

**PENGARUH DEBIT OKSIGEN PADA PROSES CATALYTIC
CRACKING TERHADAP WAKTU DAN TEKANAN *FLASHBACK*
PEMBAKARAN UAP MINYAK KELAPA**

SKRIPSI

Konsentrasi Teknik Konversi Energi

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Disusun Oleh :

HERMAN SYAHRONI
NIM. 0410620044-62

DEPARTEMEN PENDIDIKAN NASIONAL

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

JURUSAN MESIN

MALANG

2009

RINGKASAN

Herman Syahroni., Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Desember 2009, *Pengaruh Debit Oksigen Pada Proses Catalytic Cracking Terhadap Waktu dan Tekanan Flashback Pembakaran Uap Minyak Kelapa*, Dosen Pembimbing: Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D.

Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera*) merupakan salah satu sumber energi alternatif yang berasal dari tumbuhan (pohon kelapa) dan keberadaannya sangat mudah ditemukan di lingkungan kita, khususnya di Indonesia. Pengembangannya sebagai energi alternatif diharapkan dapat mengurangi ketergantungan sumber energi pada bahan bakar minyak (BBM) yang bersifat *unrenewable*.

Untuk dapat menggunakan minyak kelapa sebagai bahan bakar di dalam sistem pembakaran, maka perlu adanya suatu rekayasa dalam sistem pembakaran tersebut. Antara lain dengan menguapkan minyak kelapa dan memberikan gas oksigen. Setelah kedua uap minyak kelapa dan oksigen bereaksi dengan perantara katalis padat yang ada, maka selanjutnya gas tersebut dibakar sehingga terjadi pembakaran *premixed* yang dapat menghasilkan *flashback* (ledakan ke arah *downstream*). Hal inilah yang nantinya dapat dimanfaatkan seperti halnya pada motor *otto*, yaitu ledakan akibat pembakaran bahan bakar dan udara pada tekanan tinggi mendorong torak untuk menghasilkan kerja mesin. Dari beberapa pernyataan diatas, maka perlu dilakukan penelitian mengenai metode perubahan bentuk (*reform*) dari bahan bakar cair menjadi gas yang dapat dibakar dan proses katalisis di dalamnya. Dengan minyak kelapa sebagai bahan bakar dasarnya, serta Zeolit sebagai katalis prosesnya, maka dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh debit oksigen pada proses *catalytic cracking* terhadap waktu dan tekanan *flashback* pembakaran uap minyak kelapa.

Dari penelitian didapatkan hasil, bahwa untuk butiran yang lebih besar penambahan debit oksigen akan mempercepat waktu *flashback* dan menurunkan tekanannya. Sedangkan untuk butiran yang lebih kecil penambahan debit akan memperlambat waktu *flashback* tetapi tekanannya cenderung konstan.

Kata kunci: AFR, Kecepatan Pembakaran, Katalis, *Flashback*, *Catalytic Cracking*.

KATA PENGANTAR

Puji syukur *Alhamdulillah*, saya ucapkan kehadirat Allah SWT. atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga skripsi yang berjudul “*Pengaruh Debit Oksigen pada Proses Catalytic Cracking terhadap Waktu dan Tekanan Flashback Pembakaran Uap Minyak Kelapa*” dapat terselesaikan.

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

1. Bapak Dr. Slamet Wahyudi, ST., MT, selaku Ketua Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
2. Bapak Anindito Purnowidodo, ST., M.Eng., Dr.Eng, selaku Sekretaris Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya Malang.
3. Bapak Ir. I Made Gunadiarta, MT, selaku Ketua Kelompok Konsentrasi Teknik Konversi Energi, Jurusan Mesin, Universitas Brawijaya.
4. Bapak Prof. Ir. I.N.G. Wardana, M.Eng, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, masukan, dan saran yang konstruktif dalam menyusun skripsi ini.

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

Malang, 8 Desember 2009

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	iv
DAFTAR GAMBAR.....	v
DAFTAR LAMPIRAN.....	vi
DAFTAR SIMBOL.....	vii
RINGKASAN	viii

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Batasan Masalah	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya.....	5
2.2. Pembakaran.....	5
2.2.1. Klasifikasi Pembakaran	6
2.2.2. Perbandingan Udara-Bahan bakar (AFR).....	8
2.2.3. Persen Udara Lebih dan Udara Teoritis.....	10
2.2.4. Kecepatan Pembakaran.....	10
2.2.5. Kestabilan Api	12
2.3. Minyak Kelapa (<i>Cocos Nucifera</i>)	14
2.4. Teori Kinetik Gas.....	19
2.5. Impuls dan Momentum.....	20
2.6. Katalis	21
2.7. Zeolit.....	24
2.7.1. Struktur Zeolit.....	24
2.7.2. Adsorpsi dan Difusi Pada Zeolit.....	26
2.7.3. Modifikasi Zeolit	27

2.8. <i>Catalytic Cracking</i>	28
2.9. Kerangka Teoritis	29
2.10. Hipotesa	29

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian	30
3.2. Variabel Penelitian.....	30
a. Variabel Bebas	30
b. Variabel Terikat	30
c. Variabel Terkendali.....	30
3.3. Alat-alat Penelitian	31
3.4. Skema Instalasi Penelitian	33
3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian.....	34
3.6. Diagram Alir Penelitian.....	36

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian	37
4.2. Pembahasan	37
4.2.1. Hubungan Perbandingan Berbagai Variasi debit oksigen terhadap AFR.....	37
4.2.1.1. Perhitungan	37
4.2.1.2. Hubungan Perbandingan Berbagai Variasi Debit Oksigen Terhadap AFR.....	39
4.2.2. Hubungan Perbandingan Berbagai Variasi Debit Oksigen Terhadap Waktu <i>Flashback</i> Pada Dua Jenis Ukuran Butir Zeolit	40
4.2.3. Hubungan Perbandingan Berbagai Variasi Debit Oksigen Terhadap Tekanan <i>Flashback</i> Pada Dua Jenis Ukuran Butir Zeolit	42

BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan	44
5.2. Saran	44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

No.	Judul	Halaman
Tabel 2.1.	Produksi Minyak Nabati Indonesia	15
Tabel 2.2.	Sifat Fisik Beberapa Minyak Nabati dan Minyak Fosil	16
Tabel 2.3.	Perbandingan minyak kelapa dengan spesifikasi standar minyak diesel.	17
Tabel 2.4.	Beberapa energi ikatan dan jarak ikatan beberapa unsur dan senyawa.	19

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

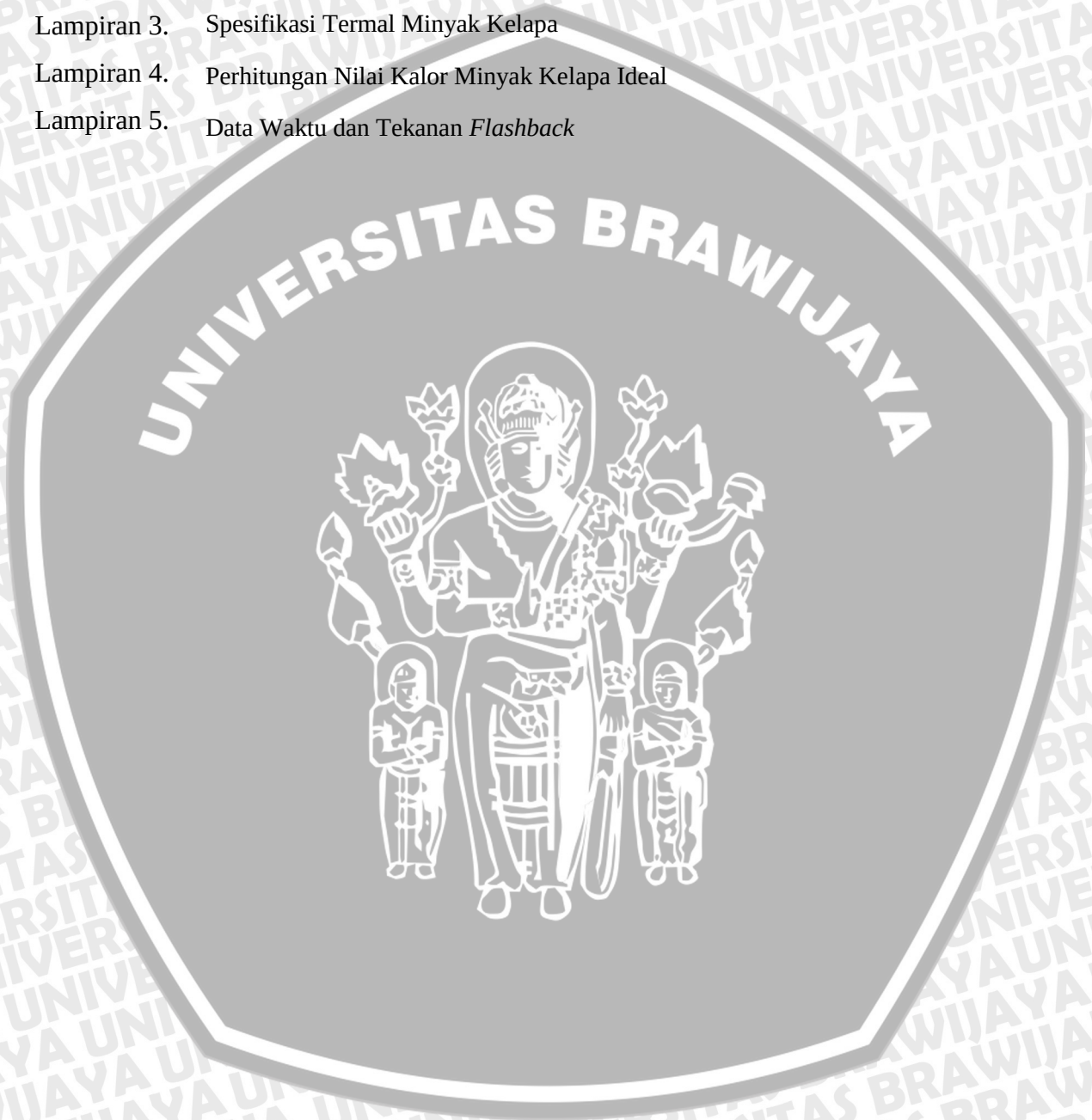


DAFTAR GAMBAR

No.	Judul	Halaman
Gambar 2.1.	Skema dari gelombang pembakaran	7
Gambar 2.2.	Pengaruh temperatur awal reaktan terhadap kecepatan pembakaran	11
Gambar 2.3.	Variasi pengaruh perbandingan campuran terhadap kecepatan api	12
Gambar 2.4.	Mekanisme kestabilan api <i>premixed</i>	13
Gambar 2.5.	Beberapa kondisi api pada <i>Bunsen burner</i>	14
Gambar 2.6.	Minyak Kelapa dan Buah Kelapa	15
Gambar 2.7.	Rumus Molekul Minyak Kelapa	18
Gambar 2.8.	Diagaram energi aktivasi	22
Gambar 2.9.	Reaksi katalitik dalam rongga katalis	23
Gambar 2.10.	Struktur tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 dalam zeolit	25
Gambar 2.11.	Struktur bangun zeolit	25
Gambar 2.12.	Difusi Molekular	27
Gambar 2.13.	Difusi Knudsen	27

DAFTAR LAMPIRAN

No.	Judul
Lampiran 1.	Visualisasi Api <i>Flashback</i>
Lampiran 2.	Visualisasi Grafik ADC
Lampiran 3.	Spesifikasi Termal Minyak Kelapa
Lampiran 4.	Perhitungan Nilai Kalor Minyak Kelapa Ideal
Lampiran 5.	Data Waktu dan Tekanan <i>Flashback</i>



DAFTAR SIMBOL

Besaran Dasar	Satuan	Simbol
Gaya	Newton	F
Massa	Kilogram	m
Panjang	Meter	l
Tekanan	Pascal	P
Temperatur	Kelvin	T
Waktu	Sekon	t



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembakaran merupakan kunci dalam kehidupan modern terutama menyangkut teknologi tinggi. Sampai saat ini pembakaran masih memegang peranan yang sangat penting. Hampir disemua aspek kehidupan mulai dari rumah tangga hingga dalam bidang industri dan transportasi memanfaatkan proses pembakaran. Akhir-akhir ini banyak digalakkan program diversifikasi energi yaitu pencarian terhadap sumber-sumber energi baru yang dapat di perbaharui untuk mengurangi ketergantungan pada BBM yang bersumber dari energi fosil. Diversifikasi energi dapat dilakukan melalui pengembangan sumber-sumber energi baru, seperti bioetanol, minyak nabati, panas bumi, mikrohidro, biomassa, tenaga surya, tenaga angin, limbah, nuklir dan lain sebagainya.

Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera*) merupakan salah satu sumber energi alternatif yang berasal dari tumbuhan (pohon kelapa) dan keberadaanya sangat mudah ditemukan di lingkungan kita, khususnya di Indonesia. Pohon ini merupakan tanaman tropis dan dapat tumbuh didaerah dataran rendah. Minyak kelapa ini diperoleh dari daging buah kelapa dengan proses yang sederhana, yaitu dengan menggunakan alat penekan hidrolis atau dengan menggunakan mesin sentrifugal. Oleh sebab itu, prospeknya sangat bagus untuk dijadikan bahan bakar alternatif sebagai pengganti bahan bakar yang tak terbaharui. Apalagi Indonesia merupakan negara penghasil minyak kelapa kedua di dunia (30,7 % ; *Oil World*, 2000) dengan areal seluas 3,7 juta hektare dan produksi 2,8 juta butir kelapa sekali panen (*Manggabarani*, 2006 ; *Ditjenbun*, 2006). Bila dibandingkan dengan sumber bahan bakar minyak nabati yang lain, rendemen minyak yang dihasilkan oleh kelapa relatif tinggi. Selain itu ekstraksi daging buah kelapa dapat menghasilkan rendemen minyak kelapa sebesar 60-70% isi berat kering. Sifat-sifat fisik bahan bakar minyak kelapa pun tidak jauh berbeda dengan minyak-minyak yang lain.

Jika berbicara mengenai masalah pembakaran maka tidak dapat lepas dari bahan bakar dari pembakaran itu sendiri. Kandungan utama bahan bakar adalah senyawa hidrokarbon yang tidak dapat diperbaharui sehingga suatu saat nanti pasti akan habis,

padahal konsumsi minyak bumi semakin meningkat. Berangkat dari masalah masalah di atas, banyak juga dikembangkan teknik-teknik baru pembakaran.

Untuk dapat menggunakan minyak kelapa sebagai bahan bakar di dalam sistem pembakaran, maka perlu adanya suatu rekayasa dalam sistem pembakaran tersebut. Viskositasnya yang tinggi, pada suhu ruang mencapai 10 kali lipat dibanding viskositas solar, mengakibatkan penggunaan langsung dalam motor bakar dapat menimbulkan kerusakan pada mesin. Oleh sebab itu, viskositasnya harus dikurangi baik dengan cara dikonversi menjadi bentuk lain yang viskositasnya rendah atau dengan cara dipecah (*cracking*) menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Penelitian yang telah dilakukan oleh Tirena Bahnur Siregar (2005) dengan menggunakan zeolit sebagai katalis pada proses perengkahan katalitik (*catalytic cracking*) uap minyak sawit menjadi bensin, didapatkan adanya pengaruh variasi perlakuan zeolit terhadap kualitas minyak bensin yang dihasilkan. Sedangkan Sommerer (2004) yang meneliti api *flashback* pada pembakaran *premixed* miskin dengan penguapan awal (*Lean Premixed Prevaporized combustion*) mendapatkan adanya hubungan antara pusat zona resirkulasi dengan aliran perambatan api *flashback*.

Dari beberapa penelitian di atas, maka dilakukan penelitian lebih lanjut dengan cara menguapkan sejumlah volume minyak kelapa agar bisa diupayakan bercampur dengan udara (gas oksigen) di dalam suatu tabung (*reformer*). Setelah campuran itu secara bersamaan melewati katalis padat yang ada, maka selanjutnya gas tersebut dibakar sehingga terjadi pembakaran *premixed* yang dapat menghasilkan api *flashback* (ledakan ke arah *downstream*) bertekanan. Hal inilah yang nantinya dapat dimanfaatkan seperti halnya pada motor *otto*, yaitu ledakan akibat pembakaran bahan bakar dan udara pada tekanan tinggi mendorong torak untuk menghasilkan kerja mesin

Pada proses pembakaran, banyak sedikitnya oksigen yang digunakan akan sangat berpengaruh terhadap hasil pembakaran. Untuk itu perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh debit oksigen pada proses *catalytic cracking* terhadap waktu dan tekanan *flashback* pembakaran uap minyak kelapa.

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah diatas, maka dapat ditarik rumusan masalah yang akan diteliti yaitu bagaimana pengaruh debit oksigen pada proses *catalytic cracking* terhadap waktu dan tekanan *flashback* pembakaran uap minyak kelapa.

1.3. Batasan Masalah

Agar penelitian tidak semakin meluas, maka perlu diberi batasan pada masalah yang diteliti, yaitu :

1. Bahan bakar yang digunakan adalah minyak kelapa (*Cocos Nucifera*) tanpa melalui proses transesterifikasi lebih lanjut.
2. Debit oksigen yang dialirkan adalah 1.2402 cc/detik, 1.3188 cc/detik, 1.390 cc/detik, 1.458 cc/detik dan 1.523 cc/detik.
3. Volume minyak kelapa yang dialirkan sebesar 1,4 ml.
4. Ukuran butir zeolit yang digunakan sebesar 2-3 mm dan 3-4 mm sama untuk setiap pengujian.
5. Minyak yang dipanaskan dianggap teruapkan seluruhnya.
6. Temperatur zeolit dianggap tetap selama pengujian.
7. Tidak membahas konstruksi dan proses perpindahan panas pada alat.
8. Tidak dipengaruhi kondisi lingkungan penelitian.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh debit oksigen pada proses *catalytic cracking* terhadap waktu dan tekanan *flashback* pembakaran uap minyak kelapa (*Cocos Nucifera*).

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah :

1. Dapat meningkatkan pengetahuan khususnya tentang pengaruh debit oksigen pada proses *catalytic cracking* terhadap waktu dan tekanan *flashback* pembakaran uap minyak kelapa (*Cocos Nucifera*).

2. Menambah khasanah pengetahuan tentang penggunaan modifikasi minyak kelapa sebagai bahan bakar alternatif yang bisa diperbaharui (*renewable*).
3. Memberikan pengetahuan baru mengenai teknologi katalis yang berguna bagi masyarakat dalam bidang rumah tangga, industri, transportasi dan lain sebagainya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Sebelumnya

M.P. Proctor (1985) melakukan penelitian tentang api *flashback* pada alat pembakaran *premixed* dengan penguapan awal, mendapatkan hasil bahwa meningkatnya *fuel/air equivalence ratio* berpengaruh pada meningkatnya amplitudo puncak ke puncak *flashback* hingga mencapai tekanan 1,4 psi.

Sommerer (2004) yang meneliti api *flashback* pada pembakaran *premixed* miskin dengan penguapan awal (*Lean Premixed Prevaporized combustion*) mendapatkan adanya hubungan antara pusat zona resirkulasi dengan aliran perambatan api *flashback*.

Tirena Bahnur Siregar (2005) yang melakukan penelitian tentang perengkahan katalitik (*catalytic cracking*) dengan menggunakan zeolit sebagai katalis pada proses *catalytic cracking* uap minyak sawit menjadi bensin. Dari penelitian tersebut didapatkan adanya pengaruh variasi perlakuan zeolit terhadap kualitas minyak bensin yang dihasilkan.

2.2. Pembakaran

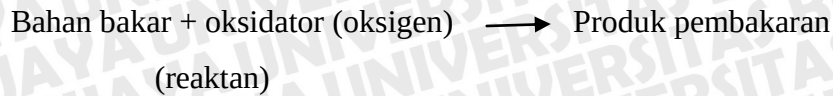
Pembakaran merupakan reaksi kimia oksidasi yang sangat cepat antara oksigen dan bahan yang dapat terbakar disertai dengan timbulnya cahaya dan menghasilkan kalor serta berlangsung pada temperatur yang sangat tinggi.

Selama proses pembakaran akan ada dua peristiwa yang pasti terjadi, yaitu:

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

Berdasarkan dua peristiwa di atas terdapat dua hal yang sangat penting yang harus dipenuhi agar proses pembakaran bisa berlangsung, antara lain *kesetimbangan massa* dan *kesetimbangan energi* (Wardhana,1995:11).

Persamaan reaksi pembakaran secara umum :



Pada proses pembakaran selalu diusahakan terjadinya pembakaran yang sempurna, karena itu ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi, yaitu :

1. Penguapan yang efisien dari bahan bakar.
2. Digunakan cukup udara .
3. Harus terjadi campuran yang homogen antara bahan bakar dan udara.
4. Temperatur pembakaran harus cukup tinggi.

Kalau salah satu syarat ini tidak dipenuhi maka tidak akan terjadi pembakaran sempurna (Soetiari Tj,1990:35).

Reaksi pembakaran stoikiometri dari minyak kelapa (*Cocos nucifera*) dengan rumus kimia $C_{107}H_{207}O_2$ yang dibakar dengan oksigen adalah seperti persamaan berikut:

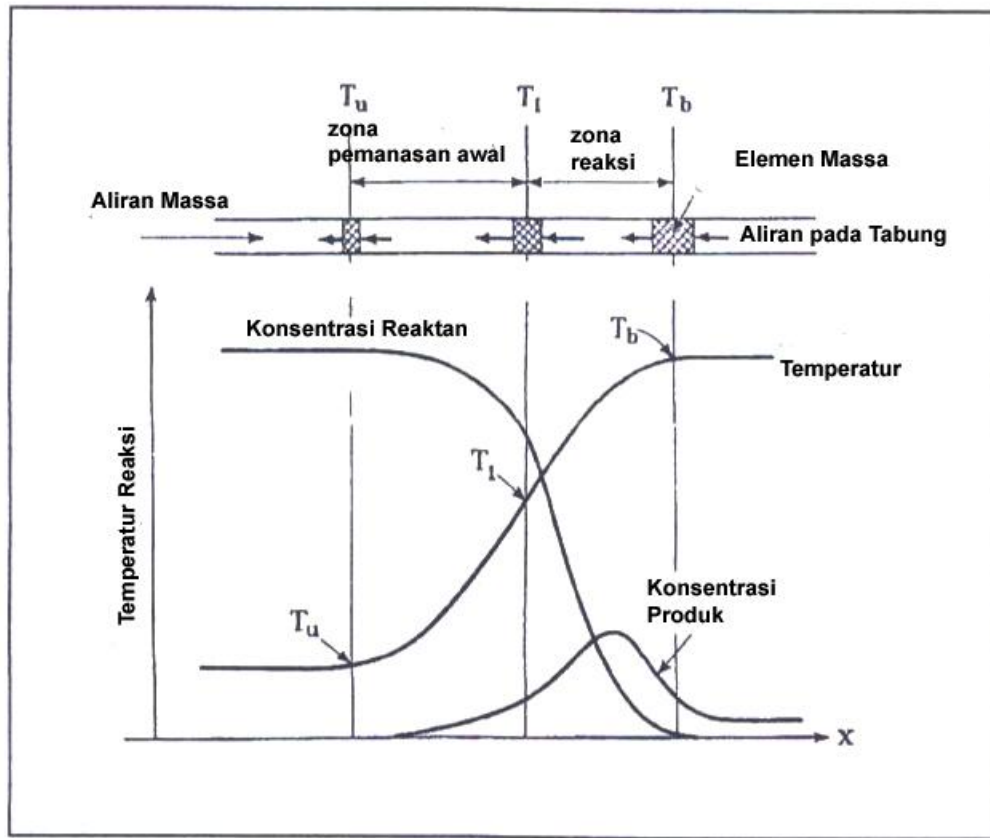


2.2.1. Klasifikasi Pembakaran

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

1. Berdasarkan cara reaktan terbakar :

- Pembakaran *premixed* adalah proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi sudah bercampur terlebih dahulu sebelum terjadi pembakaran. Contoh pembakaran jenis ini dapat dilihat pada proses pembakaran motor bensin, las karbit dan pembakaran roket. Nyala api *premixed* berlangsung secara cepat, umumnya berlangsung pada tekanan konstan, reaksi berjalan pada kondisi eksotermis, yang menghasilkan panas dan radiasi yang cukup besar serta rambatan gelombang yang cukup tinggi. Pada pembakaran *premixed* terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut *flame*. Gelombang pembakaran merambat ke arah reaktan. Di belakang gelombang pembakaran terbentuk produk pembakaran. Secara garis besar rambatan gelombang pembakaran dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.1. Skema dari gelombang pembakaran
Sumber : Bernard Lewis, 1961 : 204

Pada gambar 2.1 terlihat distribusi konsentrasi reaktan, konsentrasi produk, konsentrasi radikal, dan kecepatan gas adalah seperti terlihat dalam gambar. Radikal akan selalu muncul pada zona reaksi sebagai konsekuensi dari reaksi berantai. Gelombang pembakaran dapat merambat karena dalam api terjadi gradien temperatur. Temperatur produk lebih tinggi dari temperatur reaktan. Oleh karena itu berdasarkan hukum Termodinamika maka akan terjadi transfer panas dari produk ke reaktan. Transfer panas yang terus menerus tersebut akan meningkatkan temperatur reaktan. Jika temperatur reaktan meningkat maka daerah pemanas awal akan bergeser ke kiri, sedangkan zona yang tadinya menjadi pemanas awal temperaturnya akan menjadi lebih tinggi sehingga terjadi pembakaran. Dengan demikian daerah pemanas awal akan menjadi zona reaksi. Peristiwa ini terjadi secara kontinyu sehingga api akan merambat ke arah reaktan.

- Pembakaran *difusi* yaitu proses pembakaran dimana bahan bakar dan udara sebagai pengoksidasi tidak bercampur secara mekanik, melainkan dibiarkan bercampur sendiri secara alami melalui proses difusi selanjutnya baru terjadi pembakaran.
2. Berdasarkan aliran (aerodinamika) reaktan saat melintasi zona reaksi :
- Aliran laminar : semua proses pencampuran dan proses penjalaran reaktan maupun panas terjadi secara molekuler.
 - Aliran turbulen : semua proses pencampuran dan proses penjalaran di bantu oleh gerakan pusaran-pusaran aliran makro turbulensi. Selain itu turbulensi akan membantu meningkatkan kecepatan api atau kecepatan reaksi pembakaran
3. Keadaan fisik awal dari bahan bakar
- Padat : proses pembakaran sangat panjang yakni dari padat menjadi cair, setelah itu diubah menjadi gas kemudian dibakar
- Untuk mencari nilai bakar (*Heating Value*) dari bahan bakar padat, biasanya digunakan rumus pendekatan Mendeleyev :
- $$QL = 81C + 246H + 26(O - SV) - 6W$$
- Dimana :
- $$QL = NHV = LHV = \text{nilai kalor bawah (kkal/kg)}.$$
- C, H, O, SV, W : kandungan karbon, hidrogen, oksigen, belerang, air (% berat).
- Untuk menghitung nilai kalor batubara dengan menggunakan hasil analisis *proximate*
- Cair : bahan bakar cair diubah dulu menjadi gas kemudian dibakar.
 - Gas : bahan bakar gas tidak memerlukan perubahan fase, langsung terbakar, sehingga energi yang di butuhkan untuk penyalaan lebih sedikit.
- Pada semua pembakaran prosesnya adalah difusi dan reaksi sehingga keadaan fisik bahan bakar harus di ubah menjadi gas kemudian di bakar.

2.2.2. Perbandingan Udara-Bahan Bakar (AFR)

Salah satu syarat agar proses pembakaran berlangsung sempurna adalah penggunaan udara (oksigen) yang cukup selama pembakaran. Banyaknya udara pembakaran tiap satuan kuantitas bahan bakar disebut rasio udara dan bahan bakar (*Air Fuel Ratio*). AFR dapat dinyatakan dalam mol udara per mol bahan bakar yang dirumuskan dengan:

$$\phi_{AFR_{stoikio}} = \left(\frac{N_{udara}}{N_{bahan_bakar}} \right) \quad (\text{Wardana, 1996: 58}) \dots \dots \dots (2.2)$$

Untuk pembakaran stoikiometri dari minyak kelapa ($C_{107}H_{207}O_2$) seperti pada persamaan (2.2) akan diperoleh

$$AFR = \frac{N_{oksigen}}{N_{bahanbakar}} = \frac{160.25}{1}$$

Sesuai dengan hukum Avogadro diketahui bahwa satu mol sebuah zat adalah jumlah yang massanya sama dengan massa molekul atau massa atom zat tersebut yang dinyatakan dalam gram atau kilogram, sehingga:

$$\begin{aligned} \phi_{AFR_{stoikio}} &= \left(\frac{M_{oksigen}}{M_{bahanbakar}} \right) \\ &= \frac{160.25(32)}{1 \times [12 \times 107] + (1 \times 207) + (2 \times 16)} \\ &= \frac{5128}{1523} \\ &= 3.37 \frac{kg_{oksigen}}{kg_{bahanbakar}} \end{aligned}$$

Perbandingan antara $(AFR)_{stoikio}$ dengan $(AFR)_{aktual}$ dinyatakan sebagai *equivalence ratio* (Φ), sebagai berikut:

$$\Phi = \frac{(AFR)_{stoikometri}}{(AFR)_{aktual}} \quad (\text{Wardana, 1996: 65}) \dots \dots \dots (2.3)$$

dengan, $\Phi < 1$, menunjukkan campuran miskin (*lean mixture*)

$\Phi = 1$, menunjukkan campuran stoikiometri

$\Phi > 1$, menunjukkan campuran kaya (*rich mixture*)

Keseimbangan pada nilai *equivalence ratio* (semakin mendekati stoikiometri) akan berpengaruh terhadap kecepatan pembakaran serta apakah pembakaran dapat berlangsung sempurna atau tidak.

2.2.3. Persen udara lebih dan udara teoritis

Di dalam aplikasinya pembakaran tidak pernah terjadi secara sempurna atau stoikiometrik. Hal ini sangat dipengaruhi lingkungan maupun konstruksi peralatan pembakaran seperti ruang bakar mesin kendaraan atau ruang bakar boiler di industri. Biasanya untuk mengantisipasi pembakaran yang kurang sempurna selalu disuplai udara berlebih ke ruang bakar. Persen udara lebih biasanya dilambangkan dengan λ . Secara matematis persen udara lebih dirumuskan sebagai berikut :

$$\lambda = \left(\frac{AFR_{aktual} - AFR_{stoik}}{AFR_{stoik}} \right) \times 100 \% \quad (Wardana, 2008: 64) \dots \dots \dots (2.4)$$

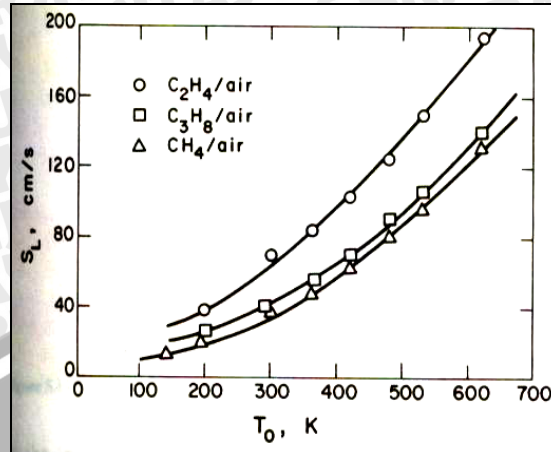
Dalam hal ini AFR_{aktual} maupun $AFR_{stoikiometri}$ bisa dalam perbandingan mol atau berat. Selain itu juga ada istilah udara teoritis. Hubungan antara udara teoritis dan persen udara lebih adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Udara teoritis} &= 100 \% + \text{persen udara lebih} \\ &= (100 + \lambda) \% \end{aligned} \quad (Wardana, 2008: 64) \dots \dots \dots (2.5)$$

2.2.4. Kecepatan Pembakaran

Pada pembakaran *premixed* terjadi perambatan gelombang pembakaran yang disebut dengan *flame* (api). Api tersebut bergerak karena adanya gradien temperatur antara produk yang memiliki temperatur tinggi dan reaktan yang bertemperatur lebih rendah, sehingga terjadi transfer panas dari produk ke reaktan. Api yang menuju reaktan inilah yang disebut kecepatan pembakaran (Wardana;1996: 42). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi kecepatan pembakaran, diantaranya adalah :

1. Luasan daerah kontak reaksi antara bahan bakar dan udara
2. Tingginya temperatur pembakaran



Gambar 2.2. Pengaruh temperatur awal reaktan terhadap kecepatan pembakaran
Sumber : Kuo; 1986 : 313

3. Adanya aliran turbulen untuk pengadukan bahan bakar dan udara
4. Penggunaan katalis

Berdasarkan beberapa faktor diatas, kecepatan pembakaran dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$S_L = \left[R \left(\frac{T_b - T_i}{T_i - T_u} \right) \left(\frac{\lambda}{C_p \cdot \rho} \right) \left(\frac{-\dot{\omega}^m F}{C_R} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Wardana, 2008:159}) \dots\dots\dots (2.6)$$

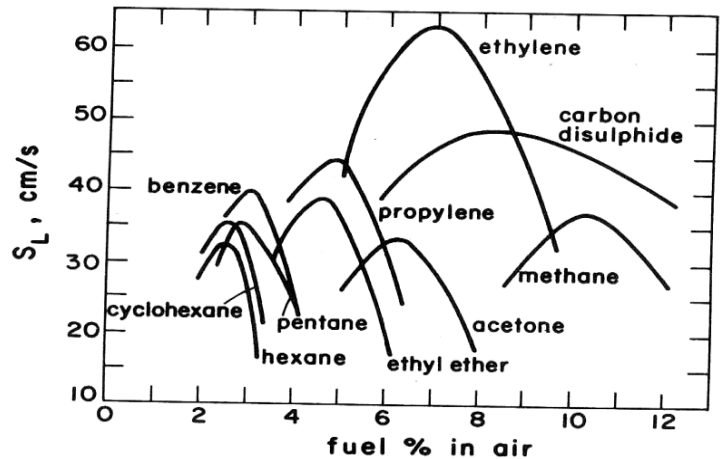
dimana:

- T_b : temperatur produk (K)
- T_i : temperatur penyalan (K)
- T_u : temperatur reaktan (K)
- λ : persen udara lebih
- ρ : massa jenis bahan bakar (Kg/mm³)
- −ω^m F : kecepatan reaktan untuk bereaksi menjadi produk (m/s)
- C_R : konsentrasi reaktan (mol/mm³)

Pada perbandingan udara-bahan bakar yang berbeda akan menghasilkan kecepatan perambatan api yang berbeda pula. Untuk bahan bakar hidrokarbon, kecepatan perambatan api maksimum terjadi pada perbandingan stoikiometri atau campuran yang sedikit lebih kaya. Terlalu miskin atau terlalu kaya suatu campuran, akan tidak mungkin untuk

merambatkan api dalam kondisi tersebut karena terlalu sedikit bahan bakar atau oksidan untuk menciptakan gelombang pembakaran (*Kenneth K.Kuo, 1986:309*).

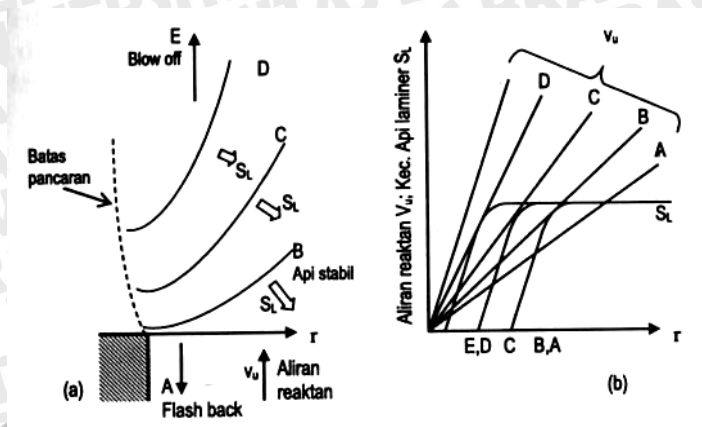
Pada gambar berikut ditampilkan pengaruh persentase volume bahan bakar dalam udara terhadap kecepatan api dari beberapa jenis bahan bakar.



Gambar 2.3. Variasi pengaruh perbandingan campuran terhadap kecepatan api
Sumber: Kenneth K. Kuo, *Principles of Combustion*, 1986: 310.

2.2.5. Kestabilan api

Didalam proses pembakaran, kestabilan api memegang peranan yang sangat besar. Contoh umum yang digunakan dalam menganalisa kestabilan api dapat dilihat pada bentuk kerucut api *premixed* pada nosel pembakar Bunsen. Apabila nosel dibelah dua dan ditempatkan pada posisi rebah maka dapat dilihat distribusi kecepatan dan gelombang pembakaran pada berbagai kondisi seperti pada gambar 2.4 di bawah.



Gambar 2.4. Mekanisme kestabilan api premixed: (a) bagian kerucut api; (b) gradien kecepatan api dan reaktan.

Sumber: Wardana, ING; *Bahan bakar dan Teknologi Pembakaran*; 2008:171.

Dari gambar di atas dapat dijelaskan beberapa kondisi api pada pembakaran *premixed*, yang antara lain adalah:

1) Api stabil

Api dikatakan stabil jika tetap stasioner pada posisi tertentu. Kondisi pembakaran yang stabil akan terjadi jika garis kecepatan gas reaktan (V_u) menyinggung garis kecepatan pembakaran (S_L), seperti tampak antara garis B dan C dengan kurva S_L . Pada kondisi ini kecepatan pembakaran sama dengan dengan kecepatan gas reaktan.

2) Flashback

Peristiwa ini terjadi jika garis kecepatan gas reaktan V_u (garis A) memotong garis kecepatan pembakaran S_L di dua titik, yaitu kondisi di mana kecepatan gas reaktan lebih rendah dari kecepatan pembakaran sehingga api akan bergerak ke arah mulut nosel (*upstream*). Toleransi minimum untuk terjadinya *flashback* adalah ketika campuran reaktan dalam kondisi stoikiometri yang agak kaya, dimana terjadi kecepatan api laminar maksimum.

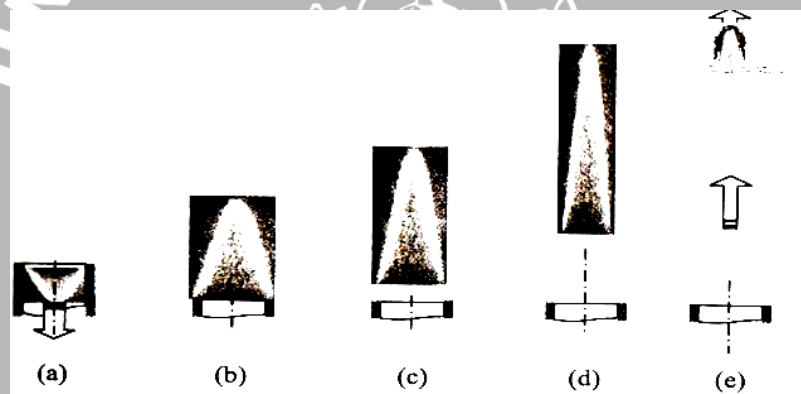
3) *Lifted*

Terjadi ketika kecepatan reaktan meningkat sehingga sudut kerucut api mengecil dan permukaan hulu api sedikit menjauh dari mulut nosel ke arah hilir. Kondisi ini dapat dilihat pada garis reaktan D yang bersinggungan namun cenderung menjauh terhadap garis kecepatan pembakaran S_L .

4) *Blowoff*

Terjadi jika garis kecepatan gas reaktan tidak memotong garis kecepatan pembakaran (garis E), yaitu kondisi di mana kecepatan gas reaktan lebih besar dari kecepatan pembakaran yang mengakibatkan meningginya bagian hulu api ke posisi hilir yang jauh dari mulut nosel dan kemudian padam tertiuap.

Ketiga kondisi yang disebutkan terakhir merupakan ketidakstabilan api. Beberapa kondisi api pada *Bunsen burner* dapat dilihat pada gambar 2.5 di bawah ini.



Gambar 2.5. Beberapa kondisi api pada *Bunsen burner*: (a) *flashback*, (b) stabil, (c) *liftoff*, (d) *lifted*, (e) *blowoff*.

Sumber: Wardana,ING; *Bahan bakar dan Teknologi Pembakaran*; 2008:169

2.3. Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera*)

Tanaman Kelapa (*Cocos Nucifera*) merupakan komoditas yang paling luas penyebarannya karena selain dibudidayakan oleh manusia juga tumbuh secara alami ditempat-tempat yang tidak dihuni oleh manusia. Tanaman dari keluarga *Falmales* ini banyak ditemukan di daerah yang beriklim tropis (*Benson,1882*). Tumbuhan yang terdiri dari 35% serabut, 12% tempurung, 28% daging, dan 21% air merupakan tanaman yang paling banyak kegunaannya karena hampir tiap bagian dari pohon tersebut dapat dimanfaatkan.

Minyak kelapa diperoleh dari daging buah tumbuhan kelapa (*cocos nucifera*), dimana kandungan minyak pada daging buah kelapa tua adalah sebanyak 34,7% (Ristek, 2007) sehingga pemanfaatan minyak kelapa sebagai bahan baku biodiesel perlu dikembangkan, karena potensi minyak kelapa sangat besar untuk pembuatan biodiesel. Bila dibandingkan dengan sumber bahan bakar minyak yang lain, rendemen minyak yang dihasilkan oleh kelapa relatif tinggi. Apalagi untuk memenuhi permintaan bahan bakar yang saat ini sangat tinggi

Tabel 2.1. Produksi Minyak Nabati Indonesia

Tanaman Biji	Hasil Bahan Bakar Minyak (liter/hektar)
Jagung	172
Kedelai	446
Canola	1,190
Jarak	1,892
Kelapa	2,689
Kelapa Sawit	5,950

Sumber : <http://www.dkp.go.id/files/MarineBiodieselPenggantiBahanBakarMinyak.pdf>

Minyak kelapa sangat berpotensi menggantikan minyak diesel karena titik bakar (temperatur yang menunjukkan mulai terbakarnya suatu bahan bakar) pada minyak kelapa lebih rendah daripada minyak nabati lainnya, meskipun viskositasnya lebih tinggi daripada minyak diesel. Minyak kelapa berasal dari pengolahan daging buah kelapa. Pengolahan bisa dilakukan dengan berbagai cara, salah satunya adalah dengan cara basah yang terdiri dari : Cara Basah Tradisional, Cara Basah Sentrifugasi, dan Cara Basah Fermentasi (tanpa menggunakan api).



Gambar 2.6. Minyak Kelapa dan Buah Kelapa

Sumber : http://niceceu.blogsome.com/images/kelapa_01.jpg
http://wb4.indo-work.com/pdimage/30/185730_151.jpg

Sifat dan karakteristik minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*), dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.2. Sifat Fisik Beberapa Minyak Nabati dan Minyak Fosil

Jenis Minyak	Titik Bakar (0C)	Kekentalan (10 -6 m2/s)	Angka Iodine	Saponification Value	Nilai Kalori (MJ/Kg)
Jarak	340	75,7	103,0	198,0	39,65
Kelapa	270-300	51,9	10,4	268,0	37,54
Kelapa Sawit	314	88,6	54,2	199,1	39,54
Rapeseed	317	97,7	98,6	174,7	40,56
Bunga Matahari	316	65,8	132,0	190,0	39,81
Minyak Tanah	50-55	2,2	-	-	43,50
Minyak Solar	55	2-8	-	-	45,00

Sumber : Lide dan Frederikse,1995 dalam Mahlbauer et al. (1998).

Komposisi asam lemak minyak kelapa terdiri dari asam laurat ($C_{11}H_{23}COOH$) sebesar 48 %, asam miristat ($C_{13}H_{27}COOH$) sebesar 17,5 %, asam palmitat ($C_{15}H_{31}COOH$) sebesar 8,8 %, asam kaplirat ($C_7H_{17}COOH$) sebesar 8 %, asam kaprat ($C_9H_{19}COOH$) sebesar 7 %, asam oleat ($C_{17}H_{33}COOH$) sebesar 6 %, asam linoleat ($C_{17}H_{31}COOH$) sebesar 2,5 % dan asam stearat ($C_{17}H_{35}COOH$) sebesar 2 %. Minyak kelapa juga memiliki asam lemak bebas (FFA) kurang dari 5%. Konversi biodiesel dengan kandungan FFA sebesar 1,97 – 5,31% pada bahan baku dapat menghasilkan rendemen proses sebesar 82,69 – 90,01%. Pada percobaan dengan perlakuan kandungan FFA menunjukkan semakin besar kandungan asam lemak bebas semakin kecil konversi biodiesel yang dihasilkan. Adanya kandungan FFA yang tinggi akan menyebabkan pembentukan sabun, yang selanjutnya akan tercampur dengan bahan baku, menghambat proses transesterifikasi sehingga memperkecil produksi biodiesel (Susilo, 2006).

Reaksi pembakaran stoikiometri dari minyak kelapa (*Cocos nucifera*) dengan rumus kimia $C_{107}H_{207}O_2$ yang dibakar dengan oksigen adalah seperti persamaan berikut:



Alasan minyak kelapa (*Cocos Nucifera*) dipilih sebagai bahan bakar alternatif karena:

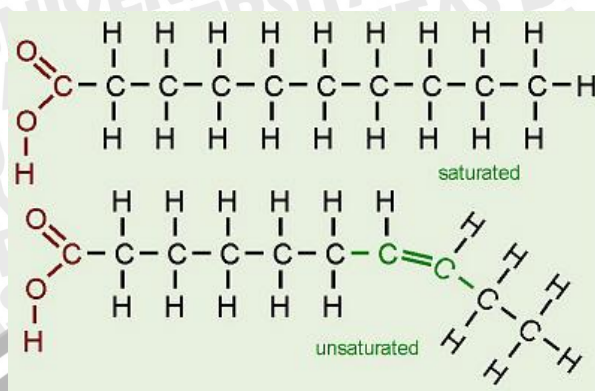
1. Tanaman kelapa yang mudah tumbuh dan dapat dikembangkan sebagai bahan penghasil BBM alternatif.
2. Minyak kelapa merupakan sumber minyak terbarukan (*renewable fuels*).
3. Emisi yang dihasilkan lebih rendah dari bahan bakar minyak.
4. Secara agronomis tanaman kelapa bisa tumbuh di daerah-daerah tepencil yang sulit mendapatkan bahan bakar minyak
5. Mudah dalam pengolahannya.

Tabel 2.3. Perbandingan Minyak Kelapa dengan Spesifikasi Standar Minyak Diesel.

Specification	Standard Specification of <i>Cocos Nucifera</i> L.	Standard specification of Diesel
Specific gravity	0,922-0,926	0,82-0,84
Flash point	287°C.	50°C
Carbon residue	0,09 or less	0,15 or less
Cetane value	60	45- 55.0
Distillation point	>232°C,	350°C
Kinematics Viscosity	26,220 cSt	> 2,7 cSt
Sulphur %	0,009	1,2 % or less
Calorific value	9.096 kcal/kg	10.170 kcal/kg
Pour point	21,25°C	10°C

Sumber : www.edc-cu.org/workshop/bradley.ppt

Rumus struktur dari minyak kelapa (*Cocos Nucifera*.) adalah:



Gambar 2.7. Rumus Molekul Minyak Kelapa (*Cocos Nucifera*.)

Sumber : <http://biology.clc.uc.edu/graphics/bio104/fatty%20acid.jpg>

Pada struktur kimia minyak kelapa yang ada di atas dapat dilihat bahwa rantainya memiliki ikatan panjang. Termasuk dalam susunan asam lemak rantai sedang (*medium chain fatty acids*) yang memiliki 8-16 atom karbon yang diikat oleh 1 atom hidrogen. Karena memiliki ikatan panjang menyebabkan atom-atom dari minyak kelapa menjadi stabil, sehingga minyak kelapa akan lebih sulit terbakar dan butuh energi yang besar untuk melepaskan ikatan-ikatan atom dari minyak kelapa tersebut. Namun minyak kelapa merupakan asam lemak jenuh (*Saturated Fatty Acid*), yaitu tidak memiliki ikatan ganda, sehingga nilai energi disosiasinya rendah dibanding minyak nabati lain yang memiliki ikatan rangkap.

Energi disosiasi ikatan didefinisikan sebagai sejumlah energi yang dibutuhkan untuk memutuskan satu mol ikatan kimia suatu zat dalam fase gas. Satuan SI (standar internasional) untuk energi disosiasi ikatan adalah kilojoule per mol ikatan (kJ/mol).

Dengan demikian kekuatan suatu ikatan kimia ditentukan oleh energi disosiasi ikatan yang besarnya tergantung pada sifat ikatan antara atom-atom. Di samping itu, terdapat hubungan antara energi disosiasi ikatan dan jarak ikatan, yaitu jarak antara inti dari atom-atom yang berikatan. Semakin pendek jarak ikatannya maka semakin kuat ikatan kimianya. Di bawah ini ditunjukkan data energi ikatan dan jarak ikatan untuk sejumlah ikatan kimia :

Tabel 2.4. Beberapa Energi Ikatan dan Jarak Ikatan Beberapa Unsur dan Senyawa

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

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

Dengan adanya rantai yang panjang pada struktur kimia minyak kelapa diperlukan sejumlah perlakuan dari luar yang dapat membantu energi panas untuk pemutusan ikatan-ikatan kimia tersebut, sehingga proses pembakaran yang terjadi lebih cepat.

2.4. Teori Kinetik Gas

Dari sudut pandang atom atau molekul, reaksi pembakaran merupakan proses tumbukan antar atom atau molekul. Tetapi setiap tumbukan atom tidak selalu menghasilkan reaksi. Kecepatan (energi kinetik) minimum dimana reaksi akan dapat berlangsung merupakan energi aktivasi dari atom atau molekul tersebut. Dalam reaksi pembakaran, kecepatan reaksi sangat berpengaruh terhadap temperatur pembakaran. Persamaan energi kinetik gas, yaitu:

$$\frac{3}{2} k T = \frac{1}{2} m v^2 \quad (\text{David Halliday, 1985 : 253}) \dots \dots \dots (2.7)$$

dimana :

T = temperatur pembakaran (K)

v = kecepatan reaksi (m/s)

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

m = massa zat yang bereaksi (kg)

Dari persamaan tentang teori kinetik gas di atas dapat dilihat bahwa kecepatan reaksi pembakaran berbanding lurus dengan temperatur pembakaran. Dengan semakin meningkatnya kecepatan reaksi pembakaran atau kecepatan atom-atom yang mengalami tumbukan, maka temperatur pembakaran yang terjadi akan meningkat.

Dalam proses pembakaran minyak kelapa, energi panas dari luar digunakan untuk memutuskan ikatan-ikatan molekul dari bahan bakar menjadi radikal bebas yang selalu bergerak dan saling bertumbukan. Semakin meningkatnya pergerakan radikal-radikal bebas, maka tumbukan yang terjadi akan semakin cepat. Tumbukan yang semakin cepat dapat menyebabkan energi kinetik radikal-radikal bebas semakin besar. Sehingga reaksi kimia pembakaran akan berlangsung semakin cepat dan temperatur pembakaran yang dihasilkan semakin tinggi.

2.5. Impuls dan Momentum

Misalkan ada sebuah partikel yang massanya m bergerak sepanjang garis lurus. Hal ini dianggap bahwa gaya F pada partikel ini adalah tetap dan arahnya sejajar dengan gerak partikel. Bila kecepatan partikel pada suatu saat awal $t = 0$ s adalah v_0 m/s, kecepatan v pada waktu t adalah :

$$v = v_0 + \alpha t$$

dimana percepatan α ditentukan dari hubungan $F=ma$. Bila persamaan di atas dikalikan dengan m dan ma diganti dengan F , hasilnya adalah :

$$mv = mv_0 + Ft$$

atau

$$mv - mv_0 = Ft \quad (\text{Sears, 1982 : 205}) \dots\dots\dots(2.8)$$

Suku sebelah kanan persamaan diatas adalah perkalian gaya dengan waktu selama gaya bereaksi, yang disebut *impuls* gaya, dinyatakan oleh J . Umumnya bila suatu gaya tetap F beraksi selama selang waktu dari t_1 ke t_2 , impuls gaya didefinisikan sebagai

$$\text{Impuls} = J = F(t_1 - t_2) \quad (\text{Sears, 1982 : 205}) \dots\dots\dots(2.9)$$

Suku sebelah kiri persamaan 2.4 mengandung perkalian massa dengan kecepatan partikel pada dua saat yang berbeda. Perkalian inilah yang disebut *momentum*, dinyatakan oleh p .

$$\text{Momentum} = p = mv \quad (\text{Sears, 1982 : 205}) \dots\dots\dots(2.10)$$

Arti dari persamaan 2.8 adalah bahwa impuls gaya dari waktu nol ke waktu t adalah sama dengan perubahan momentum selama selang waktu tersebut, yaitu momentum akhir dikurangi momentum awal. Terlihat bahwa tidak ada sesuatu yang istimewa pada waktu nol dan t , sehingga dapat juga dituliskan bahwa kecepatan partikel pada waktu t_1 adalah v_1 dan kecepatan pada waktu t_2 adalah v_2 m/s, maka dapat dituliskan sebagai berikut :

$$F(t_2 - t_1) = mv_2 - mv_1 \quad (\text{Sears, 1982 : 205}) \dots\dots\dots(2.11)$$

Perubahan momentum yang terjadi adalah :

$$m(v_2 - v_1)$$

Laju perubahan momentum adalah perubahan momentum dibagi dengan selang waktu selama terjadinya perubahan : (*Kimia Fisika edisi keempat jilid 2, P.W. Atkins*)

$$\frac{m(v_2 - v_1)}{t_2 - t_1}$$

Laju perubahan momentum sama dengan gaya (menurut hukum kedua Newton tentang gerakan). Dengan demikian, tekanan atau gaya per satuan luas adalah : (*Kimia Fisika edisi keempat jilid 2, P.W. Atkins*)

$$\frac{m(v_2 - v_1)}{A(t_2 - t_1)}$$

$$(\text{Atkins, 1999: 275}) \dots\dots\dots(2.12)$$

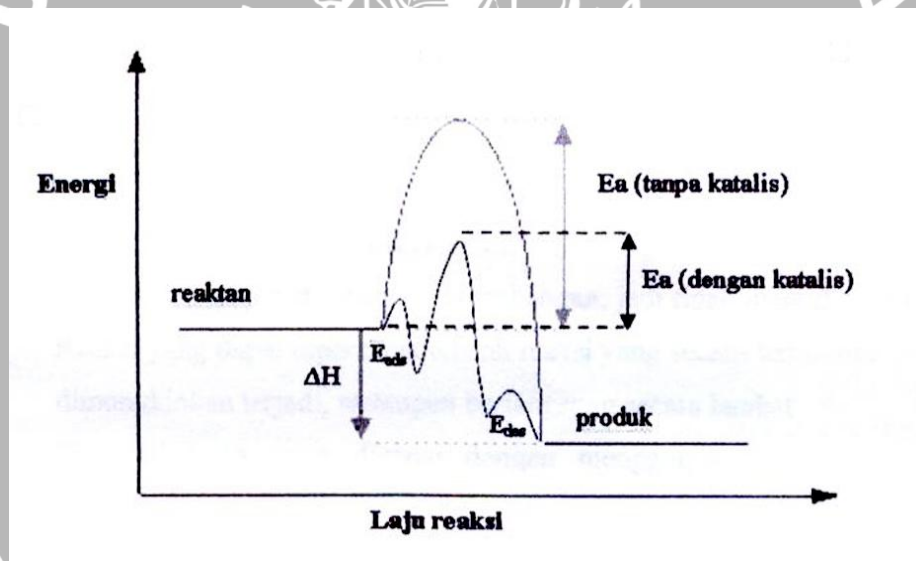
2.6. Katalis

Katalis merupakan zat yang dapat meningkatkan laju reaksi kimia yang terjadi dalam mencapai kesetimbangan tanpa terlibat langsung secara permanen (*Gates, 1992*). Interaksi yang terjadi antara katalis dan reaktan dapat menghasilkan senyawa antara yang lebih aktif. Interaksi ini dapat meningkatkan ketepatan orientasi tumbukan, sehingga meningkat pula jumlah tumbukan efektif dan membuka jalur reaksi dengan energi pengaktifan yang lebih rendah (*Thomas, 1997*).

Katalis terbagi menjadi dua bagian umum, yaitu:

1. Katalis Homogen (*Homogeneous Catalyst*), adalah katalis yang berbentuk satu fase dengan reaktannya. Misalkan katalis cair untuk reaktan cair, seperti asam yang ditambahkan pada larutan berair.
2. Katalis Heterogen (*Heterogeneous Catalyst*), adalah katalis yang berbeda fase dengan reaktannya. Misalkan katalis padat untuk reaktan gas, seperti merubah Karbondioksida menjadi Metana menggunakan katalis Ni/Zeolite yang berbentuk padat.

Secara praktis, fungsi katalis pada suatu reaksi adalah untuk memperbesar laju reaksi dan memperkecil energi aktivasi (P.W. Atkins). Diagram energi aktivasi ditunjukkan pada gambar 2.8. E_a adalah energi aktivasi suatu reaksi dan E_{ads} menunjukkan adsorpsi reaktan pada katalis serta E_{des} adalah desorpsi produk. Katalis menurunkan energi aktivasi suatu reaksi. Perubahan energi pada reaksi dengan dan tanpa katalis menghasilkan perubahan entalpi (ΔH) yang sama (Satterfield, 1980).

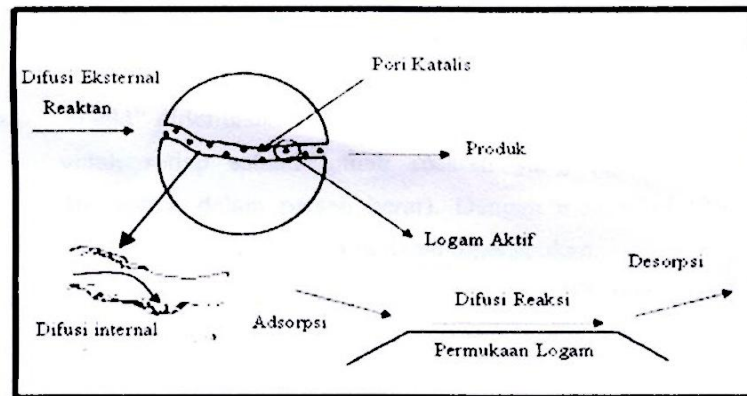


Gambar 2.8. Diagram energi aktivasi
Sumber : Satterfield, 1980

Suatu reaksi katalitik heterogen melalui tujuh tahapan (Fogler, 1999), yaitu :

1. Difusi eksternal reaktan dari *bulk fluid* ke permukaan katalis.
2. Difusi internal reaktan dari mulut pori ke permukaan internal katalis melalui pori katalis.
3. Adsorpsi reaktan pada dinding permukaan internal katalis.
4. Reaksi kimia pada permukaan internal katalis (reaksi permukaan).

5. Desorpsi produk dari permukaan internal.
6. Difusi internal produk dari interior katalis ke mulut pori permukaan katalis.
7. Transfer massa (*mass transport*) difusi eksternal produk dari permukaan luar katalis ke *bulk fluid*.



Gambar 2.9. Reaksi katalitik dalam rongga katalis
Sumber : Fogler, 1999

Untuk mendapatkan katalis yang baik maka harus diperhatikan beberapa faktor, diantaranya :

1. Aktivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mengkonversikan reaktan menjadi produk yang diinginkan.
2. Selektivitas, yaitu kemampuan katalis untuk mempercepat laju reaksi diantara beberapa reaksi yang berlangsung. Dengan demikian produk yang diperoleh adalah benar-benar produk desain dan produk sampingan yang dihasilkan dapat dieliminasi.
3. Stabilitas, yaitu lamanya katalis memiliki aktivitas dan selektivitas pada keadaan seperti semula. Agar stabilitas katalis terjaga maka katalis harus bersifat tahan racun, perlakuan panas, dan erosi. Parameter-parameter ini yang mempengaruhi nilai ekonomis katalis.
4. Yield, yaitu jumlah produk yang terbentuk untuk setiap satuan jumlah reaktan yang diberikan (biasanya persen berat). Dengan mengetahui yield, berat katalis bisa diperkirakan.

5. Regenerasi, yaitu proses pengembalian nilai aktivitas dan selektivitas katalis setelah beberapa kali penggunaan.

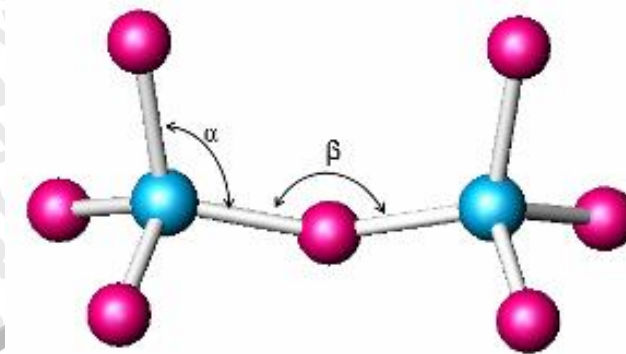
2.7. Zeolit

Zeolit merupakan senyawa aluminosilikat terhidrasi yang memiliki kerangka struktur tiga dimensi, mikroporous, dan berupa padatan kristalin dengan kandungan utama silikon, aluminium, dan oksigen serta mengikat sejumlah tertentu molekul air di dalam porinya. Secara umum, zeolit memiliki struktur molekul yang unik, dimana atom silikon dikelilingi oleh 4 atom oksigen sehingga membentuk semacam jaringan dengan pola teratur.

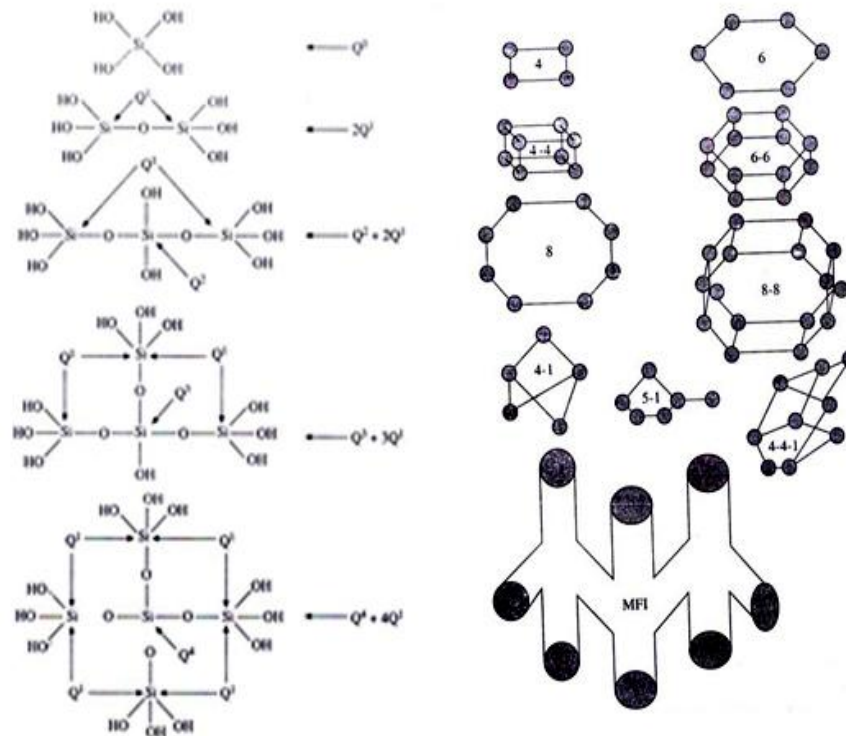
2.7.1. Struktur Zeolit

Zeolit merupakan kristal aluminosilikat terhidrasi yang mengandung kation alkali maupun alkali tanah. Kation tersebut dapat diganti oleh kation lain tanpa merusak struktur zeolit. Struktur zeolit berupa kerangka tiga dimensi terbuka yang dibangun oleh terahedral-tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 yang saling berhubungan melalui atom O membentuk rongga-rongga dan saluran-saluran yang teratur (Sutarti, 1994 dan Hamdan, 1992). Ukuran pori dan saluran bervariasi antara 3-30 Å yang cukup untuk berdifusinya atom dan molekul kecil dalam struktur makromolekular.

Bangun dasar zeolit berupa tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 seperti pada gambar 2.4.a. Beberapa unit bangun dasar membentuk pola geometri tertentu unit bangun sekunder (*Secondary Building Unit*) seperti pada Gambar 2.4.b. Unit bangun sekunder akhirnya akan membentuk suatu polihedral unit bangun tersier (*Tertier Building Unit*) seperti pada Gambar 2.4.c. Tergabungnya beberapa polihedral dalam suatu kerangka merupakan bentuk struktur zeolit (Yao, 1992).



Gambar 2.10. Struktur tetrahedral SiO_4 dan AlO_4 dalam zeolit
Sumber : www.wikipedia.com/zeolite



Gambar 2.11. Struktur bangun zeolit
Sumber : Yao, 1992

Sehingga rumus umum zeolit dapat ditulis :

$$\text{M}_x/\text{n}[(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y] \cdot w\text{H}_2\text{O}$$

(Ramaswamy, 2002: 71)..... (2.13)

dimana, M = kation logam alkali atau alkali tanah

n = valensi dari kation

w = jumlah molekul air per satu unit sel

x, y = total jumlah tetrahedral per satu unit sel

x/y = antara 1 – 5

$[]$ = struktur kerangka aluminosilikat

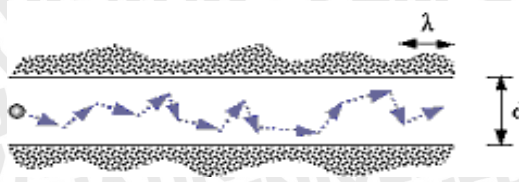
Zeolit bersifat asam akibat adanya situs asam baik tipe asam bronsted maupun asam Lewis. Keasaman zeolit dapat ditentukan berdasarkan rasio Si/Al –nya, semakin besar rasio tersebut maka sifatnya asamnya semakin bertambah (Gates, 1992).

2.7.2. Adsorbsi dan Difusi pada Zeolit

Zeolit dapat melepaskan molekul air dari dalam rongga permukaan sehingga efektif berinteraksi dengan molekul teradsorbsi. Zeolit yang dipanaskan hingga temperatur 300-400 °C akan mengeluarkan hidrat dari kristal sehingga zeolit dapat berfungsi sebagai penyerap gas. Kation dalam kerangka zeolit berfungsi menjaga kenetralan zeolit. Kation-kation ini dapat bergerak sehingga pertukaran ion yang terjadi tergantung dari ukuran dan muatan zeolit (Sutarti, 1994).

Adsorbsi pada media berpori tidak bisa terjadi kecuali molekul reaktan berukuran cukup kecil untuk melewati celah. Transport molekul pada tepi pori zeolit biasanya berlangsung lambat dan pada pertengahan pori berlangsung lebih cepat. Setelah molekul gas teradsorbsi, maka yang terjadi selanjutnya adalah proses difusi dari eksterior masuk katalis sampai ke eksterior keluar katalis. Tentu dengan proses kimiawi di bagian interior katalis yang sebagian besar berupa pori dan alur (saluran). Difusi pada zeolit terbagi menjadi dua jenis, yaitu :

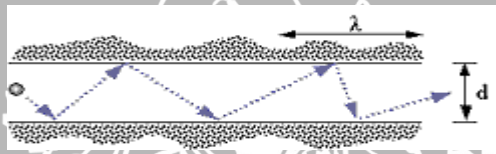
1. Difusi Molekular, terjadi ketika tumbukan antar molekul gas lebih besar frekuensinya (sering) daripada tumbukan gas dengan dinding pori zeolit. Koefisien difusi molekular pada zeolit biasanya terjadi pada ukuran pori besar (60 – 1500 nm).



Gambar 2.12. Difusi Molekular

Sumber : *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1998. **225**(1): p. 293-297.

2. Difusi Knudsen, terjadi ketika tumbukan molekul gas dengan dinding pori zeolit lebih sering terjadi daripada tumbukan antar molekul gas. Koefisien difusi Knudsen biasanya terjadi pada ukuran pori yang lebih kecil (2 – 50 nm). Besarnya Difusi Knudsen tergantung pada ukuran pori dan tekanan gas. Semakin besar ukuran pori dan tekanan, maka semakin kecil nilai difusi Knudsenya (berbanding terbalik).



Gambar 2.13. Difusi Knudsen

Sumber : *Journal of Chemical Physics*, 2003. **119**(5): p. 2801-2811.

2.7.3. Modifikasi Zeolit

Zeolit yang terdapat di alam tidak berada dalam bentuk murninya. Mineral pengotor seperti *feldspar*, *smektit*, *vermikulit*, dan kuarsa selalu tercampur. Zeolit dalam keadaan murni berwarna putih, keberadaan mineral pengotor menyebabkan zeolit berwarna hijau muda hingga coklat kemerahan, tergantung dari tingkat ketidakmurnian zeolit dan tingkat oksidasi Fe (Tsitsishvili, 1992). Zeolit alam umumnya memiliki luas permukaan yang rendah, ukuran porinya sangat tidak seragam dan aktivitas katalitiknya rendah.

Modifikasi zeolit bertujuan untuk mengubah struktur kerangka zeolit, meningkatkan rasio Si/Al, meningkatkan stabilitas termal, memperluas permukaan, selektivitas adsorpsi terhadap molekul tertentu. Modifikasi zeolit dapat dilakukan dengan dehidrasi, hidrotermal, pertukaran ion, kalsinasi, dan dealuminasi (Hamdan, 1992). Dealuminasi bertujuan untuk meminimalkan kandungan aluminium sehingga meningkatkan stabilitas termal zeolit (Hamdan, 1992). Kalsinasi merupakan proses perlakuan panas pada rentang temperatur tinggi dibawah titik lelehnya. Perlakuan tersebut

berpengaruh terhadap kemampuan reduksi logam, dispersi, dan distribusi logam dalam bentuk akhir (Fogler, 1999).

2.8. Catalytic Cracking

Catalytic Cracking adalah Peningkatan proporsi hidrokarbon-hidrokarbon menjadi hidrokarbon yang memiliki berat molekul yang lebih tinggi dengan proses pemecahan atau pemotongan ikatan karbon-karbon (C-C) yang di induksi dengan katalis tertentu (Wardana, 2008:14).

Catalytic cracking adalah salah satu cara untuk membuat molekul bermuatan dengan merangsang elektron yang mengikat atom-atom dalam molekul dengan katalis, sehingga ikatan atom akan putus atau elektron dirangsang oleh katalis supaya meninggalkan molekul sehingga molekul tersebut menjadi pecah dan bermuatan. Untuk mereaksikannya secara konvensional membutuhkan energi aktivasi (panas) tinggi. Namun dengan katalis kebutuhan panas bisa jauh berkurang.

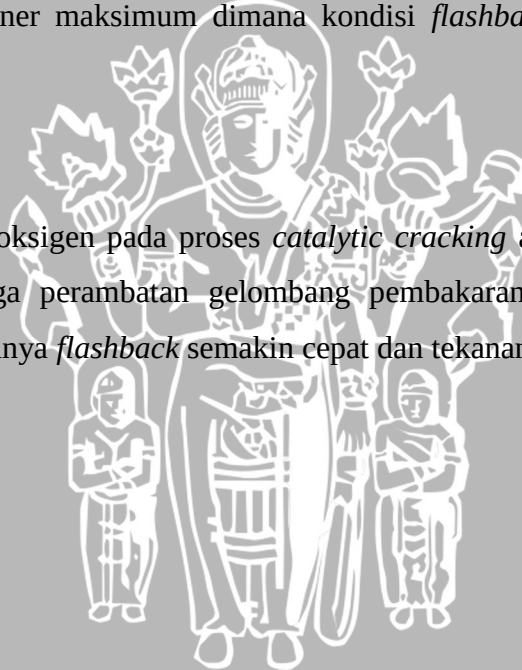
Pada penelitian ini menggunakan bahan bakar minyak kelapa, dan oksigen sebagai pengoksidasinya serta zeolit sebagai katalis heterogennya. Mula-mula katalis akan menarik elektron dari molekul minyak kelapa akibat beda potensial, karena molekul minyak kelapa memiliki potensial lebih negatif sedangkan katalis lebih positif. Akibat beda potensial ini elektron berpindah dari molekul minyak kelapa ke katalis sehingga minyak kelapa menjadi kekurangan elektron atau kelebihan proton (+). Dengan demikian molekul minyak kelapa menjadi bermuatan positif. Kemudian karena katalis berpotensi lebih negatif daripada oksigen maka elektron akan berpindah dari katalis ke oksigen. Jadi oksigen kelebihan elektron sehingga bermuatan negatif (-). Karena adanya beda muatan antara minyak kelapa dan oksigen, maka yang terjadi adalah saling tarik menarik dan bereaksi. Katalis mereaksikan minyak kelapa dan oksigen tanpa ikut bereaksi. Jadi sebelum dan sesudah reaksi, jumlah katalis tidak berubah.

2.9. Kerangka Teoritis

Peristiwa *flashback* terjadi akibat permasalahan di dalam kesetimbangan antara kecepatan api dan kecepatan reaktan dimana kecepatan api lebih besar dari kecepatan reaktan sehingga menyebabkan rambatan api sehingga menyebabkan arah rambatan api menuju mulut nosel. Toleransi minimum terjadinya *flashback* adalah ketika campuran reaktan dalam kondisi stoikiometri agak kaya dimana terjadi kecepatan api laminar maksimum. Penambahan debit oksigen akan mempercepat terjadinya pembakaran sempurna. Pada pembakaran sempurna molekul-molekul memiliki energi yang lebih tinggi untuk berdifusi sehingga proses pembuatan molekul bermuatan melalui proses *catalytic cracking* semakin optimal. Hal ini menyebabkan kecepatan api pembakarannya tinggi. Secara teori, semakin besar debit oksigen yang di tambahkan semakin cepat pula terjadi kecepatan api laminar maksimum dimana kondisi *flashback* terjadi akan tetapi, tekanannya semakin kecil.

2.9. Hipotesa

Penambahan debit oksigen pada proses *catalytic cracking* akan menyempurnakan campuran reaktan sehingga perambatan gelombang pembakaran semakin cepat yang menyebabkan waktu terjadinya *flashback* semakin cepat dan tekanannya semakin kecil.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

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

3.2. Variabel Penelitian

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

a. Variabel bebas

Variabel bebas ialah variabel yang besarnya kita tentukan dan tidak dipengaruhi oleh variabel lain, berfungsi sebagai penyebab dalam penelitian. Adapun yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini, yaitu debit oksigen yang bervariasi antara lain: 1.2402 cc/detik, 1.3188 cc/detik, 1.390 cc/detik, 1.458 cc/detik dan 1.523 cc/detik.

b. Variabel terikat

Variabel terikat adalah variabel yang besarnya tergantung dari variabel bebas dan besarnya dapat diketahui setelah penelitian dilakukan. Adapun variabel terikat dalam pengujian ini, yaitu waktu dan tekanan *flashback* yang dihasilkan.

c. Variabel terkontrol

Variabel terkontrol adalah variabel yang besarnya telah ditentukan selama penelitian dan bersifat konstan. Adapun yang termasuk dalam variabel terkontrol dalam penelitian ini, yaitu:

1. Volume minyak kelapa yang dialirkan sebesar 1,4 ml.
2. Ukuran butir zeolit yang digunakan sebesar 2-3 mm dan 3-4 mm sama untuk setiap pengujian.

3.3. Alat-alat Penelitian

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

1. Botol Elemeyer

Spesifikasi: ukuran 300 ml.

Digunakan untuk menampung minyak kelapa (*Cocos Nucifera.*) yang diperoleh dari proses pemanasan air santan dan sudah melalui proses penyaringan.

2. Reformer

Digunakan sebagai alat utama tempat berlangsungnya proses penelitian.

3. Tungku Reformer

Digunakan sebagai alat penghasil energi panas untuk memanaskan reformer.

4. Tabung Oksigen

Spesifikasi : - Volume : 1 m³

- Tipe : CS142076

- Buatan : China

Digunakan sebagai reservoir gas oksigen murni (*pure oxygen*) selama proses.

5. Tangki Minyak Kelapa + katup

Digunakan sebagai reservoir minyak kelapa selama proses. Katup berfungsi sebagai pengatur jumlah volume minyak kelapa yang keluar.

6. Manometer U

Digunakan untuk mengukur debit aliran gas oksigen yang memasuki reformer.

7. Tabung Pendingin Pipa

Tabung berisi air yang digunakan sebagai pendingin pipa akibat proses pemanasan.

8. Pemantik Api

Digunakan sebagai penghasil api nyala kontinyu untuk membakar gas hasil proses.

9. Penghalang Aliran

Sebuah alat berbentuk bola yang digunakan sebagai penghalang gas yang keluar proses dengan tujuan mengurangi kecepatan gas agar mudah dibakar.

10. Digital Multimeter

Spesifikasi : - Tipe : MY61

- Buatan : Zhangzhou Weihva Electronics Co., Ltd., China

Digunakan untuk mengetahui temperature proses.



Gambar 3.1. Digital Multimeter

11. Perangkat Sensor

- Jembatan *Wheatstone*

Berfungsi sebagai sensor tekanan yang dihasilkan oleh alat, dengan memanfaatkan perubahan kedudukan tuas potensiometer akibat dorongan piston. Output alat ini berupa tegangan listrik.

Spesifikasi :

$R1 = 100 \Omega$

$R2 = 500 \Omega$

$R3 = 1000 \Omega$

Potensio = $100 K\Omega$

- *Operational Amplifier*

Berfungsi sebagai penguat sinyal (tegangan) yang dihasilkan dari sensor.

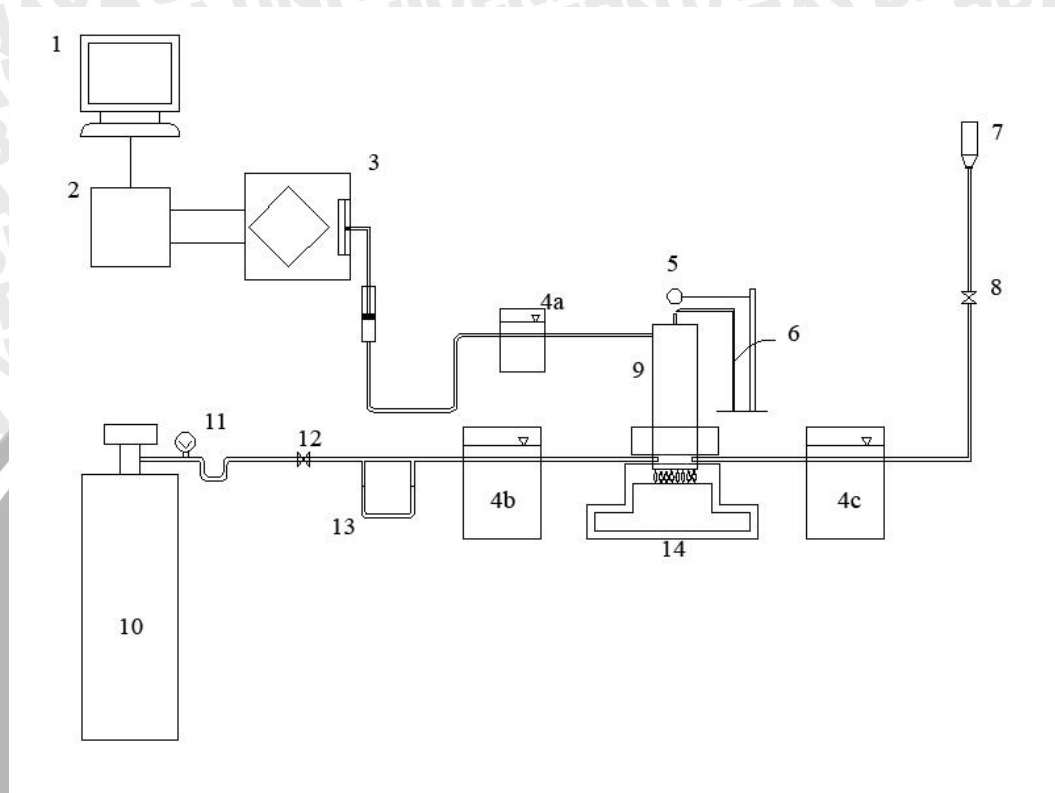
- *Minimum System AT MEGA 8535*

Berfungsi untuk mengkonversikan sinyal tegangan dari sensor menjadi sinyal digital agar dapat dibaca oleh komputer.

12. Komputer

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

3.4. Skema Instalasi Penelitian



Gambar 3.2. Skema Instalasi Penelitian

Keterangan :

1 = Komputer

2 = ADC – MK

3 = Jembatan Wheatstone + Sensor

4a = 4b = 4c = Pendingin Pipa

5 = Penghalang Aliran

6 = Pemantik Api

7 = Reservoir Minyak Kelapa

8 = Katup Pengatur Tetesan

9 = Tabung Reformer

10 = Tabung Oksigen

11 = Regulator Tabung

12 = Katup Pengatur Aliran Oksigen

13 = Manometer U

14 = Tungku Api

3.5. Prosedur Pengambilan Data Penelitian

A. Prosedur Persiapan Reformer

1. Pastikan bagian dalam reformer benar-benar bersih dari kotoran dan kering.
2. Isikan bola baja (pelor) bersih pada bagian dasar reformer, jumlah pelor tidak melebihi 20 buah dan memenuhi dasar reformer (tanpa ada yang menumpuk).
3. Pasanglah sarangan tempat zeolit, lalu letakkan dengan tegak silinder pejal yang berfungsi sebagai penepi zeolit agar cepat terkena panas diatas sarangan zeolit.
4. Isikan zeolit di tepi silinder tersebut sesuai yang diinginkan.
5. Tutuplah reformer dengan rapat, jangan sampai ada kebocoran gas dari dalam.
6. Isikan minyak jelantah dan siapkan sumbu pada kompor di sekeliling reformer sisi katalis zeolit.
7. Persiapkan penghalang aliran dan pemantik api di sisi atas cerobong reformer.
8. Sambungkan pipa tekanan ke pipa U, dan persiapkan juga sensor yang digunakan sebagai alat pengambilan data.
9. Panaskan reformer pada tungku spiritus dan nyalakan sumbu kompor sampai temperaturnya memenuhi untuk dimulai mengambil data.

B. Prosedur Persiapan Pembakaran

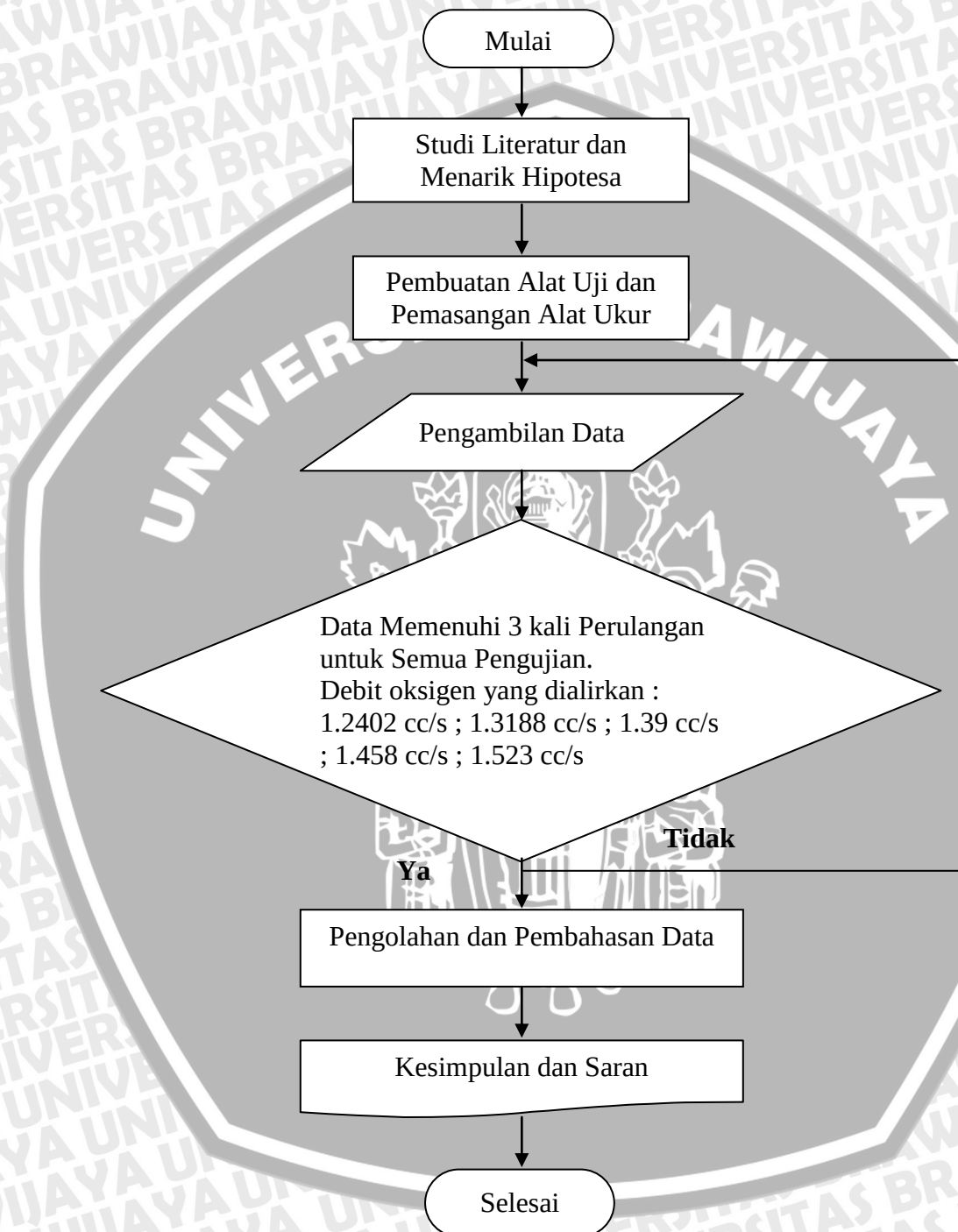
1. Persiapkan debit oksigen dengan memutar katup pada tabung oksigen sampai terlihat perbedaan ketinggian kolom alkohol pada manometer U. Ketinggian sesuai yang diinginkan dalam penelitian. Lalu tes dengan mendekatkan bara api ke mulut pipa yang nantinya akan dimasukkan ke reformer. Apabila bara tersebut terbakar, maka oksigen telah siap.
2. Persiapkan volume minyak kelapa sebelum benar-benar dimasukkan ke dalam reformer. Tes kelancaran pipa dengan memutar katup untuk mengeluarkan tetesan minyak kelapa. Setelah menetes stabil, matikan aliran dengan menutup penuh katup.

C. Prosedur Pengambilan Data

1. Pengambilan data mulai dilakukan jika temperatur dasar *reformer* memenuhi setelah diukur dengan digital multimeter.
2. Masukkan pipa minyak kelapa ke dalam *reformer*. Putar katup untuk memeteskan sejumlah tetesan yang diinginkan, setelah selesai tutup penuh katup. Langkah ini bersamaan dengan memasukkan pipa oksigen yang telah diukur debitnya kedalam *reformer*.
3. Waktu mulai dinyalakan dan nyalakan pemantik api diatas cerobong.
- 4 Nyalakan semua perangkat sensor. Posisi tuas potensiometer berada di bawah penuh.
5. Setelah terjadi *flashback* pertama, waktu di *split* dan tuas potensiometer yang tadinya terangkat akibat *flashback* diturunkan kembali secara manual, agar grafik yang terbaca oleh komputer menjadi periodik.
6. Prosedur ini diulang untuk tiap-tiap variasi pengujian.



3.6. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3. Diagram alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini terdiri dari 2 macam, yaitu :

1. Perbandingan berbagai variasi debit oksigen terhadap waktu *flashback* pada dua jenis ukuran butir zeolit.
2. Perbandingan berbagai variasi debit oksigen terhadap tekanan *flashback* pada dua jenis ukuran butir zeolit.

4.2. Pembahasan

4.2.1. Hubungan perbandingan berbagai variasi debit oksigen terhadap AFR

4.2.1.1. Perhitungan

Reaksi pembakaran stoikiometri minyak kelapa :



$$\begin{aligned} AFR_{\text{stoikiometri}} &= 160,25 (32) / (107(12) + 217 + 32) \\ &= 3.35 \end{aligned}$$

Nilai AFR untuk setiap penambahan debit oksigen adalah :

1. Penambahan debit sebesar 1.2402 cc/s

- Ukuran butir zeolit 2-3 mm

$$\begin{aligned} \text{Masa } O_2 &= 1.2402 \text{ cc/s} (43.8 \text{ s}) (1.429 \text{ kg/m}^3) \\ &= 0.078 \text{ gr} \\ AFR &= (0.078/32)/0.000835 \\ &= 2.87 \end{aligned}$$

- Ukuran butir zeolit 3-4 mm

$$\begin{aligned} \text{Masa } O_2 &= 1.2402 \text{ cc/s} (195.37 \text{ s}) (1.429 \text{ kg/m}^3) \\ &= 0.346 \text{ gr} \\ AFR &= (0.0346/32)/0.000835 \\ &= 13 \end{aligned}$$

2. Penambahan debit sebesar 1.3188 cc/s

- Ukuran butir zeolit 2-3 mm

$$\text{Masa } O_2 = 1.3188 \text{ cc/s} (46.6 \text{ s}) (1.429 \text{ kg/m}^3)$$

$$= 0.07 \text{ gr}$$

$$\text{AFR} = (0.07/32)/0.000835$$

$$= 2.62$$

- Ukuran butir zeolit 3-4 mm

$$\text{Masa O}_2 = 1.3188 \text{ cc/s (38.1 s) (1.429 kg/m}^3\text{)}$$

$$= 0.058 \text{ gr}$$

$$\text{AFR} = (0.058/32)/0.000835$$

$$= 2.171$$

3. Penambahan debit sebesar 1.390 cc/s

- Ukuran butir zeolit 2-3 mm

$$\text{Masa O}_2 = 1.390 \text{ cc/s (75.15 s) (1.429 kg/m}^3\text{)}$$

$$= 0.149 \text{ gr}$$

$$\text{AFR} = (0.149/32)/0.000835$$

$$= 5.58$$

- Ukuran butir zeolit 3-4 mm

$$\text{Masa O}_2 = 1.390 \text{ cc/s (61.0625 s) (1.429 kg/m}^3\text{)}$$

$$= 0.121 \text{ gr}$$

$$\text{AFR} = (0.121/32)/0.000835$$

$$= 4.54$$

4. Penambahan debit sebesar 1.458 cc/s

- Ukuran butir zeolit 2-3 mm

$$\text{Masa O}_2 = 1.458 \text{ cc/s (75.25 s) (1.429 kg/m}^3\text{)}$$

$$= 0.157 \text{ gr}$$

$$\text{AFR} = (0.157/32)/0.000835$$

$$= 5.88$$

- Ukuran butir zeolit 3-4 mm

$$\text{Masa O}_2 = 1.458 \text{ cc/s (35.5 s) (1.429 kg/m}^3\text{)}$$

$$= 0.074 \text{ gr}$$

$$\text{AFR} = (0.074/32)/0.000835$$

$$= 2.73$$

5. Penambahan debit sebesar 1.523 cc/s

- Ukuran butir zeolit 2-3 mm

$$\text{Masa O}_2 = 1.523 \text{ cc/s (52.3 s) (1.429 kg/m}^3\text{)}$$

$$= 0.1138 \text{ gr}$$

$$\text{AFR} = (0.1138/32)/0.000835$$

$$= 4.26$$

- Ukuran butir zeolit 3-4 mm

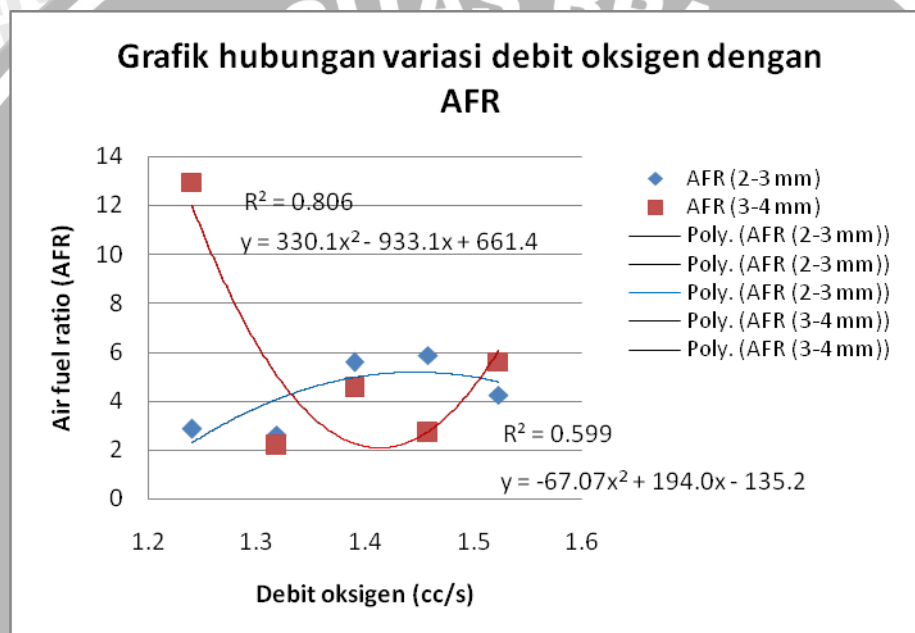
$$\text{Masa O}_2 = 1.523 \text{ cc/s (69.15 s) (1.429 kg/m}^3\text{)}$$

$$= 0.150 \text{ gr}$$

$$\text{AFR} = (0.150/32)/0.000835$$

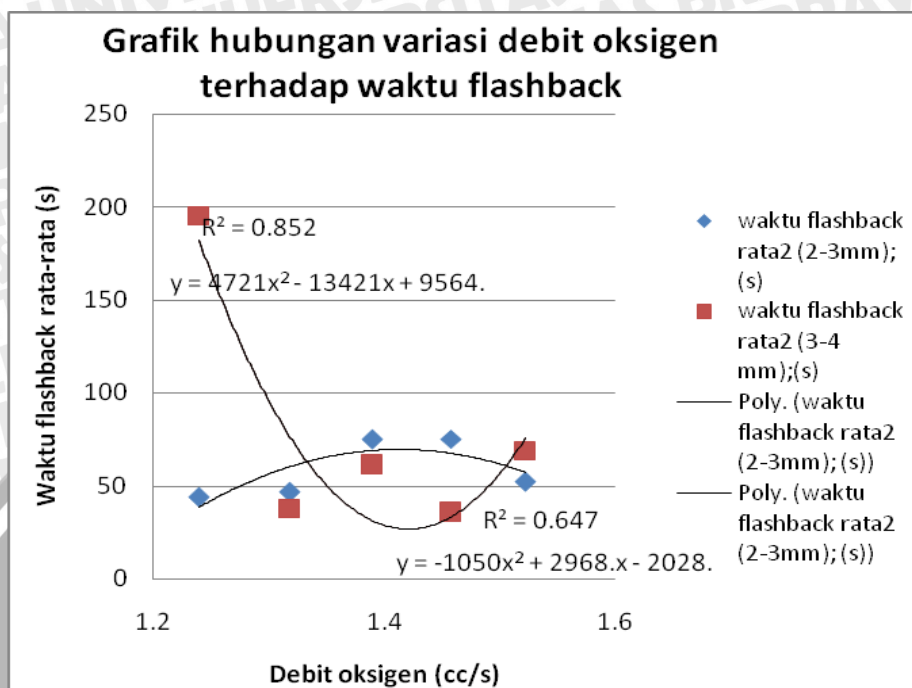
$$= 5.614$$

4.2.1.2 Hubungan perbandingan berbagai variasi debit oksigen dengan AFR



Gambar 4.1. Grafik hubungan berbagai variasi debit oksigen dengan AFR

4.2.2 Hubungan perbandingan berbagai variasi debit oksigen terhadap waktu *flashback* pada dua jenis ukuran butir zeolit.



Gambar 4.2. Grafik hubungan perbandingan berbagai variasi debit oksigen terhadap waktu *flashback* pada dua jenis ukuran butir zeolit.

Pada grafik hubungan perbandingan berbagai variasi debit oksigen terhadap waktu *flashback* pada dua jenis ukuran butir zeolit 2-3 mm dan 3-4 mm menunjukkan bahwa penambahan debit oksigen memberikan pengaruh yang berbeda. Berdasarkan teori, semakin besar nilai debit oksigen maka waktu terjadinya *flashback* semakin cepat. Hal ini disebabkan karena semakin besar debit oksigen maka nilai AFR (*air fuel ratio*) semakin meningkat. Nilai AFR menunjukkan perbandingan mol antara oksigen dan minyak kelapa. Jadi nilai AFR dapat menunjukkan perbandingan oksigen dan minyak dimana pembakaran sempurna terjadi (AFR stoikiometri). Selain itu Penambahan debit oksigen akan menyempurnakan campuran reaktan sehingga perambatan gelombang pembakaran (kecepatan perambatan api) semakin cepat yang menyebabkan waktu terjadinya *flashback* semakin cepat.

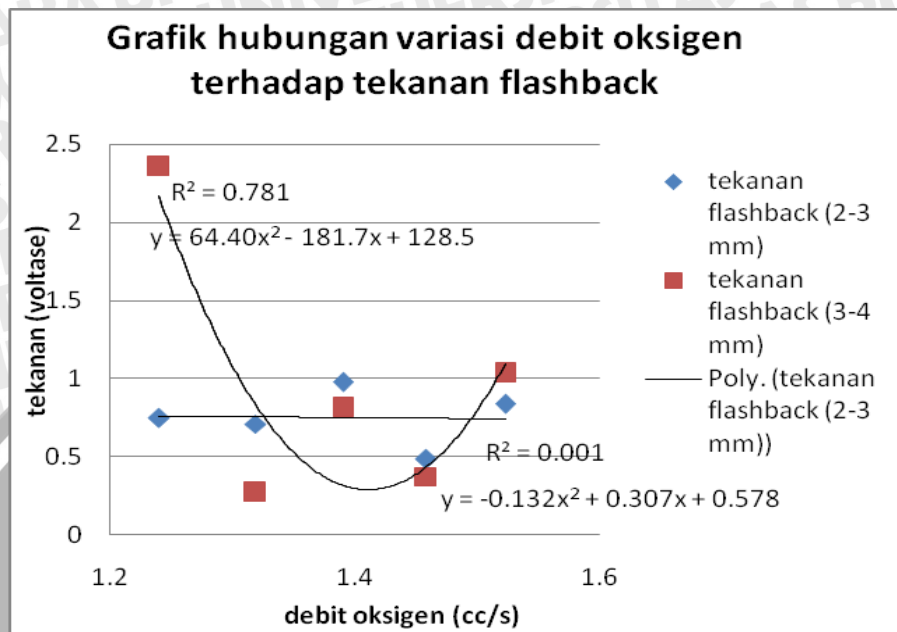
Pada ukuran butiran zeolit 3-4 mm semakin besar nilai debit oksigen yang dialirkan waktu terjadinya *flashback* semakin cepat. Hal ini disebabkan karena semakin meningkatnya nilai AFR sehingga kemungkinan terjadinya pembakaran sempurna semakin besar. Pada pembakaran sempurna kecepatan perambatan api yang di hasillkan semakin cepat sehingga waktu terjadinya *flashback* semakin cepat. Selain itu, semakin lama efektifitas dari katalis zeolit semakin meningkat. Hal ini memungkinkan

terbentuknya campuran yang homogen dari reaktan. Pada campuran homogen terjadi kontak langsung antara partikel oksigen dengan partikel minyak kelapa. Hal ini memungkinkan terjadinya pembakaran sempurna sehingga kecepatan perambatan apinya semakin cepat dan waktu *flashback* juga semakin cepat.

Pada ukuran butiran zeolit 2-3 mm semakin besar nilai debit oksigen yang dialirkan waktu terjadinya *flashback* semakin lama. Hal ini disebabkan karena peningkatan AFR akibat penambahan debit oksigen terlalu tinggi atau kurang dari AFR stoikiometri yang artinya campuran reaktan yang terjadi terlalu miskin (kaya dengan oksigen sehingga temperatur reaktan turun karena sebagian energi di gunakan untuk menaikkan temperatur dari oksigen yang tidak ikut bereaksi. Umumnya bahan bakar mengalami pengabutan untuk menjadi uap (*combustible vapour*) sebelum terbakar dengan tujuan untuk memperluas permukaan, begitu juga dengan minyak kelapa. Penurunan temperatur reaktan tadi menyebabkan semakin lamanya laju reaksi pembakaran sehingga kecepatan rambatan apinya turun yang menyebabkan waktu *flashback* semakin lama.

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa untuk penambahan debit yang sama, ukuran butir zeolit yang lebih besar (3-4 mm) bekerja lebih efektif dibandingkan dengan ukuran butir yang lebih kecil (2-3 mm). Hal ini disebabkan karena pada ukuran butir yang lebih kecil campuran reaktan terjebak diantara celah-celah butir yang lebih rapat. Selain itu luas permukaan reaksinya lebih kecil sehingga laju reaksi pembakarannya turun dan kecepatan rambatan apinya juga turun. Peristiwa *flashback* terjadi ketika kecepatan rambatan api lebih besar dari kecepatan reaktan sehingga hal ini mengakibatkan semakin lamanya waktu *flashback*.

4.2.3 Hubungan perbandingan berbagai variasi debit oksigen terhadap tekanan *flashback* pada dua jenis ukuran butir zeolit.



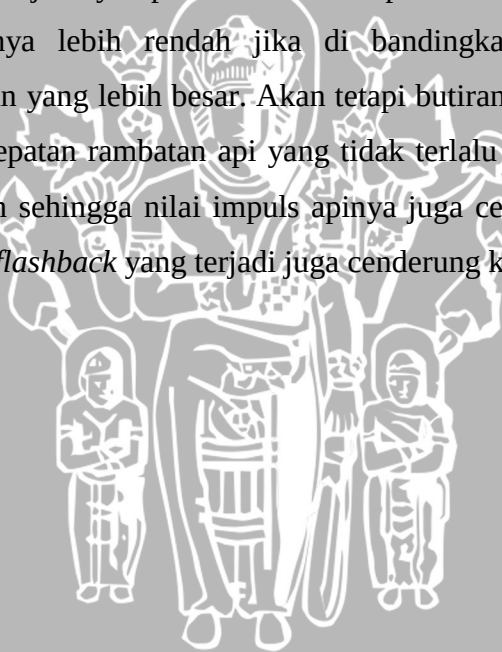
Gambar 4.3. Grafik hubungan perbandingan berbagai debit oksigen terhadap tekanan *flashback* pada dua jenis ukuran butir zeolit.

Pada grafik hubungan perbandingan berbagai variasi debit oksigen terhadap tekanan *flashback* pada dua jenis ukuran butir zeolit di atas menunjukkan bahwa semakin besar nilai debit oksigen yang dialirkan maka tekanan *flashback* yang terjadi semakin menurun. Berdasarkan teori, penambahan debit oksigen akan memperbesar nilai air fuel ratio (AFR) dan menyempurnakan campuran reaktan sehingga kemungkinan terjadinya pembakaran sempurna semakin besar.

Pada grafik hubungan berbagai variasi debit oksigen dengan tekanan *flashback* dengan ukuran butir 3-4 mm, tekanan yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan dan mencapai optimum pada penambahan debit terendah yaitu 1.2402 cc/s dengan tekanan sebesar 2.35. Hal ini disebabkan karena pada titik ini, nilai AFR jauh lebih besar dari AFR stoikiometri (campuran sangat miskin) sehingga temperatur reaktan menurun. Penurunan temperatur reaktan terjadi akibat adanya sebagian energi yang diserap oleh oksigen yang tidak ikut bereaksi sehingga laju reaksi pembakarannya turun dan kemampuan difusitas reaktan di dalam katalis sangat rendah sehingga terjadi penumpukan uap reaktan di dalam katalis. Penumpukan ini mengakibatkan frekuensi tumbukan semakin tinggi sehingga kecepatan pembakarannya meningkat akibat kenaikan impuls. Selain itu, selama proses pembakaran berlangsung, terjadi kenaikan

temperatur. Hal ini menyebabkan kemampuan selektivitas zeolit semakin baik yang artinya kemampuan difusitas reaktan didalam katalis semakin cepat sehingga kecepatan perambatan api maksimumnya dapat tercapai (terjadi *flashback*) dan tekanannya sangat tinggi. Setelah itu, peningkatan AFR yang terjadi akibat penambahan debit tidak terlalu besar yang artinya kelebihan oksigennya jauh lebih sedikit sehingga kemungkinan terjadinya penumpukan uap reaktan didalam katalis semakin kecil sehingga kecepatan pembakarannya turun. Hal itu mengakibatkan turunnya tekanan *flashback* akibat turunnya impuls.

Pada grafik hubungan berbagai variasi debit oksigen dengan tekanan *flashback* pada ukuran butir 2-3 mm,. Secara teori penambahan debit akan menurunkan besar tekanan *flashback*, akan tetapi besarnya tekanannya cenderung konstan Hal ini disebabkan karena nilai AFR yang terlalu besar atau kurang dari AFR stoikiometri sehingga kemungkinan terjadinya pembakaran sempurna lebih kecil akibatnya kecepatan rambatan apinya lebih rendah jika di bandingkan dengan kecepatan pembakaran dengan butiran yang lebih besar. Akan tetapi butiran yang lebih kecil (2-3 mm) terjadi kenaikan kecepatan rambatan api yang tidak terlalu besar seiring dengan penambahan debit oksigen sehingga nilai impuls apinya juga cenderung konstan. Hal itu menyebabkan tekanan *flashback* yang terjadi juga cenderung konstan.



BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengamatan dan analisa terhadap grafik hasil penelitian maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- Penambahan debit oksigen akan mempercepat waktu *flashback* pada ukuran butir zeolit yang lebih besar sedangkan untuk ukuran butir zeolit yang lebih kecil, penambahan debit akan memperlama waktu *flashback*.
- Penambahan debit oksigen pada ukuran butir zeolit yang lebih besar akan menurunkan tekanan *flashback*, sedangkan untuk ukuran butir zeolit yang lebih kecil penambahan debit menghasilkan tekanan *flashback* yang cenderung konstan.

5.2 Saran

Adapun saran – saran yang diharapkan dari penulis untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

- 1) Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengolahan minyak kelapa menjadi bahan bakar
- 2) Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi debit pada fenomena kestabilan api premixed yang lain.
- 3) Perlunya penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh variasi temperatur pada pembakaran terhadap waktu dan tekanan *flashback* yang terjadi

DAFTAR PUSTAKA

Atkins, P.W. ; 1999 : *Kimia Fisika edisi keempat jilid 2* ; University Lecturer and Fellow of Lincoln College : Oxford. (24 : 274 – 287)

Benzon, J.A. and R.V. Jose ; 1982 : *Coconut, production and Utilization* ; Philipine Coconut Font Inc. Amber Avenue : Metro manila.

Gates, Bruce C. ; 1992 : *Catalytic Chemistry* ; University of Delaware. (5 : 254 – 299)

Halliday, David dan Resnick, Robert ; 1988 : *Fisika Jilid I dan II* ; Erlangga : Jakarta.

Kuo, Kenneth K. ; 1986 : *Principles of Combustion* ; John Willey & Sons, Inc. : New Jersey. (115, 313-326)

Ralph H, Petrucci ; 1996 : *Kimia Dasar*.

Siregar, Tiren B. ; 2005 : *Catalytic Cracking of Palm Oil to Gasoline Using Zeolite Catalyst* ; Universiti Teknologi Malaysia : Malaysia.

Sommerer, Y. ; 2004 : *Large Eddy Simulation and Experimental Study of Flashback and Blow-off in a Lean Partially Premixed Swirled Burner* ; CEDEX : Prancis.

Tj. Soetiari ; 1990 : *Bahan Bakar dan Proses-Proses Kimia Pembakaran* : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya : Malang. (35)

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

Wardana, I.N.G. ; 2008 : *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran* ; PT. Danar Wijaya-Brawijaya University Press : Malang.

Wardana, I.N.G. ; 1995 : *Bahan Bakar dan Teknologi Pembakaran* : Jurusan Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya : Malang. (1 : 7 -10 ; 6 : 169-170)

Woodrof, J.G. ; 1978 : *Coconut : Production, Processing, Product*. Second ed. The AVI Publishing Company Inc. : West Port, Connecticut. USA.

[www.dkp.go.id/files/Biodiesel Pengganti Bahan Bakar Minyak.pdf](http://www.dkp.go.id/files/Biodiesel_Pengganti_Bahan_Bakar_Minyak.pdf)

www.edc-cu.org/workshop/bradley.ppt

www.niceceu.blogsome.com/images/kelapa_01.jpg

www.wb4.indo-work.com/pdimage/30/185730_151.jpg

Lampiran 1

Visualisasi Api *Flashback*

- Kecepatan perambatan api membesar lalu kembali mengecil (tidak terjadi *flashback*):



- Kecepatan perambatan api membesar (terjadi *flashback*):

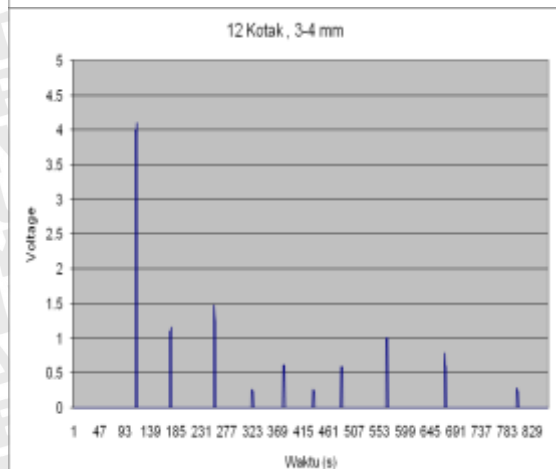
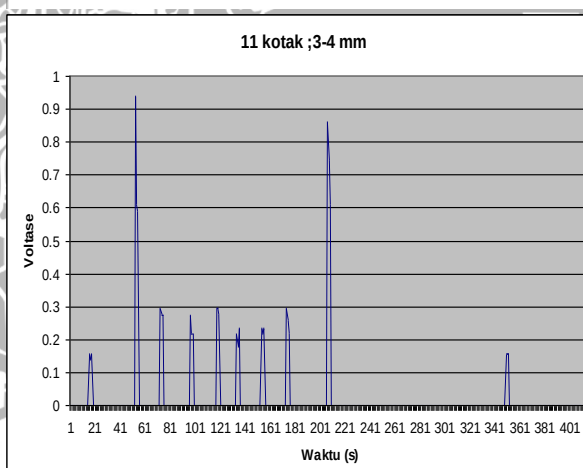
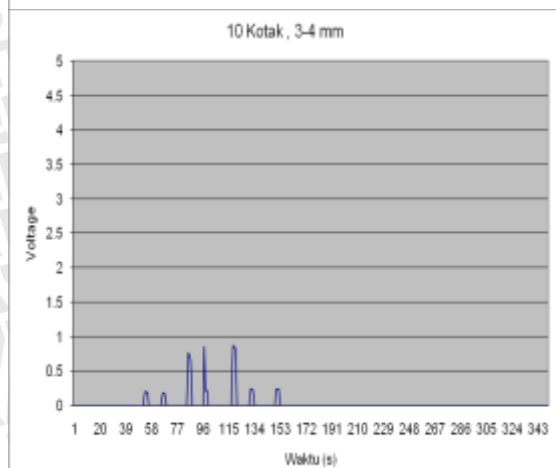
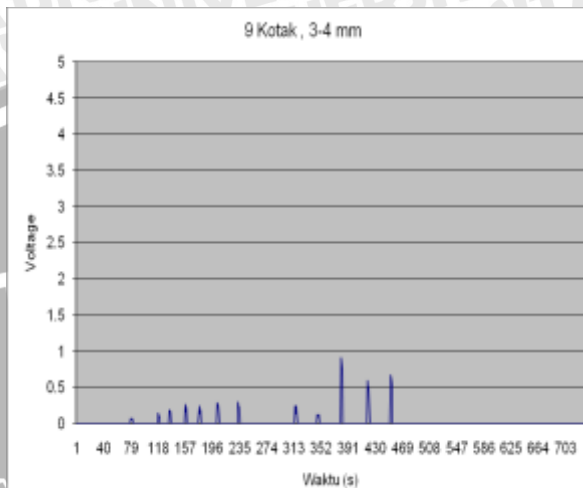
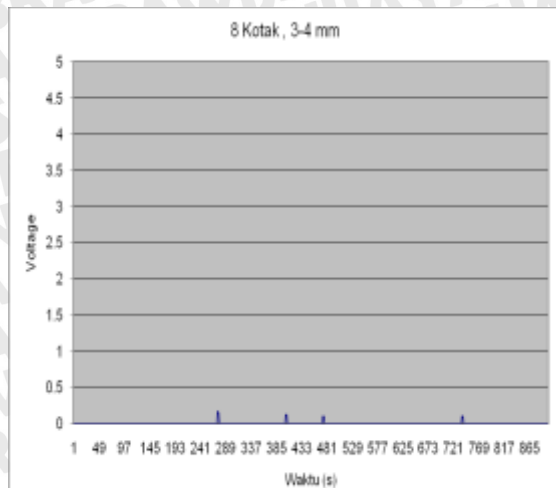


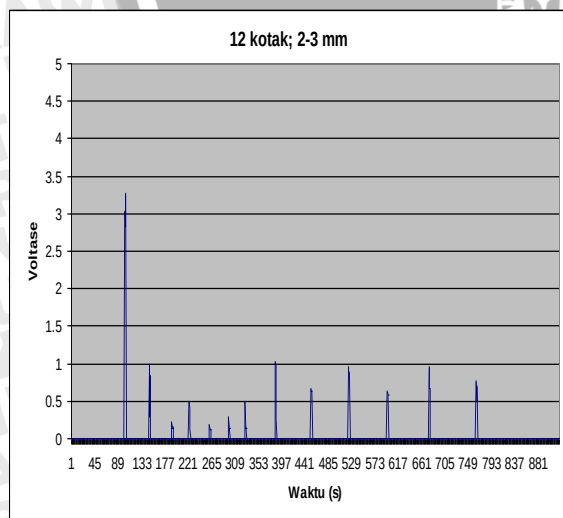
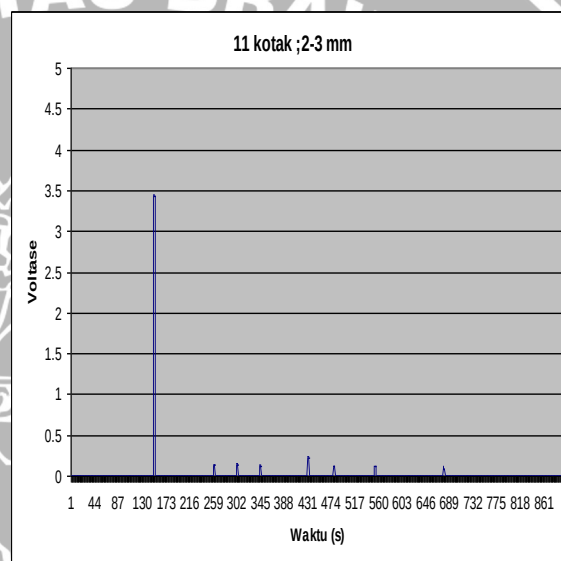
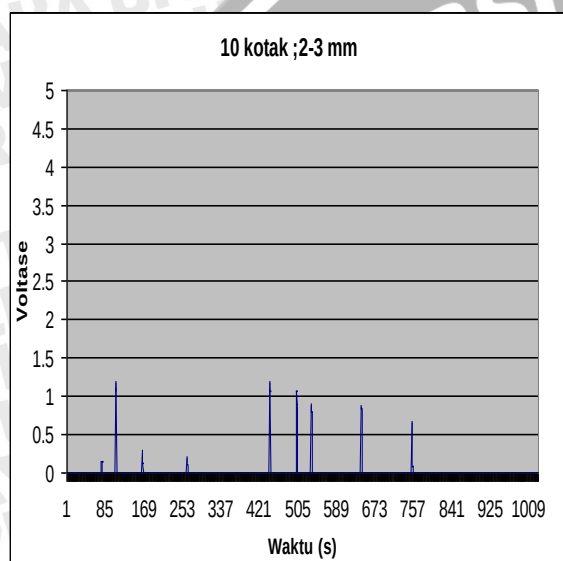
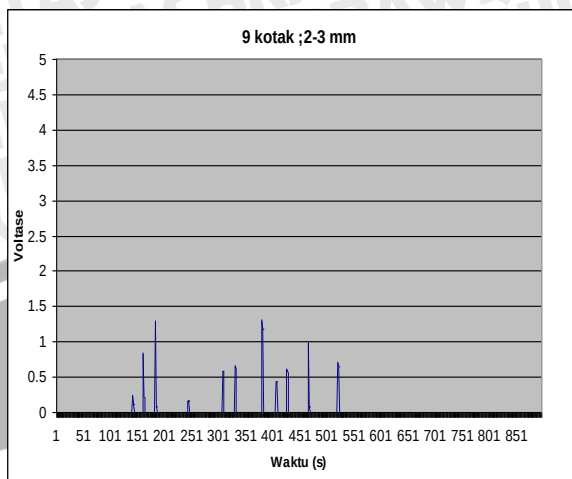
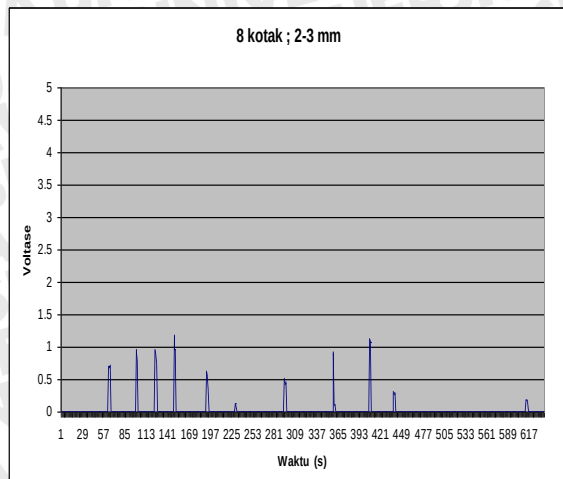
“FLASHBACK”



Lampiran 2

Visualisasi Grafik ADC





Lampiran 3

Spesifikasi termal minyak kelapa

Spesifikasi	Spesifikasi standard minyak kelapa (Cocos nucifera)
Viskositas dinamik (μ)	6391 kg/m.s
Kadar Air (w)	0
Masa jenis (ρ)	913 kg/m ³
Kandungan Abu (A)	0.03-0.07 %
Melting point	21,25°C
Boiling point	>232°C

UNIVERSITAS BRAWIJAYA



Lampiran 4

Perhitungan Nilai Kalor Minyak Kelapa Ideal

Minyak kelapa ideal adalah minyak kelapa yang hanya mengandung unsur C (Karbon), H (Hidrogen), dan O (Oksigen), tanpa mengandung kadar S (Belerang) dan W (Air) yang bertindak sebagai pengotor dan merugikan. Rumus molekul minyak kelapa ideal ditampilkan sebagai berikut :



Dengan Massa Atom Relatif masing-masing adalah C=12, H=1, dan O=16

Karena minyak kelapa berbentuk bahan bakar cair, maka perhitungan komposisi didasarkan pada komposisi berat (%w).

$$\begin{aligned}\text{Massa Molekul Relatif minyak kelapa (Mr)} &= 107(12) + 207(1) + 16(2) \\ &= 1523\end{aligned}$$

$$\%w, \text{C} : (107 \times 12 / 1523) \times 100 \% = 84.3 \%$$

$$\%w, \text{H} : (207 \times 1 / 1523) \times 100 \% = 13.6 \%$$

$$\begin{aligned}\%w, \text{O} : (2 \times 16 / 1523) \times 100 \% &= 2.1 \% \\ &\underline{\hspace{1.5cm}} \\ &100 \%\end{aligned}$$

Untuk menentukan Nilai Kalor Bawah (LHV) bahan bakar, menurut pendekatan Mendeleyev adalah :

$$\text{LHV} = 81\text{C} + 246\text{H} + 26(\text{O}-\text{S}) - 6\text{W}$$

Dimana :

LHV = Nilai Kalor Bawah (kcal/kg)

C, H, O, S, W = komposisi berat (%w) Karbon, Hidrogen, Oksigen, Belerang, dan Air

LHV (Nilai Kalor) minyak kelapa ideal :

$$= 81\text{C} + 246\text{H} + 26(\text{O}-\text{S}) - 6\text{W}$$

$$= 81(84.3) + 246(13.6) + 26(2.1-0) - 6(0)$$

$$= 10225.9 \text{ kcal/kg}$$

$$= 42785165.6 \text{ joule/kg atau } \mathbf{42.78 \text{ MJ/kg}}$$

Nilai kalor minyak kelapa walaupun dalam keadaan ideal, tetap lebih rendah dari minyak solar.
(Lihat tabel 2.2 halaman 16)

