam Erlenmeyer (7) sebanyak 150 ml, lalu panaskan dengan kompor gas (8).
4. Mengatur debit aliran gas LPG (9) menggunakan *flowmeter* gas LPG (10).
5. Mengatur debit aliran udara menggunakan *flowmeter* udara (2).
6. Menyalakan api dengan korek api.
7. meletakkan kedua magnet (5) bersama *holder* (4) mengapit ujung *burner* (6) pada posisi jarak antar kedua magnet 2 cm.
8. Pengambilan data gambar menggunakan kamera (3).
9. Mengulangi langkah 7 dan 8 pada:
 - Titik A, debit aliran udara 1;1,5; 2; 2,5; 3 liter/menit
 - Titik B, debit aliran udara 1;1,5; 2; 2,5; 3 liter/menit
 - Titik C, debit aliran udara 1;1,5; 2; 2,5; 3 liter/menit

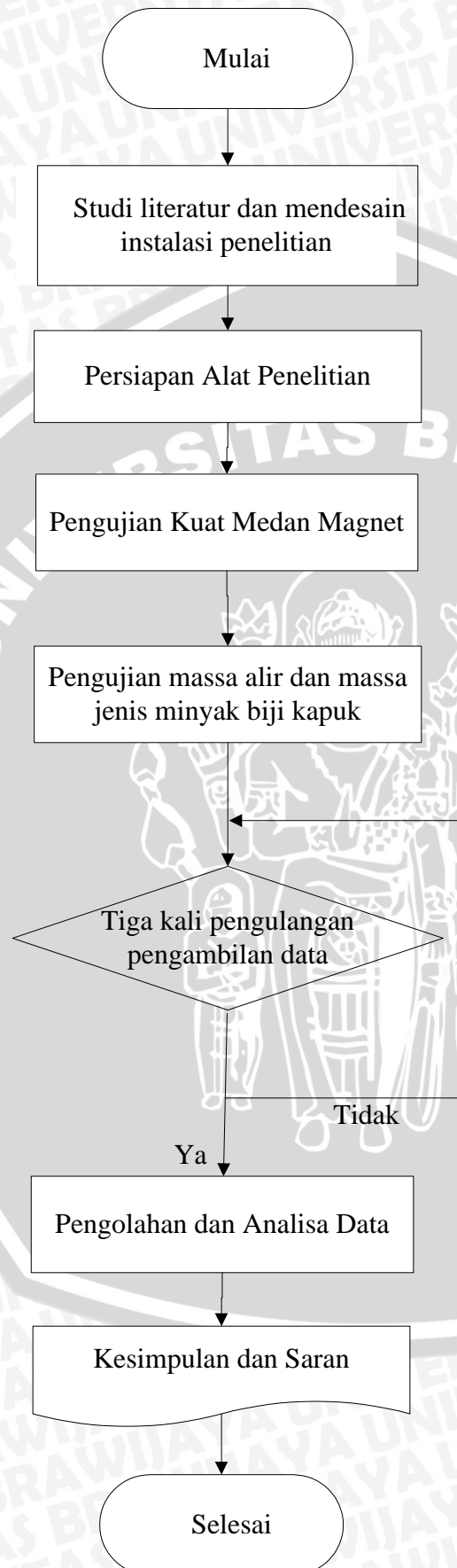
- Tanpa magnet, debit aliran udara 1; 1,5; 2; 2,5; 3 liter/menit



Gambar 3.6 Skema titik peletakan ujung burner



3.6 Diagram Alir Penelitian



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

Dari penelitian variasi medan magnet terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* didapatkan beberapa hubungan diantaranya sebagai berikut :

- Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* pada minyak biji kapuk tanpa medan magnet.
- Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* pada minyak biji kapuk pada titik A.
- Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* pada minyak biji kapuk pada titik B.
- Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* pada minyak biji kapuk pada titik C.
- Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* pada minyak biji kapuk pada berbagai titik.

4.2 Pengolahan Data

4.2.1. Perhitungan kecepatan alir reaktan

Contoh perhitungan :

Diketahui :

Dari pengujian massa alir dan massa jenis uap minyak biji kapuk dihasilkan :

$$\dot{m} = 0,00014 \text{ (kg/min)} = 0,14 \text{ (g/min)}$$

$$\rho_{\text{uap}} = 2891,67 \text{ (g/m}^3\text{)}$$

Dengan variasi bukaan udara :

$$Q_{\text{udara}} = 1 \text{ liter/min} = 10^{-3} \text{ (m}^3\text{/min)}$$

Dengan luas penampang *burner* :

$$A = \pi \cdot r^2$$

$$= 3,14 \cdot (4,25 \text{ mm})^2$$

$$= 56,8 \text{ mm}^2 = 5,68 \times 10^{-5} \text{ (m}^2\text{)}$$

Perhitungan :

$$V_u = \frac{(\dot{m}/\rho_{uap}) + (Q_{udara})}{A_{burner}}$$

V_u = kecepatan alir reaktan (m/min)

\dot{m} = massa alir uap minyak biji kapuk (g/min)

Q_{udara} = debit aliran udara (liter/min)

ρ_{uap} = massa jenis uap minyak biji kapuk (g/m^3)

A_{burner} = luas penampang burner (m^2)

$$V_u = \frac{\left(\frac{0,14 \text{ g/min}}{2891,67 \text{ g/m}^3}\right) + (10^{-3} \text{ m}^3/\text{min})}{5,68 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$= 18,62 \text{ (m/min)}$$

4.2.2 Perhitungan Kecepatan Api

Contoh perhitungan

Setelah melakukan penelitian hubungan medan magnet terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk didapat hasil rata-rata sudut θ :

$$\theta = 7,74^\circ$$

$$\sin \theta = 0,135$$

$$V_u = 18,62 \text{ (m/min)}$$

Jadi kecepatan apinya :

$$S_1 = V_u \cdot \sin \theta$$

$$= 18,62 \text{ (m/min)} \cdot 0,135$$

$$= 2,508 \text{ (m/min)}$$

4.3 Pembahasan

Sebelum pembahasan, dilakukan kalibrasi terhadap *flowmeter* yang digunakan.

Sehingga dihasilkan data sebagai berikut :

Tabel 4.1 Data Hasil Kalibrasi *Flowmeter*

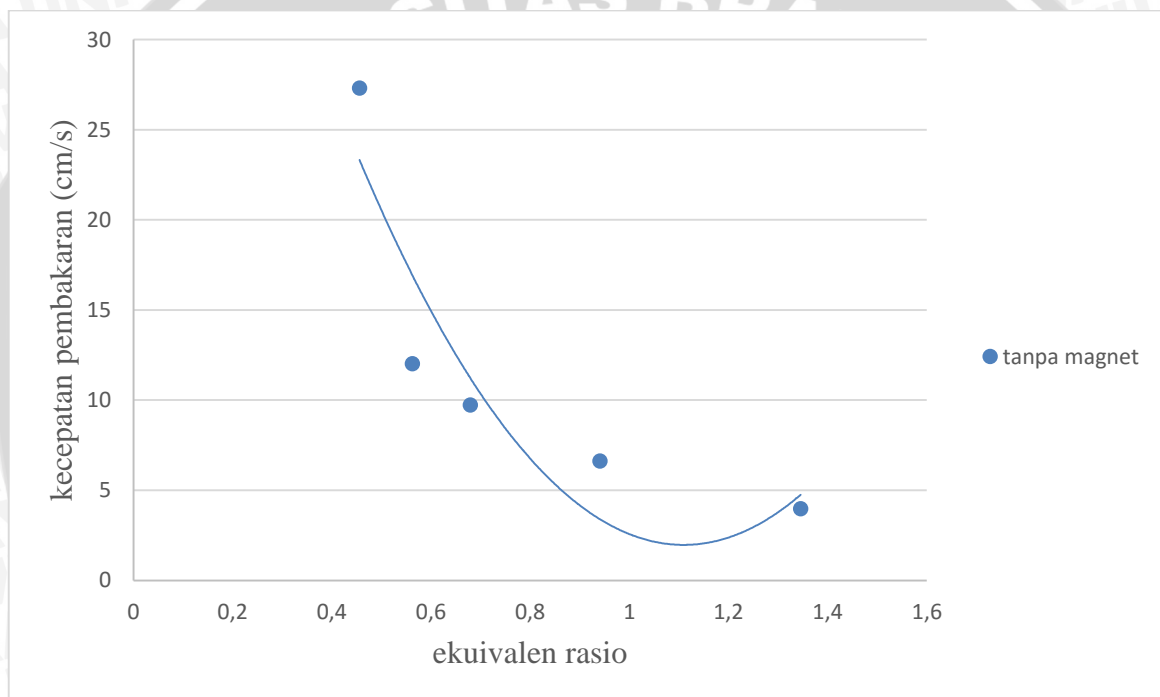
Q udara sebelum kalibrasi (liter/min)	Q udara setelah kalibrasi (liter/min)	afr aktual	rasio ekuivalen
1	1,025	8,58	1,35
1,5	1,466	12,27	0,94
2	2,030	17,00	0,68
2,5	2,452	20,53	0,56
3	3,026	25,33	0,46

Dan dalam penelitian kali ini data yang digunakan adalah data setelah *flowmeter* dikalibrasi.

Berikut pembahasan yang dilakukan untuk menganalisis pengaruh medan magnet terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk. Berikut ini disajikan dalam bentuk grafik.

4.3.1 Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk tanpa Medan Magnet

Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk tanpa medan magnet ditunjukkan pada gambar 4.1 :

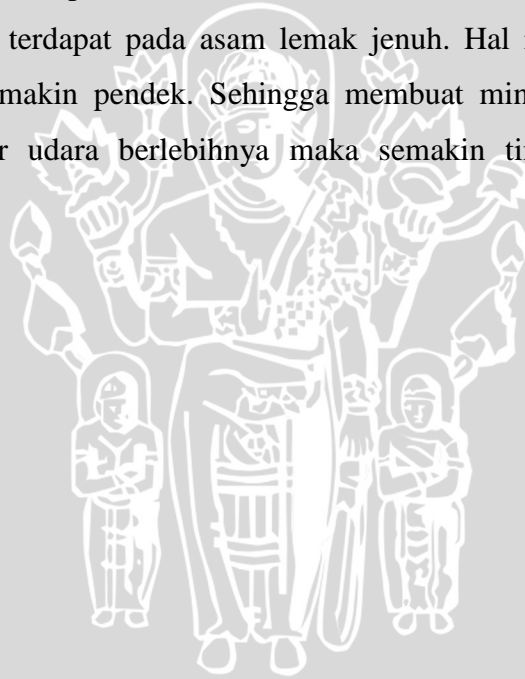


Gambar 4.1 Grafik Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk tanpa Medan Magnet

Gambar 4.1 merupakan grafik hubungan dari data *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk tanpa medan magnet yang dalam pengambilan datanya sebanyak 5 kali kemudian dirata-rata. Dari grafik dapat dilihat bahwa terdapat penurunan kecepatan dari *equivalence ratio* 0,46 ke *equivalence ratio* 1,35. Kecepatan pembakaran tertinggi pada *equivalence ratio* 0,46 yaitu 27,3 cm/s, sedangkan kecepatan pembakaran terendah pada *equivalence ratio* 1,35 yaitu 4 cm/s.

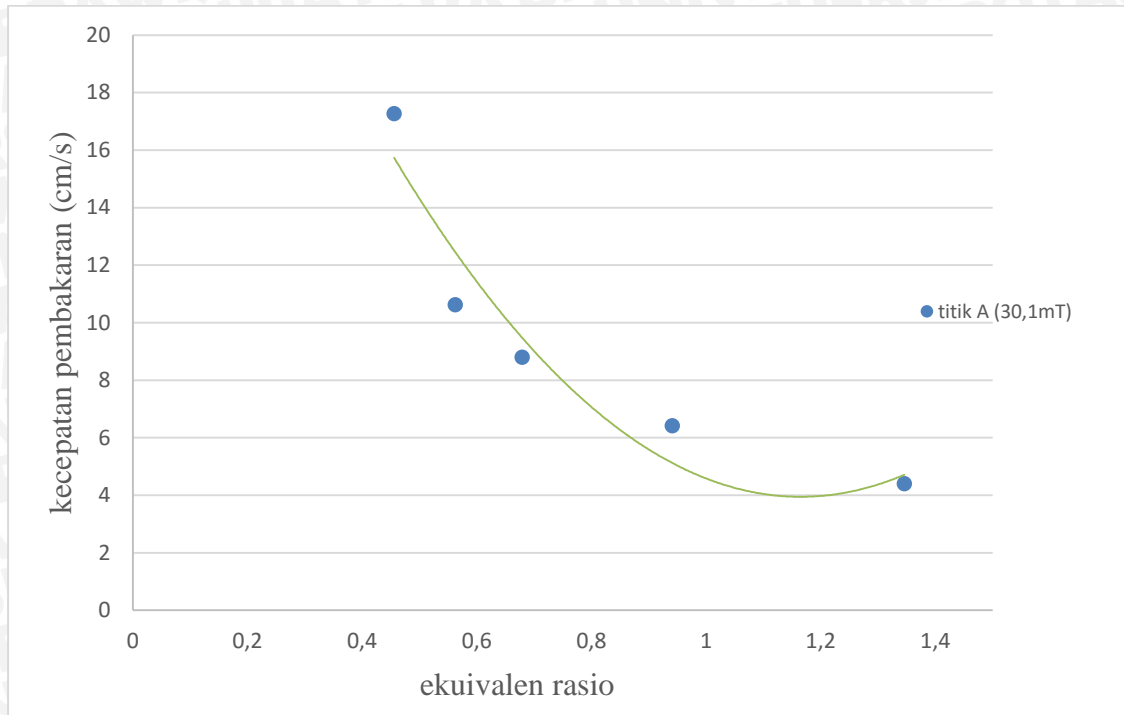
Terdapat penurunan kecepatan tajam setelah *equivalence ratio* 0,46 dengan kecepatan pembakaran 27,3 cm/s menuju *equivalence ratio* 0,56 dengan kecepatan pembakaran 12 cm/s. Dimana rentang tersebut termasuk daerah campuran miskin. Sedang penurunan kecepatan dari *equivalence ratio* 0,56 ke *equivalence ratio* 1,35 tidak terlalu tajam. Hal ini dapat dilihat pada visualisasi api tanpa medan magnet pada lampiran yang menunjukkan perbedaan sudut api pada tiap *equivalence ratio*.

Kecepatan pembakaran tertinggi terjadi pada daerah campuran miskin (*equivalence ratio* < 1). Hal ini disebabkan minyak biji kapuk dominan mengandung asam 8,11 oktadekadienoat ($C_{18}H_{32}O_2$) sebanyak 35% dan asam eleidat ($C_{18}H_{34}O_2$) sebanyak 26%. Asam 9,11 oktadekadienoat dan asam eleidat termasuk asam lemak tidak jenuh yaitu asam lemak yang terdapat ikatan ganda atau lebih pada rantai penyusun karbonnya. Ikatan ganda pada asam lemak membuat lebih mudah terbakar dari pada ikatan tunggal yang terdapat pada asam lemak jenuh. Hal ini dikarenakan rantai karbon penyusunnya semakin pendek. Sehingga membuat minyak biji kapuk cepat terbakar, semakin besar udara berlebihnya maka semakin tinggi kecepatan pembakarannya.



4.3.2 Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk pada Titik A (30,1 mT)

Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada titik a (30,1 mT) ditunjukkan pada gambar 4.2 :



Gambar 4.2 Grafik Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk pada Titik A (30,1 mT)

Gambar 4.2 menunjukkan hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada titik A dengan kekuatan medan magnet sebesar 30,1 mT dan dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali kemudian dirata-rata. Dapat dilihat pada grafik di atas kecepatan pembakaran cenderung mengalami penurunan dari *equivalence ratio* 0,46 ke *equivalence ratio* 1,35. Kecepatan pembakaran paling tinggi pada *equivalence ratio* 0,46 dengan kecepatan pembakaran 17,3 cm/s. Sedang yang paling rendah pada *equivalence ratio* 1,35 dengan kecepatan pembakaran 4,4 cm/s.

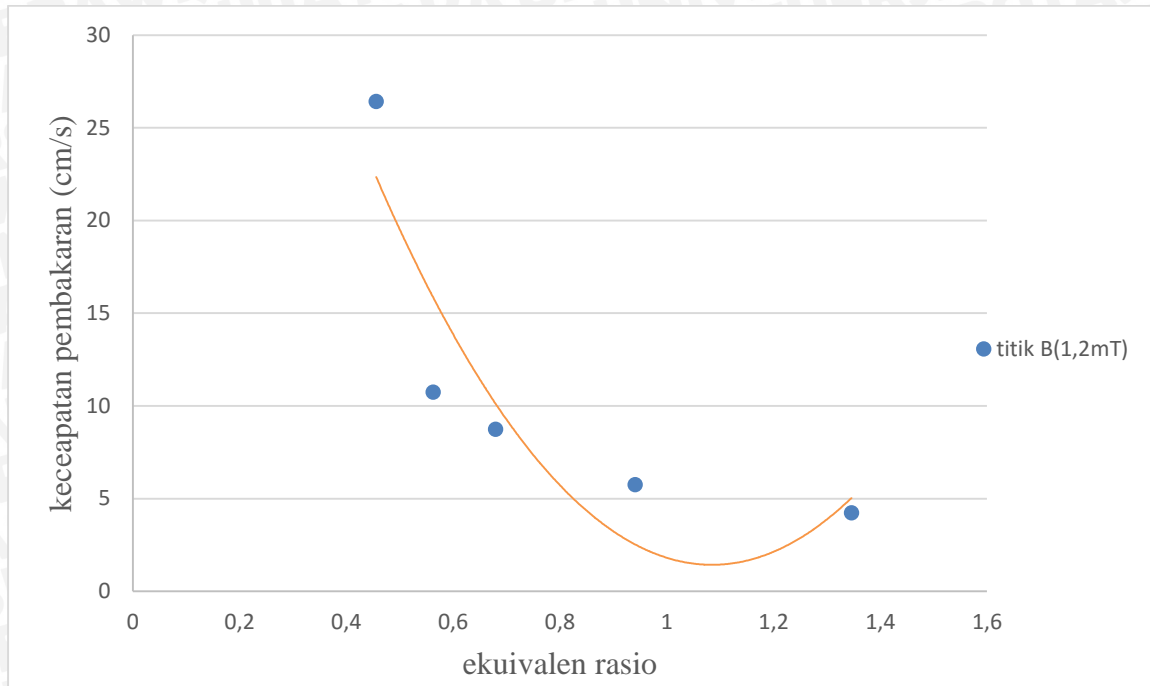
Dari *equivalence ratio* 0,46 dengan kecepatan pembakaran 17,3 cm/s ke *equivalence ratio* 0,56 dengan kecepatan pembakaran 10,6 cm/s mengalami penurunan tajam. Kemudian dari *equivalence ratio* 0,56 ke *equivalence ratio* 1,35 tidak terlalu tajam. Penurunan kecepatan pembakaran yang tajam terjadi pada daerah campuran miskin (*equivalence ratio* <1). Hal ini disebabkan adanya pengaruh medan magnet yang berada di titik A sebesar 30,1 mT menarik oksigen yang bersifat paramagnetik. Oksigen yang

keluar bersama bahan bakar diganggu medan magnet sehingga meninggalkan bahan bakar yang menyebabkan bahan bakar kekurangan oksigen dan kecepatan pembakaran menurun.



4.3.3 Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk pada Titik B (1,2 mT)

Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada titik B (1,2 mT) ditunjukkan pada gambar 4.3 :



Gambar 4.3 Grafik Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk pada Titik B (1,2mT)

Gambar 4.3 menunjukkan hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada titik B dengan medan magnet 1,2 mT dan dilakukan pengambilan data sebanyak 5 lalu dirata-rata. Dapat dilihat pada grafik cenderung mengalami penurunan kecepatan pembakaran terjadi pada *equivalence ratio* 0,46 menuju *equivalence ratio* 1,35. Kecepatan paling tinggi terjadi pada *equivalence ratio* 0,46 dengan kecepatan pembakaran 26,4 cm/s dan kecepatan paling rendah terjadi pada *equivalence ratio* 1,35 dengan kecepatan pembakaran 4,2 cm/s.

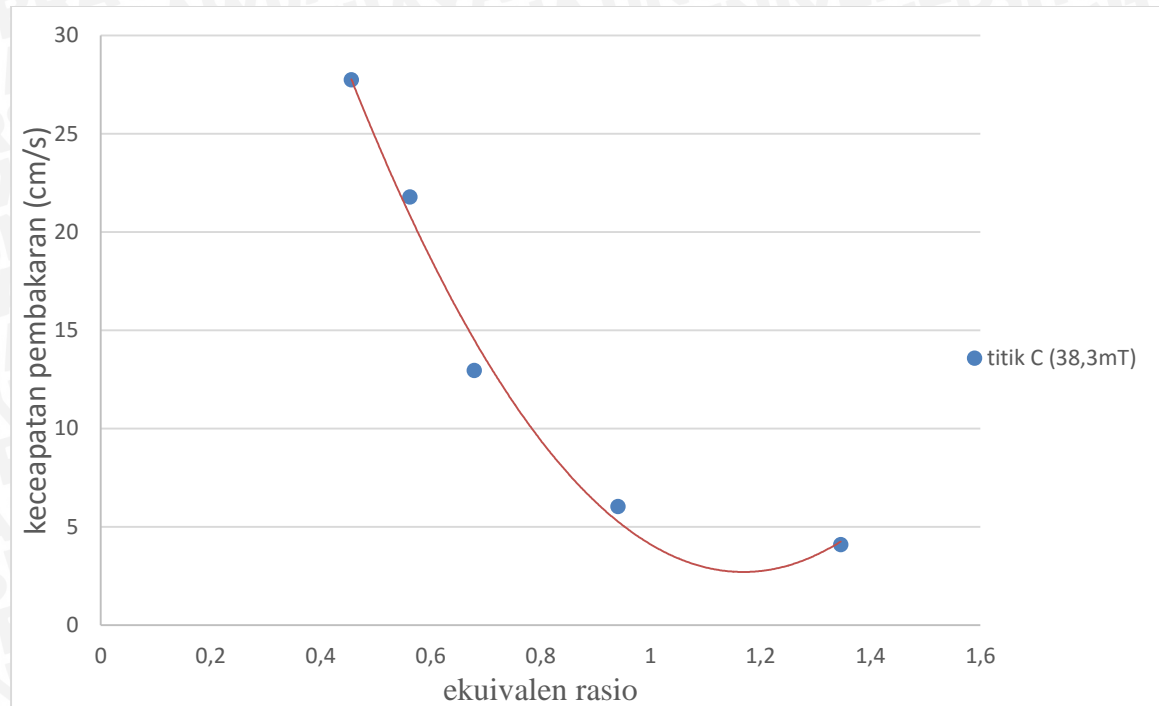
Penurunan kecepatan pembakaran dari *equivalence ratio* 0,56 ke *equivalence ratio* 1,35 tidak terlalu signifikan. Hal ini dikarenakan oksigen yang melalui burner dipaksa keluar oleh medan magnet di titik B (1,2 mT). akan tetapi selain medan magnet pada titik B (1,2 mT) oksigen juga terpengaruh oleh medan magnet yang berada di bawah dan atas titik B (1,2 mT). Medan magnet yang bawah cenderung menahan oksigen keluar dari zona reaksi sedangkan medan magnet bagian atas cenderung menarik keatas sehingga oksigen yang meninggalkan zona reaksi pada titik B (1,2 mT) tidak begitu

besar. Hal ini menyebabkan penurunan kecepatan pada titik B (1,2 mT) tidak terlalu signifikan.



4.3.4 Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk pada Titik C (38,3 mT)

Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada titik C (38,3 mT) ditunjukkan pada gambar 4.4 :



Gambar 4.4 Grafik Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk pada Titik C (38,3 mT)

Gambar 4.4 menunjukkan hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada titik C dengan medan magnet 38,3 mT dan dilakukan pengambilan data sebanyak 5 kali lalu dirata-rata. Dapat dilihat pada grafik cenderung mengalami penurunan kecepatan pembakaran pada *equivalence ratio* 0,46 ke *equivalence ratio* 1,35. Kecepatan paling tinggi terjadi pada *equivalence ratio* 0,46 dengan kecepatan pembakaran 27,8 cm/s dan yang paling rendah terjadi pada *equivalence ratio* 1,35 dengan kecepatan pembakaran 4,1 cm/s.

Pada *equivalence ratio* 0,94 ke 1,35 terjadi penurunan yang tidak signifikan. Penurunan kecepatan ini terjadi pada daerah yang mendekati stoikiometri ke campuran kaya bahan bakar (*equivalence ratio* >1). Di titik C (38,3 mT) bahan bakar minyak biji kapuk pada burner dipengaruhi oleh medan magnet titik C dan dua medan magnet yang berada di bawahnya. Kondisi ini memaksa oksigen yang seharusnya ditarik keluar oleh medan magnet titik C (38,3 mT) tertahan oleh dua medan magnet yang berada di

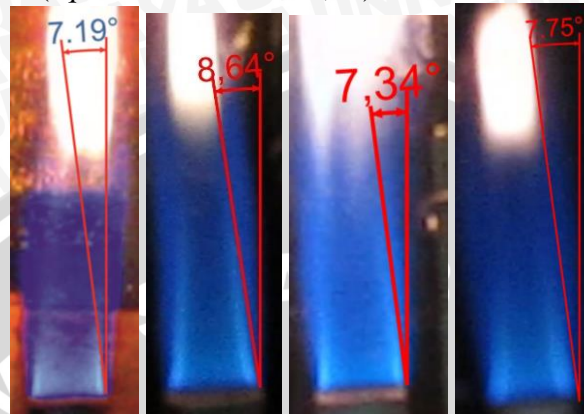
bawahnya yaitu titik A (30,1 mT) dan titik B (1,2 mT). Oksigen yang seharusnya keluar zona reaksi tetapan hanya sampai zona reaksi. Hal ini membuat kecepatan pada *equivalence ratio* 1,35 meningkat tetapi tidak sampai di atas kecepatan pada *equivalence ratio* 0,94. Sehingga kecepatan penurunan kecepatan pembakaran pada *equivalence ratio* 0,94 ke 1,35 tidak signifikan.



4.3.5 Hubungan *Equivalence Ratio* terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk pada Berbagai Titik

Berikut foto api dari variasi *equivalence ratio* pada berbagai titik :

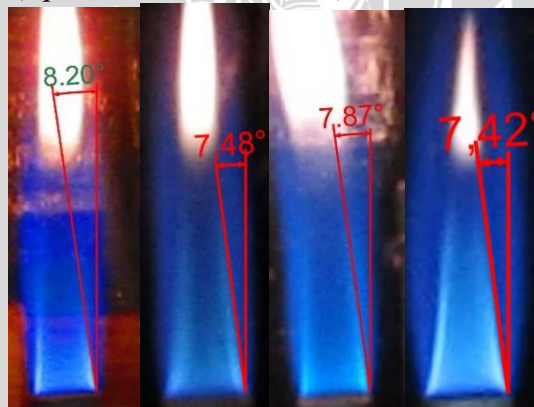
Debit udara 1,025 l/min (*equivalence ratio* = 1,35)



Tanpa Titik A Titik B Titik C

(a)

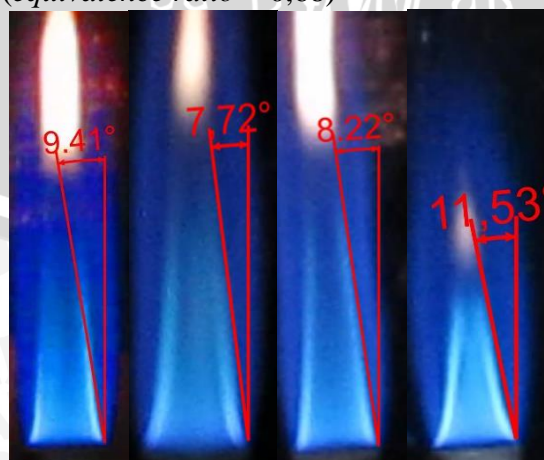
Debit udara 1,466 l/min (*equivalence ratio* = 0,94)



Tanpa Titik A Titik B Titik C

(b)

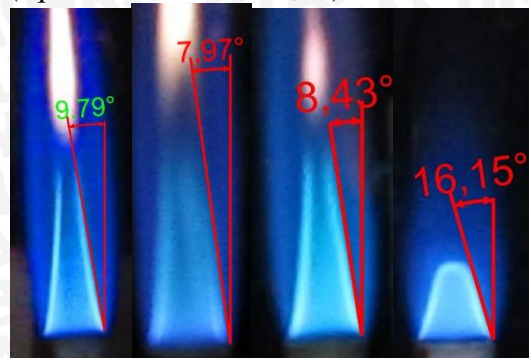
Debit udara 2,03 l/min (*equivalence ratio* = 0,68)



Tanpa Titik A Titik B Titik C

(c)

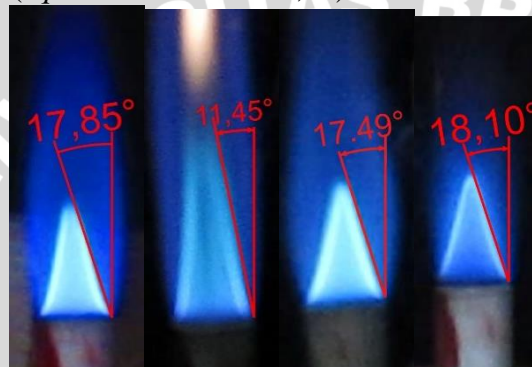
Debit udara 2,452 l/min (*equivalence ratio* = 0,56)



Tanpa Titik A Titik B Titik C

(d)

Debit udara 3,026 l/min (*equivalence ratio* = 0,46)



Tanpa Titik A Titik B Titik C

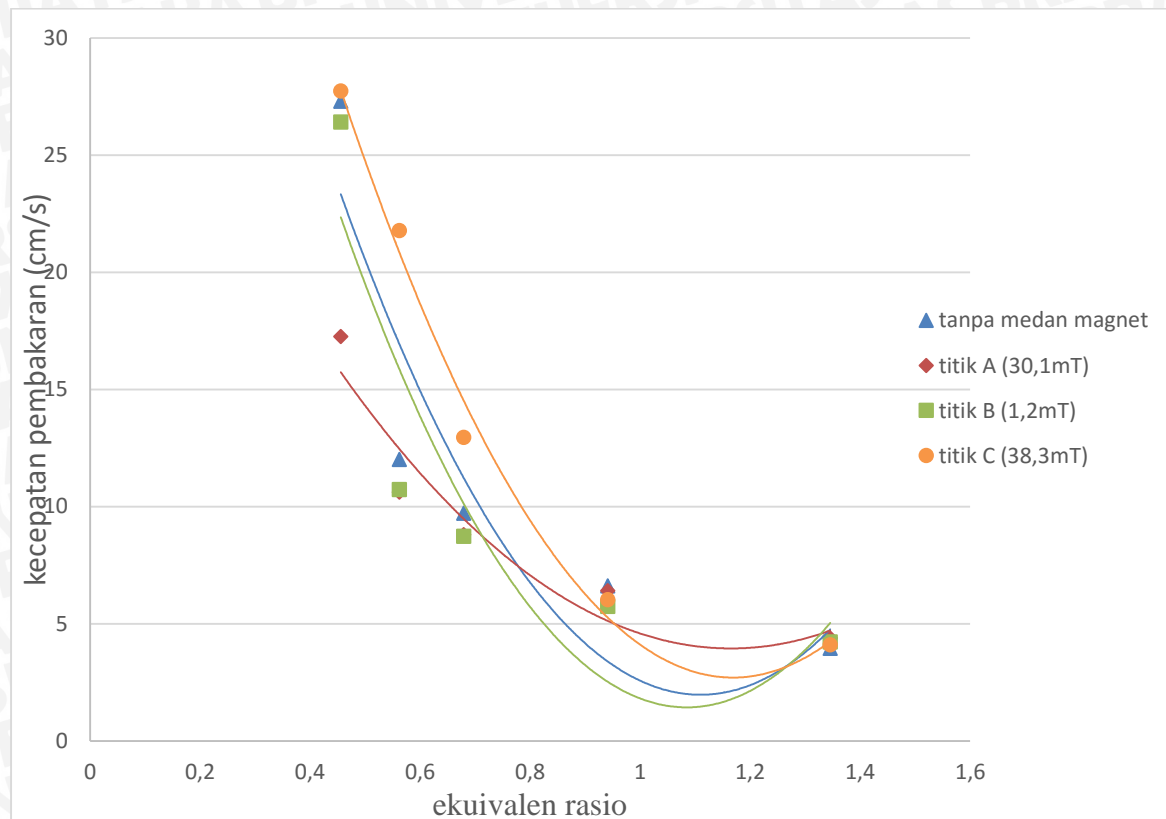
(e)

Gambar 4.5 Foto Bentuk Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk pada Variasi *Equivalence Ratio* pada Berbagai Titik

Pada kondisi tanpa medan magnet besar sudut semakin meningkat seiring bertambahnya debit udara yang diberikan. Dapat dikatakan semakin miskin campuran bahan bakar dengan oksigen maka sudut api akan semakin besar.

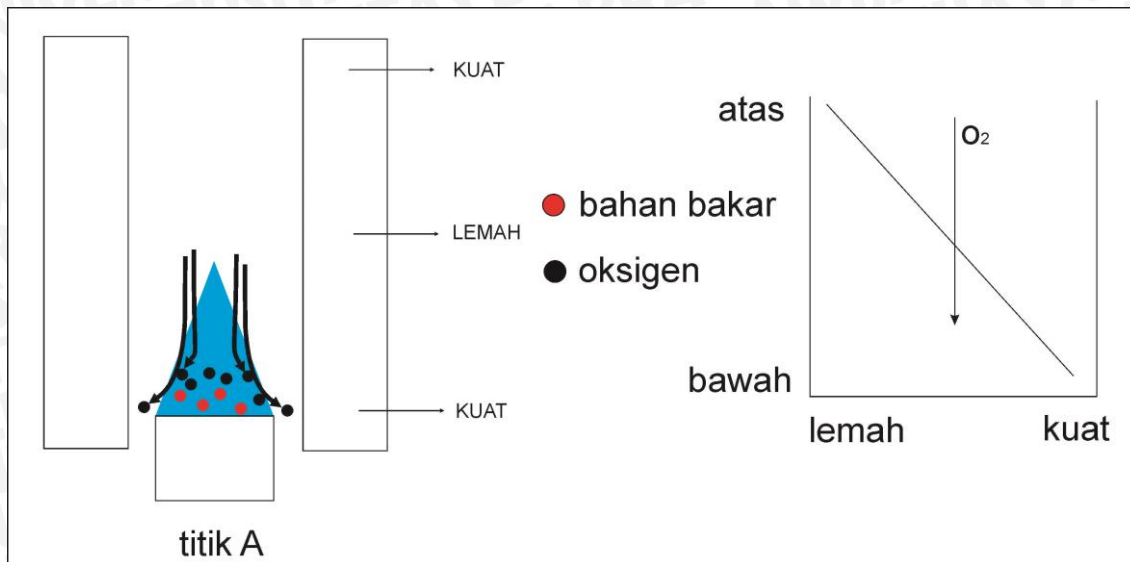
Pada campuran kaya bahan bakar dengan pengaruh medan magnet pada semua titik sudut api semakin besar, sehingga pada kondisi campuran kaya karena pengaruh medan magnet membuat kecepatan pembakaran semakin besar. Pada kondisi yang mendekati stoikiometri (*equivalence ratio* 0,94) medan magnet membuat sudut θ semakin kecil. Sudut θ dari yang terkecil yaitu di titik C, titik A dan titik B. Sudut θ di titik C paling kecil karena titik C memiliki medan magnet yang paling besar dari titik yang lain dan titik A memiliki medan magnet lebih besar dari titik B. Sedangkan di *equivalence ratio* 0,68 ke bawah pada titik A, B sudut api cenderung mengecil tetapi pada titik C semakin besar. Kondisi pada titik C api cenderung lebih stabil dan pada campuran miskin (*equivalence ratio* 0,56 dan 0,46) bahan bakar terbakar semua.

Hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada berbagai titik ditunjukkan pada gambar 4.6

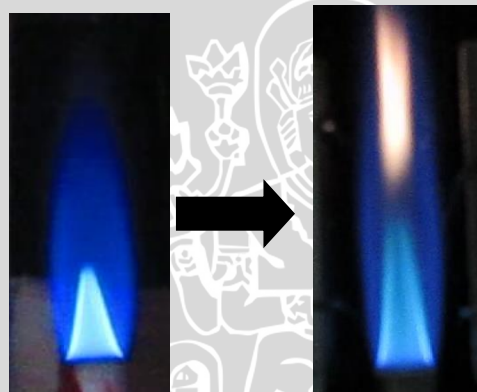


Gambar 4.6 Grafik Hubungan *Equivalence ratio* Terhadap Kecepatan Pembakaran Api *Premixed* Minyak Biji Kapuk Pada Semua Titik

Gambar 4.6 menunjukkan grafik hubungan *equivalence ratio* terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk berbagai titik dan medan magnet yang berbeda. Pada grafik dapat dilihat api tanpa medan magnet dan dengan pengaruh peletakan medan magnet terdapat perbedaan yaitu api dengan pengaruh medan magnet cenderung mengalami penurunan kecepatan pembakaran pada campuran miskin (*equivalence ratio* <1), tetapi mengalami kenaikan kecepatan pembakaran pada campuran kaya (*equivalence ratio* >1).



Gambar 4.7 Visualisasi Bentuk Api Dengan Pengaruh Medan Magnet Pada Pembakaran Campuran Miskin di Titik A (30,1 mT)

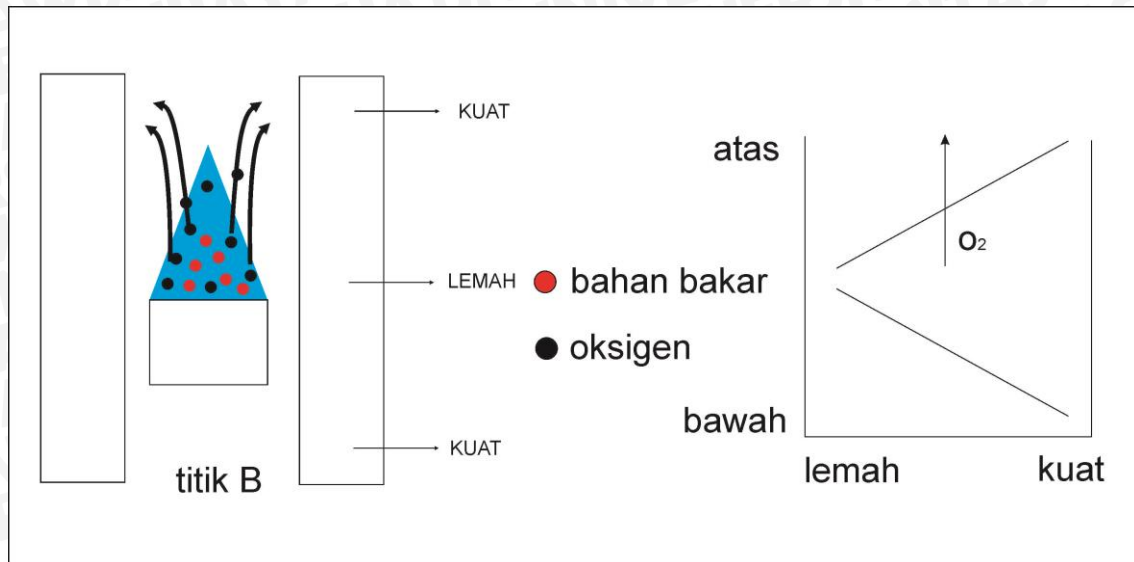


Gambar 4.8 Perubahan Bentuk Api Tanpa Medan Magnet Dan Setelah Dengan Medan Magnet di Titik A (30,1 mT) Pada Campuran Miskin

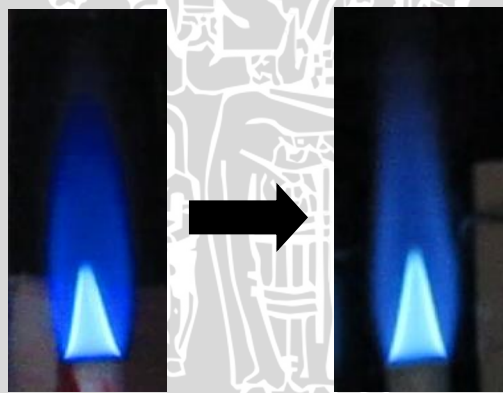
Pada gambar 4.6 campuran miskin bahan bakar di titik A kecepatan pembakaran menurun dibandingkan dengan tanpa medan magnet. hal ini diilustrasikan pada gambar 4.7 di titik A (30,1 mT) kuat medan magnet titik A lebih besar dari medan magnet yang di atasnya. Hal ini menyebabkan oksigen yang bersifat paramagnetik tertarik dari medan magnet lemah ke medan magnet kuat sehingga oksigen tertarik ke bawah menjauhi zona reaksi, dan menyebabkan campuran udara dan bahan bakar semakin kaya, sehingga kecepatan pembakaran pada campuran miskin di titik A (30,1 mT) menurun.

Hal ini dapat dibuktikan pada gambar 4.8 yang merupakan foto pada kondisi tanpa medan magnet dan setelah dengan medan magnet di titik A. Bentuk api pada campuran miskin tanpa medan magnet membentuk kerucut berwarna biru yang menunjukkan bahan bakar terbakar seluruhnya. Sedangkan pada api dengan pengaruh medan magnet pada campuran miskin di titik A api membentuk kerucut dengan ujung terbuka dan ujung

kerucut berwarna kuning. Hal ini membuktikan oksigen tertarik menjauhi zona reaksi yang menyebabkan campuran semakin kaya sehingga ada bahan bakar yang belum terbakar sempurna dan menyebabkan ujung api berwarna kuning.



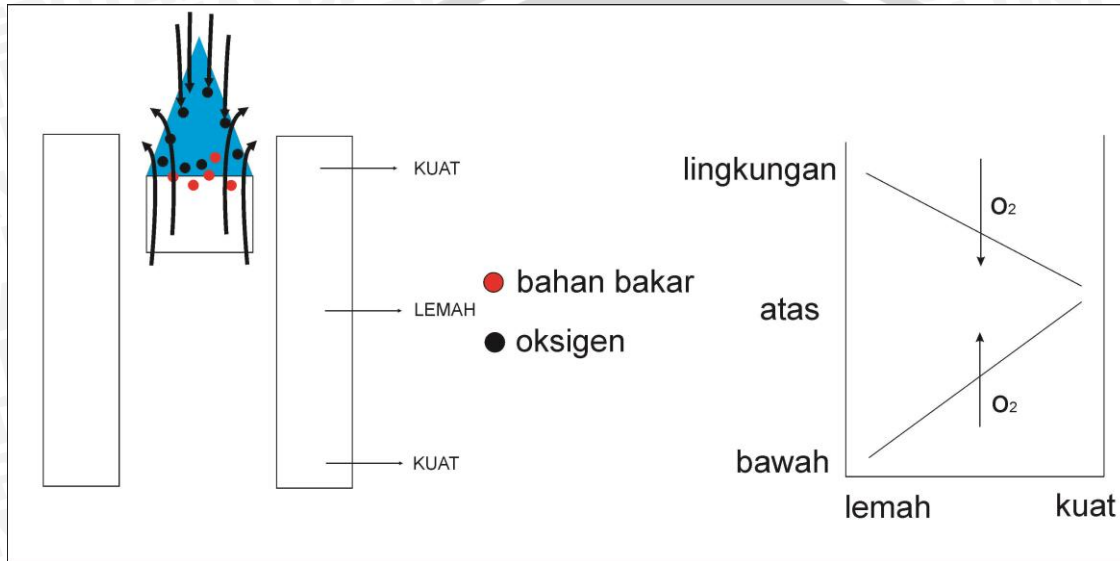
Gambar 4.9 Visualisasi Bentuk Api Dengan Pengaruh Medan Magnet Pada Pembakaran Campuran Miskin di Titik B (1,2 mT)



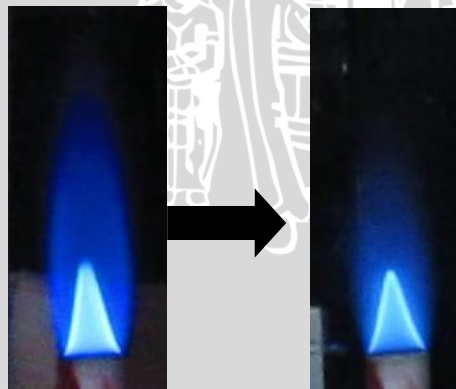
Gambar 4.10 Perubahan Bentuk Api Tanpa Medan Magnet Dan Setelah Dengan Medan Magnet di Titik B (1,2 mT) Pada Campuran Miskin

pada gambar 4.6 campuran miskin bahan bakar di titik B kecepatan pembakaran cenderung menurun. Hal ini diilustrasikan pada gambar 4.9 di titik B (1,2 mT) memiliki medan magnet lebih kecil daripada medan magnet yang berada di atas dan di bawah burner. Akan tetapi medan magnet yang atas lebih kuat daripada medan magnet yang bawah sehingga oksigen dari reaktan tertarik menjauhi zona reaksi. Sehingga campuran semakin kaya dan menyebabkan kecepatan pembakaran pada campuran miskin di titik B menurun.

Hal ini dapat dibuktikan pada gambar 4.10 yang merupakan foto pada kondisi campuran miskin tanpa medan magnet dan dengan medan magnet di titik B. Api pada tanpa medan magnet dan dengan medan magnet memiliki warna yang sama yang menunjukkan seluruh bahan bakar terbakar sempurna tetapi api yang terpengaruh medan magnet di titik B lebih tinggi dari pada tanpa medan magnet. Hal ini dikarenakan oksigen yang keluar zona reaksi tidak banyak.



Gambar 4.11 Visualisasi Bentuk Api Dengan Pengaruh Medan Magnet Pada Pembakaran Campuran Miskin di Titik C (38,3 mT)

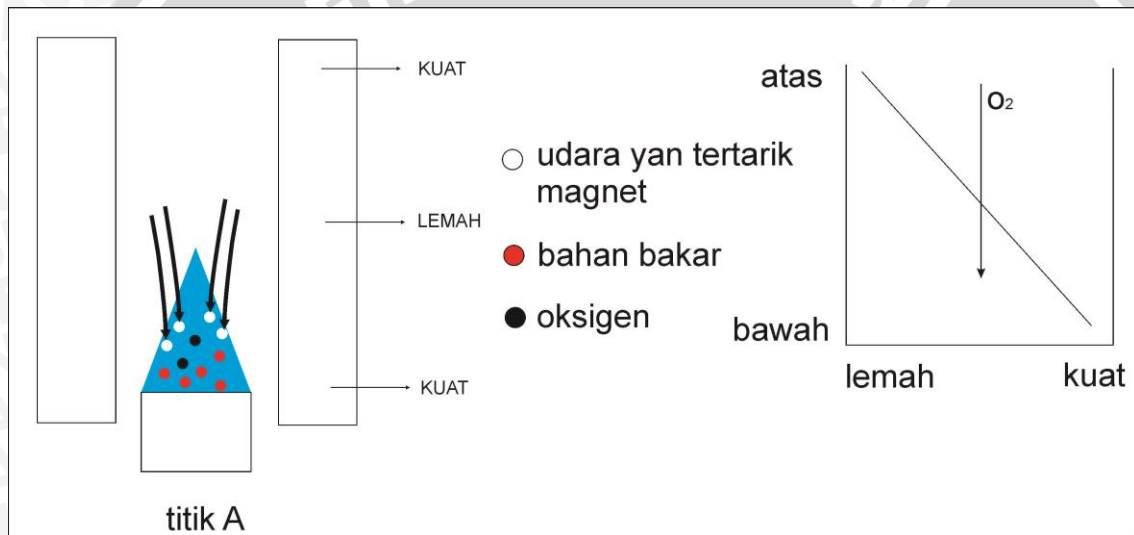


Gambar 4.12 Perubahan Bentuk Api Tanpa Medan Magnet Dan Setelah Dengan Medan Magnet di Titik C (38,3 mT) Pada Campuran Miskin

Pada gambar 4.6 campuran miskin di titik C (38,3 mT) kecepatan pembakaran meningkat. hal ini diilustrasikan pada gambar 4.11 di titik C (38,3 mT) memiliki medan magnet lebih kuat dari pada medan magnet di bawahnya. Oksigen yang bersifat paramagnetik tertarik dari medan magnet lemah ke medan magnet yang kuat sehingga

oksigen tertarik keluar zona reaksi. Akan tetapi karena posisi titik C berhubungan dengan lingkungan sehingga medan magnet di titik C menarik oksigen dari lingkungan menuju zona reaksi sehingga oksigen pada zona reaksi bertambah. Hal ini menyebabkan kecepatan pembakaran di titik C meningkat walau tidak signifikan.

Gambar 4.12 membuktikan perubahan bentuk api dari tanpa medan magnet dan dengan medan magnet di titik C (38,3 mT). Api dengan pengaruh medan magnet memiliki warna biru yang menandakan bahan bakar terbakar seluruhnya. Akan tetapi tinggi api dengan pengaruh medan magnet lebih pendek hal ini dikarenakan oksigen dalam zona reaksi bertambah.



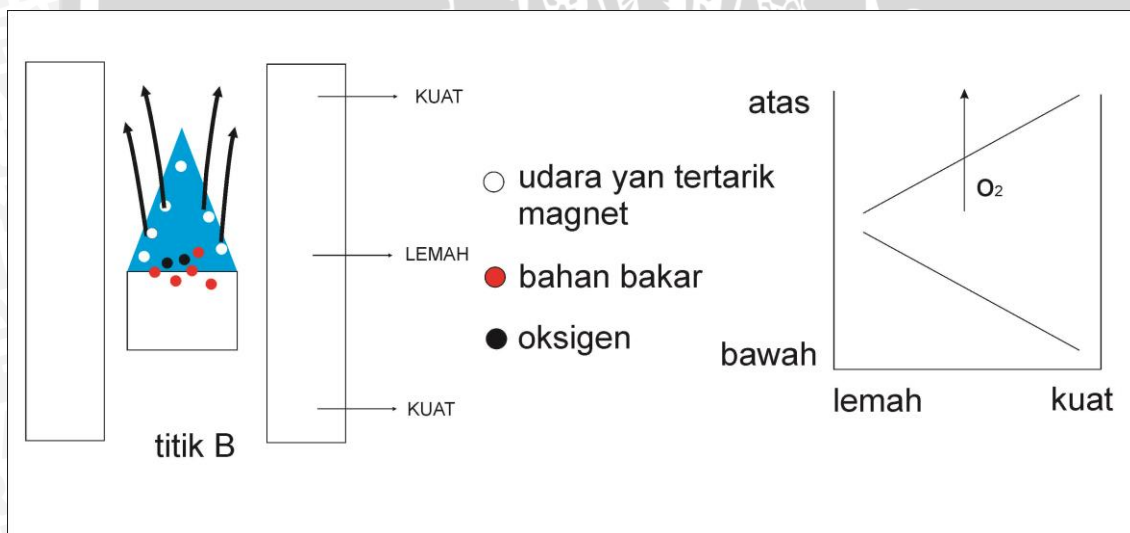
Gambar 4.13 Visualisasi Bentuk Api Dengan Pengaruh Medan Magnet Pada Pembakaran Campuran Kaya di Titik A (30,1 mT)



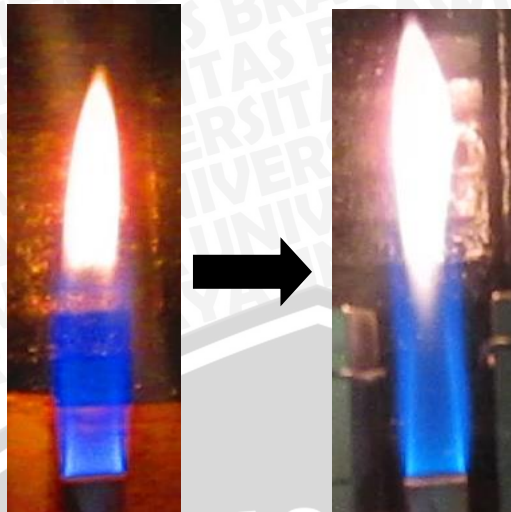
Gambar 4.14 Perubahan Bentuk Api Tanpa Medan Magnet dan Setelah Dengan Medan Magnet di Titik A (30,1 mT) Pada Campuran Kaya

Pada gambar 4.6 campuran kaya bahan bakar dititik A kecepatan pembakaran meningkat. Hal ini diilustrasikan pada gambar 4.13 dimana medan magnet dititik A (30,1 mT) lebih kuat dari pada medan magnet yang berada di atasnya sehingga oksigen tertarik dari medan magnet lemah ke medan magnet kuat menuju zona reaksi. Sehingga oksigen pada zona reaksi meningkat. hal ini menyebabkan campuran bahan bakar dan udara semakin miskin sehingga kecepatan pembakaran pada campuran kaya di titik A meningkat.

Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.14 yang menunjukkan perubahan bentuk api tanpa medan magnet dan setelah dengan medan magnet di titik A (30,1 mT) pada campuran kaya. Api tanpa medan magnet pada campuran kaya memiliki ujung berwarna kuning yang menandakan bahan bakar ada yang belum terbakar sempurna sedangkan pada pengaruh medan magnet titik A bahan bakar yang tidak terbakar sempurna semakin berkurang. Hal ini disebabkan pada pengaruh medan magnet oksigen masuk ke zona reaksi.



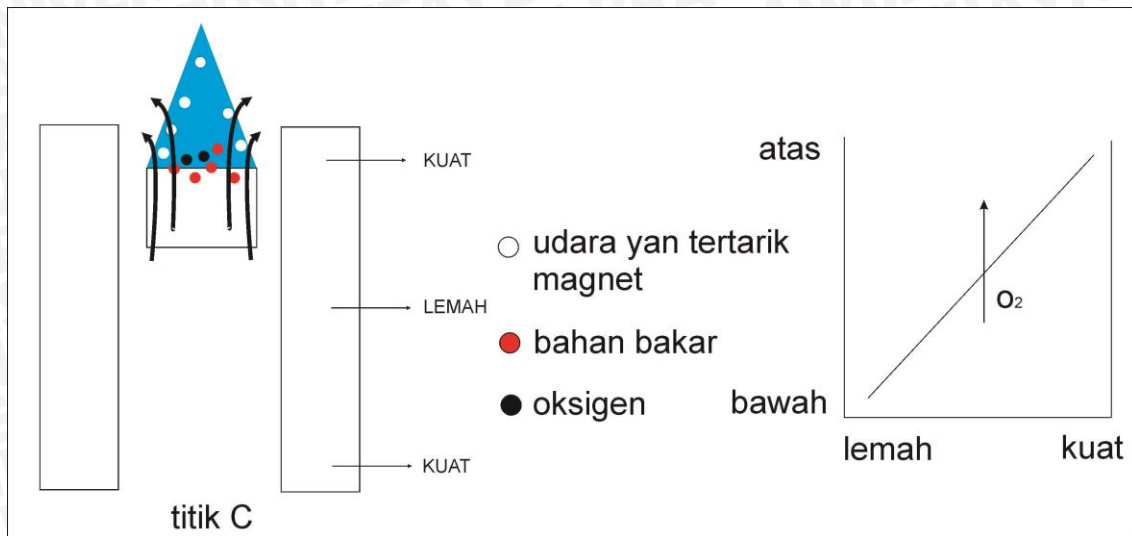
Gambar 4.15 Visualisasi Bentuk Api Dengan Pengaruh Medan Magnet Pada Pembakaran Campuran Kaya di Titik B (1,2 mT)



Gambar 4.16 Perubahan Bentuk Api Tanpa Medan Magnet dan Setelah Dengan Medan Magnet di Titik B (1,2 mT) Pada Campuran Kaya

Pada gambar 4.6 campuran kaya di titik B (1,2 mT) kecepatan pembakarannya meningkat. Hal ini diilustrasikan pada gambar 4.15 di titik B (1,2 mT) memiliki medan magnet lemah dari medan magnet yang ada di atas dan bawahnya. Akan tetapi medan magnet yang di atas titik B lebih besar dari pada yang di bawahnya sehingga oksigen dari reaktan tertarik ke atas menuju zona reaksi. Hal ini membuat campuran bahan menjadi semakin miskin sehingga kecepatan pembakaran pada campuran kaya di titik B meningkat.

Gambar 4.16 menunjukkan perubahan bentuk api tanpa medan magnet ke setelah dengan medan magnet pada campuran kaya di titik B. Api pada setelah dengan medan magnet dan tanpa medan magnet cenderung sama tapi yang membedakan pada api setelah dengan medan magnet, bentuk api *premixed* lebih mengerucut. Hal ini menunjukkan adanya oksigen yang masuk ke zona reaksi.



Gambar 4.17 Visualisasi Bentuk Api Dengan Pengaruh Medan Magnet Pada Pembakaran Campuran Kaya di Titik C (38,3 mT)



Gambar 4.18 Perubahan Bentuk Api Tanpa Medan Magnet dan Setelah Dengan Medan Magnet di Titik C (38,3 mT) Pada Campuran Kaya

Dan pada gambar 4.6 campuran kaya di titik C (38,3 mT) kecepatan pembakarannya meningkat. hal ini diilustrasikan pada gambar 4.17 dimana medan magnet yang ada di bawah titik C lebih kecil sehingga oksigen dari reaktan tertarik menuju zona reaksi dari medan magnet lemah ke medan magnet kuat sehingga oksigen pada zona reaksi bertambah. Kondisi ini membuat campuran kaya bahan bakar semakin miskin sehingga kecepatan pembakaran di titik C (38,3 mT) meningkat. dapat disimpulkan kecepatan pembakaran pada campuran kaya bahan bakar dengan pengaruh berbagai titik medan magnet semakin meningkat (Harendra, 2014).

Gambar 4.18 menunjukkan perubahan bentuk api dari tanpa medan magnet ke dengan medan magnet di titik C pada campuran kaya. Ujung api berwarna kuning karena ada bahan bakar yang belum terbakar sempurna. Karena adanya pengaruh medan magnet ujung api yang berwarna kuning semakin mengecil. Hal ini menunjukkan adanya penambahan oksigen ke zona reaksi.





BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari pembahasan pengaruh medan magnet terhadap kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk dapat disimpulkan bahwa medan magnet dapat mempengaruhi kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada campuran kaya, kecepatan pembakaran lebih besar dari pada tanpa medan magnet. medan magnet juga dapat mempengaruhi kecepatan pembakaran api *premixed* minyak biji kapuk pada campuran miskin, kecepatan pembakaran lebih kecil dari pada tanpa medan magnet. Dan variasi peletakan medan magnet dapat mempengaruhi banyak oksigen yang tertarik oleh medan magnet.

5.2 Saran

1. Diharapkan dalam penelitian selanjutnya menggunakan elektromagnet agar dapat memperoleh medan magnet yang lebih kuat.
2. Diharapkan dalam penelitian selanjutnya menggunakan kamera yang memiliki nilai fps (*frame per second*) agar didapatkan gambar api yang lebih bagus.